



Bakalářská práce

Vliv rychlosti proudění a teploty měřící hlavice v přístroji typu Skin model na naměřený výparný odpor vybraných tkanin

Studijní program:

B0414A270001 Textilní marketing

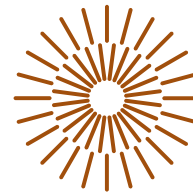
Autor práce:

Viktoriya Valitova

Vedoucí práce:

prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
Katedra hodnocení textilií

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Vliv rychlosti proudění a teploty měřící hlavice v přístroji typu Skin model na naměřený výparný odpor vybraných tkanin

<i>Jméno a příjmení:</i>	Viktoriya Valitova
<i>Osobní číslo:</i>	T19000161
<i>Studijní program:</i>	B0414A270001 Textilní marketing
<i>Zadávací katedra:</i>	Katedra hodnocení textilií
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte základní poznatky o termofyziologickém komfortu textilií a způsobech hodnocení jejich paropropustnosti. Celkový odpor přenosu vodní páry skrz textilie charakterizujte jako součet výparného odporu textilie a výparného odporu vzduchové vnější mezní vrstvy, který závisí na rychlosti proudění vnějšího vzduchu. Velikost této rychlosti částečně ovlivňuje i výparný odpor porézních materiálů, jakými jsou i textilie.
2. Opatřete vzorky PP a PES tkanin s různou plošnou hmotností a na přístroji PERMETEST pak v izotermním režimu proměřujte jejich výparný odpor za sucha, a to při třech rychlostech proudění vzduchu v kanále měřícího přístroje: 0,1 m/s, 1,0 m/s a 1,5 m/s. Každý vzorek tímto způsobem proměřte 3x. Dále ještě stanovte prodyšnost zkoumaných vzorků.
3. U uvedených vzorků také změřte jejich výsledný výparný odpor při teplotě měřící hlavice zvýšené oproti teplotě okolí o 2°C, 5°C a dle možnosti o 10°C. Výsledky všech měření zpracujte pomocí statistických metod, zobrazte graficky a vyhodnoťte vliv rychlosti proudění v přístroji na naměřený výparný odpor vzorků. Dosažené výsledky porovnejte s prodyšností a geometrickou porozitou zkoumaných vzorků. V závěru práce komentujte vliv rychlosti proudění vzduchu na termofyziologický komfort oblečené osoby vystavené tomuto proudění.

Rozsah grafických prací: 20 stránek
Rozsah pracovní zprávy: 40 stránek
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

Hes L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, Liberec 2005.
Kuneš J. a kol. : Tepelné bariéry, Academia 2003
Hes L., Bogusławska-Baczek M.: Analysis and experimental determination of effective water vapour permeability of wet woven fabrics. J. of TATM, Vol. 8, Issue 4, p. 1-8, 2014.

Vedoucí práce: prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce: 17. ledna 2024
Předpokládaný termín odevzdání: 20. května 2024

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 29. dubna 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Prohlášení o využití umělé inteligence

Při přípravě textu byl využit program ChatGPT 3.5. v teoretické části této práci.

Poděkování

Nejdříve bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc., za jeho cenné vedení, podporu a odborné rady během celého procesu tvorby této práce. Dále bych tímto chtěla vyjádřit poděkování všem učitelům, kteří mě inspirovali a přispěli k mému akademickému rozvoji.

Ráda bych poděkovala také svým rodičům a manželovi za jejich neustálou podporu, lásku a porozumění během mého studia.

Vliv rychlosti proudění a teploty měřicí hlavice v přístroji typu Skin model na naměřený výparný odpor vybraných

Anotace

Tato práce zkoumá vliv rychlosti proudění a teploty měřicí hlavice v přístroji typu Skin model na naměřený výparný odpor vybraných tkanin a pletenin. Teoretická část práce zahrnuje základní poznatky o termofyziologickém komfortu, přehled o komfortních vlastnostech textilií a způsoby jejich měření. V praktické části byla provedena analýza získaných dat a jejich grafické znázornění. Dosažené výsledky byly porovnány s prodyšností a geometrickou porozitou zkoumaných vzorků.

Klíčová slova:

výparný odpor, rychlost proudění, komfort textilií, paropropustnost, Permetest.

The effect of the air velocity and temperature of the measuring head on the determined water vapor resistance of selected woven fabrics

Annotation

This thesis examines the effect of the air velocity and temperature of the measuring head on the determined water vapor resistance of selected woven fabrics and knits. The theoretical part of the work includes basic knowledge of thermophysiological comfort, an overview of the comfort properties of textiles and methods of their measurement. In the practical part, the analysis of the obtained data and their graphical representation were conducted. The obtained results were compared with the breathability and geometric porosity of the examined samples.

Key words:

water vapor resistance, air velocity, comfort of textiles, vapor permeability, Permetest.

Obsah

Seznam použitých zkratk, značek, symbolů.....	10
Úvod	12
1 Teoreticko-rešeršní část	13
1.1 Komfort textilií	13
1.2 Termoregulace	14
1.2.1 Vliv teploty prostředí a doby strávené v něm na lidský organismus	15
1.3 Způsoby přenosu tepla	15
1.3.1 Kondukce	15
1.3.2 Konvekce	16
1.3.3 Radiace	17
1.3.4 Evaporace.....	17
1.3.5 Respirace.....	18
1.4 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla	18
1.4.1 Difuze	18
1.4.2 Kapilární odvod.....	19
1.4.3 Sorpce	19
1.5 Hodnocení termofyziologických vlastností textilií	19
1.5.1 Paropropustnost.....	20
1.5.2 Výparný odpor	20
1.6 Gravimetrická metoda.....	21
1.7 Metoda Dreo	21
1.8 Skin model.....	22
1.9 Permetest	22
1.10 Vliv vlhkosti na paropropustnost.....	24
1.11 Měření prodyšnosti	24
1.12 Vliv rychlosti proudění na výparný odpor textilií	24
1.13 Výsledný výparný odpor textilie měřený v přístroji Permetest při neizotermních podmínkách.....	27
1.14 Vyhodnocení vlivu teploty měřicí hlavice na komplexní výparný odpor R_{kx}	29
2 Praktická část.....	30
2.1 Měření textilních vzorků na přístroji Permetest	30
2.2 Popis vzorků	31
2.3 Porozita.....	31
2.4 Prodyšnost	32

2.5	Analýza výsledků.....	32
2.5.1	Vliv rychlosti proudění vzduchu na výparný odpor.....	32
2.5.2	Vliv rozdílu teplot na výparný odpor	37
3	Závěr	41
	Seznam použité literatury	42
	Seznam příloh.....	43

Seznam použitých zkratek, značek, symbolů

<i>symbol</i>	<i>jednotka</i>	<i>popis</i>
c	[-]	kalibrační konstanta přístroje (pro výparný odpor)
c_{pa}	[J.K/kg]	specifické teplo vlhkého vzduchu
d	[m]	rozměr objektu
G_0	[kg]	hmotnost před expozicí
G_1	[kg]	hmotnost po expozici
h	[m]	tloušťka vzorku
h	[mm]	tloušťka materiálu
k	[-]	kalibrační konstanta přístroje (pro tepelný odpor)
L	[J/kg]	výparné teplo
m	[kg]	hmotnost vzorku
m^*	[kg.s/m ²]	odpar vlhkosti
m_s	[kg/m ²]	plošná hmotnost vzorku
např.		například
P	[%]	paropropustnost
P_{abs}	[kg/m ² .hod]	absolutní propustnost
P_{rel}	[%]	relativní propustnost
P_{wo}	[Pa]	parciální tlak
P_{wsat}	[Pa]	nasycený tlak
ΔP_{parc}	[Pa]	rozdíl parciálních tlaků
q	[W/m ²]	tok tepla
q_0	[W/m ²]	tepelný tok měřený bez vzorku
q_{cto}	[W/m ²]	tepelný tok konvekcí
q_{eto}	[W/m ²]	tepelný tok odparem
q_{tot}	[W/m ²]	celkový tepelný tok
q_{tx}	[W/m ²]	celkový komplexní tepelný tok
q_v	[W/m ²]	tepelný tok měřený se vzorkem
R_{ct}	[m ² .K/W]	tepelný odpor
Re	[-]	Reynoldovo číslo
R_{et}	[m ² .Pa/W]	výparný odpor
$R_{et,ef}$	[m ² .Pa/W]	efektivní výparný odpor
R_{eto}	[m ² .Pa/W]	výparný odpor mezní vrstvy
R_{kx}	[m ² .Pa/W]	komplexní výparný odpor

S	$[m^2]$	plocha
s	$[m^2]$	plocha vzorku
t_a	$[^{\circ}C]$	teplota vzduchu proudícího kanálem
t_h	$[K]$	teplota měřicí hlavice
t_o	$[K]$	teplota vzduchu proudícího podél vzorku
t_{sk}	$[^{\circ}C]$	teplota pokožky
tzv.		takzvaný
v	$[m/s]$	rychlost
V_c	$[m^3]$	celkový objem textilie
V_p	$[m^3]$	objem póru
α	$[W/m^2K]$	koeficient přestupu tepla
β_c	$[kg/m^2.s]$	koeficient přestupu vlhkosti vztažený na rozdíl koncentrací
β_p	$[kg/m^2.s.Pa]$	koeficient přestupu vlhkosti
λ	$[W/m.K]$	tepelná vodivost
μ	$[-]$	zaplnění
ρ_v	$[kg/m^3]$	hustota vláken
τ	[hod]	doba
ν	$[m^2/s]$	dynamická viskozita tekutiny
ψ	$[-]$	porozita

Úvod

Už několik století si nedokážeme představit lidský život bez oblečení. S pokrokem technologií se oblečení stává stále kvalitnější a dostupnější pro každého. Lidé mají možnost vybírat z široké škály oděvů podle svých preferencí. Při výběru oblečení téměř 100 % zákazníků věnuje pozornost komfortu. Komfort se dělí do několika typů, jako je psychologický, termofyziologický, senzorický a patofyziologický.

Každý z nás při výběru oblečení preferuje jeden z těchto typů komfortu, ale základním prvkem je termofyziologický komfort, který představuje optimální stav organismu, kdy se nevyskytují nepříjemné pocity tepla či chladu. Člověk nosí oblečení po celý rok, jak v zimě, tak i v létě, pohybuje se, potí se a přitom se vždy potřebuje cítit v komfortním stavu.

Výrobci proto potřebují znát chování různých materiálů v různých prostředích a v kontaktu s lidským tělem, aby zajistili, že organismus člověka zůstane v komfortním stavu za jakýchkoliv podmínek.

Cílem této bakalářské práce je zkoumání termofyziologického komfortu různých textilních materiálů v různých podmínkách. Konkrétně se zaměříme na měření výparného odporu textilií pomocí přístroje Permetest a vliv rychlosti proudění a teploty měřicí hlavice přístroje Permetest na výparný odpor vybraných tkanin a pletenin.

1 Teoreticko-rešeršní část

1.1 Komfort textilií

Komfort je stav, kdy je tělo člověka v optimálním stavu z hlediska fyziologických vlastností. Vnímáme komfort jako pocit pohody, která nastává v případě, kdy okolí člověka a oděv nepřináší žádný nepříjemný pocit [1]. V opačném případě, přehřátí nebo podchlázení, dochází k diskomfortu. Pocit komfortu je vnímán lidskými smysly s výjimkou chuti, a to v následujícím pořadí důležitosti: hmatem, zrakem, sluchem a čichem [1].

Komfort dělíme na psychologický, sensorický, termofyziologický a patofyziologický.

Psychologický komfort charakterizuje, jak subjekt vnímá sebe a jak ho vnímá okolí. Psychologický komfort lze rozdělit podle hledisek: klimatických, ekonomických, historických, kulturních, sociálních, skupinových a individuálních [1].

Sensorický komfort zahrnuje vjemy a pocity lidského organismu při přímém kontaktu pokožky a první vrstvy oděvu. Tyto pocity mohou být jak příjemné (např. pocit měkkosti), tak nepříjemné a dráždivé (např. pocit vlhkosti). Sensorický komfort se dělí na komfort nošení a na omak [1].

Patofyziologický komfort charakterizuje působení oděvu na lidskou kůži. To je způsobeno především chemickými látkami obsaženými ve složení oděvního materiálu a působením mikroorganismů přítomných na pokožce [1].

Termofyziologický komfort je optimální stav organismu, kdy nedominuje pocit tepla nebo chladu. Je to dáno schopností textilií přenášet vzdušnou a kapalnou vlhkost přes jednotlivé vrstvy oděvu a také na proudění vzduchu, které textilii ochlazuje [1]. Základními parametry termofyziologického komfortu jsou tedy tepelný a výparný odpor.

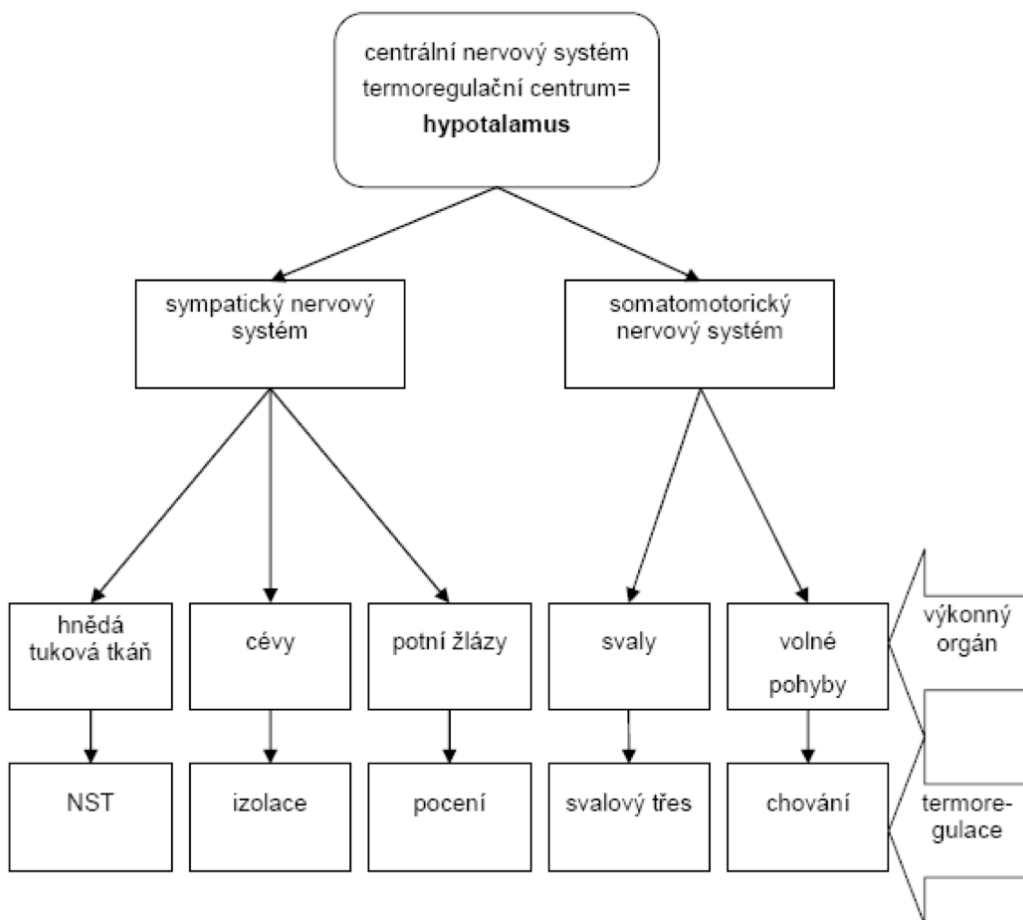
Optimální podmínky pro udržování termofyziologického komfortu jsou [1]:

- teplota pokožky 33–35 °C,
- relativní vlhkost vzduchu $50 \pm 10 \%$,
- rychlost proudění vzduchu $25 \pm 10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,
- obsah CO₂ 0,07 %,

- nepřítomnost vody na pokožce.

1.2 Termoregulace

Termoregulace je schopnost organismu udržovat si stále stejnou tělesnou teplotu, i když produkce, ztráta a příjem tepla se neustále mění. Člověk využívá různé termoregulační mechanismy k udržení stabilní teploty vnitřního prostředí, která se může pohybovat v rozmezí přibližně +/- 4 °C okolo průměrné hodnoty 36–37 °C. Tato kolísání jsou způsobena vnitřními i vnějšími vlivy [1].



Obr 1. Systém termoregulace lidského těla [1]

Termoregulační centrum je řízeno centrálním nervovým systémem a udržuje tělesnou teplotu na optimální úrovni, při níž probíhá metabolický cyklus. Termoregulace může být chemická, která představuje látkovou přeměnu, tedy intenzitu chemických reakcí a tvorbu tepla,

a fyzikální, která se skládá z jednotlivých odvodů tepla z organismu a zahrnuje tvorbu a výdej tepla [1].

1.2.1 Vliv teploty prostředí a doby strávené v něm na lidský organismus

Teplotní změny okolního prostředí mají výrazný vliv na lidský stav, a to jak psychický, tak fyziologický. Překročení určitých teplotních hranic může narušit schopnost těla regulovat teplotu [2].

Pokud zvýšíme teplotu nad optimální hladinu pro tepelný komfort, můžeme se dostat do tzv. mezního stavu, který vyvolává tepelný stres [3]. Ten se projevuje únavou a vnitřním neklidem. V případě, kdy se tělo dlouhodobě vystavuje vysokým teplotám, se mohou zhoršovat fyziologické funkce a může dojít až k tepelnému kolapsu. Naopak při snižování teploty se může objevit pocit zimy a při větším poklesu teploty může dojít k omrzlinám.

1.3 Způsoby přenosu tepla

Mezi člověkem a okolním prostředím dochází k přenosu tepla těmito způsoby [1]:

- kondukcí (přenos tepla vedením),
- konvekcí (přenos tepla prouděním),
- radiací (přenos tepla zářením),
- evaporací (přenos tepla odpařováním potu),
- respirací (přenos tepla dýcháním).

1.3.1 Konduktce

Přenos tepla vedením nastává, když dochází ke přímému kontaktu mezi člověkem a chladnějším prostředím [1]. To může vést k přenosu tepla od teplejšího na chladnější povrch nebo opačně, podle rozdílu teplot mezi oběma objekty. Tento proces je důležitý pro regulaci tepelného komfortu člověka, protože ovlivňuje, jak rychle dochází k vyrovnání teplot mezi tělem a okolím. Tímto způsobem ztrácíme až 5 % tepla, což je relativně malé množství [1].

Proces konduktce podle Fourierova zákona vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla q [W/m^2], součinitelem tepelné vodivosti λ [W/m.K] a teplotním gradientem $\Delta t/\Delta x$. [1]:

$$q = \lambda \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \tag{1}$$

Tepelná vodivost λ je fyzikální vlastnost materiálu, která popisuje schopnost materiálu přenášet teplo [1]. Vyjadřuje, jak rychle se teplo přenáší skrze daný materiál, a závisí na jeho struktuře a složení. Materiály s vysokou tepelnou vodivostí přenášejí teplo efektivněji než materiály s nízkou tepelnou vodivostí. To znamená, že materiály s vysokou tepelnou vodivostí umožňují rychlejší přenos tepla skrz svou hmotu, zatímco materiály s nízkou tepelnou vodivostí jsou méně schopné rychle přenášet teplo. Tepelná vodivost klidného vzduchu při teplotě 20 °C je 0,026 W/m.K a tepelná vodivost vody je 0,6 W/m.K [1]. To znamená, že vlhký materiál vykazuje vyšší tepelnou vodivost, a tímto způsobem ztrácíme teplo z těla rychleji.

Důležitým vztahem pro hodnocení tepelného komfortu je tepelný odpor R_{ct} [$m^2.K/W$]. Udává odolnost materiálu proti prostupu tepla. To znamená, že materiál s vysokým tepelným odporem je schopen lépe izolovat a udržovat teplotu. Platí, že čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. Tepelný odpor se počítá jako podíl tloušťky materiálu h [mm] a tepelné vodivosti λ [W/m.K] [1]:

$$R_{ct} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

1.3.2 Konvekce

Konvekce je způsob přenosu tepla prouděním, který vzniká pohybem částic tekutin kolem našeho těla o určité rychlosti v [m/s] [1]. Pohybují se v takzvané tepelné mezní vrstvě o určité tloušťce, kde se vytváří teplotní spád, který je důsledkem vnějšího tepelného odporu $R_{mezní\ vrstvy}$ [4]. Pokud se tekutina pohybuje, molekuly se kolem objektů pohybují rychleji a teplo se přenáší rychleji.

$$R_{mezní\ vrstvy} = \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

kde:

α koeficient přestupu tepla [W/m².K]

Proudění může nastat turbulentní nebo laminární. Laminární proudění je charakterizováno klidným, uspořádaným pohybem částic tekutiny, kde částice plynou v paralelních vrstvách bez významného míchání [1]. U laminárního proudění je tloušťka tepelné mezní vrstvy největší, a kvůli tomu není přenos tepla výrazný. Naopak turbulentní proudění je více chaotické a neregulární [5]. V tomto typu toku dochází k víření a míchání tekutiny, což vytváří zmatený

a neregulární pohyb částic. Turbulentní proudění nastává v okamžiku, kdy bezrozměrné Reynoldovo číslo **Re** převyšuje hodnotu 2300. Reynoldovo číslo je definováno vztahem:

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (4)$$

kde:

v rychlost tekutiny [m/s]

d rozměr objektu [m]

ν dynamická viskozita tekutiny [m^2/s]

Proudění lze rozdělit na přirozené a nucené. Přirozené proudění se vyskytuje spontánně bez vnějšího působení. Na rozdíl od přirozeného proudění je nucené proudění způsobeno vnějšími silami nebo působením. Koeficient přenosu tepla α z předchozího vztahu se mění s tímto kritériem [1]:

$$\alpha = 2,38 \times (t_{sk} - t_a)^{0,25} \text{ - pro přirozené proudění} \quad (5)$$

$$\alpha = 3,5 + 3,2 * v \text{ - pro nucené proudění} \quad (6)$$

$$\alpha = 8,7 \times v^{0,6} \text{ - pro vyšší rychlost proudění} \quad (7)$$

1.3.3 Radiace

Přenos tepla radiací je jedním ze tří základních mechanismů přenosu tepla (vedle vedení a konvekce) a funguje bezprostředně prostřednictvím elektromagnetických vln. Tato forma přenosu tepla nevyžaduje prostředí pro svůj přenos, což znamená, že se může šířit i ve vakuu [4].

1.3.4 Evaporace

Evaporace je proces přeměny kapaliny na plyn, kde molekuly z povrchu kapaliny získávají dostatek energie k tomu, aby se odpařily do okolního prostředí [6]. Pot se vytváří, když tělo člověka produkuje tekutinu prostřednictvím potních žláz a tato tekutina se odpařuje z povrchu kůže. Důležitým faktorem při vypařování potu je relativní vlhkost vzduchu [1]. Když není okolní vzduch nasycený vlhkostí, dojde k odpařování potu, což umožňuje odvádění tepla z pokožky.

1.3.5 Respirace

Přenos tepla dýcháním zahrnuje výměnu tepla během procesu dýchání. Při tomto procesu se vzduch vdechuje do plic, kde se ohřívá na tělesnou teplotu. Během výdechu je odváděno teplo z těla ven prostřednictvím vydechovaného teplého vzduchu. Tento cyklus umožňuje regulovat tělesnou teplotu [1], [4].

1.4 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Termoregulační systém lidského těla produkuje vodu ve formě potu. Při teplotě kůže 34 °C se z těla uvolňuje přibližně 0,03 l.h⁻¹, pokud je teplota kůže vyšší než 34 °C, může se uvolnit až 0,7 l.h⁻¹. Pouze prostřednictvím odpařování potu vzniká ochlazovací efekt [1].

Když je kůže pokryta vnější tepelnou bariérou, transport vlhkosti probíhá skrze difuzi, kapilárně a sorpčně. Tento proces je odlišný od situace, kdy je kůže volnější, a kontroluje se jinými mechanismy, jako je přirozená cirkulace vzduchu a propustnost textilních materiálů [1].

1.4.1 Difuze

Difúzní transport vlhkosti z povrchu kůže přes textilií je realizován pomocí pórů. Vlhkost prostupuje textilií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Celkový difúzní odpor jednotlivých vrstev oblečení se sčítá. Důležitou roli hraje také odpor vzduchových mezivrstev [1].

Rychlost odvodu vlhkosti je ovlivněna složením a tvarem materiálu, skrze který vlhkost prochází. Koeficient porozity textilie hraje důležitou roli - čím vyšší je porozita, tím lépe textilie odvádí pot. Materiály s vysokou porozitou, jako jsou pleteniny, mají tendenci dobře odvádět vlhkost a umožňovat lepší cirkulaci vzduchu, což napomáhá rychlejšímu odpařování potu z povrchu kůže [1], [7].

Pórovitost (porozita) je důležitou vlastností, která se odkazuje na množství a velikost pórů nebo mezer v materiálu a ovlivňuje propustnost a prodyšnost textilie. Porozitu ψ [-] lze definovat jako podíl objemu póru V_p [m³] (vzduchu), k celkovému objemu textilie V_c [m³] [8]:

$$\psi = \frac{V_p}{V_c} = 1 - \mu = 1 - \frac{m_s}{h \times \rho_v} \quad (8)$$

kde

ψ porozita [%]

μ zaplnění [-]

ρ_v hustota vláken [kg/m^3]

Délka kanálek v textilií má vliv na odvod vlhkosti. Čím jsou tyto kanálky delší, tím se zvyšuje difúzní odpor. Delší kanálky mohou vést k menší efektivitě odvodu vlhkosti, protože potřebuje více času na cestu ven z materiálu. Optimalizace délky kanálek je důležitá pro efektivní odvod vlhkosti a udržení pohodlného mikroklimatu uvnitř oděvu [1].

1.4.2 Kapilární odvod

Kapilární odvod je proces, kdy je kapalný pot na pokožce v kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry. Jde o tzv. knotový efekt.

Kapilární tlak P , který způsobuje tok kapalné vlhkosti obecně od velkých pórů o poloměru R k malým pórům odpovídajícího poloměru r . Odvod vlhkosti je ovlivněn především schopností textilie a jejích vláken absorbovat vlhkost povrchovým napětím vláken a potu [1].

1.4.3 Sorpce

Proces sorpce zahrnuje vniknutí vlhkosti nebo potu do neuspořádaných mezimolekulárních prostor a jejich následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulární struktuře. Schopnost sorpčního odvodu vlhkosti závisí na textilií s hydrofilními vlastnostmi, která může absorbovat molekuly vody a umožnit jejich odpaření.

Odvod vlhkosti sorpcí vyžaduje, aby textilie obsahovala alespoň částečně sorpční vlákna. Vyšší počet hydrofilních skupin ve vláknech umožňuje vázání molekul vody, což je významné zejména u přírodních vláken s vyšší schopností sorpce oproti syntetickým materiálům. Nicméně tento proces odvodu vlhkosti je obecně pomalejší [1].

1.5 Hodnocení termofyziologických vlastností textilií

Hodnocení termofyziologického komfortu poskytovaného oděvem může být provedeno pomocí přístrojů, které charakterizují tepelné a vlhkostní vlastnosti materiálů. Tyto přístroje mohou nabídnout detailní informace, avšak nemusí plně odpovídat podmínkám, které nastávají v systému pokožka-oděv-prostředí. Alternativou je měřit přenos tepla a vlhkosti v podmínkách blízkých lidskému tělu, což může poskytnout komplexnější a realističtější informace o pohodlí, které daný oděv poskytuje v reálných situacích.

Výběr vhodné metody hodnocení závisí na potřebách konkrétního výzkumu. Vědecké přístroje umožňují detailní analýzu vlastností oděvu, zatímco měření za podmínek podobných lidskému

tělu lépe modeluje reálné situace a poskytuje přesnější představu o komfortu, který daný oděv nabízí při nošení.

Termofyziologické vlastnosti textilií se hodnotí prostřednictvím dvou klíčových parametrů: tepelný a výparný odpor. Druhý parametr hraje zásadní roli při procesu ochlazování těla, když se pot odpařuje z povrchu pokožky. Účinek ochlazování je převážně závislý na rozdílu parciálních tlaků vodních par mezi povrchem pokožky a okolním prostředím a dále na tom, jak dobře oděv propouští vodní páry. Důležité je rozlišovat mezi celkovým výparným odporem oděvu a výparným odporem vrstvy vnějšího vzduchu, což se označuje jako mezní vrstva. Podobně je to i s celkovým tepelným odporem oděvu, který se skládá z tepelného odporu samotného oděvu a tepelného odporu mezní vrstvy [1].

1.5.1 Paropropustnost

Paropropustnost je klíčová pro udržení komfortu při nošení vysoce funkčních textilií. Je to vlastnost textilie, která reguluje množství vodních par, které mohou projít materiálem. Když textilie překročí svou schopnost propustit určité množství výparu, může dojít k jejich kondenzaci v textilií a vytvoření nepříjemného pocitu. Přístroj Permetest měří relativní propustnost textilií pro vodní páry p [%]. To je praktický parametr, který nenormalizuje, ale ukazuje, jaká část tepelného toku q_0 , vyvolaného výparem z volné vodní hladiny, projde měřeným vzorkem. Zakrytí této hladiny měřeným vzorkem sníží tepelný tok o hodnotu q_v . Relativní propustnost pro vodní páry se vypočítá podle vzorce [1]:

$$p = 100 \times \left(\frac{q_v}{q_0} \right) \quad (9)$$

kde:

q_v plošná hustota tepelného toku (tepelný tok) procházející měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem [W/m²]

q_0 plošná hustota tepelného toku (tepelný tok) procházející měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem [W/m²]

1.5.2 Výparný odpor

Výparný odpor, označovaný jako R_{et} , představuje rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Je to „latentní“ výparný tepelný tok, který prochází danou plochou, a jeho jednotka

je [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$]. Přirozeně vlhká lidská kůže má 100% propustnost pro vodní páry, ale když je pokryta textilií, tato propustnost se snižuje. Úroveň toho, o kolik se snižuje, záleží na schopnosti textilie propouštět vodní páry. Čím nižší je hodnota R_{et} , tím vyšší je propustnost textilie pro vodní páry [1].

1.6 Gravimetrická metoda

Gravimetrická metoda pro stanovení propustnosti vodní páry textilií je založena na vážení kruhových vzorků textilie na hliníkové zkušební misce s obsahem silikagelu. Měření se provádí před a po 6hodinové expozici vzorku v klimatizované skříni s teplotou 20 °C, relativní vlhkostí 60 % a prouděním vzduchu 0,2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Výsledná relativní propustnost P_{rel} [%] se vypočítá podle vztahu [1]:

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

kde:

G_0 hmotnost vzorku před expozicí [kg]

G_1 hmotnost vzorku po expozici [kg]

Absolutní propustnost P_{abs} [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hod}$] se vypočítá jako:

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

kde:

S plocha vzorku [m^2]

τ doba expozice [hod]

Metoda má své nevýhody, jako je časově nelineární sorpce silikagelu, což způsobuje zdlouhavost a nižší přesnost měření. Kvůli těmto omezením se v praxi tato metoda již méně využívá [1].

1.7 Metoda Dreo

Metoda Dreo zkoumá chování textilních vzorků při odvádění vlhkosti. Vzorek textilie je umístěn mezi dvě polopropustné vrstvy, kde je pod spodní vrstvou voda a nad vrchní vrstvou proudí suchý vzduch. Tato metoda umožňuje posoudit, jak textilní materiály reagují na vlhkost a vzduch v prostředí, kdy je vzorek oddělen od vody a vzduchu vrstvami s různými propustnostmi. Měření trvá přibližně 15 minut a zahrnuje sledování ztráty vody prostřednictvím

skleněné kapiláry, což pomáhá pochopit, jak textilie zachází s vlhkostí a vzduchem ve specifických podmínkách [1].

1.8 Skin model

V oblasti simulace pocení lidské kůže se využívá zařízení nazývané „Skin model” nebo model kůže. Tento přístroj pracuje na principu vyhřívání a zvlhčování porézní desky, která napodobuje přenos tepla a hmoty mezi lidskou pokožkou a okolím.

Jeho schopnost měřit tepelný odpor, výparný odpor a relativní paropropustnost umožňuje zkoumat procesy spojené s potem a tepelným přenosem v oděvu. Měření může probíhat v různých podmínkách, včetně ustálených i proměnlivých situací zahrnujících kombinaci teplot, relativní vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu. Tím umožňuje simulovat různé prostředí a podmínky, ve kterých se oděv nosí, což přispívá k lepšímu pochopení chování oděvu v reálném prostředí [1].

Zkouška za stacionárních podmínek spočívá v testování tkanin upevněných na elektricky vyhřívanou desku, která je obtékána vzduchem proudícím paralelně s jejím povrchem rychlostí 1 m/s a při teplotě 20 °C nebo 35 °C pro měření propustnosti pro vodní páry. Pro dosažení ustálených podmínek, trvajících několik hodin, se měří příkon vytápěné desky pomocí elektrického wattmetru. Deska je pokryta celofánovou membránou propouštějící vodní páry, čímž se simuluje suché pocení. Měření vyžaduje delší dobu a může dojít ke kondenzaci vlhkosti ve vzorku, což může zkreslit výsledky [1].

Zkouška za nestacionárních podmínek, prováděná pomocí Skin modelu, sleduje regulační účinek z parní fáze za intenzivního pocení, kdy se pot ještě stihne odpařit. Simuluje se umístěním hydrofilní tkaniny na porézní vyhřívanou desku zvlhčenou vodou, která se odpařuje. Měřicí čidla sledují časový průběh teploty a vlhkosti v prostoru mezi deskou a vzorkem. Pro zohlednění konvekce v mikroklimatu může vzorek rytmicky oscilovat pomocí elektricky poháněných nitřových tahů. Jedno měření tak může trvat i více než 1 hodinu, což přináší značnou tepelnou setrvačnost a může způsobit kondenzaci vlhkosti ve vzorku, což ovlivní výsledky zkoušky [1].

1.9 Permetest

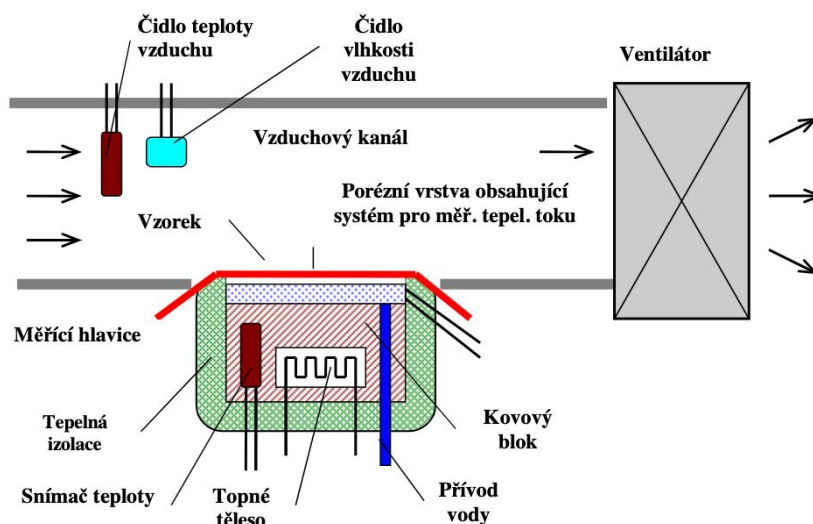
Přístroj Permetest se zaměřuje na měření tepelného odporu, výparného odporu a relativní paropropustnosti textilií. Podobně jako Skin Model, i tento přístroj simuluje povrch lidské

pokožky, jež je porézní a zavlhčována, napodobující funkci ochlazování potem. Na tento povrch se připevní měřený vzorek přes membránu. Na vnější stranu vzorku je aplikován proud vzduchu s kontrolovanou rychlostí [1].

Principem měření výparného odporu a paropropustnosti je udržování teploty měřicí hlavičky (Skin modelu) na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20–23 °C), který je do přístroje nasáván. Tím se vytvářejí izotermické podmínky pro měření. Vlhkost se v porézní vrstvě mění v páru, která prostupuje vzorkem přes membránu. Příslušný výparný tepelný tok se měří speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. Nejprve se měří tepelný tok bez vzorku, poté s ním a přístroj registruje odpovídající tepelné toky [1].

Samotné měření probíhá ve třech fázích. V referenční fázi se dosahuje zvolené teploty měřicí hlavičky a nastavuje se rychlost proudu vzduchu. Po ustálení referenční fáze následuje měření vzorku mezi zavlhčovanou měřicí hlavičkou a vzduchovým kanálem. Ve třetí fázi se provádí samotné měření a výsledky jsou zobrazeny na displeji. Výsledky lze ukládat do počítače a přístroj umožňuje statistické zpracování naměřených hodnot [1].

Přístroj Permetest je schopen měřit tepelný odpor textilií při stabilizované teplotě, výparný odpor a relativní paropropustnost textilií za různých podmínek. Aby bylo dosaženo správných měření, je nutné zabránit přímému kontaktu mezi měřenou textilií a vlhkým měřicím povrchem. K tomu lze využít distanční kroužek, který vytváří mezeru mezi měřicí plochou a měřenou textilií. Mikropočítač v přístroji umožňuje volbu počátečních parametrů a vyhodnocování naměřených hodnot [1].



Obr 2. Schéma přístroje Permetest [1], [9]

1.10 Vliv vlhkosti na paropropustnost

Výsledky výzkumu provedeného panem L. Hessem a paní M. Boguslawskou–Baczek na přístroji Permetest ukazují, že paropropustnost tkanin se mění s rostoucím obsahem vlhkosti. Překročení 50 % obsahu vlhkosti je klíčové, ovlivňující efektivní paropropustnost u mokrých tkanin. Tato skutečnost zdůrazňuje význam aplikace hydrofobních úprav nebo použití hydrofobních vláken k redukci nepříjemností spojených s nošením mokrého oblečení. Výzkum podtrhuje nutnost udržení a optimalizace paropropustnosti textilií pro uživatelský komfort při nošení oblečení v různých podmínkách [10].

1.11 Měření prodyšnosti

Přístroj FX 3300 nasává vzduch do měřicí hlavičky skrz otvor umístěný v její horní části. Klasická metoda měření na přístroji FX 3300 získává hodnoty propustnosti vzduchu přes materiál. Pro tuto práci byla využita metoda měření propustnosti vzduchu v rovině textilie, podobná metodě zkoumání paropropustnosti na Permetestu, již popsána v předchozí kapitole [11].

Modifikovaná metoda spočívá v zakrytí měřeného materiálu tak, aby trajektorie vzduchu byla nucena měnit směr. Tímto způsobem je vzduch donucen projít rovinou textilie o délce trajektorie L. Cílem je uzavřít pleteninu nepropustně tak, aby se vzduch nemohl vsakovat mezi vzorkem a hlavicí, ale pouze kolmo skrz textilií, kde se měří rozdíl tlaku vyvolaný strukturou vzorku [11].

1.12 Vliv rychlosti proudění na výparný odpor textilií

Teplo se v textiliích a oděvech sdílí vedením, prouděním a zářením. Tepelný tok q [W/m²] přenášený zářením uvnitř oděvních systémů většinou nepřesahuje 10 % celkového tepelného toku, proto v dalších úvahách, experimentech a výpočtech nebude přenos tepla zářením respektován. Tepelný tok q přenášený jakýmkoli druhem proudění (konvekcí) mezi pevným povrchem o teplotě t_1 a prostředím (tekutinou) o teplotě t_2 vyjadřuje Newtonův zákon [1]:

$$q = \alpha \times (t_1 - t_2) \quad (12)$$

Pro stanovení koeficientu přestupu tepla prouděním při rychlosti vynuceného proudění V nižší než 5 m/s lze použít přibližný empirický vztah:

$$\alpha = 8,3 \times v^{0,5} \quad (13)$$

Podobně jako teplo, vlhkost ve formě vodní páry je v oděvních systémech přenášena vedením (difuzí) a prouděním (konvekcí). Hnací silou je zde rozdíl mezi koncentrací nasycené páry nebo *nasyceným parciálním tlakem* P_m [Pa] na povrchu lidské pokožky a aktuální koncentrací vodní páry jejím *parciálním tlakem* P_a [Pa] v okolním prostředí [1].

Chladicí tok, zajišťující termofyziologický komfort nositele, je iniciován odparem potu produkovaného při vyšší tělesné zátěži nebo při zvýšené či vysoké teplotě okolí. Vlastní chladicí efekt však vznikne jen v případě, že se pot produkovaný tělem odpaří. Při dostatečném gradientu výše uvedené hnací síly se odparem vlhkosti m^* [kg.s/m²] z povrchu kůže odvede tepelný tok q dle vztahu:

$$q = m^* \times L \quad (14)$$

kde L značí výparné teplo vody, které má při 20 °C hodnotu cca 2 400 000 J/kg. Toto velmi vysoké výparné teplo umožňuje dosáhnout jisté úrovně termofyziologického komfortu (pokud oděvu umožní transport potu) dokonce i při vysoké teplotě vzduchu (na poušti), pokud je vzduch dostatečně suchý, tj. pokud je ϕ nižší než 60–70 %. Když relativní vlhkost vzduchu ϕ převyšuje 90 %, pak žádný stav komfortu při teplotě vzduchu nad 35 °C není dosažitelný [1].

Pokud je oděvní systém uzavřen, mezery mezi textilními vrstvami malé a oblek málo prodyšný, pak se vodní pára v tomto systému přenáší převážně vedením (difuzí). V našem případě je ale řešen přenos vlhkosti – zde vodní páry, podél volného povrchu textilie prouděním o nízké rychlosti, odpovídající běžné či rychlé chůzi nositele oděvu. Vztah pro přenos hmoty prouděním je podobný Newtonovu zákonu pro přenos tepla konvekcí [1]:

$$m^* = \beta_p \times (P_{wsat} - P_{wo}) \quad (15)$$

kde

β_p koeficient přestupu vlhkosti [kg/m².s.Pa]

P_{wsat} nasycený tlak [Pa]

P_{wo} parciální tlak [Pa]

Podobně jako koeficient přestupu tepla prouděním α roste s rychlostí vzduchu, je také koeficient přestupu hmoty, zde vodní páry, prouděním β_p [kg/m².s.Pa] úměrný rychlosti vzduchu. Díky analogii mezi přestupem tepla a vlhkosti, může být koeficient přestupu vlhkosti prouděním vypočítán pro nižší rychlosti vzduchu pomocí Lewisova vztahu [1]:

$$\alpha = \beta_c \times c_{pa} \quad (16)$$

kde

c_{pa} specifické teplo vlhkého vzduchu [J.K/kg]

β_c koeficient přestupu vlhkosti prouděním vztažený na rozdíl koncentrací [kg/m².s]

Dosadíme-li do Lewisova vztahu výše uvedený empirický vztah pro součinitel přestupu tepla, jehož velikost roste s odmocninou rychlosti vzduchu, obdržíme:

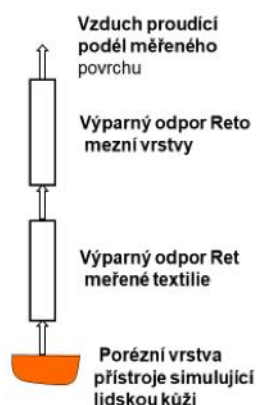
$$\beta_p = c \times v^{0,5} \quad (17)$$

Cílem této práce je analýza vlivu rychlosti proudění na výparný odpor textilií R_{et} , kde tento výparný odpor R_{et} [Pa. m²/W] je měřen pomocí malého Skin modelu – přístroje Permetest. Rychlost proudění v tomto přístroji lze nastavit na 0,3, 1,0 a 1,5 m/s.

Proudění v přístroji může mít vliv na výparný odpor porézních textilií, ale rozhodně bude určovat velikost výparného odporu R_{eto} mezní vrstvy, která se při měření v přístroji a při nošení oděvů vytváří nad povrchem měřeného vzorku. Výparný odpor R_{eto} této mezní vrstvy je totiž definován jako převrácená hodnota součinitele přestupu hmoty prouděním β_p :

$$R_{eto} = \frac{1}{\beta_p} \quad (18)$$

Potom výparný odpor R_{eto} této mezní vrstvy bude tedy záviset na rychlosti proudění v mezní vrstvě. S rostoucí rychlostí proudění pak tloušťka mezní vrstvy klesá, a tím i její výparný odpor. Celou situaci vysvětluje následující obrázek.



Obr 3. Výparné odpory v sérii

Přístroj Permetest v 1. kroku měření měří výparný odpor R_{eto} mezní vrstvy, ve druhém kroku výparný odpor R_{eto} mezní vrstvy plus výparný odpor R_{et} textilie, ve 3. kroku program odečte

oba odpory od sebe a poskytne jen výparný odpor R_{et} textilie. Pokud by se v přístroji měřil výparný odpor hladké neporézní desky, pak by získaná hodnota R_{et} nezávisela na velikosti výparného odporu R_{eto} mezní vrstvy, a tedy ani na rychlosti proudění. Skutečné textilie jsou však porézní a mají strukturní povrch. Část proudění může tedy vnikat do měřené textilie a snižovat (měnit) její výparný odpor [1].

1.13 Výsledný výparný odpor textilie měřený v přístroji Permetest při neizotermních podmínkách

Celkový tepelný tok q_{tot} procházející oděvem oblečené osoby zahrnuje tepelný tok tepelnou konvekcí a vedením v textilií plus (chladící) tepelný tok vzniklý odparem potu, který se realizuje difuzí v textilií a konvekcí podél povrchu vnější textilie. V přístrojích typu Skin model se výparný odpor textilií měří při izotermních podmínkách, aby existovala jen jedna hnací síla – rozdíl parciálních tlaků vodní páry. U přístroje Permetest toto měření probíhá při teplotě vzduchu v laboratoři. Výparný odpor R_{et} [$m^2 Pa/W$] pak přístroj vypočítá dle vztahu [1]:

$$R_{et} = c \times \frac{P_{wsat} - P_{wo}}{q_v - q_o} \quad (19)$$

kde

c kalibrační konstanta přístroje Permetest [-]

Tepelný odpor se měří při anizotermních podmínkách, hnací silou je 10 °C rozdíl mezi teplotou měřicí hlavice t_h [K] a teplotou t_o [K] vzduchu proudícího podél vzorku. Tepelný odpor R_{ct} [$m^2 \cdot K/W$] pak přístroj vypočítá dle vztahu [1]:

$$R_{ct} = k \times \frac{t_h - t_o}{q_v - q_o} \quad (20)$$

kde

k kalibrační konstanta přístroje Permetest [-]

t_h teplota měřicí hlavice [K]

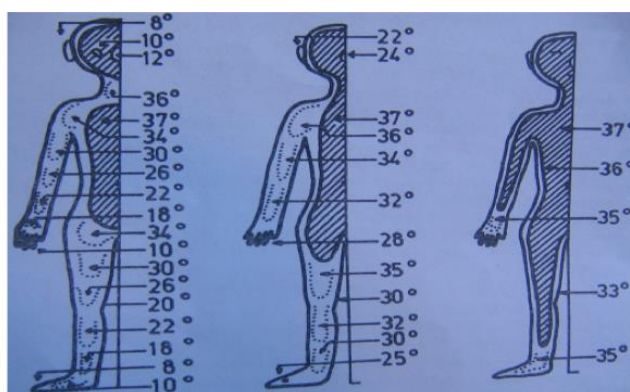
t_o teplota vzduchu proudícího podél vzorku [K]

Jak již bylo uvedeno, celkový tepelný tok procházející oděvem oblečené osoby zahrnuje tepelný tok vnější tepelnou konvekcí a vedením v textilií plus (chladící) tepelný tok vzniklý odparem potu, který se realizuje difuzí v textilií a konvekcí podél povrchu vnější textilie.

Dle zadání této práce bude pomocí přístroje Permetest částečně simulována situace jako při skutečném nošení oděvu, tj. výsledný tepelný tok bude součtem tepelného toku přenášeného vedením ve zkoušené textilii při teplotním rozdílu 2, 5 a 10 °C, a tepelného toku přenášeného difuzí vodní páry skrz analyzovanou textilii. Celkový tepelný tok pak vzroste, hodnota efektivního výparného odporu $R_{et,ef}$ pak klesne. Vzhledem k tomu, že tento efektivní výparný odpor $R_{et,ef}$ charakterizuje výsledný tepelný tok, lze stále hovořit o jistém druhu tepelného odporu, avšak hnací silou tohoto děje jsou dvě různé nezávislé veličiny, a to rozdíl parciálních tlaků vodní páry a rozdíl teplot.

Výzkum přenosu vlhkosti a tepla v textiliích při neizotermních podmínkách by obecně mohl probíhat při konstantním teplotním rozdílu 10 °C (jediným, se kterým program přístroje Permetest umí pracovat) a při různých úrovních rozdílů parciálních tlaků vodní páry ΔP_{parc} . Výsledkem by byly změny tepelného odporu R_{et} , v důsledku ochlazování modelu lidské kůže odparem. Nastavení těchto rozdílů je však u tohoto zařízení technicky velmi složité. V experimentální části práce bude tedy proměřován výparný odpor $R_{et,ef}$ vybraných textilií při neizotermních podmínkách, zahrnujících teplotní spád Δt 2 °C, 5 °C a 10 °C.

Tento výparný odpor pak bude specifický pro každou testovanou textilii. Při teplotě vzduchu v laboratoři ve výši 22 °C následující měření budou simulovat situaci, kdy teplota kůže nositele oděvu činí 24 °C, 27 °C a 32 °C a současně dochází k odparu potu. Zmíněné nižší teploty kůže se mohou vyskytovat na lidském těle na končetinách, zejména v chladném prostředí – viz obr. 4 [1]:



Obr. 4. Teploty povrchu lidského těla při nízkých, středních a vysokých teplotách okolí [1]

Jedním z důvodů provádění výzkumu je experimentální ověření vlivu teploty simulované kůže na úroveň parciálního tlaku nasycené páry, která z modelu lidské kůže – zde z vlhké porézni

desky – vystupuje, s rostoucí teplotou kůže, pak tento rozdíl velmi rychle vzrůstá, a tím vzrůstá i chladicí efekt oděvu [1]:

- teplota 22 °C, $P_{\text{wsat}} = 2642$ Pa
- teplota 24 °C, $P_{\text{wsat}} = 2982$ Pa
- teplota 27 °C, $P_{\text{wsat}} = 3574$ Pa
- teplota 32 °C, $P_{\text{wsat}} = 4769$ Pa

1.14 Vyhodnocení vlivu teploty měřicí hlavice na komplexní výparný odpor R_{kx}

Jak plyne z teoretické části, chladicí tok odparem q_{eto} [W/m^2] z měřicí plochy přístroje bez vzorku je dán vztahem:

$$q_{\text{eto}} = \frac{\Delta p_{\text{wv}}}{R_{\text{eto}}} \quad (21)$$

a chladicí tok tepelnou konvekcí q_{cto} [W/m^2] z měřicí plochy přístroje bez vzorku je podobný:

$$q_{\text{cto}} = \frac{\Delta t}{R_{\text{eto}}} \quad (22)$$

Celkový – komplexní chladicí tok q_{tx} [W/m^2] z měřicí plochy přístroje bez vzorku je dán součtem:

$$q_{\text{tx}} = C_0 + q_{\text{eto}} \quad (23)$$

Při měření při malém teplotním rozdílu $\Delta t = 2$ °C se bez vzorku chladicí tok odparem příliš nezvýší, ale konvekční chladicí tok jak bez vzorku, tak se vzorkem významně zvýší celkový chladicí tok q_{tx} , takže komplexní výparný odpor R_{kx} znatelně poklesne.

Při měření s velkým teplotním rozdílem $\Delta t = 10$ °C se bez vzorku chladicí tok odparem dramaticky zvýší a hnací síla přenosu vlhkosti stoupne z 2642 Pa na 4769 Pa. To značí velkou hnací sílu procesu (nasyčení vzduchu vodní parou mimo vzorek zde činilo 40 až 45 %). Konvekční tepelný chladicí tok i při velkém teplotním rozdílu se zde vložním vzorku sníží jen málo, takže celkový chladicí tok q_{tx} bude převážně ovlivněn velikostí chladícího toku odparem. Tento q_{et} tok pak bude zásadně ovlivněn výparným odporem vzorku R_{et} . Protože po vložení vzorku celkový chladicí tok q_{tx} znatelně poklesne, vzroste i komplexní výparný odpor R_{kx} .

Při relativní vlhkosti vzduchu nižší než 70–80 % je chladicí efekt odparem potu podstatně významnější než ochlazování nositele oděvu tepelnou konvekcí (pokud ovšem teplota vzduchu není podstatně nižší než v případě tohoto experimentu). Nízký výparný odpor oděvního systému je proto podmínkou dosažení dobré úrovně termofyziologického komfortu.

2 Praktická část

2.1 Měření textilních vzorků na přístroji Permetest

Měření probíhalo v laboratoři KHT TUL při teplotě vzduchu v rozmezí 23–25 °C a vlhkosti vzduchu mezi 30 a 40 %. Před samotným měřením byl přístroj nejprve zkalibrován za použití referenční textilie, která byla předem změřena. Po kalibraci přístroj ukazuje správné hodnoty, na jejichž základě byla nastavena citlivost přístroje. Měření probíhalo vždy nejprve bez vzorku a následně s vzorkem, tento proces byl opakován čtyřikrát. Z naměřených výsledků byla data zpracována pomocí statistických metod.

Na přístroji byl naměřen výparný odpor a relativní paropropustnost 10 vzorků s různou plošnou hmotností za sucha, a to při třech rychlostech proudění vzduchu v kanále měřicího přístroje (přibližně): 0,3 m/s, 1,0 m/s a 1,5 m/s. Každý vzorek byl změřen čtyřikrát. U vybraných 10 vzorků byl stejným způsobem naměřen jejich výsledný výparný odpor při teplotě měřicí hlavy zvýšené oproti teplotě okolí o 2 °C, 5 °C a 10 °C.

Pro naměření výparného odporu přístroji Permetest při rychlosti 0,3 m/s byla použita polyuretanová pěna, která překrývala vzduchový kanál měřicího přístroje, čímž se snížila rychlost proudění vzduchu. Rychlost proudění ve vzduchovém kanálu byla změřena anemometrem viz obr. 5, a to jsou přibližné hodnoty.



Obr 5. Naměřené hodnoty rychlosti proudění vzduchu

Pro měření výparného odporu při různých teplotách byl přístroj zkalibrován při nulové teplotě.

U všech vzorků byla změřena propustnost pro vzduch [$l/m^2/s$] na přístroji FX 3300 při tlaku 200 Pa. Naměřené hodnoty prodyšnosti jsou znázorněny v tabulce 8.

2.2 Popis vzorků

Použité vzorky byly poskytnuty panem profesorem Hesem a prodejnou textilního zboží H&M. Plný popis vzorků je uveden v tabulce 1. U každého z představených vzorků byla změřena jak jednotlivá, tak dvojitá vrstva.

Geometrické vlastnosti textilií hrají klíčovou roli v jejich schopnosti propouštět páru. Například textilie s menšími póry mohou mít nižší propustnost páry než textilie s většími póry. Kromě toho může také struktura tkaniny nebo pleteniny ovlivnit schopnost materiálu propouštět páru. Všechny vzorky mají rozměry 10×10 cm. Hmotnost **m** [kg] byla naměřena na váhách a tloušťka **h** [m] vzorků byla naměřena pomocí přístroje Alambeta. Na základě těchto dat byla vypočítána plošná hmotnost **m_s** [kg/m²] dle vzorce [12]:

$$m_s = \frac{m}{s} \quad (25)$$

kde

s plocha vzorku [kg/m²]

2.3 Porozita

Pro kompletní analýzu výsledků je nezbytné znát porozitu materiálů, protože všechny vzorky se liší ve struktuře, plošné hmotnosti a druhem použitých vláken, tj. 100 % polyester, 100 % bavlna a 100 % polypropylen u vybraných tkanin. Pleteniny jsou představeny ve směsi 87 % polyester / 13 % elastan a 95 % polyester / 5 % elastan. Pro výpočet geometrické porozity není třeba sušit vzorky v sušičce.

Hustota vláken ρ_v se liší: polyester 1350 kg/m³, bavlna 1500 kg/m³, polypropylen 900 kg/m³, elastan 1150 kg/m³.

Na základě výpočtů (viz tabulka 2) lze konstatovat, že textilní materiály mají různou porozitu, a tedy i propustnost páry. Polyesterová tkanina má nejvyšší porozitu (67 %), zatímco bavlněná tkanina má nejnižší porozitu (48 %). Směsi polyesteru a elastanu mají podobnou porozitu, s minimálním rozdílem mezi směsmi s různým obsahem polyesteru.

Pleteniny s vyšší porozitou mají vyšší vliv rychlosti proudění na změnu výparného odporu než u hustší bavlny, protože proudění s vyšší rychlostí proniká do struktury textilie. Tento jev se u hustších tkanin projevuje jen nepatrně. Tato skutečnost má potenciál ovlivnit schopnost textilie odvádět vlhkost, což může mít dopad na pohodlí a výkon uživatele v závislosti na podmínkách prostředí a intenzitě fyzické aktivity.

2.4 Prodyšnost

Ze zpracovaných dat o prodyšnosti (viz tabulka 10) lze pozorovat, že nejvyšší propustnost pro vzduch mají pleteniny s obsahem polyesteru a elastanu, zejména druhá pletenina s dvojitou vrstvou ($2740 \text{ l/m}^2/\text{s}$). Naopak nejnižší propustnost má polypropylenová tkanina, a to jak v jedné vrstvě ($110,4 \text{ l/m}^2/\text{s}$), tak v dvojitě vrstvě ($54 \text{ l/m}^2/\text{s}$).

Při porovnání těchto údajů můžeme skutečně vidět souvislost mezi porozitou a prodyšností. U materiálů s vysokou porozitou je vysoká prodyšnost. To znamená, že porozita materiálu a prodyšnost mají vliv na výparný odpor.

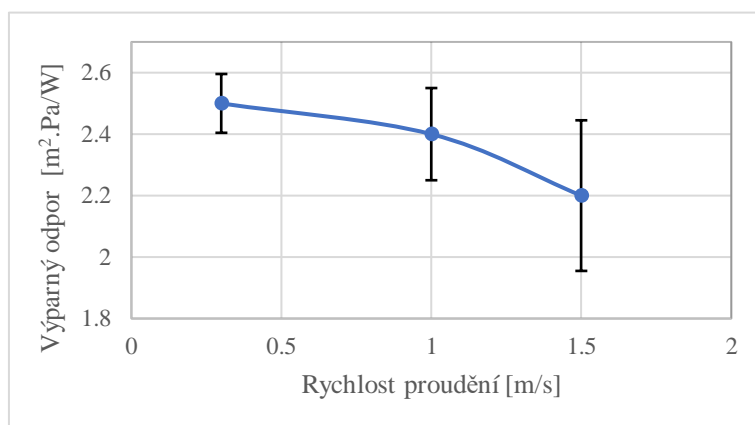
2.5 Analýza výsledků

2.5.1 Vliv rychlosti proudění vzduchu na výparný odpor

Během měření jsou v sérii zjišťovány výparné odpory mezní vrstvy R_{eto} , které klesají s rostoucí rychlostí proudění, následně je zde výparný odpor vzorku R_{et} . Nejprve se určí výparný odpor mezní vrstvy a poté se oba odpory sečtou. V dalším kroku je výparný odpor mezní vrstvy odečten.

V případě, že je vzorek tvořen velmi hustou textilií, jeho výparný odpor nebude záviset na rychlosti proudění v mezní vrstvě. U porézních textilií se vliv rychlosti projevuje (pronikání proudění dovnitř textilie).

Níže je uvedeno grafické znázornění výsledků na základě naměřených hodnot R_{et} při třech rychlostech proudění vzduchu v kanále měřicího přístroje, které zobrazují závislost výparného odporu na rychlosti proudění viz graf 1–11. Z grafů je vidět, že i když rychlost proudění nemá velký vliv, stále určitý je.

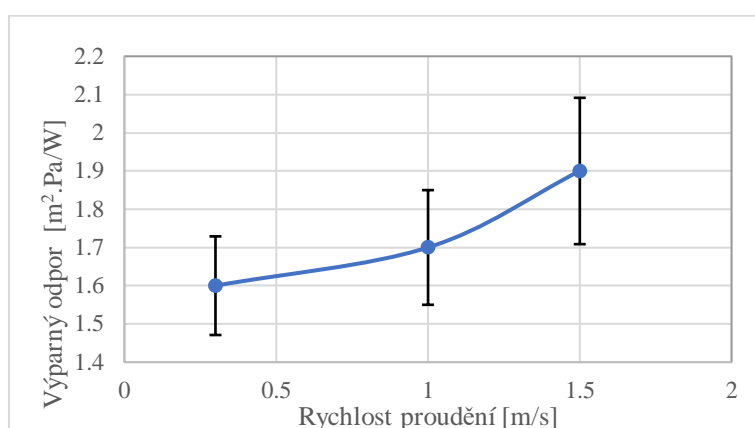


Graf 1. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro polyesterovou tkaninu

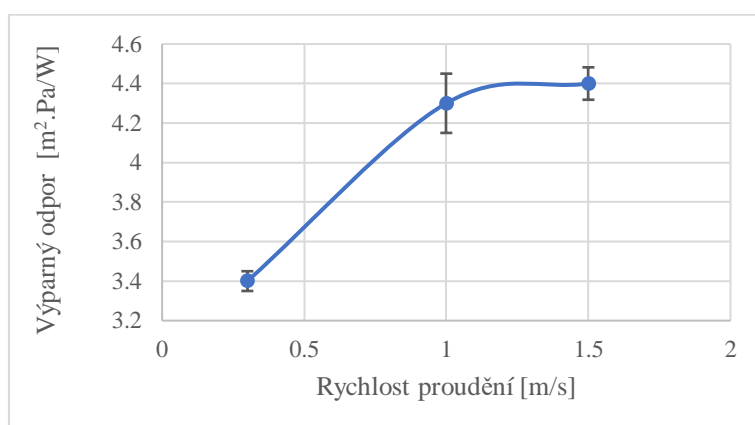
Obvykle se s rostoucí rychlostí proudění vzduchu výparný odpor snižuje. Při rychlosti proudění vzduchu 0,3 m/s (volná konvekce) může být proudění vzduchu okolo těla nedostatečné k odvádění velkého množství vlhkosti. To může způsobit, že vlhkost zůstává uvnitř textilie, což snižuje paropropustnost a hlavně zvyšuje výparný odpor.

Naopak při vyšší rychlosti proudění vzduchu (1 m/s nebo 1,5 m/s) dochází k intenzivnějšímu proudění vzduchu okolo těla, což umožňuje rychlejší odvádění vlhkosti z povrchu pokožky. To vede ke snížení výparného odporu textilie.

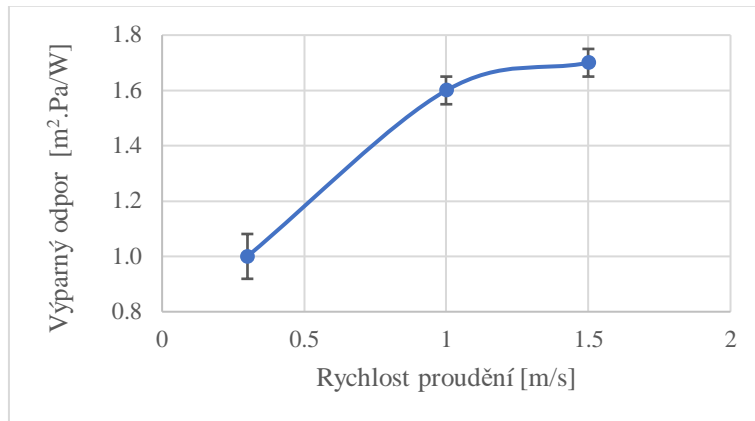
Na grafu 1 je patrné, že s rostoucí rychlostí vzduchu klesá výparný odpor, což potvrzuje předpoklad, že rychlost vzduchu má přímý vliv na výparný odpor.



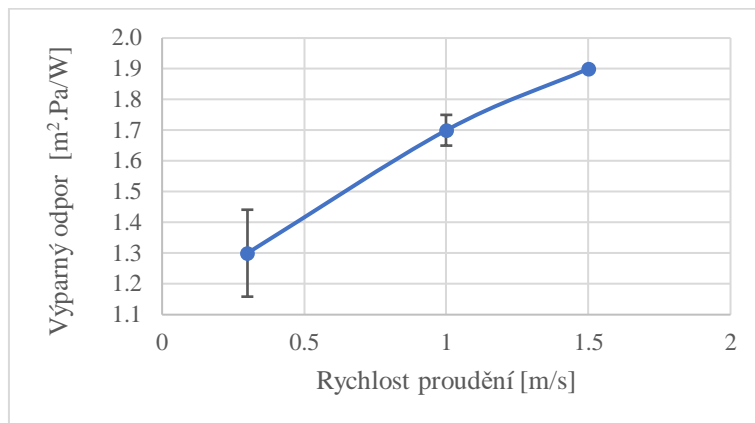
Graf 2. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro bavlněnou tkaninu



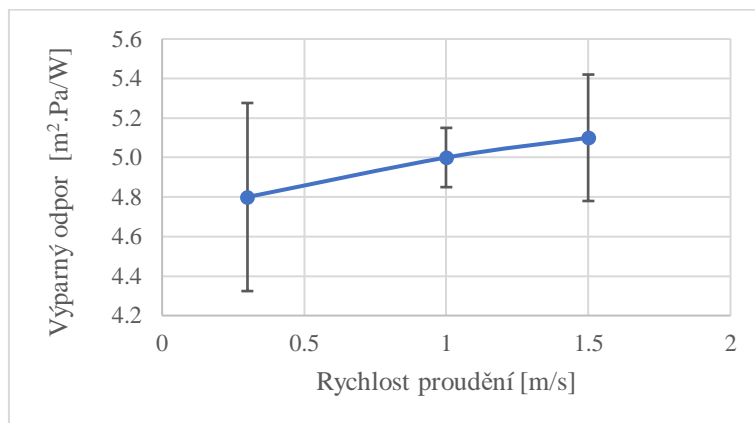
Graf 3. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro polypropylenovou tkaninu



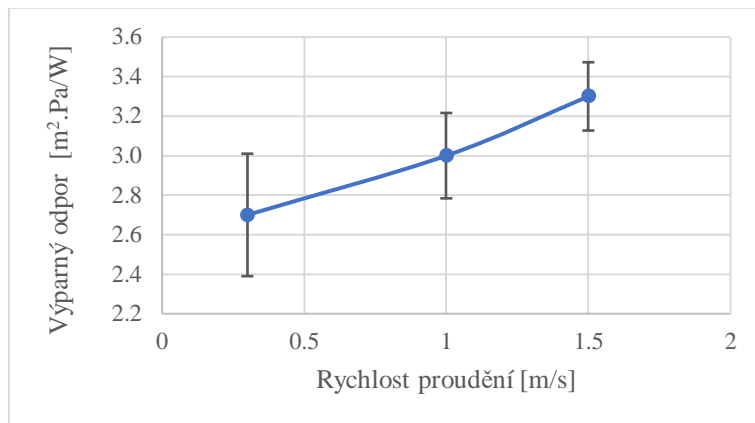
Graf 4. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro polyesterovou pleteninu 1



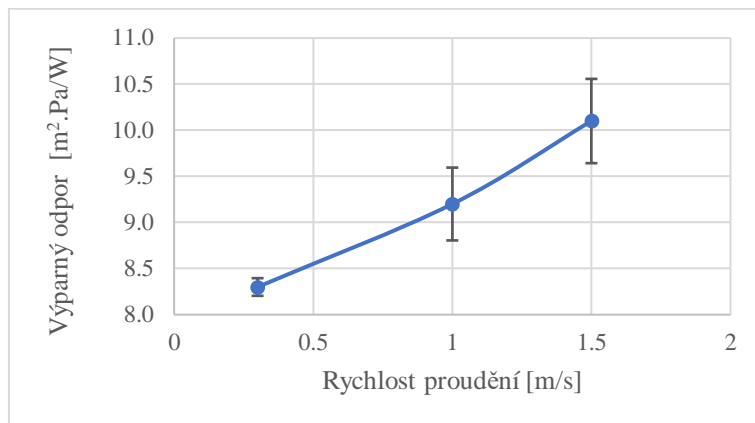
Graf 5. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro polyesterovou pleteninu 2



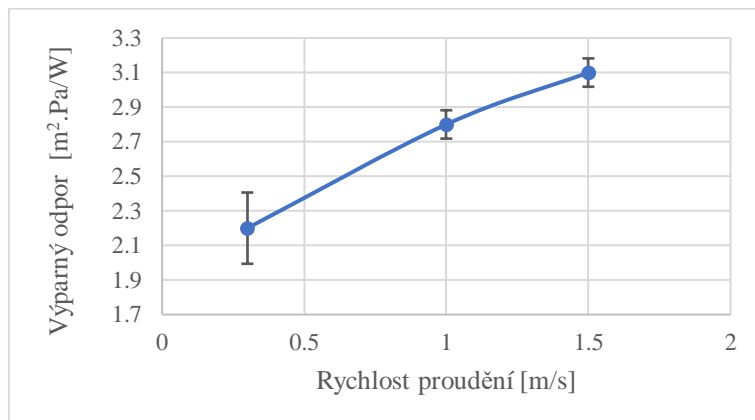
Graf 6. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro dvojistou polyesterovou tkaninu



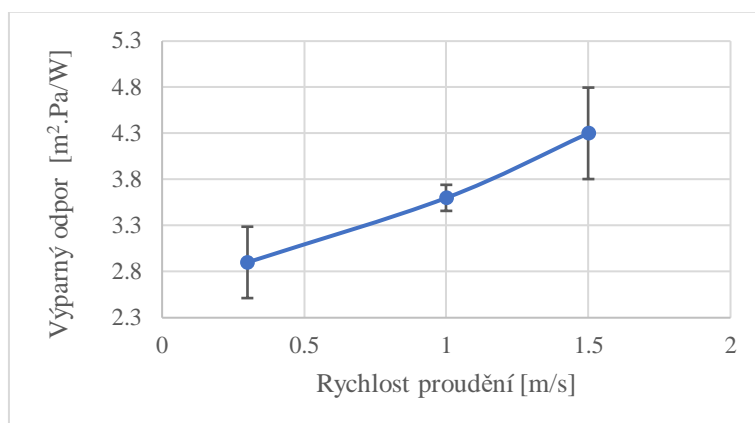
Graf 7. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro dvojitou bavlněnou tkaninu



Graf 8. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro dvojitou polypropylenovou tkaninu



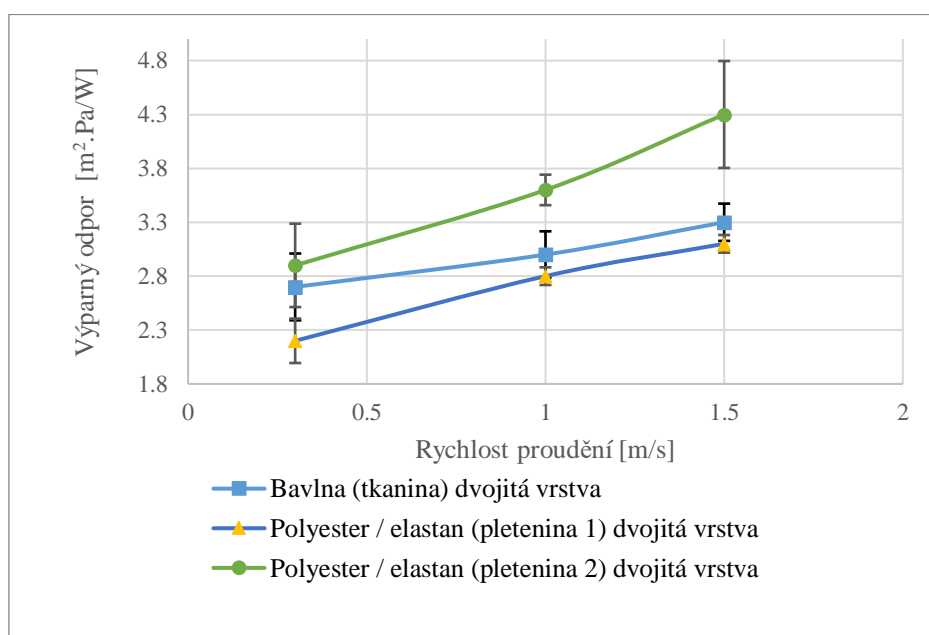
Graf 9. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro dvojitou polyesterovou pleteninu I



Graf 10. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro dvojitou polyesterovou pleteninu 2

U všech materiálů kromě polyesteru se podle naměřených dat výparný odpor zvyšuje, viz graf 2–10, může to být způsobeno dalšími faktory ovlivňujícími výparný odpor.

Struktura materiálu je klíčovým faktorem. I když má materiál vyšší propustnost vzduchu, pokud jeho struktura zadržuje vlhkost uvnitř, může to zvýšit výparný odpor. To se může stát u materiálů s hustší strukturou, která brání odvádění vlhkosti. Například u materiálu s dvojitou vrstvou dochází k udržení vlhkosti na první vrstvě, což snižuje odvádění vlhkosti a zvyšuje výparný odpor. Pro přehlednost jsou na grafu 11 zobrazené materiály s podobným výparným odporem při rychlosti proudění 1 m/s, ale s různou porozitou.



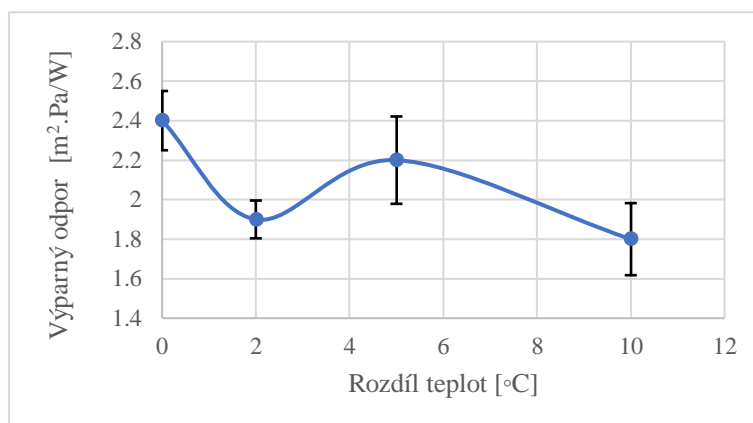
Graf 11. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rychlosti proudění vzduchu pro dvojitou bavlněnou tkaninu a dvojitou polyesterovou pleteninu 1, 2

Různé druhy textilií mají odlišné vlastnosti, které mohou ovlivňovat jejich chování při odvádění vlhkosti. Některé materiály mohou mít tendenci zadržovat více vlhkosti než jiné, což může být důsledkem jejich chemických vlastností, tloušťky a hustoty, povrchové úpravy a dalších faktorů.

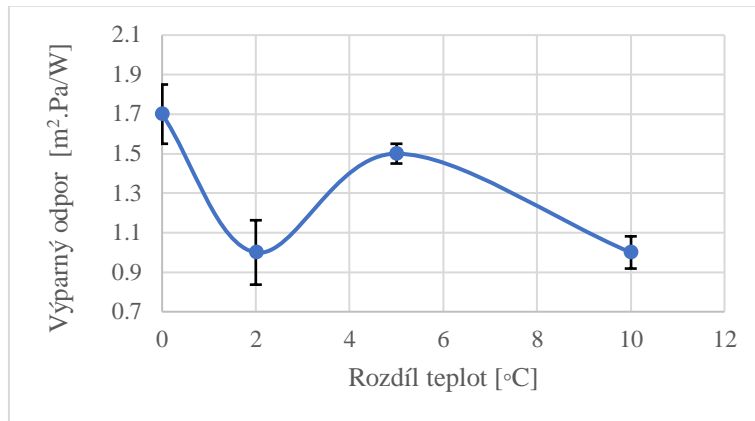
2.5.2 Vliv rozdílu teplot na výparný odpor

Na grafech 12–21 je znázorněna závislost výparného odporu na rozdílu teplot mezi simulovanou kůží a prostředím, ve kterém měření probíhají. Výsledky měření ukazují, že výparný odpor se snižuje se zvyšujícím se teplotním rozdílem mezi simulovanou kůží a prostředím. Při vyšších teplotních rozdílech molekuly vody získávají více kinetické energie, což usnadňuje odpařování vlhkosti z kůže a snižuje výparný odpor. To by vysvětlovalo pokles výparného odporu v rozmezí od 0 °C ke 2 °C. Nicméně, nárůst výparného odporu v rozmezí od 2 °C do 5 °C a následný pokles v rozmezí od 5 °C do 10 °C je trochu neobvyklý.

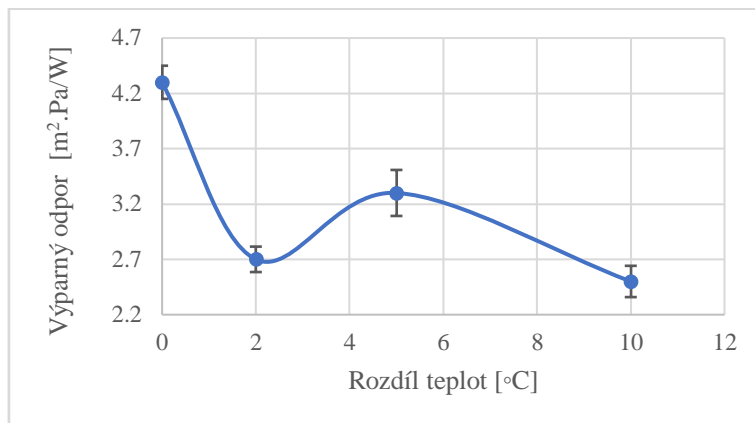
Jedna možnost spočívá v tom, že při vyšších teplotních rozdílech mohou být ovlivněny další faktory, jako je proudění vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a další klimatické podmínky, což může mít dopad na výparný odpor.



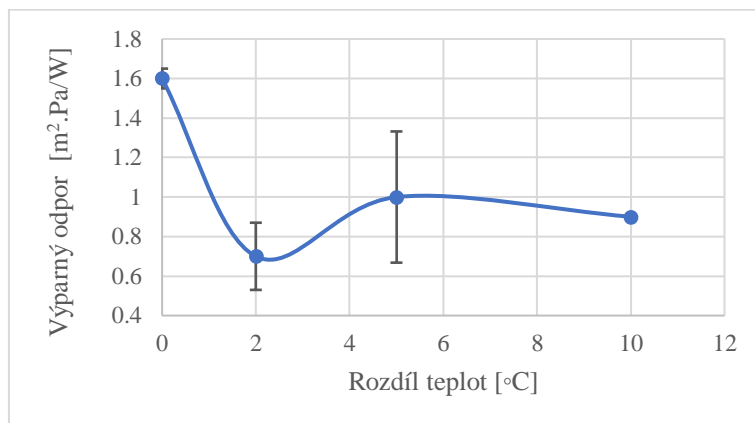
Graf 12. Grafické znázornění střední hodnoty R_{e_i} a rozdílu teplot pro polyesterovou tkaninu



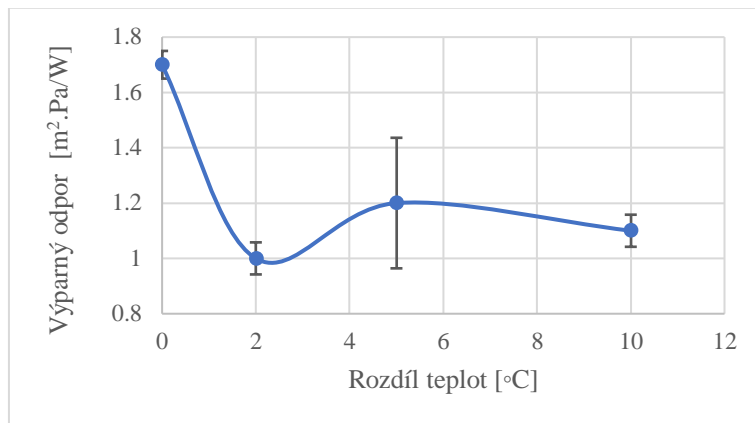
Graf 13. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro bavlněnou tkaninu



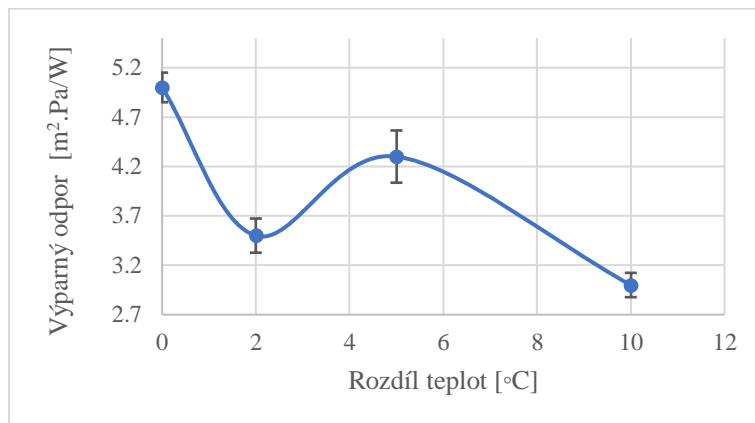
Graf 14. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro polypropylenovou tkaninu



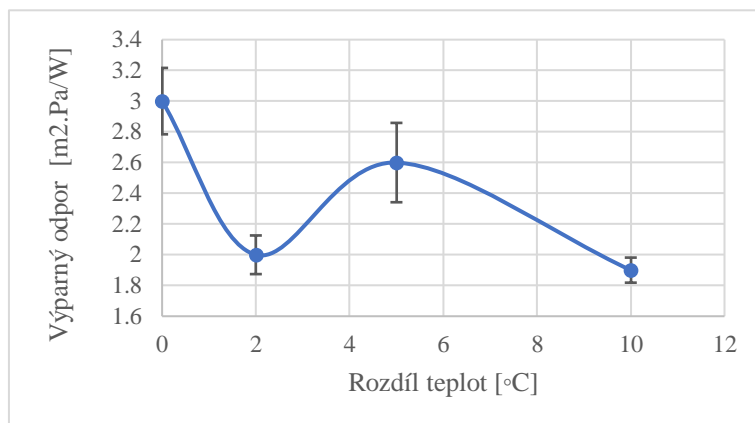
Graf 15. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro polyesterovou pleteninu 1



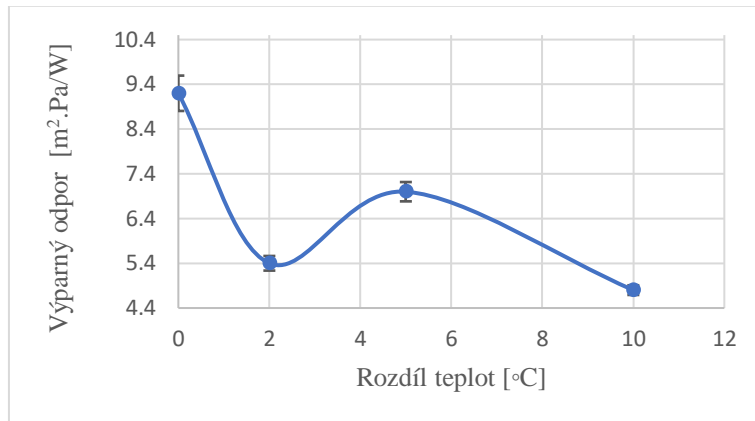
Graf 16. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro polyesterovou pleteninu 2



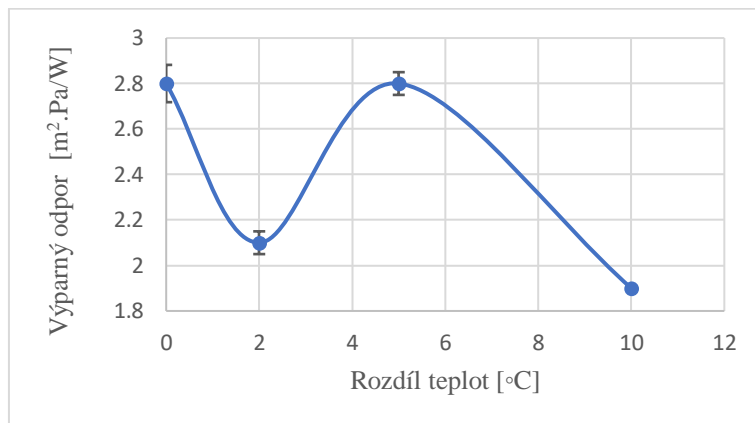
Graf 17. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro dvojitou polyesterovou tkaninu



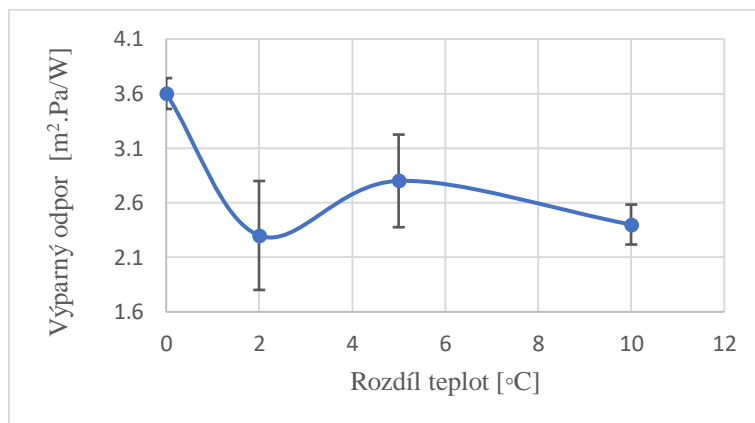
Graf 18. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro dvojitou bavlněnou tkaninu



Graf 19. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro dvojitou polypropylenovou tkaninu



Graf 20. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro dvojitou polyesterovou pleteninu 1



Graf 21. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a rozdílu teplot pro dvojitou polyesterovou pleteninu 2

3 Závěr

Vědomí vlivu rychlosti proudění vzduchu a rozdílu teplot mezi simulovanou kůží a prostředím na výparný odpor má klíčový význam při návrhu a vývoji materiálů pro oděvní a technické účely. Znalost těchto vlivů umožňuje navrhovatelům materiálů optimalizovat strukturu a vlastnosti materiálů, které efektivně reagují na různé klimatické podmínky a poskytují uživatelům maximální pohodlí a ochranu.

Znalost vlivu rychlosti proudění na výparný odpor není zásadní, ale přesto existuje, můžeme aplikovat tuto znalost na vývoj materiálů. Například při návrhu outdoorového oblečení je důležité, aby materiál chránil před nepříznivými povětrnostními podmínkami a zároveň umožňoval odvádění vlhkosti z těla. Při nízké rychlosti proudění vzduchu může být tento proces obtížný, což může vést k pocitu vlhkosti uvnitř oblečení. Materiály s nižším výparným odporem při vyšší rychlosti proudění vzduchu pak mohou poskytnout výhodu tím, že efektivněji odvádějí vlhkost ven z těla. Naopak v extrémních podmínkách, kdy je žádoucí minimalizovat proudění vzduchu, mohou materiály s vyšším výparným odporem a nižší propustností vzduchu lépe izolovat a udržet teplo těla.

Závěrem lze říci, že teplotní rozdíl mezi kůží a okolím má významný vliv na výparný odpor materiálů a jejich schopnost odvádět vlhkost. Při vysokém teplotním rozdílu je preferována nižší hodnota výparného odporu, aby bylo umožněno účinné odvádění vlhkosti z těla a udržení pohodlí uživatele. Naopak při nižším rozdílu teplot mezi kůží a okolím, například v chladném prostředí, je vyšší výparný odpor žádoucí, protože pomáhá udržet teplo a izolovat tělo před chladem. V těchto situacích jsou preferovány materiály s vyšším výparným odporem a lepší izolační schopností.

Seznam použité literatury

- [1] Hes L., Sluka P.: *Úvod do komfortu textilií*. skripta TUL, Liberec 2005, ISBN 80- 7083-926-0.
- [2] Kuneš, L., Veselý, Z., Honner, M.: *Tepelné bariéry*. 1. vyd. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1218-4.
- [3] Wallachová, K.: *Vliv vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií na hodnoty paropropustnosti měřené na přístroji typu Skin Model*. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011.
- [4] Jánský L.: *Vývojová fyziologie I., Základy termoregulace*. Státní pedagogické nakladatelství Praha 1, 1990, ISBN 80-7066-240-9.
- [5] Uruba V.: *Turbulence*. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2014, ISBN 978-80-01-05600-4.
- [6] Gawlasová, Ž.: *Vliv vlhkosti materiálu na tepelné vlastnosti rukavic*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] Hrešková, L.: *Vliv vzduchové mezery, dostavy a složení materiálu na hodnoty paropropustnosti měřené na přístroji typu Skin Model*. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012.
- [8] Neckář, B.: *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. TUL, Liberec, 1989.
- [9] Novotná, M.: *Paropropustnost membránových textilií s repelentní úpravou po expozici vodní sprchou*. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011.
- [10] Hes L., Bogusławska–Baczek M.: *Analysis and experimental determination of effective water vapour permeability of wet woven fabrics*. J. of TATM, Vol. 8, Issue 4, p. 1-8, 2014.
- [11] Macháčková, P.: *Šíření plynné vlhkosti v rovině textilie*. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2017.
- [12] ČSN EN 12127. *Textilie - Plošné textilie - Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků*. Praha: Český normalizační institut, 1997.

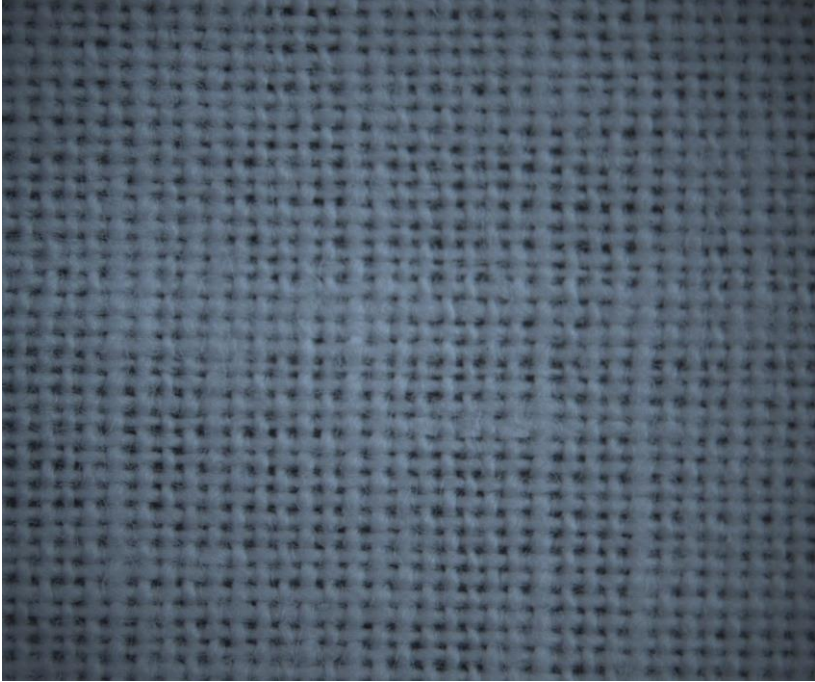
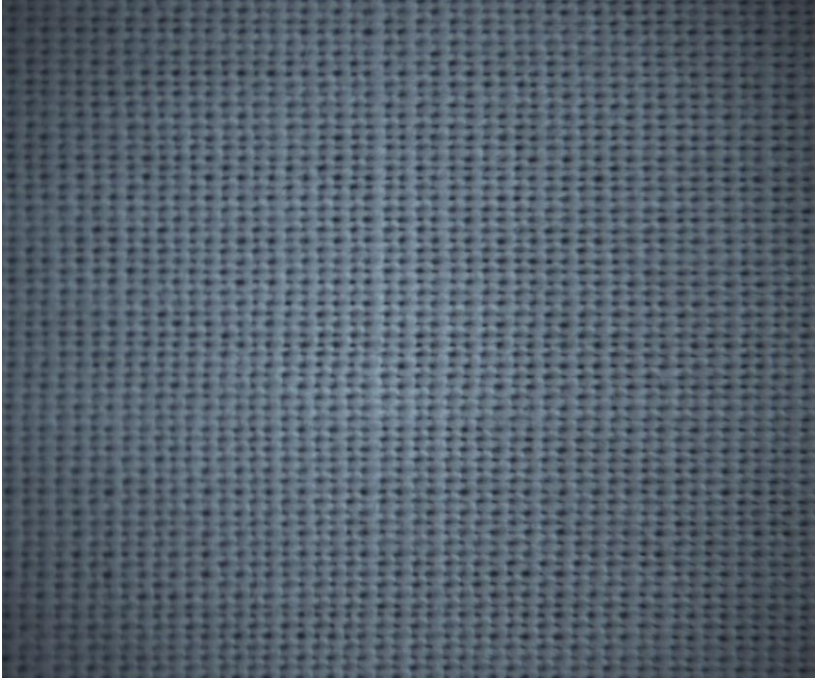
Seznam příloh



Příloha 1 Vzorky

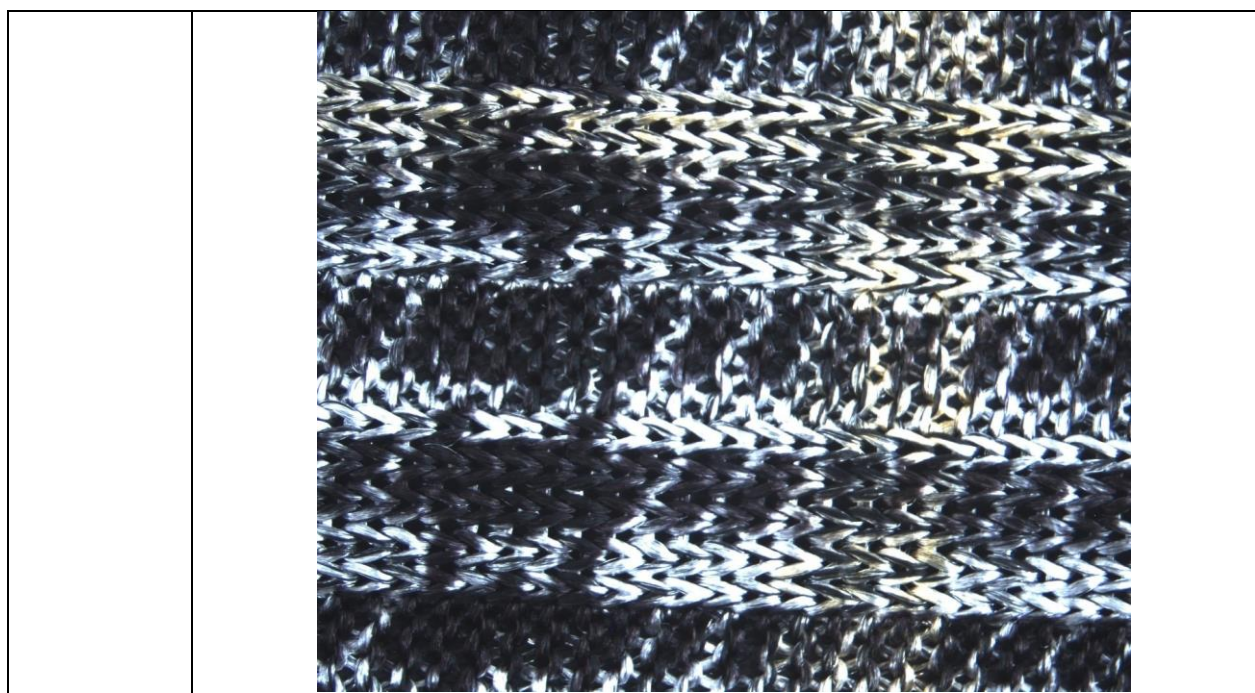
Příloha 2 Tabulky naměřených dat

Příloha 1 Vzorky

Tab 1. Popis vzorků

Číslo vzorků	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka [mm]
1	Polyester	Tkanina, vazba: plátno, 100% Polyester	144,3	0,32
				
2	Bavlna	Tkanina, vazba: plátno, 100% Bavlna	163,7	0,21
				

3	Polypropylen	Tkanina, vazba: kepr, 100% Polypropylen	240,2	0,6675
				
4	Polyester / elastan	Pletenina 1, vazba: obourubní zátažná, 87% polyester / 13% elastan	196	0,405
				
5	Polyester / elastan	Pletenina 2, vazba: oboulíční zátažná, 95% polyester / 5% elastan	212	0,44



Tab 2. Geometrické vlastnosti vzorku

Druh materiálu	m_s [kg/m ²]	h [mm]	ρ_v [kg/m ³]	μ [-]	p [%]
Polyester (tkanina)	0,144	0,320	1350	0,333	67
Polypropylen (tkanina)	0,240	0,667	900	0,40	60
Bavlna (tkanina)	0,163	0,210	1500	0,52	48
Polyester / elastan (pletenina 1)	0,196	0,405	1324	0,365	63
Polyester / elastan (pletenina 2)	0,212	0,440	1340	0,359	64
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	0,288	0,640	1350	0,333	67
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	0,480	1,334	900	0,40	60
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	0,326	0,420	1500	0,52	48
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	0,392	0,810	1324	0,365	63
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	0,424	0,880	1340	0,359	64

Příloha 2 Tabulky naměřených dat

Tab 3. Naměřené hodnoty R_{et} a p při rychlosti proudění 0,3 m/s

Druh materiálu	$R_{et 1}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 2}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 3}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 4}$ [m ² .Pa/W]	R_{et} střední [m ² .Pa/W]	C_v [%]	P [%]	C_v [%]
Polyester (tkanina)	2,4	2,5	2,6	2,6	2,5	3,6	84,6	0,6
Polypropylen (tkanina)	3,4	3,3	3,4	3,4	3,4	1,4	80,7	1,4
Bavlna (tkanina)	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	8,5	89,6	0,9
Polyester/elastan (pleténina 1)	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	8,2	94,2	0,5
Polyester/elastan (pleténina 2)	1,5	1,2	1,3	1,2	1,3	10,0	91,4	0,8
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	4,7	5,5	4,5	4,5	4,8	3,3	73,9	3,3
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	3,0	2,3	2,9	2,7	2,7	11,5	82,6	2,2
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	8,4	8,3	8,2	8,2	8,3	1,2	61,4	1,1
Polyester / elastan (pleténina 1) dvojitá vrstva	2,2	2,2	2,0	2,5	2,2	9,4	85,2	1,5
Polyester / elastan (pleténina 2) dvojitá vrstva	3,5	2,6	2,8	2,9	2,9	12,8	81,4	2,4

Tab 4. Naměřené hodnoty R_{et} a p při rychlosti proudění 1,0 m/s

Druh materiálu	$R_{et 1}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 2}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 3}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 4}$ [m ² .Pa/W]	R_{et} střední [m ² .Pa/W]	C_v [%]	P [%]	C_v [%]
Polyester (tkanina)	2,5	2,6	2,3	2,3	2,4	5,9	70,7	1,7

Polypropylen (tkanina)	4,5	4,4	4,2	4,2	4,3	3,7	60,8	1,5
Bavlna (tkanina)	1,6	1,9	1,8	1,6	1,7	9,3	77,5	2,1
Polyester/elastan (pletenina 1)	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	3,1	78,0	0,6
Polyester/elastan (pletenina 2)	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	3,4	77,5	0,7
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	5,1	4,9	5,2	4,9	5,0	2,7	56,6	1,4
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	3,2	2,7	3,0	3,1	3,0	7,7	68,6	2,6
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	9,5	8,7	9,5	9,0	9,2	4,3	41,6	2,5
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	2,9	2,8	2,7	2,8	2,8	3,5	72,7	1,1
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	3,8	3,5	3,6	3,5	3,6	4,3	67,3	1,8

Tab 5. Naměřené hodnoty R_{et} a p při rychlosti proudění 1,5 m/s

Druh materiálu	$R_{et 1}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 2}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 3}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 4}$ [m ² .Pa/W]	R_{et} střední [m ² .Pa/W]	C_v [%]	P [%]	C_v [%]
Polyester (tkanina)	2,1	2,4	1,9	2,4	2,2	11,7	69,0	4,2
Polypropylen (tkanina)	4,5	4,4	4,4	4,3	4,4	1,8	56,1	1,0
Bavlna (tkanina)	1,9	2,1	1,7	1,7	1,9	9,3	72,2	2,3
Polyester/elastan (pletenina 1)	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,5	73,9	0,4
Polyester/elastan (pletenina 2)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,2	72,0	0,3

Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	4,8	4,9	5,4	5,4	5,1	6,3	51,0	3,0
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	3,1	3,2	3,5	3,2	3,3	6,0	62,4	2,3
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	10,5	10,1	10,1	9,4	10,1	4,6	34,6	3,4
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	3,0	3,1	3,2	3,1	3,1	2,3	67,2	0,7
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	5,0	4,3	3,9	4,0	4,3	11,2	59,2	4,4

Tab 6. Naměřené hodnoty R_{et} a p při teplotě měřící hlavice zvýšené oproti teplotě okolí o 2 °C a při rychlosti proudění 1 m/s

Druh materiálu	$R_{et 1}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 2}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 3}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 4}$ [m ² .Pa/W]	R_{et} střední [m ² .Pa/W]	C_v [%]	P [%]	C_v [%]
Polyester (tkanina)	1,9	2,0	2,0	1,8	1,9	4,7	68,9	1,6
Polypropylen (tkanina)	2,8	2,8	2,6	2,6	2,7	4,0	61,3	1,2
Bavlna (tkanina)	1,0	0,8	1,0	1,2	1,0	17,5	81,1	3,5
Polyester/elastan (pletenina 1)	0,5	0,9	0,7	0,6	0,7	22,8	89,7	2,4
Polyester/elastan (pletenina 2)	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	9,3	81,8	1,7
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	3,4	3,4	3,7	3,3	3,5	5,4	55,6	1,1
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	1,9	2,0	2,2	2,0	2,0	4,6	67,9	1,4
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	5,4	5,2	5,4	5,6	5,4	3,0	44,4	3,7
Polyester / elastan	2,1	2,1	2,2	2,1	2,1	1,7	65,9	0,8

(pletenina 1) dvojitá vrstva								
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	2,2	2,0	1,9	3,0	2,3	21,8	66,2	9,1

Tab 7. Naměřené hodnoty R_{et} a p při teplotě měřicí hlavice zvýšené oproti teplotě okolí o 5 °C a při rychlosti proudění 1 m/s

Druh materiálu	$R_{et 1}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 2}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 3}$ [m ² .Pa/W]	$R_{et 4}$ [m ² .Pa/W]	R_{et} střední [m ² .Pa/W]	C_v [%]	P [%]	C_v [%]
Polyester (tkanina)	2,1	2,1	2,0	2,5	2,2	11,1	75,5	5,5
Polypropylen (tkanina)	3,4	3,1	3,3	3,6	3,3	6,8	66,4	6,3
Bavlna (tkanina)	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	3,2	79,6	0,9
Polyester/elastan (pletenina 1)	0,8	0,8	1,1	1,5	1,0	31,7	86,3	5,7
Polyester/elastan (pletenina 2)	0,9	1,2	1,4	1,4	1,2	19,6	84,9	3,2
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	4,4	3,9	4,2	4,5	4,3	6,2	60,4	5,5
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	2,5	2,9	2,3	2,7	2,6	9,1	72,0	3,9
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	7,0	6,7	7,1	7,2	7,0	2,8	48,7	5,2
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8	1,3	67,3	0,4
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	3,0	2,5	2,4	3,3	2,8	15,3	72,2	8,6

Tab 8. Naměřené hodnoty R_{et} a p při teplotě měřicí hlavice zvýšené oproti teplotě okolí o 10 °C a při rychlosti proudění 1 m/s

Druh materiálu	Ret 1 [m ² .Pa/W]	Ret 2 [m ² .Pa/W]	Ret 3 [m ² .Pa/W]	Ret 4 [m ² .Pa/W]	Ret střední [m ² .Pa/W]	C _v [%]	P [%]	C _v [%]
Polyester (tkanina)	1,9	1,7	1,6	2,0	1,8	11,1	69,6	3,3
Polypropylen (tkanina)	2,4	2,5	2,7	2,4	2,5	5,1	62,0	1,9
Bavlna (tkanina)	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	7,3	80,2	1,5
Polyester/elastan (pletenina 1)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,6	81,5	0,4
Polyester/elastan (pletenina 2)	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	3,9	79,3	0,8
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	2,9	2,9	3,2	3,1	3,0	4,7	57,6	2,2
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	1,9	2,0	1,9	1,8	1,9	5,3	68,4	1,6
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	4,7	4,8	4,7	4,8	4,8	1,2	46,1	0,5
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,1	67,0	0,8
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	2,6	2,2	2,3	2,5	2,4	6,9	62,8	3,1

Tab 9. Naměřené hodnoty prodyšnosti (propustnosti pro vzduch) na přístroji FX3300

Materiál	Měření 1 [l/m ² /s]	Měření 2 [l/m ² /s]	Měření 3 [l/m ² /s]	Měření 4 [l/m ² /s]	Měření 5 [l/m ² /s]
Polyester (tkanina)	702	700	606	663	707
Bavlna (tkanina)	495	662	532	500	497
Polypropylen (tkanina)	115	106	125	105	101
Polyester / elastan (pletenina 1)	1720	1790	1760	1700	1730
Polyester / elastan (pletenina 2)	5250	5310	5560	5610	5180
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	346	336	348	356	343
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	274	253	256	261	264

Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	55,3	56,1	52,6	56,1	49,9
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	786	769	758	813	871
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	2810	2650	2910	2650	2680

Tab 10. Zpracované hodnoty prodyšnosti

Materiál	μ [l/m ² /s]	C_v
Polyester (tkanina)	675,6	0,0632
Bavlna (tkanina)	537,2	0,133
Polypropylen (tkanina)	110,4	0,0872
Polyester / elastan (pletenina 1)	1740	0,0203
Polyester / elastan (pletenina 2)	5382	0,0356
Polyester (tkanina) dvojitá vrstva	345,8	0,0211
Bavlna (tkanina) dvojitá vrstva	261,6	0,0311
Polypropylen (tkanina) dvojitá vrstva	54	0,0501
Polyester / elastan (pletenina 1) dvojitá vrstva	799,4	0,0563
Polyester / elastan (pletenina 2) dvojitá vrstva	2740	0,0422