

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2015

Bc. Tereza Szepesiová

SROVNÁVACÍ ANALÝZA METOD PRO ZJIŠŤOVÁNÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Tereza Szepesiová**
Vedoucí práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.

Liberec 2014



Diploma thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering
Author: **Tereza Szepesiová**
Supervisor: Ing. Petra Komárková, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tereza Szepesiová**
Osobní číslo: **T12000409**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Srovnávací analýza metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše zaměřená na problematiku testování tepelně izolačních vlastností textilních a oděvních materiálů.
2. Výběr textilních materiálů reprezentujících reálné složení oděvních vrstev zajišťujících tepelnou izolaci nositele.
3. Návrh a realizace experimentu zaměřeného na testování vybraných skupin materiálů pomocí vybraných metod testování tepelně izolačních vlastností.
4. Vyhodnocení experimentu s ohledem na optimalizaci testovacích metod pro různé skupiny materiálů a s ohledem na možnost vzájemného porovnání testovacích metod.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- McCullough EA., Huang J., Kim, CS., AnExplanation and ComparisonofSweating Hot Plate Standards, Journalof ASTM International, Volume 1, Issue 7 (July 2004), 13 pp., ISSN: 1546-962X
- Jirsak O., Gok T., Ozipek B., Pan N., ComparingDynamic and Static MethodsforMeasuringThermalConductivePropertiesofTextiles, Textile ResearchJournal, 1998, vol. 68
- Williams, J. T., A ComparisonofTechniquesUsed to AssesstheThermalBurdenofProtectiveClothing, ASTM SpecialTechnicalPublication,1997, vol. 6,pp. 303-313
- Abdel-Rehim Z. S., Saad M. M., El-ShakankeryM.andHanafy I., Textile Fabrics As ThermalInsulators, AUTEX ResearchJournal, Vol. 6, No 3, September 2006
- Platné normy ČSN ISO EN
- Odborné a vědecké časopisy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: 2. listopadu 2013

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2014


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2013

Technická univerzita v Liberci
Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví, FT
Studentská 2
461 17 Liberec

Žádost

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové práce do: **červen 2015**

Název diplomové práce: **Srovnávací analýza metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností**

Jméno vedoucího diplomové práce: **Ing. Petra Komárková, Ph.D.**

Jméno, příjmení a adresa žadatele: **Tereza Szepesiová, Sídliště pod Ralskem 631, Mimoň, 471 24**

Podpis žadatele: *Yzefimova Tereza*

Datum podání žádosti: **10. prosince 2014**

Vyjádření vedoucího práce: *Souhlasím. Souhlasím!*

Vyjádření vedoucího katedry:

Hájek Souhlasím 10.12.2014
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra oděvnictví

Prohlášení

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

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

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

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

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Petře Komárkové Ph.D z Katedry oděvnictví za cenné rady, trpělivost a vstřícný přístup. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Rudolfovi Třešňákovi a Ing. Michalu Chotěborovi za pomoc při měření na přístroji SGHP, a také Ing. Marcele Kolínové Ph.D za rady a seznámení se s přístrojem FOX 314.

V neposlední řadě děkuji své rodině za velkou podporu v průběhu celého studia.

ANOTACE

Diplomová práce pojednává v první části o způsobech a metodách měření tepelně-izolačních vlastností a průzkumu, který byl v této oblasti již proveden. V další části je navržen a popsán experiment, který zkoumá tři odlišné metody měření tepelně-izolačních vlastností. Měřen je tepelný odpor materiálu. Jako materiál je vybrána struktura zimní bundy, která obsahuje širokou škálu materiálů. Cílem je porovnat zkoumané metody i zhodnotit zkoumaný materiál a zjistit zda je materiál pro vybrané metody vhodný či nikoli.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Tepelně izolační vlastnosti, tepelný odpor, tepelná vodivost, oděvní komfort, testování tepelně izolačních vlastností.

ANNOTATION

In the first part of this thesis is explained what thermal insulation properties are and which way they are measured and by who. In next part there is described experiment which was done for this paper. Experiment explores three different measurement methods of thermal insulation properties. Thermal resistance of the material was measured. As the material was selected winter jacket, which contains a few variety of materials. Goal of this thesis is to compare methods and material. In the end this paper try to decide if the used material is suitable for the selected method or not.

KEY WORDS:

Thermal insulation properties, thermal resistance, thermal conductivity, clothing comfort, testing of thermal insulation properties.

OBSAH

ÚVOD	12
REŠERŠNÍ ČÁST	13
1. TERMOREGULACE	13
2. TEPELNÁ IZOLACE	13
3. ZPŮSOBY SDÍLENÍ TEPLA	14
3.1. Přenos tepla mezi člověkem a okolím.....	15
4. TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	18
4.1. Tepelná vodivost.....	18
4.2. Plošný tepelný odpor	19
4.3. Měrná tepelná kapacita	20
4.4. Tepelný tok	20
4.5. Teplotní vodivost	20
4.6. Tepelná jímavost	21
4.7. Tepelná odolnost, tepelná izolace	21
5. PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ.....	22
5.1. Přístroje a metody	23
6. VÝZKUM TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ.....	38
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	43
7. VÝBĚR TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ PRO EXPERIMENT	43
7.1. Struktura zimní bundy	44
7.2. Použitý materiál pro experiment	48
8. NÁVRH A REALIZACE EXPERIMENTU	53
8.1. Měřený materiál – vzorky.....	53
8.2. Použité přístroje.....	56
9. VÝHODNOCENÍ EXPERIMENTU	68
9.1. Vyhodnocení výsledků	69
9.2. Srovnávací analýza – diskuse výsledků.....	72
ZÁVĚR.....	80
CITACE	83
SEZNAM OBRÁZKŮ	87
SEZNAM TABULEK	88
SEZNAM PŘÍLOH	89

PŘÍLOHY	90
<i>Příloha 1 – Regresní a korelační analýza</i>	<i>90</i>
<i>Příloha 2 - Tloušťka materiálu</i>	<i>94</i>
<i>Příloha 3 – Přístroj SGHP</i>	<i>95</i>
<i>Příloha 4 – Přístroj FOX 314.....</i>	<i>98</i>
<i>Příloha 5 – Přístroj TCI</i>	<i>102</i>

Úvod

Diplomová práce se zabývá tepelně izolačními vlastnostmi různé škály materiálů a různými metodami měření těchto vlastností. Tepelně izolačním materiálem rozumíme materiál, který brání průchodu tepla, to znamená, že jeho úkolem je teplo udržovat. Dobrá či výborná tepelná izolace je požadována především v zimě a chladném prostředí, kdy je nezbytné, aby materiál zadržoval teplo. Naopak v teplém prostředí je žádoucí, aby materiál teplo odváděl.

Výrobou tepelně izolačních materiálů se v dnešní době zabývá velké množství firem. Firmy vyvíjejí modifikovaná vlákna s různými průřezy. V dnešní době jsou velmi využívána dutá vlákna s kruhovým nebo trojúhelníkovým průřezem. Důvodem používání dutých vláken je vzduch, který je výborný izolátor. Vlákna na výrobu izolačních materiálů jsou vlákna syntetická, která se dají upravovat a modifikovat. Používají se vlákna, která špatně přijímají vodu, neboť s rostoucí vlhkostí se zhoršují tepelně izolační vlastnosti.

Diplomová práce je rozdělena na dvě části. Část rešeršní, která pojednává o tepelně izolačních vlastnostech a možnostech jejich měření. V rešerši jsou vypsány všechny používané metody na měření tepelně izolačních vlastností. Jsou zde uvedeny metody původní i metody nové. Dále jsou v diplomové práci uvedeny průzkumy a studie, které se již v minulosti zabývaly měřením těchto vlastností a jsou uvedeny i závěry, které byly zjištěny.

Druhá část práce, praktická část se zabývá experimentem, jeho vytvořením, provedením a vyhodnocením. Pro tuto práci bylo stanoveno, že experiment bude měřen na struktuře zimní bundy. U tohoto oděvu jsou požadovány výborné tepelně izolační vlastnosti, a proto jsou na něj kladeny vysoké nároky. Dalším důvodem výběru byla rozsáhlá škála materiálů, jež lze použít v jednotlivých vrstvách, a které je možno různě nakombinovat, a tím vytvořit vrstvenou textilií.

Materiál bude měřen na různých přístrojích. Jedná se o přístroje současné, to znamená, že jsou v dnešní době velmi používané. Experiment bude proveden na přístroji Sweating guarded hotplate, FOX 314 a C-therm technologies.

Cílem práce je provést srovnávací analýzu přístrojů i materiálů, což znamená, že se bude zjišťovat, jaký druh materiálu je vhodný pro daný přístroj, a jaký materiál naopak není vhodný. Dále bude zjištěno, zda jsou přístroje zaměnitelné, či nikoli.

Rešeršní část

1. Termoregulace

Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla (příjem i ztráta), nepřetržitě kolísají. Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož primárním úkolem je udržet stálou vnitřní teplotu okolo průměrné hodnoty 36 - 37°C.

Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem, udržujícím tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické přeměny. Termoregulace je dvojího druhu:

- chemická – tvorba tepla
- fyzikální – výdej tepla [1]

Chemická termoregulace představuje látkovou přeměnu, tedy intenzitu chemických reakcí a tvorbu tepla. Je zároveň závislá na fyzické zátěži organismu a na jeho činnosti. Největší množství tepla se vyprodukuje při namáhavé činnosti.

Fyzikální termoregulace zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu, tedy tvorbu a výdej tepla. [1]

2. Tepelná izolace

Tepelně izolační schopností rozumíme schopnost materiálu bránit průchodu tepla z prostředí chladnějšího do prostředí teplejšího. V chladném prostředí je úkolem materiálu zadržovat tělesné teplo, v teplém prostředí naopak bránit zvýšení tělesné teploty.

Tepelná vodivost textilních vláken, ať přírodních nebo chemických, se podstatně neliší. Je to ve skutečnosti vzduch, uzavřený v textilií, který nejvíce přispívá k tepelně izolačním vlastnostem. Z tohoto důvodu je nutné vhodně volit konstrukci textilií i textilního vlákna a počet vrstev oděvu, aby nedošlo k porušení přirozeného rozdělení teploty na povrchu těla.

Hodnota tepelné izolace se vyjadřuje v jednotkách clo. [2] Jedno clo představuje 0,155 [m²K/W], což v praxi odpovídá průměrnému tepelnému odporu takzvanému business suitu. To zahrnuje úplné pánské oblečení, jako je spodní prádlo, kalhoty,

košile, vesta i sako. Tato hodnota však nezahrnuje odpor vnější mezní vrstvy R_E , protože její odpor silně závisí na rychlosti proudění vnějšího vzduchu. [1]

Tato jednotka je definována jako tepelná izolace oděvu, ve kterém se člověk cítí příjemně, když sedí v klidu, při teplotě okolí 21 °C, průměrné teplotě povrchu lidského těla 33,4 °C, relativní vlhkosti 50 % a rychlosti větru 0,05 [m.s⁻¹]. [2]

3. Způsoby sdílení tepla

Teorie sdílení tepla je značně obsáhlá. Zabývá se procesy přenosu tepla. Přenos tepla je nerovnovážný termodynamický děj, který probíhá s konečnou rychlostí v prostoru a čase.

Základní otázkou teorie sdílení tepla je stanovení závislosti mezi rozdělením teplot a tepelných toků v uvažované soustavě těles, které vznikly v důsledku teplotního rozdílu v této soustavě. Podmínkou sdílení tepla je existence teplotního rozdílu. Sdílení tepla je proces, během kterého dochází k předávání tepla z míst vyšší teploty do míst o nižší teplotě.

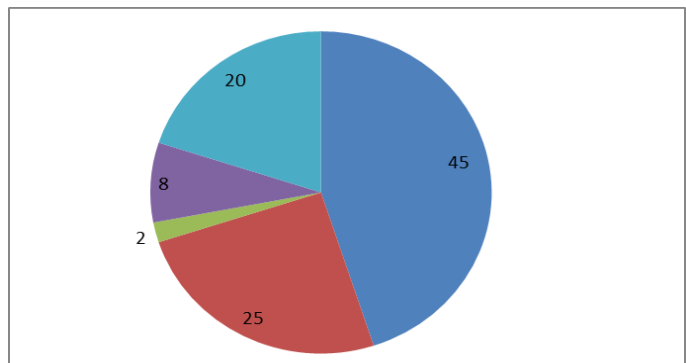
Aby v systému (v prostoru, ve kterém dochází k předávání tepla) došlo k přenosu tepla, musí v něm existovat nerovnoměrnost rozložení teplot. Proto se sdílení tepla týká pouze nehomogenních teplotních polí.

V složitém procesu udržování tepelné rovnováhy organismu má regulace přestupu tepla podstatný význam. Podle toho, v jakém prostředí a na jakých fyzikálních základech se pohyb tepelné energie uskutečňuje, rozeznáváme sdílení tepla vedením, prouděním, sáláním, odpařováním potu a dýcháním.

V podmínkách tepelné pohody a ochlazení činí největší podíl tepelné ztráty sáláním a prouděním (73 - 88 % z celkových teplených ztrát). V podmínkách, které vedou k přehřátí organismu, převládá postup tepla vypařováním. [3]

Ztráty tepla z lidského organismu v běžných podmínkách:

- Sáláním 45 %
- Vedením a prouděním 25 %
- Ohříváním vzduchu při dýchání 2 %
- Odpařováním při dýchání 8 %
- Odpařováním 20 %



Obr. č. 1 Ztráty tepla v běžných podmínkách [25]

3.1. Přenos tepla mezi člověkem a okolím

K přenosu tepla mezi živým organismem a okolím dochází těmito způsoby:

- kondukcí (vedením)
- konvekcí (prouděním)
- radiací (zářením)
- evaporací (odpařováním potu)
- respirací (dýcháním)

3.1.1. Konduktce (přenos tepla vedením)

Kondukcí (vedením) se ztrácí teplo (až 5 %) tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Jde o přenos tepla chodidly, zadní částí těla, které probíhá při sezení či spánku. Vedení tepla je také hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách v oděvních systémech. [1]

Fourierův zákon vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla q [W/m^2], tepelnou vodivostí λ [$W/m.K$] a teplotním gradientem $\Delta t/\Delta x$:

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

3.1.2. Konvekce (přenos tepla prouděním)

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Teplo je transportováno částicemi tekutin pohybujícími se rychlostí v [m/s]. Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří takzvaná tepelná mezní vrstva o tloušťce δ , ve které se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při

laminárním proudění tekutiny a klesá v případě proudění turbulentního. Turbulentní proudění tekutiny nastává v případě, kdy takzvané Reynoldsovo číslo Re převyšuje hodnotu 2300. Tato bezrozměrná hodnota je definovaná vztahem:

$$Re = vd / \nu \quad (2)$$

kde d značí charakteristický rozměr objektu [m] a
 ν znamená dynamickou viskozitu tekutiny [m^2/s].

Při turbulentním proudění je přenos tepla intenzivnější než při proudění laminárním. Proudění lze pak ještě rozdělit na proudění přirozené a nucené. Tepelný tok q [W/m^2] přenášený jakýmkoli druhem proudění vyjadřuje Newtonův zákon:

$$q = \alpha_c (t_1 - t_2) \quad [1] \quad (3)$$

Koeficient přestupu tepla α_c [W/m^2K] je relativně nízký pro přirozené proudění a vzrůstá pro vynucené proudění. Přirozená konvekce se u vlákných materiálů s objemovou hmotností větší než 20 kg/m^3 nevyskytuje, protože vlákna rozdělí vzduch do dostatečně malých pórů. Nucená konvekce se neuvažuje. Teoreticky je těžko popsitelná. U oděvů je tepelně izolační textilie chráněna před větrem vrchní textilií.

U tepelně izolačních textilií s nižší objemovou hmotností se na přenosu tepla převážnou měrou podílí radiace. [5]

3.1.3 Radiace (přenos tepla zářením)

Záření představuje elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti $c = 300\,000\,000 \text{ m/s}$.

Podle vlnových délek rozlišujeme záření gama, dále pak záření rentgenové (RTG), extrémní ultrafialové (EUV), ultrafialové, optické, infračervené, submilimetrové, mikrovlnné a radiové. Na povrch Země dopadá ultrafialové záření UVA (320 až 400 nm) a UVB (280 až 320 nm), infračervené paprsky a viditelné světlo.

Při dopadu záření na povrch může dojít k odrazu záření, k jeho pohlcení, nebo také k průchodu záření objektem. Energetickou bilanci lze vyjádřit rovnicí:

$$E = E_p + E_a + E_t \quad (4)$$

kde E je hustota zářivého toku dopadajícího, E_p je hustota zářivého toku odraženého, E_a je hustota zářivého toku absorbovaného a E_τ je hustota zářivého toku prošlého objektem. [1]

Tok tepla prostupující skrz oděvní vrstvy pomocí infračerveného záření představuje až 25 % celkového tepelného toku. V horkých dnech nebo v horkých zemích způsobuje sluneční záření (viditelné i neviditelné) základní termofyziologický diskomfort.

Podle Wienova zákona je součin absolutní teploty zářiče T [K], a vlnové délky λ_{\max} [μm] odpovídající maximální hladině výdeje energie konstantou, dle následující rovnice:

$$\lambda_{\text{MAX}} \cdot T = 2890 \quad (5)$$

Závislost tepelného toku přenášeného radiací na vlnové délce záření vyjadřuje Planckův zákon. Jeho integrací přes všechny vlnové délky vznikne Stephan – Boltzmannův zákon, který nalezl uplatnění v praxi při výpočtu množství tepla přenášeného infračerveným zářením mezi různými objekty o různé teplotě.

Tento zákon se může použít i k výpočtu tepelného toku q [W/m^2] přenášeného infračerveným zářením mezi dvěma oděvními vrstvami. Příslušný vztah platí pro přenos tepla v propustném prostředí mezi rovnoběžnými rovinami udržovanými na teplotách T_1 a T_2 a s hodnotami emisivity ε_1 a ε_2 , kde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ je radiační konstanta:

$$q = \sigma (T_1^4 - T_2^4) / [(1/\varepsilon_1) / (1/\varepsilon_2) - 1] \quad (6)$$

Další důležitý vztah slouží k výpočtu tepelného toku přenášeného mezi objektem a rozlehlým vzdáleným okolím. Objektem může být i člověk o povrchové emisivitě ε :

$$q = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad [1] \quad (7)$$

3.1.4. Evaporace (odpařování potu)

Sdílení tepla zejména v horkém prostředí, může probíhat odpařováním difúzní vlhkostí a potem. Tímto způsobem člověk vydává do okolního prostředí až 27 %

z celkových tepelných ztrát, z čehož jedna třetina připadá na ztráty odpařování z horních cest dýchacích a dvě třetiny na ztráty odpařováním z povrchu pokožky.

Rychlost odpařování vlhkosti z povrchu těla závisí na rozdílu parciálních tlaků páry v mezní vrstvě u pokožky a v okolním vzduchu, dále na rychlosti proudění vzduchu a propustnosti oděvu pro vzduch a páry a na velikosti povrchu zvlhčeného potem.

3.1.5. Respirace (dýchání)

Tepelné ztráty při dýchání (ohřevem vdechovaného vzduchu) tvoří nevelký podíl celkových tepelných ztrát. Se zvětšením energetických výdajů a snížením teploty vzduchu tepelné ztráty vzrůstají.

V reálném prostředí se nesetkáváme s jednotlivými druhy šíření tepla samostatně, ale v jejich nejrůznějších kombinacích. Stává se však, že některé z nich v daném případě mají rozhodující vliv. [25]

4. Tepelně izolační vlastnosti materiálů

Tepelné vlastnosti jsou velmi důležité vlastnosti textilií. Například tepelná izolace určuje základní funkci oděvů. Většina studií, která byla doposud provedena, se věnuje měření statických tepelných vlastností, jako je tepelná vodivost a tepelný odpor. Tepelně izolační vlastnosti jsou dané nejen fyzickými parametry tkaniny, ale také strukturálními parametry, což může být vazba tkaniny nebo její zakrytí. [6]

Udržení tepla a ochrana proti chladu, eventuálně vysokým teplotám, je jednou z velmi důležitých podmínek pro posouzení tepelně izolačních vlastností materiálů používaných pro extrémní podmínky.

Mezi tepelně izolační vlastnosti patří: tepelná vodivost, plošný tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelná kapacita, tepelný tok a tepelná jímavost. Jednotlivé veličiny spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují. [1]

4.1. Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti λ [W/m.K] a představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. Látky s hodnotami $\lambda < 0,1$ označujeme jako tepelné izolátory (např. vzduch), naopak jako vodiče tepla udáváme látky mající $\lambda > 2$.

Kvalitní tepelnou izolaci charakterizuje nízká tepelná vodivost, která určuje schopnost látky udržet teplo.

Tepelná vodivost různých materiálů se značně liší. Nejvyšší tepelnou vodivost mají kovy, přibližně od 300 [W/m.K], měď a stříbro až po nikl – 15 [W/m.K]. Tepelná vodivost stavebních materiálů a keramiky je relativně nízká od 0,3 do 2 [W/m.K]. Polymery všeobecně vykazují ještě nižší tepelnou vodivost ležící v intervalu 0,2 až 0,4 [W/m.K]. Klidný vzduch při teplotě 20°C má tepelnou vodivost 0,026 [W/m.K], zatímco tepelná vodivost vody je 0,6 [W/m.K], to je asi 25x vyšší. Proto je přítomnost vody v textiliích nežádoucí. [1]

4.2. Plošný tepelný odpor

Velmi důležitou veličinou při hodnocení tepelného komfortu je tepelný odpor R [m^2K/W]. [1] Tepelný odpor udává, jaký odpor klade materiál při průchodu tepla. Tepelný odpor je definovaný jako reciproká hodnota množství tepla prošlého za jednotku plochy při jednotkovém teplotním spádu. Tepelný odpor závisí na vazbě a struktuře textilie, která udává tloušťku a prodyšnost.

Nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím tepelný odpor, a tím přímo i tepelně izolační vlastnosti, je tloušťka materiálu, a to nezávisle na jeho vlákenném složení a hustotě. [4]

Vypočítá se ze vztahu:

$$R = h/\lambda \quad (8)$$

Kde R [m^2K/W] je tepelný odpor, h [m] je tloušťka a λ [W/m.K] je tepelná vodivost.

Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. Tepelný odpor vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima pro $h = 5$ mm. U silnějších vrstev se již významně uplatňuje volné konvekce a tepelný odpor klesá. Celkový tepelný odpor oděvu R_{CL} záleží na odporu a počtu jednotlivých vrstev:

$$R_{CL} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad [1] \quad (9)$$

4.3. Měrná tepelná kapacita

Tepelná kapacita je definována jako schopnost látek přijímat teplo. Přijme těleso teplo dQ [J], zvýší se jeho teplota dT [K].

$$C=dQ/dT \text{ [J/ K]} \quad (10)$$

kde dQ je přírůstek tepla a dT je přírůstek teploty. [1]

4.4. Tepelný tok

Tepelný tok q [W/m^2] udává množství tepla šířícího se z ruky (hlavice přístroje) o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času. Pro krátkou dobu kontaktu přibližně platí:

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

Celkový tok tepla – tepelný výkon Q^* [W] procházející oděvem o ploše A_{CL} vedením v důsledku teplotního gradientu $\Delta t = t_s - t_e$ je dán rovnicí:

$$Q^* = A_{CL} \cdot q = \Delta t \cdot A_{CL} / R_{TOT} \quad (12)$$

Kde R_{TOT} se vypočte ze vztahu $R_{TOT} = R_{CL} + R_E$ (R_{CL} celkový odpor, R_E mezní odpor)

4.5. Teplotní vodivost

Teplotní vodivost a [m^2s^{-1}] vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotní změny. Čím je hodnota a vyšší, tím látka rychleji vyrovnává teplotu (při nestacionárním procesu).

$$a \text{ [m}^2\text{s}^{-1}\text{]} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (13)$$

Kde λ [$W/m.K$] je součitel tepelné vodivosti, c [$J/kg.K$] je měrná tepelná kapacita a ρ [kg/m^3] je měrná hmotnost materiálu.

4.6. Tepelná jímavost

Tepelná jímavost b [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$] je parametr zavedený profesorem Hesem v roce 1986. Tento parametr charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Platí:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (14)$$

Kde λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$] je součitel tepelné vodivosti, c [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$] je měrná tepelná kapacita a ρ [kg/m^3] je měrná hmotnost materiálu.

Jako chladnější se pocítuje hmatem ten materiál, který má větší tepelnou jímavost, to znamená větší b .

Tepelný omak textilií je silně ovlivněn jejich strukturou a složením. Vlákná a vláknenné polymery s vyšší rovnovážnou vlhkostí poskytují také studenější omak. Nejteplejšího pocitu může být dosaženo u materiálů a textilií vyrobených z PVC, PP, PAN, kdežto viskóza, len, bavlna a PAD vlákna vykazují nejchladnější omak. Který pocit je lepší, závisí na nositeli: pro horké letní dny a v teplých oblastech většinou zákazníci požadují chladnější omak oděvů (bavlna), zatímco v severní Evropě je většinou preferováno teplejší oblečení na základě PES/vlna.

Největší změny tepelného omaku textilií způsobuje změna jejich vlhkosti. Protože tepelná vodivost a tepelná kapacita vody je o mnoho vyšší než u polymerních vláken a vzduchu zachyceného v textilní struktuře, tepelný omak oděvů zvlhčených potem může přesahovat 1000 [$\text{W s}^{1/2}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$].

Protože tepelná jímavost textilií je převážně povrchovou vlastností, její úroveň může být značně ovlivněna vhodnou povrchovou finální úpravou, jako je postříhování, broušení a nános úpravárenského prostředku. [1]

4.7. Tepelná odolnost, tepelná izolace

Tepelná odolnost R_{ct} je definovaná jako rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu rozdělenými výsledným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru tepelného spádu. Suchý tepelný tok se může sestávat z jednoho nebo více druhů sdílení tepla: vedením, prouděním a sáláním. Odolnost vůči průniku tepla R_{ct} [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] je

specifickou veličinou pro textilní materiál, nebo pro kombinaci těchto materiálů, která stanoví suchý tepelný tok určitou plochou jako důsledek nepřetržitě působícího tepelného spádu teplot.

Tepelně izolační vlastnosti materiálů se charakterizují tepelnou vodivostí, to je schopnost materiálů vést teplo. Čím je tepelná vodivost nižší, tím je izolace hodnotnější. Jestliže má textilie velký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem, má tato textilie lepší tepelně izolační vlastnosti, protože vzduch je špatným vodičem tepla. Při nehybném vzduchu se tepelná vodivost různých tkanin liší jen nepatrně. Ve větru je tepelná vodivost závislá na prodyšnosti, těsnosti obepínání povrchu těla a na klimatizačních podmínkách. [21]

5. Přístroje na měření tepelně izolačních vlastností

Hodnocení tepelně izolačních vlastností probíhá převážně na základě měření termofyzikálních parametrů materiálů, kterými jsou: tepelná vodivost, teplotní vodivost nebo tepelný odpor. Principem všech metod je přivedení tepla k textilií a následný přechod tepla zkoumaným materiálem. [54] Pro měření tepelně izolačních vlastností existuje mnoho odlišných metod a přístrojů lišících se principem a aplikovatelností.

V následujícím textu je uveden přehled běžně používaných přístrojů, starších typů přístrojů a nových nebo nekonvenčních metod hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií. [8]

Měření je možno provést dvěma způsoby:

- Ve stacionárním stavu – kdy se teplota v závislosti na čase nemění,
- V nestacionárním stavu – kdy se teplota v závislosti na čase mění.

Měření ve stacionárním stavu je spolehlivější a přesnější. Nevýhodou je dlouhá doba ustálení, která někdy může trvat i několik hodin. Všechny používané metody vyžadují dlouhý čas, nebo jsou zatížené experimentální chybou. Izolační schopnost textilie se dá stanovit z tepelné vodivosti a tepelného odporu. [54]

Nebo je možné metody rozdělit takto:

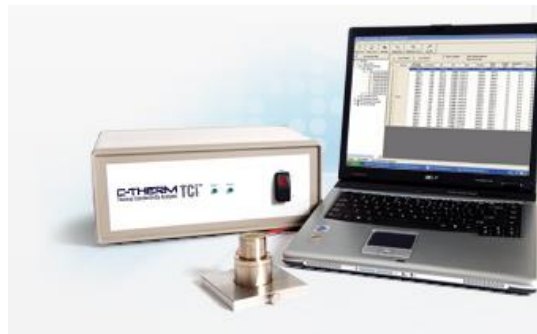
- Metoda ochlazením – model těla je pokryt oděvem, jehož vnější povrch je vystaven okolnímu vzduchu a je měřeno jeho ochlazování.
- Deskové metody - měřená textilie je umístěna mezi dvěma deskami o různých teplotách a je měřena hodnota tepelného toku vzorkem.

- Metody konstantní teploty – model těla je obalen hodnocenou textilií a je měřena energie vyžadovaná k udržení kůže na konstantní teplotě. [8]

5.1. Přístroje a metody

5.1.1. Thermal Conductivity Analyser - C-therm TCI

C-therm technologies LTD je firma, která vyrábí přístroj C-Therm, zkráceně TCI, na kterém se měří tepelná vodivost a tepelná jímavost textilních struktur. Používá se i pro vrstvené materiály. Tento přístroj dosahuje širokého teplotního rozsahu testovaných látek od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. č. 2 C-therm [17]

Používá se nejen v textilním průmyslu, ale i v mnoha jiných odvětvích, jako je letectví, kosmonautika, automobilový průmysl, elektronika, izolace, plasty a podobně.

C-Therm výhody:

- Rychlé testování
- Flexibilní velikost vzorku (bez omezení maximální velikosti)
- Nedestruktivní metoda [13] [28]

Analyzátor tepelné vodivosti TCI je přístroj určený ke zjišťování součinitele tepelné vodivosti textilních struktur převážně plošných textilií. Stanovení tepelných vlastností zkoušených vzorků je časově nenáročné, zobrazení výsledků je okamžité a přístroj tak poskytuje podrobný přehled o materiálu měřeného vzorku. U přístroje není nutná složitá kalibrace ani speciální příprava vzorků, poskytuje široké množství měření součinitele sdíleného tepla vedením pevných látek, kapalin, prášků, past a vláknitých vzorků v rozsahu od 0,1 – do 100 [W/m.K] během velmi krátkého času. Při doplnění přístroje o teplotní komoru umožňuje přístroj měření v teplotním rozsahu od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Přístroj měří tepelnou vodivost a tepelnou jímavost.

Přístroj používá jednostranný kontaktní teplotně odrazivý snímač, skládající se z měřicího čidla, řídicí elektroniky a PC softwaru. Ve snímači se nalézá topné těleso (čidlo) ve tvaru spirály obemknuté ochranným kroužkem. Vzniklé teplo pak proudí v průběhu testu směrem od senzoru do materiálu. Přesně definovaný proud je

aplikovaný na čidlo topného tělesa, které následně produkuje malé množství tepla. Výsledkem je pak nárůst teploty na rozhraní mezi senzorem a vzorkem. Tento nárůst teploty na rozhraní snímače vyvolá změnu, úbytek napětí čidla. Tempo růstu napětí ve snímači se používá k určení tepelně fyzikálních vlastností materiálu vzorku. Tepelná vodivost vzorku je nepřímo úměrná tempu růstu napětí na snímači. Čím je materiál více tepelně izolační, tím strmější je nárůst napětí. Přenos tepla je závislý také na parametrech, jako je druh materiálu, povrch materiálu, smáčivost.

Před samotným měřením je třeba nejprve připravit vzorky, přičemž se doporučuje používání rukavic, aby se zamezilo tepelné kontaminaci zkoušených vzorků. Vzorek se umístí na senzor a vybere se vhodná zkušební metoda. Používá se vždy taková zkušební metoda, která odpovídá úrovni testovaného materiálu. Po spuštění testu zobrazuje výsledky okamžitě softwarový program na připojeném počítači. [46]

5.1.2. Hotplate

Přístroj EY50 Sweating Guarded Hot Plate provádí měření tepelného odporu a paropropustnosti za ustálených podmínek. Materiálem mohou být tkaniny, nátěry, pěny a kůže. Materiály mohou být i vícevrstvé.

Přístroj měří tepelný odpor až do 2000 [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] s rozlišením 0,001 [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]. Odpařovací rozsah odporu je 0-1000 [$\text{m}^2\text{Pa}/\text{W}$] s přesností 1 [$\text{m}^2\text{Pa}/\text{W}$]. Vzduch v komoře se pohybuje s rychlostí do 1,2 m/s. Teplotu zkušební desky je možné nastavit na teplotu od 20°C do 50°C. Velikost desky je 304 mm \times 304 mm a materiál může mít tloušťku až 50 mm. Přístroj má automatický přívod a odvod vody. [18]

Přístroj Sweating guarded hotplate měří podle několika standardů ASTM D 1518, ASTM F 1868 a ISO 11092. Tyto standardy popisují různé metody a možnosti měření na tomto přístroji. Stanovují například jednotky, klimatické podmínky při měření, rychlost proudění vzduchu, název měřené veličiny. Výhodou standardů je, že je možné naměřené hodnoty prezentovat i porovnávat s jinými laboratořemi. [58]



Obr. č. 3 Přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate [47]



Obr. č. 4 SGHP [48]

5.1.3. FOX 314 Instrument



Obr. č. 5 Přístroj na měření tepelné vodivosti FOX 314 [49]

Přístroj FOX 314 je mikroprocesorově ovládaný přístroj na měření součinitele tepelné vodivosti v rozmezí 0,005 – 0,35 [W/m.K] podle norem ASTM C 518, ČN EN 12667 a ISO 8301. Přístroj umožňuje testovat vzorky o rozměrech 305 x 305 mm a tloušťce až 100 mm. Vzorek se vkládá mezi dvě desky, které jsou podle potřeby termoelektricky ohřívány nebo ochlazovány na teplotu od -20 °C až do +95 °C. [45]

Přístroj FOX se skládá z komory a základny, kde je umístěna klávesnice a displej pro ovládání. Všechna elektronika je umístěna v základně. V přední části vzorkové komory jsou umístěna dvířka pro vkládání vzorků mezi dvě desky.

Horní deska je pevná a spodní se může pohybovat směrem nahoru a dolů čtyřmi nezávislými krokovými motory. Čtveřice přesných digitálních senzorů tloušťky

monitoruje polohu všech čtyř rohů spodní desky. Pokaždé kdy je do komory vložen vzorek a sestava je uzavřena, je určena průměrná tloušťka vzorku s přesností ± 0.025 mm (± 0.001 ”).

Termočlánky jsou uchycené uprostřed každého převodníku. Tyto termočlánky jsou umístěné blízko povrchu desek a poskytují přesné údaje o teplotě povrchu vzorků. Obě desky jsou osázené speciálním systémem pro chlazení/ohřev. Skupiny Peltierů jsou používány pro kontrolu teplot obou desek. Vodou chlazené kovové chladiče jsou uchycené k zadní straně peltierů. [29]

Před samotným zapnutím přístroje je vždy důležité ujistit se, že je přístroj připojen k vodě, jinak by mohlo dojít k vážnému poškození přístroje. [45]

5.1.4. Togmeter

Přístroj Togmeter byl vyvinutý britskou společností Shirley Technologies Ltd. A slouží k měření tepelného odporu v jednotkách TOG. Pracuje v souladu s normou ISO 5085 A BS 4745. Je pojmenován podle jednotky TOG definované rovněž Shirley institutem jako vedlejší jednotka tepelného odporu.

Přístroj by měl být používán za standardních laboratorních podmínek podle definice v normě ISO 139, relativní vlhkost je 65% $\pm 2\%$ a teplota 20 °C ± 2 °C. Zkušební vzorky jsou kruhové o průměru 330 mm, bez pomačkání a záhybů. Před zkouškou musí být uloženy na min 24 hodin v klimatizované komoře.

Tato metoda slouží k určování tepelného odporu (tkanin, vrstvených materiálů, netkaných textilií, roun) v ustáleném stavu. Pro stanovení tepelného odporu a tepelné vodivosti textilií je přístroj vybavený teplotními senzory a vyhřívané těleso je ovládané digitálním ovladačem teploty. Přístroj je uložený ve skříni s řízeným prouděním vzduchu.

Na přístroji je možné provést dvě metody měření. První metoda je se dvěma deskami. Používá se normálně pro materiály, které jsou při použití chráněné před okolním vzduchem, to znamená materiály, které jsou zakryté. Druhá metoda je s jednou deskou.



Obr. č. 6 Příklad Togmetr [14]

Metoda se dvěma deskami

U této metody se vzorek textilie pokládá na vyhřívanou desku a na něj je položena studená deska pod tlakem 6,9 Pa. Potom se zapne vyhřívání. Po dosažení ustáleného stavu se odpočítávají teploty v každém z třech termoelektrických bodů CH1, CH2, CH3. CH3 se používá k měření teploty vzduchu. Tato zkouška se zopakuje bez vzorku. [9]

Metoda s jednou deskou

Při této metodě se vzorek položí na vyhřívanou desku, přičemž vnější strana je nezakrytá a strany vzorku je potřeba olepit lepicí páskou. Po dosažení ustáleného stavu je způsob stejný jako u první metody. [7]

5.1.5. Příklad PSM-2

Příklad neslouží jen k testování tepelné odolnosti, ale i k odolnosti vůči vodním parám pro různé textilie za podmínek simulujících lidskou pokožku.

Měření se provádí v klimatizované laboratoři a je řízené pomocí počítačového softwaru. Při měření je testovaná plošná textilie upevněná pomocí dvou rámečků na měřicí podložce a zakrytá víkem. V přístroji je udržovaná přesná teplota testovací podložky 35 °C. Po spuštění měření prochází vodní pára podložkou a testovanou textilií do vzduchového kanálu s kontaktním prouděním vzduchu o rychlosti 1 m/s.

Měření trvá přibližně 15 minut a je vyhodnocené pomocí počítače a instalovaného softwaru. Výsledkem je tepelná odolnost a odolnost vůči vodním parám. [7]

5.1.6. Alambeta

Přístroj vyvinutý profesorem Hesem a Doležalem měří termofyzikální parametry textilií, a to jak stacionární tepelně izolační vlastnosti (tepelný odpor, tepelná vodivost), tak i vlastnosti dynamické (tepelná jímavost, tepelný tok). Jedná se o poloautomatický počítačem řízený přístroj, který je zároveň s měřením schopen vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů, a který také obsahuje autodiagnostický program zabraňující chybným operacím přístroje. Celá měřicí procedura, včetně měření tepelné vodivosti λ , tepelného odporu R , tepelného toku q_{\max} , tloušťky vzorku a statistického zpracování výsledků trvá méně než 3–5 min. Měřicí hlavice přístroje Alambeta je vyhřívána na teplotu 35°C, což je odpovídající konstantní teplota lidské pokožky, která si i po kontaktu s textilií díky průtoku krve tuto teplotu zachová.

Přístroj měří následující parametry:

Všechny níže uvedené veličiny jsou podrobněji popsány v kapitole, která pojednává o tepelně izolačních vlastnostech (viz kapitola 4).

Tloušťka materiálu h [mm].

Měrná tepelná vodivost λ [$W \cdot m^{-1} K^{-1}$], hodnota udávaná přístrojem ALAMBETA se musí dělit 10^3 .

Plošný odpor vedení tepla r [$W^{-1} K \cdot m^2$] = $\frac{h}{\lambda}$; čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je

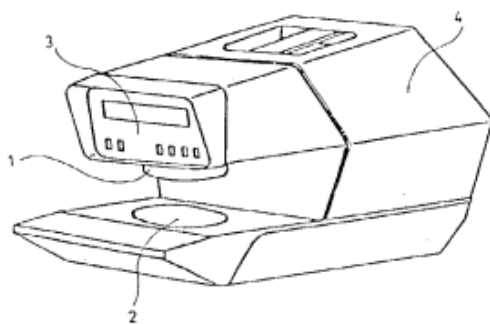
tepelný odpor, hodnotu udávanou přístrojem ALAMBETA je nutno dělit 10^3 .

Tepelný tok q [W/m^2].

Měrná teplotní vodivost a [$m^2 s^{-1}$].

Součinn pc [$J \cdot kg^{-1} K^{-1}$], hodnota na displeji přístroje se dělí 10^6 .

Tepelná jímavost b [$W \cdot m^{-2} s^{1/2} K^{-1}$].



- 1 vyhřívaná měřící hlavice
- 2 měřící podložka
- 3 ovládací panel s displejem
- 4 vyhodnocovací část; umožňuje pohyb měřící hlavy a zajišťuje její definovaný přítlak

Obr. č. 7 Princip přístroje ALAMBETA [50]

Tato metoda je nedestruktivní, minimální velikost vzorku je 10 x 10 cm, maximální hranice není omezena. Pro dosažení přesného měření a nejlepšího tepelného kontaktu mezi vzorkem a měřící hlavicí je důležité vkládat vzorky bez přehybů, zvlnění či nečistot. Proměřovaná místa se musí na vzorku rozmístit tak, aby nedocházelo k opětovnému měření zahřátých míst, anebo je třeba vyčkat úplného vychladnutí vzorku na teplotu okolí.

Před vlastním měřením je důležité nechat nejprve klesnout měřící hlavici bez vložení vzorku, kdy si přístroj nastaví tloušťku $h_0 = 0$. [1]

5.1.7. Potící torzo

Potící torzo je válec o velikosti lidského trupu. Jednotlivé vrstvy materiálů jsou modelovány podobně jako lidské tělo, to znamená, že se skládá z pokožky, podkožní, tukové vrstvy a jádra. Vrstvy jsou vyrobeny z kompaktního teflonu, polyetyleny, polyamidu a alumina. Tyto materiály mají podobné tepelné kapacity a tepelné vodivosti jako příslušné vrstvy lidského těla. Válec může být naplněn vodou pro získání přibližně stejné tepelné kapacity, jako má lidské tělo.

Torzo obsahuje 36 potních trysek. Válec se ohřívá na teplotu lidského těla pomocí topných fólií. Pro určení teplot v jednotlivých vrstvách je na celém torzu umístěno 20 čidel. Pro snížení tepelných ztrát je torzo obklopeno tepelnými kryty. Torzo může být provozováno za konstantní teploty nebo při konstantním příkonu a je umístěno na přesných váhách pro stanovení odpařeného a kondenzovaného množství vody. Přístroj byl vyvinut ve výzkumné laboratoři EMPA ve Švýcarsku. Slouží k měření tepelného odporu a paropropustnosti. [1]

Uspořádání testu:

Potíací torzo je umístěno vertikálně do klimatické komory a je vystaveno proudu vzduchu o rychlosti 2 m/s. Vodní nádrž pro simulaci potu je umístěna na váze mimo klimatickou komoru. Na povrch torza jsou přiloženy zkoušené vzorky a systém je uzavřen vnějším pláštěm.

Měření při příkonu 500 W trvá 4 hodiny a je rozděleno do následujících fází:

První fáze (suchá tepelná izolace)

1 hodina při konstantní teplotě povrchu torza (bez pocení, odpovídající 100 W základního metabolismu člověka za klidu)

Druhá fáze (vysoká aktivita s uvolňováním potu)

1/2 hodiny pocení s přibližně 75 g na torzo a výhřevností 110 W (odpovídající přibližně 500 W tepelné ztráty člověka a uvolnění potu 700 g na člověka)

Třetí fáze (odpočinek)

1 hodina při konstantním příkonu 24 W, bez pocení (odpovídá přibližně 100 W tepelné ztráty člověka při odpočinku)

Čtvrtá fáze (vysoká aktivita s uvolňováním potu)

1/2 hodiny pocení s přibližně 75 g na torzo a výhřevností 110 W (odpovídající 500 W tepelné ztráty člověka a uvolnění potu 700 g na člověka)

Pátá fáze (odpočinek, sušící fáze)

1 hodina při konstantním příkonu 24 W, bez pocení (odpovídající 100 W ztrátě tepla člověka při odpočinku)

5.1.7. Tepelný manekýn

Tepelný manekýn podobně jako vyhřívané torzo nahrazuje lidské tělo tím, že splňuje ty nejzákladnější termoregulační funkce a na rozdíl od torza v některých případech je schopen i omezeného pohybu. Jedná se o tepelný stroj rozdělený až na 17 nezávislých tepelných segmentů. Udržují své povrchové teploty na průměrné hladině 33°C a umožňují přesné měření elektrického příkonu P [W], který je zapotřebí pro věrnou simulaci rozdělení tepla v lidském těle. Z těchto hodnot se vypočítají úrovně tepelného toku odváděného do okolí z těchto zmíněných segmentů. Nejdříve budou tepelné toky pro neoblečeného manekýna změřeny a použity pro výpočet vnějšího odporu těla bez vlivu oděvních vrstev. V dalším kroku je manekýn oblečen. Poté se vypočítá celkový tepelný odpor. [1]

5.1.8. Bioklimatické komory

Bioklimatické komory umožňují simulaci klimatických podmínek v širokém rozsahu. Pro snímání hodnot teplot a vlhkosti používají speciálních čidel, jež jsou napojena na výpočetní systém. Svým principem jde o uzavřené komory, které mají regulovatelné vyhřívání plášťových stěn a přívod vzduchu dané teploty a vlhkosti včetně jeho výměny. Průchodkami ve stěnách jsou vedeny kabely tepelných a vlhkostních čidel, snímačů tepů. Jednotlivé hodnoty jsou registrovány. Teploty v komorách mohou být udržovány v intervalu $- 50^{\circ}\text{C}$ až $+ 60^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkosti pak v celém možném rozsahu.

V komorách se provádějí testy jak na zkušebních osobách, tak na tepelných manekýnech. Testování na živých osobách, které se individuálně liší, vyžaduje použití velkého vzorku zkoušených osob proto, aby hodnoty byly reprodukovatelné. Může zde být měřena paropropustnost nebo pocitové vnímání lidí v různých druzích oblečení s nastavením příslušných klimatických podmínek. [1]

5.1.9. Stanovení tepelné vodivosti Bockovou metodou

Podstatou zkoušky je zjištění tepelné vodivosti rovného vzorku výpočtem hodnot z jeho tloušťky, množství tepla předaného mezi povrchy a rozdílu jejich teplot, a to v ustáleném stavu za definovaných podmínek.

Zařízení se skládá ze dvou vodorovných dutých desek zavlhčených vodou, nebo jinou tepelně nosnou látkou s termostatem. Do horní teplejší desky je vsazené elektricky vyhřívání tělíska deskového tvaru. Elektrický příkon tělíska se seřídí podle předpokládané tepelné vodivosti a tloušťky materiálu. Jeho velikost, určená elektrickým počítadlem, je měřidlem pro tepelný tok. Teplota látky, která prochází deskami, se měří na vstupu a výstupu z desky. Teplota horní desky se udržuje automatickým regulačním systémem.

Při měření se vzorky vloží mezi desky přístroje, zapne se elektrický proud a seřídí se teplota vyhřevného tělíska. Po dosažení ustáleného stavu (kdy se minimálně tři měření po tři minuty neliší o víc jak $\pm 5\%$) se měření ukončí. Dále se odpočítávají hodnoty potřebné pro výpočet tepelné vodivosti. [8]

5.1.10. Měření dle normy DIN 52616

Norma DIN 52616 se používá pro stanovení tepelné vodivosti. Jako materiál pro vyhřívanou desku může být použit kov s velkou tepelnou vodivostí, například měď. Měření je prováděné přes dva oddělené výhřevné okruhy. Při vyšších teplotách se můžou desky elektricky vyhřívat. Měřič tepelného toku je ze základního materiálu a na něm jsou oba povrchy tepelného senzoru.

Určení tepelné vodivosti probíhá pomocí určení hustoty tepelného toku, přes měřič tepelného toku a teplotním rozdílu ve stacionárním stavu. Povrchy desek musí být rovné. Mezi uloženými vzorky nesmí být přítomnost vzduchu. Teplotní rozdíl mezi povrchy vzorku není volen menší než 10 K. [8]

5.1.11. Statická metoda

Statická metoda je metoda na měření tepelné vodivosti, kde dodávané teplo prochází měřeným vzorkem v ustáleném stavu. Měřicí zařízení se skládá ze dvou kovových tlakových nádob. Horní nádoba je ohřívána termostatem s konstantně cirkulující vodou o průtokové rychlosti 5 l/min. Stálou teplotu zajišťuje termostat. Ve spodní nádobě cirkuluje voda o teplotě 20,5 °C. Vzorek je vložen do izolačního mezikruží, zabraňujícímu úniku tepla do okolí. [10]

Vzdálenost mezi oběma plochami je možné měnit stavěcími šrouby podložní desky s přesností desetiny milimetru. Nastavením vzdálenosti se zároveň nastavuje tlak působící na zkoušený vzorek. Tepelný tok měří senzor na povrchu spodní nádoby. Rozdíl teplot mezi povrchy vzorku se zjišťuje pomocí diferenciálního termočlánu. [53]

Aby byl zjištěný skutečný rozdíl teplot mezi horním a dolním povrchem vzorku, je jeden termočlánek umístěný pod povrchem senzoru, který se nachází na dně spodní tlakové nádoby a druhý termočlánek je umístěný nad horním povrchem testovaného vzorku. [10]

5.1.12. Dynamická metoda stanovení tepelné vodivosti

Dynamická metoda měří tepelnou vodivost v nestacionárním stavu. Byla vyvinuta Martinem a Lambem. Základem přístroje jsou dvě měřicí desky, které mají pokojovou teplotu. Mezi tyto desky je vkládán vzorek o teplotě 125 °C. Je zaznamenáván pokles středové teploty a následně zjištěn tepelný rozptyl.

Nevýhodou této metody je ohřátí materiálu na vysokou teplotu, což může způsobit změny ve struktuře materiálu, velmi obtížně se stanovuje čas a teplota počátku chladnutí a není známý tlak působící na materiál, na kterém je tepelný přenos závislý.

Zkušební přístroj je sestaven z nádoby, která je vyhřívána vodou. Dno nádoby, jehož teplota je řízena termostatem slouží jako zářič tepla. Signál snímaný termočlánkem je zpracován zapisovačem. Tlak působící na zkoušený vzorek je přesně dán nastavitelnou vzdáleností mezi dnem nádoby a pevnou podložkou, mezi kterými je vzorek uložen. [11]

5.1.13. Válec s vodou

Tato metoda se řadí mezi nestacionární metody. Metoda je založena na postupném ochlazování povrchu měřeného tělesa. Na válcové nádobě je navlečena sešitá textilie. Do nádoby je nalita voda o počáteční teplotě 80 °C a válec je usazen na tepelně izolační podložku. Je zaznamenáván pokles teploty, k němuž dochází během pokusu. Měří se časová diference potřebná k ochlazení válce z 50 °C na 40 °C a konstanta rychlosti ochlazování. Je to srovnávací metoda a je používána při porovnání úbytku tepla různých druhů plošných textilií. [35]

5.1.14. Kovostav

Přístroj se používá na měření tepelně izolačních vlastností textilií. Mosazná nádobka válcovitého tvaru s tepelně izolovaným dnem a víkem stojí na dřevěné desce s plstěnou podložkou, která částečně omezuje tepelné ztráty dnem mosazného válce. Do nádoby je zalisován rtuťový teploměr. Víko nádoby má otvor pro nalévání vody a zabroušenou zátku z tepelně izolačních materiálů. Zkoušený vzorek se upíná kolem válce. Uvnitř válce je topné těleso s míchadlem. Do válce se nalije voda a ohřeje se za stálého míchání na takovou teplotu, aby zchlazení na teplotu, při které se zkouší, trvalo nejméně 5 minut. [55]

5.1.15. Infračervená kamera – termovizní systémy

Infračervená kamera je zařízení používané k termografické analýze. Svou velikostí je srovnatelná s videokamerou, avšak zatímco videokamera je citlivá na viditelné světlo, které vydává objekt v zorném poli, termografická zařízení jsou citlivá na infračervenou radiaci.

Jsou velmi rychlé a umožňují přímé sledování změn povrchových teplot. Rozložení teploty na měřeném povrchu je na obrazovce zobrazeno termogramem, to je plochou s různým stupněm šedi, popřípadě barevně. Termokamerou lze pozorovat, filmovat, popřípadě zaznamenávat různá paměťová digitální média. [57] Termogram v sobě nese informace nejen o jeho vnitřním stavu a struktuře, ale i o jeho povrchových vlastnostech.

Na základě vyhodnocování teplotních polí, lze získat řadu informací o nejrůznějších jevech a jejich průběhu, které nějakým způsobem souvisejí i se změnou teploty. Výhodou se stává možnost zobrazit vývoj teplotních dat jako funkci času. Software, který zpracovává teplotní data z kamery, může zobrazit graf časových posloupností a umožňuje rozšířit barevnou paletu termogramu k dosažení použitelného obrazu. [56]



Obr. č. 8 Termokamera [15]

5.1.16. Přístroje řady TLP

TLP je relativně nová série měřících přístrojů německé společnosti Taurus Instruments GmbH. Slouží k měření součinitele tepelné vodivosti a tepelného odporu textilních materiálů. Přístroje jsou složeny z elektricky vyhřívané hliníkové desky obklopené shora a zdola chlazenými hliníkovými deskami. Chlazení desky je na bázi kryostatu s Peltiérovými elementy. V závislosti na konkrétním typu měří koeficient tepelné vodivosti v rozsahu 0,015 – 1,5 W/m.K. Teplotní spád je nastavitelný v rozsahu 10-20 K. Typické měření na přístroji je symetrické se dvěma vloženými vzorky mezi střední a dolní desku. Snímacím elementem jsou čtyři fólie osazené pěti až sedmi

termočlánky, které jsou umístěny vždy mezi desku a vložený vzorek. Tloušťka vzorků je přípustná v rozsahu 10 – 360 mm.

Měření na přístroji je řízeno počítačem a je plně automatické, nicméně dlouhé.
[8]

5.1.17. Měření podle norem ASTM

Normy ASTM jsou definovány Americkou společností pro testování a materiály.

Pro zjištění tepelné propustnosti podle normy ASTM D 1518-85 se používá zařízení skládající se z testovací desky, vodícího kroužku a spodní desky. Vše je elektricky vyhříváno na přibližnou teplotu lidské pokožky 33,3 – 36,5 °C. Na desku se umístí testovaný materiál a poté se vloží do klimatické komory, ve které je možno nastavit a udržovat teplotu vzduchu v rozmezí 4,5 – 21,1 °C. Při relativní vlhkosti 20- 80 %. Metoda se používá pro rozsah tepelné vodivosti 0,7 – 14 W/m.K a tloušťku materiálu do 50 mm.

5.1.18. Měření podle normy GOST 6068 – 51

Norma GOST 6068 – 51 se používá na měření tepelné propustnosti za stacionárních podmínek. V tepelně odizolované krabici jsou umístěna dvě zařízení – ohřívač a chladič. Zkoušený vzorek se uloží mezi desky ohřívače a chladiče.

Jedná se o ruskou normu a je zde uvedena pro celkový přehled měřících metod.
[8]

5.1.19. Metoda podle Malčíka

Malčík je autorem zařízení, kde proudění kolem volného povrchu textilie je vyvozeno rotací vytápěného válce, na jehož plášti je upevněn měřený vzorek. Přístroj se jmenoval Termomex a byl jedním z prvních přístrojů pracujících na principu měření množství energie potřebné k udržení konstantní teploty čidla. Čidlo bylo válcové a rotovalo v klimatizovaném prostoru přístroje. Tím se lišilo od čidel, která jsou většinou umístěná ve vodorovné poloze a kolem kterých proudil vzduch paralelně s povrchem. Výhoda válcového čidla byla v tom, že reagovalo na rozdílnou strukturu textilií. Uvádí se, že v praxi se tento přístroj neosvědčil, protože pouhou rotací nebyl zajištěn stabilní teplotní gradient v mezní vrstvě v okolí vzorku.

5.1.20. Přístroj Textocalor FF 16

Výzkumným ústavem textilního průmyslu v Maďarsku byl vyráběn přístroj Textocalor FF 16, u kterého je hodnocená plošná textilie napnutá kolem válcového termostatového tělesa o průměru 50 mm a délky 125 mm. Těleso je vyhříváno nastavitelným příkonem a umístěno ve vzduchotechnickém kanálku, v němž proudí vzduch rychlostí až 10 m/s ve směru kolmém na osu kalorimetrického válce. Teplotu proudícího vzduchu je možné regulovat v rozmezí $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při měření se určuje spotřeba elektrického proudu, který je potřebný pro udržení stavu, kdy teplota po dobu 10 minut kolísá maximálně v rozmezí $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podle zkušeností vyplynulo, že se jedná o málo spolehlivý přístroj. [8]

5.1.21. Metoda podle Markese

Metoda spočívá v tom, že textilie je položena na nekovovou desku. Tato deska, a současně spodní povrch textilie, jsou vytápěny niklovým drátem. Horní povrch textilie je ofukován proudícím vzduchem o rychlosti 3 m/s o známé teplotě a vlhkosti. Měřená tepelná propustnost je úměrná příkonu, který je potřebný k tomu, aby se teplota ohřívací desky udržela na požadované teplotě.

5.1.22. Metoda s využitím součinitele teplotní vodivosti

Jedná se o principiálně jednoduchou metodu vyžadující minimum speciálních zařízení. Byla použita při studiu působení vlákných strukturálních parametrů na tepelnou vodivost textilií. Zkušební vzorek je složen ze 4 – 6 vrstev stejného materiálu a je přiveden do kontaktu s vyhřívanou plochou. Teplotní čidlo je umístěno mezi vrstvami, obvykle pod první z nich. Je zaznamenávána závislost teploty na čase a z této závislosti v oblasti největšího teplotního vzestupu je odvozována teplotní vodivost. [8]

5.1.23. Weissův přístroj

Jeden ze starších přístrojů je přístroj Weissův. Tepelný tok prochází z horní desky přes vložený vzorek směrem k desce dolní. Tloušťka mezery mezi deskami je volně nastavitelná. Teplota vyhřívané desky je regulována takzvaným padáčkovým regulátorem, přičemž je uváděno, že kolísání teploty je nejmenší, je-li během jednoho měření doba, kdy byl přívod proudu vypnut, přibližně rovna době jeho zapnutí. Jedná se tedy o dvoustavovou nejakostní regulaci neschopnou zjistit regulační odchylku blízkou nule.

5.1.24. Optické metody

Shlenskii, Goncharuk a Gaľtsov vyvinuly měřící techniku analogickou optickým metodám měření hustoty a indexu lomu. Princip metody spočívá v ponoření textilie nebo svazku vláken do tekutiny o známé tepelné vodivosti a k určení tepelného odporu textilie se využije změna koeficientu tepelné vodivosti soustavy. [8]

5.1.25. Aerodynamický tunel

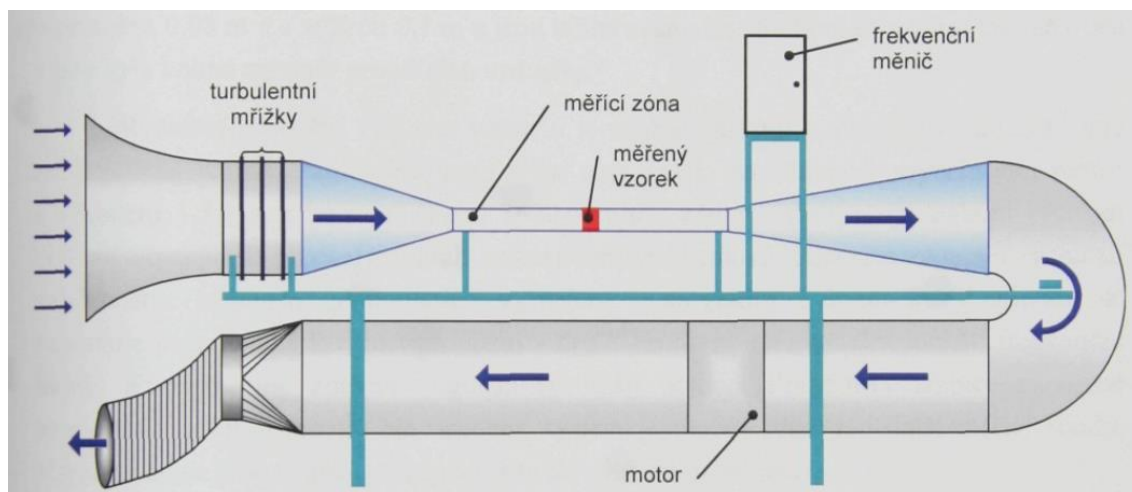
Na katedře oděvnictví Technické univerzity byl v letech 2001-2002 sestaven aerodynamický tunel pro hodnocení prodyšnosti a tepelně izolačních vlastností oděvních textilií za podmínek proudícího vzduchu.

Aerodynamický tunel na katedře oděvnictví pracuje na principu otevřené cirkulace vzduchu. Celková délka větrné trati je 5 m a má jednu měřící zónu s rozměry 0,1 x 0,4 x 1,2 m.

Měřící zóna, spolu se vstupním konfuzorem a výstupním difuzorem, je vyrobena z organického skla, aby bylo možné detailně pozorovat chování zkoumaných textilií.

Přípravky pro zjišťování fyziologických vlastností oděvních materiálů za podmínek proudícího vzduchu, jsou vyhotoveny v podobě kruhového válce o průměru 0,08 m s výškou 0,1 m a jsou umístěny do středu měřící zóny tak, aby osa válce byla kolmá na směr proudícího vzduchu.

Rychlost proudění vzduchu v tunelu je možné nastavit v rozsahu 0 – 20 m/s a je zabezpečena pomocí radiálního ventilátoru napojeného na třífázový asynchronní motor s výkonem 1,5kW a maximálními otáčkami 1420 ot/min. Motor zabezpečuje stabilní rychlost otáčení ventilátoru pro celý rozsah nastavovaných rychlostí. Řízení a regulaci rychlosti zabezpečuje aplikace Automatic. V aplikaci se nastavuje požadovaná rychlost. Program automaticky spouští frekvenční měnič a zabezpečuje zpětnou regulaci rychlosti pomocí Prandtlovy trubice napojené na měřící systém Almemo. Na uvedený systém je možné připojit i další měřící sondy. Všechny údaje jsou snímány a zapisovány do výstupního programu. [16]



Obr. č. 9 Aerodynamický tunel [12]

6. Výzkum tepelně izolačních vlastností

V následujícím textu jsou uvedeny výzkumy a studie, které byly provedeny a týkají se tepelně izolačních vlastností. Každá studie se zabývá jiným materiálem (konstrukcí, vazbou strukturou), přístrojem a samozřejmě jinou tepelně izolační vlastností.

Srovnávací analýza tepelně izolačních vlastností tkanin, vyrobených z přírodních a chemických celulóзовých vláken.

Tato studie byla provedena v roce 2002 institutem Textilní architektury a technické univerzity v Polsku. Výzkum provedli I. Frydrych, G. Dziworská a J. Bilka.

Hodnocení tepelné izolace bylo provedeno u tkanin ze 100 % bavlny a ze 100 % Tencelu (vlákna na bázi celulózy). Příze byly o jemnost 20 tex. Vazba tkaniny byla plátno, canvas a tvíl, přičemž hustota osnovy a útku byla 32 nití na centimetr.

Fyzikální a mechanické vlastnosti všech typů hotových tkanin z Tencelu a bavlny byly hodnoceny podle polských norem. Měření tepelně izolačních vlastností bylo provedeno na přístroji Alambeta. Každý vzorek byl měřen pětkrát a poté se udělal aritmetický průměr.

Pokud se vezme v úvahu vazba tkaniny, je vidět, že hladší tkaniny vykazují vyšší hodnoty (např. tepelná jímavost). Získané výsledky také ukazují, že všechny druhy úprav (škrob, enzymatické látky, dokončovací úpravy) ovlivňují tepelnou

vodivost. Tkaniny z bavlny mají lepší tepelně izolační vlastnosti, než tkaniny vyrobené z Tencelu.

V případě teplotní vodivosti, je vidět, že Tencel má vyšší hodnotu než bavlněná tkanina.

Vliv vazby na tepelnou jímavost je takový, že hladké tkaniny (plátno) dosahují vyšší hodnoty tepelné jímavosti a hrubší tkaniny, jako například kepr vykazují nižší tepelnou jímavost.

Tepelný odpor souvisí s tloušťkou tkaniny. Po měření bylo zjištěno, že hrubší tkaniny (kepr) mají vyšší hodnotu tepelného odporu, zatímco hladké tkaniny mají obecně nižší hodnotu tohoto parametru. S ohledem na strukturu tkaniny, je zřejmé, že hladké tkaniny mají menší tloušťku, to znamená menší tepelný odpor.

Na základě získaných výsledků, bylo zjištěno, že tenké tkaniny z Tencelu je vhodné používat pro letní oblečení. Veličiny jako je tepelná vodivost, jímavost a odpor je ovlivněna strukturou, druhem použité vazby, popřípadě povrchovou úpravou. [21]

Zkoumání tepelně izolačních vlastností u vícevrstvých textilií

Výzkum byl proveden v roce 2006 a provedla ho Malgorzata Matusiak z institutu Textilní architektury.

Cílem této práce bylo zjistit, tepelně izolační vlastnosti jednovrstvých i vícevrstvých textilních materiálů, které se používají pro zimní oblečení. Byly zkoumány – bavlněné tkaniny, tepelně izolační materiál a kombinace obou materiálů.

Bavlněná tkanina byla vybrána, protože je hodně používaná a snadno dostupná. Celkem byly vybrány tři druhy bavlněných tkanin. Jednalo se o kepr s jemností 40 tex, přičemž dostava osnovy byla 25/cm a útku 15/cm. Vzorky mají různou konečnou úpravu, ve třech barvách: žlutá, červená a tmavě modrá. U tepelně izolačních materiálů byla zkoumána netkaná textilie z polyesteru a třívrstvá vpichovaná textilie z viskózy.

Tepelně izolační vlastnosti byly měřeny na přístroji Alambeta.

Podle očekávání, tepelné izolační materiály jsou charakteristické nižšími hodnotami tepelné vodivosti než tkaniny bavlněné. Nejvyšší hodnota teplotní vodivosti byla pozorována u netkané polyesterové textilie, čím více je struktura pórovitá, tím je hodnota teplotní vodivosti větší. Hodnota tepelné jímavosti je vyšší u bavlněných tkanin a tepelný odpor byl nejvyšší u polyesterové netkané textilie. Vzhledem k malému

počtu vzorků, je obtížné jednoznačně posoudit vztahy mezi tepelně izolačními vlastnostmi. [22]

Textilní tkaniny jako tepelné izolátory

Tato studie byla provedena v roce 2006 v Egyptě. Studii provedli Zeinab S. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery a I. Hanafy.

V této práci byly zkoumány 100% polyesterové a polypropylenové netkané textilie. Měření bylo provedeno na přístroji Alambeta. Textilie byly při měření vystaveny různým teplotám, a poté se posuzoval tepelný odpor a chování vzorku. Teploty byly stanoveny na 40, 80, 120, 160 a 200 °C.

Po změření bylo zjištěno, že čím je vyšší tloušťka, tím je lepší tepelná izolace. Také bylo zjištěno, že polyesterové vzorky mají vyšší tepelnou odolnost než vzorky z polypropylenu.

Na základě vypočtených experimentálních výsledků bylo zjištěno, že obě látky mohou být používány, jako tepelné izolátory v rozmezí teplot od 40 do 200 ° C. Studie dospěla k závěru, že vybrané textilie poskytují vysokou tepelnou izolaci. Velmi důležitý je vliv tloušťky. Tepelná odolnost všech vybraných vzorků se zvyšuje se zvýšením hustoty textilie. [23]

Tepelně izolační a tepelné kontaktní vlastnosti tkanin obsahující elasthanová vlákna

Tento výzkum byl proveden v roce 2003 profesorem L. Hesem z Technické Univerzity v Liberci.

Elastanová vlákna, byla vybrána z toho důvodu, že poskytují dobrý komfort a jejich význam v posledních letech roste. Měřená tkanina obsahovala bavlnu s příměsí elasthanových vláken. Každý vzorek byl měřen celkem pětkrát.

Tepelná vodivost kompaktního polyuretanu je 0,4 W/m.K, což je nejméně 2 krát vyšší než hodnota součinitele tepelné vodivosti a tepelné jímavosti tkanin, které obsahují Lycru. Tento předpoklad byl ověřen v následujících experimentech, založených na použití přístroje Alambeta. Měření byly prováděny při pokojové teplotě 24-23 °C a relativní vlhkosti 50-60 %. Kontaktní tlak měřicí hlavy byl upraven tak, aby se postupně měřilo s tlakem 100, 200 a 400 Pa.

Výsledky měření ukázaly, že pokud tkanina obsahuje elastanová vlákna (v tomto případě polyuretan), tím je horší tepelná izolace a omak je chladnější, na rozdíl od tkaniny ze 100% bavlny. [24]

Studie prostupu tepla vícevrstvých oděvních materiálů

Výzkum provedli Apurba Das, Ramasamy Alagirusami a Pavan Kumar v roce 2011a byl proveden v indickém institutu technologií.

Měření bylo provedeno metodou hotplate. Vícevrstvé tkaniny byly vytvořeny pomocí různých kombinací textilních vrstev a vzduchových mezer o různých tloušťkách.

Byly použity různé druhy textilií. Vnitřní vrstvu tvořila 100 % plátňová polyesterová tkanina, střední vrstvu tvořil u každého vzorku jiný materiál a vnější vrstvu tvořila opět polyesterová tkanina.

Měřené vzorky (prostřední vrstva):

A 100 % netkaný polyester o tloušťce 3,2 mm

B 100 % netkaný polyester o tloušťce 5,0 mm

C 100 % polyesterová osnovní pletenina o tloušťce 5,0 mm

D 100% netkaný polyester o tloušťce 20,0 mm

Výsledky naměřeného tepelného odporu [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$]

A 0,303

B 0,349

C 0,244

D 1,430

Z měření vyplývá, že největší odpor byl naměřen u vzorku D, kde prostřední vrstvu tvořil netkaný polyester o tloušťce 20,0 mm, z čehož vyplývá, že měření je závislé na tloušťce vrstev. Čím větší tloušťka, tím vyšší hodnota tepelného odporu. [26]

Měření tepelného odporu tkanin v oblasti přirozené a nucené konvekce

Studii v roce 2008 v indickém institutu technologií provedli D. Bhattacharjee a V. K. Kothari.

Cílem této studie bylo porovnat tepelný odpor v oblasti přirozené a nucené konvekce přes tkaninu. Měření bylo provedeno metodou hotplate. Rychlost vzduchu byla 1 m/s.

Vědci uvádí, že nejdůležitějším faktorem, který určuje tepelný odpor je tloušťka materiálu a tlak, kterým se na materiál působí. Mnozí pracovníci používali různé úrovně tlaku ve studii. Téměř lineární vztah mezi tloušťkou a hodnotou tepelného odporu byl nalezen mnohými pracovníky. Mnozí vědci také prokázaly velkou korelaci mezi tepelnou izolací a plošnou hmotností tkaniny. Struktura látky je také důležitá v souvislosti s její tepelnou izolací.

Bylo zjištěno, že přístroj hotplate poskytuje reprodukovatelné výsledky, až na dvě desetinná místa. Bylo testováno celkem 50 tkanin (směs bavlna, polyester) v režimu přirozené a nucené konvekce. V každém případě byly zkušební podmínky stejné. Teplota byla udržována na konstantní teplotě 20 °C a relativní vlhkost vzduchu byla 65 %. Průměrná doba jednoho testu se pohybovala okolo 5 hodin, během této doby došlo k ustálení stavu (to znamená, že nedošlo k žádné změně v teplotě po více než 30 minut).

Nejběžnější forma statistické analýzy je regresní model. V tomto výzkumu, je nutné zkontrolovat účinky různých konstrukčních parametrů na tepelný odpor tkaniny. Z tohoto důvodu byla provedena regresní analýza.

Bylo zjištěno, že tepelný odpor při nucené konvekci, je menší, než je tepelný odpor přirozené konvekce. To je přičítáno vyššímu tepelnému toku, který probíhá při nucené konvekci. Vzhledem k tomu, že tepelný odpor je funkcí všech konstrukčních parametrů, není možné změnit jeden parametr tak, aby byly ostatní parametry neměnné.

[27]

Experimentální část

Experimentální část diplomové práce se bude zabývat srovnávací analýzou metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností. Celkem budou porovnány tři přístroje, které měří tepelně izolační vlastnosti a měření bude provedeno na zimní bundě, respektive struktuře zimní bundy. Zimní bunda byla vybrána z toho důvodu, že jsou na tento oděv kladeny vysoké nároky, co se týče komfortu a tepelně izolačních vlastností.

Cílem diplomové práce není jen porovnat zmíněné tři přístroje, ale jejím dalším cílem je porovnat vhodnost metod pro materiály, ze kterých se skládá zimní bunda.

Nejprve budou měřeny jednotlivé vrstvy zimní bundy samostatně a poté se vytvoří z těchto materiálů vrstvená textilie, tzv. „sandwich“ a bude sledováno jak se tepelná izolace jednotlivých vrstev a vrstvené textilie mění, a také bude zjištěno, jaké materiály jsou pro vybrané přístroje vhodné či nevhodné. Výsledkem práce by mělo být i posouzení, zda jsou vybrané přístroje zaměnitelné, či nikoli.

Experiment bude proveden na přístroji SGHP, FOX 314 a TCI neboli C-therm. Podrobněji byly tyto přístroje popsány výše. (viz. Kapitola 5)

7. Výběr textilních materiálů pro experiment

Pro diplomovou práci bylo stanoveno, že měření bude provedeno na struktuře zimní bundy. Důvodem výběru byla rozsáhlá škála materiálů, ze které se zimní bunda skládá. Dalším důvodem výběru zimní bundy bylo, že je to důležitý oděv, který poskytuje tepelně izolační vlastnosti a jsou na něj kladeny vysoké nároky. Zimní bunda se zpravidla skládá ze tří vrstev. Většinou to bývá hustě dostavená tkanina, popřípadě tkanina s membránou, dále výplňková textilie o různé plošné hmotnosti, a vnitřní vrstvu může tvořit tkanina (i počesaná) nebo osnovní pletenina. Kombinace materiálů je tedy téměř neomezená.

V současné době nabízí trh velké množství různých zimních bund. Většinou se jedná o textilie, které mají schopnost propouštět vlhkost ve formě vodní páry a současně zabráňují průchodu kapalné vlhkosti z okolního prostředí. V neposlední řadě jsou pro zimní bundy velmi důležité tepelně izolační vlastnosti, které byly popsány výše (viz.

Kapitola 2). Dalšími požadavky na zimní bundy jsou estetika, komfort při nošení, trvanlivost, a také snadná údržba.

7.1. Struktura zimní bundy

Zimní bunda se skládá z více vrstev, nejčastěji dvou nebo tří. Jedná se o **vnější vrstvu**, což je obvykle tkanina s hustou dostavou a materiálovým složením polyester nebo polyamid, popřípadě směs obou zmíněných materiálů, která může mít na povrchu polyuretanový nebo jiný zátěr. V současnosti se velmi využívají lamináty, dvojvrstvé nebo třívrstvé. Další vrstvu tvoří **výplňkový materiál** o různé plošné hmotnosti, většinou 133 g/m². Hodnota plošné hmotnosti byla zjištěna provedením průzkumu. Průzkum byl proveden po kamenných obchodech a e-shopech. Tato plošná hmotnost byla udávána skoro u každé bundy. Trendem je používání dutých vláken nebo vláken s tvarovaným průřezem. Poslední vrstvou je **podšívka**, což může být tkanina nebo osnovní pletenina, v některých případech se používá fleece (počesaná pletenina). [30]

7.1.1. Vnější vrstva

Tkanina

Tkanina u zimní bundy může být vyrobena následujícími způsoby:

- tkanina s hustou dostavou - vyrábí se z mikrovláknových polyesterových a polyamidových přízí
- tkanina povrstvená - např. mikroporézní vrstva, velikost póru <2- 3µm nebo hydrofilní provrstvení, velikost póru <0,001µm
- laminování s použitím membrán - mikroporézní, hydrofobní membrány, průměr póru 0,1- 3µm (GORE-TEX) nebo neporézní, hydrofilní film, velikost póru <0,001µm, fungující na principu difúze. Tyto membrány absorbují vlhkost na jedné straně a na druhé se vlhkost odpařuje. Výhodou oproti porézním membránám je, že materiál je na povrchu hladký a nevstřebává tuk (nedochází k ucpání pórů) (SYMPATEX).

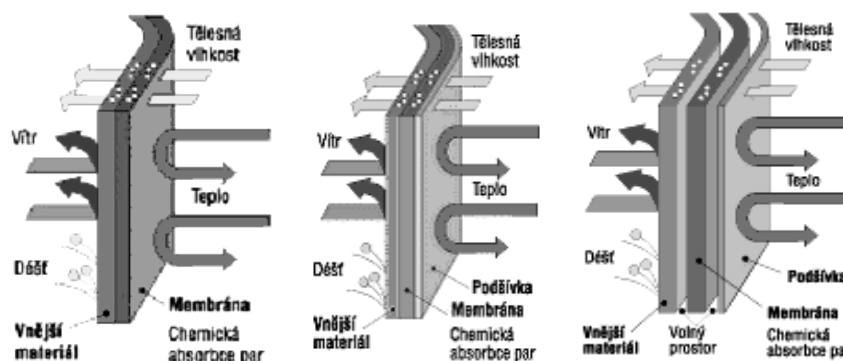
Laminát

Každý materiál, který je označován, jako membrána musí být propustný pro vodní páry, odolný proti působení deště a tlaku vody, a také musí být odolný vůči větru.

Dále by tyto materiály měly být odolné proti mechanickému poškození, odolné při praní a mít nízkou hmotnost.

Výhodou těchto materiálů je přizpůsobivost pro nosnou textilií, žádné omezení s ohledem na technické vlastnosti jako je hmotnost, typ spojení nebo tloušťka. Lamináty se vyrábí dvou nebo třívrstvé.

Nevýhodou je vyšší cena ve srovnání s vrstvenými textiliemi. U dvouvrstevných laminátů je nebezpečí poškození membrány, která není chráněna podšívkou. Švy musí být přelepeny nebo jinak utěsněny. Nevhodné pro elastické materiály.



Obr. č. 10 Třívrstvý laminát, dvouvrstvý laminát, volně vložená membrána [1]

Povrstvené textilie

Výhodou je nižší cena, i když ta je stále vyšší než u textilií s hustou dostavou. Další výhodou je větší elasticita, porézní struktura poskytuje dobrou tepelnou izolaci. Vzniklá vlhkost je rychleji odvedena než u laminátové textilie.

Nevýhodou je naopak nižší mechanická odolnost a nižší dlouhodobá odolnost proti poškození. [1]

7.1.2. Vnitřní materiál

Výplňkový materiál se řadí mezi vložkový materiál, který se vkládá mezi vrchový materiál a podšívku oděvu.

Výplňkový vložkový materiál

Výplňkový vložkový materiál se používá k vyplňování oděvu, nejčastěji do trupové části zimních oděvů, kde se vkládá mezi podšívku a výztužnou vložku. [31]

Výplňkový vložkový materiál může plnit tyto funkce: estetickou funkci, ta zajišťuje modelační funkci v oblasti ramen (ramenní vycpávky). Dále plní funkci tepelně izolační, a to v celé ploše nebo pouze v části oděvu. Vyznačuje se lehkostí,

měkkostí a objemností. S vrchovým materiálem se spojují ozdobným prošitím nebo ve švu. Dále také mohou být spojeny s mikroporézní fólií nebo mohou být na jedné straně opatřeny nánosem termoplastického pojiva. [32] [33]

Výplňkové vložkové materiály se dělí na syntetické a přírodní vložkové materiály. Syntetické výplňkové vložkové materiály se vyrábí technologií netkaných textilií a používají se jako vlákenná rouna z polyesteru nebo polyamidu. Jako přírodní výplňkové vložkové materiály se používá peří. [31]

Přírodní výplňkový vložkový materiál

Jako přírodní výplňkový materiál se používá peří. Má vynikající izolační vlastnosti vzhledem k objemu, hmotnosti a stlačitelnosti. Z peří je nejvhodnější použít prachové peří. Peří se získává pelicháním, sběrem z hnízd (např. kajčí peří) nebo škubáním živé či zabitě drůbeže. [33]

Prachové peří má nejlepší izolační vlastnosti. Toto peří nemá brka, vyrůstá přímo na povrchu těla ptáka a chrání ho před zimou. Nemá tedy žádný stvol, je to v podstatě „vločka“ s velmi jemnými prachovými částicemi, které mají bohatě rozvětvený povrch. Díky tomuto rozvětvení může udržet spoustu vzduchu, který izoluje. [34]

Výhodou peří je, že je stále o něco lepší v tepelně izolačních vlastnosti než syntetické materiály, má velmi dobrou tvarovou stálost a velkou vzduchovou kapacitu. Další jeho výhodou je výborná stlačitelnost a nízká hmotnost. [33] [34]

Nevýhodou je, že absorbuje vlhkost a při navlhnutí se výrazně zmenšuje jeho izolační schopnost. Také mu škodí mu ultrafialové záření, podléhá stárnutí a vyžaduje speciální čištění. Další nevýhodou je, že prach z peří způsobuje alergie a bývá napadeno různými roztoči.

Syntetický výplňkový vložkový materiál

Syntetický výplňkový materiál bývá většinou ve formě rouna. Rouna se vyrábějí chemickým pojením nebo mechanickým vázáním, proplétáním nebo vpichováním, vyznačují se měkkostí, objemností a malou hmotností. Čím více jsou objemnější, tím více zadržují vzduch a jsou hřejivější.

Materiál pro výrobu roun je polyester, polyamid, polypropylen (nebo jejich směsi). Polypropylen je nejlevnějším syntetickým vláknem. Je vhodný především z hlediska jeho nízké sorpce, smáčivosti a nasákavosti. Dalšími jeho vlastnostmi je odolnost v oděru a vůči chemikáliím, dobrá pružnost a nepatrná navlhavost.

Funkce, pro kterou se rouno používá jako výplňkový materiál, je tepelná izolace. Tepelně izolační vlastnosti ovlivňuje také tloušťka, délka, zkadeření a pružnost vláken. Použití jemných, krátkých, zkadeřených vláken umožňuje získat v textilií velký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem.

Tepelná izolace je také závislá na vlhkosti rouna. Se zvyšující se vlhkostí klesá tepelný odpor textilie. Voda je dobrým vodičem tepla, a proto zvyšuje tepelnou vodivost materiálu. Kvalitní tepelná izolace je charakterizovaná právě nízkou tepelnou vodivostí.

Nevýhodou roun je ta, že má-li vrchový nebo podšívkový materiál řidší dostavu, mohou vlákna výplně pronikat skrz materiál na povrch a tam vytvářet žmolky. Zhoršuje se estetická funkce oděvu. [33]

7.1.3. Vnitřní vrstva

Podšívkový materiál

Podšívkové materiály se používají na podšívání některých druhů oděvů. Oděv může být podšit celoplošně nebo může být podšita jen jeho část. Materiál, ze kterého se podšívky vyrábějí, je zpravidla hedvábí viskózové, acetátové, polyamidové nebo polyesterové.

Účelem podšívání je usnadnění oblékání a svlékání oděvů, zakrytí vnitřního vypracování oděvu, zvýšení estetické hodnoty výrobku, ochrana pokožky před podrážděním, a také slouží ke zlepšení tepelné izolace oděvu.

Rozdělení podšivek podle technologie výroby může být na podšívky tkané, netkané nebo pletené. Podle účelu použití se dělí na pánské a dámské. Podšívky tkané se nejčastěji tkají ve vazbě plátňové, ale také může být vazba keprová nebo atlasová. Pletené podšívky jsou vyráběny osnovní nebo zátažnou technologií výroby a jsou prodyšné. Podšívají se jimi sportovní nebo pracovní oděvy. [35]

Pro podšití oděvu může být zvolen i fleec. Fleecový materiál se může použít jako samotná vrstva oděvu, která má funkci tepelně izolační nebo se tímto materiálem můžou také podšívat vrchní oděvy. Vyrábí se většinou ze 100 % polyesteru a může být v různých plošných hmotnostech.

Fleec je lehká a velmi teplá na obou stranách česaná pletenina, která může být opatřena antibakteriální nebo jinou úpravou. Tento materiál je rychleschnoucí a

mechanicky vysoce odolný. Lze ho prát v pračce. Má velmi nízkou hmotnost, vynikající tepelně izolační vlastnosti a dobrou prodyšnost. [36]

7.2. Použitý materiál pro experiment

V následujícím textu budou popsány jednotlivé materiály, respektive jejich parametry, jako materiálové složení, plošná hmotnost a další. Také budou u materiálu uvedeni výrobci.

V dnešní době existuje velké množství firem, které se zabývají výrobou zimních bund, či materiálů pro zimní bundy. Materiál, který byl vybrán pro tuto diplomovou práci, patří mezi vysoce kvalitní a jedná se o známé výrobní značky jako například PrimaLoft® nebo Climashield.

Fleecový materiál byl vybrán, protože je velmi populární. Obvykle bývá použit jako samostatná vrstva oblečení, která se obléká pod bundu. Do tohoto měření byl vybrán pro doplnění.

Tab. č. 1 Plošné hmotnosti měřených materiálů

	Materiál	Plošná hmotnost [g/m²]
Vnější vrstva	Tkanina	129
	Softshell	292
Výplňková vrstva	Primaloft Sport	136
	Primaloft Sport	102
	Primaloft Sport	73
	Climashield	119
	Climashield HL	92
	Climashield Apex	65
Vnitřní vrstva	Osnovní pletenina	76
	Fleece	250
	Fleece	300

7.2.1 Tkanina



Obr. č. 11 Logo značky Polartec [41]

Vzorek tkaniny pochází od firmy Polartec®. Přesný název tkaniny je Neoshell®, což je membránová tkanina vysoké kvality, která poskytuje výborný odvod potu a vodní páry od těla a současně zabraňuje průniku větru a deště k pokožce. Tudíž by měla poskytovat vysoký komfort. Další výhodou je snadná údržba, malá hmotnost tkaniny a odolnost proti mechanickému poškození.

Firma byla založena roku 1906, kdy vyráběla oblečení z vlny pro vojáky v období světových válek. V roce 1956 byla firma přestěhována a prošla řadou inovací. Dnes se firma řadí mezi nejvyšší výrobce outdoorového materiálu a vyrábí materiál i do extrémních podmínek. [41]

7.2.2 Softshellová textilie

Softshellová textilie pochází rovněž od firmy Polartec® a její obchodní název je Power Shield®. Jedná se o tkaninu, která má na rubní straně úplet, který je počesaný. Tato tkanina je odolná před všemi vlivy počasí jako sníh, déšť a vítr. Také má výborné mechanické vlastnosti jako je vysoká odolnost v oděru. Tkanina je pružná a příjemná na omak, což zvyšuje pohodlí při nošení.

Stejně jako tkanina Neoshell®, poskytuje dobrý odvod vlhkosti a zároveň nepromokavost, ale měla by poskytovat ještě vyšší kvalitu při nošení a lepší vlastnosti. [41]

7.2.3 Výplňkový materiál

Výplňkový materiál se vkládá mezi vnější textilii a podšívku, jak už bylo napsáno v předešlém textu. Materiál na vzorky byl vybrán o různých plošných hmotnostech, většinou se však jedná o polyesterové rouno s dutými vlákny. Výrobce pořízených vzorků je firma PimaLoft® a Climashield.

V textu níže je uveden celkový přehled materiálů, které dané firmy nabízí. Pro tuto diplomovou práci bude použit materiál PrimaLoft® Sport a od firmy Climashield bude měřen materiál APEX a HL.

PrimaLoft®



Obr. č. 12 Logo značky PrimaLoft [51]

Firma PrimaLoft® se zabývá výzkumem a vývojem vláken pro textilní izolace. Materiály jsou vysoké kvality a používají se pro outdoorové a extrémní použití. Jejich technologie byla původně vyvinuta pro armádu USA jako syntetická náhrada přírodních výplňkových materiálů (peří). Tento materiál neabsorbuje vodu a tepelně izolační schopnosti se nesnižují ani ve vlhkém prostředí. [37] [38]

Mezi výrobky této firmy patří materiál PrimaLoft® One, PrimaLoft® Sport, PrimaLoft® SYNERGY, PrimaLoft® INFINITY, PrimaLoft® ECO a PrimaLoft® ECO FOOTWEAR. [38]

PrimaLoft® One

PrimaLoft® One používá patentovanou strukturu ultra jemných mikrovláken s dutými vlákny větších a menších průměrů. Díky tomu je v materiálu uzavřeno velké množství molekul vzduchu, které zajišťují jeho tepelně izolační schopnosti i při nižší výšce izolační vrstvy. Díky dutým vláknům větších průměrů jsou jeho vlastnosti zachovány i po dlouhodobém používání, stlačování, praní a sušení.

PrimaLoft® Sport

Materiál PrimaLoft® Sport se od předešlého materiálu liší technologií výroby. PrimaLoft® One byl zcela přepracován s použitím nové Convexion Technology, aby získal větší objem a výkon. Bylo dosaženo o 15% objemnější a teplejší struktury izolačního rouna. Objemnější ultra-jemná vlákna vytvářejí dokonalejší izolaci. Materiál PrimaLoft® Sport má velmi podobné vlastnosti jako peří, a to především v tepelné izolaci, lehkosti, měkkosti, stlačitelnosti a prodyšnosti. [37]

PrimaLoft® SYNERGY

Materiál PrimaLoft® SYNERGY je vícevrstvý výplňkový materiál vyrobený z jemných a ultrajemných nekonečných vláken, které zaručují vysokou tepelnou izolaci a voděodolnost. Jemná a ultrajemná vlákna vytvářejí malé vzduchové kapsy, které udržují tělesné teplo uživatele. Tyto jemná a nejjemnější vlákna jsou konstruována pro trvalé odolnosti proti vodě a vytváří pevné povrchové napětí, které odolává průniku vlhkosti. Materiál PrimaLoft® SYNERGY má největší měkkost a stlačitelnost.

PrimaLoft® ECO

Materiál PrimaLoft® ECO využívá recyklovaného materiálu k vytvoření tepelně efektivního a ekologického izolačního materiálu. Užité vlastnosti má tento materiál stejné jako předešlé materiály. [38]

Climashield



Obr. č. 13 Logo značky Climashield [52]

Značku Climashield vlastní firma HarVest Consumer Insulation, Inc, která sídlí ve městě Clinton v Tennessee (USA). Firma se zabývá výrobky pro armádu, sport nebo rekreaci. Materiály Climashield se používají ve spacákách, přikrývkách, dekách, svrchních oděvech (bundy a kalhoty), rukavicích a obuvi.

Climashield vyrábí různé typy materiálů pro různé použití. Patří mezi ně XP/Apex (vrchní oděvy), Contur (vrchní oděvy), Combat (armádní oděvy, spací pytle), Prism (vrchové oděvy, spací pytle), HL (vrchní oděvy, spací pytle), CL (spací pytle) a Elite (ložní prádlo a přikrývky).

XP/Apex

Podle výrobce se materiál XP/Apex nejvíce podobá peří. Má robustní 3D strukturu, která je podobná peří. Je tvořen tepelně spojenými překříženými vlákny s dutinou trojúhelníkového průřezu. Materiál se vyznačuje vysokou tepelně izolační schopností i za vlhka, nízkou hmotností, dobrou odolností proti stlačení, rychlou vysýchavostí a snadnou údržbou. Je určen pro výplň vrchních oděvů, rukavic a obuvi.[39]

Contur

Materiál Contur je lehčí, slabší a více flexibilnější než materiál XP/Apex. Používá se v bundách, kalhotách, rukavicích a obuvi. Měl by dosahovat téměř stejné tepelně izolační vlastnosti jako materiál XP/Apex přestože jeho plošná hmotnost je nižší. Navíc je tento materiál 100 % recyklovatelný.

HL

Tento materiál dosahuje nejvyšší tloušťky materiálu ze všech výrobků firmy Climashield. Název HL je zkratka pro výraz high-loft, což znamená, že tento materiál má velkou plošnou hmotnost, dosahuje vysoké tloušťky na jednotku plochy. Používá se pro výrobu vrchních oděvů a spacáků. [40]

7.2.4 Podšívkový materiál

Jako podšívkový materiál byla vybrána osnovní pletenina a fleecový materiál. Jedná se o osnovní pleteninu z polyesterového materiálu a fleecový materiál o plošné hmotnosti 250 a 300 g/m². Materiál je 100 % polyester s úpravou proti žmolování. Fleece pochází od firmy Moraviatex pletárna s.r.o.

Moraviatex pletárna s.r.o.

Firma MORAVIATEX s.r.o. s rokem vzniku 2003 se řadí k poměrně mladým firmám, ale její skutečná historie sahá k roku 1994. Hlavním předmětem činnosti je výroba úpletové metráže, přesněji jednolící, oboulící, výplňkové, pique, žakarové, žebrové, froté, patent a finerib. Při výrobě zátažných úpletů se používají různé druhy přízí. Nejvíce bavlna, bavlna s elastanem, směsi bavlna/modal, bavlna/polyester, viskóza, polyester, polypropylen, Kevlar, antistatická vlákna. Úplety jsou vhodné zejména pro výrobu oblečení pro volný čas, funkčního i sportovního prádla, dětského, reklamního oblečení i pro speciální pracovní ochranné oděvy. [42]

8. Návrh a realizace experimentu

Po výběru a stanovení materiálu, na kterém bude proveden experiment, bylo důležité vybrat přístroje, které měří tepelně izolační vlastnosti. Přístroje, které byly vybrány pro experiment, jsou přístroje, které jsou v současné době velmi využívány, to znamená, že patří mezi novější metody měření tepelně izolačních vlastností, a proto by výsledky měly být správné, přesné a dají se použít i pro porovnání s jinými metodami či jinými přístroji.

Měření probíhalo za standardních podmínek používaných pro laboratorní testy. Před samotným měřením byly vzorky po dobu 24 hodin klimatizovány v klimatizační místnosti, kde je teplota vzduchu 20 °C a vlhkost vzduchu byla 65 %. Klimatizování proběhlo podle normy ČSN EN ISO 139 (800056) Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení.

Po klimatizování byly jednotlivé materiály měřeny. Nejdříve byly změřeny samostatné vrstvy, a poté se vytvořila vrstvená textilie, jak je popsáno v předchozím textu.

Každé měření musí být provedeno podle stanovených pravidel (norem), například měření na přístroji SGHP bylo provedeno podle normy: Norma ČSN EN 31092 (80 0819) Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou).

8.1. Měřený materiál – vzorky

Jednotlivý materiál a jeho vlastnosti je podrobně rozepsán v kapitole 7.2., kde je uveden i výrobce jednotlivých materiálů. Jak již bylo uvedeno výše, materiál je měřen samostatně a ve vrstvách. Pro přehlednost jsou uvedeny tabulky, kde jsou vypsány všechny změřené vzorky i vrstvené textilie.

Fleece o plošné hmotnosti 300 g/m² byl z vrstvených textilií vynechán, kvůli velkému vytížení přístroje SGHP. Tento materiál je změřen jen jako samostatná vrstva a v kombinaci se softshellovým materiálem.

Následuje tabulka, kde jsou vypsány všechny samostatné vrstvy. Měřeny byly vždy tři vzorky od jednoho materiálu.

Tab. č. 2 Přehled měřeného materiálu

	Materiál
Vnější vrstva	Tkanina
	Softshell
Výplňková vrstva	Primaloft Sport
	Primaloft Sport
	Primaloft Sport
	Climashield
	Climashield HL
	Climashield Apex
Vnitřní vrstva	Osnovní pletenina
	Fleece
	Fleece

Další tabulka ukazuje vrstvené textilie, respektive složení a kombinace všech vrstvených textilií. Zkratka San. je zkratka pro vrstvenou textilií = „sandwich“.

Jednotlivá písmena v tabulkách znamenají: T – tkanina, PR – Primaloft, P – podšívka, CL – Climashield, FL – fleece, S – softshelový materiál.

V první části tabulky jsou vrstvené textilie složené ze tří vrstev. Vnější vrstva je tkanina, vnitřní vrstva osnovní pletenina a mezi nimi je vždy výplň, přičemž je prostřídáno všech šest výplní o různých plošných hmotnostech.

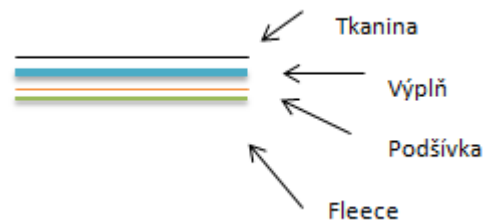
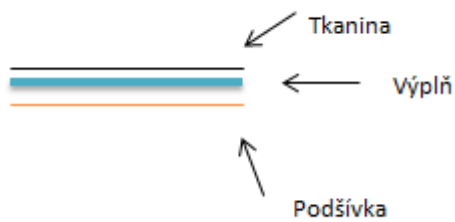
Dále jsou uvedené vrstvené textilie, které mají čtyři vrstvy. Kombinace je stejná jako v předchozím případě, jen je přidán do vrstvené textilie fleece o plošné hmotnosti 250 g/m².

A poslední kombinací je vytvoření vrstvené textilie, kde je vnější vrstva softshellová textilie a pod ní je fleece o různé plošné hmotnosti.

Pod tabulkou jsou pro lepší představu ukázány řezy jednotlivými vrstvenými textiliemi.

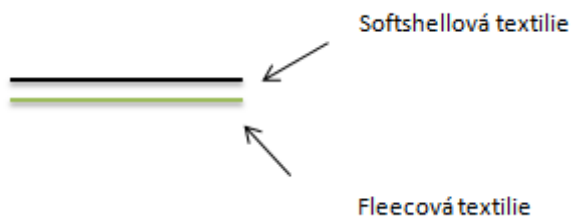
Tab. č. 3 Kombinace a složení vrstvených textilií.

Název vzorku	Složení vzorku
San. 1	T-PR 136-P
San. 2	T-PR 102-P
San. 3	T-PR 73-P
San. 4	T-CL 119-P
San. 5	T-CL 92-P
San. 6	T-CL 65-P
San. 1.1	T-PR136-P-FL250
San. 2.1	T-PR102-P-FL250
San. 3.1	T-PR73-P-FL250
San. 4.1	T-CL119-P-FL250
San. 5.1	T-CL92-P-FL250
San. 6.1	T-CL65-P-FL250
San. 7	S-FL250
San. 8	S-FL300



Obr. č. 14 Řez „Sandwichem“ San. 1-6

Obr. č. 15 Řez „Sandwichem“ San. x.x.



Obr. č. 16 Řez „Sandwichem“ San. 7 a 8

Jak bylo uvedeno výše u přístroje FOX, který může měřit i při teplotách pod bodem mrazu, byly některé vzorky měřeny při teplotě -10°C . V tabulce níže je tedy uveden materiál, který byl při této teplotě měřen. Při této teplotě byly měřeny jen samostatné vrstvy.

Tab. č. 4 Materiál měřený při teplotě -10°C

Název vzorku
Tkanina
Softshell
Primaloft Sport 136 [g/m ²]
Primaloft Sport 102 [g/m ²]
Primaloft Sport 73 [g/m ²]
Climashield HL 119 [g/m ²]
Climashield HL 92 [g/m ²]
Climashield HL 65 [g/m ²]
Osnovní pletenina
Flece 250 [g/m ²]
Flece 300 [g/m ²]

Počet vzorků jednotlivých i vrstvených byl z časových důvodů, spotřeby materiálu a z důvodů velkého vytížení přístroje SGHP stanoven na tři vzorky od jednoho materiálu. Po změření všech vzorků je potřeba provést statistiku a všechny naměřené hodnoty analyzovat.

8.2. Použité přístroje

Pro měření tepelně izolačních vlastností struktury zimní bundy, byly použity tři přístroje, které v současné době využívá velká řada firem a institucí.

V následujícím textu budou popsány vlastnosti jednotlivých přístrojů, velikost vzorku, a také doba měření. Obecné informace o přístrojích jsou v kapitole 5.1. Přístroje a metody.

8.2.1. Tloušťkoměr SDL M034A

Tloušťkoměr byl použit z toho důvodu, že přístroj FOX i TCI měří tepelnou vodivost a výsledky měření bylo potřeba přepočítat na tepelný odpor.

Vztah pro přepočet na tepelný odpor: $R=h/\lambda$ (viz kapitola 4.2.).

Přístroj SDL M034A je určen pro měření tloušťky textilií, které je stanoveno jako měření kolmé vzdálenosti mezi základní deskou, na které je vzorek umístěn a paralelním kruhovým přitlačným kotoučem, který vyvíjí přítlak na zkoušenou plochu textilie. Přístroj je vybaven přitlačnou hlavicí o ploše 20 a 100 cm² a je možno měřit silou 0,1 – 200 N.

Na přístroji se měří podle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků.

Velikost vzorku je neomezená, jen musí být větší, než je velikost přitlačné patky. Vzorky nesmí být poškozeny.

Podstata zkoušky

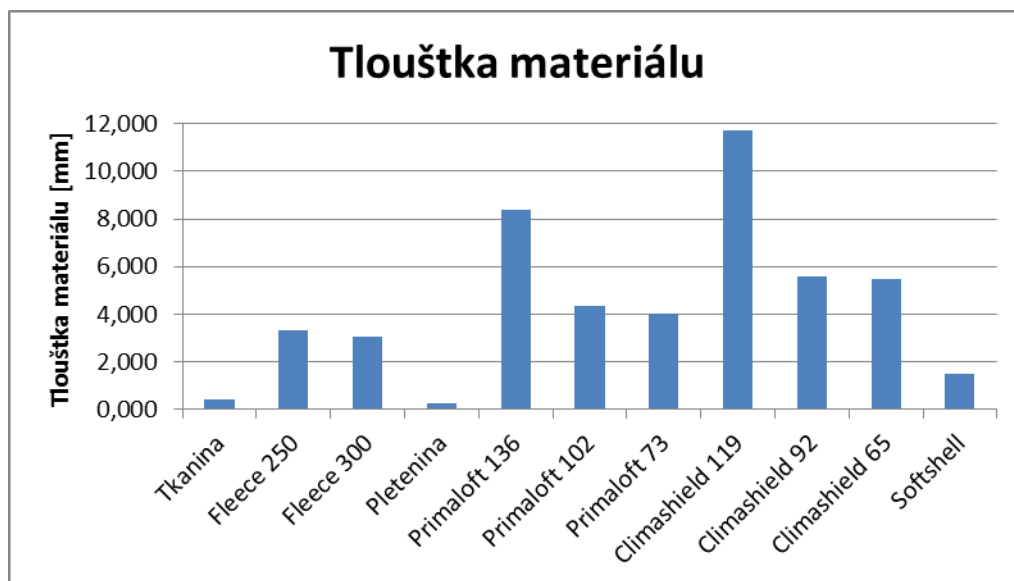
Po zvednutí přitlačné patky přístroje vznikne prostor pro vložení vzorku. Protože vzorek má svoji vlastní hmotnost, je nutné tuto hodnotu od měření eliminovat, vynulováním hodnoty zátěže. Na vzorek textilie působí přitlačná patka velmi pomalou rychlostí do požadovaného přítlaku. Na obrazovce se zobrazí výsledek měření. [44]

V tabulce jsou uvedené průměrné naměřené hodnoty tloušťky a na obrázku je graficky znázorněná tloušťka změřeného materiálu, v příloze jsou uvedeny jednotlivé naměřené hodnoty s vypočítanou statistikou.

Po změření tloušťky je nutno podotknout, že některé materiály, hlavně výplňkové materiály Climashield, ukazovaly jistou míru neregulárnosti.

Tab. č. 5 Naměřená tloušťka materiálu

	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102
Průměr [mm]	0,403	3,338	3,065	0,260	8,383	4,360
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	
Průměr [mm]	4,028	11,705	5,595	5,488	1,508	



Obr. č. 17 Naměřená tloušťka materiálu

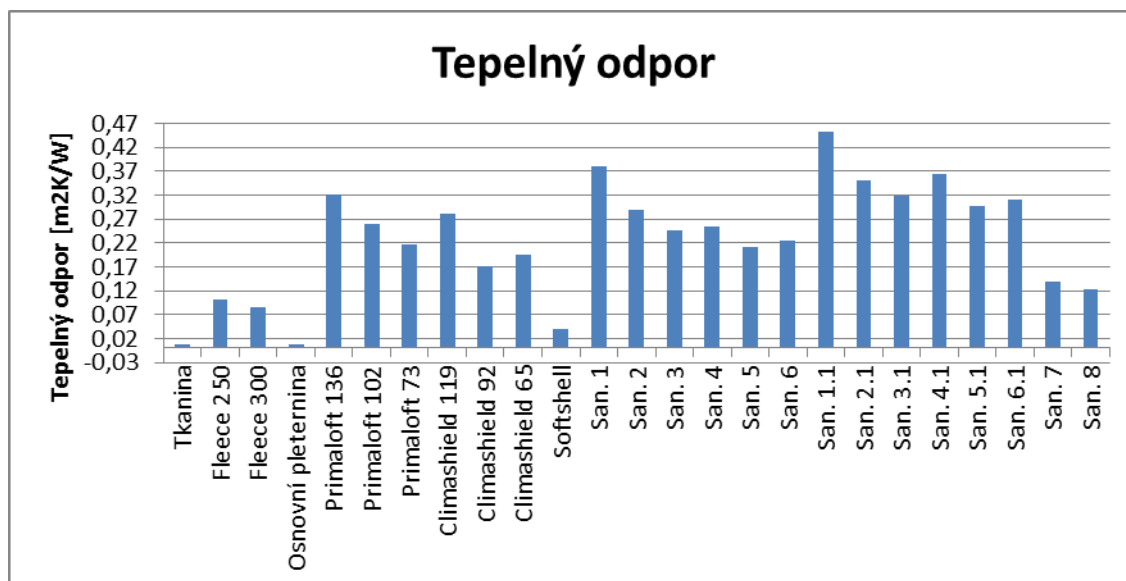
8.2.2. Přístroj SGHP

Přístroj SGHP měří tepelnou odolnost textilních struktur. Vzorek je umístěn do klimatické komory o předepsané teplotě a vlhkosti, a upnut rámečkem. Po zapnutí přístroje musí dojít k ustálení podmínek, což znamená, že se musí ustálit vlhkost a teplota, poté samotné měření trvá třicet minut. Celková doba měření jednoho vzorku byla 50 minut až jedna hodina. Velikost vzorku je čtverec o straně dlouhé 30,4 cm. Výsledkem z tohoto přístroje je hodnota tepelného odporu.

V tabulce jsou uvedené průměrné hodnoty tepelného odporu.

Tab. č. 6 Průměrná hodnota tepelného odporu na přístroji SGHP

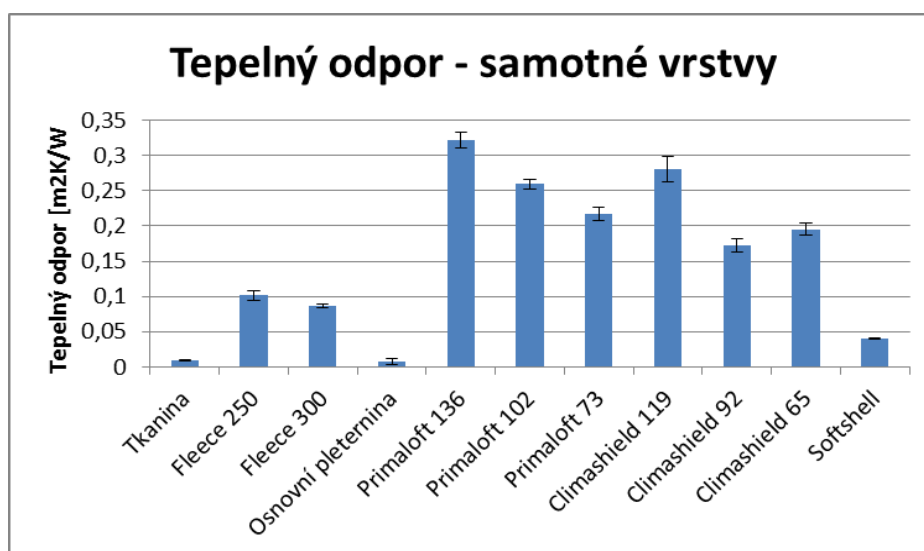
	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102	
Průměr [m ² K/W]	0,009	0,101	0,087	0,008	0,322	0,260	
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	San. 1	
Průměr [m ² K/W]	0,217	0,281	0,172	0,196	0,041	0,380	
	San. 2	San. 3	San. 4	San. 5	San. 6	San. 1.1.	
Průměr [m ² K/W]	0,290	0,246	0,256	0,211	0,225	0,454	
	San. 2.1.	San. 3.1.	San. 4.1.	San. 5.1.	San. 6.1.	San. 7	San. 8
Průměr [m ² K/W]	0,352	0,318	0,364	0,297	0,311	0,138	0,122



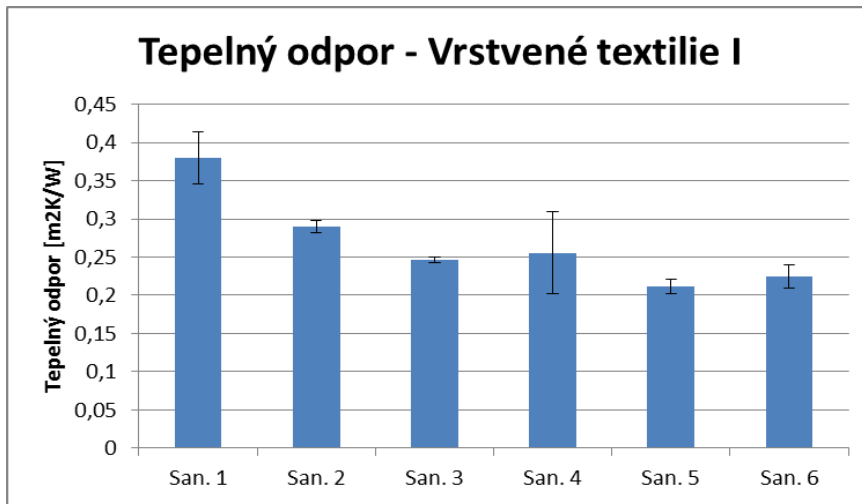
Obr. č. 18 Naměřený tepelný odpor na přístroji SGHP

Na obrázku výše jsou graficky znázorněny hodnoty tepelného odporu naměřeného na přístroji SGHP. Od každého materiálu byly měřeny tři vzorky a v grafu je zaznamenána průměrná hodnota. Všechny naměřené hodnoty i s vypočítanou statistikou jsou uvedeny v příloze 3.

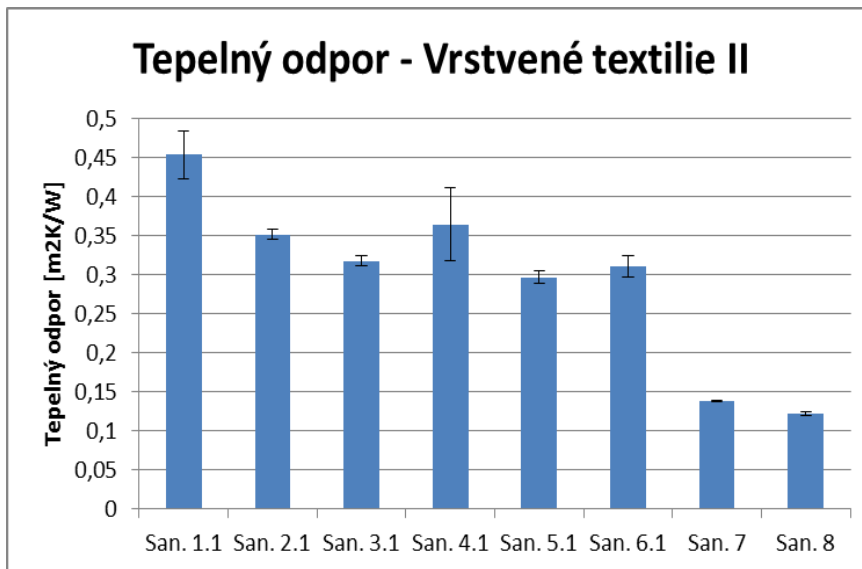
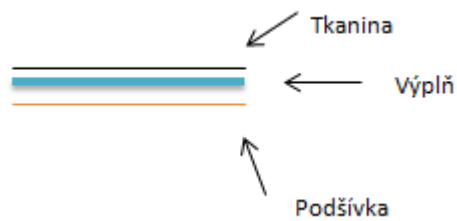
Následují obrázky, kde jsou hodnoty uspořádány do více grafů pro větší přehlednost a jsou doplněny chybovými úsečkami. Pod grafickým znázorněním je řez příslušnou vrstvenou textilií.



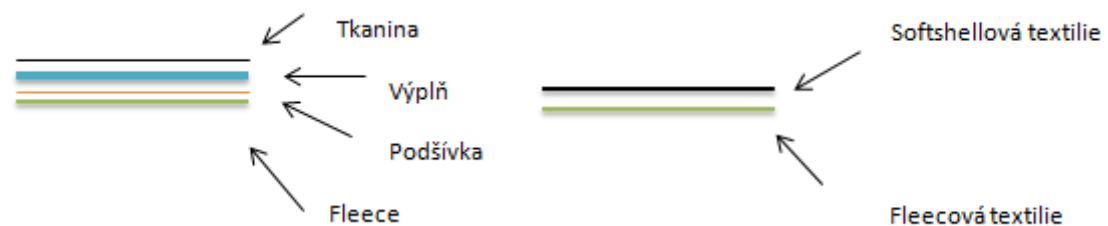
Obr. č. 19 Tepelný odpor na přístroji SGHP – Samostatné vrstvy



Obr. č. 20 Tepelný odpor na přístroji SGHP – Vrstvené textilie I



Obr. č. 21 Tepelný odpor na přístroji SGHP – Vrstvené textilie II



Po změření všech vzorků se ukázalo, že přístroj SGHP není vhodný pro slabé materiály. Měřená osnovní pletenina měla nejvyšší variační koeficient a to 46 %. Přístroj SGHP není na tyto materiály konstrukčně uzpůsoben. Nejlépe se měřily výplně a vrstvené textilie, přičemž hodnota variačního koeficientu je v některých případech vyšší než 10 %, což je způsobeno velkou nestejnou měrností materiálu. V tabulce jsou uvedené hodnoty vypočítaného variačního koeficientu. Je vidět, že velký variační koeficient měly vrstvené textilie s materiálem Climashield 119, to je dáno právě velkou nestejnou měrností, která měření zkresluje.

Tab. č. 7 Vypočítaný variační koeficient k přístroji SGHP

	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102	
Var. koef. [%]	6,891	5,358	2,535	46,449	3,207	2,302	
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	San. 1	
Var. koef. [%]	4,081	5,492	5,011	4,020	2,246	7,896	
	San. 2	San. 3	San. 4	San. 5	San. 6	San. 1.1.	
Var. koef. [%]	2,462	1,317	18,581	4,066	6,190	6,048	
	San. 2.1.	San. 3.1.	San. 4.1.	San. 5.1.	San. 6.1.	San. 7	San. 8
Var. koef. [%]	1,538	1,836	11,346	2,321	3,953	0,301	2,131

8.2.3. Přístroj FOX 314

Přístroj FOX 314 měří tepelnou vodivost textilních vzorků. Výhodou tohoto přístroje je možnost měření v minusových teplotách. Na přístroji bylo provedeno dvojí měření, kdy byla nejprve nastavena teplota komory na 20 °C a při dalším měření byla teplota -10°C. Přístroj FOX má dolní desku pohyblivou, ale u tohoto experimentu byla dolní deska nechaná v dolní poloze. Velikost vzorku je čtverec o straně 30,5 cm. Po vložení vzorku a zavření komory je nutné zvolit teploty. Teplota vzduchu v komoře byla 20 a -10°C a teplota dolní desky byla 35°C, což nahrazuje teplotu lidské pokožky. Měření na přístroji FOX trvalo obvykle jednu hodinu, u slabších materiálů byla doba měření dvě hodiny, někdy i déle. Přístroj FOX 314 měří tepelnou vodivost.

Po skončení měření jednoho vzorku je získán protokol, kde je uveden název vzorku, zvolená teplota, datum a čas. Dále jsou v protokolu ukázány hodnoty tepelné vodivosti z jednotlivých bloků. Přístroj FOX 314 měří v blocích, přičemž jeden blok trvá přibližně pět minut. Minimální počet bloků je 12. Protokol je k nahlédnutí v příloze 4.

Po skončení každého bloku přístroj spočítá průměrnou vodivost a průměrnou teplotu z onoho bloku. Pokud je teplota ustálená a nekolísá ani tepelná vodivost je po 12 blocích zkouška ukončena.

Po změření tloušťky a zjištění tepelné vodivosti je nutné provést přepočítání na tepelný odpor. To je provedeno následovně podle vztahů:

$$U_1 = \lambda_L * 10 \text{ [W/(m}^2\text{K)]} \quad (15)$$

- U_1 je hodnota tepelného toku vzorkem + vzduch [W/(m²K)]
- λ_L tepelný tok spodní desky [W/(m²K)]

$$U_2 = (U_{bp} * U_1) / (U_{bp} - U_1) \text{ [W/(m}^2\text{K)]} \quad (16)$$

- $U_{bp} = 6,67 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- U_2 je propustnost tepla vzorkem [W/(m²K)]

$$\lambda = U_2 * t / 1000 \text{ [W/(mK)]} \quad (17)$$

- λ je tepelná vodivost materiálu [W/(mK)]
- U_2 je propustnost tepla vzorkem [W/(m²K)]
- T je tloušťka materiálu [mm]

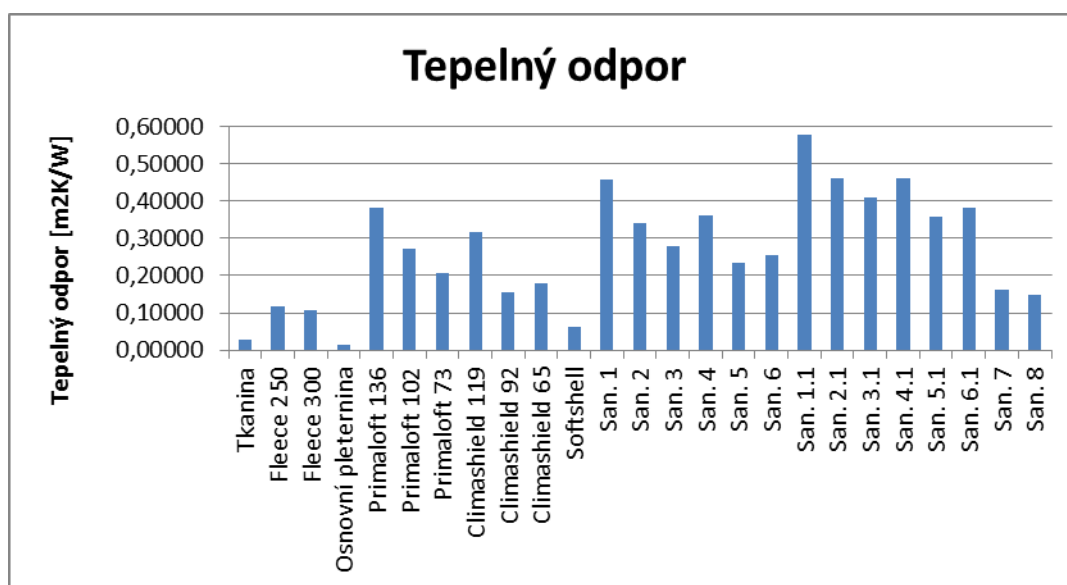
$$R = 1 / U_2 \text{ [W/(m}^2\text{K)]} \quad (18)$$

- R je tepelný odpor vzorku textilie [(m²K/W)]
- U_2 je propustnost tepla vzorkem [W/(m²K)]

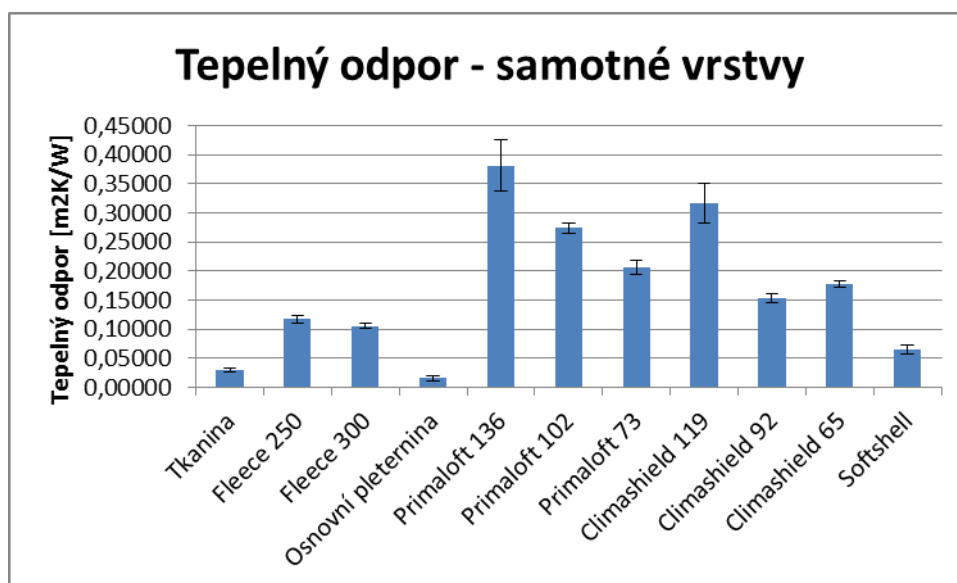
V tabulce je uveden vypočítaný průměr tepelného odporu. V příloze 4 jsou uvedeny naměřené hodnoty tepelné vodivosti a vypočítaná statistika.

Tab. č. 8 Hodnoty tepelného odporu na přístroji FOX 314

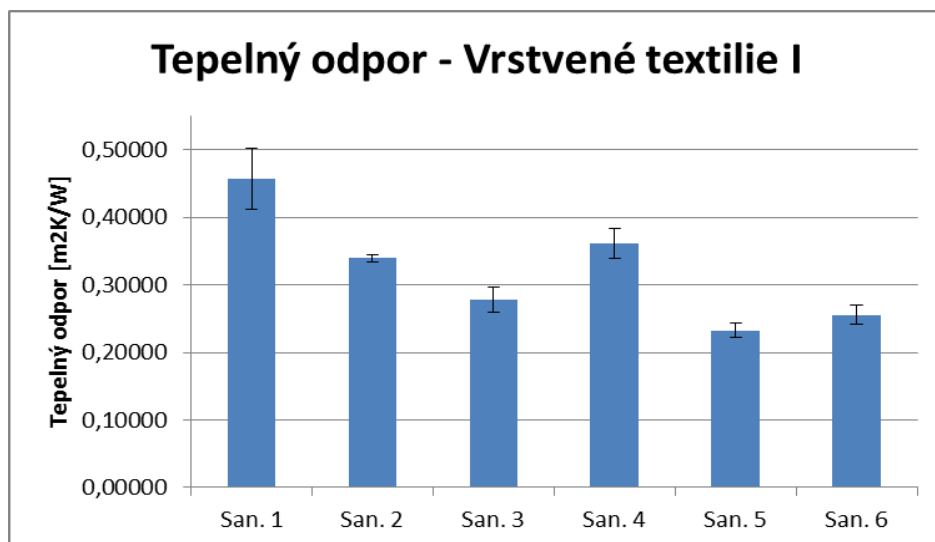
	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102	
Průměr [m ² K/W]	0,030	0,117	0,106	0,016	0,381	0,274	
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	San. 1	
Průměr [m ² K/W]	0,206	0,317	0,154	0,178	0,064	0,457	
	San. 2	San. 3	San. 4	San. 5	San. 6	San. 1.1.	
Průměr [m ² K/W]	0,340	0,278	0,362	0,233	0,256	0,579	
	San. 2.1.	San. 3.1.	San. 4.1.	San. 5.1.	San. 6.1.	San. 7	San. 8
Průměr [m ² K/W]	0,460	0,409	0,462	0,357	0,381	0,162	0,149



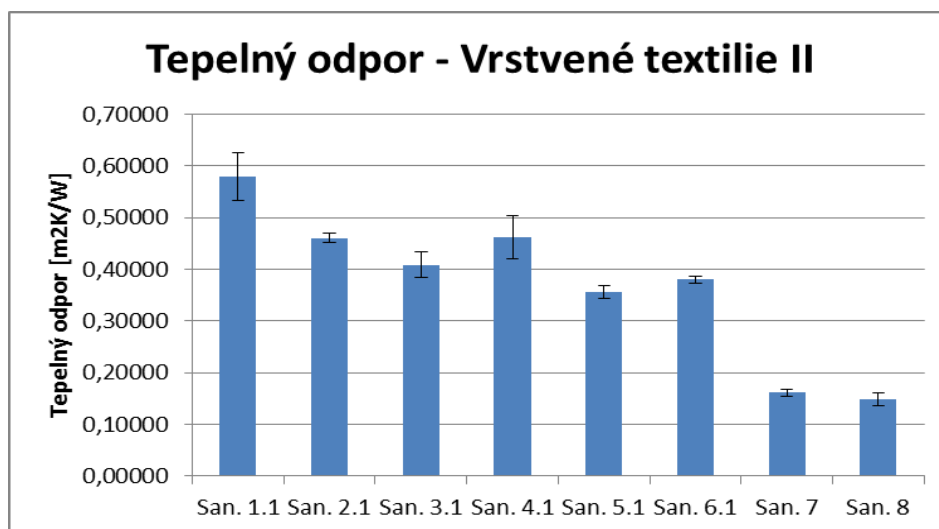
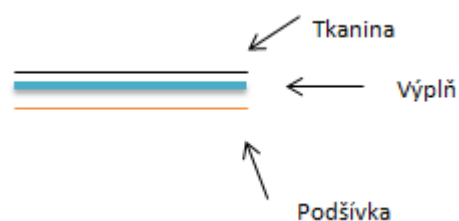
Obr. č. 22 Naměřený tepelný odpor na přístroji FOX 314



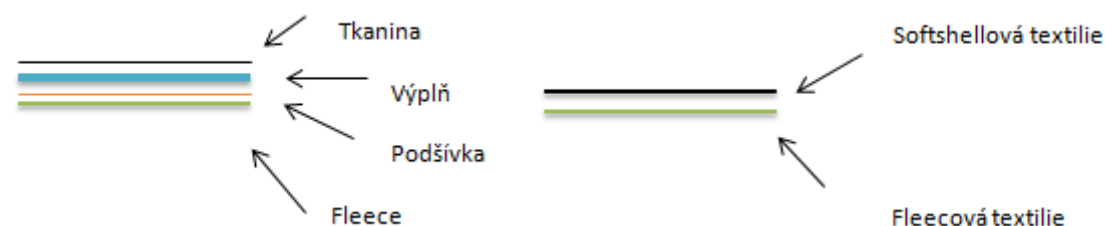
Obr. č. 23 Tepelný odpor na přístroji FOX 314 – Samotné vrstvy



Obr. č. 24 Tepelný odpor na přístroji FOX 314 – Vrstvené textilie I



Obr. č. 25 Tepelný odpor na přístroji FOX 314 – Vrstvené textilie II



V grafu jsou znázorněny průměrné hodnoty tepelného odporu naměřené na přístroji FOX 314 při teplotě 20 °C. Pro větší srozumitelnost a přehlednost je uvedeno více grafů i s příslušnými řezy vrstvenou textilií. Porovnání obou teplot bude uvedeno v kapitole 9.2.- Srovnávací analýza. Přístroj FOX 314 stejně jak bylo řečeno u přístroje SGHP se nehodí pro slabé materiály. Nejhůře se měřila osnovní pletenina, ale špatně měřitelné byly i tkaniny a fleece. Doba měření u těchto vzorků byla dvě, někdy i tři hodiny. Variační koeficient u osnovní pleteniny vyšel necelých 26 %, při minusové teplotě dokonce 48 %. Nejlépe se měřily vyplně s vysokou plošnou hmotností a vrstvené textilie.

Dlouhá doba měření u toho přístroje je způsobena čekáním na ustálený stav, to je stav, kdy nebude kolísat tepelný tok ani teplota systému.

V tabulce jsou uvedeny hodnoty vypočítaného variačního koeficientu. Vyšší hodnota je vidět u zmíněné osnovní pleteniny i u tkaniny a softshellového materiálu. Všechny materiály jsou menší tloušťky a přístroj s nimi má problém, protože na ně není uzpůsoben.

Tab. č. 9 Variační koeficient u přístroje FOX 314

	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102	
Var. koef. [%]	11,858	4,799	3,474	25,620	10,278	3,115	
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	San. 1	
Var. koef. [%]	5,409	9,485	4,452	2,923	10,477	8,839	
	San. 2	San. 3	San. 4	San. 5	San. 6	San. 1.1.	
Var. koef. [%]	1,313	6,072	5,411	4,306	5,196	7,080	
	San. 2.1.	San. 3.1.	San. 4.1.	San. 5.1.	San. 6.1.	San. 7	San. 8
Var. koef. [%]	1,741	5,371	7,944	3,119	1,627	3,723	7,337

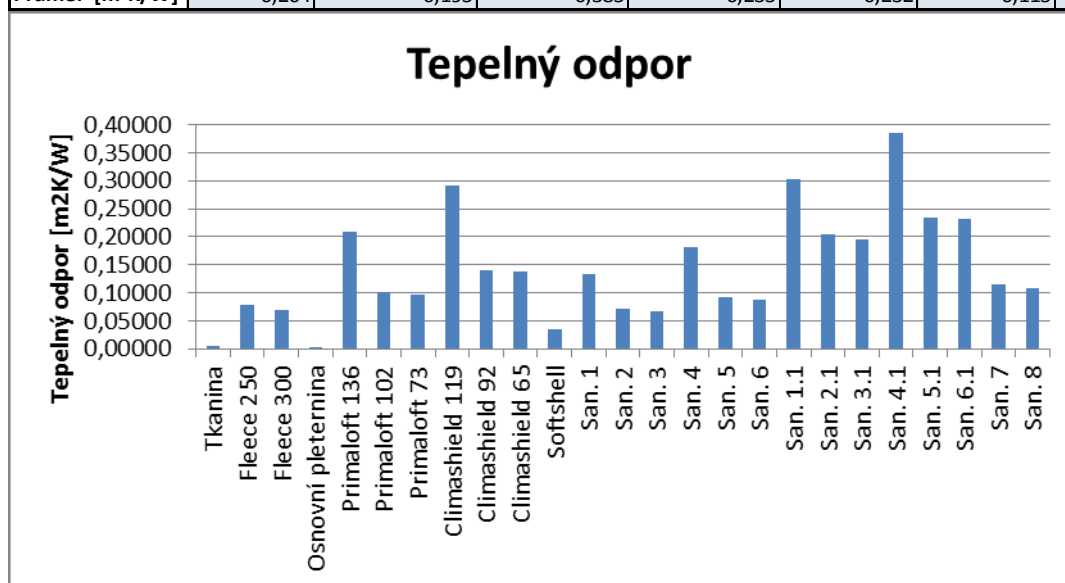
8.2.4. Přístroj C-therm (TCI)

Přístroj TCI měří tepelnou vodivost textilií. Je to metoda, kde se měří pomocí sondy (čidla). Velikost vzorku je bezrozměrná a doba jednoho měření trvá přibližně jednu minutu. Vybraný vzorek se umístí na čidlo a přikryje se závažím a požadované hmotnosti a tlaku, v tomto případě bylo použito závaží o hmotnosti 25 g, což odpovídalo 200 Pa. Bylo použité závaží co nejmenší hmotnosti, protože kdyby bylo použité závaží těžší, tak by došlo k příliš velkému stlačení vzorku, a tím by se vytěsnil vzduch z textilie a hodnoty měření by byly velmi nepřesné.

V tabulce jsou uvedené průměrné hodnoty tepelného odporu, přepočítané z tepelné vodivosti. Ostatní hodnoty jsou v příloze 5.

Tab. č. 10 Tepelný odpor na přístroji TCI

	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102	
Průměr [m ² K/W]	0,00536	0,078	0,070	0,003	0,209	0,102	
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	San. 1	
Průměr [m ² K/W]	0,098	0,293	0,141	0,139	0,034	0,134	
	San. 2	San. 3	San. 4	San. 5	San. 6	San. 1.1.	
Průměr [m ² K/W]	0,072	0,067	0,182	0,092	0,086	0,3027	
	San. 2.1.	San. 3.1.	San. 4.1.	San. 5.1.	San. 6.1.	San. 7	San. 8
Průměr [m ² K/W]	0,204	0,195	0,385	0,233	0,232	0,115	0,107

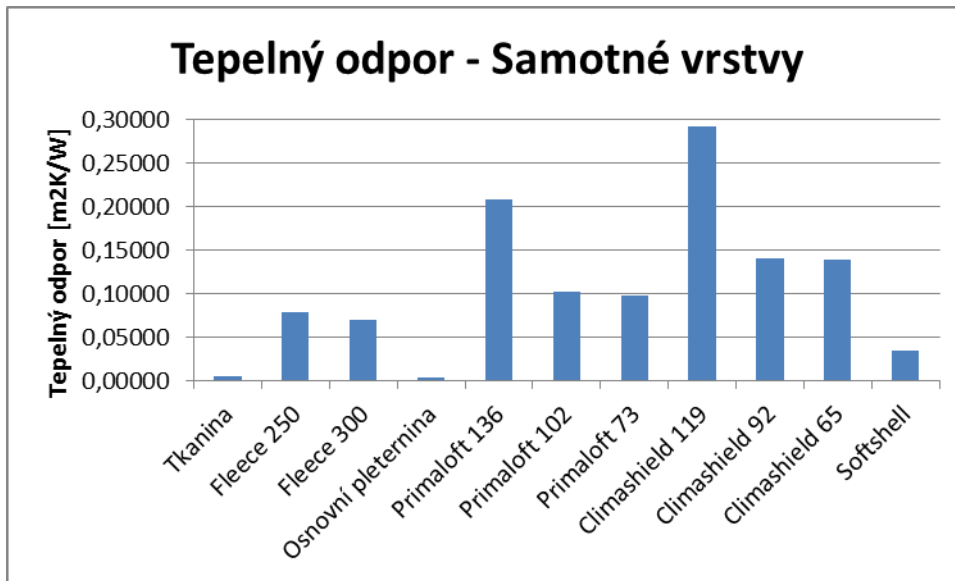


Obr. č. 26 Naměřený tepelný odpor na přístroji TCI

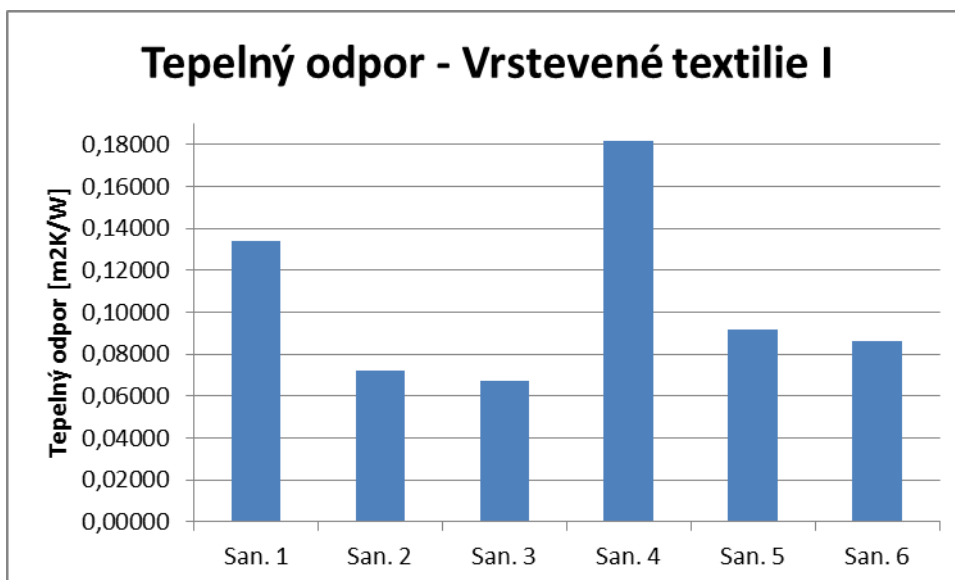
Na obrázku je zobrazená průměrná hodnota naměřeného tepelného odporu na přístroji TCI. Velkou výhodou tohoto přístroje je krátká doba měření a vzorek jakékoli velikosti. Nevýhodou je stlačování materiálu, ke kterému dochází z důvodu položení závaží na měřený materiál. Objemné textilie, v tomto případě vrstvené textilie byly při měření stlačeny, díky čemuž se na měřené tkanině vytvářely záhyby a měření může být z tohoto důvodu zkresleno. S měřenými objemnými vzorky se také na přístroji špatně manipulovalo. Naopak přístroj nemá problém při měření tenkého materiálu, jako je například osnovní pletenina.

Přístroj je vhodný pro materiály slabší, a také je vhodný pro materiály objemné a silnější, které ovšem nejdou stlačovat.

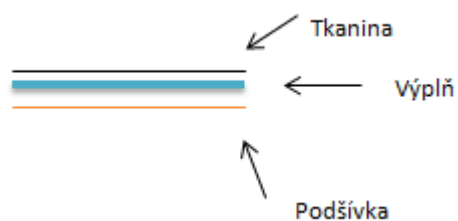
Následují obrázky pro větší přehlednost s doplněnými řezy vrstvenou textilií.

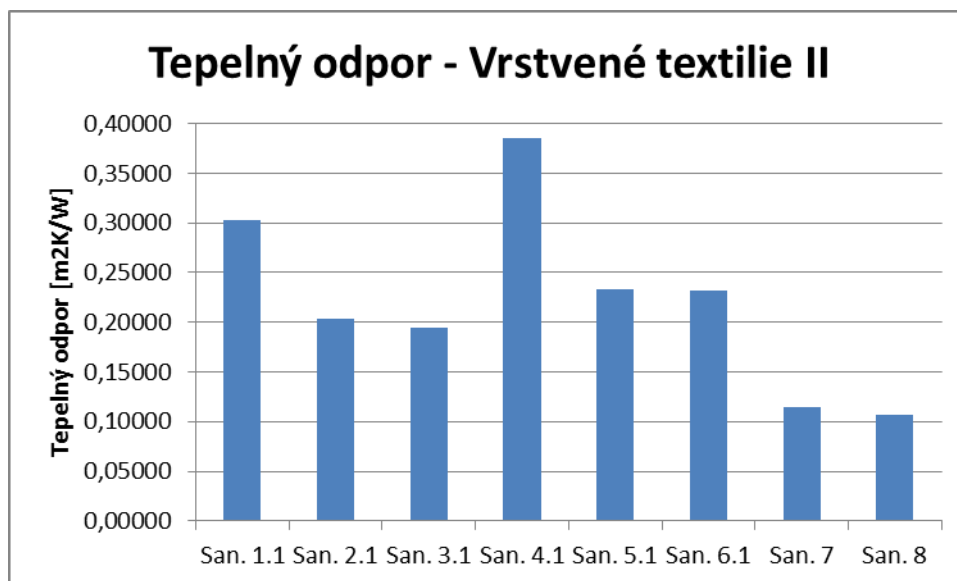


Obr. č. 27 Tepelný odpor na přístroji TCI – Samotné vrstvy

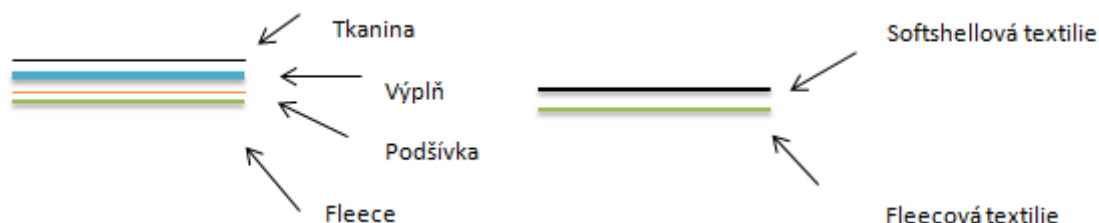


Obr. č. 28 Tepelný odpor na přístroji TCI – Vrstvené textilie I





Obr. č. 29 Tepelný odpor na přístroji TCI – Vrstvené textilie II



9. Vyhodnocení experimentu

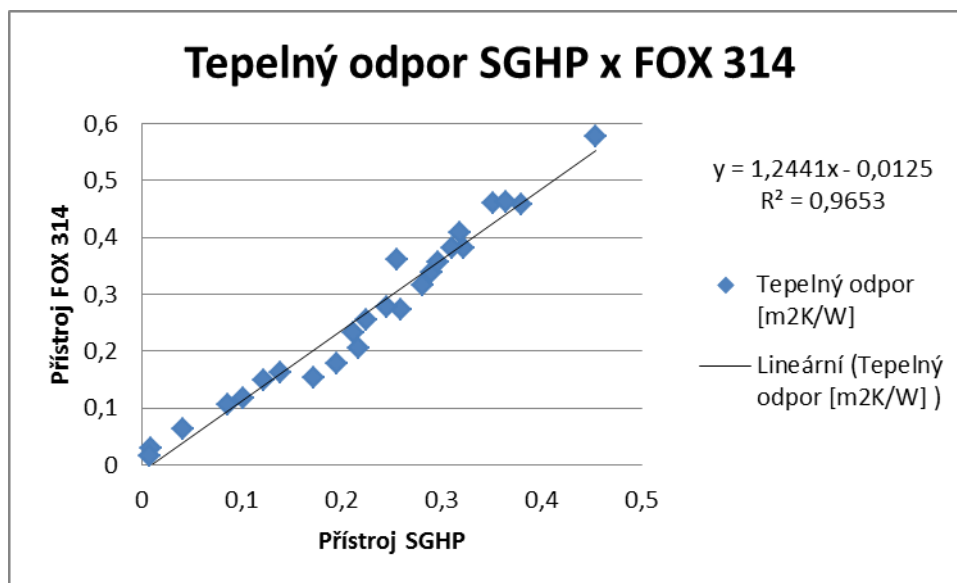
Celý experiment byl měřen na třech přístrojích, jak bylo uvedeno výše. Byly to přístroje FOX 314, Sweating guarded hot plate (SGHP) a C-therm (TCI). Všechny přístroje měří tepelně izolační vlastnosti. Některé přístroje měří tepelný odpor (SGHP), jiné měří tepelnou vodivost (FOX, TCI). Všechny naměřené hodnoty byly přepočítány na stejnou tepelně izolační vlastnost – tepelný odpor.

Před samotným měřením byly vzorky klimatizovány podle normy a poté bylo provedeno měření.

Po naměření všech vzorků, kdy byly od každého materiálu měřeny vždy tři vzorky, se vypočítala základní statistika a z vypočítaných průměrných hodnot se zjišťovaly míry závislosti, to je, byla provedena regresní a korelační analýza.

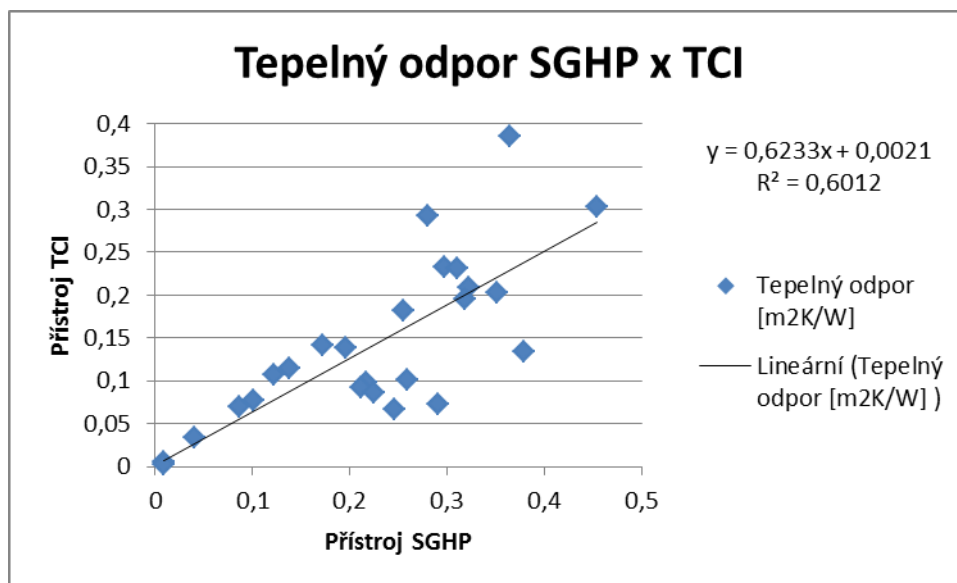
9.1. Vyhodnocení výsledků

Po dokončení měření a provedení statistiky byla provedena regresní a korelační analýza. To je graficky uvedeno níže, kdy je porovnáván vždy tepelný odpor [m²K/W] mezi dvěma přístroji. Pod grafy je uvedena ještě tabulka, kde je uvedena přesná hodnota korelačního koeficientu. Všechny výpočty byly provedeny podle vztahů, které jsou uvedeny v příloze 1.



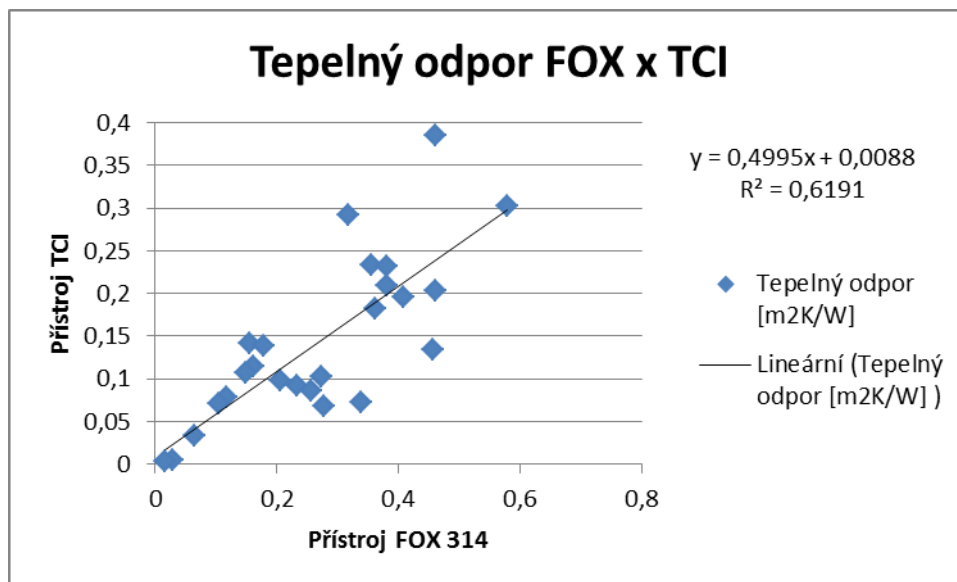
Obr. č. 30 Korelace mezi přístrojem SGHP a FOX 314

Na obrázku je graficky znázorněná regresní přímka, ke které je uvedena i rovnice přímky. Při porovnávání a zjišťování závislosti u přístroje SGHP a FOX 314 byl vypočítán korelační koeficient, který vyšel 0,9825, z toho plyne, že je velká závislost mezi těmito přístroji. Index determinace říká, že tyto přístroje je možné zaměnit na 96,5 %. Nakonec byl spočítán test hypotézy významnosti korelačního koeficientu. Hypotéza byla zamítnuta, a proto je korelační koeficient statisticky významný.



Obr. č. 31 Korelace mezi přístrojem SGHP a TCI

Na obrázku je opět regresní přímka a regresní rovnice. V případě porovnání těchto přístrojů vyšel korelační koeficient 0,7754, což je pořád velká závislost. Test hypotézy významnosti korelačního koeficientu byl zamítnut, a proto je korelační koeficient statisticky významný. Index determinace vyšel 0,6012, a říká, že přístroje je možné zaměnit na 60 %.



Obr. č. 32 Korelace mezi přístrojem FOX 314 a TCI

Naposled byl porovnán přístroj FOX 314 s přístrojem TCI. Korelační koeficient vyšel 0,7868, což znamená silnou závislost. Index determinace říká, že je možné přístroje zaměnit na 62 % a test hypotézy významnosti korelačního koeficientu byl zamítnut, a tudíž je korelační koeficient statistický významný.

Následuje tabulka, kde jsou uvedené přesné hodnoty všech korelačních koeficientů. U přístrojů SGHP a FOX 314 je korelace velmi vysoká, ale u přístrojů, kdy je porovnávána závislost s přístrojem TCI je korelace nižší. Z tohoto důvodu je v tabulce pro doplnění uvedena i korelace pouze jednotlivých vrstev a korelace vrstvených textilií.

V první části tabulky jsou korelace pro všechny materiály. V druhé části tabulky je spočítána korelace jen pro samostatné vrstvy a v třetí části je korelační koeficient jen pro vrstvené textilie.

Tab. č. 11 Vypočítané hodnoty korelačního koeficientu

Korelace	
FOX 314 x SGHP	0,982474
FOX 314 x TCI	0,786822
SGHP x TCI	0,775386
TCI bez sendvičů	
FOX 314 x TCI	0,869009
SGHP x TCI	0,863295
TCI jen sendviče	
FOX 314 x TCI	0,708723
SGHP x TCI	0,657267

Z tabulky je vidět, že pokud se spočítá u přístroje TCI jen korelace jednotlivých vrstev a ne vrstvených textilií, tak je hodnota korelačního koeficientu vyšší, ale u vrstvených textilií je hodnota nižší. Důvodem je zřejmě stlačení vrstvené textilie na přístroji TCI, kvůli přidání závaží. Po přidání závaží se na vrstvené textilii vytváří záhyby a měření se komplikuje.

Z provedené korelační analýzy vyplývá, že přístroje SGHP a FOX 314 jsou metody zaměnitelné a velmi podobné. Jsou to přístroje, které jsou podobné konstrukcí i způsobem měření. Vzorek se vždy umístí do komory přístroje, a poté se začne měřit. Tyto přístroje se hodí pro silnější materiály, nejlépe výplně nebo vrstvené textilie a nejsou příliš vhodné pro slabší materiály. Naopak přístroj TCI se liší konstrukcí i způsobem měření a je vhodný pro materiály, které nejdou stlačovat.

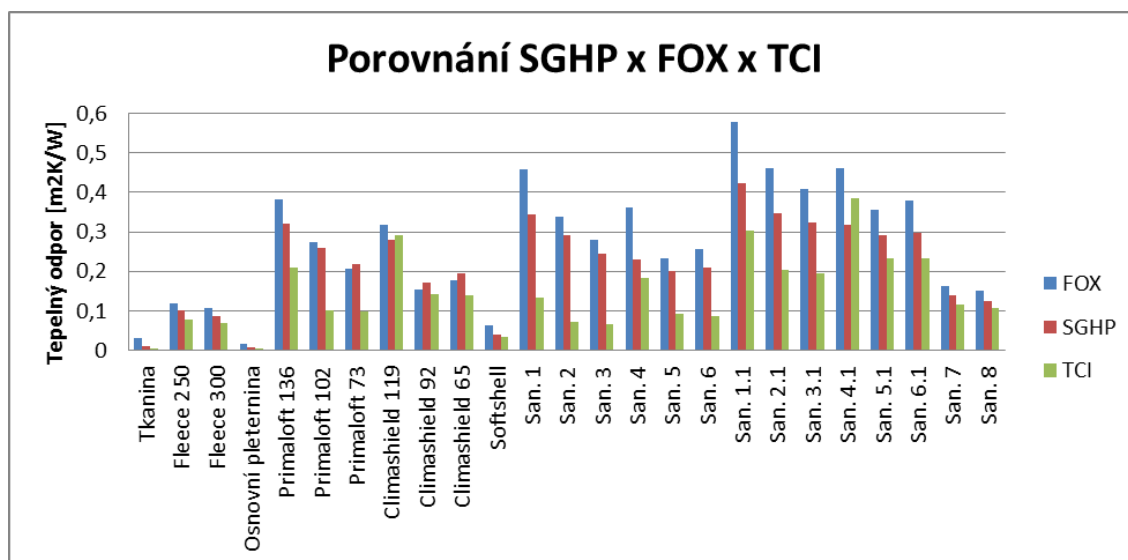
9.2 Srovnávací analýza – diskuse výsledků

Po skončení celého měření a zjištění statistických údajů je důležité provést celkové vyhodnocení experimentální části diplomové práce. V první řadě je nutno podotknout, že výplňkový materiál, především materiál Climashield byl značně nestejněměrný. U některých vzorků byla nestejněměrnost patrná už při vizuálním pohledu, což se poté potvrdilo i na tloušťkoměru a i při samotném měření tepelně izolačních vlastností. V některých případech bylo provedeno opakované měření, aby se vyloučila chyba přístroje.

Na obrázku níže jsou vidět průměrné hodnoty tepelného odporu na všech měřených přístrojích. Z grafu je patrné, že přístroj FOX 314 má hodnoty tepelného odporu nejvyšší. Naopak přístroj TCI nejnižší. Při porovnání přístrojů je nutno říct, že přístroj SGHP a FOX 314 jsou velmi podobné metody, kdy se vzorek vždy umístí do komory přístroje a po uzavření komory je započato měření. Nevýhodou je dlouhá doba měření těchto přístrojů a omezená velikost vzorku. Naopak přístroj TCI může měřit bezrozměrné vzorky a měření trvá asi minutu.

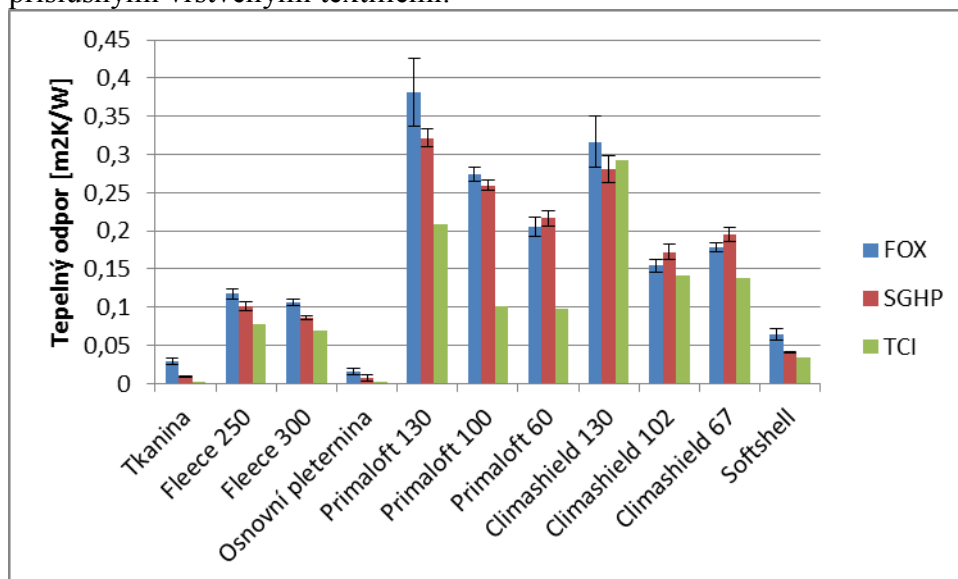
Velkou výhodou přístroje FOX 314 je měření v minusových teplotách až do teploty -20°C .

Měření ukázalo, že přístroje SGHP a FOX 314 jsou vhodné pro silné a objemné materiály nebo vrstvené textilie a přístroj TCI není vhodný pro materiály stlačitelné. Po umístění závaží na měřený vzorek se vytváří záhyby, se vzorkem se špatně manipuluje a celé měření může být díky stlačení vzorku zkresleno.

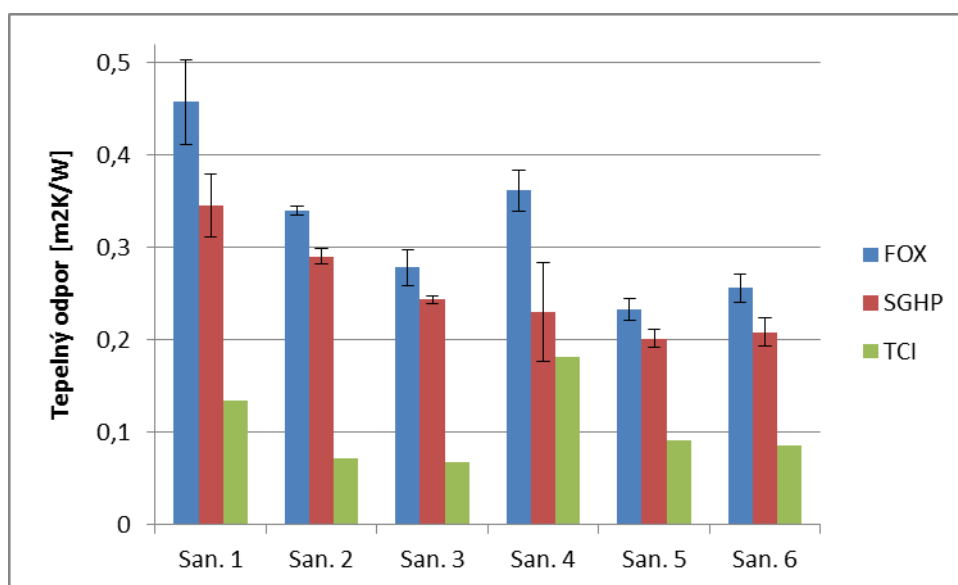


Obr. č. 33 Porovnání tepelného odporu na všech přístrojích

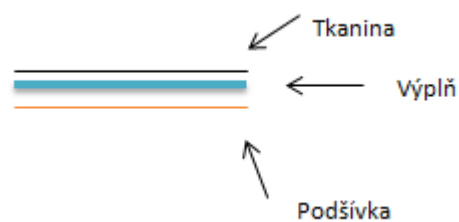
Následují obrázky, kde jsou průměrné hodnoty tepelného odporu ze všech přístrojů rozděleny do více obrázků pro větší přehlednost. Obrázky jsou doplněny řezy příslušnými vrstvenými textiliemi.

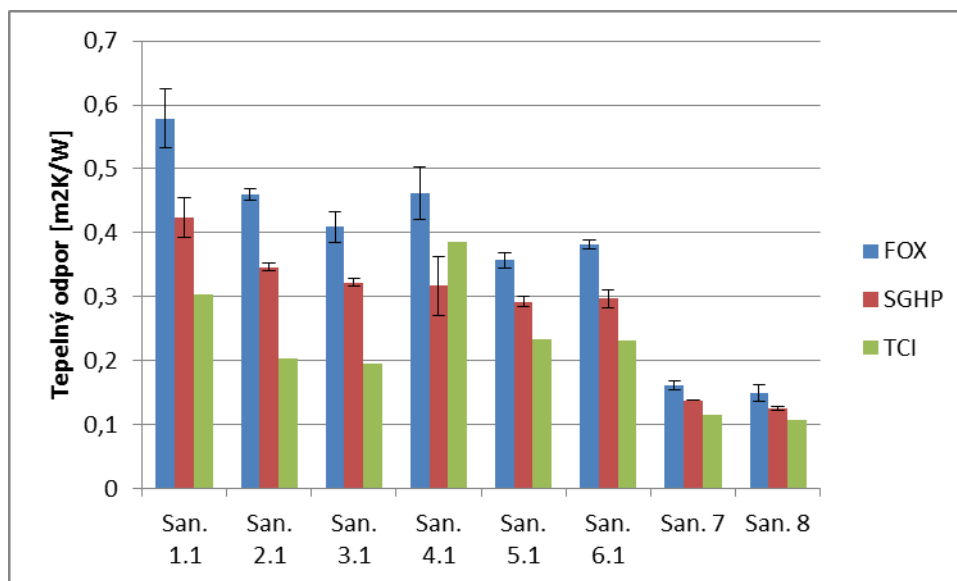


Obr. č. 34 Tepelný odpor – Samotné vrstvy

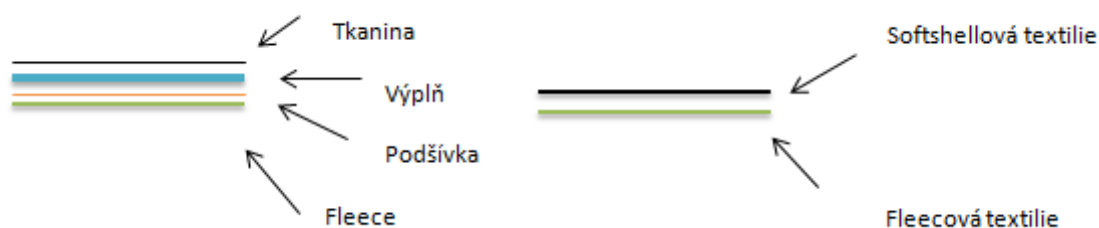


Obr. č. 35 Tepelný odpor – Vrstvené textilie I



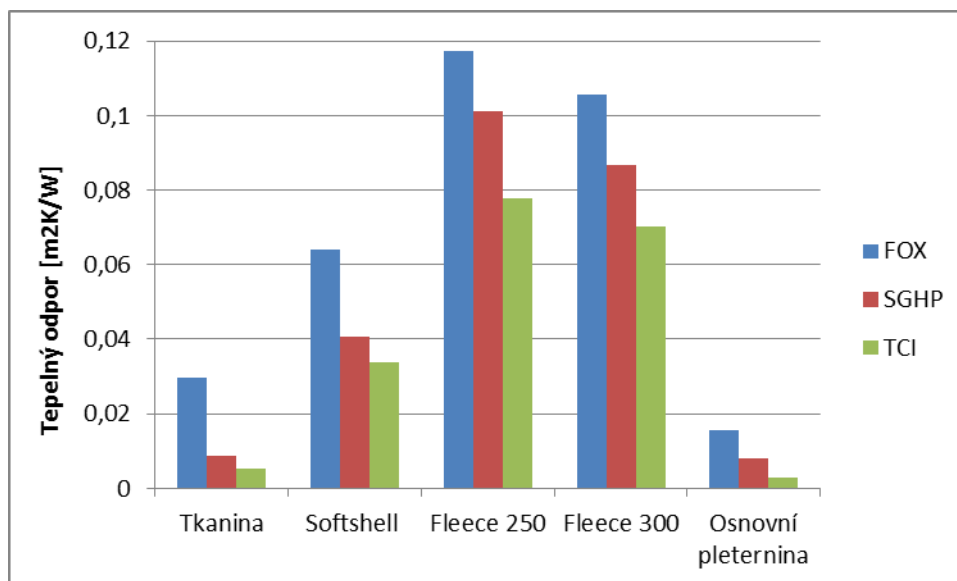


Obr. č. 36 Tepelný odpor – Vrstvené textilie II



Pro doplnění je uveden obrázek, kde jsou graficky uvedeny hodnoty tepelného odporu u měřených textiliích s vynecháním výplňkového materiálu. Je patrné, že nejhorší tepelný odpor má osnovní pletenina, která je prodyšná a její hlavní funkcí je zakrýt vnitřní zpracování oděvu a nedráždit pokožku. Velmi dobrý tepelný odpor má fleecový materiál, který se používá jako samostatná oděvní vrstva (mikina) nebo se jím mohou také podšívát oděvy.

Při porovnání tkaniny a softshellové textilie, která se liší tím, že je pružnější a má počesanou rubní stranu je vidět, že softshellová textilie má mnohem větší hodnotu tepelného odporu, a tím i lepší tepelně izolační vlastnosti. Na druhou stranu se tkanina používá vždy v kombinaci s výplní a její hlavní funkcí je nepropustit kapalnou vlhkost a mít skvělé mechanické vlastnosti (odolnost vůči oděru).

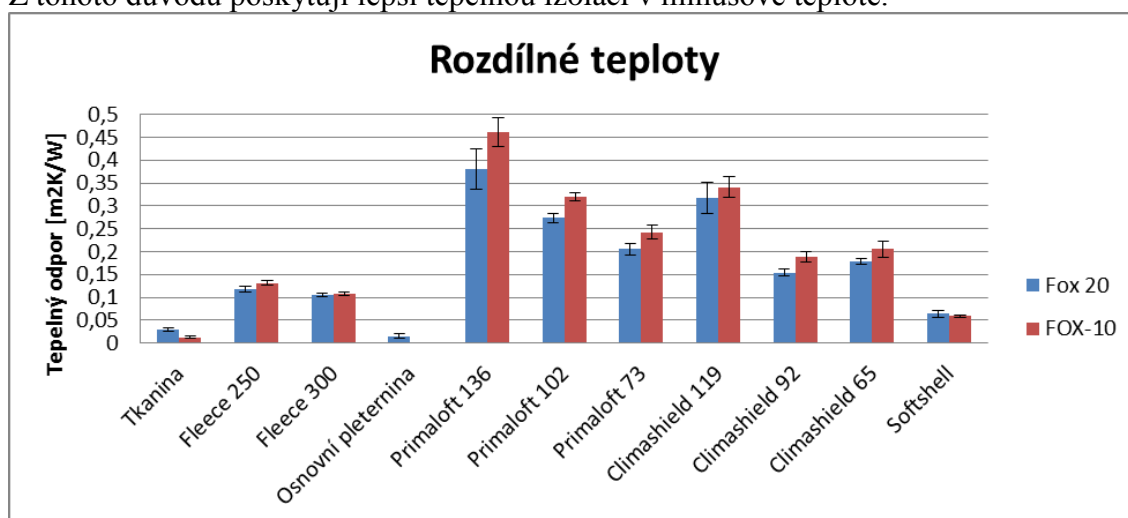


Obr. č. 37 Tepelný odpor s vynecháním výplňkových materiálů

Jak už bylo řečeno přístroj FOX 314 umožňuje měření v minusových teplotách, pro doplnění experimentu byly samostatně vrstvy materiálů měřeny při teplotě -10°C . Následuje graf, kde jsou porovnány hodnoty tepelného odporu při obou měřených teplotách.

Z grafu je patrné, že hodnoty tepelného odporu u výplňkových textilií jsou při -10°C vyšší, to je z důvodu rozdílné hustoty. Například hustota vzduchu při teplotě 20°C je $1,204\text{ kg/m}^3$ a hustota při teplotě -10°C je $1,342\text{ kg/m}^3$. Každá látka má při klesající teplotě vyšší hustotu a stává se pevnější. Důležitá je i roztažnost materiálu. Materiál v mrazu uzavře póry a uvnitř zůstane vzduch, který je výborný izolátor.

Výplně jsou vyrobeny z dutých vláken a obsahují velké množství vzduchu. Z tohoto důvodu poskytují lepší tepelnou izolaci v minusové teplotě.

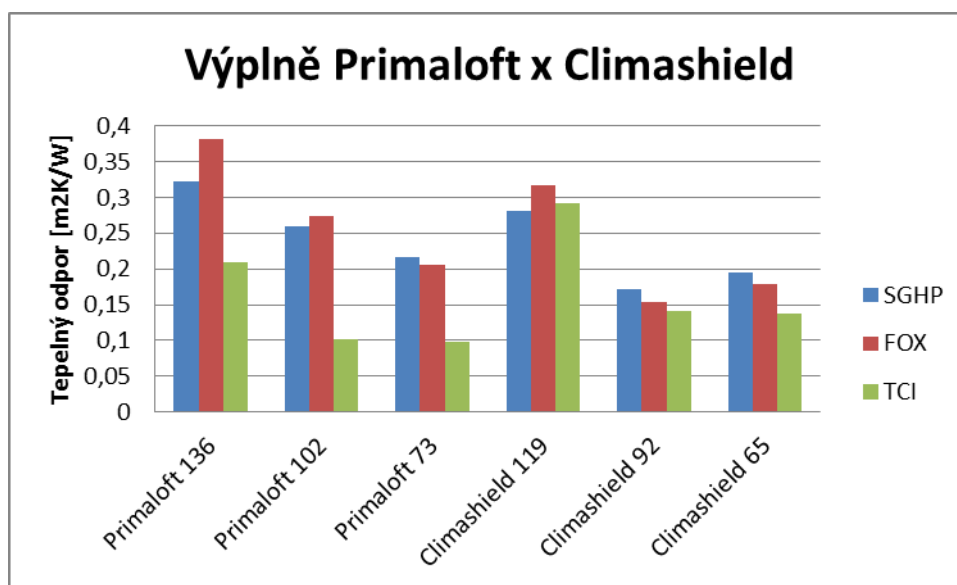


Obr. č. 38 Naměřené rozdílné teploty na přístroji FOX 314

Výplně Climashield a Primaloft patří mezi nejkvalitnější na světovém trhu. Na dalším obrázku je vidět jejich rozdíl. Primaloft poskytují o trochu lepší tepelně izolační vlastnosti, to je dáno tím, že firma pro výrobu používá mikrovlnákná menších i větších průměrů, a díky tomu se v materiálu uzavře více vzduchu.

U materiálu Climashield je vidět, že Climashield o plošné hmotnosti 65 g/m² má lepší tepelnou izolaci než Climashield o plošné hmotnosti 92 g/m². Climashield 65 nese název APEX a Climashield 92 HL. Climashield APEX se hodně používá u spacích pytlů a firma uvádí, že se nejvíce podobá peří, a proto i materiál menší tloušťky a menší plošné hmotnosti má lepší tepelnou izolaci. Materiál má robustní 3D strukturu, která je podobná peří. Je tvořen tepelně spojenými překříženými vlákny s dutinou trojúhelníkového průřezu.

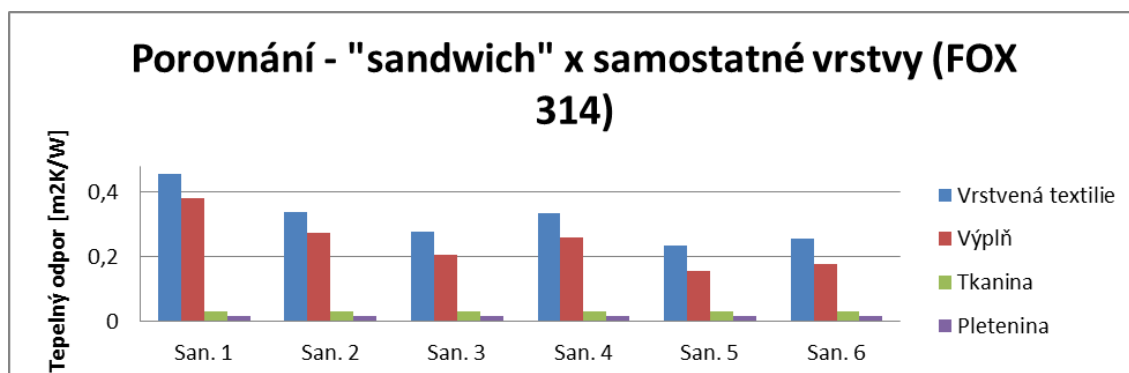
U materiálu Primaloft je vidět, že hodnoty na přístroji TCI jsou velmi nízké v porovnání s přístrojem FOX 314 a SGHP. To je zřejmě způsobeno stlačením vzorku. Materiály Primaloft jsou hodně objemné, a když se na měřený vzorek položilo závaží, tak se vzorek stlačil, vytlačil se vzduch a měření bylo velmi komplikováno.



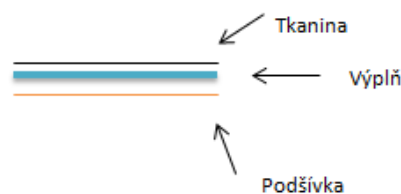
Obr. č. 39 Porovnání výplní Primaloft a Climashield

V poslední řadě je nutno uvést jaký z měřených materiálů zabezpečuje dobrou tepelnou izolaci a izolaci vůbec. Byly měřeny samostatné vrstvy, a poté různé kombinace vrstvených textilií. Je sestaven graf, který ukazuje hodnotu tepelného odporu vytvořené vrstvené textilie (modrý sloupec) a vedle této hodnoty je znázorněn odpor tkaniny, samotné výplně a pleteniny, zkrátka hodnoty samotných naměřených vrstev. Je patrné, že vrstvená textilie má nejvyšší hodnotu tepelného odporu. Poté je výplň, jejíž tepelný odpor je také velmi vysoký a při pohledu na tkaninu a pleteninu je

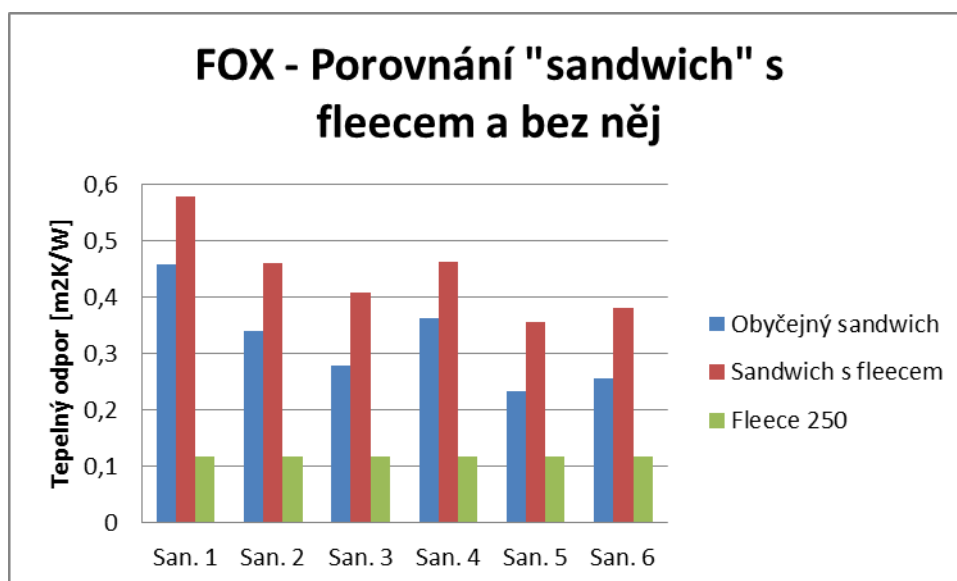
vidět pouze malý tepelný odpor. Závěrem měření tedy je, že nejdůležitější roli hraje výplň a s tím souvisí tloušťka, čím je tloušťka výplně větší, tím je lepší tepelná izolace.



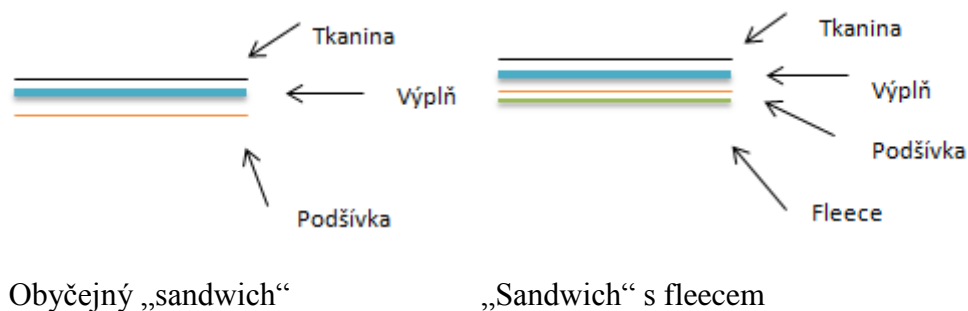
Obr. č. 40 Porovnání vrstvených textilií se samotnými vrstvami



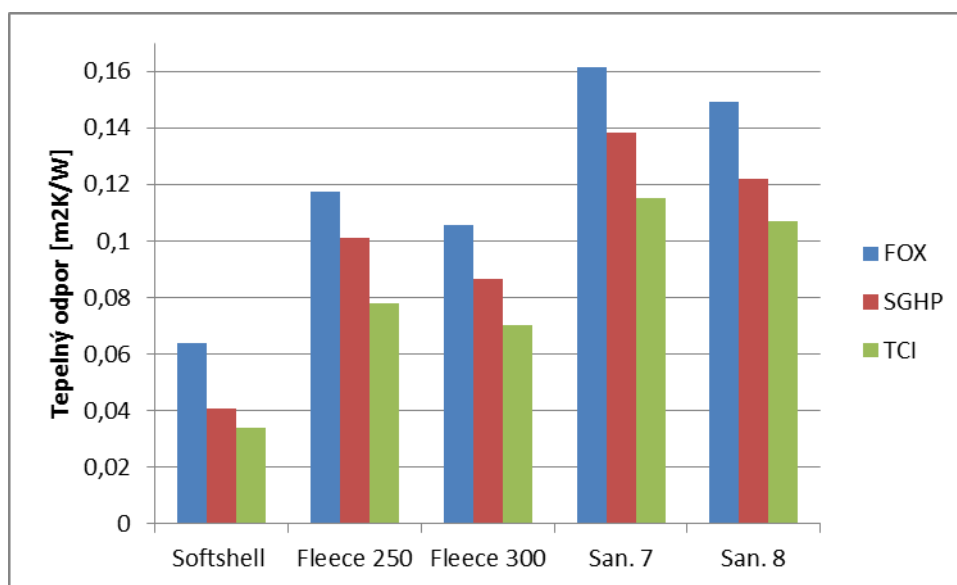
Další obrázek porovnává vrstvenou textilií, která byla měřena bez materiálu flece a poté s přidáním fleecového materiálu. Nejvyšší hodnotu tepelného odporu měla vrstvená textilie s přidáním fleecového materiálu. Měření ukázalo, že pokud se přidá fleecový materiál jako podšívka nebo jako samotná oděvní vrstva (mikina), tak se zvýší tepelná izolace oděvu přibližně o 20 %.



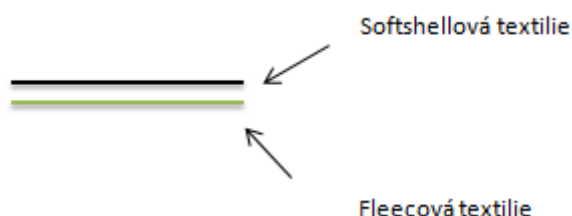
Obr. č. 41 Porovnání vrstvených textilií s fleecem a bez fleecu



Pro doplnění experimentu byl zkoumán i softshellový a fleecový materiál, jak je uvedeno a popsáno výše. Tudíž následuje graf, kde jsou uvedené hodnoty tepelného odporu pro samotný softshellový a samotný fleecový materiál, a poté jsou tyto materiály dány do vrstvené textilie. Je vidět, že fleece má větší hodnotu tepelného odporu než samotný softshellový materiál. Z obrázku také vyplývá, že fleece o plošné hmotnosti 250 g/m² má větší hodnotu tepelného odporu než fleece 300 g/m², to je dáno tím, že fleece 250 g/m² má větší tloušťku.



Obr. č. 42 Porovnání softshellového a fleecového materiálu



Co se týče porovnání přístrojů, každý přístroj a metoda je jiná, jak již bylo posouzeno v kapitole pojednávající o korelaci (viz kapitola 9.1.). Každý přístroj má své výhody a nevýhody, a z tohoto důvodu je dobré vědět, jaké jsou vlastnosti přístroje i vlastnosti zkoumaného materiálu.

Z měření této diplomové práce vyplývá, že přístroj TCI má výhodu v rychlosti měření a bezrozměrnosti vzorků. Přístroj je malý, takže je snadné uskladnění. Naopak nevýhodou je měření stlačitelných materiálů. S materiálem se na přístroji špatně zachází, a tím se komplikuje celé měření. Přístroj FOX 314 je také poměrně malých rozměrů a měření je jednoduché, ale velkou nevýhodou tohoto přístroje je dlouhá doba měření, která je někdy i několik hodin a vysoká hluchnost přístroje. Přístroj se hodí pro měření objemných materiálů. Poslední metodou byl přístroj SGHP, který potřebuje klimatickou komoru, díky čemuž jsou rozměry přístroje větší, ale měření je jednoduché a doba měření je přibližně jednu hodinu. Přístroj ovšem není vhodný pro slabé materiály.

Závěr

Diplomová práce se zabývala problematikou tepelně izolačních vlastností. V úvodu práce je objasněno, co jsou tepelně izolační vlastnosti a proč jsou důležité. První část práce je zaměřena na literární rešerši všech metod, kterými se dají tepelně izolační vlastnosti měřit. Jsou zde uvedeny metody zastaralé, i metody neúspěšné, a dále metody, které se využívají v současné době. Spousta metod a přístrojů měří tepelnou vodivost nebo tepelný odpor, to jsou dvě velice důležité vlastnosti, které spolu úzce souvisí. Vysoký tepelný odpor znamená, že textilie, popřípadě jiný materiál, má dobrou tepelnou izolaci a je hřejivý. Naopak důsledkem vysoké tepelné vodivosti je, že materiál dobře vede teplo.

Zda má textilie dobré tepelně izolační vlastnosti závisí na její struktuře, na materiálovém složení a technologii výroby. Tepelně izolační vlastnost ovlivňují i jiné faktory, jako je například vlhkost. Pokud je vysoká vlhkost v textilií, textilie má špatné izolační vlastnosti. Velmi důležitý je vzduch, který je dobrým izolantem. Z tohoto důvodu se vyrábí speciálně tvarovaná vlákna s dutým průřezem, která zvyšují tepelnou izolaci.

První část práce končí ukázkami experimentů a studií, které byly již v této oblasti provedeny. Je patrné, že bylo provedeno již mnoho výzkumů, každý se zaměřil na měření jiné vlastnosti, nebo byl použit jiný přístroj. Nicméně všechny studie se shodují, že tepelně izolační vlastnosti ovlivňuje struktura materiálu a hlavně tloušťka.

Druhá část práce je věnována experimentu, který byl proveden. Pro experiment byly vybrány tři přístroje. Jedná se o přístroje aktuální, to znamená hodně využívané. Některé z přístrojů měří tepelnou vodivost a jiné tepelný odpor, nicméně ve vyhodnocovací části jsou všechny hodnoty přepočítány na hodnotu tepelného odporu.

Pro měření byl vybrán přístroj EY50 Sweating guarded hotplate (SGHP), FOX 314 a C-Therm (TCI). Všechny přístroje měří tepelně izolační vlastnosti, ale každá metoda měření je jiná.

Jako materiál byla vybrána struktura zimní bundy. Důvodem výběru zimní bundy bylo, že pro tento oděv jsou tepelně izolační vlastnosti velmi důležité, a proto jsou na tento oděv a materiál kladeny vysoké nároky. Zimní bunda obsahuje širokou škálu materiálů, jako je tkanina, výplň a podšívka. K tomu byl pro porovnání přidán ještě softshellový materiál a fleecce. Fleece byl přidán, protože je velmi populární a

používá se jako druhá vrstva oblečení, která se nosí na první vrstvě oděvu a pod bundou. Nejprve byly změřeny všechny vrstvy samostatně a poté se vytvořily vrstvené textilie, různé kombinace, aby bylo možné materiál porovnat. Od každého materiálu byly z časového důvodu, kvůli vyčerpání přístrojů a spotřebě materiálu měřeny vždy tři vzorky. Pro lepší porovnání a doplnění byly na přístroji FOX 314 měřeny vzorky při dvou teplotách $+20^{\circ}\text{C}$ a -10°C .

Po změření a vyhodnocení bylo potvrzeno, že přístroj SGHP a FOX 314 jsou metody velmi podobné. Způsob přípravy a vkládání vzorku je velmi podobný, a také hodnota korelace byla velmi vysoká. Rozdíl byl v době měření. Přístroj SGHP změří jeden vzorek za jednu hodinu. Naopak přístroj FOX 314 měřil mnohdy jeden vzorek i tři hodiny. Oba přístroje se hodí pro měření silných materiálů i vrstvených textilií. Nejsou vhodné pro slabé materiály.

Přístroj TCI je metoda, která je velmi jednoduchá a doba měření velmi krátká, ale už se liší od zbylých dvou metod. Vzorky mohou být bezrozměrné a přístroj se neskládá z komory jako v předchozích případech, ale jen z čidla, kam je umístěn zkoumaný materiál. Hodí se pro materiály, které nejdou stlačovat. Při měření se na zkoumaný vzorek pokládá závaží a potřebné hmotnosti a tlaku. V tomto případě, kdy byly měřeny výplňkové textilie, se s přidáním závaží vzorek stlačoval, špatně se s materiálem manipulovalo a při stlačení mohl být z textilie vytlačen vzduch, což mohlo způsobit zkreslení výsledků.

Co se týče měřeného materiálu. Výplňkový materiál byl od firmy Primaloft a Climashield o různých plošných hmotnostech. Lepší tepelnou izolaci poskytují materiály Primaloft, to je díky polyesterovým mikrovláknům větších a menších průřezů, které uzavřou více molekul vzduchu.

Měření rozdílných teplot na přístroji FOX 314 mělo výsledek, že všechny výplně mají lepší tepelnou izolaci, vyšší hodnotu tepelného odporu při minusových teplotách, to je dáno různou hustotou vzduchu, při různých teplotách. Při klesající teplotě mají látky vyšší hustotu. Materiál se zpevní, zadrží více vzduchu a změní se i samotná hustota vzduchu.

U vrstvených textilií, kde byly různě nakombinovány všechny výplně, měření ukázalo, že největší roli hraje samotná výplň. Tepelný odpor není příliš ovlivňován tkaninou a ani pleteninou. Pokud se přidá do vrstvené textilie fleec, ten má určitý podíl na zvýšení tepelného odporu. Nicméně nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje

tepelnou izolaci a tepelný odpor je tloušťka materiálu. Nejvyšší hodnotu tepelného odporu měla výplň Primaloft o plošné hmotnosti 136 g/m^2 . Stejně tak vrstvené textilie s touto výplní měly nejlepší tepelnou izolaci.

Na závěr je nutno podotknout, že tepelně izolační vlastnosti ovlivňuje celá řada faktorů, která spolu souvisí. Je vymyšleno velké množství metod, jak tyto vlastnosti měřit. Nelze říci, že ten či onen přístroj je nejlepší a na něm by se mělo měřit. Důležitější je znát různé metody měření, a také znát vlastnosti materiálů. Vědět, jak daný přístroj měří a jaké má vlastnosti, a s tím souvisí i výběr materiálu pro přístroj. Pokud se vybere správný přístroj a správný materiál, tak se může zkrátit doba měření a bude dosaženo přesnějších výsledků.

Citace

- [1] HES, Luboš a Petr SLUKA. Úvod do komfortu textilií. první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [2] Götz, K.: Chemická vlákna v textilním průmyslu : *XXII. Kongres Mezinárodní federace pletářských odborníků, 2.-5. října 1977, Boras-Švédsko*. 62, II.díl.
- [3] Středa, I., Sazima, M. a Doubrava, J.: Termomechanika, ČVUT Praha, 1996
- [4] Delljová, R.A., Afanasjevová, R.F., Čubanovová, Z.S.: Hygiena odívání, SNTL, Praha, 1984.
- [5] *Strutex: Souvislost tepelně-izolačních vlastností a struktury meltblownových textilií*. první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1999, s. 5. ISBN 80-7083-371-8.
- [6] I. FRYDRYCH, G. DZIWORSKA a J. BILSKA. Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres. 2002, s. 5. Dostupné z: http://fibtex.lodz.pl/39_08_40.pdf
- [7] *Přístroj pro měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám: SKIN MODEL PSM-2*, KOD, TU Liberec.
- [8] ŠUBERT, Radim. *Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu*. Liberec, 2007. Disertační. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Zdeněk Kůs.
- [9] TOGMETER SDL M 259: *Návod k obsluze přístroje*.
- [10] TUZAROVÁ, Monika. *Tepelně izolační vlastnosti objemných textilií s obsahem bavlny*. Liberec, 2000. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [11] Jirsák, O., Got, T., Pann, N.: A dynamic and a static methods for measurement of conductivity properties of textiles: *In young textile science 96*, Liberec 1996.
- [12] HALASOVÁ, Andrea. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu*. Liberec, 2007. Disertační. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Zdeněk Kůs.
- [13] C-therm technologies. [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.ctherm.com/company/>
- [14] Togmetr obrázek [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Om/frvs2025/en/Togmeter/Togmeter_photo.jpg
- [15] Termokamera - obrázek [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/f/cadinfo/o/Info/termovize01.png>

[16] Zdeněk KŮS, Andrea HALASOVÁ, Radim ŠUBERT, Michal KOTEK a Václav KOPECKÝ. Methods of textiles evaluation at extreme wind condition - model of wind. *Strutex*. 2005, šest.

[17] C-therm Technologies: C-therm [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.ctherm.com/resource/samples/sample_homepage_photo.jpg

[18] EY50 Sweating Guarded Hotplate. EYTEST [online]. 2011 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.eytest.com/ey50.html>

[19] Lineární regrese. *Univerzita Karlova v Praze: Pedagogická fakulta* [online]. [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: www.pdf.cuni.cz/kpsp/skalouda/regrese.doc

[20] Korelace. MILDE, David. *Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci: Katedra analytické chemie* [online]. [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: ach.upol.cz/user-files/intranet/15-korelace-2011-1321473930.pdf

[21] ČSN P ENV 342 (83 27 60) „Ochranné oděvy – Soupravy pro ochranu proti chladu.“

[22] MATUSIAK, Małgorzata. Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2006, s. 5. Dostupné z: http://www.fibtex.lodz.pl/59_25_98.pdf

[23] Zeinab S. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery a I. Hanafy: TEXTILE FABRICS AS THERMAL INSULATORS. *AUTEX Research Journal*. 2006, s. 14. Dostupné z: http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/5-06-3.pdf

[24] HES, Luboš. Thermal-insulation and thermalcontact properties of fabrics containing elastans. *Strutex*. 2003, s. 7.

[25] Staněk I. a Kubíčková, M.: Oděvní materiály, VŠST Liberec, 1982.

[26] APURBA DAS , RAMASAMY ALAGIRUSAMY AND PAVAN KUMAR. STUDY OF HEAT TRANSFER THROUGH MULTILAYER CLOTHING ASSEMBLIES: A THEORETICAL PREDICTION. *AUTEX Research Journal*. 2011. Dostupné z: http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/5_013_11.pdf

[27] D. BHATTACHARJEE AND V.K. KOTHARI. Measurement of Thermal Resistance of Woven Fabrics in Natural and Forced Convections. *Indian Institute of Technology*. 2008, s. 11. Dostupné z: www.rjta.org/download.php?paper=1&paper...

[28] Měření tepelné vodivosti. Chempoint [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013 [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dok/vnieEqqy5p8VVVof>

- [29] LASERCOMP, Inc. ©. *Manuál k přístrojům FOX200, FOX300, FOX304 a FOX314*. 1999-2011, 28 s.
- [30] Direct Alpine: Technical outdoor wear [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.directalpine.cz/produkty-eshop>
- [31] ZOUHAROVÁ, Jana. *Výroba oděvů I. první*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-781-0.)
- [32] Texsite.info: Textilní výkladový slovník. Výplňkový vložkový materiál [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://cz.texsite.info/V%C3%BDpl%C5%88kov%C3%BD_vlo%C5%BEkov%C3%BD_materi%C3%A1l
- [33] *Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-02-17/12-18-50.pdf>
- [34] PAŘILOVÁ a Hana ŠTOČKOVÁ. *Textilní zbožíznalství: Bytové textilie*. Druhé vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005.
- [35] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály. první*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-682-2.
- [36] Pinguin outdoor equipment: Materiály a technologie. [online]. [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://www.pinguincz.cz/cs/obleceni.htm>
- [37] Hanibal sport: Slovník pojmů [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.hanibal.cz/poradna/slovník-pojmu/>
- [38] PrimaLoft: Insulation Technology [online]. 2012 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.primaloft.com/en/performance/home.html>
- [39] Climashield XP. Boll: Mountain and outdoor gear [online]. 2013 [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <http://www.boll.cz/index.php?cmd=page&id=79>
- [40] Climashield: Insulation Innovation [online]. Clinton, 2013 [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <http://climashield.com/outdoor>
- [41] Polartec: Neoshell, Power Shield. [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://polartec.com/product/polartec-power-shield>
- [42] Moraviatex pletárna s.r.o. [online]. [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://www.moraviatex.cz/o-nas>

- [43] ČSN EN 31092 (80 0819). *Zjišťování fyziologických vlastností: měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)*. 1996.
- [44] Digitální tloušťkoměr: SDL M034A. In: [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/TLOUSTKOMER.pdf>
- [45] Manuál k přístroji FOX 314, Laser Comp, Inc. 1999-2011, TUL, Liberec 2013
- [46] Manuál k přístroji Thermal conductivity analyzer TCi – Model C-therm TCi, TUL, Liberec 2013
- [47] EY50 Sweating Guarded Hotplate. EYTEST [online]. 2011 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.eytest.com/ey50.html>
- [48] TUL Ustav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. (2011). Získáno březem 2014, z Laboratoře pro výrobu vzorků a prototypu výrobku: <http://cxi.tul.cz/laborator-pro-vyrobu-vzorku-a-prototypu-vyrobku-doc-ing-antonin-havelka-csc.html>
- [49] Fox 314. In: [online]. [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska2_2013.pdf
- [50] Alambeta. In: [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/ALAMBETA1.pdf>
- [51] Primaloft. Rock Point: Outdoor expert e-shop [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.rockpoint.cz/html/prehled-materialu.html?w=519&l=p>
- [52] Climashield: Insulation innovation [online]. 2013 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://climashield.com/en>
- [53] *Zařízení pro měření tepelně izolačních vlastností Statickou metodou*: KNT, TU Liberec.
- [54] DIN 52 616: *Bestimmung der Wärmeleit-Fähigkeit mit dem Wärmestrommessplatten-Gerät*, Deutsche normen, Berlin and Köln 1977.
- [55] Pecháček, F., Jankovský, J. Zkoušení textilií pro 4. Ročník střeňic průmyslových škol textilních. 2.vydání Praha1976.
- [56] ZPRAVODAJ 01 Bezdotykové měření teploty [cit. 26. Dubna 2004]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.newport.cz/dowland/zpravodaje/zpravodaj-01.html>
- [57] *Termovize: Termovizní měření - teorie* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.termovize.com/termovizni-mereni-teorie>

[58] McCullough EA., Huang J., Kim, CS., An explanation and comparison of sweating hot plate standards, Journal of ASTM International, Volume 1, Issue 7 (July 2004), 13 pp., ISSN: 1546-962X

Seznam obrázků

- Obr. č. 1 Ztráty tepla v běžných podmínkách [25]
- Obr. č. 2 C-therm [17]
- Obr. č. 3 Přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate [47]
- Obr. č. 4 SGHP [48]
- Obr. č. 5 Přístroj na měření tepelné vodivosti FOX 314 [49]
- Obr. č. 6 Přístroj Togmetr [14]
- Obr. č. 7 Princip přístroje ALAMBETA [50]
- Obr. č. 8 Termokamera [15]
- Obr. č. 9 Aerodynamický tunel [12]
- Obr. č. 10 Třívrstvý laminát, dvouvrstvý laminát, volně vložená membrána [1]
- Obr. č. 11 Logo značky Polartec [41]
- Obr. č. 12 Logo značky Primaloft [51]
- Obr. č. 13 Logo značky Climashield [52]
- Obr. č. 14 Řez „Sandwichem“ San. 1-6
- Obr. č. 15 Řez „Sandwichem“ San. x.x.
- Obr. č. 16 Řez „Sandwichem“ San. 7 a 8
- Obr. č. 17 Naměřená tloušťka materiálu
- Obr. č. 18 Naměřený tepelný odpor na přístroji SGHP
- Obr. č. 19 Tepelný odpor na přístroji SGHP – samostatné vrstvy
- Obr. č. 20 Tepelný odpor na přístroji SGHP – Vrstvené textilie I
- Obr. č. 21 Tepelný odpor na přístroji SGHP – Vrstvené textilie II
- Obr. č. 22 Naměřený tepelný odpor na přístroji FOX 314
- Obr. č. 23 Tepelný odpor na přístroji FOX 314 – Samotné vrstvy
- Obr. č. 24 Tepelný odpor na přístroji FOX 314 – Vrstvené textilie I
- Obr. č. 25 Tepelný odpor na přístroji FOX 314 – Vrstvené textilie II
- Obr. č. 26 Naměřený tepelný odpor na přístroji TCI
- Obr. č. 27 Tepelný odpor na přístroji TCI – Samotné vrstvy

- Obr. č. 28 Tepelný odpor na přístroji TCI – Vrstvené textilie I
- Obr. č. 29 Tepelný odpor na přístroji TCI – Vrstvené textilie II
- Obr. č. 30 Korelace mezi přístrojem SGHP a FOX 314
- Obr. č. 31 Korelace mezi přístrojem SGHP a TCI
- Obr. č. 32 Korelace mezi přístrojem FOX 314 a TCI
- Obr. č. 33 Porovnání tepelného odporu na všech přístrojích
- Obr. č. 34 Tepelný odpor – Samotné vrstvy
- Obr. č. 35 Tepelný odpor – Vrstvené textilie I
- Obr. č. 36 Tepelný odpor – Vrstvené textilie II
- Obr. č. 37 Tepelný odpor s vynecháním výplňkových materiálů
- Obr. č. 38 Naměřené rozdílné teploty na přístroji FOX 314
- Obr. č. 39 Porovnání výplní Primaloft a Climashield
- Obr. č. 39 Porovnání vrstvených textilií se samotnými vrstvami
- Obr. č. 40 Porovnání vrstvených textilií s fleecem a bez fleecu
- Obr. č. 42 Porovnání softshellového a fleecového materiálu

Seznam tabulek

- Tab. č. 1 Plošné hmotnosti měřených materiálů
- Tab. č. 2 Přehled měřeného materiálu
- Tab. č. 3 Kombinace a složení vrstvených textilií.
- Tab. č. 4 Materiál měřený při teplotě -10°C
- Tab. č. 5 Naměřená tloušťka materiálu
- Tab. č. 6 Průměrná hodnota tepelného odporu na přístroji SGHP
- Tab. č. 7 Vypočítaný variační koeficient k přístroji SGHP
- Tab. č. 8 Hodnoty tepelného odporu na přístroji FOX 314
- Tab. č. 9 Variační koeficient u přístroje FOX 314
- Tab. č. 10 Tepelný odpor na přístroji TCI
- Tab. č. 11 Vypočítané hodnoty korelacečního koeficientu

Seznam příloh

Příloha 1 – Regresní a korelační analýza

Příloha 2 – Tloušťka materiálu

Příloha 3 – Přístroj SGHP

Příloha 4 – Přístroj FOX 314

Příloha 5 – Přístroj TCI

Přílohy

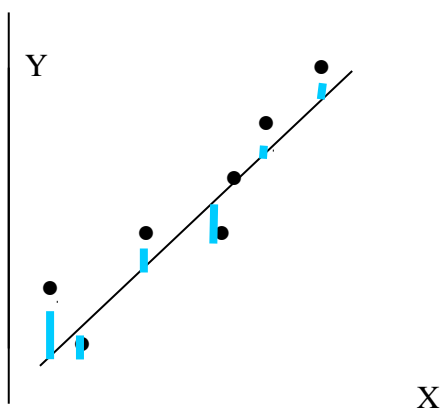
Příloha 1 – Regresní a korelační analýza

Regresní a korelační analýza

V následujícím textu je doplněna teorie k vyhodnocení experimentu.

Regresní analýza

Lineární regresí se popisuje vztah dvou kvantitativních proměnných X a Y definováním přímky, která nejlépe vystihuje průběh jejich závislosti. V bodovém diagramu si ji lze představit jako přímku, která je nejbližší všem bodům.



Obr. č. 1 Regresní přímka

Předpokládá se, že proměnná Y je závislá na X a ne naopak. X se nazývá nezávislá (vysvětlující) proměnná a Y se nazývá závislá (vysvětlovaná) proměnná.

Hodnoty X se předpokládají jako měřené bez chyby. Proměnná Y je naproti tomu náhodná proměnná, která je předmětem zkoumání. Pozorování jsou nezávislá. Závislost Y na X je možné popsat pomocí tzv. regresní přímky:

$$Y = a + b X \quad (19)$$

kde a, b jsou neznámé parametry přímky.

a určuje vzdálenost průsečíku regresní přímky s osou y od počátku souřadnic (hodnota regresní funkce pro $x=0$).

b určuje sklon úhlu, který regresní přímka svírá s osou x (jde vlastně o tangens tohoto úhlu).

Vhodné odhady parametrů se získávají metodou nejmenších čtverců, která je založena na minimalizaci tzv. reziduálního součtu čtverců:

$$S = \sum (y_i - y_i')^2, \quad (20)$$

tj. součtu čtverců rozdílů pozorovaných hodnot y_i od hodnot y_i' teoreticky vypočtených

$$y_i' = a + bx_i. \quad (21)$$

Výše popsaná metoda vede k následujícím výsledkům:

$$b = r \frac{s_y}{s_x} \quad (22)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}, \quad (23)$$

kde r je korelační koeficient a s_x a s_y jsou směrodatné odchylky. Parametr b se nazývá regresní koeficient. Udává, o kolik se změní závisle proměnná veličina, zvětší-li se hodnota nezávisle proměnné o jednotku.

Postupem ověření, zda je přímka dobrým vysvětlením daného vztahu je zjištění podílu celkového rozptylu, který je touto přímkou vysvětlen. Tento podíl se nazývá koeficient determinace R^2 . Je počítán jako podíl součtu čtverců (rozptylu) vysvětleného regresí k celkové sumě součtu čtverců (rozptylu). Je to tedy podíl rozptylu dat vyčerpaný regresním modelem. V případě lineární regrese je roven druhé mocnině korelačního koeficientu.

Významnost regresních koeficientů

Parametr b určuje, zda závislost existuje nebo neexistuje. O závislosti nelze mluvit v případě, že je regresní přímka rovnoběžná s osou x , tj. v případě, že regresní koeficient $b = 0$.

Testové kritérium

$$r = \frac{s_{res}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (24)$$

kde s_{res} je směrodatná odchylka reziduí [19]

Korelace

Korelační analýza se zabývá mírou závislosti náhodných dat. Standardním výstupem korelační analýzy je koeficient popisující míru závislosti, zvaný korelační koeficient.

Korelační koeficient slouží jako míra vyjádření těsnosti lineární vazby. Korelační analýza popisuje lineární vztahy mezi veličinami.

Párový (Pearsonův) korelační koeficient

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(n-1) s_x s_y} \quad (25)$$
$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Korelační koeficient R může nabývat hodnot od -1 do +1.

Druhá mocnina korelačního koeficientu R^2 se nazývá koeficient determinace a nabývá hodnot od 0 do +1.

Test významnosti korelačního koeficientu

$H_0: R = 0; H_1: R \neq 0$

$$t = \frac{|R| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (26)$$

Spearmanův (pořadový) korelační koeficient ρ

Je založen na srovnání pořadí hodnot. Tento koeficient je robustní. Jeho vztah ke klasickému korelačnímu koeficientu je analogií vztahu mediánu k aritmetickému průměru. Spearmanův koeficient není ovlivněn výskytem vlivných bodů.

$$\rho_{Sp} = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n (P_{1i} - P_{2i})^2 \quad (27)$$

kde P_{1i}, P_{2i} jsou čísla označující pořadí.

Korelační koeficienty v pokročilých regresních metodách

Parciální korelační koeficient

Popisují vztah mezi dvěma proměnnými x_i a x_j při zkonstantnění dalších proměnných.

Parciální korelační koeficient 1. řádu:

$$R_{1,2(3)} = \frac{R_{1,2} - R_{1,3}R_{2,3}}{\sqrt{(1 - R_{1,3}^2)(1 - R_{2,3}^2)}} \quad (28)$$

kde $R_{1,2}$ je párový korelační koeficient mezi proměnnými 1 a 2,

$R_{1,3}$ je párový korelační koeficient mezi proměnnými 1 a 3,

$R_{2,3}$ je párový korelační koeficient mezi proměnnými 2 a 3,

$R_{1,2(3)}$ je korelační koeficient mezi proměnnými 1 a 2, je-li proměnná 3 konstantní.

Vícenásobný korelační koeficient (používá se u vícenásobné lineární regrese)

$$R_{(2,\dots,m)} = \sqrt{1 - \frac{\det(\mathbf{R})}{\det(\mathbf{R}_{11})}} \quad (29)$$

kde $\det(\mathbf{R}_{ij})$ označuje determinant matice vzniklé vypuštěním i -tého řádku a j -tého sloupce korelační matice \mathbf{R} (matice párových korelačních koeficientů s 1 na hlavní diagonále). [20]

Příloha 2 - Tloušťka materiálu

Tabulka ukazuje jednotlivé naměřené hodnoty a vypočítanou statistiku.

Tab. č. 1 Naměřená tloušťka materiálu

	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102
	0,38	3,29	3,04	0,23	8,34	4,19
	0,4	3,33	3,13	0,27	8,02	4,44
	0,42	3,35	2,95	0,27	8,45	4,68
	0,41	3,38	3,14	0,27	8,72	4,13
Průměr [mm]	0,403	3,338	3,065	0,260	8,383	4,360
Směrodatná odchylka [mm]	0,017	0,038	0,089	0,020	0,290	0,252
Rozptyl [mm²]	0,000	0,001	0,008	0,000	0,084	0,064
Variační koeficient [%]	4,243	1,131	2,900	7,692	3,455	5,781
Confidence [mm]	0,017	0,037	0,087	0,020	0,284	0,247
Dolní IS [mm]	0,386	3,301	2,978	0,240	8,099	4,113
Horní IS [mm]	0,419	3,374	3,152	0,280	8,666	4,607
	Primaloft 73	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	
	4,06	10,82	6,61	5,31	1,52	
	4,05	11,97	4,97	4,43	1,5	
	4,15	12,16	5,57	6,09	1,51	
	3,85	11,87	5,23	6,12	1,5	
Průměr [mm]	4,028	11,705	5,595	5,488	1,508	
Směrodatná odchylka [mm]	0,127	0,602	0,720	0,799	0,010	
Rozptyl [mm²]	0,016	0,363	0,518	0,638	0,000	
Variační koeficient [%]	3,143	5,144	12,867	14,552	0,635	
Confidence [mm]	0,124	0,590	0,705	0,783	0,009	
Dolní IS [mm]	3,903	11,115	4,890	4,705	1,498	
Horní IS [mm]	4,152	12,295	6,300	6,270	1,517	

Příloha 3 – Přístroj SGHP

Měření na přístroji SGHP probíhalo podle normy **(80 0819)** Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou).

Níže jsou uvedené základní informace k této normě.

Norma ČSN EN 31092
(80 0819)

Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)

Relativní vlhkost proudu vzduchu musí být během doby měření regulována s přesností $\pm 3 \%$ relativní vlhkosti vzduchu.

Tento proud vzduchu je měřen při teplotě vzduchu 20 °C v bodě nad středem nezakryté měřicí jednotky ve vzdálenosti 1,5 mm nad měřícím stolem. V tomto bodě naměřená rychlost proudění musí vykazovat střední hodnotu 1 m/s, přičemž odchylka během trvání zkoušky nesmí být větší než $\pm 0,005 \frac{m}{s}$.

Měření tepelné odolnosti R_{ct}

Zkušební vzorky musí být umístěny tak, aby ležely rovně přes měřicí jednotku se stranou, která v praxi pokrývá lidské tělo k měřicí jednotce. V případě vícenásobných vrstev, musí být vzorky sestaveny a složeny ne měřicí jednotce tak, jako na lidském těle.

Musí se zabránit bublinám a pomačkání zkušebního vzorku nebo vzduchovým mezerám mezi vzorkem a měřicí jednotkou nebo komponentami několika vrstev vzorku za předpokladu, že nejsou specifické pro profil povrchu vzorku. Vzorky jsou měřeny bez napínání či zatěžování.

Teplota povrchu měřicí jednotky je 35 °C a teplota vzduchu 20 °C s relativní vlhkostí 65 %. Rychlost vzduchu se seřídí na 1 m/s. [43]

Tabulka ukazuje naměřené hodnoty na přístroji SGHP a spočítaný průměr a další tabulka obsahuje vypočítanou statistiku k hodnotám. Od každého materiálu byly měřeny tři vzorky. Jednotlivé vzorky jsou označeny písmeny A, B a C.

Tab. č. 2 Naměřený tepelný odpor na přístroji SGHP

SGHP	Tepelný odpor [m ² K/W]			Průměr [m ² K/W]
	A	B	C	
Tkanina	0,009	0,008	0,009	0,009
Fleece 250	0,097	0,107	0,099	0,101
Fleece 300	0,088	0,084	0,088	0,087
Osnovní pleternina	0,007	0,012	0,005	0,008
Primaloft 136	0,326	0,310	0,329	0,322
Primaloft 102	0,263	0,263	0,253	0,260
Primaloft 73	0,208	0,218	0,225	0,217
Climashield 119	0,263	0,288	0,292	0,281
Climashield 92	0,163	0,181	0,173	0,172
Climashield 65	0,187	0,203	0,197	0,196
Softshell	0,040	0,042	0,041	0,041
San. 1	0,345	0,397	0,397	0,380
San. 2	0,290	0,298	0,283	0,290
San. 3	0,243	0,249	0,244	0,246
San. 4	0,230	0,310	0,226	0,256
San. 5	0,202	0,215	0,217	0,211
San. 6	0,209	0,232	0,233	0,225
San. 1.1	0,423	0,476	0,463	0,454
San. 2.1	0,346	0,357	0,352	0,352
San. 3.1	0,322	0,311	0,320	0,318
San. 4.1	0,317	0,388	0,388	0,364
San. 5.1	0,292	0,305	0,294	0,297
San. 6.1	0,297	0,315	0,320	0,311
San. 7	0,138	0,138	0,139	0,138
San. 8	0,125	0,122	0,120	0,122

Srovnávací analýza metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností

Tab. č. 3 Statistika k přístroji SGHP

SGHP	Tepelný odpor [m ² K/W]					
	Směrodatná odchylka [m ² K/W]	Var. koef. [%]	Rozptyl [(m ² K/W) ²]	Confidence [m ² K/W]	Dolní IS [m ² K/W]	Horní IS [m ² K/W]
Tkanina	0,001	6,891	0,000000	0,001	0,008	0,010
Fleece 250	0,005	5,358	0,000029	0,006	0,095	0,107
Fleece 300	0,002	2,535	0,000005	0,002	0,084	0,089
Osnovní pletemin	0,004	46,449	0,000014	0,004	0,004	0,012
Primaloft 136	0,010	3,207	0,000107	0,012	0,310	0,334
Primaloft 102	0,006	2,302	0,000036	0,007	0,253	0,266
Primaloft 73	0,009	4,081	0,000078	0,010	0,207	0,227
Climashield 119	0,015	5,492	0,000238	0,017	0,264	0,298
Climashield 92	0,009	5,011	0,000075	0,010	0,163	0,182
Climashield 65	0,008	4,020	0,000062	0,009	0,187	0,204
Softshell	0,001	2,246	0,000001	0,001	0,040	0,042
San. 1	0,030	7,896	0,000898	0,034	0,346	0,413
San. 2	0,007	2,462	0,000051	0,008	0,282	0,298
San. 3	0,003	1,317	0,000010	0,004	0,242	0,249
San. 4	0,047	18,581	0,002256	0,054	0,202	0,309
San. 5	0,009	4,066	0,000074	0,010	0,202	0,221
San. 6	0,014	6,190	0,000193	0,016	0,209	0,240
San. 1.1	0,027	6,048	0,000753	0,031	0,423	0,485
San. 2.1	0,005	1,538	0,000029	0,006	0,346	0,358
San. 3.1	0,006	1,836	0,000034	0,007	0,311	0,325
San. 4.1	0,041	11,346	0,001709	0,047	0,318	0,411
San. 5.1	0,007	2,321	0,000048	0,008	0,289	0,305
San. 6.1	0,012	3,953	0,000151	0,014	0,297	0,325
San. 7	0,000	0,301	0,000000	0,000	0,138	0,139
San. 8	0,003	2,131	0,000007	0,003	0,119	0,125

Příloha 4 – Přístroj FOX 314

Protokol o měření

Ukázka jednoho záznamu měření z přístroje FOX 314.

Monday, November 03, 2014, Time 08:56

Wintherm32v3 Version 3.31.49
Instrument: F314
Instrument Program Version 76
Instrument Serial Number: 1407

Sample Name: Sendvic 1A
Thickness: 99.9935mm
Thickness obtained : user entered

TEST RUN

Calibration used : User Type
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper [°C]	Tlower [°C]	Qupper [μV]	Qlower [μV]	Lambda [W/mK]
-ne-	20.01	35.02	-1921	1856	0.1892
-te-	20.00	35.01	-1719	1754	0.1742
-te-	20.01	35.01	-1670	1740	0.1711
-te-	20.01	35.01	-1647	1737	0.1698
-pe-	20.02	35.02	-1650	1737	0.1700
-pe-	20.01	35.02	-1647	1734	0.1696
-pe-	20.01	35.02	-1643	1734	0.1695
-pe-	20.02	35.02	-1646	1731	0.1694
-pe-	20.02	35.02	-1647	1730	0.1695
-pe-	20.02	35.02	-1653	1728	0.1697
-pe-	20.01	35.02	-1648	1729	0.1695
-pe-	20.02	35.02	-1649	1728	0.1695
-pe-	20.01	35.02	-1648	1729	0.1695
-pe-	20.01	35.02	-1645	1729	0.1693
-pe-	20.02	35.02	-1658	1726	0.1698

Monday, November 03, 2014, Time 10:00

Setpoint No. 1
Setpoint Upper: 20.00 °C
Setpoint Lower: 35.00 °C
Temperature Upper: 20.02 °C
CalibFactor Upper: 0.014603
Results Upper: 0.1606 W/mK
Temperature Lower: 35.02 °C

Srovnávací analýza metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností

CalibFactor Lower: 0.015493
 Results Lower: 0.1784 W/mK
 Percent Difference: 10.49%

Thermal Equilibrium Criteria:
 Temperature Equilibrium: 0.20
 Between Block HFM Equil.: 49
 HFM Percent Change: 2.00
 Min Number of Blocks: 12
 Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
27.52	0.1606	0.1784	0.1695

V první tabulce jsou uvedeny hodnoty naměřené tepelné vodivosti a v další tabulce jsou již přepočítané hodnoty vodivosti na tepelný odpor. Dále je uvedena vypočítaná statistika. Od každého materiálu byly měřeny opět tři vzorky.

Tab. č. 4 Naměřené hodnoty tepelné vodivosti na FOX 314

FOX	Tepelná vodivost [W/(mK)]					
	20 °C			(-10 °C)		
	A	B	C	A	B	C
Tkanina	0,565	0,545	0,563	0,627	0,608	0,613
Fleece 250	0,365	0,377	0,380	0,363	0,351	0,355
Fleece 300	0,393	0,396	0,385	0,391	0,390	0,383
Osnovní pleternina	0,590	0,604	0,619	0,666	0,666	0,665
Primaloft 136	0,206	0,180	0,181	0,156	0,170	0,167
Primaloft 102	0,242	0,234	0,233	0,216	0,209	0,214
Primaloft 73	0,291	0,280	0,273	0,265	0,250	0,250
Climashield 119	0,200	0,217	0,227	0,211	0,195	0,206
Climashield 92	0,330	0,336	0,321	0,307	0,288	0,293
Climashield 65	0,311	0,303	0,302	0,296	0,274	0,276
Softshell	0,468	0,482	0,453	0,473	0,478	0,485
San. 1	0,178	0,158	0,159			
San. 2	0,206	0,205	0,202			
San. 3	0,245	0,228	0,229			
San. 4	0,204	0,190	0,193			
San. 5	0,265	0,254	0,266			
San. 6	0,256	0,242	0,242			
San. 1.1	0,147	0,132	0,134			
San. 2.1	0,162	0,166	0,163			
San. 3.1	0,187	0,176	0,174			
San. 4.1	0,176	0,157	0,159			
San. 5.1	0,201	0,193	0,199			
San. 6.1	0,191	0,186	0,188			
San. 7	0,314	0,322	0,327			
San. 8	0,323	0,333	0,347			

Tab. č. 5 Hodnoty tepelného odporu na FOX 314

FOX Tepelný odpor [m ² K/W]				20 °C
	A	B	C	Průměr [m ² K/W]
Tkanina	0,02719	0,03356	0,02785	0,02954
Fleece 250	0,12375	0,11554	0,11296	0,11741
Fleece 300	0,10459	0,10247	0,10961	0,10556
Osnovní pleternina	0,01951	0,01556	0,01155	0,01554
Primaloft 136	0,33622	0,40532	0,40287	0,38147
Primaloft 102	0,26398	0,27706	0,28000	0,27368
Primaloft 73	0,19407	0,20684	0,21624	0,20572
Climashield 119	0,34933	0,31048	0,29022	0,31667
Climashield 92	0,15301	0,14814	0,16170	0,15428
Climashield 65	0,17203	0,18011	0,18175	0,17796
Softshell	0,06384	0,05750	0,07092	0,06409
San. 1	0,41061	0,48339	0,47743	0,45714
San. 2	0,33622	0,33788	0,34463	0,33958
San. 3	0,25874	0,28829	0,28771	0,27825
San. 4	0,34003	0,37778	0,36794	0,36192
San. 5	0,22772	0,24424	0,22616	0,23271
San. 6	0,24055	0,26296	0,26415	0,25589
San. 1.1	0,53220	0,60938	0,59468	0,57875
San. 2.1	0,46698	0,45140	0,46244	0,46027
San. 3.1	0,38369	0,41761	0,42479	0,40870
San. 4.1	0,41988	0,48783	0,47782	0,46184
San. 5.1	0,34833	0,36929	0,35234	0,35665
San. 6.1	0,37446	0,38684	0,38086	0,38072
San. 7	0,16814	0,16054	0,15626	0,16165
San. 8	0,15977	0,15047	0,13793	0,14939

Tab. č. 6 Statistika k přístroji FOX 314

FOX Tepelný odpor [m ² K/W]	20 °C					
	Směrodatná odchylka [m ² K/W]	Variační koeficient [%]	Rozptyl [(m ² K/W) ²]	Confidence [m ² K/W]	Dolní IS [m ² K/W]	Horní IS [m ² K/W]
Tkanina	0,00350	11,85809	0,00001	0,00396	0,02557	0,03350
Fleece 250	0,00563	4,79925	0,00003	0,00638	0,11104	0,12379
Fleece 300	0,00367	3,47386	0,00001	0,00415	0,10141	0,10971
Osnovní pleternina	0,00398	25,62044	0,00002	0,00450	0,01103	0,02004
Primaloft 136	0,03921	10,27777	0,00154	0,04437	0,33710	0,42584
Primaloft 102	0,00853	3,11532	0,00007	0,00965	0,26403	0,28333
Primaloft 73	0,01113	5,40881	0,00012	0,01259	0,19313	0,21831
Climashield 119	0,03004	9,48545	0,00090	0,03399	0,28268	0,35066
Climashield 92	0,00687	4,45225	0,00005	0,00777	0,14651	0,16206
Climashield 65	0,00520	2,92284	0,00003	0,00589	0,17208	0,18385
Softshell	0,00671	10,47694	0,00005	0,00760	0,05649	0,07169
San. 1	0,04041	8,83877	0,00163	0,04572	0,41142	0,50287
San. 2	0,00446	1,31255	0,00002	0,00504	0,33453	0,34462
San. 3	0,01690	6,07238	0,00029	0,01912	0,25913	0,29737
San. 4	0,01958	5,41064	0,00038	0,02216	0,33976	0,38408
San. 5	0,01002	4,30628	0,00010	0,01134	0,22137	0,24404
San. 6	0,01330	5,19647	0,00018	0,01505	0,24084	0,27093
San. 1.1	0,04098	7,08024	0,00168	0,04637	0,53238	0,62512
San. 2.1	0,00801	1,74110	0,00006	0,00907	0,45121	0,46934
San. 3.1	0,02195	5,37067	0,00048	0,02484	0,38386	0,43354
San. 4.1	0,03669	7,94367	0,00135	0,04151	0,42033	0,50336
San. 5.1	0,01112	3,11901	0,00012	0,01259	0,34406	0,36924
San. 6.1	0,00619	1,62680	0,00004	0,00701	0,37371	0,38773
San. 7	0,00602	3,72276	0,00004	0,00681	0,15484	0,16846
San. 8	0,01096	7,33681	0,00012	0,01240	0,13698	0,16179

Dále jsou uvedeny tabulky, kde je uvedeno měření při minusových teplotách.

Tab. č. 7 Tepelný odpor při -10°C

FOX Tepelný odpor [m ² K/W]	(-10 °C)			
	A	B	C	Průměr [m ² K/W]
Tkanina	0,00964	0,01455	0,01310	0,01243
Fleece 250	0,12578	0,13465	0,13192	0,13079
Fleece 300	0,10616	0,10649	0,11151	0,10805
Osnovní pleternina	0,00020	0,00029	0,00052	0,00034
Primaloft 136	0,49192	0,44005	0,45032	0,46076
Primaloft 102	0,31218	0,32854	0,31802	0,31958
Primaloft 73	0,22686	0,25040	0,25088	0,24271
Climashield 119	0,32513	0,36316	0,33457	0,34095
Climashield 92	0,17634	0,19718	0,19126	0,18826
Climashield 65	0,18803	0,21571	0,21279	0,20551
Softshell	0,06167	0,05915	0,05643	0,05908

Tab. č. 8 Statistika k teplotě -10°C

FOX Tepelný odpor [m ² K/W]	(-10 °C)					
	Směrodatná odchylka [m ² K/W]	Variační koeficient [%]	Rozptyl [(m ² K/W) ²]	Confidence [m ² K/W]	Dolní IS [m ² K/W]	Horní IS [m ² K/W]
Tkanina	0,00252164	20,28658244	0,00000636	0,00285346	0,00957665	0,01528356
Fleece 250	0,00454111	3,47215594	0,00002062	0,00513866	0,12564792	0,13592524
Fleece 300	0,00300198	2,77828461	0,00000901	0,00339700	0,10465467	0,11144867
Osnovní pleternina	0,00016289	48,18570596	0,00000003	0,00018432	0,00015372	0,00052236
Primaloft 136	0,02747136	5,96216778	0,00075468	0,03108620	0,42967513	0,49184754
Primaloft 102	0,00829187	2,59459603	0,00006876	0,00938296	0,31019928	0,32896520
Primaloft 73	0,01372641	5,65542575	0,00018841	0,01553261	0,22717956	0,25824477
Climashield 119	0,01979958	5,80710171	0,00039202	0,02240493	0,31854975	0,36335960
Climashield 92	0,01073742	5,70359053	0,00011529	0,01215031	0,17610681	0,20040742
Climashield 65	0,01520819	7,40033062	0,00023129	0,01720937	0,18829753	0,22271627
Softshell	0,00262045	4,43517875	0,00000687	0,00296526	0,05611803	0,06204856

Příloha 5 – Přístroj TCI

Níže je uvedena tabulka, kde je uvedena průměrná hodnota přepočítané vodivosti na tepelný odpor a poté následuje tabulka s naměřenými hodnotami tepelné vodivosti s příslušnou statistikou

Tab. č. 9 Hodnota tepelného odporu

TCI - Tepelný odpor [m²K/W]	
	Průměr [m²K/W]
Tkanina	0,00536
Fleece 250	0,07786
Fleece 300	0,07016
Osnovní pleternina	0,00293
Primaloft 136	0,20879
Primaloft 102	0,10179
Primaloft 73	0,09775
Climashield 119	0,29263
Climashield 92	0,14099
Climashield 65	0,13847
Softshell	0,03391
San. 1	0,13395
San. 2	0,07231
San. 3	0,06725
San. 4	0,18169
San. 5	0,09182
San. 6	0,08645
San. 1.1	0,30271
San. 2.1	0,20358
San. 3.1	0,19504
San. 4.1	0,38534
San. 5.1	0,23330
San. 6.1	0,23198
San. 7	0,11505
San. 8	0,10713

Srovnávací analýza metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností

Tab. č. 10 Naměřené hodnoty tepelné vodivosti na přístroji TCI

TCI - tepelná vodivost [W/mK]	Tkanina	Fleece 250	Fleece 300	Osnovní pletenina	Primaloft 136	Primaloft 102	Primaloft 73
	0,075042	0,042710	0,043995	0,088982	0,040576	0,042407	0,041331
	0,075301	0,042251	0,043607	0,088305	0,040296	0,042494	0,041280
	0,075363	0,042965	0,043826	0,089403	0,040186	0,042394	0,041215
	0,074460	0,042731	0,043539	0,090022	0,040362	0,042493	0,041004
	0,074558	0,042971	0,043986	0,089798	0,039986	0,042866	0,041280
	0,075498	0,043096	0,043571	0,089911	0,039821	0,043493	0,041573
	0,075129	0,043350	0,043514	0,086542	0,040210	0,043116	0,040691
Průměr [W/mK]	0,075050	0,042868	0,043720	0,088995	0,040205	0,042752	0,041196
Směrodatná odchylka [W/mK]	0,000400	0,000349	0,000211	0,001238	0,000247	0,000423	0,000279
Rozptyl [(W/mK)²]	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000
Variační koeficient [%]	0,532573	0,813431	0,483283	1,391290	0,614538	0,990055	0,676995
Confidence [W/mK]	0,000296	0,000258	0,000157	0,000917	0,000183	0,000314	0,000207
Dolní IS [W/mK]	0,074754	0,042609	0,043563	0,088077	0,040022	0,042438	0,040990
Horní IS [W/mK]	0,075346	0,043126	0,043876	0,089912	0,040388	0,043065	0,041403
	Climashield 119	Climashield 92	Climashield 65	Softshell	San. 1	San. 2	San. 3
	0,039751	0,039808	0,039751	0,044937	0,067129	0,070911	0,069990
	0,040056	0,039522	0,040056	0,044825	0,067193	0,069358	0,069991
	0,040345	0,039635	0,040345	0,044716	0,067656	0,068742	0,070125
	0,040652	0,039308	0,040652	0,044095	0,067404	0,069982	0,069574
	0,039644	0,039530	0,039530	0,044503	0,067129	0,070588	0,070072
	0,039977	0,039852	0,039852	0,043960	0,068233	0,068783	0,068937
	0,039489	0,039787	0,039787	0,044361	0,067950	0,068758	0,069486
Průměr [W/mK]	0,039988	0,039635	0,039996	0,044485	0,067528	0,069589	0,069739
Směrodatná odchylka [W/mK]	0,000407	0,000196	0,000387	0,000369	0,000436	0,000914	0,000432
Rozptyl [(W/mK)²]	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000
Variační koeficient [%]	1,018755	0,494818	0,966481	0,829137	0,644952	1,313113	0,619681
Confidence [W/mK]	0,000302	0,000145	0,000286	0,000273	0,000323	0,000677	0,000320
Dolní IS [W/mK]	0,039686	0,039489	0,039710	0,044212	0,067205	0,068912	0,069419
Horní IS [W/mK]	0,040290	0,039780	0,040283	0,044758	0,067850	0,070266	0,070060
	San.4	San. 5	San. 6	San. 1.1	San. 2.1	San. 3.1	San. 4.1
	0,067939	0,069054	0,071811	0,041121	0,040891	0,041151	0,040754
	0,068095	0,068221	0,070332	0,041127	0,040862	0,041025	0,041020
	0,067934	0,068650	0,070903	0,040869	0,040555	0,040795	0,040757
	0,068015	0,068049	0,070640	0,041129	0,040657	0,041343	0,040912
	0,068341	0,067628	0,070599	0,040693	0,041158	0,041271	0,040505
	0,068565	0,067201	0,071371	0,040846	0,041138	0,041270	0,040199
	0,067923	0,068056	0,072184	0,040715	0,041116	0,041253	0,040961
Průměr [W/mK]	0,068116	0,068123	0,071120	0,040929	0,040911	0,041158	0,040730
Směrodatná odchylka [W/mK]	0,000247	0,000614	0,000688	0,000195	0,000241	0,000191	0,000290
Rozptyl [(W/mK)²]	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Variační koeficient [%]	0,361999	0,900897	0,967627	0,476854	0,589236	0,462973	0,712212
Confidence [W/mK]	0,000183	0,000455	0,000510	0,000145	0,000179	0,000141	0,000215
Dolní IS [W/mK]	0,067934	0,067668	0,070610	0,040784	0,040732	0,041017	0,040515
Horní IS [W/mK]	0,068299	0,068577	0,071630	0,041073	0,041089	0,041299	0,040945
	San. 5.1	San. 6.1	San. 7	San. 8			
	0,041235	0,041143	0,042230	0,043263			
	0,041171	0,040916	0,041757	0,043230			
	0,041458	0,040967	0,042211	0,042861			
	0,041028	0,040773	0,042008	0,043007			
	0,041290	0,040919	0,042184	0,042882			
	0,040928	0,041075	0,041787	0,043314			
	0,041052	0,040527	0,042355	0,042978			
Průměr [W/mK]	0,041166	0,040903	0,042076	0,043076			
Směrodatná odchylka [W/mK]	0,000180	0,000204	0,000231	0,000189			
Rozptyl [(W/mK)²]	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000			
Variační koeficient [%]	0,437074	0,499354	0,550050	0,437784			
Confidence [W/mK]	0,000133	0,000151	0,000171	0,000140			
Dolní IS [W/mK]	0,041033	0,040751	0,041905	0,042937			
Horní IS [W/mK]	0,041299	0,041054	0,042248	0,043216			