



# NOVÁ METODA MĚŘENÍ TEPELNÉHO ODPORU ZEJMÉNA VLÁKENNÝCH IZOLAČNÍCH VRSTEV

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B3107 – Textil  
*Studijní obor:* 3107R007 – Textilní marketing  
*Autor práce:* **Barbora Svádová**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Barbora Svádová**  
Osobní číslo: **T11000578**  
Studijní program: **B3107 Textil**  
Studijní obor: **Textilní marketing**  
Název tématu: **Nová metoda měření tepelného odporu zejména vláknenných izolačních vrstev**  
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Zásady pro vypracování:

1. Uveďte stručný přehled poznatků o komfortu textilií a způsobech jeho hodnocení, zejména pak o stanovení tepelného odporu textilií přístrojem ALAMBETA a dalšími komerčními přístroji.
2. Popište podrobně princip nové metody tepelného odporu textilií přístrojem TERMOSKOP a seznámete se s jeho obsluhou. Opatřete vzorky textilií o stejné vazbě z různých materiálů a desky z pěnového PE o různé tloušťce a po jejich přiložení na tepelně vodivé podložky s různou tepelnou vodivostí proměřte pomocí přístroje jejich tepelný odpor. Stanovte vliv přítlaku na naměřené hodnoty tepelného odporu PE desek.
3. Získané výsledky použijte k optimalizaci nastavitelných parametrů přístroje s cílem docílení co nejvíce lineární závislosti tepelného odporu na tloušťce textilií resp. PE desek. Pro toto optimální nastavení zjistěte vliv parametrů měřených textilií na přesnost měření jejich tepelného odporu textilií přístrojem.
4. Proměřte vliv tepelné jímavosti různých tepelně vodivých podložek a tepelného odporu proměřovaných vzorků na výsledky měření tepelného odporu vzorků. Výsledky měření vyhodnoťte statisticky a zobrazte pomocí regresních závislostí. V závěru komentujte dosažené výsledky a navrhněte optimální postup při měření.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

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

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

Vedoucí bakalářské práce:

**prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.**

Katedra hodnocení textilií

Konzultant bakalářské práce:

**Kausik Bal, Ph.D.**

Katedra hodnocení textilií

Datum zadání bakalářské práce: **24. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2015**

  
Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



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

V Liberci dne 23. března 2015

## Prohlášení

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

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

Užiji-li bakalářskou 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.

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

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

Datum:

Podpis:

## PODĚKOVÁNÍ

Tato bakalářská práce vznikla pod dohledem pana Prof. Ing. Luboše Hese, DrSc., kterému velice děkuji za odbornou pomoc, připomínky a rady při zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji panu Kausiku Balovi PhD., za pomoc při práci na novém zařízení a panu Prof. Ing. Ivanovi Doležalovi, CSc.

## ANOTACE

Tématem této bakalářské práce je nová metoda stanovení tepelného odporu zejména vláknenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje stručný přehled poznatků o komfortu textilií a způsobech jeho hodnocení, zejména pak stanovení tepelného odporu textilií přístrojem Alambeta a dalšími komerčními přístroji. Praktická část zahrnuje podrobný popis nového zařízení, přidaný o postup jak s přístrojem jako takovým pracovat a vysvětlení principu měření na novém zařízení. V další části jsou uvedeny vzorky, které jsou v experimentu použity. Následuje měření na přístroji Alambeta a Termoskop, kde jsou zkoumány vlivy, které působí na přesnost měření nového přístroje. V závěru jsou komentovány dosažené výsledky a je zde navrhnout optimální postup při měření pomocí této nové metody.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Komfort, tepelný odpor, tepelná vodivost, ALAMBETA, TERMOSKOP

## ANNOTATION

The theme of this thesis is a new method of determining the thermal resistance especially fibrous insulating layers and its advantages over the known methods. The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part describes a brief overview of the knowledge about the comfort of fabrics and methods for its assessment, in particular the determination of the thermal resistance of the device Alambeta textiles and other commercial devices. The practical part includes a detailed description of the new devices added to the procedure as a unit such as work and explanation measurements with the new system. The next section describes the samples that are used in the experiment. Following measurements on the instrument Alambeta and Thermoscope, where investigated influences that affect the accuracy of measurement of the new device. In conclusion, we commented on the results achieved and there is a suggested optimal method of measurement using this new method.

### **KEY WORDS:**

Comfort, thermal resistance, thermal conductivity, ALAMBETA, THERMOSCOP

---

Nová metoda měření tepelného odporu zejména vláknenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

|            |                            |  |
|------------|----------------------------|--|
| R          | plošný odpor vedení tepla  | $[\text{W}^{-1}\text{K} \cdot \text{m}^2]$               |
| h          | tloušťka materiálu         | [mm]   |
| $\lambda$  | měrná tepelná vodivost     | $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1}\text{K}]$                 |
| $R_{cl}$   | celkový tepelný odpor      | $[\text{W}^{-1}\text{K} \cdot \text{m}^2]$               |
| $\nu$      | dynamická viskozita        | $[\text{m}^2/\text{s}]$                                  |
| d          | rozměr objektu             | [m]  |
| q          | tepelný tok                | $[\text{W}/\text{m}^2]$                                  |
| $\alpha_c$ | koefficient přestupu tepla | $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$                          |
| $t_1$      | teplota pokožky            | $[\text{°C}]$  |
| $t_2$      | teplota okolí              | $[\text{°C}]$  |
| $\varphi$  | relativní vlhkost          | [%]  |
| b          | tepelná jímavost           | $[\text{W} \cdot \text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}]$ |
| a          | měrná teplotní vodivost    | $[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$                              |
| CO         | bavlna                     |  |
| PE         | polyetylen                 |  |
| PU         | polyuretan                 |  |
| PL         | polyester                  |  |
| VI         | viskóza                    |  |
| WO         | vlna                       |  |

## Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....   | <b>11</b> |
| 1. KOMFORT TEXTILÍ .....   | 11        |
| 1.1 PSYCHOLOGICKÝ KOMFORT .....  | 11        |
| 1.2 SENSORICKÝ KOMFORT .....   | 12        |
| 1.3 PATOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT .....   | 12        |
| 1.4 TERMOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT .....  | 13        |
| 2. TERMOREGULACE .....   | 14        |
| 2.1 ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA MEZI ČLOVĚKEM A OKOLÍM .....   | 14        |
| 2.2 ODVOD PLYNNÉ VLHKOSTI Z POVRCHU TĚLA .....   | 18        |
| 2.3 ODVOD KAPALNÉ VLHKOSTI Z POVRCHU TĚLA .....  | 18        |
| 3. HODNOCENÍ TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU TEXTILÍ .....  | 20        |
| 3.1 DOSAVADNÍ STAV TECHNIKY.....   | 20        |
| 3.2 SKIN MODEL .....   | 21        |
| 3.3 ALAMBETA.....  | 21        |
| 3.4 TOGMETR.....   | 23        |
| 3.5 NEVÝHODY ZNÁMÝCH METOD A PŘÍSTROJŮ PRO MĚŘENÍ TEPELNÉHO ODPORU<br>PLOŠNÝCH TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VRSTEV. .... | 24        |
| 3.6 VÝHODY NOVÉHO METODY OPROTI DOSAVADNÍ TECHNICE .....   | 24        |
| <b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....   | <b>25</b> |
| 1. MATERIÁLY POUŽITÉ PŘI MĚŘENÍ.....   | 25        |
| 1.1 POLYURETAN .....   | 25        |
| 1.2 POLYETYLEN .....   | 25        |
| 1.3 POLYESTER.....   | 26        |
| 1.4 BAVLNA .....   | 27        |
| 1.5 ROZBOR VZORKŮ.....   | 28        |
| 2. PŘÍSTROJE POUŽITÉ V EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI .....  | 32        |
| 2.1 ALAMBETA.....  | 32        |
| 2.2 NOVÁ METODA MĚŘENÍ - TERMOSKOP.....  | 33        |



|   |           |
|---|-----------|
| 3. MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA.....                      | 40        |
| 4. MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI TERMOSKOP .....                    | 45        |
| 4.1 KALIBRACE .....                                       | 45        |
| 4.2 POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH HODNOT.....                       | 45        |
| 4.3 VLIV PŘÍTLAKU SONDY NA TEXTILII .....                 | 47        |
| 4.4 VLIV PARAMETRŮ (TLOUŠŤKY) TEXTILE .....               | 51        |
| 4.5 VLIV MATERIÁLU MĚŘÍCÍ ZÁKLADNY.....                   | 53        |
| 4.6 KALIBRACE Č. 2 PRO VZORKY Z BAVLNY A POLYESTERU ..... | 58        |
| 4.7 MĚŘENÍ NA POKOŽCE.....                                | 61        |
| <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>                     | <b>66</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                               | <b>67</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                | <b>68</b> |
| <b>SEZNAM ROVNIC .....</b>                                | <b>70</b> |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                                 | <b>70</b> |

## ÚVOD

Znalost tepelného odporu izolační vrstvy materiálu, obklopující předměty, které je nutno tepelně izolovat, patří v dnešní době mezi velmi užitečné a vyhledávané parametry. Předmětem této bakalářské práce je nové zařízení, které bude sloužit ke stanovení tepelného odporu izolační vrstvy pomocí kontaktní sondy přikládané k přístupnému povrchu izolační vrstvy, aniž bychom museli znát tloušťku této vrstvy nebo teplotu její vnitřní odvrácené resp. nedostupné plochy.

V praxi tuto metodu využijeme např. v průmyslové výrobě, když je zapotřebí zjistit tepelný odpor tepelně izolační vrstvy obklopující např. různé sušící či ohřívací pece nebo potrubí topných systémů. Nízký tepelný odpor těchto izolací způsobuje ztrátu tepla stěnami spotřebiče, která je důvodem snížení hospodárnosti provozu průmyslových plynových spotřebičů i spotřebičů vytápěných elektřinou. Tato ztráta činí u průmyslových pecí 8 – 12 % tepla dodaného spotřebiči. V provozu těchto izolovaných zařízení jsou ovšem situace, kdy je nezbytné zjišťovat stav izolace prakticky bez významnějšího přerušení jejich provozu. Přístup k vnitřní i vnější ploše izolační vrstvy zde není možný bez alespoň částečné demontáže izolační vrstvy z izolovaného předmětu, případně nelze měřit v laboratorních podmínkách. Neznáme tloušťku izolace ani teplotu vnitřní (skryté, nedostupné) plochy. Pro tyto situace, byla navržena tato nová metoda měření tepelného odporu, která by nedostatky dosavadní techniky odstranila nebo alespoň podstatně snížila a umožnila stanovení tepelného odporu izolační vrstvy bez znalosti tloušťky izolační vrstvy nebo teploty její vnitřní odvrácené plochy, která je při měření nepřístupná.

Další využití této nové metody je v textilním odvětví, kde je zapotřebí zjistit tepelný odpor poskytující tepelnou izolaci lidem ve formě zimních bund, spacích pytlů, karimatek apod.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 1. KOMFORT TEXTILIÍ

Komfort organismu nastává tehdy, jsou-li jeho všechny fyziologické funkce v optimu, a okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy, které by byly vnímány našimi smysly. Tomuto stavu říkáme pocit pohody. Je to okamžik, kdy u člověka nepřevládá pocit chladu ani tepla, a jsme schopni v tomto stavu setrvat a pracovat delší dobu.

Komfort jsme schopni vnímat všemi lidskými smysly kromě chuti, a to v pořadí: hmat, zrak, sluch a čich. Při diskomfortu nastávají pocity chladu či tepla. Pocity chladu přichází především při nízké teplotě klimatu nebo malém pracovním zatížení. Pocity tepla se dostávají při vyšším pracovním zatížení nebo při působení teplého či vlhkého klimatu. Komfort je dělen na psychologický, sensorický, termofyziologický a patofyziologický. [1]

#### 1.1 PSYCHOLOGICKÝ KOMFORT

Psychologický komfort zahrnuje velké množství hledisek, které můžeme rozdělit do několika skupin. Jsou to hlediska:

*Klimatická-* znamená, že tradiční oděv v různých geografických oblastech<sup>1</sup> musíme přizpůsobit klimatickým podmínkám na daném území.

*Ekonomická-* která zahrnují přírodní podmínky obživy, politický systém, úroveň technologie apod.

*Historická-* vznikají tradice v životním stylu a módě, výrobky z přírodních materiálů napodobující přírodu a výrobky přírodní vůně.

*Kulturní-* sem řadíme zvyky, tradice, obřady a náboženství.

*Sociální-* zde najdeme věk, vzdělání, sociální třída a postavení nebo pozice v této třídě.

---

Nová metoda měření tepelného odporu zejména vlákných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám

*Skupinová a individuální*- zahrnuje módní vlivy, styl, barvy a lesk a osobní preference každého člověka.[1]

## 1.2 SENSORICKÝ KOMFORT

Jsou to vjemy a pocity, které cítíme při přímém styku pokožky s první vrstvou oděvu. Tyto pocity vznikající při styku pokožky a textilie mohou být příjemné, jako je pocit měkkosti, splývavosti nebo naopak nepříjemné a dráždivé, jako je tlak, pocit vlhkosti apod. Sensorický komfort můžeme dále rozdělit na komfort nošení a na omak. [1]

Vnímání sensorického komfortu podkožními snímači (receptory). V lidské pokožce najdeme snímače pro tlak a bolest, nenajdeme zde ale žádné snímače pro vlhkost tzv. vnímání pocitu chladu a tlaku. Tělo zaznamenává chlad i teplo dvěma samostatnými typy receptorů, ty jsou umístěny v pokožce, centrální nervové soustavě a v cévách vnitřních orgánů. Teplové receptory vnímají buď vzestup teploty nad normální úroveň a to pro oblast teplot od 38 °C až do 43 °C, chladové receptory vnímají pokles teploty pro oblasti pod 35 °C. Morfologicky nejsou tyto receptory chladu a tepla nijak vyznačeny. Kožní chladové receptory jsou představovány volnými zakončeními nervových vláken, ty jsou uložena hned pod epitelem pokožky, tepelné receptory jsou umístěny v horní a střední vrstvě škůry. Nejvíce termoreceptorů nalezneme v kůži obličeje a na hřbetu ruky, nejméně však v kůži zad. Chladových receptorů je v kůži zhruba 8 krát více než tepelných a to 140 000. [1]

Velmi důležitou roli hrají v těle potní žlázy, které vytváří podmínky termofyziologického komfortu. Potní žlázy jsou rozmístěny po celém těle v počtu asi 2 milionů, nejvíce jich najdeme na ploskách chodidel a nohou. V podpaží jich najdeme stejně jako všude na těle, avšak ve dvojnásobném počtu. [1]

## 1.3 PATOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT

Pocity při nošení můžou být také ovlivněny působením chemických substancí, které jsou obsažena v materiálu, ze kterého je oděv vyroben a mikroorganismů, které se přirozeně vyskytují na lidské pokožce. Působení těchto vlivů je závislé na odolnosti

člověka (lidské pokožky) proti účinkům chemických látek obsažených v textiliích. Toto působení oděvu na pokožku může vyvolat kožní onemocnění tj. dermatózu.

Dermatóza může být způsobena [1] :

- Drážděním, což je fyzikálně chemický jev, který lze vyvolat u každého jedince. Látky, které toto podráždění vyvolávají, jsou: soli, organická rozpouštědla, syntetické prací prostředky aj. Toto dráždění může být vyvoláno také hrubou textilií.
- Alergií, což je individuální jev, který zapříčiní kontakt s alergenem např. Prací prostředky, barviva, desinfekční prostředky aj. [1]

#### **1.4 TERMOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT**

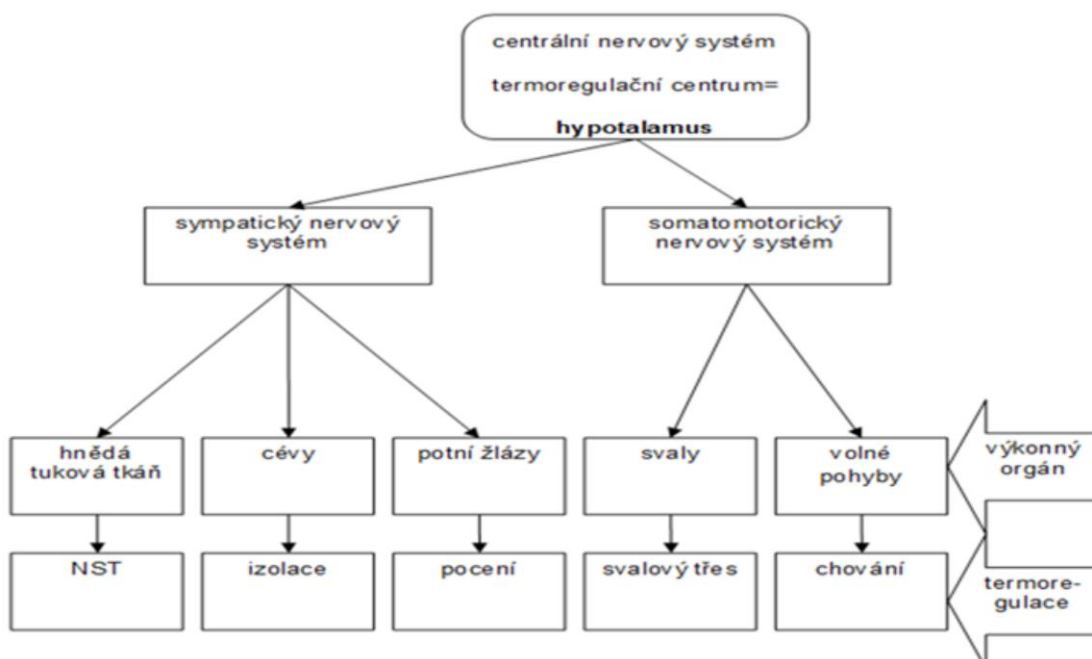
Vyjadřuje stav tepelné pohody, kdy nepřevládají pocity chladu a tepla. Textilie by měla být schopna přenosu tepla, potu a par, pro zajištění optimálního stavu organismu. [1]

Optimální podmínky, při kterých nastává termofyziologický komfort, jsou při:

- teplotě pokožky 33-35°C
- relativní vlhkosti vzduchu v okolí  $50 \pm 10\%$
- rychlosti proudění vzduchu  $25 \pm 10$  cm/s
- obsahu CO<sub>2</sub> 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce. [1]

## 2. TERMOREGULACE

Termoregulace je schopnost organismu udržovat si stále stejnou tělesnou teplotu, i přes to, že produkce tepla, jeho výdej a příjem neustále kolísají. Člověk si různými termoregulačními mechanismy udržuje stálou teplotu vnitřního prostředí, kolísající v rozmezí +/- 4 °C okolo průměrné hodnoty 36 °C – 37 °C. Kolísání je způsobeno vnitřními i vnějšími vlivy.



Obr. 1: Schéma odstředivých nervových drah řídicích termoregulační děje člověka [1]

### 2.1 ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA MEZI ČLOVĚKEM A OKOLÍM

Pro normální podmínky ochlazování těla se převážná část tepla ztrácí sáláním a konvekcí z povrchové vrstvy těla. Zbylá část se předává vedením v kožní vrstvě jako neznatelné pocení, zahrnující v sobě vypařování vlhkosti, difuzi vodní páry povrchovou kožní vrstvou a ztrátu způsobenou suchou a latentní respirací (dýcháním). Při intenzivním ohřevu těla se začne vlivem termoregulačního systému uplatňovat jako hlavní způsob přenosu tepla do okolí tepelné pocení. [1]

Přenos tepla mezi člověkem a okolím může probíhat následujícími způsoby:

- kondukcí (vedením)
- konvekci (prouděním)
- radiací (zářením)
- evaporací (odpařováním)
- respirací (dýcháním). [1]

### 2.1.1 KONDUKCE NEBOLI PŘENOS TEPLA VEDENÍM

Tímto procesem ztrácíme teplo (až 5%) tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Zařadit sem můžeme například přenos tepla chodidly, zadní částí těla při sezení či spánku. Vedení tepla je také hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách v oděvních systémech.[1]

Zde se tepelná vodivost různých materiálů velmi liší. Nejvyšší tepelnou vodivost mají kovy a to od cca 300 [W. m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>] pro měď až po nikl, který má 15 [W. m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]. Klidný vzduch při teplotě 20 °C má vodivost 0,026 [W. m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>], zatímco tepelná vodivost vody je 0,6 [W. m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>], tj. je asi 25x vyšší. Proto je přítomnost vody v textiliích důležitá.[1]

#### 2.1.1.1 TEPELNÝ ODPOR

Je velmi důležitým vztahem pro hodnocení tepelného komfortu plošných textilií, tenkých vzduchových vrstev a jiných plošných materiálu o tloušťce **h** [m]. Zde platí, že čím má textilie větší tloušťku tím je schopna udržet více tepla, má tedy vyšší tepelný odpor. Pokud má osoba oblečena více vrstev textilií, musíme jednotlivé tepelné odpory vrstev sčítat, a to i vrstvy vzduchové. [1]

Pro tepelný odpor platí vztah:

$$R = \frac{h}{\lambda} [W^{-1}K.m^2]. \quad (1)$$

h...tloušťka [mm]

λ...měrná tepelná vodivost [W. m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

---

Nová metoda měření tepelného odporu zejména vlákenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám

Pro celkový tepelný odpor platí:

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

### 2.1.2 KONVEKCE

Při konvekci neboli proudění dochází k pohybu částic tekutin o určité rychlosti v [m/s] kolem našeho těla. Tyto částice se pohybují v takzvané tepelné mezní vrstvě o určité tloušťce. Konvekce je nejvýznamnější přenos teplot mezi člověkem a okolním prostředím. Rozlišujeme zde dva typy tohoto proudění. **Laminární**, kde jsou trajektorie pohybu částic v urovnaném stavu a tloušťka tepelné mezní vrstvy je zde největší, přenos tepla zde není příliš výrazný. Dále proudění **turbulentní**, které je charakterizováno různou trajektorií drah částic tekutin. Zde je mezní vrstva slabší a přenos tepla výrazně vyšší. Turbulentní proudění nastává v okamžiku, kdy bezrozměrné Reynoldovo číslo **Re** převyšuje hodnotu 2300. [1]

Reynoldovo číslo je dáno tímto vztahem:

$$Re = v \frac{d}{\nu} \quad (3)$$

kde:

$\nu$ ...dynamická viskozita tekutiny [m<sup>2</sup>/s]

$d$ ...rozměr objektu [m]

Pro tyto dva typy proudění známe vztah tepelného toku **q** dle Newtonova zákona:

$$q = \alpha_c (t_1 - t_2) \quad (4)$$

kde:

$\alpha_c$ ...koeficient přenosu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

$t_1$ ...teplota pokožky [°C]



$t_2$ ...teplota okolí [°C]. [1]

Proudění dále rozlišujeme na **přirozené a nucené**, koeficient přenosu tepla  $\alpha_c$  z předchozího vztahu se mění s tímto kriteriem:

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

$$\alpha = 3,5 + 5,2 \cdot v \text{ pro nucené proudění}$$

$$\alpha = 8,7 \cdot v^{0,6} \text{ pro vyšší rychlost proudění}$$

Teplotní spád, který je realizován v teplotní mezní vrstvě při procesu přestupu tepla prouděním, je závislý na vnějším tepelném odporu **Re**, který je pak zahrnut do celkového tepelného odporu. Je dán vztahem:

$$Re = \frac{1}{\alpha}. \quad (5)$$

### 2.1.3 RADIACE

Jde o elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti  $c = 300\,000\,000$  m/s. Tomuto záření, které má vlnový charakter o délce vlny  $\lambda$ , můžeme přiřadit frekvenci záření **f** podle vztahu.[1]

$$f = \frac{c}{\lambda}. \quad (6)$$

Rozlišujeme zde dva druhy vlnových délek a to záření gama, které má nejkratší vlnovou délku, záření rentgenové neboli (RTG), externí ultrafialové (EUV), ultrafialové, optické, infračervené, submilimetrové, mikrovlnné a radiové. Dopadne-li záření na povrch země, může dojít k jeho odrazu, k pohlcení, nebo k průchodu skrz předmětem. Tuto energetickou bilanci vyjádříme pomocí rovnice. [1]

$$E = E\rho + E\alpha + E\tau \quad (7)$$

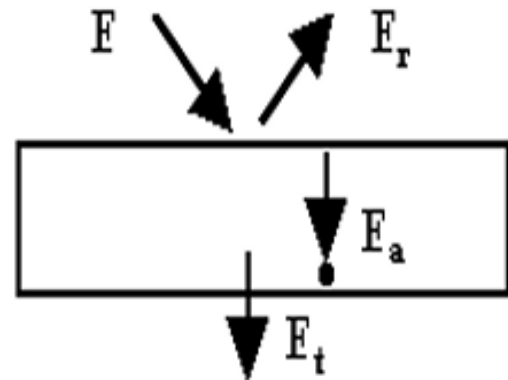
kde:

E.....hustota zářivého toku dopadajícího

$E_p$ ... hustota zářivého toku odraženého

$E_a$ ... hustota zářivého toku absorbovaného

$E_t$ ... hustota zářivého toku prošlého objektem



Obr. 2: Rozptyl záření po dopadu na objekt [1]

**Reflektance  $E_p$** - udává poměr množství světla, které se odráží od objektu vůči světlu dopadajícímu na objekt. Pokud by bylo rovno 1 a veškeré dopadající záření by se odrazilo, těleso by bylo dokonale lesklé. [1]

**Absorbance  $E_a$** - udává poměr množství absorbovaného světla v objektu vůči dopadajícímu světlu na objekt. Pokud by bylo rovno 1 a veškeré dopadající záření by se absorbovalo, těleso by bylo dokonale černé. [1]

**Transmittance  $E_t$** - udává poměr množství světla, které prochází objektem vůči dopadajícímu světlu na objekt. Pokud by bylo rovno 1 a veškeré dopadající záření by propouštělo, těleso by bylo dokonale transparentní. [1]

## 2.2 ODVOD PLYNNÉ VLHKOSTI Z POVRCHU TĚLA

Vlhkost ve formě vodní páry, může být v oděvních systémech přenášena vedením a prouděním. Důležité veličiny jsou zde: pro nasycený parciální tlak  $p_{wsAT}$  [Pa] na povrchu lidské pokožky a parciální tlak v okolním prostředí  $p_{we}$  [Pa]. Opačný poměr těchto parametrů násobených 100 x nazýváme relativní vlhkost  $\phi$  [%]. [1]

## 2.3 ODVOD KAPALNÉ VLHKOSTI Z POVRCHU TĚLA

Lidský organismus produkuje vodu ve formě potu. Při stavu, kdy teplota pokožky spadá pod 34 °C, lidské tělo uvolňuje do okolí asi 0,03 l.h<sup>-1</sup> potu a nad tuto

teplotu až  $0,7 \text{ l.h}^{-1}$ . Ochlazovací efekt vznikne pouze při odpaření potu z kůže. U volného povrchu kůže je podmínkou odparu dostatečný rozdíl parciálních tlaků.

U člověka oblečeného je situace složitější, transport vlhkosti se řídí jinými principy a to:

- difúzně
- kapilárně
- sorpčně. [1]

### **2.3.1 DIFÚZE**

Difuzní prostup vlhkosti z povrchu kůže přes textilií probíhá prostřednictvím pórů. Vlhkost prostupuje textilií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difuzní odpor jednotlivých oděvních vrstev se pak sčítá. Značnou roli zde hraje i odpor vzduchových mezivrstev. [1]

### **2.3.2 KAPILÁRNÍ ODVOD**

Kapalný pot ulpívající na kůži je v kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry (tzv. knoflíkový efekt). Kapilární tlak  $P$  způsobuje tok kapalné vlhkosti obecně od velkých pórů o poloměru  $R$  k malým pórům odpovídajícího poloměru  $r$ . [1]

### **2.3.3 SORPCE**

Tento proces předpokládá nejprve vnik vlhkosti či kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Tento proces je nejpomalejší a je podmíněn použitím textilie alespoň částečně obsahující sorpční vlákna. [1]

### **2.3.4 VLHKOSTNÍ JÍMAVOST TEXTILIÍ**

Tato metoda určování stupně vlhkostní jímavosti textilií se provádí pomocí přístroje ALAMBETA. V tomto zařízení se simuluje a objektivně hodnotí tepelně kontaktní vjem mezi vlhkou pokožkou a suchou textilií. [1]

### 3. HODNOCENÍ TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU TEXTILÍ

#### 3.1 DOSAVADNÍ STAV TECHNIKY

V praxi jsou nejčastěji pro výpočet tepelného odporu používané přístroje, které pracují na *stacionárním principu* a jsou založeny na přímém měření tepelného výkonu  $P$  na jednotku plochy, tedy tepelného toku, který izolační vrstvou, která je obklopena z obou stran kovovými deskami, jejichž teplota se vzájemně liší tento tepelný tok prochází. Tepelný odpor této izolace se pak vypočítá z tepelného toku daného podílem elektrického výkonu a plochy měřené oblasti vzorku při udržení konstantního rozdílu teplot obou desek. Ke zmenšení tepelných ztrát, kde teplo uniká do izolační vrstvy mimo oblast přímého průchodu tepla vrstvou izolačního materiálu, z teplejší kovové desky na desku chladnější je měřící zařízení doplněno izotermním ochranným prstencem. Ten je s měřenou izolační vrstvou přímo v kontaktu přičemž ohraničuje oblast přímého průchodu tepla.

U další varianty měření je použit přímý tenký snímač tepelného toku, jehož výstupem je elektrické napětí, ten se nachází v prostoru mezi měřeným vzorkem a jednou z kontaktních ploch kovových desek. Výhodou této varianty je, že vložený snímač je tenčí a menší než měřený vzorek, a tudíž nedochází k tepelným ztrátám únikem tepla z obvodu vzorku ani z obvodu tohoto snímače. Tudíž přítomnost izotermního ochranného prstence zde není zapotřebí.

Kromě výše uvedených přístrojů pracujících na stacionárním principu, se v praxi využívají i přístroje, které pracují na *dynamickém principu* tzv. *nestacionárním*. Zde je použit tenký a relativně malý plošný zdroj krátkodobého tepelného impulsu o známé energii, který je přiložen na povrch vzorku. Uprostřed tohoto zdroje se nachází rychlý snímač teploty povrchu měřeného předmětu. Absorbovaný tepelný impuls vyvolá krátkodobý vzrůst teploty, který lze následně využít pro výpočet tepelné vodivosti měřeného materiálu a tepelného odporu izolační vrstvy. Nevýhodou zde je, že nelze, aby izotermní ochranný prsteneček obklopil zdroj tepelného impulsu. Teplo se tedy šíří prakticky stejně jak v rovině plochy vzorku, tak ve směru jeho tloušťky. V případě, že budeme měřit tepelnou vodivost nehomogenních materiálů, jako např. textilie, bude výsledek vykazovat chybu v měření. Tento problém vznikne při měření tlustších

nehomogenních izolačních materiálů. U dynamického způsobu měření, je totiž tepelný impulz krátký a teplo pronikne jen do malé hloubky, takže výsledná hodnota tepelné vodivosti bude ovlivněna zejména tepelnou vodivostí povrchu měřené izolační vrstvy. K výpočtu tepelného odporu bude pak potřeba znát tloušťku vzorku, která ale v místě měřené tepelné vodivosti může být odlišná.

### 3.2 SKIN MODEL

Skin model neboli simulátor potíci se lidské pokožky pracuje na principu vyhřívání a zavlhčování porézní desky označované jak „model kůže“. Dochází zde k přenosu tepla a hmoty, kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím. Měření se provádí jak za stacionárních podmínek a to v klimatickém prostředí nebo za nestacionárních podmínek, kde se kombinují různé teploty, relativní vlhkosti a různé rychlosti proudění vzduchu. [1]

Jeden z přístrojů, který pracuje na principu „skin modelu“ je zařízení Permetest. Pomocí tohoto přístroje je možné změřit tepelný odpor, výparný odpor a relativní paropropustnost. Při měření zde dochází k ofukování jedné strany měřeného vzorku proudem vzduchu, které je dáno okrajovou podmínkou 3. druhu.

Přístroj Termoskop, který je předmětem zkoumání v této práci, je dán okrajovou podmínkou 1. druhu. Proto další přístroje, které zde budou popsány, jsou také dány okrajovou podmínkou 1. druhu kam patří přístroj Alambeta a zařízení Togmetr.

### 3.3 ALAMBETA

Alambeta je přístroj, který měří termofyzikální parametry textilií a to jak stacionárně tepelně – izolační vlastnosti jako jsou tepelný odpor a tepelná vodivost, tak i vlastnosti dynamické kam patří tepelná jímavost a tepelný tok. Jedná se o poloautomatický počítačem řízený přístroj, který je schopný při měření zároveň vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů. Přístroj také obsahuje program, který zabraňuje, aby docházelo k chybným operacím přístroje. Celé měření, včetně měření tepelné vodivosti  $\lambda$ , tepelného odporu  $R$ , tepelného toku  $q_{max}$ , tloušťky vzorku a statistické zpracování výsledků trvá méně než 3-5 minut. Objektivním parametrem v měření je tepelná jímavost  $b$  [ $W \cdot m^2 s^{1/2} K^{-1}$ ].

---

Nová metoda měření tepelného odporu zejména vlákenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám

Parametry získané měřením:

**Tloušťka materiálu  $h$  [mm];**

**Měrná tepelná vodivost  $\lambda$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]:** Součinitel měrné tepelné vodivosti  $\lambda$  nám představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá. Hodnota udávaná přístrojem ALAMBETA se musí dělit  $10^3$ .

**Plošný odpor vedení tepla  $r$  [ $\text{W}^{-1}\text{K} \cdot \text{m}^2$ ];** nám udává, jak velký odpor klade materiál proti prostupu tepla textilií. Čím je nižší tepelná vodivost materiálu, tím vyšší je tepelný odpor. Hodnotu udávanou přístrojem ALAMBETA je nutno dělit  $10^3$ .

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (8)$$

**Tepelný tok  $q$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]:** množství tepla, které se šíří z ruky (hlavice přístroje) o teplotě  $t_2$  do textilie o počáteční teplotě  $t_1$  za jednotku času. Pro krátkou dobu kontaktu přibližně platí:

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} \quad (9)$$

**Měrná teplotní vodivost  $a$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ]** vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotní změny. Čím je hodnota  $a$  vyšší, tím si látka rychleji vyrovnává teplotu.

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (10)$$

**Součin  $\rho c$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ],** množství tepla, které je potřeba k ohřátí 1 kg látky o 1 K. Měrná tepelná kapacita roste se zvyšující teplotou všech látek. Hodnota na displeji přístroje se dělí  $10^6$ .

$$\rho c = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (11)$$

**Tepelná jímavost  $b$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$ ]:** je parametr, který 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:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}. \quad (12)$$

Čím je větší tepelná jímavost (b) tím pocítujeme materiál chladnější na omak. [1]

### 3.4 TOGMETR

Tento přístroj určený pro stanovení tepelného odporu a tepelné vodivosti textilie je vybaven teplotními čidly a topným tělesem, které je ovládáno digitálním ovladačem teploty. Zařízení je uloženo ve skříni, kde dochází k řízenému proudění vzduchu. Tepelný odpor se zde udává v jednotkách TOG což představuje  $0,1 \text{ [W}^{-1}\text{K.m}^2\text{]}$ .

Zkušební vzorky musí být kruhové o průměru 330 mm bez pomačkání a záhybů. Nejprve musíme zjistit tloušťku vzorků na tloušťkoměru při přítlaku 6,9 Pa. Následně zjištěnou hodnotu nastavíme jako vzdálenost mezi horní a dolní deskou přístroje Togmetr. Vložíme zkoušený materiál a přístroj začne měřit. Při měření se dvěma deskami přístroj měří tři teploty  $T_1$  teplota spodní vyhřívané desky, která simuluje lidské tělo, zde je teplota nastavena na  $31 \text{ }^\circ\text{C}$ -  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $T_2$  teplota měřeného materiálu a  $T_3$  je teplota vnější strany vrchní studené desky, která simuluje okolní teplotu, která je nižší než teplota spodní vyhřívané desky. Doba měření jednoho vzorku zde může trvat až 4 hodiny. Po tuto dobu počítač zaznamenává změny teplot  $T_1$ - $T_3$ , snahou je zde ustálení všech tří teplot. Jakmile se tyto hodnoty ustálí pod nastavenou odchylku, počítač vyhodnotí naměřený tepelný odpor materiálu.[2]



Obr. 3: Togmetr [2]

### **3.5 NEVÝHODY ZNÁMÝCH METOD A PŘÍSTROJŮ PRO MĚŘENÍ TEPELNÉHO ODPORU PLOŠNÝCH TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VRSTEV.**

- Tloušťka měřené izolační vrstvy musí být známa, tj. oba povrchy měřené vrstvy musí být přístupné.
- Je potřeba znát teplotu vnitřní odvrácené plochy izolační vrstvy.
- Při zjištění výše uvedených parametrů musí být mnohdy přerušen provoz zařízení, resp. měřená textilie musí být volná, nesmí být nošena.

Uvedené nevýhody jsou odstraněny u nového přístroje blíže popsaného v experimentální části práce.

### **3.6 VÝHODY NOVÉHO METODY OPROTI DOSAVADNÍ TECHNICE**

- Nemusí být známa tloušťka měřené izolační vrstvy.
- Není potřeba znát teplotu vnitřní odvrácené plochy izolační vrstvy, která je při měření nedostupná.
- Možnost zjištění stavu izolace na izolovaném zařízení bez významnějšího přerušování provozu.



## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části bakalářské práce je popsáno, jakým způsobem byly jednotlivé vzorky textilií proměřeny. Jsou zde popsány také vzorky a přístroje, které byly pro tento experiment použity. Úkolem bylo stanovit vliv přítlaku na naměřené hodnoty tepelného odporu. Dále nastavit parametry přístroje s docílením co nejvíce lineární závislosti tepelného odporu na tloušťce textilií. A následně zjistit vliv tepelné jímavosti různých tepelně vodivých podložek pro měření. V každé části jsou uvedeny postupy měření doplněny grafickým znázorněním.

### 1. MATERIÁLY POUŽITÉ PŘI MĚŘENÍ

#### 1.1 POLYURETAN

Polyuretany obecně nazýváme elastomery, mají vysokou pružnost, velkou pevnost v natržení a vysokou oděruvzodornost. Polyuretany patří mezi samozhášecí materiály. Vyrábějí se v různých kombinacích barev a tvarů. Polyuretany mají široké uplatnění v dopravní technice (sedadla, opěrky hlavy) dále v nábytkářském průmyslu (polstrování křesel, sedací pohovky, matrace), ale najdeme je i ve spotřebním zboží (hračky, vnitřky lyžařských bot). [3]

Tab. 1: Popis použitých vzorků z polyuretanu

| Zkratka vzorku | Materiálové složení | Tloušťka [mm] | Barva |
|----------------|---------------------|---------------|-------|
| PU 1           | 100 % polyuretan    | 30            | Šedá  |
| PU 2           | 100 % polyuretan    | 19,5          | Bílá  |
| PU 3           | 100 % polyuretan    | 10,2          | Modrá |

#### 1.2 POLYETYLEN

Polyetylen patří mezi nejznámější masově užívané plasty, jehož stavební prvky tvoří pouze vodík a uhlík. Spolu s polypropylenem patří mezi nejlehčí vlákna. Má výborné mechanické vlastnosti, odolnost vůči UV záření a chemickou odolnost. Používá se zejména pro průmyslové rozvody chemikálií, rozvody vody, chladících médií, zemní rozvody vody a plynu. Vysoce pevný PE je schopen absorbovat extrémní množství deformační energie a proto se používá na textilie chránící proti pořezání,

---

Nová metoda měření tepelného odporu zejména vlákenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám

propíchnutí, prostřelení. Využívá se pro výrobu extra lehkých helem a silných námořnických lan, karimatek. [4]

Tab. 2: Popis použitých vzorků z polyetyleny

| Zkratka vzorku | Materiálové složení | Tloušťka [mm] | Barva |
|----------------|---------------------|---------------|-------|
| PE 1           | 100 % polyetylen    | 5,93          | Černá |
| PE 2           | 100 % polyetylen    | 4,17          | Černá |
| PE 3           | 100 % polyetylen    | 2,19          | Černá |

### 1.3 POLYESTER

Polyestery zaujímají největší podíl v celosvětové spotřebě vláken a to 47,5 %. Používají se od oděvní textilie přes technické až k textiliím speciálním. Používá se často ve směsích s bavlnou, vlnou, viskózou. Má vysokou pevnost za sucha i za mokra, je objemný, pevný, vysoce odolává vůči chemikáliím. Zvyšuje tuhost obleku, a snižuje jeho mačkavost. [5]

#### Tepelné vlastnosti:

120°C -130 °C – pevnost beze změny

180 °C- pevnost klesá na 50 % (za několik dní)

258 °C - teplota tání. [6]

#### Výhody:

- dobré mechanické vlastnosti
- dobrá termická odolnost (200 °C)
- nízká navlhavost
- rychlé schnutí a snadná údržba
- odolnost vůči oděru
- lépe odolávají slunci než PAD. [6]

Nevýhody:

- vysoká žmolkovatost
- nabíjení elektrostatickou elektřinou
- vysoká měrná hmotnost. [6]

Použití ve směsích: 60/40 PL/WO, 55/45 PL/WO, 67/33 PL/CO, 75/25 PL/VI. [4]

Tab. 3: Popis použitého vzorku z polyesteru

| Zkratka vzorku | Materiálové složení | Tloušťka [mm] | Barva  |
|----------------|---------------------|---------------|--------|
| PL             | 100 % polyester     | 3,76          | Růžová |

**1.4 BAVLNA**

Přírodní vlákno získané ze semen rostliny bavlníku. Velmi jemné vlákno s příjemným omakem. Vykazuje výbornou sorpci, zejména potu. Bavlina je zdrojem nejčistší celulózy, používá se pro speciální účely jako: cigaretový papír, bankovní papír, surovina pro výrobu nitrocelulózy. Při protažení o 2% se bavlna zotaví na 74%, při protažení o 5% je zotavení 45%. Bavlina je citlivá na změnu vlhkosti, při zavlhčení na 65%±2% vede ke změně pevnosti a tažnosti až o 4%. Vlhkost působí na bavlnu tím, že poruší její vodíkové můstky tím relaxací napětí, v důsledku čeho dojde ke snadné neformovatelnosti. [6]

Tepelné vlastnosti:

- do 120 ° C se nic neděje
- 120 ° C při působení 5 hodin žloutne
- 150 ° C teplota žehlení
- 150 ° C při delším působení hnědne
- 200 ° C - 280 ° C dehydratace následně destrukce. [6]

Tab. 4: Popis použitého vzorku z bavlny

| Zkratka vzorku | Materiálové složení | Tloušťka [mm] | Barva |
|----------------|---------------------|---------------|-------|
| DENIM          | 100 % bavlna        | 0,89          | Modrá |

## 1.5 ROZBOR VZORKŮ

### PU 1

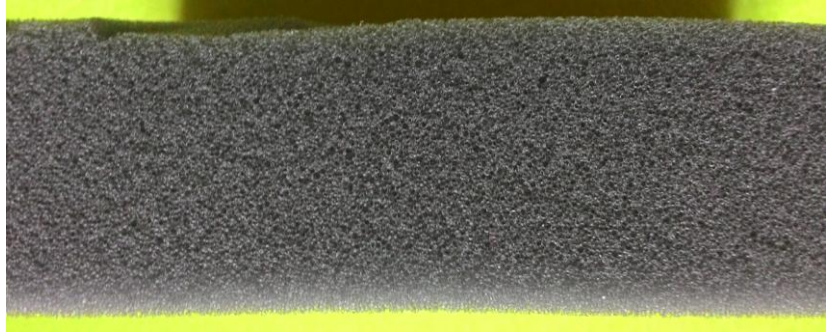
**Hmotnost:** 14,73 g

**Plošná hmotnost:** 549 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 14,5 cm x 18,5 cm

**Tloušťka:** 30 mm

**$\rho_v$ :** 18,3 kg/m<sup>3</sup>



Obr. 4: Pohled z boku na vzorek PU 1

### PU 2

**Hmotnost:** 31,67 g

**Plošná hmotnost:** 452 g/m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 25 cm x 28 cm

**Tloušťka:** 20 mm

**$\rho_v$ :** 22,6 kg/ m<sup>3</sup>



Obr. 5: Pohled z boku na vzorek PU 2

### **PU 3**

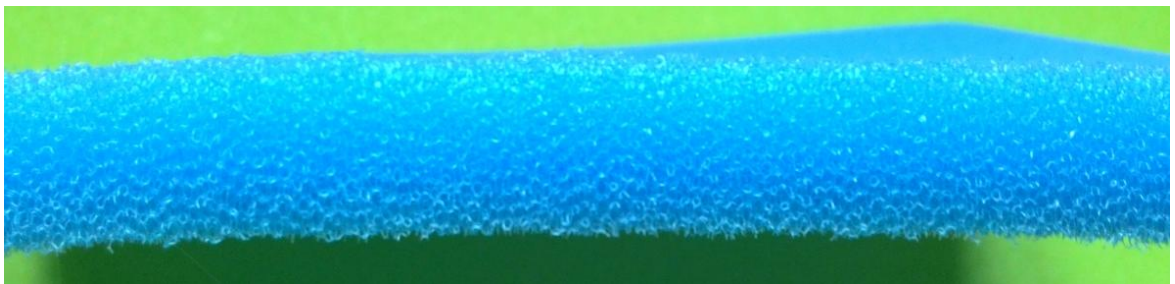
**Hmotnost:** 16,22 g

**Plošná hmotnost:** 232 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 25 cm x 28 cm

**Tloušťka:** 10,2 mm

**$\rho_v$ :** 22,7 kg/m<sup>3</sup>



Obr. 6: Pohled z boku na vzorek PU 3

### **PE 1**

**Hmotnost:** 12,04 g

**Plošná hmotnost:** 191 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 21 cm x 30 cm

**Tloušťka:** 5,93 mm



Obr. 7: Vzorek PE 1

**PE 2**

**Hmotnost:** 8,3 g

**Plošná hmotnost:** 132 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 21 cm x 30 cm

**Tloušťka:** 4,17 mm



Obr. 8: Vzorek PE 2

**PE 3**

**Hmotnost:** 6,42 g

**Plošná hmotnost:** 102 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 21 cm x 30 cm

**Tloušťka:** 2,19 mm



Obr. 9: Vzorek PE 3

### DENIM

**Hmotnost:** 4,97 g

**Plošná hmotnost:** 331 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 10 cm x 15 cm

**Tloušťka:** 0,89 mm

**Vazba:** osnovní kepr třívazný Z

**DO :** 20 nití / 1 cm

**DU:** 25 nití / 1 cm



Obr. 10: Vzorek DENI

### PL

**Hmotnost:** 4,4 g

**Plošná hmotnost:** 293 g / m<sup>2</sup>

**Rozměr:** 10 cm x 15 cm

**Tloušťka:** 3,76

**Typ pleteniny:** zátažná jednolící

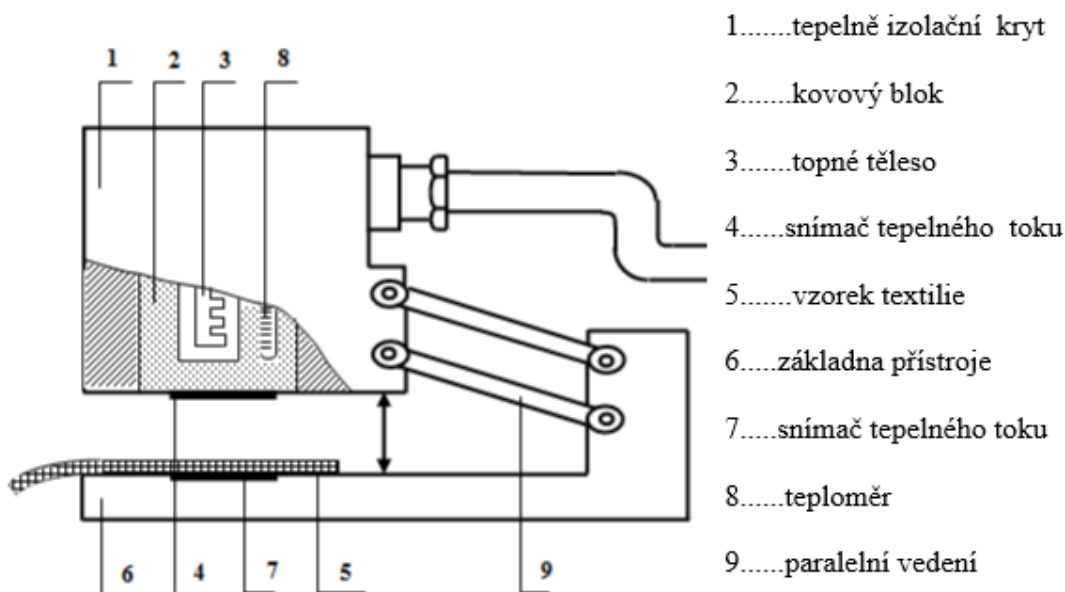


Obr. 11: Vzorek PL

## 2. PŘÍSTROJE POUŽITÉ V EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

### 2.1 ALAMBETA

Přístroj Alambeta máme již podrobně popsány výše. Zde bude popsán pouze princip měření pomocí tohoto zařízení.



Obr. 12: Schéma přístroje Alambeta [1]

Jedná se o poloautomatický počítačem řízený přístroj, který je schopný při měření zároveň vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů. Přístroj také obsahuje program, který zabraňuje, aby docházelo k chybným operacím přístroje. Celé měření, včetně měření tepelné vodivosti  $\lambda$ , tepelného odporu  $R$ , tepelného toku  $q$ , tloušťky vzorku a statistického zpracování výsledků trvá méně než 3 -5 minut. Objektivním parametrem v měření je tepelná jímavost  $b$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$ ]. Výše uvedené schéma přístroje alambeta na obr. č. 3. Princip přístroje spočívá v aplikaci systému na přímé měření tepelného toku 4 připevněného k povrchu kovového bloku 2 s konstantní teplotou, která se liší od teploty vzorku.

Při zahájení měření měřicí hlavice 1 s měřícím systémem poklesne až na dotyk povrchu měřeného vzorku 5, který je umístěný na základně přístroje 6 pod měřicí hlavou. V tomto okamžiku se povrchová teplota vzorku náhle změní a počítač začne

---

Nová metoda měření tepelného odporu zejména vlákenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám



zaznamenávat průběh tepelného toku. Současně fotoelektrický senzor měří tloušťku vzorku. Všechna data jsou zpracovávána počítačem.

Pro simulaci reálných podmínek při hodnocení tepelného omaku je měřící hlavice zahřátá na teplotu 32 °C což odpovídá průměrné teplotě lidské pokožky. Textilie je udržována na teplotě 22 °C. [1]

## 2.2 NOVÁ METODA MĚŘENÍ - TERMOSKOP

Nové zařízení Termoskop je sestaven pro stanovení tepelného odporu izolační vrstvy, jejíž vnitřní plocha přivrácená k izolovanému prostoru je v tepelném kontaktu s vnější plochou stěny izolovaného předmětu a je nepřístupná. Tento způsob stanovení tepelného odporu izolační vrstvy umožňuje stanovit tepelný odpor izolačních vrstev bez nutnosti znát tloušťku a teplotu odvráceného povrchu těchto tepelně izolačních vrstev, které jsou často nepřístupné. Na přístupné vnější ploše izolační vrstvy se postupně změní tepelné toky ( $q_1$ ,  $q_2$ ) při různých teplotách ( $t_1$ ,  $t_2$ ), načež se z rozdílu naměřených tepelných toků ( $q_1$ ,  $q_2$ ) a jemu příslušného rozdílu teplot ( $t_1$ ,  $t_2$ ) vypočítá tepelný odpor ( $r$ ) izolační vrstvy.

Tepelný odpor se pak vypočítá dle vztahu:

$$r = \frac{t_1 - t_2}{q_1 - q_2} \quad [W^{-1}mK.m^2] \quad (12)$$

kde:

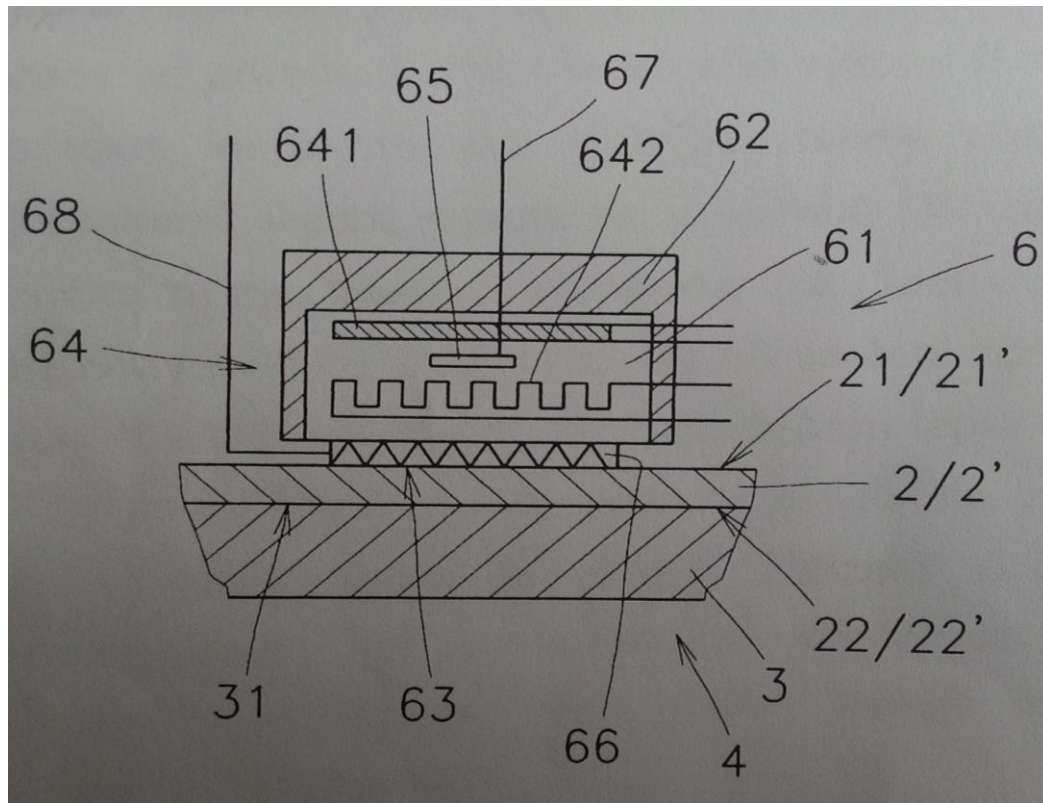
$t_1$ .....nižší teplota (zdroj tepla nebo chladu)

$t_2$ .....vyšší teplota (zdroj teplota)

$q_1$ .....tepelný tok (příslušný nižší teplotě  $t_1$ )

$q_2$ .....tepelný tok (příslušný vyšší teplotě  $t_2$ )

Měření tepelného toku při nižší teplotě se provádí před měřením tepelného toku při vyšší teplotě pomocí stejného snímače tepelného toku, který se přiloží na přístupnou plochu izolační vrstvy.



Obr. 13: Schéma přístroje Termoskop

**3, 4** - izolovaný prostor

**6** - sonda

**61** - měřicí blok

**62** - izolační kryt měřícího bloku

**63** - kontaktní plocha (sondy)

**64** - kombinovaný zdroj tepla

**641** - zdroj tepla (topné těleso)

**642** - zdroj tepla (chladič)

**65** - elektrický teploměr

**66** - snímač tepelného toku

**67** - výstup elektrického teploměru

**68** - výstup snímače tepelného toku

**q<sub>1</sub>** - tepelný tok (příslušný nižší teplotě  $t_1$ )

**q<sub>2</sub>** - tepelný tok (příslušný vyšší teplotě  $t_2$ )

**r** - tepelný odpor (izolační vrstvy)

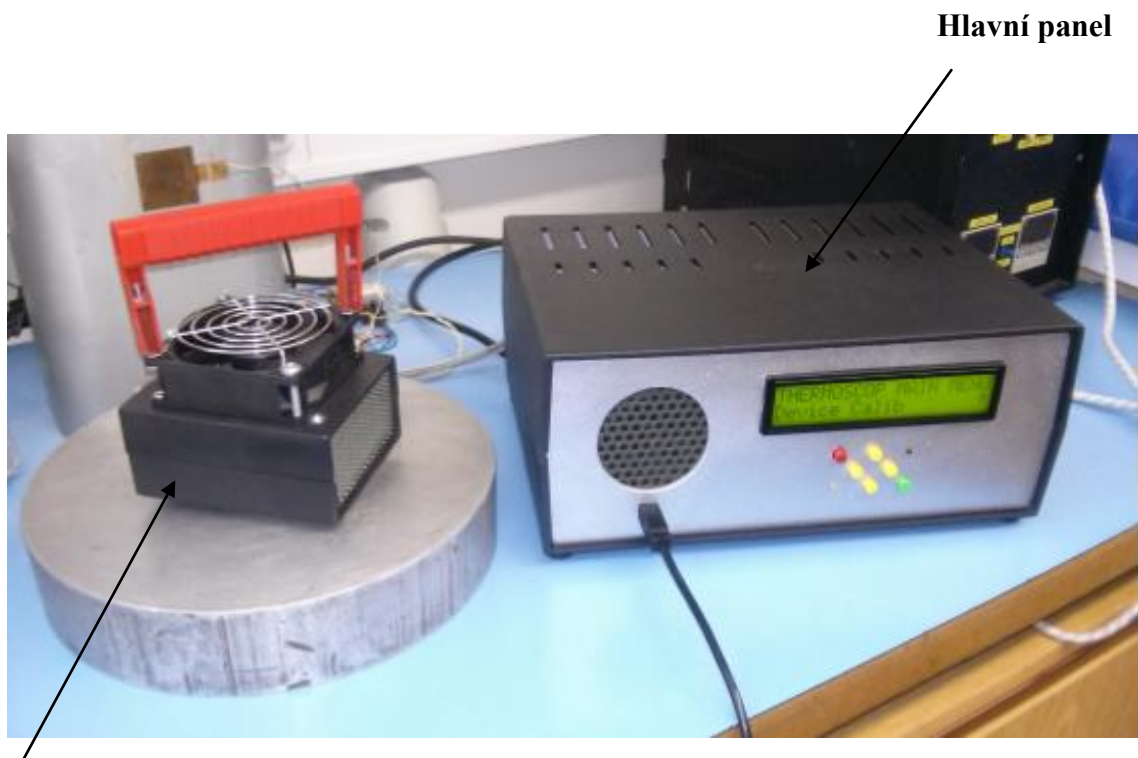
$t_1$  - nižší teplota (zdroj tepla nebo chladu)

$t_2$  - vyšší teplota (zdroj tepla)

### 2.2.1 PRINCIP MĚŘENÍ POMOCÍ NOVÉ METODY

Při novém způsobu stanovení tepelného odporu  $r$  izolační vrstvy uložené na vnější ploše stěny izolovaného předmětu, která má vysokou tepelnou kapacitu se na vnější plochu izolační vrstvy přiloží sonda o přitlaku 1018 Pa kontaktní plochou snímače tepelných toku  $q_1, q_2$ . Plocha snímače odvrácená od izolační vrstvy se podle potřeby buď ochladí, nebo ohřeje na teplotu  $t_1$  blízkou teplotě okolí. Po ustálení teploty  $t_1$  se její hodnota a hodnota jí příslušného tepelného toku  $q_1$  zjištěná snímačem tepelného toku předá na vstupy počítačové jednotky, ve které se hodnoty uloží. Následně, případně s časovou prodlevou, se plocha snímače odvrácená od izolační vrstvy ohřeje na teplotu  $t_2$ , která je vyšší (zhruba o 10 - 15 °C) než před tím uložená teplota  $t_1$ . Po ustálení teploty  $t_2$  se její hodnota a hodnota jí příslušného tepelného toku  $q_2$  zjištěná snímačem tepelného toku předá na vstupy počítačové jednotky. Počítačová jednotka vypočítá z prvních již uložených hodnot  $t_1, q_1$  a z druhých naměřených hodnot  $t_2, q_2$  zjišťovaný tepelný odpor  $r$  tepelně izolační vrstvy.

## 2.2.2 POPIS PŘÍSTROJE A OVLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ



Měřicí sonda

Obr. 14: Zařízení Termoskop



Reproduktor

Obr. 15: Hlavní panel přístroje Termoskop

Ovládací tlačítka

Na přístroji jsou k dispozici 2 řádky, 20 znaků na podsvíceném LCD displeji, 2 LED diody (červená a žlutá) a 6 tlačítek na předním panelu.

**Kurzorové klávesy** doleva, doprava, nahoru, dolů (žluté barvy) slouží k:

- výběru z položek menu (vertikálně)
- výběru z konstantních hodnot (horizontálně)
- nastavení pořadí číslic (horizontálně)
- nastavení číslic vybrané nabídky číslic (0-9).

**ENTER** (zelené tlačítko) slouží k:

- potvrzení výběru položky z nabídky nebo hodnoty
- uložení hodnoty do trvalé paměti.

**ESCAPE** (červené tlačítko) slouží k:

- přechodu na vyšší úroveň menu
- zrušení nebo změně hodnoty.

**ŽLUTÁ dioda** indikuje, že přístroj měří.

**ČERVENÁ dioda** indikuje, výstrahu LED krátce po resetu, bliká v režimu bootloader a ukazuje chyby a selhání.

**REPRODUKTOR** na levé straně předního panelu vytváří zvukové signály, oznamuje průběh měření, varování a chyby.

**USB konektor** na předním panelu, slouží k propojení k osobnímu počítači.

Přístroj se zapíná a vypíná síťovým vypínačem. Napájecí zdroj je chráněn pojistkou T 500 mA v zásuvce. Oba jsou umístěny vzadu .

## NASTAVENÍ (setting)

**High Therm Temp** – nastavení požadované teploty termostatu

**Temp Steady 1** – podmínky ustáleného stavu teploty pro zastavení měření.

→ **Max DeltTempDif** - maximální rozdíl dvou po sobě následujících teplot.

→ **Validity Count** - požadovaný počet dalších úspěchů pod podmínkou.

**Temp Steady 2** – podmínky ustáleného stavu tepelného toku pro zastavení měření.

→ **Max RelFlowDif** – maximální rozdíl dvou po sobě následujících tepelných toků.

→ **Validity Count** – požadovaný počet dalších úspěchů pod podmínkou.

**Steady Timeout** – doba měření bez splnění podmínek ustáleného stavu

## DEVICE CALIB (kalibrace)

HFS Resistance (kontaktní odpor) – tato hodnota uvádí násobek kontaktního odporu měřicí sondy, kterou tvoří tenká folie na čidle a velmi tenká vrstva vzduchu, která vznikne mezi povrchovou folií a povrchem měřeného vzorku. Odpor samotného čidla je přibližně  $0,001 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ , tato hodnota zde tedy může být zvětšena od 0 – 20 násobku tohoto odporu.

## 2.2.4 POSTUP MĚŘENÍ

Přístroj spustíme. Na displeji se nám zobrazí zpráva :

THERMOSCOP#01V1.10

Selftesting....

Šipka v pravém dolním rohu displeje ukazuje, zda existuje další položka nad, pod nebo v obou směrech. Bliká-li číslice v řadě, znamená to, že tato číslice může být zvýšena nebo naopak snížena. Nastavené hodnoty jsou uloženy v trvalé paměti přístroje, takže jsou zachovány i po vypnutí zařízení.

Vzorek textilie o velikosti min. 10 x 15 cm, který budeme měřit, položíme na zvolenou podložku, sondu přiložíme na vzorek a spustíme měření tím, že na displeji pomocí tlačítek nalezneme program MEASUREMENT, který potvrdíme tlačítkem ENTER (objeví se nám hlášení: "PLACE THE PROBE" ( „umístěte sondu” )) to potvrdíme také tlačítkem ENTER po té začne přístroj měřit.

Zprvu přístroj provádí 1. část měření, po ustálení teploty zazní zvukový signál pro začátek 2. části měření. Konec měření nám přístroj oznámí opakujícím se zvukovým signálem a hlášením: "REMOVE THE PROBE" („odeberte sondu”) stiskneme tlačítko ENTER. Na displeji již můžeme vidět výslednou naměřenou hodnotu tepelného odporu  $r$  v jednotkách  $[W^{-1}mK.m^2]$ . Nyní probíhá chlazení měřící sondy na příslušnou hodnotu, pro další pokus měření musíme vyčkat, než se přístroj na tuto teplotu ochladí. Pro další měření, použijeme tlačítko BACK a opět se vrátíme do programu MEASUREMENT.

### 3. MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA

Nejprve byly všechny vzorky proměřeny na přístroji Alambeta při přitlaku 250 Pa a 1000 Pa aby tyto výsledky mohly být následně použity pro co nejpřesnější kalibraci nového přístroje s výstupními hodnotami tepelného odporu  $r$ , podobné hodnotám tepelného odporu  $r$ , které udává Alambeta a to s minimální odchylkou.

Vzorky byly po dobu 24 hodin klimatizovány při teplotě 21 °C - 24 °C a vlhkosti vzduchu 30% - 38%. Poté byly všechny vzorky změřeny na 5. různých místech. Jejich výsledné hodnoty jsou zachyceny v tabulce níže, kde jsou uvedeny hodnoty z měření při přitlaku 1000 Pa. Hodnoty při přitlaku 250 Pa jsou přiloženy v příloze této práce.

Tab. 5: PE 1 ALAMBETA přitlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|---|-----------------------------|
| 1                              | 40,9                       | 0,041   | 52,3  | 145,0                | 0,145   | 5,91                        |
| 2                              | 40,4                       | 0,040   | 50,1  | 148,0                | 0,148   | 5,98                        |
| 3                              | 40,0                       | 0,040   | 50,4  | 148,0                | 0,148   | 5,93                        |
| 4                              | 40,2                       | 0,040   | 49,8  | 149,0                | 0,149   | 5,98                        |
| 5                              | 40,9                       | 0,041   | 48,0  | 146,0                | 0,146   | 5,96                        |
| <b>Průměr</b>                  | 40,5                       | 0,040   | 50,1  | 147,2                | 0,147   | 5,95                        |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 0,409                      | 0,0004  | 1,535   | 1,643                | 0,002   | 0,031                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 1,010                      | 1,01  | 3,063   | 1,116                | 1,116   | 0,523                       |



Tab. 6: PE 2 ALAMBETA přitlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|---|-----------------------------|
| 1                              | 38,5                       | 0,040   | 50,4  | 106,0                | 0,106   | 4,08                        |
| 2                              | 39,5                       | 0,039   | 45,2  | 103,0                | 0,103   | 4,06                        |
| 3                              | 38,5                       | 0,039   | 47,0  | 107,0                | 0,107   | 4,11                        |
| 4                              | 39,0                       | 0,039   | 45,6  | 104,0                | 0,104   | 4,06                        |
| 5                              | 38,7                       | 0,039   | 47,7  | 106,0                | 0,106   | 4,09                        |
| <b>Průměr</b>                  | 38,84                      | 0,039   | 47,2  | 105,2                | 0,105   | 4,08                        |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 0,422                      | 0,0004  | 2,067   | 1,643                | 0,002   | 0,021                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 1,086                      | 1,086   | 4,381   | 1,562                | 1,562   | 0,520                       |

Tab. 7: PE 3 ALAMBETA přitlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|---|-----------------------------|
| 1                              | 39,3                       | 0,039   | 59,2  | 54,2                 | 0,054   | 2,13                        |
| 2                              | 38,8                       | 0,039   | 54,3  | 54,8                 | 0,055   | 2,13                        |
| 13                             | 38,9                       | 0,039   | 56,9  | 54,9                 | 0,055   | 2,13                        |
| 4                              | 38,9                       | 0,039   | 55,3  | 54,3                 | 0,054   | 2,11                        |
| 5                              | 39,0                       | 0,039   | 61,3  | 54,8                 | 0,055   | 2,14                        |
| <b>Průměr</b>                  | 39,0                       | 0,039   | 57,4  | 54,6                 | 0,055   | 2,13                        |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 0,192                      | 0,0002  | 2,860   | 0,324                | 0,0003  | 0,011                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 0,493                      | 0,493   | 4,983   | 0,593                | 0,593   | 0,515                       |

Tab. 8: PU 1 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1}\text{K} \cdot \text{m}^2$ ] |
|--------------------------------|----------------------------|--|---|----------------------|--|
| 1                              | 66,2                       | 0,066  | 35,7  | 494,0                | 0,494  |
| 2                              | 65,4                       | 0,065  | 33,2  | 501,0                | 0,501  |
| 3                              | 68,6                       | 0,069  | 38,8  | 476,0                | 0,476  |
| 4                              | 68,9                       | 0,069  | 37,1  | 476,0                | 0,476  |
| 5                              | 68,6                       | 0,069  | 42,0  | 476,0                | 0,476  |
| <b>Průměr</b>                  | 67,5                       | 0,068  | 37,4  | 484,6                | 0,485  |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 1,618                      | 0,002  | 3,307   | 12,033               | 0,012  |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 2,396                      | 2,396  | 8,850   | 2,483                | 2,483  |

Tab. 9: PU 2 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1}\text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|--|---|----------------------|--|-----------------------------|
| 1                              | 55,3                       | 0,055  | 41,1  | 353,0                | 0,353  | 19,5                        |
| 2                              | 55,2                       | 0,055  | 46,3  | 355,0                | 0,355  | 19,5                        |
| 3                              | 54,9                       | 0,055  | 45,9  | 356,0                | 0,356  | 19,6                        |
| 4                              | 55,8                       | 0,056  | 48,2  | 350,0                | 0,350  | 19,5                        |
| 5                              | 57,5                       | 0,058  | 45,7  | 340,0                | 0,340  | 19,6                        |
| <b>Průměr</b>                  | 55,7                       | 0,056  | 45,4  | 350,8                | 0,351  | 19,5                        |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 1,036                      | 0,001  | 2,621   | 6,458                | 0,006  | 0,055                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 1,858                      | 1,858  | 5,767   | 1,841                | 1,841  | 0,280                       |

Tab. 10: PU 3 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|---|-----------------------------|
| 1                              | 50,6                       | 0,051   | 43,9  | 202,0                | 0,202   | 10,2                        |
| 2                              | 51,6                       | 0,052   | 40,9  | 203,0                | 0,203   | 10,5                        |
| 3                              | 51,4                       | 0,051   | 42,3  | 201,0                | 0,201   | 10,3                        |
| 4                              | 52,2                       | 0,052   | 40,6  | 195,0                | 0,195   | 10,2                        |
| 5                              | 50,7                       | 0,051   | 42,0  | 201,0                | 0,201   | 10,2                        |
| <b>Průměr</b>                  | 51,3                       | 0,051   | 41,9  | 200,4                | 0,20  | 10,3                        |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 0,663                      | 0,001   | 1,309   | 3,130                | 0,003   | 0,130                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 1,293                      | 1,293   | 3,121   | 1,562                | 1,562   | 1,268                       |

Tab. 11: DENIM ALAMBETA přítlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|---|-----------------------------|
| 1                              | 77,8                       | 0,078   | 267,0   | 10,6                 | 0,011   | 0,82                        |
| 2                              | 82,9                       | 0,083   | 284,0   | 10,2                 | 0,010   | 0,85                        |
| 3                              | 84,1                       | 0,084   | 286,0   | 10,2                 | 0,010   | 0,86                        |
| 4                              | 83,1                       | 0,083   | 283,0   | 10,5                 | 0,011   | 0,87                        |
| 5                              | 84,7                       | 0,085   | 280,0   | 10,4                 | 0,010   | 0,88                        |
| <b>Průměr</b>                  | 82,5                       | 0,083   | 280,0   | 10,4                 | 0,010   | 0,86                        |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 2,739                      | 0,003   | 7,583   | 0,179                | 0,000   | 0,023                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 3,319                      | 3,319   | 2,708   | 1,723                | 1,723   | 2,689                       |

Tab. 12: PL ALAMBETA přítlak 1000 Pa

| Měření                         | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Tepelná jímavost $b$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] | Naměřená hodnota $r$ | Plošný odpor vedení tepla $r$ [ $\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$ ] | Tloušťka materiálu $h$ [mm] |
|--------------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|---|-----------------------------|
| 1                              | 44,6                       | 0,045   | 81,7  | 74,9                 | 0,075   | 3,340                       |
| 2                              | 44,3                       | 0,044   | 80,4  | 72,9                 | 0,073   | 3,230                       |
| 3                              | 44,3                       | 0,044   | 86,0  | 67,5                 | 0,068   | 2,990                       |
| 4                              | 45,2                       | 0,045   | 81,4  | 71,2                 | 0,071   | 3,220                       |
| 5                              | 45,0                       | 0,045   | 84,6  | 68,9                 | 0,069   | 3,100                       |
| <b>Průměr</b>                  | 44,7                       | 0,045   | 82,8  | 71,1                 | 0,071   | 3,176                       |
| <b>Směrodatná odchylka</b>     | 0,409                      | 0,0004  | 2,367   | 2,979                | 0,003   | 0,134                       |
| <b>Variační koeficient [%]</b> | 0,915                      | 0,915   | 2,858   | 4,190                | 4,190   | 4,228                       |

## 4. MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI TERMOSKOP

Celé měření na přístroji Termoskop probíhalo v klimatizované laboratoři při teplotě vzduchu 21°C- 25°C a vlhkosti vzduchu 30%- 35%.

### 4.1 KALIBRACE

Před samotným měřením byla provedena kalibrace nového zařízení. S pomocí vzorku PE 1 (h= 5,95 mm) u kterého byla hodnota tepelného odporu  $r$  známa, byl přístroj zkalibrován na hodnoty:

#### 1. Temp Steady

Max DeltTempDif : 0,5 %

Validity Count : 10

#### 2. Flow Steady

Max RelFlowDif : 0,5 %

Validity Count : 10

HFS Resistance : 2.000  $\rightarrow$  0,02 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]

### 4.2 POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH HODNOT

Po kalibraci přístroje, byly všechny vzorky proměřeny na hliníkové podložce. Každý vzorek byl proměřen celkem 5x na různých místech vzorku. Následně jsou tyto hodnoty uvedeny v tabulce níže, kde jsou pro porovnání přidány i hodnoty z přístroje Alambeta. U každého ze dvou zařízení je uveden vždy sloupec s průměrnými naměřenými hodnotami tepelného odporu  $r$  a směrodatná odchylka  $v$  měření. V posledním sloupci jsou pak uvedeny procentuální chybové odchylky  $v$  měření mezi těmito přístroji.

Tab. 13: Porovnání hodnot Termoskop/Alambeta

| Vzorek                | $\bar{x} R [W^{-1}mK.m^2]$<br>(ALAMBETA)<br>Přítlak 1000 Pa | Směrodatná<br>odchylka<br>(ALAMBETA) | $\bar{x} R [W^{-1}mK.m^2]$<br>(TERMOSKOP)<br>Přítlak 1018 Pa | Směrodatná<br>odchylka<br>(TERMOSKOP) | Chyba v<br>měření<br>Alambeta/<br>Termoskop<br>[%] |
|-----------------------|---|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| PE 1 (h= 5,9 mm)      | 147,20  | 1,64                                 | 147,22   | 2,00                                  | 0,01   |
| PE 2 (h= 4,17 mm)     | 105,20  | 1,64                                 | 102,28   | 2,18                                  | 2,78   |
| PE 3 (h= 2,19 mm)     | 54,60   | 0,32                                 | 50,10  | 0,95                                  | 8,24   |
| PU 1 (h= 30 mm)       | 484,60  | 12,03                                | 489,18   | 12,85                                 | 0,95   |
| PU 2 (h= 19,5 mm)     | 350,80  | 6,46                                 | 371,82   | 5,40                                  | 6,00   |
| PU 3 (h= 10,2 mm)     | 200,40  | 3,13                                 | 203,66   | 1,69                                  | 1,60   |
| PL (h= 3,76 mm)       | 71,08   | 2,98                                 | 57,64  | 2,04                                  | 19,00  |
| DENIM<br>(h= 0,89 mm) | 10,38   | 0,18                                 | 3,54   | 0,29                                  | 65,90  |

Největší chybu v měření v tabulce výše, nám udává bavlněná tkanina typu denim tloušťky (h= 0,89 mm), kde odchýlení od správné hodnoty tepelného odporu pro tuto tkaninu je 65,9%. Další vyšší odchylku udává pletenina z polyesteru tloušťky (h= 3,76 mm), zde je hodnota odchýlena o 19 % od správné hodnoty tepelného odporu pro tuto pleteninu. U polyetylenů, kde měření proběhlo na vzorcích 3 různých tloušťek, nám větší chybu udávala nejslabší folie tloušťky (h= 2,19 mm) a to 8,24 %, kterou ale stále hodnotíme jako vyhovující pro tuto novou metodu měření. U silnějších folií (h= 4,17 mm) byla odchylka 2,78 % a u poslední nejtlustší polyetylenové folie (h= 5,9 mm) pak pouhých 0,01 % chyby v měření. U polyuretanových pěn byla chyba v měření do 6 %.

Z výše zjištěné vysoké chybovosti v měření u vzorků DENIM a PL, bude v následující experimentální části pracováno pouze se vzorkami z polyetylenů a polyuretanů. Kde budou zkoumány různé vlivy, které působí na přesnost měření nového přístroje.

Ke vzorkům DENIM a PL se ke konci experimentální části vrátíme a především se zaměříme na další změnu v konstrukci přístroje a také dalšímu proměření.

### 4.3 VLIV PŘÍTLAKU SONDY NA TEXTILII

Při zkoumání, zda velikost přítlaku sondy na textilií má vliv na naměřené hodnoty tepelného odporu  $r$ , byly použity vzorky z polyetylenu a polyuretanu. Celé měření probíhalo na hliníkové podložce. Kde každá z textilií byla změřena při 3 různých přítlacích na různých místech celkem 5 krát. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách, kde jsou uvedeny jak jednotlivé hodnoty při měření, tak průměrné hodnoty z měření. Dále jsou zde uvedeny směrodatné odchylky v měření a variační koeficienty. Výsledky jsou následně zaznamenány v tabulce a vyneseny v grafech níže. Pro porovnání jsou zde uvedeny také hodnoty získané při měření na přístroji Alambeta ve dvou přítlacích a to 250 Pa a 1000 Pa.

Tab. 14: PE 1 TERMOSKOP

| Přítlak [Pa] | $r$ [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 1018         | 150,10                 | 147,10 | 145,80 | 148,10 | 145,00 | 147,22 | 2,00                | 1,36                    |
| 1666         | 153,20                 | 149,20 | 149,30 | 147,20 | 148,90 | 149,56 | 2,21                | 1,47                    |
| 2750         | 144,10                 | 141,80 | 143,20 | 142,70 | 146,00 | 143,56 | 1,60                | 1,11                    |

Tab. 15: PE 1 ALAMBETA

| Přítlak [Pa] | $r$ [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 250          | 150,00                 | 149,00 | 147,00 | 154,00 | 146,00 | 149,20 | 3,11                | 2,09                    |
| 1000         | 145,00                 | 148,00 | 148,00 | 149,00 | 146,00 | 147,20 | 1,64                | 1,12                    |

Tab. 16: PE 2 TERMOSKOP

| Přítlak [Pa] | $r$ [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 1018         | 100,70                 | 102,90 | 99,50  | 105,00 | 103,30 | 102,28 | 2,18                | 2,13                    |
| 1666         | 104,40                 | 104,20 | 103,30 | 100,10 | 101,50 | 102,70 | 1,85                | 1,80                    |
| 2750         | 101,40                 | 99,30  | 98,00  | 100,10 | 101,40 | 100,04 | 1,45                | 1,45                    |

Tab. 17: PE 2 ALAMBETA

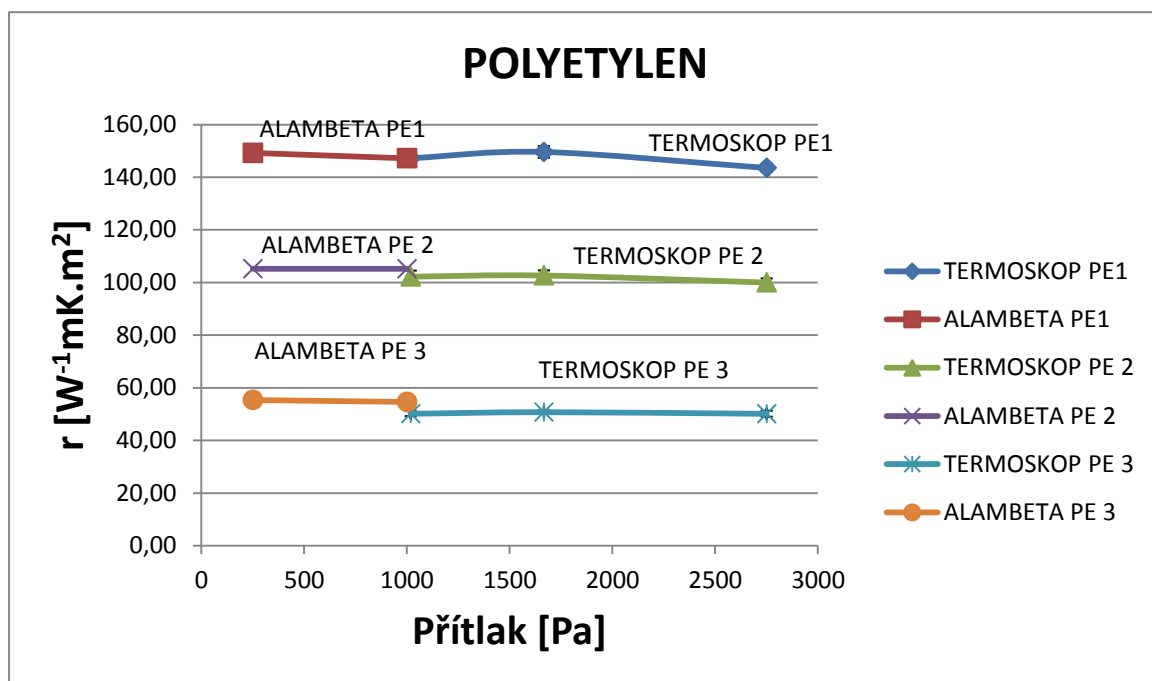
| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 250          | 104,00                                 | 106,00 | 106,00 | 104,00 | 106,00 | 105,20 | 1,10                | 1,04                    |
| 1000         | 106,00                                 | 103,00 | 107,00 | 104,00 | 106,00 | 105,20 | 1,64                | 1,56                    |

Tab. 18: PE 3 TERMOSKOP

| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |       |       |       |       | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |       |       |       |       |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2     | 3     | 4     | 5     |        |                     |                         |
| 1018         | 48,90                                  | 49,40 | 50,20 | 50,80 | 51,20 | 50,10  | 0,95                | 1,90                    |
| 1666         | 51,50                                  | 49,90 | 50,20 | 50,80 | 51,20 | 50,72  | 0,67                | 1,32                    |
| 2750         | 48,70                                  | 50,80 | 49,00 | 50,70 | 51,20 | 50,08  | 1,14                | 2,28                    |

Tab. 19: PE 3 ALAMBETA

| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |       |       |       |       | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |       |       |       |       |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2     | 3     | 4     | 5     |        |                     |                         |
| 1000         | 54,20                                  | 54,80 | 54,90 | 54,30 | 54,80 | 54,60  | 0,32                | 0,59                    |
| 250          | 55,30                                  | 54,90 | 55,60 | 55,70 | 55,30 | 55,36  | 0,31                | 0,57                    |



Obr. 16: Graf vliv přítlaku na tepelný odpor PE



Tab. 20: PU 1 TERMOSKOP

| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 1018         | 488,50                                 | 494,90 | 509,20 | 470,40 | 482,90 | 489,18 | 14,37               | 2,94                    |
| 1666         | 462,50                                 | 458,80 | 467,00 | 469,00 | 458,00 | 463,06 | 4,87                | 1,05                    |
| 2750         | 480,00                                 | 482,30 | 492,90 | 500,10 | 477,90 | 486,64 | 9,48                | 1,95                    |

Tab. 21: PU 1 ALAMBETA

| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 250          | 464,00                                 | 476,00 | 474,00 | 462,00 | 476,00 | 470,40 | 6,84                | 1,45                    |
| 1000         | 494,00                                 | 501,00 | 476,00 | 476,00 | 476,00 | 484,60 | 12,03               | 2,48                    |

Tab. 22: PU 2 TERMOSKOP

| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 1018         | 379,70                                 | 372,50 | 375,10 | 367,00 | 364,80 | 371,82 | 6,04                | 1,62                    |
| 1666         | 390,40                                 | 399,90 | 380,20 | 400,40 | 400,00 | 394,18 | 8,87                | 2,25                    |
| 2750         | 368,10                                 | 381,40 | 377,30 | 397,10 | 379,20 | 380,62 | 10,51               | 2,76                    |

Tab. 23: PU 2 ALAMBETA

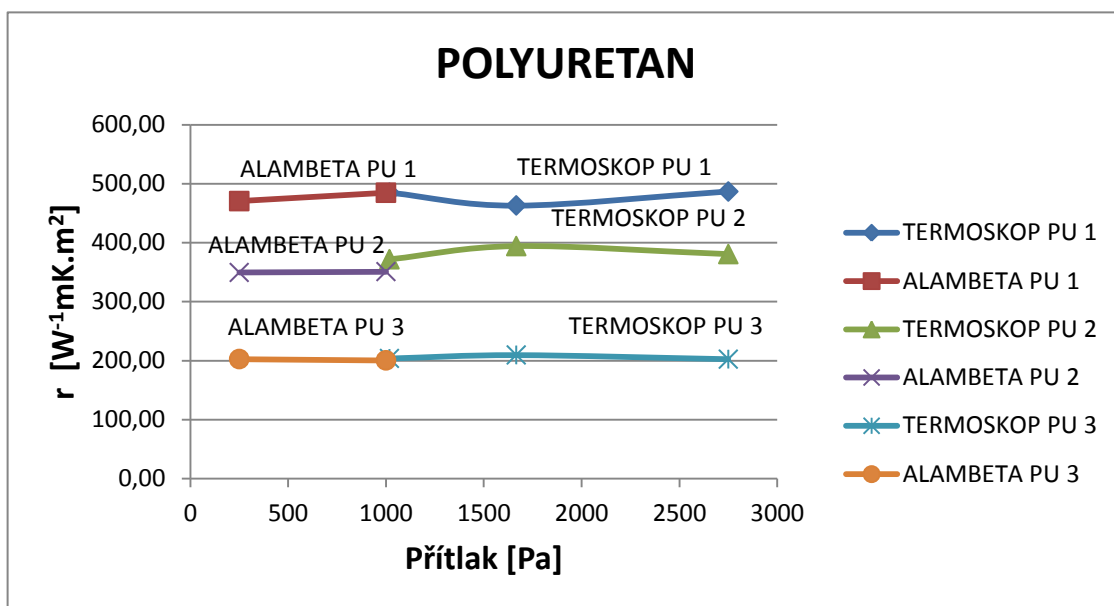
| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 250          | 359,00                                 | 337,00 | 356,00 | 348,00 | 347,00 | 349,40 | 8,62                | 2,47                    |
| 1000         | 353,00                                 | 356,00 | 355,00 | 350,00 | 340,00 | 350,80 | 6,46                | 1,84                    |

Tab. 24: PU 3 TERMOSKOP

| Přítlak [Pa] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření                           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 1018         | 204,60                                 | 201,40 | 204,00 | 202,60 | 205,70 | 203,66 | 1,69                | 0,83                    |
| 1666         | 214,10                                 | 206,70 | 213,30 | 206,70 | 207,00 | 209,56 | 3,79                | 1,81                    |
| 2750         | 206,50                                 | 195,50 | 203,70 | 202,80 | 203,60 | 202,42 | 4,11                | 2,03                    |

Tab. 25: PU 3 ALAMBETA

| Přítlak [Pa] | $r$ [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|              | Počet měření           |        |        |        |        |        |                     |                         |
|              | 1                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 250          | 201,00                 | 204,00 | 205,00 | 201,00 | 202,00 | 202,60 | 1,82                | 0,90                    |
| 1000         | 202,00                 | 203,00 | 201,00 | 195,00 | 201,00 | 200,40 | 3,13                | 1,56                    |



Obr. 17: Graf vliv přítlaku na tepelný odpor PU

V grafech jsou vyneseny průměrné hodnoty tepelného odporu  $r$  při různých přítlacích na Termoskopu, doplněny o hodnoty  $r$ , při přítlacích 250 Pa a 1000 Pa z přístroje Alambeta.

V této části bylo zjištěno, k jaké změně dojde, pokud změníme sílu neboli přítlak, který působí při měření na textili. Z výsledků, kterých jsme při měření dosáhly, můžeme říct, že přítlak, který byl v průběhu měření měněn na 3 odlišné hodnoty, neměl příliš velký vliv na polyetylenové ani polyuretanové vzorky, jejich hodnoty se v průběhu měření pouze lehce odchylovaly a to do 6%, neměly však tendenci klesat nebo naopak vzrůstat. U polyetylenu je to dáno jeho vysokou mechanickou odolností, kde při zvyšovaném přítlaku docházelo k minimálnímu stažení této folie.

#### 4.4 VLIV PARAMETRŮ (TLOUŠŤKY) TEXTILE

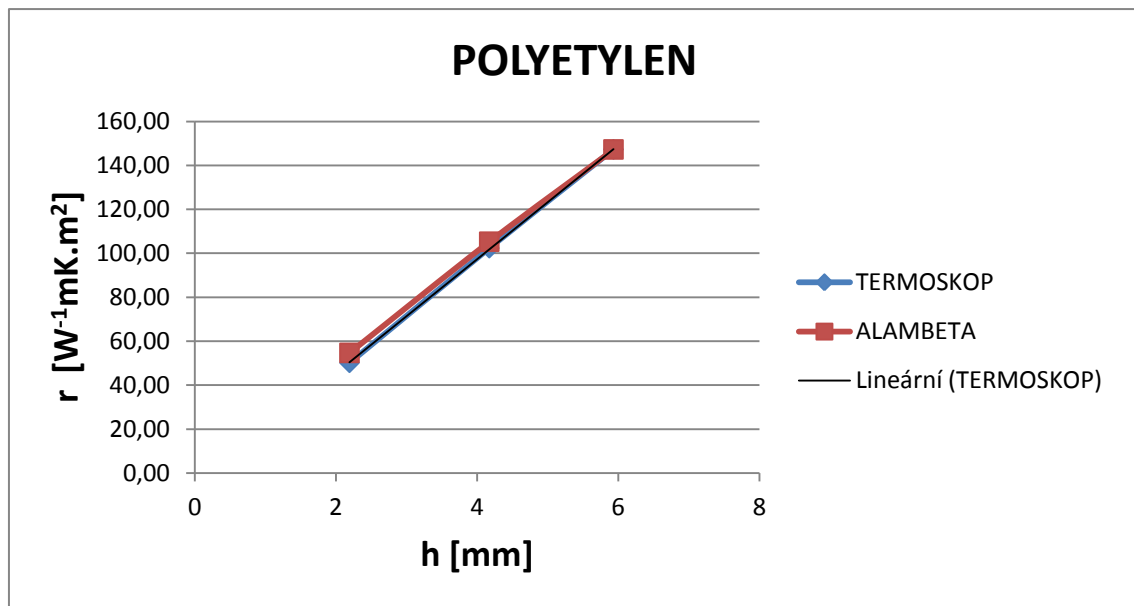
V této části bylo zkoumáno, jaký vliv má parametr (tloušťka) měřených textilií na přesnost měření jejich tepelného odporu. Cílem měření bylo dosáhnout co nejlineárnější závislosti tloušťky materiálu na tepelném odporu. Měření bylo provedeno na hliníkové podložce, při přítlaku sondy na měřený materiál 1018 Pa. Vzorky z polyetylenu a polyuretanu různých tloušťek byly proměřeny vždy 5 krát na různých místech textilie. Jsou zde uvedeny tabulky s naměřenými hodnotami na zařízení Termoskop a tabulky z naměřenými hodnotami na přístroji Alambeta při přítlaku 1000 Pa. Vše je následně vyneseno do grafů.

Tab. 26: Polyetylen TERMOSKOP

| h [mm] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 2,19   | 48,90                                  | 49,40  | 50,20  | 50,80  | 51,20  | 50,10  | 0,95                | 1,90                    |
| 4,17   | 100,70                                 | 102,90 | 99,50  | 105,00 | 103,30 | 102,28 | 2,18                | 2,13                    |
| 5,93   | 150,10                                 | 147,10 | 145,80 | 148,10 | 145,00 | 147,22 | 2,00                | 1,36                    |

Tab. 27: Polyetylen ALAMBETA

| h [mm] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 2,19   | 54,20                                  | 54,80  | 54,90  | 54,30  | 54,80  | 54,6   | 0,32                | 0,59                    |
| 4,17   | 106,00                                 | 103,00 | 107,00 | 104,00 | 106,00 | 105,2  | 1,64                | 1,56                    |
| 5,93   | 145,00                                 | 148,00 | 148,00 | 149,00 | 146,00 | 147,2  | 1,64                | 1,12                    |



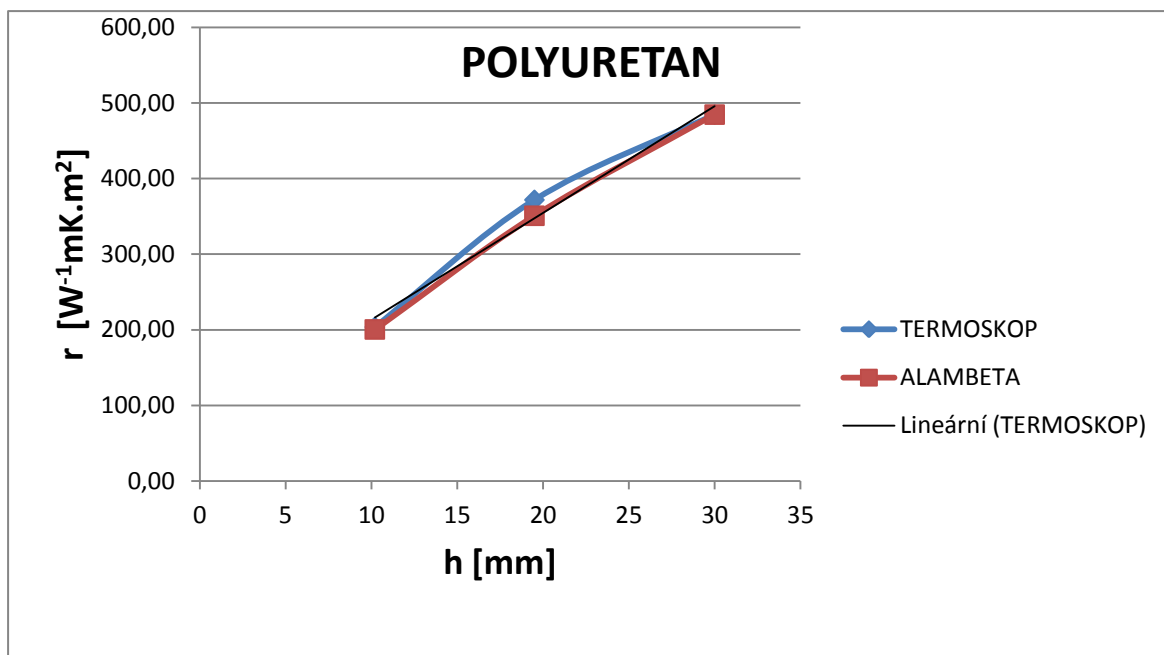
Obr. 18: Graf vliv parametrů textílie na tepelný odpor PE

Tab. 28: Polyuretan TERMOSKOP

| h [mm] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 10,2   | 204,60                                 | 201,40 | 204,00 | 202,60 | 205,70 | 203,66 | 1,69                | 0,83                    |
| 19,5   | 379,70                                 | 372,05 | 375,10 | 367,00 | 364,80 | 371,82 | 6,04                | 1,62                    |
| 30     | 488,50                                 | 494,90 | 486,50 | 470,40 | 482,90 | 484,64 | 9,08                | 1,87                    |

Tab. 29: Polyuretan ALAMBETA

| h [mm] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |        |        |        |        | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 10,2   | 202,00                                 | 203,00 | 201,00 | 195,00 | 201,00 | 200,4  | 3,13                | 1,56                    |
| 19,5   | 353,00                                 | 356,00 | 355,00 | 350,00 | 340,00 | 350,8  | 6,46                | 1,84                    |
| 30     | 494,00                                 | 501,00 | 476,00 | 476,00 | 476,00 | 484,6  | 12,03               | 2,48                    |



Obr. 19: Graf vliv parametrů textilie na tepelný odpor PU

Úkolem této části bylo zjistit vliv parametrů textilií (tloušťky) na přesnost měření jejich tepelného odporu. Tedy zda při zvyšující tloušťce textilie budou i hodnoty tepelného odporu na novém zařízení lineárně vzrůstat. Při měření byla potvrzena tato lineární závislost tepelného odporu na tloušťce textilií, kde s každou vyšší tloušťkou textilie nám hodnota tepelného odporu lineárně vzrůstala.

#### 4.5 VLIV MATERIÁLU MĚŘÍCÍ ZÁKLADNY

V tomto měření bylo zkoumáno, jaký vliv mají různé druhy podložek na výpočet tepelného odporu textilií. V této části v tabulce č. 30 jsou uvedeny fyzikální veličiny jako tepelná vodivost  $\lambda$ , měrná tepelná kapacita  $c$ , teplotní vodivost  $a$ , hustota  $g$ , a tepelná jímavost  $b$  všech testovaných podložek, které pro závěrečné vyhodnocení budeme potřebovat.

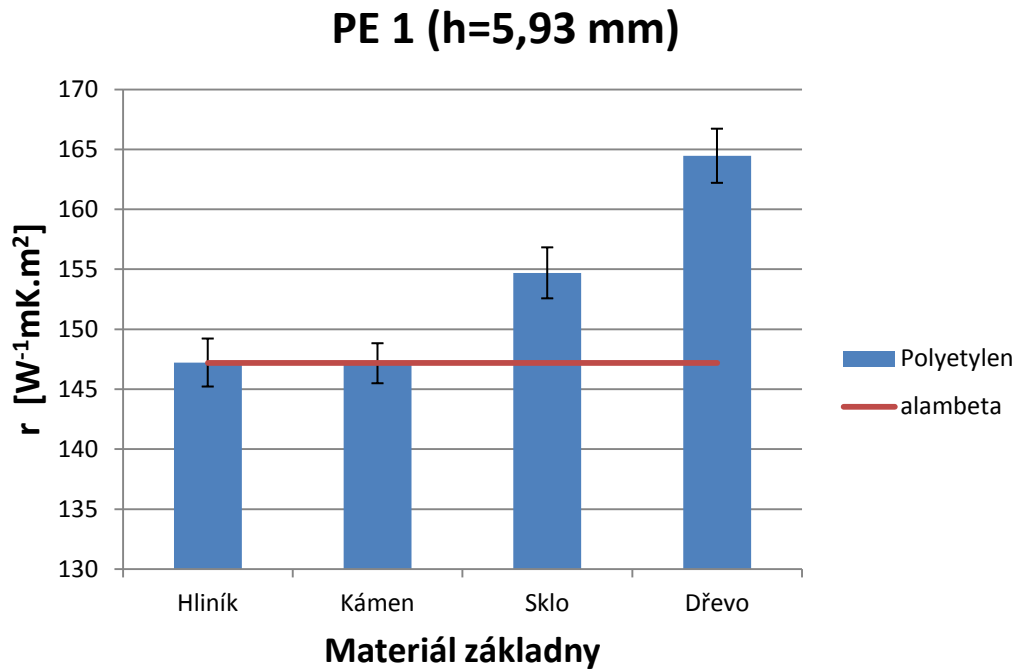
Tab. 30: Fyzikální vlastnosti podložek [7]

| VELIČINA  | MATERIÁL MĚŘÍCÍ ZÁKLADNY |           |           |            |
|---|--------------------------|-----------|-----------|------------|
|   | HLINÍK                   | KÁMEN     | SKLO      | DŘEVO      |
| $c$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]                | 879                      | 920       | 840       | 1 450      |
| $\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]            | 180                      | 3,1       | 0,76      | 0,11       |
| $\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]                               | 2 750                    | 2 500     | 2 600     | 1 500      |
| $b$ [W.m <sup>-2</sup> s <sup>1/2</sup> K <sup>-1</sup> ] | 435 105 000              | 7 130 000 | 1 659 840 | 239 250    |
| $a$ [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]                     | 0,00007                  | 0,000001  | 0,0000003 | 0,00000009 |

Pro zjištění jaký vliv mají podložky z různých materiálů na naměřené hodnoty tepelného odporu  $r$ , byly vybrány 4 podložky z odlišného materiálu. Tyto podložky mají rozdílnou tepelnou vodivost  $\lambda$ , tepelnou jímavost  $b$  a tepelnou kapacitu  $a$ . Na každou z nich byl umístěn vzorek, který byl poté 5 krát na různých místech vzorku proměřen. Pro následující měření byly vybrány vzorky vždy netlustší a neužší z materiálu polyetylen a polyuretan. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách a vyneseny v grafech níže.

Tab. 31: PE 1 (h= 5,93 mm) TERMOSKOP

| h [mm] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |       |       |       |       | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                      | 2     | 3     | 4     | 5     |        |                     |                         |
| Hliník | 150,1                                  | 147,1 | 145,8 | 148,1 | 145,0 | 147,22 | 2,00                | 1,36                    |
| Kámen  | 145,6                                  | 145,3 | 147,6 | 149,2 | 148,1 | 147,16 | 1,67                | 1,13                    |
| Sklo   | 153,7                                  | 154,2 | 152,0 | 157,4 | 156,2 | 154,70 | 2,13                | 1,37                    |
| Dřevo  | 163,0                                  | 163,6 | 168,3 | 162,8 | 164,6 | 164,46 | 2,26                | 1,37                    |

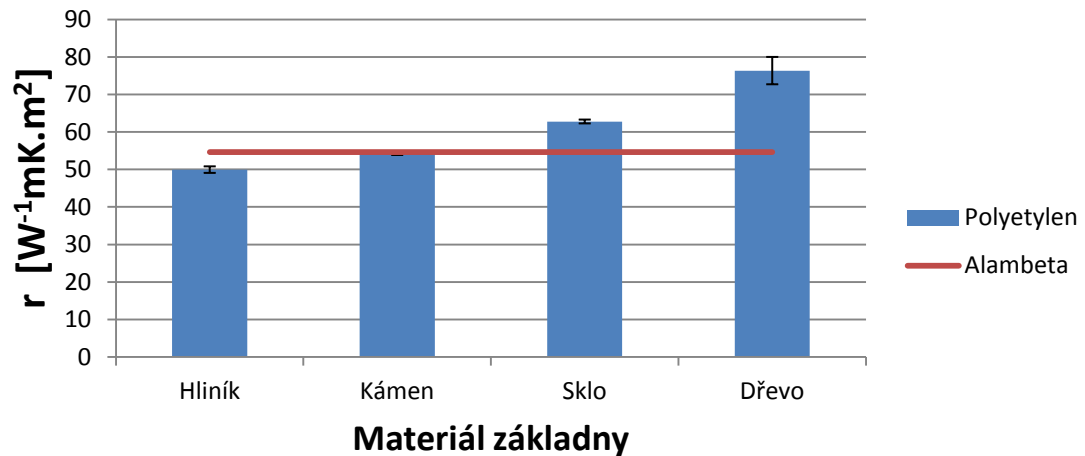


Obr. 20: Graf vliv materiálu měřící základny PE 1

Tab. 32: PE 3 (h=2,19 mm) TERMOSKOP

| h [mm] | r [W <sup>-1</sup> mK.m <sup>2</sup> ] |      |      |      |       | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------|--|------|------|------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                      | 2    | 3    | 4    | 5     |        |                     |                         |
| Hliník | 48,9                                   | 49,4 | 50,2 | 50,0 | 51,2  | 49,94  | 0,87                | 1,74                    |
| Kámen  | 54,4                                   | 54,7 | 53,8 | 54,0 | 54,1  | 54,20  | 0,35                | 0,65                    |
| Sklo   | 63,6                                   | 62,2 | 62,6 | 62,7 | 62,8  | 62,78  | 0,51                | 0,82                    |
| Dřevo  | 70,7                                   | 79,4 | 75,5 | 79,7 | 76,42 | 76,344 | 3,65                | 4,78                    |

### PE 3 (h=2,19 mm)

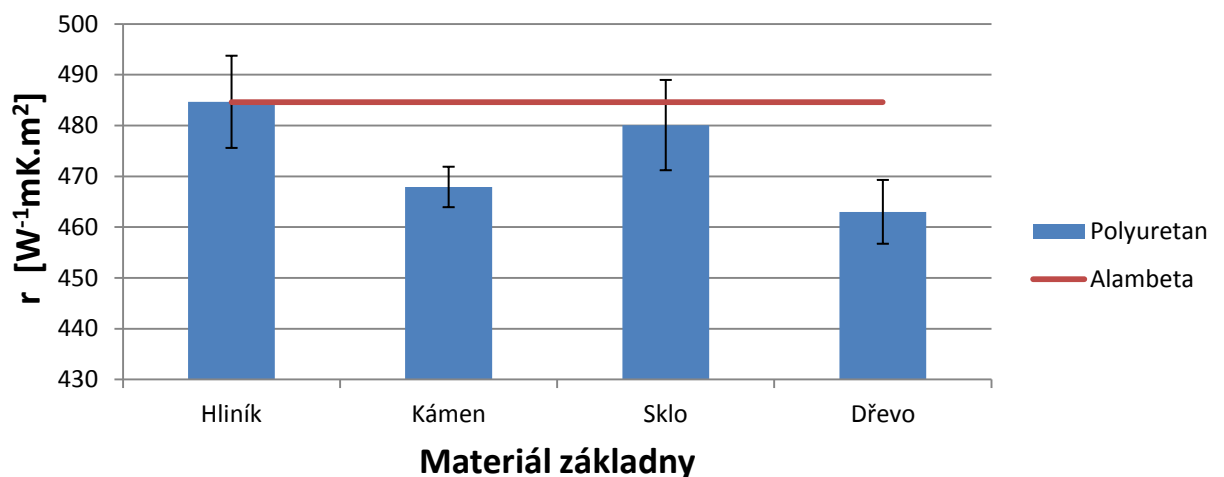


Obr. 21: Graf vliv materiálu měřící základny PE 3

Tab. 33: PU 1 (h=30 mm) TERMOSKOP

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |       |       |       |       | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2     | 3     | 4     | 5     |        |                     |                         |
| Hliník | 488,5                | 494,9 | 486,5 | 470,4 | 482,9 | 484,64 | 9,08                | 1,87                    |
| Kámen  | 462,3                | 470,5 | 472,3 | 465,6 | 468,7 | 467,88 | 3,98                | 0,85                    |
| Sklo   | 481,7                | 477,8 | 478,9 | 468,6 | 493,3 | 480,06 | 8,88                | 1,85                    |
| Dřevo  | 471,7                | 456,5 | 465,0 | 457,2 | 464,5 | 462,98 | 6,28                | 1,36                    |

### Polyuretan (h= 30 mm)



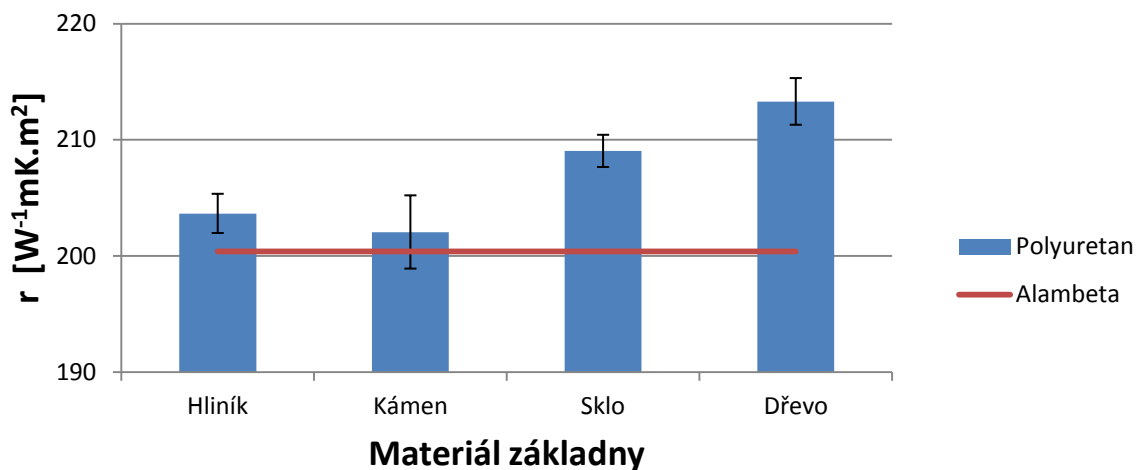
Obr. 22: Graf vliv materiálu měřící základny PU 1



Tab. 34: PU 3 (h= 10,2 mm) TERMOSKOP

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |       |       |       |       | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2     | 3     | 4     | 5     |        |                     |                         |
| Hliník | 204,6                | 201,4 | 204,0 | 202,6 | 205,7 | 203,66 | 1,69                | 0,83                    |
| Kámen  | 203,1                | 196,5 | 204,3 | 202,9 | 203,5 | 202,06 | 3,15                | 1,56                    |
| Sklo   | 210,1                | 206,8 | 209,7 | 210,0 | 208,6 | 209,04 | 1,39                | 0,66                    |
| Dřevo  | 214,8                | 213,1 | 215,0 | 210,0 | 213,6 | 213,30 | 2,01                | 0,94                    |

### Polyuretan 3 (h= 10,2 mm)



Obr. 23: Vliv materiálu měřící základny PU 3

V této poslední části byl zkoumán vliv tepelné jímavosti různých tepelně vodivých podložek na měření. Zde se jako nejvhodnější materiál pro měřící základnu jeví hliník a kámen, kde jejich tepelná jímavost vykazuje nejvyšší hodnoty v důsledku čehož pak na povrchu těchto materiálů dochází k nejmenším teplotním změnám při měření. Další parametr, který tyto dva materiály upřednostňuje před dřevem a sklem je jejich teplotní vodivost, kterou mají tyto dva materiály vyšší, to znamená, že materiály vyrovnávají případně teplotní změny rychleji.

Naopak největší odchýlení od optimální hodnoty tepelného odporu  $r$ , došlo při měření na dřevě, jehož hodnota tepelné jímavosti  $b$  je ze všech zkoušených materiálů nejnižší a v důsledku čehož dochází k větším teplotním změnám na měřící základně. Další parametr, který má za následek, to že materiál ze dřeva není vhodný pro toto měření je jeho velmi nízká teplotní vodivost  $a$ , která nám udává jak rychle je materiál schopen vyrovnávat teplotní změny. Dřevo má tuto hodnotu nejnižší, to znamená, že i

nejpomaleji vyrovnává tyto změny teplot a může zde docházet k ovlivnění výsledných hodnot.

#### 4.6 KALIBRACE Č. 2 PRO VZORKY Z BAVLNY A POLYESTERU

Této části předcházely výsledky z kalibrace vhodné pro izolační materiály z polyetylenu a polyuretanu avšak nevhodné pro tkaniny a pleteniny, kde vzorky DENIM a PL vykazovaly vysokou chybovost v měření.

V konstrukci byla proto změněna hodnota přídavného kontaktního odporu  $Z$  výše nastavené hodnoty kontaktního odporu  $2.000 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$  na hodnotu  $0.000 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ , tyto nastavené hodnoty nám udávají, násobek zvětšení kontaktního odporu měřící sondy, který tvoří tenká folie na čidle a tenké vrstvy vzduchu, které vzniknou mezi povrchovou folií a povrchem měřeného vzorku. Kde samotný snímač má hodnotu tepelného odporu zhruba  $0,001 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ . To znamená, že změníme v nastavení hodnotu z původní kalibrace  $2.000 \rightarrow 0,02 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$  na novou hodnotu  $0.000 \rightarrow 0 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ .

Měření probíhalo na hliníkové podložce, kde každá z textilií byla proměřena celkem 5 krát. V tabulkách jsou vždy uvedeny hodnoty naměřené na Termoskopu při původním nastavení tedy kontaktního odporu  $0,02 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ , hodnoty na Termoskopu při novém nastavení tedy přídavného kontaktního odporu  $0 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$  a hodnoty tepelného odporu na zařízení Alambeta.

Tab. 35: DENIM Termoskop HFS resistance  $0,02 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$

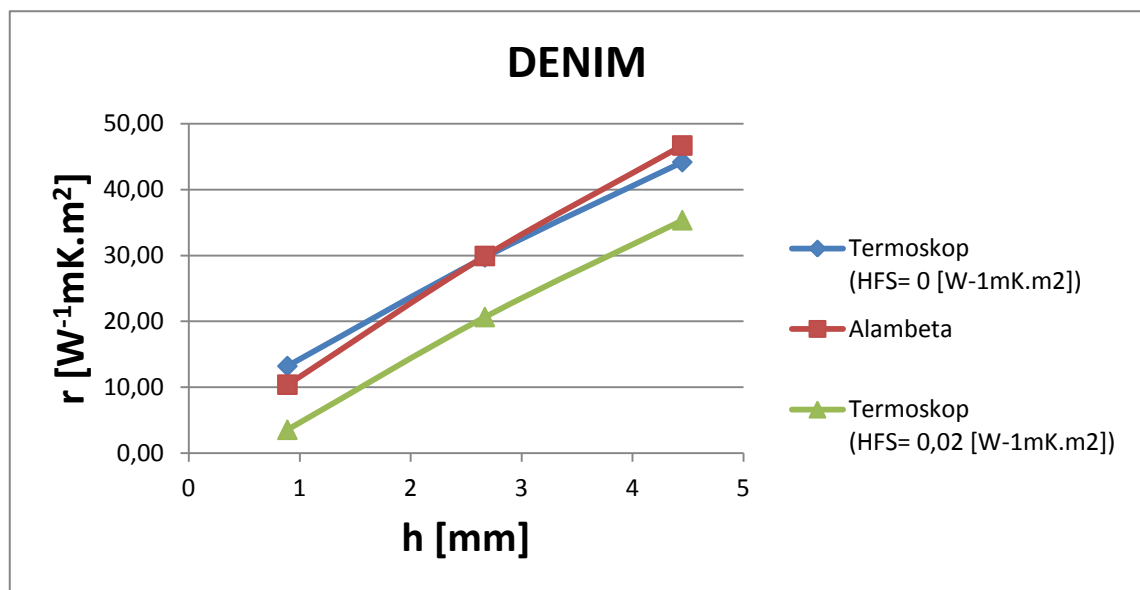
| h [mm] | r $[\text{W}^{-1}\text{mK.m}^2]$ |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                                | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 0,89   | 3,60                             | 3,20 | 3,80 | 3,20 | 3,90 | 3,54   | 0,33                | 9,28                    |
| 2,67   | 20,5                             | 20,5 | 20,5 | 21,2 | 20,5 | 20,64  | 0,31                | 1,52                    |
| 4,45   | 35,4                             | 35,3 | 35,2 | 35,4 | 35,3 | 35,32  | 0,08                | 0,24                    |

Tab. 36: DENIM Termoskop HFS resistance 0 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 0,89   | 13,1                 | 13,3 | 13,4 | 13,2 | 13   | 13,20  | 0,16                | 1,20                    |
| 2,67   | 30,6                 | 29,6 | 30,1 | 28,9 | 29,3 | 29,70  | 0,67                | 2,25                    |
| 4,45   | 44,1                 | 43,4 | 44,8 | 44,5 | 43,9 | 44,14  | 0,54                | 1,23                    |

Tab. 37: DENIM Alambeta přítlak 1000 Pa

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 0,89   | 10,6                 | 10,2 | 10,2 | 10,5 | 10,4 | 10,38  | 0,18                | 1,72                    |
| 2,67   | 30,3                 | 30,2 | 29,9 | 29,8 | 29,3 | 29,90  | 0,39                | 1,32                    |
| 4,45   | 46,5                 | 46,9 | 46,3 | 47,5 | 46,1 | 46,66  | 0,55                | 1,19                    |



Obr. 24: Graf změna kontaktního odporu DENIM

Tab. 38: PL Termoskop HFS resistance 0,02 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]

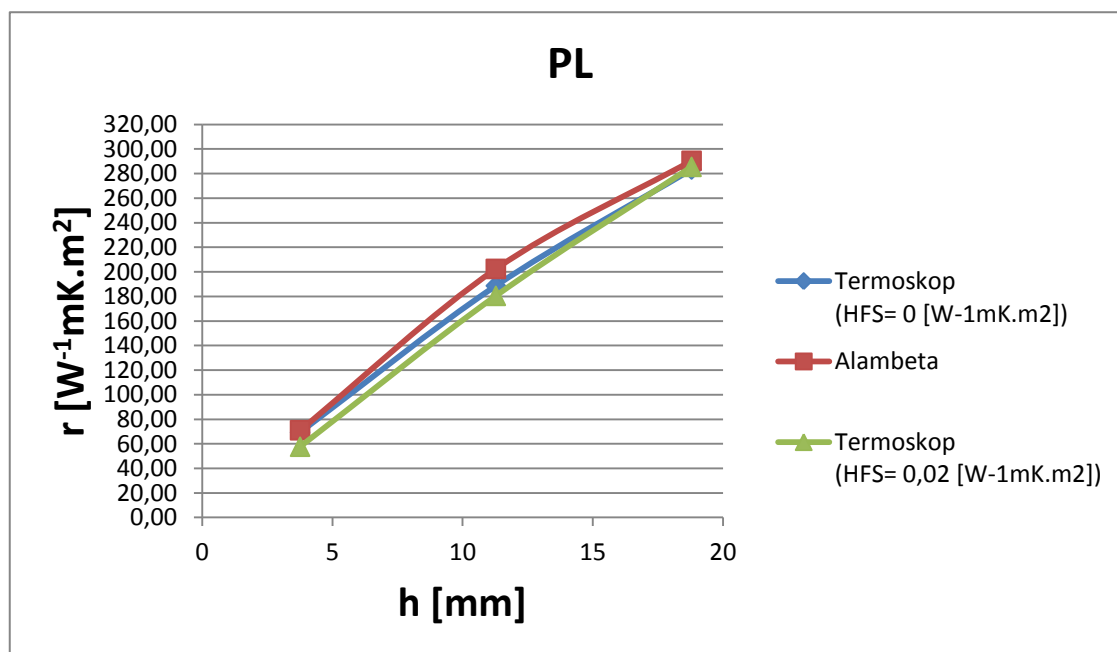
| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |       |       |       |       | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2     | 3     | 4     | 5     |        |                     |                         |
| 3,76   | 59,90                | 57,70 | 55,50 | 55,20 | 59,90 | 57,64  | 2,28                | 3,95                    |
| 11,28  | 192,6                | 177,6 | 176,5 | 179,6 | 176   | 180,46 | 6,93                | 3,84                    |
| 18,8   | 281,2                | 280,3 | 289,5 | 289,9 | 286,5 | 285,48 | 4,52                | 1,58                    |

Tab. 39: PL Termoskop HFS resistance 0 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |       |       |        |        | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2     | 3     | 4      | 5      |        |                     |                         |
| 3,76   | 70,9                 | 65,2  | 67,9  | 69,80  | 70,40  | 69,37  | 1,31                | 1,88                    |
| 11,28  | 190,6                | 192,9 | 186,2 | 189,60 | 190,20 | 188,67 | 2,16                | 1,14                    |
| 18,8   | 283,8                | 282,5 | 284,1 | 283,60 | 282,40 | 283,37 | 0,87                | 0,31                    |

Tab. 40: PL Alambeta přitlak 1000 Pa

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 3,76   | 74,9                 | 72,9 | 67,5 | 71,2 | 68,9 | 71,08  | 2,98                | 4,19                    |
| 11,28  | 196                  | 213  | 203  | 200  | 200  | 202,40 | 6,43                | 3,18                    |
| 18,8   | 286                  | 285  | 283  | 298  | 300  | 290,40 | 7,96                | 2,74                    |



Obr. 25: Graf změna kontaktního odporu PL

V grafech výše jsou vyneseny hodnoty tepelného odporu  $r$  ze zařízení Termoskop jak při původním nastavení tak i při novém nastavení přídavného kontaktního odporu měřicí sondy, doplněny o správně hodnoty tepelného odporu  $r$  z přístroje Alambeta při přítlaku 1000 Pa.

Z obou grafů jak pro vzorek DENIM, tak pro vzorek PL je patrné, že změna v konstrukci, která byla provedena, výrazně zlepšila výsledky obou měření tepelného odporu  $r$ .

Pro vzorek DENIM, klesla chybová odchylka z původní chyby v měření 65,9% při tloušťce ( $h=0,89\text{mm}$ ) na odchylku 25% a u vyšší tloušťky tohoto vzorku ( $h=1,78\text{mm}$ ) na odchylku 0,7%. Odchylku 25% můžeme vysvětlit, příliš malou tloušťkou měřené textilie, kde takto slabá vrstva textilie má velmi malý tepelný odpor, v důsledku čeho začne procházet teplo z měřicího zařízení do měřicí základny natolik, že toto vniklé teplo negativně ovlivní výsledek celého měření.

Pro vzorek PL, klesla chybová odchylka, z původní chyby v měření 19% při tloušťce ( $h=3,76\text{mm}$ ) na odchylku 2,4% .

#### 4.7 MĚŘENÍ NA POKOŽCE

V závěru experimentálního měření bylo vyzkoušeno měření přímo na lidské pokožce. K tomuto měření byl použit nejtenčí a nejtlustší vzorek denimu. Měřená textilie byla vždy přiložena na napnutou dlaň lidské ruky a 5x proměřena. Při tomto měření byla provedena změna v konstrukci a přídavný kontaktní odpor měřicí sondy byl vrácen na hodnotu 0,02 [ $\text{W}^{-1}\text{mK.m}^2$ ]. V tabulce níže jsou uvedeny naměřené hodnoty tepelného odporu z přístroje Termoskop a pro porovnání doplněny o tabulku hodnot tepelného odporu ze zařízení Alambeta při přítlaku 250 Pa a 1000 Pa. Následně jsou tyto hodnoty vyneseny v grafu č. 26.

Tab. 41: Termoskop přítlak 1018 Pa

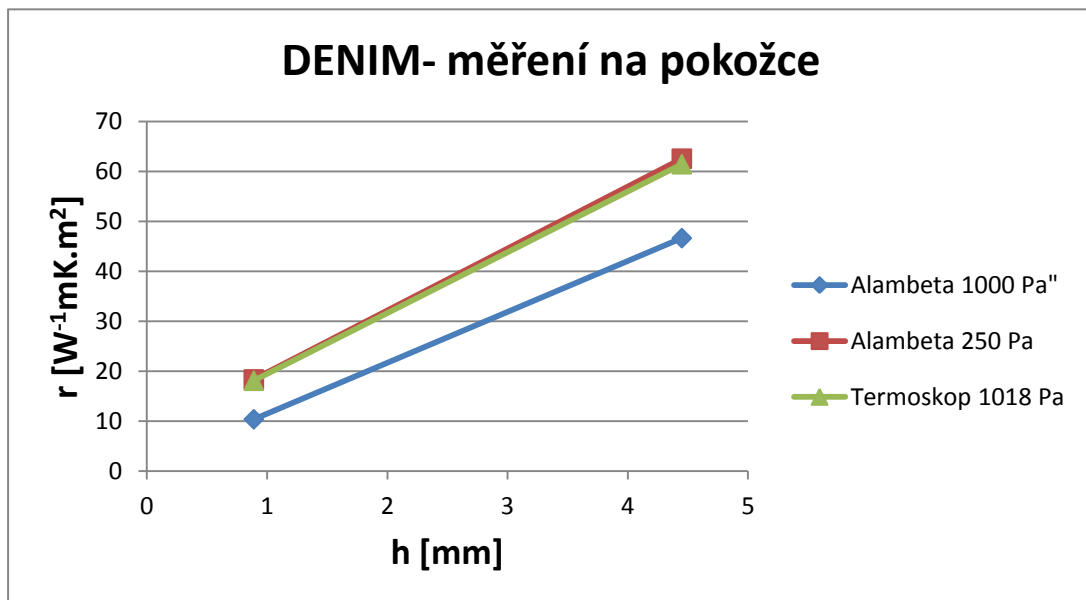
| h [mm] | R [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 0,89   | 18,5                 | 17,6 | 18,2 | 17,9 | 18,3 | 18,10  | 0,35                | 1,95                    |
| 4,45   | 64,7                 | 59,7 | 59,6 | 63,2 | 60,1 | 61,46  | 2,34                | 3,81                    |

Tab. 42: Alambeta přítlak 1000 Pa

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 0,89   | 10,6                 | 10,2 | 10,2 | 10,5 | 10,4 | 10,38  | 0,18                | 1,72                    |
| 4,45   | 46,5                 | 46,9 | 46,3 | 47,5 | 46,1 | 46,66  | 0,55                | 1,19                    |

Tab. 43: Alambeta přítlak 250 Pa

| h [mm] | r [ $W^{-1}mK.m^2$ ] |      |      |      |      | Průměr | Směrodatná odchylna | Variační koeficient [%] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|--------|---------------------|-------------------------|
|        | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    |        |                     |                         |
| 0,89   | 18,6                 | 19,1 | 19   | 17,8 | 17,3 | 18,36  | 0,78                | 4,26                    |
| 4,45   | 63,7                 | 60,7 | 61,5 | 63,1 | 63,8 | 62,56  | 1,39                | 2,22                    |



Obr. 26: Graf měření na lidské pokožce DENIM

Při měření na lidské pokožce, byly výsledky z přístroje Termoskop při přítlaku 1018 Pa totožné s výsledky tepelného odporu na zařízení Alambeta při nižším přítlaku a to 250 Pa. Při měření na přístroji Alambeta totiž klesá měřící hlavice přístroje na tvrdou rovnou základnu, u Termoskopu to je ale jiné, zde přikládáme měřící sondu na měkkou nerovnoměrnou „základnu“, neboli pokožku. To znamená, že u zařízení Alambeta nám menší přítlak (250 Pa) postačí na to, aby hlavice přístroje rovnoměrně stlačila měřenou textilii. U pokožky musí být tato síla ale větší, aby došlo měřící sondou k rovnoměrnému pokrytí měřené textilie. To nám vysvětluje zjištění, proč jsou naměřené hodnoty tepelného odporu u Termoskopu při přítlaku 1018 Pa stejné jako na zařízení Alambeta při přítlaku 250 Pa.

Dále zde musela být hodnota přídavného kontaktního odporu sondy změněna z nuly, která byla nastavena pro měření této tkaniny na hliníkové podložce, na hodnotu 0,02 [ $\text{W}^{-1}\text{mK.m}^2$ ]. Při měření na pokožce při původním kontaktním odporu, nám výsledné hodnoty vykazovaly příliš vysoký tepelný odpor měřené textilie. Může to být dáno, tím, že lidské tělo neustále pracuje. A proto zde potřebujeme přidat kontaktní odporu měřící sondy.

## ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla zkoumána nová metoda měření tepelného odporu zejména vláknenných izolačních vrstev a její výhody oproti známým metodám.

Zjišťování tepelného odporu izolačních vrstev novou metodou bude nejpřesnější za předpokladu, že plocha mezi povrchem vrstvy a její vnitřní plochou, která je v kontaktu s plošným tělesem bude s podstatně vyšší tepelnou jímavostí.

V průběhu práce bylo zjištěno, že při měření bude vždy vhodné dané situaci přizpůsobit nastavení kompenzace tzv. kontaktního odporu v konstrukci zařízení, což znamená zvolit vhodný přídavný kontaktní odpor, podle toho, zda budeme měřit tlustší izolační vrstvy jako PU, PE nebo lehčí textilie kam řadíme tkaniny, pleteniny aj. Pokud tedy bude cílem měření stanovit tepelný odpor izolací, které obklopují např. různé sušící pece, tepelný odpor karimatky či spacího pytle, kde izolační vrstva bude ze silnějšího materiálu, nastavíme v zařízení *HFS resistance* neboli přídavný tepelný odpor sondy na hodnotu  $2.000 \rightarrow 0,02 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ . Pokud, ale bude cílem měření zjistit tepelný odpor např. svrchního oděvu, který je z tenčí tkaniny, nastavíme *HFS resistance* na hodnotu  $0.000 \rightarrow 0 \text{ [W}^{-1}\text{mK.m}^2\text{]}$ , tyto uvedené hodnoty kompenzace kontaktního odporu vyšly při výzkumu jako nejvhodnější pro dané materiály. Nastavení této hodnoty je záležitostí několika sekund. Celé měření tepelného odporu pak trvá v průměru 4-7 minut, dle tloušťky měřené izolační vrstvy.

Nové zařízení Termoskop dále odstraňuje nevýhody dosavadních metod měření tepelného odporu, kde současná zařízení vyžadují vložení vzorku plošné izolace o definovaných rozměrech a známé tloušťce mezi dvě desky o známých odlišných teplotách. Tento způsob je náročný na přípravu vzorků, na zjištění jeho tloušťky a na zjištění teplotního rozdílu mezi deskami. Při zjišťování těchto parametrů musí být mnohdy přerušen provoz zařízení, resp. měřená textilie musela být volná nebo nesměla být nošená. Tyto nevýhody při měření pomocí nové metody odpadnou, nebudeme již muset znát tloušťku měřené izolační vrstvy ani teplotu její odvrácené plochy, která je při měření často nepřístupná. Možné zde bude i měření tepelného odporu textilie přímo na člověku.



Závěrem můžeme říct, že nová metoda stanovení tepelného odporu může být uplatněna při zjišťování tepelného odporu izolací, v oblasti průmyslových tepelných zařízení, jako jsou různé pece, parovody, teplovody apod., kde je nepřístupný povrch tepelné izolace udržován na stejné teplotě, a kde volný povrch izolace není opatřen tepelně vodivým krytem. Další využití je v oblasti textilního průmyslu pro stanovení tepelného odporu poskytující tepelnou izolaci lidem ve formě zimních bund, jednotlivých částí svrchního oděvu, spacích pytlů, karimatek apod.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HES, L. a SLUKA, P. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: TUL, 2005. ISBN 80-7083-926-0
- [2] ČUKANOVÁ I. Porovnání tepelně izolačních vlastností výplňkových materiálů pro zimní sportovní oděvy. 2010. Bakalářská práce. TUL
- [3] ŠPIČÁK P. Polyuretany využívané v technologii tváření. 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [4] MILITKÝ J. Přednášky: textilní vlákna, speciální vlákna. Vyd. 2. Liberec: TUL, 2007. ISBN 978-80-7372-169-5
- [5] STANĚK J. Textilní zbožíznalství. Vyd. 2. Liberec: TUL, 2006. ISBN 80-7372-147-3
- [6] MILITKÝ J. Textilní vlákna klasická a speciální. Liberec: TUL, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1
- [7] Katalog stavebních materiálů. Dostupné na internetu: [http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068\\_katalog.html](http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma odstředivých nervových drah řídících termoregulační děje člověka

Obr. 2: Rozptyl záření po dopadu na objekt

Obr. 3: Togmetr

Obr. 4: Pohled z boku na vzorek PU 1

Obr. 5: Pohled z boku na vzorek PU 2

Obr. 6: Pohled z boku na vzorek PU 3

Obr. 7: Vzorek PE 1

Obr. 8: Vzorek PE 2

Obr. 9: Vzorek PE 3

Obr. 10: Vzorek DENIM

Obr. 11: Vzorek PL

Obr. 12: Schéma přístroje Alambeta

Obr. 13: Schéma přístroje Termoskop

Obr. 14: Zařízení Termoskop

Obr. 15: Hlavní panel zařízení Termoskop

Obr. 16: Graf vliv přitlaku na tepelný odpor PE

Obr. 17: Graf vliv přitlaku na tepelný odpor PU

Obr. 18: Graf vliv parametru textilie na tepelný odpor PE

Obr. 19: Graf vliv parametrů textilie na tepelný odpor PU

Obr. 20: Graf vliv materiálu měřící základny na tepelný odpor PE 1

Obr. 21: Graf vliv materiálu měřící základny na tepelný odpor PE 3

Obr. 22: Graf vliv materiálu měřící základny na tepelný odpor PU 1

Obr. 23: Graf vliv materiálu měřící základny na tepelný odpor PU 3

Obr. 24: Graf změny kontaktního odporu na vzorku DENIM

Obr. 25: Graf změny kontaktního odporu na vzorku PL

Obr. 26: Graf měření na lidské pokožce DENIM

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Popis použitých vzorků z polyuretanu

Tab. 2: Popis použitých vzorků z polyetylenu

Tab. 3: Popis použitého vzorku z polyesteru

Tab. 4: Popis použitého vzorku z bavlny

Tab. 5: PE 1 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 6: PE 2 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 7: PE 3 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 8: PU 1 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 9: PU 2 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 10: PU 3 ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 11: DENIM ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 12: PL ALAMBETA přítlak 1000 Pa

Tab. 13: Porovnání hodnot Termoskop/Alambeta

Tab. 14: PE 1 TERMOSKOP

Tab. 15: PE 1 ALAMBETA

Tab. 16: PE 2 TERMOSKOP

Tab. 17: PE 2 ALAMBETA

Tab. 18: PE 3 TERMOSKOP

Tab. 19: PE 3 ALAMBETA

Tab. 20: PU 1 TERMOSKOP

- Tab. 21: PU 1 ALAMBETA
- Tab. 22: PU 2 TERMOSKOP
- Tab. 23: PU 2 ALAMBETA
- Tab. 24: PU 3 TERMOSKOP
- Tab. 25: PU 3 ALAMBETA
- Tab. 26: Polyetylen TERMOSKOP
- Tab. 27: Polyetylen ALAMBETA
- Tab. 28: Polyuretan TERMOSKOP
- Tab. 29: Polyuretan ALAMBETA
- Tab. 30: Fyzikální vlastnosti podložek
- Tab. 31: PE 1 (h= 5,93 mm) TERMOSKOP
- Tab. 32: PE 3 (h= 2,19 mm) TERMOSKOP
- Tab. 33: PU 1 (h= 30 mm) TERMOSKOP
- Tab. 34: PU 3 (h=10,2 mm) TERMOSKOP
- Tab. 35: DENIM Termoskop HFS resistance 0,02 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]
- Tab. 36: DENIM Termoskop HFS resistance 0 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]
- Tab. 37: DENIM Alambeta přítlak 1000 Pa
- Tab. 38: PL Termoskop HFS resistance 0,02 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]
- Tab. 39: PL Termoskop HFS resistance 0 [ $W^{-1}mK.m^2$ ]
- Tab. 40: PL Alambeta Přítlak 1000 Pa
- Tab. 41: Termoskop přítlak 1018 Pa
- Tab. 42: Alambeta přítlak 1000 Pa
- Tab. 43: Alambeta přítlak 250 Pa

## **SEZNAM ROVNIC**

- (1) Tepelný odpor
- (2) Celkový tepelný odpor
- (3) Reynoldsovo číslo
- (4) Tepelný tok přenášený prouděním
- (5) Vnější tepelný odpor
- (6) Frekvence záření
- (7) Energetická balance
- (8) Tepelný odpor
- (9) Tepelný tok
- (10) Teplotní vodivost
- (11) Měrná tepelná kapacita
- (12) Tepelná jímavost

## **SEZNAM PŘÍLOH**

### **Příloha č. 1**

Tabulky hodnot tepelné vodivosti, tepelné jímavosti, tepelného odporu a tloušťky naměřených přístrojem Alambeta při 250 Pa.

## Příloha č. 1

Tabulky hodnot tepelné vodivosti, tepelné jímavosti, tepelného odporu a tloušťky naměřených přístrojem Alambeta při 250 Pa.

## PE 1

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|--------------------|
| 1                       | 39,30                      | 0,04                                     | 59,20   | 150,00             | 0,15   | 5,88               |
| 2                       | 39,70                      | 0,04                                     | 60,00   | 149,00             | 0,15   | 5,93               |
| 3                       | 40,50                      | 0,04                                     | 55,30   | 147,00             | 0,15   | 5,94               |
| 4                       | 39,00                      | 0,04                                     | 56,10   | 154,00             | 0,15   | 6,00               |
| 5                       | 40,40                      | 0,04                                     | 58,30   | 146,00             | 0,15   | 5,92               |
| Průměr                  | 39,80                      | 0,04                                     | 57,80   | 149,20             | 0,15   | 5,93               |
| Směrodatná odchylka     | 0,66                       | 0,0006                                   | 2,01  | 3,11               | 0,003  | 0,04               |
| Variační koeficient [%] | 1,66                       | 1,51                                     | 3,48  | 2,09               | 2,01   | 0,73               |

## PE 2

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu [mm] |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------|
| 1                       | 39,700                     | 0,040                                    | 70,100  | 55,300             | 0,055  | 2,190                   |
| 2                       | 39,500                     | 0,040                                    | 72,500  | 54,900             | 0,055  | 2,170                   |
| 3                       | 39,700                     | 0,040                                    | 65,200  | 55,600             | 0,056  | 2,210                   |
| 4                       | 39,200                     | 0,039                                    | 70,700  | 55,700             | 0,056  | 2,180                   |
| 5                       | 39,700                     | 0,040                                    | 67,100  | 55,300             | 0,055  | 2,190                   |
| Průměr                  | 39,560                     | 0,040                                    | 69,120  | 55,360             | 0,055  | 2,188                   |
| Směrodatná odchylka     | 0,219                      | 0,0002                                   | 2,930   | 0,313              | 0,0003   | 0,015                   |
| Variační koeficient [%] | 0,554                      | 0,506                                    | 4,238   | 0,565              | 0,542  | 0,678                   |

## PE 3

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|--------------------|
| 1                       | 40,00                      | 0,04                                     | 58,80   | 104,00             | 0,10   | 4,16               |
| 2                       | 39,20                      | 0,04                                     | 56,10   | 106,00             | 0,11   | 4,17               |
| 3                       | 39,60                      | 0,04                                     | 51,60   | 106,00             | 0,11   | 4,20               |
| 4                       | 40,10                      | 0,04                                     | 55,90   | 104,00             | 0,10   | 4,16               |
| 5                       | 39,40                      | 0,39                                     | 55,00   | 106,00             | 0,11   | 4,17               |
| Průměr                  | 39,66                      | 0,11                                     | 55,48   | 105,20             | 0,11   | 4,17               |
| Směrodatná odchylka     | 0,38                       | 0,16                                     | 2,59  | 1,10               | 0,001  | 0,02               |
| Variační koeficient [%] | 0,97                       | 143,28                                   | 4,67  | 1,04               | 0,95   | 0,39               |

## PU 1

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|
| 1                       | 72,000                     | 0,072                                    | 29,100  | 464,000            | 0,464  |
| 2                       | 68,100                     | 0,098                                    | 30,500  | 476,000            | 0,476  |
| 3                       | 70,100                     | 0,070                                    | 31,700  | 474,000            | 0,474  |
| 4                       | 70,000                     | 0,070                                    | 33,200  | 462,000            | 0,462  |
| 5                       | 69,300                     | 0,069                                    | 37,000  | 476,000            | 0,476  |
| Průměr                  | 69,900                     | 0,076                                    | 32,300  | 470,400            | 0,470  |
| Směrodatná odchylka     | 1,420                      | 0,012                                    | 3,031   | 6,841              | 0,007  |
| Variační koeficient [%] | 2,031                      | 16,404                                   | 9,383   | 1,454              | 1,454  |



## PU 2

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu [mm] |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------|
| 1                       | 54,600                     | 0,055                                    | 49,500  | 359,000            | 0,359  | 19,600                  |
| 2                       | 57,700                     | 0,058                                    | 48,400  | 337,000            | 0,337  | 19,400                  |
| 3                       | 55,500                     | 0,056                                    | 45,600  | 356,000            | 0,356  | 19,800                  |
| 4                       | 55,800                     | 0,056                                    | 46,600  | 348,000            | 0,348  | 19,400                  |
| 5                       | 58,200                     | 0,058                                    | 48,000  | 347,000            | 0,334  | 19,400                  |
| Průměr                  | 56,360                     | 0,056                                    | 47,620  | 349,400            | 0,347  | 19,520                  |
| Směrodatná odchylka     | 1,527                      | 0,002                                    | 1,534   | 8,620              | 0,011  | 0,179                   |
| Variační koeficient [%] | 2,710                      | 2,710                                    | 3,221   | 2,467              | 3,207  | 0,916                   |

## PU 3

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu [mm] |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------|
| 1                       | 50,200                     | 0,050                                    | 52,700  | 201,000            | 0,201  | 10,100                  |
| 2                       | 51,400                     | 0,051                                    | 48,600  | 204,000            | 0,204  | 10,500                  |
| 3                       | 50,200                     | 0,050                                    | 51,300  | 205,000            | 0,205  | 10,300                  |
| 4                       | 50,700                     | 0,051                                    | 51,500  | 201,000            | 0,201  | 10,200                  |
| 5                       | 50,300                     | 0,050                                    | 48,200  | 202,000            | 0,202  | 10,100                  |
| Průměr                  | 50,560                     | 0,051                                    | 50,460  | 202,600            | 0,203  | 10,240                  |
| Směrodatná odchylka     | 0,513                      | 0,001                                    | 1,960   | 1,817              | 0,002  | 0,167                   |
| Variační koeficient [%] | 1,014                      | 1,014                                    | 3,885   | 0,897              | 0,897  | 1,634                   |

## PL

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu [mm] |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------|
| 1                       | 40,600                     | 0,041                                    | 67,000  | 90,100             | 0,090  | 3,760                   |
| 2                       | 40,900                     | 0,041                                    | 69,200  | 86,000             | 0,086  | 3,690                   |
| 3                       | 40,400                     | 0,040                                    | 69,600  | 84,000             | 0,084  | 3,680                   |
| 4                       | 40,800                     | 0,041                                    | 64,300  | 83,400             | 0,083  | 4,000                   |
| 5                       | 40,300                     | 0,040                                    | 68,200  | 87,200             | 0,087  | 3,690                   |
| Průměr                  | 40,600                     | 0,041                                    | 67,660  | 86,140             | 0,086  | 3,764                   |
| Směrodatná odchylka     | 0,255                      | 0,0003                                   | 2,130   | 2,688              | 0,003  | 0,136                   |
| Variační koeficient [%] | 0,628                      | 0,739                                    | 3,148   | 3,121              | 3,121  | 3,607                   |

## DENIM

| Měření                  | Naměřená hodnota $\lambda$ | Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K] | Tepelná jímavost b [W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K] | Naměřená hodnota r | Plošný odpor vedení tepla r [m <sup>2</sup> K/W] | Tloušťka materiálu [mm] |
|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------|
| 1                       | 47,800                     | 0,048                                    | 189,000   | 18,600             | 0,019  | 0,890                   |
| 2                       | 48,400                     | 0,048                                    | 179,000   | 19,100             | 0,019  | 0,920                   |
| 3                       | 47,700                     | 0,048                                    | 186,000   | 19,000             | 0,019  | 0,910                   |
| 4                       | 49,200                     | 0,049                                    | 193,000   | 17,800             | 0,018  | 0,870                   |
| 5                       | 50,200                     | 0,050                                    | 195,000   | 17,300             | 0,017  | 0,870                   |
| Průměr                  | 48,660                     | 0,049                                    | 188,400   | 18,360             | 0,018  | 0,892                   |
| Směrodatná odchylka     | 1,048                      | 0,001                                    | 6,309   | 0,783              | 0,001  | 0,023                   |
| Variační koeficient [%] | 2,153                      | 2,153                                    | 3,349   | 4,264              | 4,264  | 2,556                   |