

DIPLOMOVÁ PRÁCA

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra odevnictva
Odevná technológia

Obor 3106T005

Diplomová práca

Štúdia zisťovania tepelno-izolačných vlastností textílií

Study of detecting thermo-isolating properties of textiles

KOD-651

Riešiteľ DP: Stanislava Martášková

Vedúci DP: Ing. Dagmar Růžičková

Konzultant DP: Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Práca obsahuje:

Počet strán: 66

Počet obrázkov: 24

Počet tabuliek: 10

Počet príloh: 6

6.1.2006 v Liberci

Zadanie

Žiadost'

Abstrakt

Téma: Štúdia zisťovania tepelno-izolačných vlastností textílií

Diplomová práca sa zaoberá metódami a prístrojmi na zisťovanie tepelno-izolačných vlastností textílií a ich presnosťou a správnosťou merania. Na tento účel boli vybrané vlnárske materiály rôznych hrúbok a materiálového zloženia a referenčná vzorka. Meranie bolo prevedené na prístrojoch: ALAMBETA, TOGMETER, PSM-2 a STATICKÁ METÓDA v rámci FT.

Na základe výsledkov merania boli vyhodnotené tepelno-izolačné vlastnosti skúšaných materiálov a presnosť merania jednotlivých prístrojov. Správnosť prístrojov bola vyhodnotená pomocou referenčnej vzorky.

V závere práce je doporučené použitia skúšaných prístrojov vzhľadom na materiály rôznych vlastností.

Kľúčové slová:

Tepelno-izolačné vlastnosti

Vedenie

Prúdenie

Sálanie

Tepelný odpor

Tepelná vodivosť

Správnosť prístrojov

Presnosť prístrojov

Abstract

Theme: Study of detecting thermo-isolating properties of textiles

Diploma thesis is dealing with the methods and machines for detecting of thermo-isolating properties of textiles and the measurement's accuracy and propriety. The wool materials of different thicknesses and material's composites plus one referent sample were selected for this purpose. The measurement was practiced on the machines: ALAMBETA, TOGMETER, PSM-2 and STATICKÁ METODA placed on the Faculty of Textiles, TUL.

Based on the measurement results thermo-isolating properties of the tested materials and the accuracy of the measurement of single machine had been evaluated. The accuracy of the machines was evaluated regarding the referent sample in comparision with foreign standard.

The final part of the thesis contains recommendation of testing machines according to the property's difference of the tested materials.

Key words:

Thermo-isolating properties

Wire

Flowing

Emitting

Thermal resistance

Termal conductivity

Machines accuracy

Machines propriety

Prehlásenie o pôvodnosti práce

„Miestoprísažne prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.“

Stanislava Martášková

V Liberci dne 6.1.2006

.....

Prehlásenie

Bola som zoznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000Sb. o práve autorskom, predovšetkým § 60 – školské dielo.

Beriem na vedomie, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mojich autorských práv použitím mojej diplomovej práce pre vnútornú potrebu TUL.

Pokiaľ použijem diplomovú prácu alebo poskytnem licenciu k jej využitiu, som si vedomá povinnosti informovať o tejto skutočnosti TUL; v tomto prípade má TUL právo odo mňa požadovať úhradu nákladov, ktoré vynaložila na vytvorenie diela, až do jej skutočnej výšky.

Diplomovú prácu som vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry a na základe konzultácií s vedúcim diplomovej práce a konzultantom.

Stanislava Martášková

V Liberci dne 6.1.2006

.....

Pod'akovanie

Touto cestou by som rada pod'akovala vedúcej diplomovej práce Ing. Dagmar Růžičkovej za odborné vedenie, podnetné rady, pripomienky a pomoc pri vypracovaní tejto práce. Ďalej ďakujem rodičom a všetkým, ktorý mi pomáhali a podporovali ma počas celého štúdia.

Obsah

ZOZNAM SKRATIEK	11
ÚVOD.....	12
1. ZDIEĽANIE TEPLA TEXTÍLIAMI.....	13
1.1 ZDIEĽANIE TEPLA VEDENÍM (KONDUKCIU)	13
1.2 ZDIEĽANIE TEPLA PRÚDENÍM (KONVEKCIU).....	14
1.3 ZDIEĽANIE TEPLA SÁLANÍM (RADIÁCIU)	15
1.4 ZDIEĽANIE TEPLA ODPAROVANÍM (EVAPORÁCIU).....	15
1.5 ZDIEĽANIE TEPLA DÝCHANÍM (RESPIRÁCIU).....	16
2. TEPELNO-IZOLAČNÉ VLASTNOSTI.....	17
2.1 TEPELNO-IZOLAČNÉ VLASTNOSTI TEXTILNÝCH MATERIÁLOV	17
2.1.1 Tepelná vodivosť.....	17
2.1.2 Plošný tepelný odpor	18
2.1.3 Teplotná vodivosť.....	18
2.1.4 Tepelná jímavosť.....	19
2.2 FAKTORY MAJÚCE VPLYV NA TEPELNO-IZOLAČNÉ VLASTNOSTI.....	19
2.2.1 Vplyv jemnosti vlákien	19
2.2.2 Vplyv zaplnenia.....	20
2.2.3 Vplyv hrúbky	20
2.2.4 Vplyv stlačenia textílie	20
2.2.5 Vplyv priedušnosti.....	20
2.2.6 Vplyv vlhkosti	21
2.2.7 Vplyv hydrokopických vlákien.....	21
3. METÓDY A PRÍSTROJE NA ZISŤOVANIE TEPELNO-IZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ.....	22
3.1 STANOVENIE TEPELNEJ VODIVOSTI BOCKOVOU METÓDOU	22
3.2 PRÍSTROJ SDL M 259 TOGMETER	23
3.2.1 Metóda merania s dvomi doskami	24
3.2.2 Metóda merania s jednou doskou	24
3.3 STANOVENIE TEPELNEJ VODIVOSTI PRÍSTROJOM TEPELNÉHO TOKU DIN 52616 ..	27

3.4	PRÍSTROJ PSM-2.....	29
3.5	PRÍSTROJ ALAMBETA.....	30
3.6	PRÍSTROJ TP2	33
3.7	STATICKÁ METÓDA.....	35
3.8	METÓDA MERANIA RADIAČNÉHO TEPELNÉHO TOKU	37
3.9	VETERNÝ TUNEL	40
4.	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	41
4.1	VYBRANÉ PRÍSTROJE NA ZISŤOVANIE TEPELNO-IZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ TEXTÍLIÍ.....	42
4.1.1	<i>Meranie na prístroji ALAMBETA.....</i>	42
4.1.2	<i>Meranie na prístroji SDL M 259 TOGMETER</i>	43
4.1.2.1	Hrúbkomer SDL M034A.....	43
4.1.3	<i>Meranie na prístroji PSM-2.....</i>	44
4.1.4	<i>Meranie na prístroji STATICKÁ METÓDA.....</i>	44
4.2	CHYBY INŠTRUMENTÁLNYCH MERANÍ	45
4.2.1	<i>Klasifikácia chýb merania</i>	45
4.3	PRESNOSŤ PRÍSTROJA.....	47
4.4	SPRÁVNOSŤ PRÍSTROJA	48
5.	VYHODNOTENIE EXPERIMENTU	49
5.1	VYHODNOTENIE TEPELNO-IZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ.....	49
5.2	VYHODNOTENIE PRESNOSTI PRÍSTROJA.....	55
5.3	VYHODNOTENIE SPRÁVNOSTI PRÍSTROJA	59
5.4	DOPORUČENIE SKÚŠOBNÝCH PRÍSTROJOV	60
6.	ZÁVER	61
7.	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	64
8.	ZOZNAM OBRÁZKOV, TABULIEK A PRÍLOH	65

Zoznam skratiek

$\bar{x}$	aritmetický priemer
ba	bavlna
č	číslo
ČSN	Česká štátna norma
ČSN EN	Česká štátna norma - European Norm (prevzatá európska norma do sústavy českých technických noriem)
FT	Fakulta textilná
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci (International Organization for Standardization)
KOD	Katedra odevnictva
PAN	polyakrylonitril
PES	polyester
s	smerodajná odchýlka
SM	Statická metoda
vl	vlna

Úvod

Už od prvopočiatku ľudského života boli textilie príjemnou súčasťou kultúry. Najskôr prevládala funkcia iba užitná, tu určovali predovšetkým klimatické podmienky, ktoré sa stali východiskom pre rozvoj nových materiálov. V chladných oblastiach sveta bola pre výrobu odevu spracovaná vlna, v Egypte sa odev vyrábal z ľanu a v Číne príjemný odev z hodvábu. Z toho vyplýva, že už vtedy dbali na odevný komfort, ktorý vzniká nosením správneho druhu odevu.

Hlavným zmyslom odievania je nájsť súlad medzi človekom a noseným odevom, tzv. problém tepelnej pohody človeka pri jeho pohybe v prostredí je nutné riešiť podľa zásad fyziológie človeka, hygieny a podľa platných noriem.

Je teda nutné skúmať vlastnosti textilných materiálov. Hodnotenie môže prebiehať subjektívnym, alebo objektívnym spôsobom.

Subjektívny spôsob hodnotenia textílie je popísanie prejavov pri používaní konkrétneho textilného materiálu subjektívnymi pocitmi. Výhoda tohto hodnotenia je, že je textília v kontakte s človekom. Nevýhodou sú odlišné fyzické a duševné dispozície každého človeka, prostredie v ktorom žije a hodnoty, ktoré uprednostňuje.

Meranie patrí medzi základné, objektívne spôsoby získavania informácií o stave meranej veličiny. Meranie je prevádzané rôznymi metódami na rôznych prístrojoch. Podstatou je experiment, ktorý prebieha v definovaných a reprodukovateľných podmienkach, zameraný na získanie veličiny, ktorá vypovedá o vlastnosti materiálu.

Cieľom diplomovej práce je pomocou merania tepelno-izolačných vlastností na meracích prístrojoch v rámci FT a vyhodnotiť presnosť a správnosť nameraných dát.

Teoretická časť sa zaoberá zdieľaním tepla textíliami, tepelno-izolačnými vlastnosťami textilných materiálov a faktormi, ktoré ovplyvňujú tieto vlastnosti. Dôležitou časťou teórie je kapitola o metódach a prístrojoch na zisťovanie tepelno-izolačných vlastností.

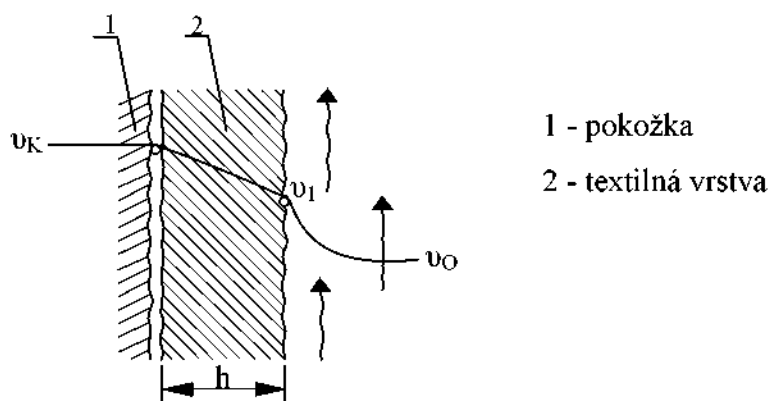
V experimentálnej časti diplomovej práce je prevedené meranie na meracích prístrojoch ALAMBETA, TOGMETER, PSM-2 a STATICKÁ METÓDA. Meranie bolo prevedené na vlnárskych materiáloch, ktoré boli vybrané z ohľadom na rôznu hrúbku a materiálové zloženie a na referenčnej vzorke.

1. Zdieľanie tepla textíliami

Zvyšková energia (nespotrebovaná na udržiavanie stálej telesnej teploty a na bazálny metabolizmus) sa prakticky úplne premení na energiu tepelnú, ktorá je odvádzaná z organizmu. Výdaj tepla do prostredia je u človeka uskutočňovaný predovšetkým povrchom tela, a to vedením (kondukciou), prúdením (konvekciou), sálaním (radiáciou), odparovaním (evaporáciou) vody z povrchu kože a slizníc a dýchaním (respiráciou). Prenos tepla (zdieľanie tepla) je proces, počas ktorého dochádza k predávaniu tepla s vyššou teplotou do miesta s teplotou nižšou. Podmienkou zdieľania tepla je teplotný spád ΔT . [1]

1.1 Zdieľanie tepla vedením (kondukciou)

Spočíva vo vyrovnávaní teplôt teplejšej látky s chladnejšou látkou (okolia) - odovzdávaním kinetickej energie. Dochádza k nemu v prípade, že odev tesne dolieha na pokožku a teplo odníma kontaktným spôsobom (obr.1). Rýchlosť zdieľania tepla závisí na teplote okolia, hrúbke vrstvy h , množstve statického vzduchu v textílii a vonkajšom pohybe vzduchu.



Obr. 1: Zdieľanie tepla vedením

Teplo sa prenáša podľa Fourierovho zákona tepelného toku:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad} \vartheta \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

Množstvo prejdeného tepla Q_V danou plochou:

$$Q_V = -\lambda \cdot \text{grad} \vartheta \cdot S \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2)$$

Kde: λmerná tepelná vodivosť $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

v_Kteplota pokožky $[^\circ\text{C}]$

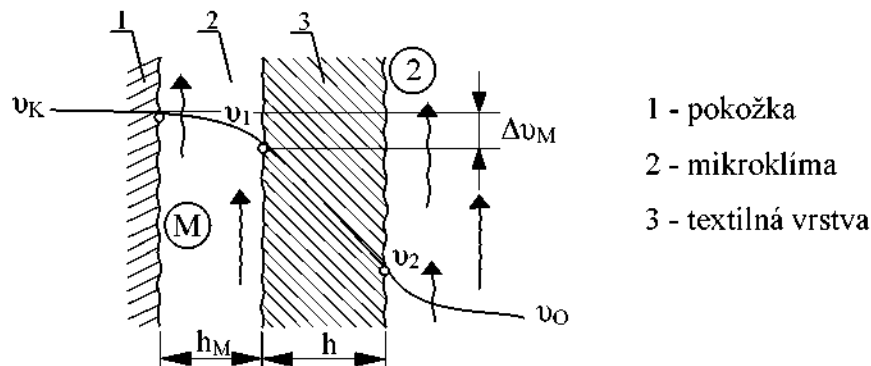
v_1teplota povrchu materiálu - vnútornej strany $[^\circ\text{C}]$

Splocha povrchu $[\text{m}^2]$

v_Oteplota okolitého vzduchu $[^\circ\text{C}]$ [2]

1.2 Zdieľanie tepla prúdením (konvekciou)

Medzi pokožkou a prvou odevnou vrstvou sa nachádza vzduchová medzivrstva (mikroklima-M), v ktorej dochádza k prúdeniu vďaka pohybu organizmu v prostredí (obr.2), transport tepla je teda závislý na prúdení vzduchu, ďalej na odhalení tela a rýchlosti vetru. Tepelné straty narastajú za vetra.



Obr. 2: Zdieľanie tepla prúdením

Hodnota odvedeného tepla týmto spôsobom je daná výrazom:

$$Q_P = \alpha_P \cdot S \cdot [(v_K - v_1) + (v_2 - v_O)] \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

Kde: α_Pkoeficient prestupu tepla $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

v_1teplota vnútornej strany textílie $[^\circ\text{C}]$

v_2teplota vonkajšej strany textílie $[^\circ\text{C}]$ [2]

1.3 Zdieľanie tepla sálaním (radiáciou)

Teplo predávané z pokožky do okolia a naopak je pokožkou prijímané prostredníctvom infračerveného žiarenia, ktoré vydávajú všetky telesá (slnečné žiarenie). Výdaj tepla týmto spôsobom je závislý na teplote a vlhkosti okolia a odhalení ľudského tela. Q_s nastáva – ak je teplota organizmu vyššia než je teplota okolia, inak dochádza k prijímaniu tepla. Vychádza zo Stefan-Boltzmannovho zákona (termodynamiky), podľa ktorého platí:

$$Q_s = \alpha_s \cdot S \cdot \left[\left(\frac{273 - \vartheta_K}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 - \vartheta_O}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

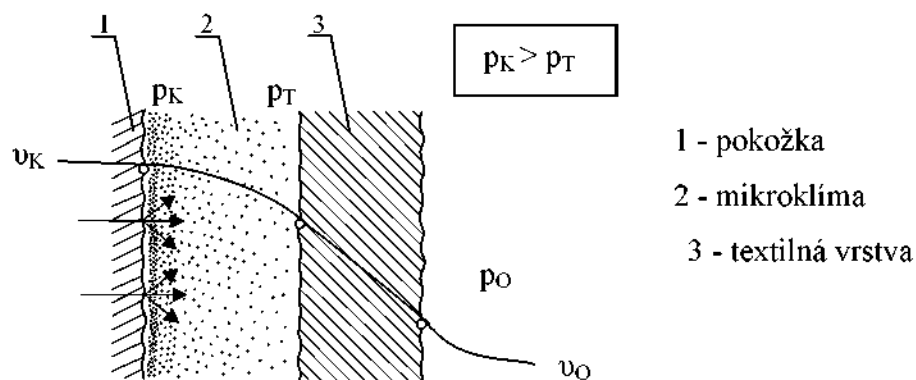
Kde: α_s koeficient sálenia [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

ϑ_Kteplota kože [$^{\circ}\text{C}$]

ϑ_Oteplota okolia [$^{\circ}\text{C}$] [2]

1.4 Zdieľanie tepla odparovaním (evaporáciou)

Tepelné straty odparovaním prevládajú v podmienkach prehriatia organizmu. Odparené teplo je také množstvo tepla, ktoré odchádza z kože neznateľným potením a je závislé predovšetkým na mernom skupenskom výparnom teple a na rozdiely parciálnych tlakov vodných pár $\Delta p = p_K - p_O$ (obr.3).



Obr. 3: Zdieľanie tepla odparovaním

$$Q_o = \Delta i \cdot m_K \cdot S \cdot (p_K - p_o) \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad p_K > p_o \quad (5)$$

Kde: Δimerné výparné skupenské teplo [J]

m_Kpermeabilita kože [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$]

p_Ktlak pary pri určitej teplote kože v medzivrstve [Pa]

p_otlak okolitého vzduchu [Pa]

Avšak pod odevom nie je rozdiel parciálnych tlakov tak veľký. Závisí na sorpčných a transportných vlastnostiach všetkých vrstiev textílií a preto tento spôsob odvodu tepla je najvyšší u neoblečeného organizmu. [2]

1.5 Zdieľanie tepla dýchaním (respiráciou)

Respiračný odvod tepla je realizovaný dýchacími cestami a jeho množstvo je dané rozdielom množstva vodných pár vdychovaných a vydychovaných.

$$Q_d = \Delta i (W_{ex} - W_a) \cdot \frac{1}{t} \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6)$$

Kde: W_{ex}množstvo vodných pár vdychovaných [kg]

W_amnožstvo vodných pár vydychovaných [kg]

tčas [s]

Δimerne výparné skupenské teplo [J] [2]

2. Tepelno-izolačné vlastnosti

2.1 Tepelno-izolačné vlastnosti textilných materiálov

Podľa normy ČSN 80 0351 je tepelno-izolačná schopnosť textílie schopnosť zabráňovať prostupu tepla. Tepelno-izolačné vlastnosti (niekedy označované ako hrejivosť) patrí medzi základné fyziologicko-hygienické vlastnosti a sú dôležitou charakteristikou materiálu z hľadiska praktického používania výrobkov, lebo jednou z funkcií odevných materiálov je chrániť ľudské telo pred tepelnými stratami.

Pri určitom zjednodušení sa za hlavný mechanizmus prenosu tepla považuje vedenie tepla a za kritérium tepelno-izolačných vlastností sa pokladá tepelná vodivosť, tepelný odpor, teplotná vodivosť a tepelná jímavosť. [3]

2.1.1 Tepelná vodivosť

Tepelná vodivosť je schopnosť materiálu viesť teplo. Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ predstavuje množstvo tepla, ktoré pretečie jednotkou dĺžky za jednotku času a vytvorí rozdiel teplôt 1K. Materiály s veľkou hodnotou tepelnej vodivosti λ sú označované ako vodiče tepla, pri nízkej tepelnej vodivosti ako tepelné izolátory. [4]

Rýchlosť odvodu tepla vrstvou je daná vzťahom:

$$\frac{Q}{\tau} = -\frac{\lambda \cdot S \cdot \Delta T}{h} \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7)$$

Kde: Qmnožstvo prevedeného tepla $[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$

λkoeficient tepelnej vodivosti $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

tčas $[\text{s}]$

ΔTrozdiel teplôt na oboch povrchoch $[\text{K}]$

hhrúbka textílie $[\text{m}]$

Pretože tepelno-izolačné textílie sú v priebehu používania stlačované, je hrúbka h vo vzťahu (7) funkciou zaťaženia. [5]

Kvalitnú tepelnú izoláciu charakterizuje nízka tepelná vodivosť, ktorá umožňuje schopnosť látky viesť teplo, a vysoký tepelný odpor, ktorý je priamo úmerný hrúbke. [5]

2.1.2 Plošný tepelný odpor

Tepelný odpor udáva, aký odpor kladie materiál pri priechode tepla, a je definovaný ako recipročná hodnota množstva tepla prejdeho za jednotku času jednotkou plochy pri jednotkovom spáde. [6]

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{h}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (8)$$

Kde: ΔTrozdiel teplôt [K]

Qmnožstvo tepla [J]

hhrúbka materiálu [m]

λkoeficient tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Tepelný odpor značne závisí na väzbe textílie, ktorá určuje hrúbku a priedušnosť výrobku. Hrúbka materiálu ovplyvňuje tepelný odpor odevu nezávisle na jeho vlákennom zložení a hustote. S rastom hrúbky odevného materiálu stúpa i jeho tepelný odpor. [6]

2.1.3 Teplotná vodivosť

Teplotná vodivosť a [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] vyjadruje schopnosť látky vyrovnávať teplotu. Čím je hodnota vyššia, tým si látka rýchlejšie vyrovná teplotu (pri stacionárnom procese).

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (9)$$

Kde: λkoeficient tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

cmerné teplo [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ρšpecifická hustota [kg.m^{-2}] [4]

2.1.4 Tepelná jímavosť

Tepelná jímavosť je veličina niekedy označená ako tepelný pulz. Charakterizuje dynamiku tepelného deja pri kontakte s okolím (napríklad ľudská pokožka). Vyjadruje pocit chladu a tepla. Platí závislosť, čím menšia je tepelná jímavosť **b** tým väčšia je hrejivosť textílie. Tepelná jímavosť závisí na zložení, štruktúre a povrchu materiálu.

$$b = \frac{\lambda}{a^{1/2}} \quad [\text{J.s}^{1/2}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}] \quad (10)$$

Kde: λkoeficient tepelnej vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]

ateplotná vodivosť [$\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$] [7]

2.2 Faktory majúce vplyv na tepelno-izolačné vlastnosti

Tepelno-izolačné vlastnosti ovplyvňuje celá rada vnútorných a vonkajších vplyvov. Medzi ne patria: parametre vlákien, technológia spracovania druhu materiálu, štruktúra textílie, zaplnenie, stlačiteľnosť, hrúbka materiálu, priedušnosť a rada ďalších faktorov.

2.2.1 Vplyv jemnosti vlákien

Najmenšiu tepelnú vodivosť λ a naopak najväčší tepelný odpor **R** majú materiály z veľmi jemných vlákien. Ich použitím získame v textílii veľký počet uzavretých pórov. Použitím hrubých vlákien, ktoré zaistia dostatočnú odolnosť voči stlačeniu, sa tepelný odpor znižuje. Je vždy potrebné zaistiť dostatočnú odolnosť voči stlačeniu. A tiež je nutné zaistiť i optimálne zloženie vlákenej zmesi (pomer jemných a hrubých vlákien), aby výrobok plnil svoje tepelno-izolačné funkcie a vyhovoval i z hľadiska vlastností podstatných pri namáhaní stlačením. [8]

2.2.2 Vplyv zaplnenia

Zaplnenie μ je bezrozmerná veličina ležiaca v intervale $<0,1>$, ktorá vyjadruje objemový podiel vlákien vo vláknennom útvare.

S klesajúcim zaplnením μ klesá tepelná vodivosť λ a rastie tepelný odpor R . [9]

2.2.3 Vplyv hrúbky

Hrúbka plošnej textílie h je hodnota, ktorá je definovaná vzdialenosťou medzi prítlačnou čeľusťou a podkladovou doskou meracieho zariadenia (hrúbkomeru). [2]

S rastom hrúbky odevného materiálu rastie i jeho tepelný odpor nezávisle na jeho vláknennom zložení a hustote. Z tohoto tvrdenia možno vyvodiť, že zväčšením hrúbky vzduchových medzivrstiev vo výrobku je možné zvýšiť jeho tepelný odpor. Účinnosť je zaručená iba v istých medziach hrúbky vzduchových medzivrstiev (≤ 5 mm). [6]

2.2.4 Vplyv stlačenia textílie

Stlačením textílie sa mení hrúbka, objemová hmotnosť, tvar, štruktúra materiálu a veľkosť medzivláknenných priestorov.

2.2.5 Vplyv priedušnosti

Rovnako dôležitým faktorom ako je hrúbka, je i priedušnosť. Je definovaná ako rýchlosť vzduchu predchádzajúceho kolmo na skúšanú vzorku pri špecifikovaných podmienkach pre skúšanú plochu, tlakový spád a dobu. Ide o prípad, keď cez plošnú textíliu prestupuje vzduch, čo sa deje na princípe rozdielnych barometrických tlakov po oboch stranách textilnej vrstvy. [10]

Zníženie priedušnosti textílie nárastom ich vlhkosti je vplyvom zaplnenia pórov vodou a nabobtnaním vlákien, ktoré bránia priechodu vzduchu materiálom. Pri zvýšení vlhkosti materiálu dochádza k zhoršeniu vetrateľnosti odevu. [6]

2.2.6 Vplyv vlhkosti

So zvyšujúcou sa vlhkosťou tepelný odpor odevných textílií klesá. Voda, ktorá je dobrým vodičom tepla, zvyšuje tepelnú vodivosť materiálu. Ak je v póroch voda, zväčšujú sa styčné plochy medzi časticami materiálu, a tým sa zväčšuje tepelná vodivosť. [6]

2.2.7 Vplyv hydrokopicných vlákien

Hydrokopičnosť je schopnosť materiálu pohlcovať vlhkosť zo vzduchu. Je závislá na hustote materiálu, hrúbke a na vlastnostiach použitých vlákien, ovplyvňuje rýchlosť nasiakavania a vysychania. Rovnomerne a pomaly pohlcujú vodu materiálov z vlny, materiály zo syntetických vlákien vodu takmer nepohlcuje. [6]

3. Metódy a prístroje na zisťovanie tepelno-izolačných vlastností

Hodnotenie tepelno-izolačných vlastností je prevádzané na základe premeriavania termofyzikálnych parametrov materiálu, ktorými sú: tepelná vodivosť, teplotná vodivosť, teplotný odpor. Princípom všetkých metód merania tepelno-izolačných vlastností je privedenie tepla k textílii, prechod tepla skúmaným materiálom a jeho obvod.

Meranie je prevádzané dvoma možnými spôsobmi:

- **v stacionárnom stave** (teplota sa v závislosti na čase nemení)
- **v nestacionárnom stave** (teplota sa v závislosti na čase mení)

Meraním v stacionárnom stave je spoľahlivejšie a výsledky sú presnejšie. Nevýhodou je dlhá doba ustálenia (u niektorých zariadení až niekoľko hodín). Všetky používané metódy vyžadujú dlhý čas, alebo sú zaťažené experimentálnou chybou. Izolačná schopnosť textílie sa dá stanoviť z tepelnej vodivosti a tepelného odporu.

Ďalšie rozdelenie je možné podľa stavu tepelného toku:

- **metóda dynamická**
- **metóda statická**

3.1 Stanovenie tepelnej vodivosti Bockovou metódou

Norma ČSN 72 7015

Táto norma platí pre stanovenie tepelnej vodivosti izolačných materiálov Bockovou metódou.

Podstata skúšky

Podstatou skúšky je zistenie tepelnej vodivosti rovinatej vzorky výpočtom z hodnôt jej hrúbky, množstva tepla prejdeného medzi jej povrchmi a rozdielu ich teplôt, a to v ustálenom stave za podmienok definovaných konštrukciou prístroja.

Skúšobné zariadenie

Skušobné zariadenie sa skladá z dvoch vodorovných dutých dosiek temperovaných vodou, alebo inou teplonosnou látkou s termostatom. Do hornej teplejšej dosky je vsadené elektricky vyhrievané teliesko doskového tvaru. Elektrický príkon telieska sa zoradí podľa predpokladanej tepelnej vodivosti a hrúbky materiálu. Jeho veľkosť, určená elektrickým počítadlom, je meradlom pre tepelný tok. Teplota teplonosnej látky prúdiacej doskami sa meria na vstupe a výstupe z dosky. Rovnaká teplota hornej dosky a výhrevného telieska sa udržiava automaticky zvláštnym regulačným systémom. Veľkosť plochy vzorky, prepočítanie teploty teplonosnej látky na teplotu povrchu vzorky a vylúčenie vplyvu teploty okolia na meraní, zahŕňajú konštanty prístroja.

Meranie a vyhodnotenie výsledkov

Pri meraní sa vzorka vloží medzi dosky meracieho prístroja, zapne sa elektrický prúd a zoradí sa teplota výhrevného telieska.

Po dosiahnutí ustáleného stavu (kedy sa najmenej tri merania opakované po tridsiatich minútach nelišia o viac než $\pm 5\%$) sa odpočítavajú hodnoty potrebné pre výpočet tepelnej vodivosti:

- stav elektrického počítadla
- teplota teplonosnej látky na vstupe aj na výstupe z hornej aj dolnej dosky
- teplota okolia podľa teplomeru zaveseného nad stredom dosky prístroja

Výsledkom je tepelná vodivosť vypočítaná z uvedených hodnôt vo $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$. [13]

3.2 Prístroj SDL M 259 TOGMETER

Norma ISO 5085 časť 1 (BS4745)

Táto časť normy špecifikuje metódu na určovanie tepelného odporu (tkanín, vrstiev materiálu, netkaných textílií, rún) prostupom tepla cez materiál v ustálenom stave.

Princíp skúšky

Pre stanovenie tepelného odporu a tepelnej vodivosti textílií je prístroj vybavený teplotnými senzormi a vyhrievané teleso je ovládané digitálnym ovládačom teploty.

Prístroj je uložený v skrini s riadením prúdenia vzduchu.

Na prístroji Togmeter sú možné dve metódy merania. Prvá z nich, metóda s dvoma doskami, sa normálne používa pre materiály, ktoré sú pri použití chránené pred okolitým vzduchom, tj. sú zakryté. Druhej metóde, s jednou doskou, sa dáva prednosť z dôvodu prednosti a reprodukovateľnosti a doporučuje sa ju používať vždy tam, kde je to možné. [12]

3.2.1 Metóda merania s dvomi doskami

U metódy merania s dvomi doskami sa klimatizovaná vzorka textílie pokladá na vyhrievanú dosku a na nej je položená studená doska pod tlakom 6,9 Pa. Potom sa zapnú vyhrievané telesá. Po dosiahnutí ustáleného stavu sa odčítavajú teploty v každom z troch termoelektrických bodov (CH1, CH2, CH3)

3.2.2 Metóda merania s jednou doskou

Pri meraní metódou s jednou je vzorka testovanej textílie opäť položený na vyhrievanú dosku, ale jej vonkajšia strana zostane nezakrytá a strany vzorky je treba oblepiť lepiacou páskou. Po dosiahnutí ustáleného stavu sa rovnako ako u metódy s dvomi doskami odpočítavajú teploty v každom z troch termoelektrických bodov. V tomto prípade je previesť skúšku bez vzorky.

Vyhodnotenie merania

Kontaktná odolnosť

Ak sú vyhrievaná a chladná doska prístroja spolu vo vzájomnom kontakte a bol dosiahnutý ustálený stav, je možné vypočítať tepelný odpor R_C z rovnice:

$$R_C = R_s \cdot \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (10)$$

Kde: R_Stepelný odpor „štandardu“ (pre Togmeter KOD...0,112 m².K/W)

T_1teplota zaznamenaná senzorom CH1 [°C]

T_2teplota zaznamenaná senzorom CH2 [°C]

T_3teplota zaznamenaná senzorom CH3 [°C] [12]

Tepelný odpor skúšanej vzorky meraný metódou s dvomi doskami

Po ustálení stavu senzorov CH1, CH2, CH3 je tepelný odpor skúšanej vzorky R_F daný rovnicou:

$$\frac{R_F + R_C}{R_S} = \frac{T'_2 - T'_3}{T'_1 - T'_2} \quad (11)$$

Kde: R_Ckontaktná odolnosť

R_Ftepelný odpor vzorky [m².K/W]

R_Stepelný odpor „štandardu“ (pre Togmeter KOD...0,112 m².K/W)

T'_1teplota zaznamenaná senzorom CH1 metódou s dvomi doskami

T'_2teplota zaznamenaná senzorom CH2 metódou s dvomi doskami

T'_3teplota zaznamenaná senzorom CH3 metódou s dvomi doskami [12]

Po dosadení získame pre R_F vzťah:

$$R_F = R_S \cdot \left(\frac{T'_2 - T'_3}{T'_1 - T'_2} - \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2} \right) \quad [\text{m}^2.\text{K/W}] \quad (12)$$

Kde: R_Stepelný odpor „štandardu“ (pre Togmeter KOD...0,112 m².K/W)

T_1teplota zaznamenaná senzorom CH1 pri skúške bez vzorky

T_2teplota zaznamenaná senzorom CH2 pri skúške bez vzorky

T_3teplota zaznamenaná senzorom CH3 teplota vzduchu pri skúške bez vzorky

T'_1teplota zaznamenaná senzorom CH1 so vzorkou

T'_2teplota zaznamenaná senzorom CH2 so vzorkou

T'_3teplota zaznamenaná senzorom CH3 so vzorkou

Tepelný odpor skúšanej vzorky metódou s jednou doskou

V tomto prípade je súčet dvoch tepelných odolností, tj. odolnosti skúšanej vzorky samotnej a odolnosti okolitého vzduchu – niekedy označované ako „odolnosť povrchu“ na exponovanej strane skúšanej vzorky (za podmienok ustáleného stavu). Pre tepelnú odolnosť R_F platí vzťah:

$$R_F = R_S \cdot \left(\frac{T_2'' - T_3''}{T_1'' - T_2''} - \frac{T_2' - T_3'}{T_1' - T_2'} \right) \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (13)$$

Kde: R_Stepelný odpor „štandardu“ (pre Togmeter KOD...0,112 $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

T_1'' teplota zaznamenaná senzorom CH1 pri skúške bez vzorky

T_2'' teplota zaznamenaná senzorom CH2 pri skúške bez vzorky

T_3'' teplota zaznamenaná senzorom CH3 teplota vzduchu pri skúške bez vzorky

T_1' teplota zaznamenaná senzorom CH1 s nezakrytou vzorkou (metóda s jednou doskou)

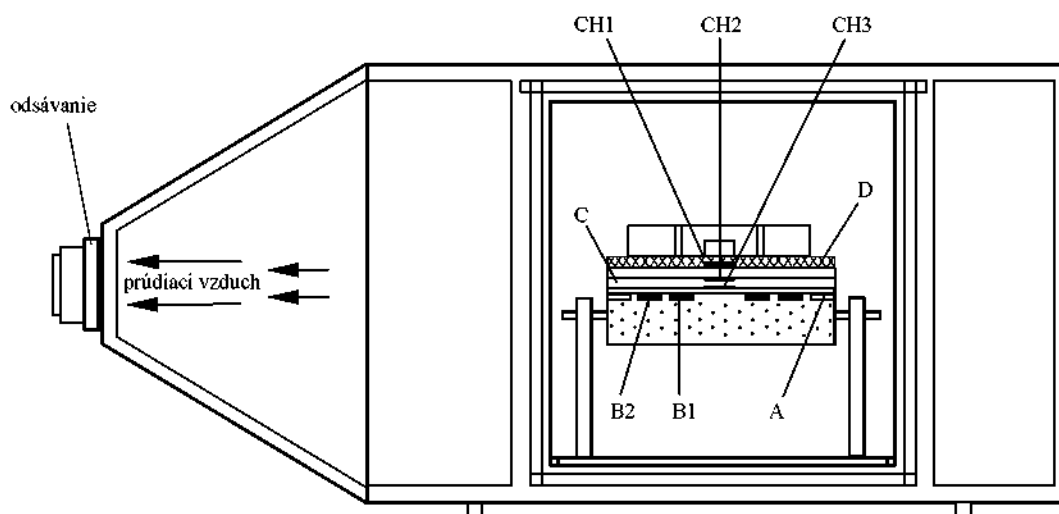
T_2' teplota zaznamenaná senzorom CH2 s nezakrytou vzorkou (metóda s jednou doskou)

T_3' teplota zaznamenaná senzorom CH3 s nezakrytou vzorkou (metóda s jednou doskou)

[12]



Obr. 4: Prístroj SDL M 259 TOGMETER



Obr. 5: Prístroj Togmeter

- A.....Tenká oceľová doska
 B1, B2.....Výhrevné kotúče
 C.....Izolačné kotúče
 D.....Studená doska
 CH1, CH2, CH3.....Teplotné senzory

[12]

3.3 Stanovenie tepelnej vodivosti prístrojom tepelného toku DIN 52616

Postup v tejto norme slúži k stanoveniu tepelnej vodivosti materiálov alebo tepelného odporu materiálov meračom tepelného toku.

[13]

Skušobný prístroj

Ako materiály pre výhrevnú a chladiacu dosku môžu byť použité kovy s veľkou tepelnou vodivosťou (napr. meď). Povrchy sú ošetrované tak, že emisné číslo je najmenej 0,8. Teplota je uskutočňovaná cez dve oddelené výhrevné okruhy. Pri vyšších teplotách sa môžu dosky elektricky vyhrievať. Merač tepelného toku je zo základného materiálu, na ňom sú oba povrchy tepelného senzoru. Šírka ochrannej zóny predstavuje najmenej 1/4 dĺžky strán merača tepelného toku.

[13]

Princíp prístroja

Určenie tepelnej vodivosti vzoriek prebieha počas merania hustoty tepelného toku pomocou merača tepelného toku a teplotnou diferenciou v stacionárnom stave tak, ako prebieha skúška hrúbky. [13]

Postup merania

Pri tomto postupe skúšky sa získava priemerná schopnosť vedenia tepla doskovitých foriem vzorky, ktoré ležia medzi dvomi odlišnými teplotami pripravených dosiek (výhrevnú dosku a chladiacou doskou). K určeniu tepelného toku jej slúži merač tepelného toku.

Povrchy dosiek musia byť rovné. Vzorky musia byť zložené z jednotlivých kusov rovnakej hrúbky, takto sú spracované. Musia do seba zapadať tak, aby tam nebola prítomnosť vzduchového medzipriestoru. Vzdialenosť dotykovej špáry, ktorá sa dostala k výhrevnej doske je priestupná, ak podiel špár plôch nepresahuje 5% (voľné vrstvenie nie je povolené).

Vzorky sú pred skúškou zmerané a zvarené. Získa sa priemerná hodnota z dostatočného počtu meraní. Vzdušný medzipriestor musí byť bezpodmienečne zamedzený. Rušenie tepelného pomeru v prístroji je zamedzené okolitými vplyvmi, napr. obalením tepelnoizolačných materiálom. Teplotný rozdiel medzi povrchmi vzoriek nie je volený menší než 10 K. [13]

Vyhodnotenie merania

Výpočet tepelnej vodivosti sa prevádza podľa vzťahu:

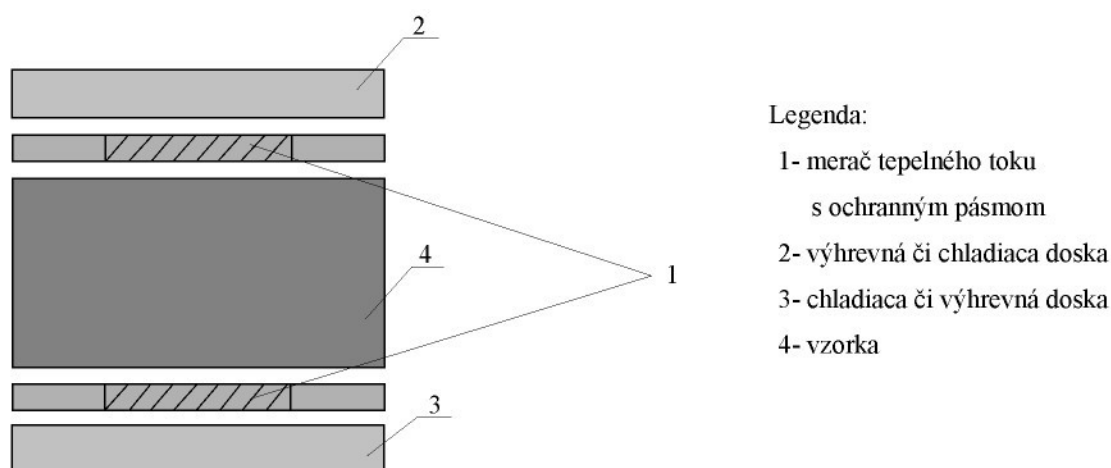
$$\lambda = \frac{q \cdot s}{t_w - t_k} \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (14)$$

$$q = \frac{q_w + q_k}{2} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (15)$$

Kde: qpriemerná hustota tepelného toku vzorky $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$

t_whustota tepelného toku medzi výhrevnou doskou a vzorkou $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$

t_k hustota tepelného toku medzi chladiacou doskou a vzorkou [W.m^{-2}]
 s priemerná hrúbka vzorky [m]
 q_w priemerná teplota povrchu vzorky na výhrevnej doske [$^{\circ}\text{C}$]
 q_k priemerná teplota povrchu vzorky na chladiacej doske [$^{\circ}\text{C}$] [13]



Obr. 6: Prístroj tepelnej vodivosti tepelného toku DIN 52616

3.4 Prístroj PSM-2

Norma ČSN EN 31095 (ISO 11092)

Prístroj PSM-2 slúži na testovanie ako tepelnej odolnosti a tak aj odolnosti voči vodným parám pre rôzne textílie za stanovených podmienok (teplota, vlhkosť) simulujúcich ľudskú pokožku. [14]

Princíp merania

Meranie sa prevádza v klimatizovanom laboratóriu a je riadené pomocou počítačového softwaru. Pri meraní je testovaná plošná textília upevnená pomocou dvoch rámečkov na meracej podložke (pre meranie odolnosti voči vodným parám je nutné ešte vložiť na meraciu dosku celofánovú membránu) a zakrytá vekom. V meracom priestore je udržiavaná presná teplota testovacej podložky 35°C . Po spustení merania prechádza vodná para podložkou a testovanou textíliou do vzduchového kanálu s kontaktným prúdením vzduchu o rýchlosti $1 [\text{m.s}^{-1}]$. Celková tepelná strata sa kompenzuje presným dodaním elektrickej energie. Riadenie meraním a monitorovaním podmienok, výpočet a uloženie výsledkov testov sa prevádza pomocou počítača. [14]

Vyhodnotenie výsledkov merania

Meranie tepelnej odolnosti i meranie odolnosti voči vodným parám trvá približne 15 minút. Meranie je vyhodnotené pomocou počítača a inštalovaného softwaru a výsledkom merania sú hodnoty:

- R_{ct} tepelná odolnosť

- R_{et} odolnosť voči vodným parám

[14]



Obr. 7: Prístroj PSM-2

3.5 Prístroj ALAMBETA

Interná norma č. 23-304-02/01

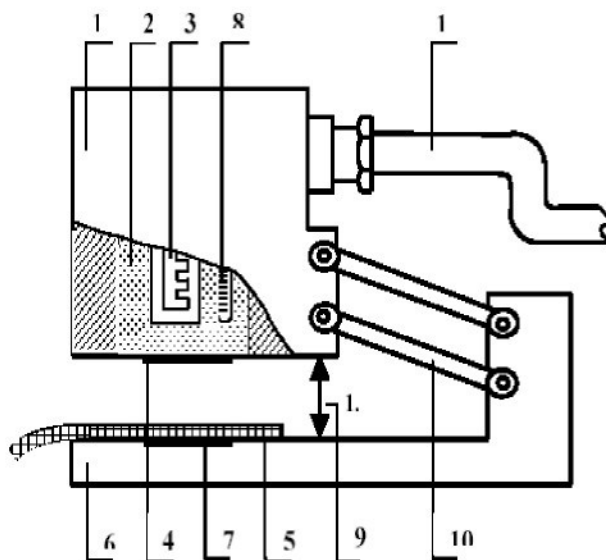
Použitie prístroja

Prístroj je určený k meraniu termofyzikálnych parametrov textílií, prípadne iných netextilných materiálov. Namerané hodnoty sú vhodné na posudzovanie tepelnoizolačných a tepelne vodivostných vlastností a teplostudenej zložky ohmatu hodnotenej látky.

Popis prístroja

Na základňu prístroja (**6** spodná časť), ktorá je vyhrievaná na teplotu okolia, sa položí meraná vzorka (**5**). Hlavica (**1**), ktorá je vyhrievaná na teplotu okolia cca. 10 °C vyššia (zvyčajne 33 °C, tj. teplota kože ľudského tela), než je teplota okolia, sa spustí a snímače tepelného toku (**4** a **7**) merajú tepelné toky medzi jednotlivými povrchmi. Súčasne je zmeraná i hrúbka **h**, ako vzdialenosť meracích hlavíc. Súčasťou základne

prístroja je termostat a teplomer, súčasťou meracej hlavice je teplomer (8), vyhrevné teleso (3), termostat (2) a tepelná izolácia. [4]



Legenda:

- 1- tepelne izolačný kryt
- 2- kovový blok
- 3- vyhrievané teleso
- 4- snímač tepelného toku
- 5- meraná vzorka
- 6- základňa prístroja
- 7- snímač tepelného toku
- 8- teplomer
- 9- vzdialenosť medzi
hlavicou a základňou
- 10- paralelné vedenie
hlavice

Obr. 8: Prístroj Alambeta

Princíp funkcie prístroja

Podstatou funkcie prístroja je matematické spracovanie časového priebehu tepelných tokov od neustáleného stavu, ktoré prechádzajú v dôsledku rozdielnych teplôt spodného (teplota okolia) a horného povrchu skúšanej textílie. Vyššia teplota vrchného povrchu textílie je navodená náhlym priložením vyhrievacej hlavice s teplotou vyššou než teplota okolie (o 10 °C, resp. 40 °C) na povrch textílie.

Vyhodnotenie výsledkov merania

Merná tepelná vodivosť (koeficient tepelnej vodivosti)

$$\lambda = \frac{-q}{\text{grad}T} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}] \quad (17)$$

Kde: λ súčiniteľ tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}$]

q hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

$\text{grad}T$gradient teploty [K]

Merná teplotná vodivosť (koeficient teplotnej vodivosti)

$$a = \frac{\lambda}{(\rho \cdot c)} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}] \quad (18)$$

Kde: a.....merná teplotná vodivosť [$\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

ρhustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$]

c.....merné teplo [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

λkoeficient tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Koeficient tepelnej aktivity (tepelná jímavosť)

$$b = \sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot c)} = \frac{\lambda}{\sqrt{a}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (19)$$

Kde: b.....koeficient tepelnej aktivity [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$]

λkoeficient tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ρhustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$]

c.....merné teplo [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

a.....teplotná vodivosť [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Plošný odpor vedenia tepla

$$r = \left(\frac{q}{\Delta t} \right)^{-1} = \frac{h}{\lambda} \quad [\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2] \quad (20)$$

Kde: r.....plošný odpor vedenia tepla [$\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$]

h.....hrúbka textílie [m]

Δtrozdiel teplôt [K]

Pomer špičkového a ustáleného tepelného toku

$$p = \frac{q_{\max}}{q} \quad [1] \quad (21)$$

Kde: qustálený tepelný tok [1]

Špičkový tepelný tok

$$q \approx q_{\max} \quad (22)$$

[4]

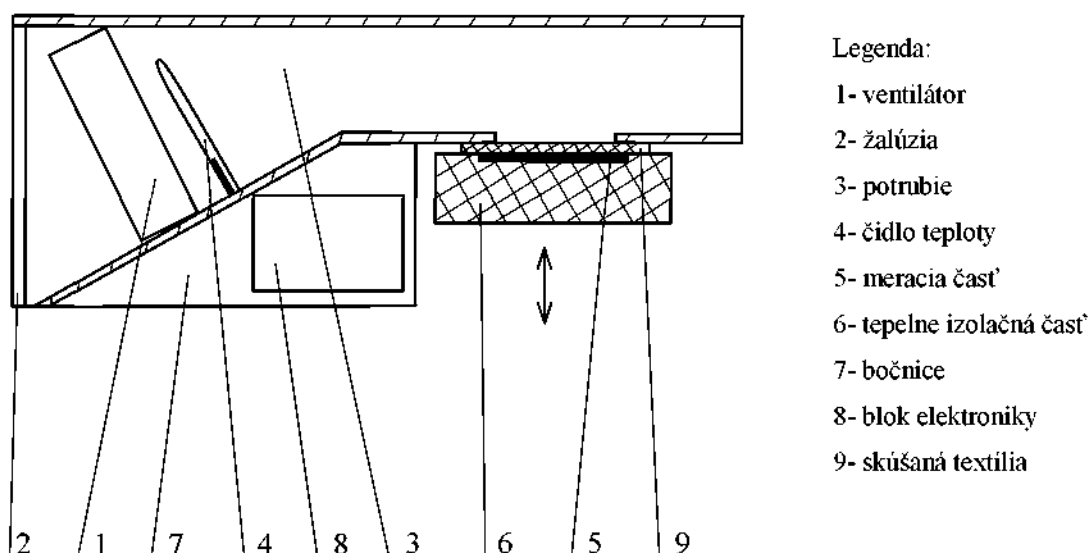
3.6 Prístroj TP2

Použitie prístroja

Prístroj slúži k meraniu tepelnej priepustnosti plošných textílií, medzi doskou predstavovanou plošným senzorom a medzi prúdiacim vzduchom. Môže byť upravený na meranie tepelnej priepustnosti medzi dvoma doskami (s kontaktom), odkiaľ možno určiť tepelnú vodivosť.

Popis prístroja

Ventilátor (1) opatrený žalúziou (2), je umiestnený v štvorhrannom zužujúcom sa potrubí (3), vybavenom senzorom teploty (4) a na spodnej strane štvorcovým otvorom. K tomuto otvoru prilieha v pracovnej polohe snímač tvorený meracou časťou (5) a tepelne izolačnou časťou (6). Nezakresleným mechanizmom možno snímač v smere šípky oddialiť od potrubia (3). Potrubie (3) tvorí spolu s bočnicami (7) kostru prístroja, nesúcu blok elektroniky (8). Meracia časť (5), ktorej plochý odporový senzor teploty, zastavajúci tiež funkciu elektrického výhrevného telesa, je elektricky spojený s blokom elektroniky (8), ku ktorému je elektricky tiež pripojený senzor teploty (4). Blok elektroniky je na čelnej strane vybavený nezakresleným číslicovým zobrazovačom. Prístroj má vmontovanú adaptačnú dosku do štvorcového otvoru potrubia. Skúšaná textília (9) sa vloží medzi meraciu časť (5) a adaptačnú dosku (12). V bloku elektroniky (8) sa vyhodnocujú signály z meracej časti (5) a senzorom teploty (4). Výsledok je zobrazený na zobrazovači priamo vo $[W.m^{-2}.K^{-1}]$. Po ustálení predstavuje údaj hodnotu tepelnej priepustnosti skúšanej plošnej textílie za podmienok kontaktu medzi dvoma doskami. [15]



Obr. 9: Prístroj TP2

Popis funkcie prístroja

Prístroj pracuje na princípe zdieľania tepla medzi dvomi doskami kontaktom pri ustálenom stave.

Platí, že tepelná priepustnosť:

$$B = \dot{Q} \cdot F^{-1} (T - T_0)^{-1} = \dot{q} \cdot (T - T_0)^{-1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (23)$$

.

Kde: $\dot{Q}$tepelný tok alebo príkon vo [W]

q hustota tepelného toku $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$

Fúčinná plocha $[\text{m}^2]$

Tteplota na jednej strane plošnej textílie [K]

T_0teplota na druhej strane plošnej textílie [K]

Zisťuje sa tu príkon (počet pulzov známej energie), potrebných za dobu merania na udržanie teploty na 35 °C v meracej doske. Na meracej doske je umiestnená skúšaná textília, ktorá sa na druhej strane dotýka adaptačnej dosky. Okrem nej prúdi bez úpravy vzduchu z okolia rýchlosťou 3 m.s⁻¹. Teplota vzduchu je zaisťovaná teplomerom a spolu s počtom pulzov a dobou merania je použitá pre výpočet tepelnej priepustnosti. [15]

Vyhodnotenie výsledkov merania

Efektívna vodivosť

$$ETV = TP \cdot h \quad [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (24)$$

Kde: TP.....tepelná priepustnosť $[\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$

h.....hrúbka vzorky [m]

Priemerná tepelná vodivosť

$$\overline{ETV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ETV_i \quad [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (25)$$

Kde: ETV.....tepelná vodivosť $[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$

n.....počet meraní

Priemerná tepelná priepustnosť

$$\overline{TP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TP_i \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}] \quad (26)$$

Kde: TP..... tepelná priepustnosť $[\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$

n.....počet meraní

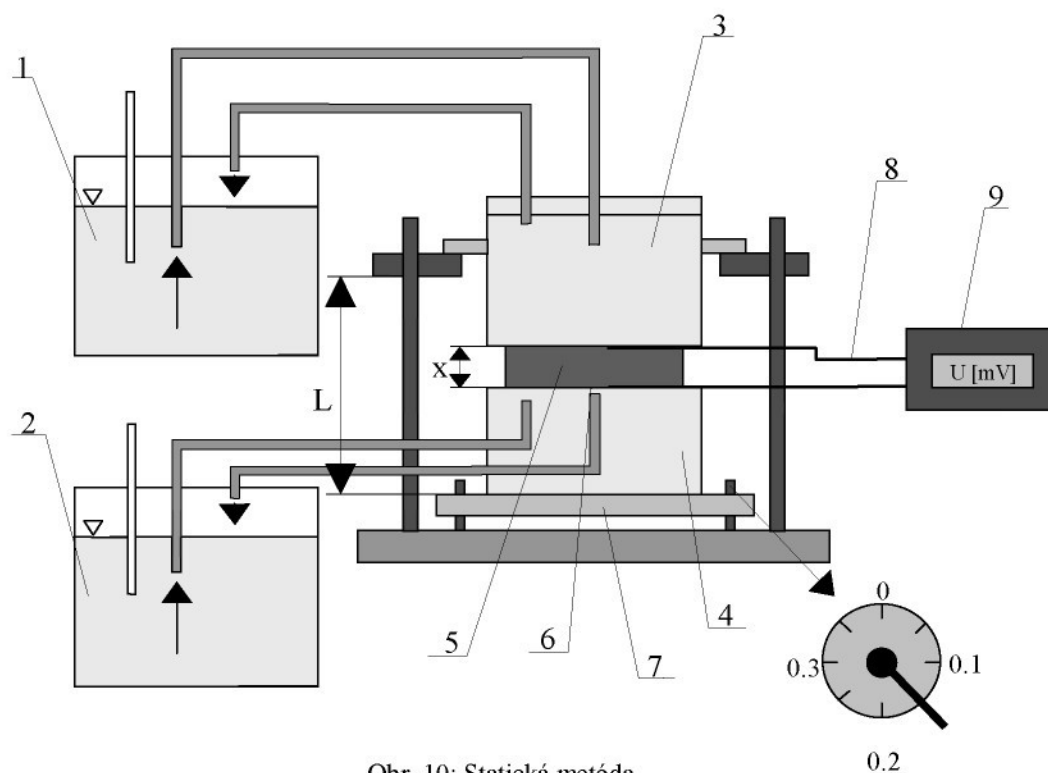
3.7 Statická metóda

Statická metóda merania tepelnej vodivosti je metóda, kde privádzané teplo prichádza meranou vzorkou pri ustálenom stave.

Princíp prístroja

Meracie zariadenie sa skladá z dvoch kovových tlakových nádob. Horná nádoba (3) je ohrievaná z termostatom (1) konštantne (rýchlosť 5 l/min) cirkulujúcou vodou. Dosiahnutá konštantná teplota dna nádoby slúži ako tepelný zdroj. Spodná tlaková nádoba (4), umiestnená na nastaviteľnej podložke (7) obsahuje tiež konštantne cirkulujúcu vodu, ktorá dosahuje izbovú teplotu a prúdi rýchlosťou 5 l/min z termostatu (2). Rozmer L je nastaviteľná vzdialenosť držiakov, závislá na hrúbke materiálu x . Merač tepelného toku (6) (senzor s rozmermi 50x50 mm) je umiestnený v prostrednej časti povrchu spodnej tlakovej nádoby. Signál generovaný senzorom je prevádzaný do zaznamníku (10), kde sa spracováva výsledkom je krivka závislosti napätia na čase.

Aby bol zistený skutočný rozdiel teplôt (ΔT) medzi horným a dolným povrchom vzorky, je jeden termočlánok umiestnený pod povrchom senzoru, nachádzajúceho sa na dne spodnej tlakovej nádoby a druhý termočlánok je umiestnený nad horným povrchom testovanej vzorky. Rozdiel teplôt je udávaný priamo v [m.V]. [16]



Obr. 10: Statická metóda

Legenda:

1- termostat hornej nádoby

2- termostat dolnej nádoby

3- horná nádoba vyhrievaná teplotou
konštantne cirkulujúcou vodou

5- vzorka

6- tenzor tepelného toku

7- podložná doska so stavajúcimi šrobami

8- diferenciálny termočlánok

4- dolná nádoba s cirkulujúcou vodou
o teplote okolia

9- meracia ústredňa

Vzťahy pre výpočet tepelnoizolačných vlastností:

Teplotná diferencia

$$\Delta T = (24,058 \cdot U_2) + 0,1128 \quad [\text{m.V}] \quad (27)$$

Kde: ΔTteplotná diferencia [m.V]

U_2merané napätie [m.V]

Tepelná vodivosť

$$\lambda_{ef} = \frac{83340,32881 \cdot U_1 \cdot x}{\Delta T} \quad [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (28)$$

Kde: λ_{ef}tepelná vodivosť [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]

U_1merané napätie [m.V]. 10^{-3}

xvzdialenosť vrstiev termočlánku ($\approx$ hrúbka vrstvy) [m]

ΔTteplotná diferencia medzi horným a spodným povrchom materiálu [m.V]

Tepelný odpor

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{x}{\lambda} \quad [\text{K.J}^{-1}] \quad (29)$$

Kde: Rtepelný odpor [K.J^{-1}]

Qteplo [J] [16]

3.8 Metóda merania radiačného tepelného toku

Starkom a Frickem bol celkový tepelný tok meraný skrze vlákna vo vákuu.

Celkový tepelný tok bol definovaný ako

$$\lambda_{ef} = \lambda_c + \lambda_r \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (30)$$

Kde: λ_{ef}celková merná (efektívna) tepelná vodivosť $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

λ_ctepelná vodivosť systému vlákno - vzduch $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

λ_rpríspevok radiačného tepelného toku $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Podstata prístroja

Táto metóda využíva infračervený termometer, ktorý meria radiačný tepelný tok vyžarovaný povrchom horúceho telesa. Radiačný tepelný tok indikovaný senzorom tenzoru je premenený na teplotu meracieho telesa podľa vzťahu:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} \quad (31)$$

Kde: T.....teplota $[\text{°C}]$

τčas $[\text{s}]$

x.....hrúbka $[\text{m}]$

αteplotná vodivosť $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ [7]

$$Q_{1,2} = \epsilon_n \cdot C_0 \cdot F_p \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \phi_{1,2} \quad (32)$$

Kde: $Q_{1,2}$tepelný tok medzi horúcim telesom a infračerveným termometrom

C_0žiarenie čierneho telesa ($5,67032 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

ϵ_nzloženie žiarenia horúceho telesa a termometru

$$\epsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (33)$$

ϵ_1, ϵ_2relatívne žiarenie horúceho telesa a termometru

F_pplocha žiarenia termometru

T_1, T_2teplota horúceho telesa a termometru

$\Phi_{1,2}$koeficient nahrádzajúci vplyv formy, rozmerov, vzdialenosť a vzájomnú pozíciu horúceho telesa a termostatu [7]

Princíp prístroja

Prenos z materiálu o teplote T je meraná nasledujúcou cestou:

1. Teplota z horúceho telesa T_1 je meraná infračerveným termometrom. Teplota termometru je T_2 .
2. Vzorka vsunutá medzi horúce teleso termometru a indikátor teploty. Vyvíjačom je zapisovaná zistená teplota. Indikovaná teplota vzrastá ak je vzorka zahriata. Radičný tepelný tok cez vzorku môže byť počítaný z teploty T_{1s} indikovanej v čase t_0 ako udáva vzťah (31).

$$T = \frac{\left(\frac{T_{1s}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{2s}}{100}\right)^4}{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (34)$$

Kde: T_{1s}indikovaná teplota s vložením vzorky v čase t_0 [$^{\circ}\text{C}$]

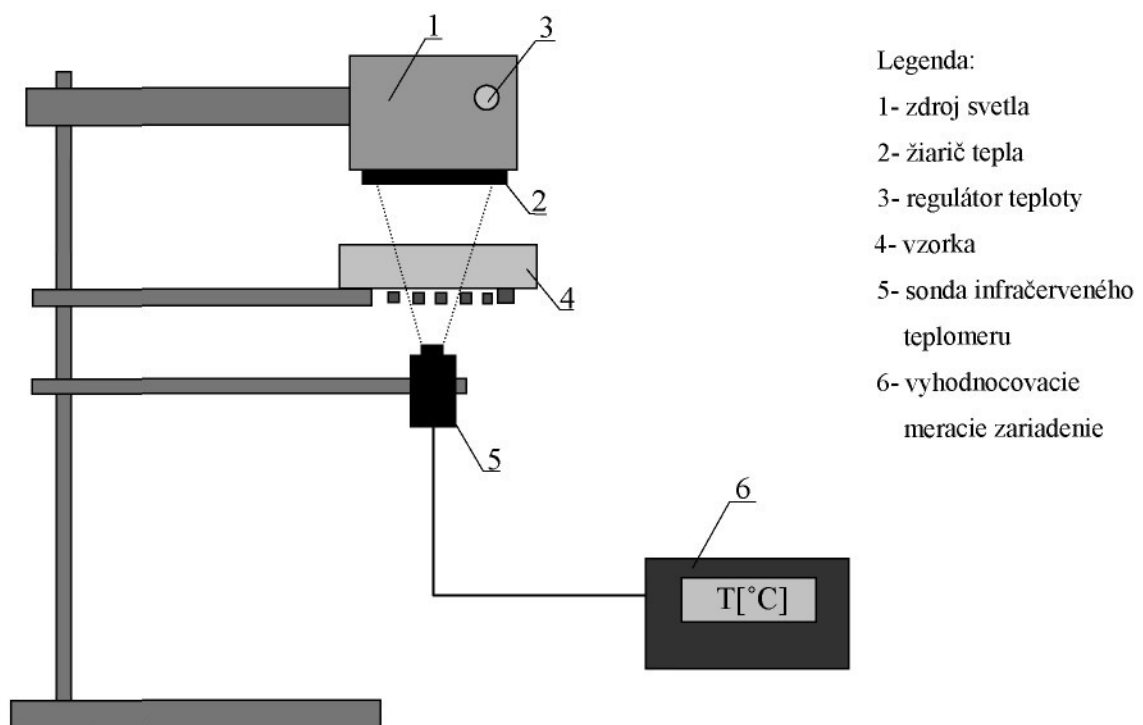
T_{2s}indikovaná teplota bez vloženia vzorky v čase t_0 [$^{\circ}\text{C}$]

T_1teplota z horúceho telesa [$^{\circ}\text{C}$]

T_2teplota termometru [$^{\circ}\text{C}$]

Ak sa uvažia všetky vplyvy faktorov týchto konštánt so vzorkami i bez vzoriek, presnosť $T = Q/Q_0$ vzorky môžu byť počítané zo vzťahu (34).

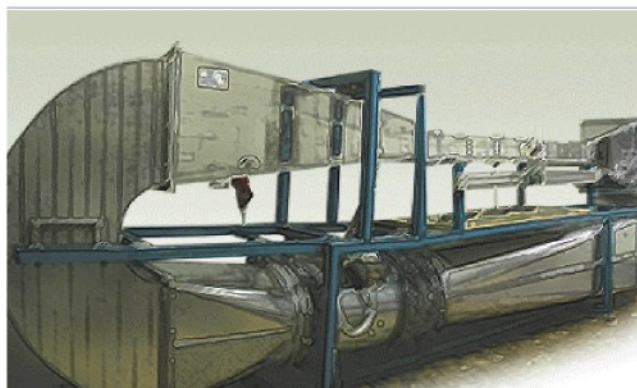
Ak je plocha horúceho telesa a vzorky dosť veľká, vplyv z rozptýlenia vo vzorke je zanedbateľný. [7]



Obr. 11: Metóda merania radiačného tepelného toku

3.9 Veterný tunel

V súčasnej dobe je prístroj vo fáze vývoja na katedre odevníctva. Bude slúžiť na meranie tepelno-izolačných vlastností textílií. Prístroj bude simulovať odevný materiál na ľudskej paži. Vzorka materiálu sa prikladá na vyhrievaný valec (nastavuje sa teplota 37 °C - teplota pokožky), ktorý je umiestnený v uzavretom "tunely", v ktorom bude možné regulovať teplotu a rýchlosti prúdenia vzduchu (1-30 m/s). Po obvode vyhrievaného valca sú umiestnené snímače, ktoré zisťujú teplotu.



Obr. 12: Veterný tunel

4. Experimentálna časť

Účelom experimentu bolo zistiť tepelno-izolačné vlastnosti materiálov na vybraných prístrojoch v rámci FT. Experiment bol uskutočnený na prístrojoch: ALAMBETA, TOGMETER, PSM-2 a STATICKÁ METÓDA pri prítlaku 200 Pa. Dôležitou súčasťou experimentálnej časti je vyhodnotenie presnosti výsledkov získaných na meracích prístrojoch a správnosť prístrojov pomocou referenčnej vzorky.

V experimente bolo použitých 6 druhov vlnárskych materiálov (viz. tab. č. 1). Skúšané materiály boli vybrané s ohľadom na rôzne hrúbky, objemové hmotnosti a materiálové zloženie. Meranie na prístrojoch bolo uskutočnené na každom druhu materiálu päťkrát za sebou a referenčná vzorka bola meraná trikrát za sebou.

Tab. 1: Parametre skúšaného materiálu

Skúšaný materiál	Zloženie	Väzba	Dostava [nití/10cm]	Plošná merná hmotnosť [kg.m ²]	Hrúbka [mm]
č.1	70vl/30PAN	Atlasová	D _o 130 D _ú 130	0,315	3,19
č.2	65vl/35PAN	Atlasová	D _o 130 D _ú 110	0,333	3,03
č.3	60vl/40PAN	Atlasová	D _o 200 D _ú 150	0,378	2,91

č.4	60vl/40PAN	Atlasová	D _o 160 D _ú 140	0,289	2,81
č.5	80vl/20PAN	Atlasová	D _o 160 D _ú 120	0,310	2,71
č.6	60vl/40PAN	Atlasová	D _o 150 D _ú 130	0,303	2,44

Tab. 2: Parametre referenčnej vzorky

	Zloženie	Väzba	Dostava [nití/10cm]	Hrúbka [mm]
Referenčná vzorka	ba/PES	Keprová	D _o 280 D _ú 230	0,57

4.1 Vybrané prístroje na zisťovanie tepelno-izolačných vlastností textílií

Klimatické podmienky

Teplota vzduchu sa pri meraní na skúšaných prístrojoch pohybovala v rozmedzí od 20 do 23° C a relatívna vlhkosť od 50 do 60 %.

4.1.1 Meranie na prístroji ALAMBETA

Meranie na prístroji ALAMBETA prebehlo na Katedre hodnotenia akosti podľa internej normy č. 23-304-02/01: Meranie tepelných vlastností na prístroji Alambeta.

Postup merania

1. Zapnúť prístroj.
2. Pred vlastným meraním asi 20 minút spúšťať meráciu hlavicu na skúšanú vzorku (týmto spôsobom sa prístroj lepšie pripraví na meranie a výsledky sú presnejšie).

3. Prístroj vypnúť a znova zapnúť a nechať samovoľne spustiť meráciu hlavicu.
4. Vložiť skúšanú vzorku, stlačiť tlačítko ST.
5. Namerané údaje uložiť do štatistiky stlačením tlačítka EN.
6. Po premeraní súboru vzoriek zobrazíť vypočítané štatistické hodnoty pomocou tlačítiek EN a RL 7.
8. Tlačítkami EN a ST vymazať štatistické hodnoty.
9. Týmto postupom premerať ostatné skúšané materiály.

4.1.2 Meranie na prístroji SDL M 259 TOGMETER

Pred meraním tepelného odporu na prístroji togmeter je potrebné zmerať hrúbku skúšaných materiálov, ktorá je potrebná na nastavenie troch hrúbkometerov na togmetry.

4.1.2.1 Hrúbkometer SDL M034A

Popis prístroja

Digitálny hrúbkometer SDL M034A sa používa na meranie hrúbky textílie od 0,01 – 50 mm. Prístroj je vybavený prítlačnou pätkou 20 a 100 cm² a je možné aplikovať silu 0,1 – 2000N. Namerané hodnoty sú spracované pomocou počítača. Meranie prebieha podľa ČSN EN ISO 5084.

Priprava vzoriek

Skúšané materiály boli pred uskutočnením merania klimatizované podľa ISO 139. Na meranie hrúbky flaušových materiálov bola vybraná prítlačná pätká 100 cm² s prítlakom 200 Pa a hrúbka referenčnej vzorky bola zmeraná pomocou prítlačnej pätky 20 cm² s prítlakom 200 Pa. [17]

Po zistení hrúbky materiálu prebehlo meranie na prístroji TOGMETER podľa normy: ISO 5085 časť 1 (BS4745). Tepelný odpor bol meraný metódou s dvomi doskami, z dôvodu presnosti a reprodukovateľnosti. Táto metóda sa doporučuje používať vždy, kde je to možné. Meranie prebehlo na Katedre odevníctva.

Postup merania

1. Zapnúť klimatizáciu, ovládaciú skrinku- HEATING, ventilátor a zapisovač dát.
2. Zapnúť elektrické výhrevné telesá a nastaviť teplotu tak, aby T2 registroval teplotu 304-308 K.
3. Zaznamenať ustálené hodnoty teplôt (za ustálenú teplotu sa považuje teplota, ktorej hodnota na displeji sa nemení s presnosťou na 0,1 K aspoň po dobu 30 minút).
4. Položiť skúšanú vzorku na spodnú dosku prístroja a priložiť hornú dosku. Na troch hrúbkometeroch togmetra nastaviť zistenú hrúbku s hrúbkometeru SDL M034A pri tlaku 200 Pa.
5. Doba skúšky trvá 3 hodiny. Po tejto dobe boli zaznamenané ustálené teploty T1, T2 a T3 z digitálneho merača s presnosťou 0,1 K.
6. Vypočítať tepelný odpor z nameraných hodnôt pomocou vzorca (12).
7. Týmto spôsobom premerať i ostatné druhy flaušových materiálov a referenčnú vzorku.

4.1.3 Meranie na prístroji PSM-2

Meranie na prístroji PSM-2 prebehlo na Katedre odevníctva.

Postup merania

1. Zapnúť počítač a následne spustiť program prístroja PSM-2.
2. Otvoriť príslušnú položku Tepelná odolnosť.
3. Prebieha temperácia prístroja.
4. Po ukončení temperácie vložiť skúšanú vzorku s rámčekom bez osadenia.
5. Zadať názov súboru, do ktorého budú uložené výsledky.
6. Prebieha skúška.
7. Po ukončení merania sa zobrazia výsledky merania s nameranými veličinami.
8. Pokračovať buď kliknutím na Nové meranie (otvorenie nového súboru) alebo na Novú vzorku (výsledok uložiť do rovnakého súboru).

4.1.4 Meranie na prístroji STATICKÁ METÓDA

Meranie prebehlo na Katedre netkaných textílií.

Postup merania

1. Zapnúť dva termostaty a digitálne meracie zariadenie.
2. Prvý termostat vyhriať na teplotu $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ a druhý termostat vyhriať na teplotu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. U druhého termostatu treba kontrolovať teplotu počas celého merania, aby neprekročila $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ak by táto situácia nastala je potrebné termostat ochladiť.
3. Na meracom zariadení nastaviť kanál 106, ktorý zobrazuje hodnotu U_1 a 112 zobrazuje hodnotu U_2 (U_1 , U_2 - merané napätie), zároveň nastaviť jednotky [m.V].
4. Po dosiahnutí teplôt na termostatoch položiť skúšobnú vzorku na dolnú nádobu.
5. Priložiť hornú nádobu, nastaviť hrúbku pomocou šróbov na podložnej doske.
Jedno pootočenie okolo celej osi je 1,25 mm.
6. Doba skúšky trvá 10 minút, kým sa ustália teploty. Z meracieho zariadenia odčítať hodnoty U_1 a U_2 postupne desaťkrát za sebou (prepočítava sa z dôvodu presnosti merania). Namerané hodnoty štatisticky spracovať.
7. Pomocou vzorca (27) vypočítať teplotnú diferenciu a dosadiť do vzorca (28) pre výpočet tepelnej vodivosti. Pre výpočet tepelného odporu použiť vzorec (29).
8. Týmto spôsobom merať všetky vzorky.

4.2 Chyby inštrumentálnych meraní

Meranie patrí medzi základné spôsoby získavania informácií o stave sledovanej veličine. Vplyvom obmedzenej presnosti meracích prístrojov a premennosti podmienok merania sa ani na homogénnom materiále, kde je skutočná hodnota meranej veličiny konštantná, nezískajú rovnaké výsledky. Výsledkom každého merania je náhodná veličina, ktorá obsahuje okrem informácie tiež šum, tzv. chyby merania. Veľkosť chýb meraní a prístrojov sa zaoberá teóriou merania. [18]

4.2.1 Klasifikácia chýb merania

Podľa miesta vzniku

1. Inštrumentálne chyby sú spôsobené konštrukciou meracieho prístroja a určujú jeho kvalitu. U mnohých prístrojov sú známe a garantované výrobcom.

2. Metodické chyby súvisia s použitou metodikou stanovenia výsledkov meraní, ako odpočítanie dát, organizácia merania, eliminácia vonkajších vplyvov atď.

3. Teoretické chyby súvisia s použitým postupom merania. Ide hlavne o princípy meraní, fyzikálne modely meraní, použité parametre, fyzikálne konštanty atď.

4. Chyby spracovania dát sú chyby numerickej metódy a chyby spôsobené použitím nevhodných metód štatistického vyhodnotenia. [18]

Podľa príčin vzniku

1. Náhodné chyby, ktoré kolíšu náhodne čo do veľkosti i znamienka pri opakovanom meraní, sa nedajú predvídať a sú popísané určitým pravdepodobnostným rozdelením. Sú spôsobené viacerými príčinami, ktoré možno len ťažko odstrániť, popr. ich vplyv aspoň obmedziť.

2. Systematické chyby pôsobia na výsledok meraní predvídateľným spôsobom. Bývajú funkciou času alebo parametrov meracieho procesu. Mávajú rovnaké znamienka. Konštantné systematické chyby znižujú alebo zvyšujú numerický výsledok všetkých meraní o konštantnú hodnotu. Často sa navonok neprejavujú a možno ich odhaliť až pri porovnaní s výsledkami z iného prístroja.

Systematické chyby meracieho prístroja sa delia na:

- **aditívne** (chyba nastavenia nulovej hodnoty)
- **multiplikatívna** (chyba citlivosti).

3. Hrubé chyby, označované ako vybočujúce, resp. odľahlé hodnoty, sú spôsobené výnimočnou príčinou, náhlym zlyhaním meracieho aparátu, nesprávnym záznamenávaním výsledku. Spôsobujú, že sa dané meranie výrazne líši od ostatných. [17]

Je ťažké oddeliť systematickú a náhodnú zložku chýb. Ak sa uskutočňuje meranie v štandarde zo známou hodnotou μ , je možné pri každom opakovanom meraní x_i , $i = 1, \dots, n$, tohto štandardu stanoviť celkovú chybu merania podľa vzťahu:

$$\Delta_i = x_i - \mu \quad (35)$$

Ak nie sú v údajoch hrubé chyby, je priemerná hodnota chyby merania:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (36)$$

Odhadom náhodných zložiek chyby merania plynie zo vzťahu: $\bar{\Delta} - \Delta_i$

Popri priemernej chybe $\bar{\Delta}$ sa používa stredná kvadratická chyba podľa vzťahu:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (37)$$

Pokiaľ je $\bar{\Delta} \approx 0$, považuje sa σ_{Δ} za priemernú náhodnú chybu merania.

Systematické a náhodné chyby súvisia s pojmami presnosti a správnosti meracích prístrojov. [18]

4.3 Presnosť prístroja

Presnosť prístroja je definovaná ako rozmedzie štatistickej neistoty výsledkov. Súvisí s náhodnými chybami a zodpovedá reprodukovateľnosti meraní. Vyjadruje sa ako rozptyl okolo strednej hodnoty n-tice nameraných výsledkov.

Za predpokladu najpoužívanejšieho aditívneho modelu merania je výsledok i-tého merania vyjadrený vzťahom:

$$x_i = \mu + \varepsilon_i \quad (38)$$

kde μ ...skutočná hodnota meranej veličiny

ε_i ...náhodná chyby meraní

Mierou rozptýlenia je smerodajná odchýlka $s(x_i)$, ktorá úzko súvisí s variabilitou meraného materiálu a s chybami meraní. Smerodajnú odchýlku je výhodné použiť pre vyjadrenie absolútnych chýb veličín x_i . Na vyjadrenie relatívnych chýb sa určujú variačné koeficienty zo vzťahu:

$$v(x_i) = \frac{s(x_i)}{x_i} \cdot 100 \quad [\%] \quad (39)$$

Zatiaľ čo presnosť možno odhadnúť na základe štatistickej analýzy opakovaných výsledkov, správnosť prístroja je nutné stanoviť iba s použitím štandardu, alebo porovnaním výsledkov z viacerých prístrojov. [18]

4.4 Správnosť prístroja

Správnosť prístroja udáva priemernú vzdialenosť výsledkov meraní od skutočnej hodnoty a súvisí so systematickými chybami. Zodpovedá odchýlením priemernej hodnoty výsledkov merania od teoretickej hodnoty.

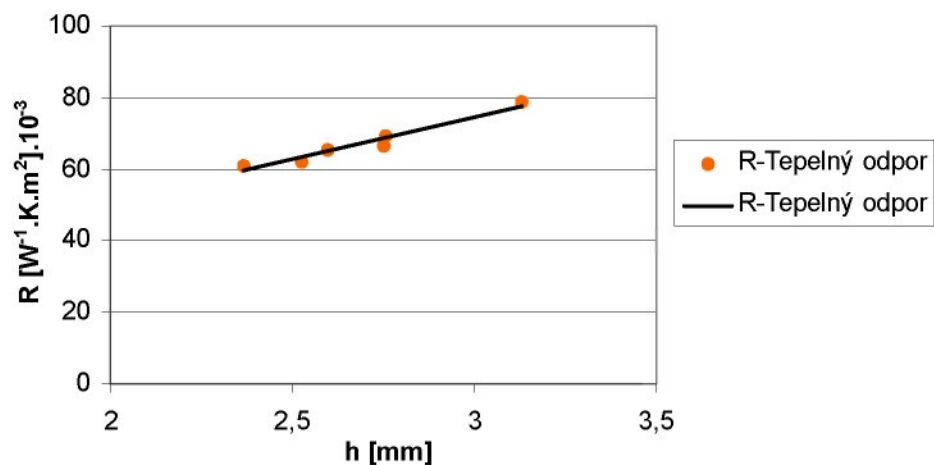
5. Vyhodnotenie experimentu

5.1 Vyhodnotenie tepelno-izolačných vlastností

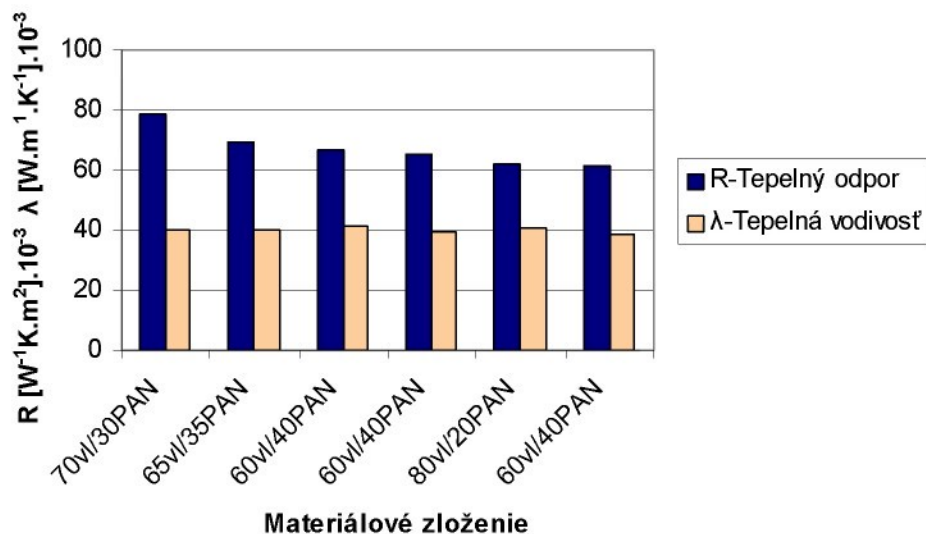
Vyhodnotenie tepelno-izolačných vlastností z prístroja ALAMBETA

Tab. 3: Vypočítané hodnoty z prístroja ALAMBETA pri pritlaku 200 Pa

Skúšaný materiál	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
Materiálové zloženie	70vl/ 30PAN	65vl/ 35PAN	60vl/ 40PAN	60vl/ 40PAN	80vl/ 20PAN	60vl/ 40PAN
λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	39,70	39,94	41,04	39,66	40,80	38,74
v [%]	0,99	0,42	1,20	0,85	0,93	0,91
R [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	78,86	69,18	66,68	65,62	62,02	61,12
v [%]	4,72	2,26	2,25	3,80	1,59	2,90
h [mm]	3,13	2,76	2,75	2,60	2,53	2,37
v [%]	5,53	2,14	1,73	3,92	1,54	2,57



Obr. 13: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke pri sile prítlaču 200 Pa na prístroji Alambeta



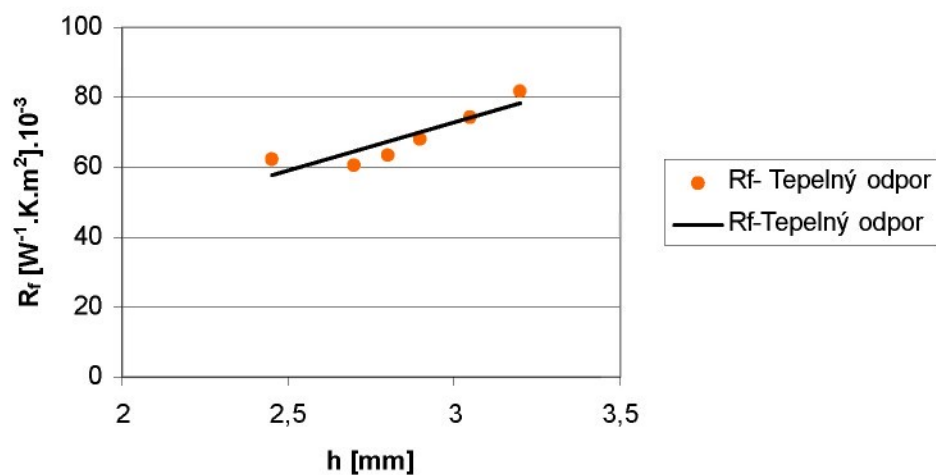
Obr. 14: Graf závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení na prístroji Alambete

Vyhodnotenie tepelno-izolačných vlastností z prístroja Togmeter

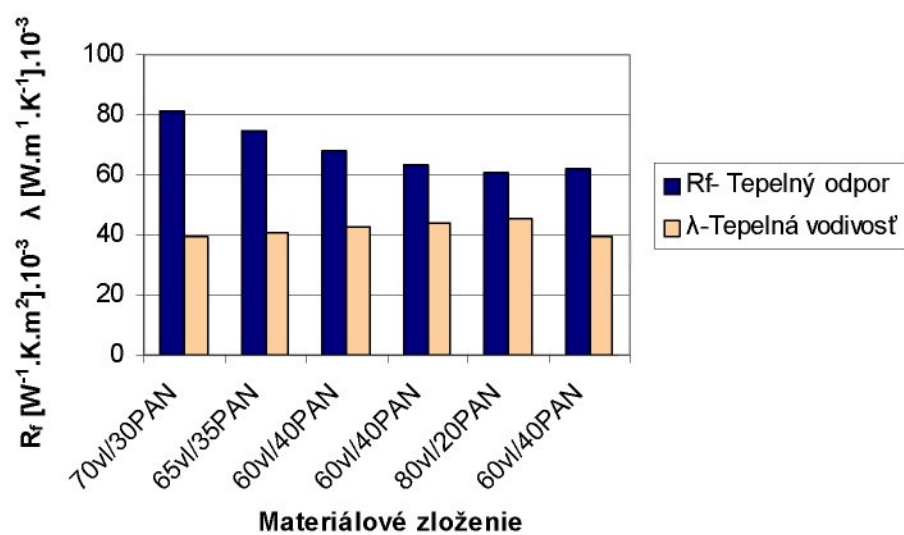
Tab. 4: Vypočítané hodnoty z prístroja Togmeter pri prítlaču 200 Pa.

Skúšaný materiál	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
Materiálové zloženie	70vl/ 30PAN	65vl/ 35PAN	60vl/ 40PAN	60vl/ 40PAN	80vl/ 20PAN	60vl/ 40PAN
λ [W.m⁻¹.K⁻¹].10⁻³	39,33	40,96	42,63	44,10	45,12	39,32

v [%]	5,77	3,64	3,87	5,16	13,49	1,78
$R_f [W^{-1} \cdot K \cdot m^2] \cdot 10^{-3}$	81,59	74,55	68,10	63,63	60,74	62,33
v [%]	5,74	3,7	3,95	5,14	13,68	1,76
h [mm]	3,20	3,05	2,90	2,80	2,70	2,45
v [%]	0,69	1,08	0,62	0,96	0,89	1,64



Obr. 15: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke pri sile prítlaču 200 Pa na prístroji Togmeter



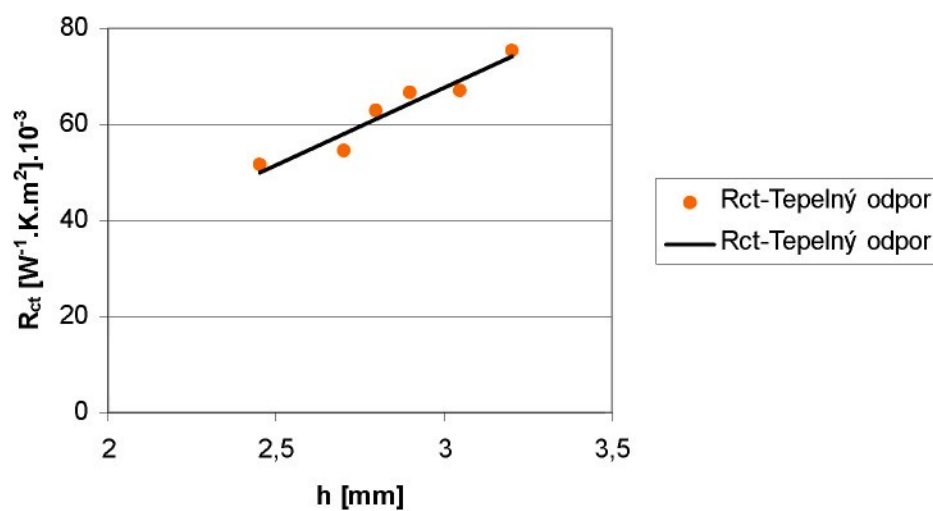
Obr. 16: Graf závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení

na prístroj Togmeter

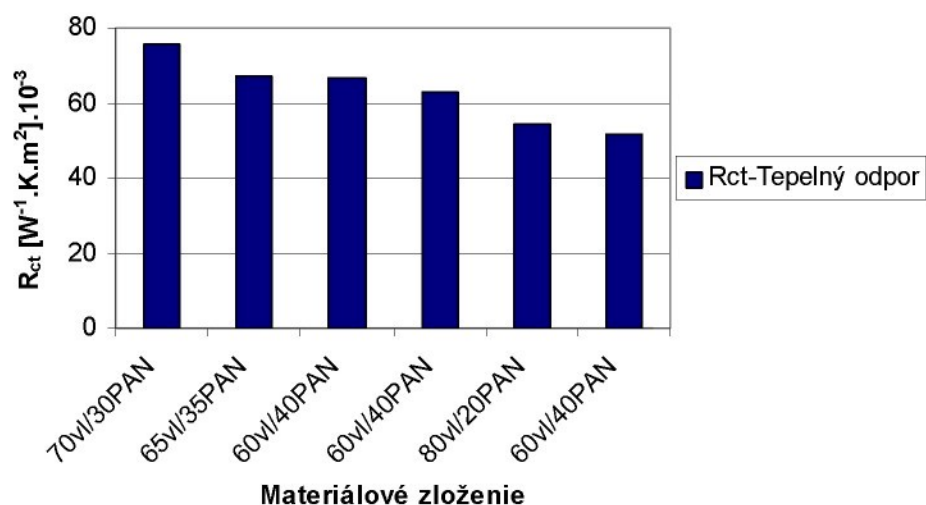
Vyhodnotenie tepelno-izolačných vlastností z prístroja PSM-2

Tab. 5: Vypočítané hodnoty z prístroja PSM-2

Skúšaný materiál	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
Materiálové zloženie	70vl/ 30PAN	65vl/ 35PAN	60vl/ 40PAN	60vl/ 40PAN	80vl/ 20PAN	60vl/ 40PAN
$R_{ct} [W^{-1}.K.m^2].10^{-3}$	75,60	67,00	66,60	62,80	54,40	51,60
$v [\%]$	5,95	6,72	5,11	7,01	5,88	7,56
$h [mm]$	3,20	3,05	2,90	2,80	2,70	2,45
$v [\%]$	0,69	1,08	0,62	0,96	0,89	1,64



Obr. 17: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke na prístroji PSM-2

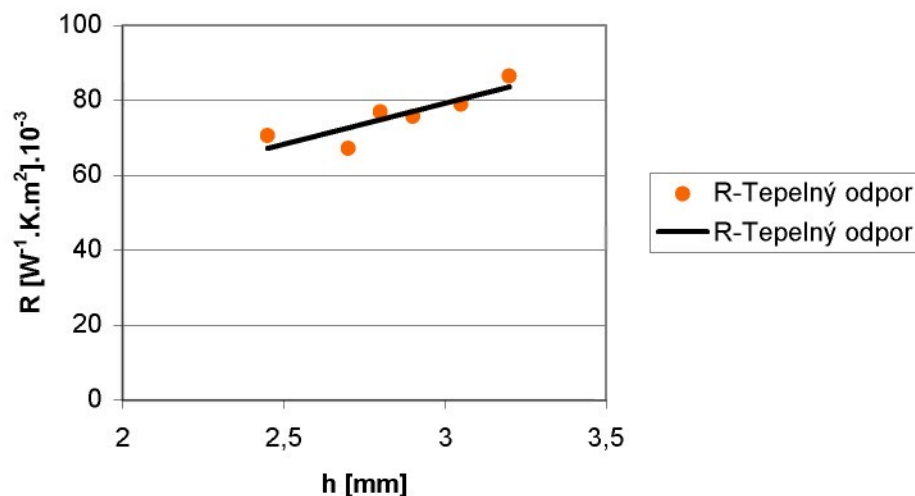


Obr. 18: Graf závislosti tepelného odporu na materiálovom zložení na prístroji PSM-2

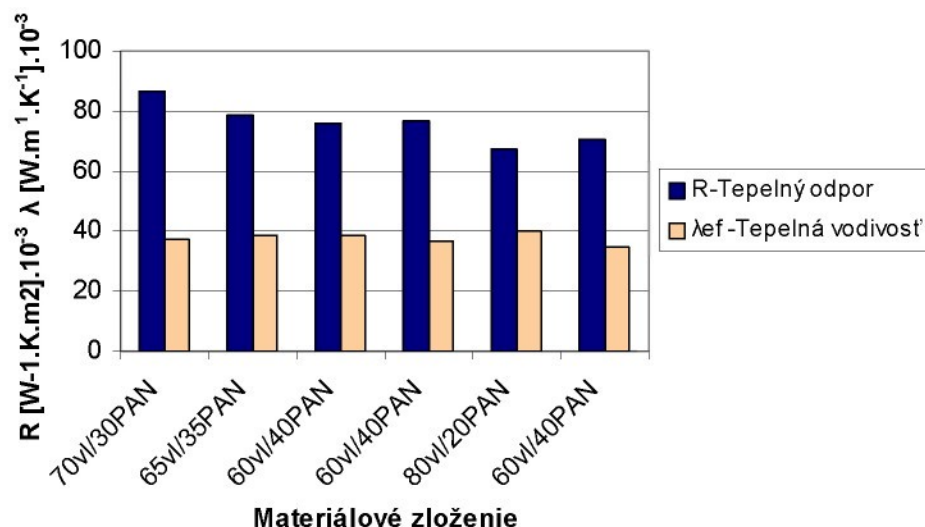
Vyhodnotenie tepelno-izolačných vlastností z prístroja Statická metóda

Tab. 6: Vypočítané hodnoty z prístroja Statická metóda pri prítlaču 200 Pa.

Skúšaný materiál	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
Materiálové zloženie	70vl/ 30PAN	65vl/ 35PAN	60vl/ 40PAN	60vl/ 40PAN	80vl/ 20PAN	60vl/ 40PAN
λ_{ef} [W.m¹.K⁻¹].10⁻³	37,03	38,66	38,37	36,40	40,23	34,74
v [%]	1,02	2,23	0,85	1,72	1,63	0,59
R [W⁻¹K.m²].10⁻³	86,42	78,92	75,67	76,95	67,14	70,53
v [%]	1,02	2,26	0,92	1,73	1,63	0,59
h [mm]	3,20	3,05	2,90	2,80	2,70	2,45
v [%]	0,69	1,08	0,62	0,96	0,89	1,64



Obr. 19: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke pri sile prítlaču 200 Pa na prístroji Statická metóda



Obr. 20: Graf závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení na prístroji SM

Z obrázkov 13, 15, 17 a 19 vyplýva, že s narastajúcou hrúbkou materiálu narastá i tepelný odpor. Najvyšší tepelný odpor u všetkých skúšaných prístrojov bol nameraný u skúšanej vzorky č.1 s najväčšou hrúbkou 3,20 mm. Najnižšia hodnota tepelného odporu bola nameraná u skúšanej vzorky č. 6 a to na prístrojoch Alambeta a PSM-2. Táto vzorka má najmenšiu hrúbku 2,45 mm. U prístrojoch Togmeter a Statická metóda bola najnižšia nameraná hodnota na skúšanom materiály č. 5. Táto vzorka má hrúbku 2,7 mm. Z toho vyplýva, že skúšaná vzorka č. 1 má najhrejivejšie vlastnosti.

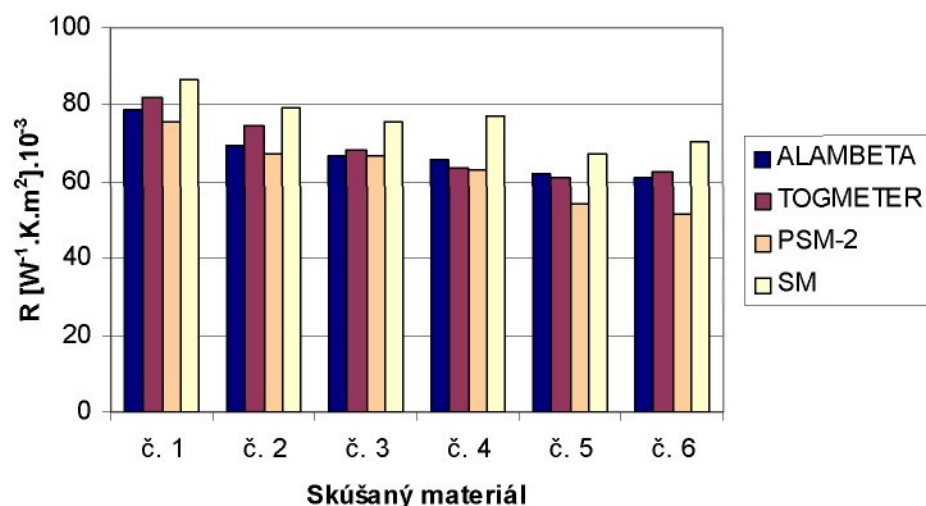
Z obrázkov 14, 16 a 20, ktoré zobrazujú grafy závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení vyplýva, že materiálové zloženie nemá vplyv na rast tepelného odporu. Tepelný odpor sa zvyšuje nárastom hrúbky materiálu. Z obrázkov tiež vyplýva, že rast tepelnej vodivosti nieje závislý na hrúbke materiálu. Najvyššia tepelná vodivosť bola nameraná u vzorky č. 5, ktorej materiálové zloženie je 80v1/20PAN.

Kvalitnú tepelnú izoláciu charakterizuje nízka tepelná vodivosť, ktorá umožňuje schopnosť látky viesť teplo, a vysoký tepelný odpor, ktorý je priamo úmerný hrúbke. Tento predpoklad spĺňa materiál č.1 u všetkých štyroch skúšaných prístrojov, ktorý je v porovnaní s ostatnými skúšanými materiálmi najhrejivejší.

5.2 Vyhodnotenie presnosti prístroja

Tab. 7: Priemerné hodnoty plošného tepelného odporu z jednotlivých skúšaných prístrojov

Plošný odpor vedenia tepla [$W^{-1} \cdot K \cdot m^2$]. 10^{-3}						
Skúšaný materiál	č.1	č. 2	č.3	č. 4	č. 5	č. 6
ALAMBETA	78,86	69,18	66,68	65,62	62,02	61,12
TOGMETER	81,59	74,55	68,10	63,63	60,74	62,33
PSM-2	75,60	67,00	66,60	62,80	54,40	51,60
SM	86,42	78,92	75,67	76,95	67,14	70,53

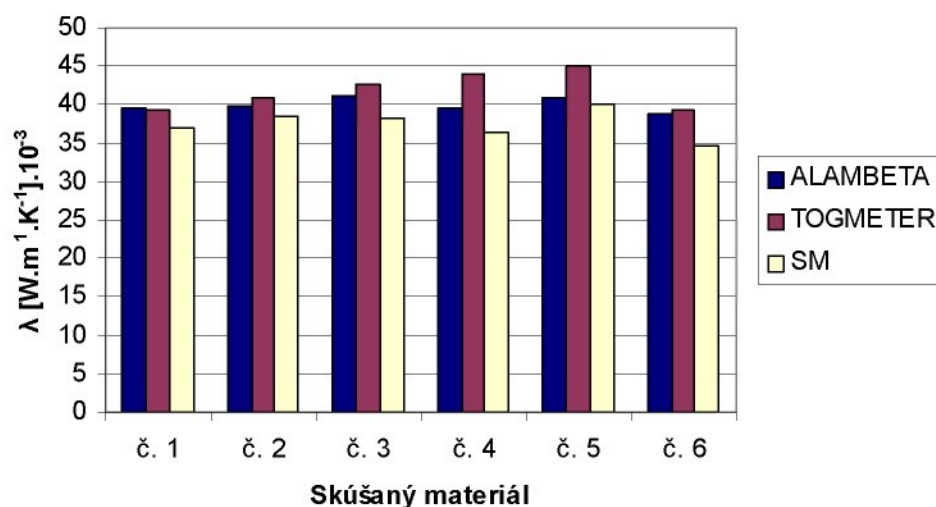


Obr. 21: Graf priemerných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch

Z obrázku 21 je viditeľné, že najbližšie namerané hodnoty tepelného odporu sú na prístrojov Alambeta a Togmeter. Líšia sa od seba $\pm 2 \%$. Najnižšie boli namerané na prístroji PSM-2. Tie sa v porovnaní s Alambetou a Togmetrom líšia $\pm 7 \%$. Najvyššie namerané hodnoty sú na prístroji Statická metóda. V porovnaní s prístrojom s najnižšie nameranými hodnotami PSM- 2 sa líši $\pm 20 \%$, v porovnaní s ostatnými prístrojmi sa líši $\pm 7 \%$.

Tab. 8: Priemerné hodnoty tepelnej vodivosti z jednotlivých skúšaných prístrojov

Tepelná vodivosť $[W.m^{-1}.K^{-1}].10^{-3}$						
Skúšaný materiál	č.1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
ALAMBETA	39,70	39,94	41,04	39,66	40,80	38,74
TOGMETER	39,33	40,96	42,63	44,10	45,12	39,32
SM	37,03	38,66	38,37	36,40	40,23	34,74



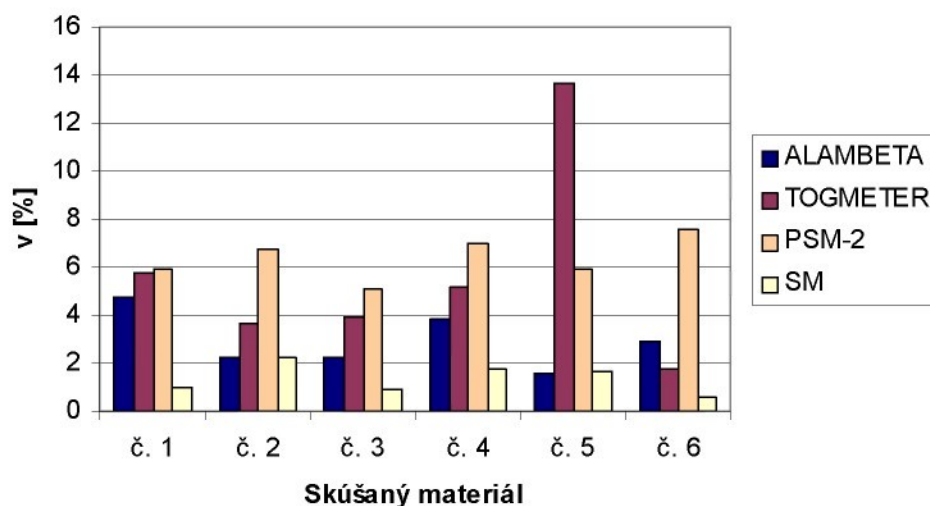
Obr. 22: Graf priemerných hodnôt tepelnej vodivosti na jednotlivých prístrojoch

Na obrázku 22 graf zobrazuje hodnoty tepelnej vodivosti na jednotlivých prístrojoch. Namerané hodnoty tepelnej vodivosti odevných materiálov spadajú do intervalu $0,033 - 0,070 \text{ [W.m}^1\text{.K}^{-1}\text{]}$. Najvyššie hodnoty tepelnej vodivosti boli namerané na prístroji Togmeter a najnižšie hodnoty na prístroji Statická metóda. Hodnoty sa medzi sebou líšia $\pm 5 \%$. Čím je hrúbka nižšia, tým sa hodnoty z jednotlivých prístrojov od seba líšia $\pm 13 \%$.

Rozdielne hodnoty tepelnej vodivosti a tepelného odporu namerané na prístroji Statická metóda v porovnaní s ostatnými prístrojmi mohlo spôsobiť, že pri meraní termočlánok nebol na povrchu teplonosnej plochy, stlačením mohlo dôjsť k prehnutí teplonosných plôch a môže dôjsť pri stlačení k nepatrnému nadvihnutiu hornej nádoby prístroja.

Tab. 9: Variačný koeficient nameraných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch

Variačný koeficient nameraných hodnôt plošného odporu [%]						
Skúšaný materiál	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
ALAMBETA	4,72	2,26	2,25	3,80	1,59	2,90
TOGMETER	5,74	3,7	3,95	5,14	13,68	1,76
PSM-2	5,95	6,72	5,11	7,01	5,88	7,56
SM	1,02	2,26	0,92	1,73	1,63	0,59



Obr. 23: Variačný koeficient nameraných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch

Na obrázku 23 sú zobrazené vypočítané variačné koeficienty z nameraných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch. Variačný koeficient vyjadruje relatívnu chybu merania. Pri porovnávaní veľkosti variačných koeficientov na jednotlivých skúšaných prístrojoch bolo zistené, že najnižší variačný koeficient bol vypočítaný u prístroja Statická metóda. Z toho vyplýva, že prístroj Statická metóda meria s menšou relatívnou chybou. Dôvod najpresnejších hodnôt bol, že pri merní jednej skúšanej vzorky bolo získaných viac hodnôt, ktoré boli presne štatisticky spracované (viz. kapitola 4.1.4). Po celú dobu merania, boli udržiavané rovnaké teploty na termostatoch. Tieto teploty ovplyvňujú presnosť merania.

Najvyšší variačný koeficient bol zistený na prístroji PSM-2. Prístroj PSM-2 meria s väčšou relatívnou chybou. Prístroj PSM-2 je veľmi citlivý, pri meraní je ovplyvnený viacerými faktormi. Pri meraní musia byť dodržané klimatické podmienky aké boli pri kalibrácii prístroja a nesmie dochádzať k výkyvom týchto podmienok.

Na prístroji Togmeter pri vzorke č. 5 bol zistený najvyšší variačný koeficient. Táto skutočnosť mohla byť spôsobená malým počtom meraní. Pri väčšom počte meraní by bol variačný koeficient nižší. Z dôvodu dlhého trvania skúšky, ktorá činila 3 hodiny jednej skúšanej vzorky, bolo nameraných 5 vzoriek za sebou. Meranie prebiehalo dva dni za sebou, čo mohlo ovplyvniť rozdielne klimatické podmienky. Tým vznikla chyba

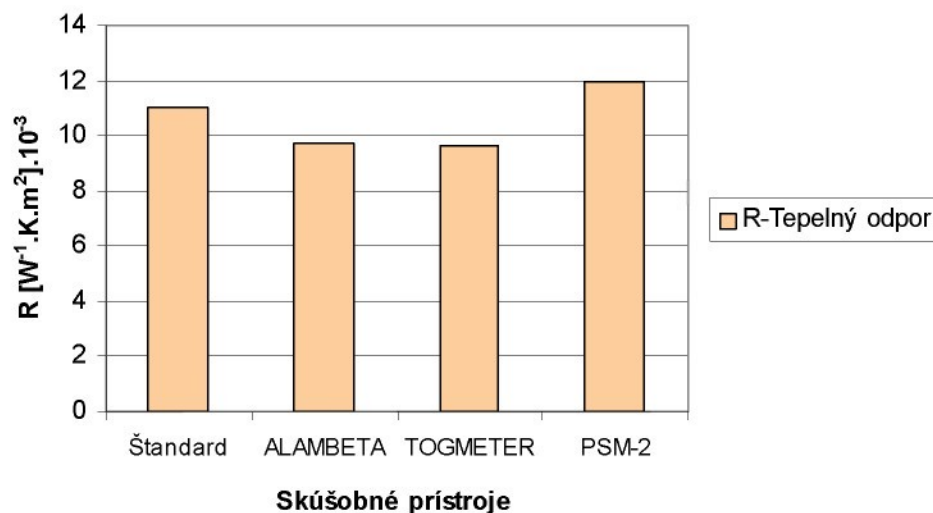
merania. Z objektívnych dôvodov by mali byť pri každej skúšanej vzorke nastavené rovnaké klimatické podmienky.

5.3 Vyhodnotenie správnosti prístroja

Správnosť prístrojov bola zistená pomocou referenčnej vzorky. Referenčná vzorka bola zmeraná vo výskumnom ústave EMPA. Táto hodnota je považovaná ako štandarda. Na referenčnej vzorke bolo uskutočnené meranie na Fakulte textilnej na prístrojov ALAMBETA, TOGMETER a PSM-2.

Tab. 10: Vypočítané hodnoty tepelného odporu na jednotlivých prístrojoch

Referenčná vzorka	Štandard	ALAMBETA	TOGMETER	PSM-2
$R [W^{-1}K.m^2].10^{-3}$	11,00	9,73	9,63	12,00
$s [W^{-1}K.m^2]$	-	1,06	0,0012	0,001
$v [\%]$	-	10,89	12,46	8,33



Obr. 24: Priemerné hodnoty plošného tepelného odporu na jednotlivých prístrojoch

Poznámka: Meranie na prístroji Statická metóda neprebehlo na referenčnej vzorke. Hrúbka referenčnej vzorky je 0,57 mm. Na prístroji Statická metóda je možné merať skúšané materiály s hrúbkou od 1,00 mm.

Obrázok č. 24 zobrazuje graf priemerných hodnôt tepelného odporu na jednotlivých prístrojoch. Z grafu vyplýva, že prístroje Alambeta, Togmeter a PSM-2 namerali obdobné hodnoty tepelného odporu na referenčnej vzorke pri porovnaní s nameranou štandardou.

5.4 Doporučenie skúšobných prístrojov

Na základe vyhodnotenia presnosti a správnosti prístroja je vypracované doporučenie použitia skúšaných prístrojov, vzhľadom na rôzne vlastnosti textilných materiálov.

Na prístroji Alambeta je možné merať rôzne druhy odevných materiálov od hrúbky materiálu 0,5 – 8,0 mm pri rôznom prítlaču. Prítlak volíme vzhľadom na zloženie a povrch odevného materiálu. Meranie na prístroji Alambeta trvá pár sekúnd. Prístroj Alambeta uskutočňuje štatistické vyhodnotenie súboru meraní, vypočíta a zobrazí priemer a variačný koeficient. Alambeta meria okrem tepelnej vodivosti a tepelného odporu i hrúbku materiálu, teplotnú vodivosť, tepelnú jímavosť, pomer špičkového a ustáleného tepelného toku a špičkový tepelný tok.

Na prístroji Togmeter je najdlhšia doba merania. Pre materiály s nízkou hustotou (napr. prikrývky) trvá skúška asi 2 hodiny, ale pri hustejších materiáloch sa môže doba merania výrazne predĺžiť. Zaznamenávajú sa ustálené teploty s presnosťou na 0,1 K. Zo získaných hodnôt vypočítame tepelný odpor a tepelnú vodivosť. Na Togmeteri sa uskutočňujú dve metódy; metóda s jednou doskou a metóda s dvomi doskami. Metóda s dvomi doskami je uprednostňovaná z dôvodu presnosti a reprodukovateľnosti a doporučá sa ju používať vždy tam, kde je to možné. Pre dosiahnutie presných hodnôt pri meraní musia byť taktiež dodržané klimatické podmienky.

Prístroj PSM-2 meria vzorky, ktorých hrúbka je väčšia ako 0,5 mm. Je riadený pomocou softwaru. Celková doba merania jednej vzorky trvá približne 30 minút. Najskôr prebieha temperácia prístroja a potom meranie vzorky. Pri meraní musia byť rovnaké dodržané klimatické podmienky ako pri kalibrácii prístroja. Prístroj PSM-2 meria okrem tepelnej odolnosti i odolnosť voči vodným parám.

Statická metóda je vhodná pre materiály s väčšími hrúbkami. Najvýhodnejšie je použitie prístroja na meranie materiálov, ktoré sú dobre stlačiteľné. Pri meraní materiálov z nižšími hrúbkami sú vytvorené vyššie tlaky, pri ktorých môže dôjsť k nepresnosti merania. Pri meraní musí byť termočlánok na povrchu teplonosnej plochy, nesmie dôjsť k prehnutiu teplonosných plôch a k nadvihnutiu hornej nádoby prístroja. Doba skúšky trvá 10 minút po vyhriatí termostátov. Z nameraných hodnôt vypočítame tepelnú diferenciu, tepelnú vodivosť, tepelný odpor a celkový tepelný tok. Odporúča sa použiť pri skúškach, kde chceme zistiť celkový tepelný tok. Odporúčaný postup je postupné znižovanie hrúbky materiálu, čím sa však predĺži doba skúšky.

6. Záver

Predmetom diplomovej práce bolo preverenie prístrojov na meranie tepelno-izolačných vlastností v rámci Fakulty textilnej. Z nameraných hodnôt boli vyhodnotené tepelno-izolačné vlastnosti vlnárskych materiálov a stanovená presnosť a správnosť skúšaných prístrojov.

V prvej časti diplomovej práce je zoznámenie sa s pojmom zdieľanie tepla textíliami, tepelno-izolačnými vlastnosťami a faktormi, ktoré majú vplyv na tepelno-izolačné vlastnosti textilných materiálov. Tretia kapitola oboznamuje s metódami, prístrojmi a normami na meranie tepelno-izolačných vlastností.

V druhej časti práce je popísaný postup pri prevádzaní experimentu. Meranie bolo prevedené na skúšobných prístrojoch ALAMBETA, TOGMETER, PSM-2

a STATICKÁ METÓDA. Pri meraní boli použité vlnárske materiály rôznych hrúbok a materiálového zloženia a referenčná vzorka.

Meranie bolo prevedené pri prítlaku 200 Pa na všetkých skúšaných prístrojoch. Zo zistených hodnôt je možné dôjsť k hodnoteniu tepelno-izolačných vlastností vlnárskych materiálov. Výsledkom merania je teoretický predpoklad, že hrúbkou materiálu sa zvyšuje tepelný odpor. Tento predpoklad sa potvrdil u všetkých skúšaných prístrojov. Najhrejivejší zo skúšaných materiálov je materiál č. 1 u všetkých skúšaných prístrojov.

Presnosť prístrojov bola vyhodnotená porovnávaním nameraných hodnôt tepelnej vodivosti a tepelného odporu a pomocou variačných koeficientov. Variačný koeficient vyjadruje relatívnu chybu merania. Skušobné prístroje Statická metóda, Alambeta a Togmeter na Fakulte textilnej merajú s menšou relatívnou chybou. Prístroj PSM-2 meria s väčšou relatívnou chybou. Prístroj PSM-2 je citlivý, pri meraní je ovplyvnený viacerými faktormi. Pri meraní musia byť dodržané rovnaké klimatické podmienky aké boli pri kalibrácii prístroja a nesmie dochádzať k výkyvom týchto podmienok.

Namerané hodnoty tepelného odporu na jednotlivých prístrojoch sa od seba veľmi nelíšili. Hodnoty na prístrojov Alambeta a Togmeter sa od seba líšili ± 2 %. Najnižšie hodnoty boli namerané na prístroji PSM-2. Tie sa v porovnaní s Alambetou a Togmetrom líšia ± 7 %. Najvyššie namerané hodnoty sú na prístroji Statická metóda. V porovnaní s prístrojom s najnižšie nameranými hodnotami PSM-2 sa líši ± 20 %, v porovnaní s ostatnými prístrojmi sa líši ± 7 %.

Hodnoty tepelnej vodivosti spadajú do intervalu $0,033 - 0,070 \text{ [W.m}^1\text{.K}^{-1}]$ pre odevné materiály. Najvyššie hodnoty tepelnej vodivosti boli namerané na prístroji Togmeter a najnižšie hodnoty na prístroji Statická metóda. Hodnoty sa medzi sebou líšia ± 5 % . Čím je hrúbka nižšia tým sa hodnoty z jednotlivých prístrojov od seba líšia ± 13 %.

Rozdielne hodnoty tepelnej vodivosti a tepelného odporu namerané na prístroji Statická metóda v porovnaní s ostatnými prístrojmi mohlo spôsobiť, že pri meraní termočlánok nebol na povrchu teplonosnej plochy, stlačením mohlo dôjsť k prehnutí teplonosných plôch a k nepatrnému nadvihnutiu hornej nádoby prístroja.

Správnosť prístrojov bola zistená pomocou referenčnej vzorky. Referenčná vzorka bola zmeraná vo výskumnom ústave EMPA. Táto hodnota je považovaná ako štandarda. Na referenčnej vzorke bolo uskutočnené meranie na Fakulte textilnej na prístrojov ALAMBETA, TOGMETER a PSM-2. Získané hodnoty boli porovnané so štandardou. Skúšané prístroje namerali obdobne hodnoty v porovnaní so štandardou.

Na základe vyhodnotenia presnosti a správnosti prístroja je možné odporučiť merať materiály z hrúbkou od 0,5 do 8,0 mm na skúšobnom prístroji ALAMBETA, podľa druhu meraného materiálu doporučuje interná norma č. 23-304-02/01 voľbu prítlaku. Prístroj Togmeter je vhodný na meranie odevných materiálov tak, i na meranie technických materiálov. Na Togmeteri sa uskutočňujú dve metódy; metóda s jednou doskou a metóda s dvomi doskami. Metóda s dvomi doskami je uprednostňovaná z dôvodu presnosti a reprodukovateľnosti. Prístroj PSM-2 meria vzorky, ktorých hrúbka je väčšia ako 0,5 mm. Pri meraní musia byť presne dodržané klimatické podmienky. Statická metóda je vhodná pre materiály s väčšími hrúbkami. Najvýhodnejšie je použitie prístroja na meranie materiálov, ktoré sú dobre stlačiteľné. Pri meraní materiálov z nižšími hrúbkami sú vytvorené vyššie tlaky, pri ktorých môže dôjsť k nepresnosti merania. Pri meraní musí byť termočlánok na povrchu teplonosnej plochy, nesmie dôjsť k prehnutiu teplonosných plôch a k nadvihnutiu hornej nádoby prístroja.

Záverom nie je možno povedať konečný platný výsledok, ktorým by bolo možné zhodnotiť, ktorý s prístrojov meria najpresnejšie a najsprávnejšie. Každý s prístrojov je vhodný na materiály rôznych vlastností a doba merania je u prístrojov rozdielna. Pre väčšiu objektivnosť je možné odporučiť, zamerať sa na každý prístroj zvlášť, zmerať viacej druhov odevných materiálov s rôznymi vlastnosťami, pri rovnakých klimatických podmienkach. Z výsledku by bolo možné presne určiť, na aké druhy materiálu je prístroj vhodný a získaním väčšieho súboru hodnôt by sa docielilo presnejšie meranie.

7. Použitá literatura

- [1] HORNÍČEK, P.: *Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla*, Internetové skripta, TU Liberec 2002
- [2] RŮŽIČKOVÁ, D.: *Oděvní materiály*, Skripta, TU Liberec 2003
- [3] ČSN 80 0351 *Zkoušení tepelně izolačních vlastností textilních výrobků*
- [4] Interní norma č. 23-304-02/01 *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta*
- [5] KRČMA, R., JIRSÁK, O., HANUŠ, J., PLOCAROVÁ, M.: *Textil 47*, Skripta, TU Liberec 1992
- [6] DELLJOVÁ, R.A., AFANASJEVA, R.F., ČUBAROVÁ, Z.S.: *Hygiena odívání*, Praha NTL 1984

- [7] HÁJNÍKOVÁ, M.: *Hodnotenie tepelnej vodivosti textilných materiálov*, DP, TU Liberec 2002
- [8] ČEHKOVÁ, L.: *Měření tepelně izolačních vlastností plošných textilií*, DP, Liberec 2002
- [9] NECKÁŘ, B.: *Příze*, SNTL, Praha 1990
- [10] ČSN EN ISO 9237 *Textilie- Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*
- [11] ČSN 72 7015 *Stanovenie vodivosti Bockovov metódou*
- [12] *Návod k obsluhu přístroje SDL M TOGMETER*, KOD TU Liberec
- [13] DIN 52 616: *Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Wärmestrommessplatten-Gerät*, Deutsche Normen, Berlin und Köln 1977
- [14] *Přístroj pro měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám: SKIN MODEL PSM-2*, KOD, TU Liberec
- [15] *Popis přístroje TP-2 8701*, Šmeralový závody Brno
- [16] *Zařízení pro měření tepelně izolačních vlastností Statickou metodou*, KNT, TU Liberec
- [17] *Návod digitálního Tloušťkoměru SDL M03-4A*, KOD, TU Liberec
- [18] MILITKÝ, J., MELOUN, M.: *Statistické zpracování experimentálních dat*, PLUS, Praha 1994

8. Zoznam obrázkov, tabuliek a príloh

Zoznam obrázkov

Obr. 1: Zdieľanie tepla vedením	13
Obr. 2: Zdieľanie tepla prúdením	14
Obr. 3: Zdieľanie tepla odparovaním	15
Obr. 4: Prístroj SDL M 259 TOGMETER	26
Obr. 5: Prístroj Togmeter	27
Obr. 6: Prístroj tepelnej vodivosti tepelného toku DIN 52616	29
Obr. 7: Prístroj PSM-2	30
Obr. 8: Prístroj Alambeta	31

Obr. 9: Prístroj TP2.....	34
Obr. 10: Statická metoda	36
Obr. 11: Metóda merania radiačného tepelného toku	40
Obr. 12: Veterný tunel	41
Obr. 13: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke pri sile prítlaku 200 Pa na prístroji Alambeta.....	50
Obr. 14: Graf závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení na prístroji Alambete	50
Obr. 15: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke pri sile prítlaku 200 Pa na prístroji Togmeter.....	51
Obr. 16: Graf závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení na prístroj Togmeter.....	51
Obr. 18: Graf závislosti tepelného odporu na materiálovom zložení na prístroji PSM-2	53
Obr. 19: Graf závislosti tepelného odporu na hrúbke pri sile prítlaku 200 Pa na prístroji Statická metoda	54
Obr. 20: Graf závislosti tepelného odporu a tepelnej vodivosti na materiálovom zložení na prístroji SM	54
Obr. 21: Graf priemerných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch.....	56
Obr. 22: Graf priemerných hodnôt tepelnej vodivosti na jednotlivých prístrojoch.....	57
Obr. 23: Variačný koeficient nameraných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch	58
Obr. 24: Priemerné hodnoty plošného tepelného odporu na jednotlivých prístrojoch ...	59

Zoznam tabuliek

Tab. 1: Parametre skúšaného materiálu	41
Tab. 2: Parametre referenčnej vzorky	42
Tab. 3: Vypočítané hodnoty z prístroja ALAMBETA pri prítlaku 200 Pa	49
Tab. 4: Vypočítané hodnoty z prístroja Togmeter pri prítlaku 200 Pa	50
Tab. 5: Vypočítané hodnoty z prístroja PSM-2	52
Tab. 6: Vypočítané hodnoty z prístroja Statická metoda pri prítlaku 200 Pa.....	53
Tab. 7: Priemerné hodnoty plošného tepelného odporu z jednotlivých skúšaných prístrojov	55
Tab. 8: Priemerné hodnoty tepelnej vodivosti z jednotlivých skúšaných prístrojov	56

Tab. 9: Variačný koeficient nameraných hodnôt plošného odporu na jednotlivých prístrojoch	57
Tab. 10: Vypočítané hodnoty tepelného odporu na jednotlivých prístrojoch.....	59

Zoznam príloh

Príloha č. 1	Vzorky skúšaných materiálov
Príloha č. 2	Namerané hodnoty na digitálnom hrúbkomery SDL M034A
Príloha č. 3	Namerané hodnoty na prístroji ALAMBETA
Príloha č. 4	Namerané hodnoty na prístroji Togmeter
Príloha č. 5	Namerané hodnoty na prístroji PSM-2
Príloha č. 6	Namerané hodnoty na Statickej metóde

Príloha

Príloha č.1

Vzorky skúšaných materiálov

Skúšaný materiál č.1		
Zloženie	70vl/30PAN	
Väzba	Atlasová	
Dostava [nití/10cm]	D _o 130 D _ú 130	
Plošná merná hmotnosť [kg.m²]	0,315	
Hrúbka [mm]	3,20	

Skúšaný materiál č.2		
Zloženie	65vl/35PAN	
Väzba	Atlasová	
Dostava [nití/10cm]	D _o 130 D _ú 110	
Plošná merná hmotnosť [kg.m²]	0,333	
Hrúbka [mm]	3,05	

Skúšaný materiál č.3		
Zloženie	60vl/40PAN	
Väzba	Atlasová	
Dostava [nití/10cm]	D _o 200 D _ú 150	
Plošná merná hmotnosť [kg.m²]	0,378	
Hrúbka [mm]	2,90	

Skúšaný materiál č.4		
Zloženie	60vl/40PAN	
Väzba	Atlasová	
Dostava [nití/10cm]	D _o 160 D _ú 140	
Plošná merná hmotnosť [kg.m²]	0,289	
Hrúbka [mm]	2,80	

Skúšaný materiál č.5		
Zloženie	80vl/20PAN	
Väzba	Atlasová	
Dostava [nití/10cm]	D _o 160 D _ú 120	
Plošná merná hmotnosť [kg.m²]	0,310	
Hrúbka [mm]	2,70	

Skúšaný materiál č.5		
Zloženie	60vl/40PAN	
Väzba	Atlasová	
Dostava [nití/10cm]	D _o 150 D _ú 130	
Plošná merná hmotnosť [kg.m²]	0,303	
Hrúbka [mm]	2,45	

Príloha č.2

Namerané hodnoty na digitálnom hrúbkomery SDL M034A

Skúšaný materiál						
i	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
1.	3,21	3,03	2,90	2,80	2,70	2,52
2.	3,24	3,07	2,88	2,77	2,67	2,45
3.	3,20	3,08	2,88	2,82	2,71	2,40
4.	3,21	3,04	2,91	2,79	2,72	2,43
5.	3,19	2,99	2,89	2,82	2,73	2,40
6.	3,17	3,08	2,93	2,78	2,71	2,43
7.	3,19	3,05	2,91	2,77	2,70	2,45
8.	3,17	3,08	2,90	2,80	2,73	2,45
9.	3,18	3,03	2,89	2,85	2,68	2,47
10.	3,21	3,00	2,93	2,83	2,66	2,47
$\bar{x}$ [mm]	3,20	3,05	2,90	2,80	2,70	2,45
s [mm]	0,022	0,0	0,018	0,027	0,024	0,036
v [%]	0,69	1,08	0,62	0,96	0,89	1,64

Referenčná vzorka	
i	h [mm]
1.	0,56
2.	0,57
3.	0,55
4.	0,60
5.	0,58
6.	0,57
7.	0,60
8.	0,57
9.	0,56
10.	0,58
$\bar{x}$ [mm]	0,57
s [mm]	0,02
v [%]	2,72

Príloha č. 3

Namerané hodnoty na prístroji ALAMBETA

Skušobný materiál č.1							
i	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	39,7	0,259	72,2	77,1	3,08	2,44	0,158
2	39,3	0,223	83,2	78,4	3,08	2,86	0,180
3	39,4	0,224	83,2	76,5	3,01	2,86	0,181
4	39,8	0,236	82,0	76,9	3,06	2,86	0,185
5	40,3	0,248	80,8	85,4	3,44	2,70	0,159
$\bar{x}$	39,70	0,238	80,28	78,86	3,13	2,74	0,173
s	0,394	0,016	4,625	3,725	0,173	0,184	0,013
v [%]	0,99	6,72	5,76	4,72	5,53	6,72	7,51

Skušobný materiál č.2							
i	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	40,0	0,174	95,8	69,0	2,76	3,00	0,215
2	40,2	0,196	90,7	68,6	2,76	2,81	0,203
3	39,8	0,161	99,0	68,4	2,72	3,01	0,217
4	39,9	0,175	95,5	68,0	2,71	2,94	0,214
5	39,8	0,197	89,6	71,9	2,86	2,87	0,196
$\bar{x}$	39,94	0,181	94,12	69,18	2,76	2,93	0,209
s	0,167	0,016	3,894	1,563	0,059	0,086	0,009
v [%]	0,42	8,84	4,14	2,26	2,14	2,94	4,31

Skušobný materiál č.3							
i	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	40,4	0,144	106	66,9	2,70	2,94	0,216
2	41,1	0,155	104	68,8	2,75	2,86	0,209
3	41,6	0,159	104	67,1	2,79	2,73	0,200
4	41,4	0,151	107	64,8	2,69	2,91	0,221
5	40,7	0,139	109	65,8	2,68	3,06	0,229
Ø	41,04	0,150	106	66,68	2,72	2,9	0,215
s	0,493	0,008	2,121	1,502	0,047	0,120	0,011
v [%]	1,2	5,33	2,00	2,25	1,73	4,14	5,12

Skušobný materiál č.4

i	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	39,4	0,198	88,6	69,2	2,73	2,79	0,199
2	40,1	0,170	97,2	65,2	2,61	3,03	0,225
3	39,3	0,184	91,7	64,2	2,52	2,79	0,212
4	39,9	0,217	85,7	66,8	2,66	2,65	0,197
5	39,6	0,160	99,0	62,7	2,48	3,04	0,237
$\bar{x}$	39,66	0,186	92,44	65,62	2,6	2,86	0,214
s	0,336	0,023	5,62	2,496	0,102	0,17	0,017
v [%]	0,85	12,37	6,08	3,80	3,92	5,94	7,94

Skušobný materiál č.5

i	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	41,2	0,166	101	61,5	2,53	2,80	0,223
2	40,7	0,149	105	63,4	2,58	2,96	0,229
3	41,2	0,184	96,2	61,7	2,54	2,74	0,214
4	40,5	0,160	102	60,9	2,47	2,87	0,226
5	40,4	0,165	99,5	62,6	2,53	2,89	0,224
$\bar{x}$	40,8	0,165	100,74	62,02	2,53	2,85	0,223
s	0,381	0,011	3,24	0,983	0,039	0,085	0,006
v [%]	0,93	6,67	3,22	1,59	1,54	2,98	2,69

Skušobný materiál č.6

i	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	38,5	0,152	98,6	62,2	2,40	2,86	0,226
2	38,9	0,150	100	60,6	2,36	2,99	0,240
3	39,2	0,142	104	58,6	2,30	2,86	0,236
4	38,8	0,153	99,1	63,3	2,46	2,86	0,220
5	38,3	0,145	101	60,9	2,34	3,01	0,240
$\bar{x}$	38,74	0,148	100,54	61,12	2,37	2,92	0,232
s	0,351	0,005	2,140	1,774	0,061	0,077	0,009
v [%]	0,91	3,38	2,13	2,90	2,57	2,64	3,88

Referenčná vzorka							
i	λ [W.m ¹ .K ¹].10 ⁻³	a [m ² .s ⁻¹]	b [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ K.m ²].10 ⁻³	h [mm]	p [l]	q [W.m ⁻²]
1	51,8	0,071	195	9,9	0,51	1,36	0,496
2	53,3	0,073	197	10,7	0,57	1,51	0,522
3	57,7	0,078	206	8,6	0,48	1,36	0,550
$\bar{x}$	54,27	0,074	199,33	9,73	0,52	1,41	0,523
s	3,07	0,004	5,86	1,06	0,046	0,087	0,027
v [%]	5,66	5,41	2,94	10,89	8,85	6,17	5,16

Príloha č. 4

Namerané hodnoty na prístroji Togmeter

Skúšaný materiál č. 1	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R_f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	311,4	306,5	302,1	310,9	304,5	303,1	0,07607	0,08159	0,00468	5,74
2.	311,4	306,6	302,0	310,8	304,5	303,1	0,08244			
3.	311,4	306,7	302,0	310,8	304,5	303,1	0,08711			
4.	311,4	306,7	302,1	310,8	304,5	303,1	0,08473			
5.	311,4	306,7	302,4	310,8	304,5	303,1	0,07758			

Skúšaný materiál č. 1	R_f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹]	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,07607	3,20	0,04207	0,03933	0,002269	5,77
2.	0,08244		0,03882			
3.	0,08711		0,03674			
4.	0,08473		0,03777			
5.	0,07758		0,04125			

Skúšaný materiál č. 2	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R_f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	311,3	306,3	302,1	310,8	304,4	303,1	0,07133	0,07455	0,00276	3,7
2.	311,3	306,4	302,2	310,8	304,4	303,1	0,07325			
3.	311,3	306,5	302,4	310,8	304,4	303,2	0,07467			
4.	311,4	306,6	302,5	310,8	304,4	303,2	0,07467			
5.	311,4	306,8	302,7	310,8	304,4	303,2	0,07883			

Skúšaný materiál č. 2	R_f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹].10 ⁻³	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,07133	3,05	0,04276	0,04096	0,001490	3,64
2.	0,07325		0,04164			
3.	0,07467		0,04085			
4.	0,07467		0,04085			
5.	0,07883		0,03869			

Skúšaný materiál č. 3	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R _f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	311,3	306,1	301,7	310,9	304,4	303,1	0,07237	0,06810	0,00269	3,95
2.	311,3	306,0	301,7	310,9	304,4	303,1	0,06847			
3.	311,3	306,2	302,1	310,9	304,4	303,1	0,06764			
4.	311,3	306,4	302,4	310,9	304,5	303,1	0,06693			
5.	311,4	306,4	302,4	310,9	304,5	303,1	0,06510			

Skúšaný materiál č. 3	R _f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹]	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,07237	2,90	0,04007	0,04263	0,001648	3,87
2.	0,06847		0,04235			
3.	0,06764		0,04287			
4.	0,06693		0,04333			
5.	0,06510		0,04455			

Skúšaný materiál č. 4	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R _f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	311,2	306,0	301,7	310,6	304,3	302,9	0,06773	0,06363	0,00327	5,14
2.	311,2	306,1	302,0	310,6	304,3	302,9	0,06515			
3.	311,3	306,3	302,3	310,6	304,3	302,9	0,06471			
4.	311,3	306,2	302,2	310,8	304,3	302,7	0,06027			
5.	311,3	306,2	302,2	310,8	304,3	302,7	0,06027			

Skúšaný materiál č. 4	R _f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹]	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,06773	2,80	0,04134	0,04410	0,002275	5,16
2.	0,06515		0,04298			
3.	0,06471		0,04327			
4.	0,06027		0,04646			
5.	0,06027		0,04646			

Skúšaný materiál č. 5	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R _f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	311,3	306,5	302,2	310,9	305,0	302,5	0,05288	0,06074	0,00831	13,68
2.	311,3	306,5	302,2	310,9	305,0	302,5	0,05288			
3.	311,4	306,8	302,0	310,9	305,0	302,5	0,06941			
4.	311,4	306,8	302,0	310,9	305,0	302,5	0,06941			
5.	311,4	306,2	302,3	310,6	304,3	302,9	0,05911			

Skúšaný materiál č. 5	R _f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹]	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,05288	2,70	0,05106	0,04512	0,006088	13,49
2.	0,05288		0,05106			
3.	0,06941		0,03890			
4.	0,06941		0,03890			
5.	0,05911		0,04568			

Skúšaný materiál č. 6	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R _f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	311,3	306,3	302,3	310,8	304,3	302,7	0,06203	0,06233	0,00110	1,76
2.	311,3	306,3	302,3	310,8	304,3	302,7	0,06203			
3.	311,3	306,5	302,5	310,8	304,4	302,7	0,06358			
4.	311,4	306,7	302,8	310,8	304,4	302,7	0,06319			
5.	311,4	306,7	302,9	310,8	304,4	302,7	0,06080			

Skúšaný materiál č. 6	R _f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹]	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,06203	2,45	0,03950	0,03932	0,000699	1,78
2.	0,06203		0,03950			
3.	0,06358		0,03853			
4.	0,06319		0,03877			
5.	0,06080		0,04030			

Referenčná vzorka	T1 [K]	T2 [K]	T3 [K]	T1' [K]	T2' [K]	T3' [K]	R _f [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	38,1	32,6	30,3	37,9	32,1	30,1	0,00822	0,00963	0,0012	12,46
2.	38,0	32,3	30,2	36,7	30,9	29,3	0,01037			
3.	38,2	32,7	30,7	39,0	30,9	28,7	0,01031			

Referenčná vzorka	R _f [m ² .K/W]	h [mm]	λ [W.m ¹ .K ⁻¹]	$\bar{x}$ [W.m ¹ .K ⁻¹]	s [W.m ¹ .K ⁻¹]	v [%]
1.	0,00822	0,57	0,06934	0,05987	0,0082	13,7
2.	0,01037		0,05497			
3.	0,01031		0,05529			

Príloha č.5

Namerané hodnoty na prístroji PSM-2

Skúšaný materiál	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
1.	0,081	0,060	0,068	0,063	0,051	0,048
2.	0,073	0,070	0,069	0,065	0,059	0,052
3.	0,072	0,070	0,070	0,056	0,052	0,049
4.	0,080	0,065	0,064	0,068	0,056	0,058
5.	0,072	0,070	0,062	0,062	0,054	0,051
$\bar{x}$ [m ² .K/W]	0,0756	0,067	0,0666	0,0628	0,0544	0,0516
s [m ² .K/W]	0,0045	0,0045	0,0034	0,0044	0,0032	0,0039
v [%]	5,95	6,72	5,11	7,01	5,88	7,56

Referenčná vzorka	R_{ct} [m ² .K/W]	$\bar{x}$ [m ² .K/W]	s [m ² .K/W]	v [%]
1.	0,012	0,012	0,001	8,33
2.	0,011			
3.	0,013			

Príloha č. 6

Namerané hodnoty na Statickej metóde

Skúšaný materiál č. 1																		
i	U ₁ [m.V]					U ₂ [m.V]					Δ T [m.V]							
											Namerané hodnoty					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	1,017	1,016	1,015	1,017	1,017	0,299	0,298	0,299	0,298	0,298	7,306	7,282	7,306	7,282	7,282	7,289200	0,011593	0,159044
	1,014	1,015	1,016	1,014	1,017	0,298	0,298	0,299	0,298	0,298	7,282	7,282	7,306	7,282	7,282			
2.	0,998	0,997	0,996	0,997	0,997	0,298	0,298	0,298	0,297	0,298	7,282	7,282	7,282	7,258	7,282	7,277200	0,010119	0,140150
	0,995	0,996	0,997	0,996	0,997	0,297	0,298	0,298	0,298	0,298	7,258	7,282	7,282	7,282	7,282			
3.	1,013	1,013	1,013	1,011	1,014	0,295	0,294	0,295	0,294	0,294	7,210	7,186	7,210	7,186	7,186	7,198000	0,012649	0,175729
	1,011	1,013	1,011	1,012	1,013	0,295	0,294	0,295	0,295	0,294	7,210	7,186	7,210	7,210	7,186			
4.	0,986	0,987	0,985	0,987	0,985	0,293	0,292	0,292	0,292	0,293	7,162	7,138	7,138	7,138	7,138	7,145200	0,011593	0,162249
	0,986	0,986	0,987	0,986	0,986	0,292	0,293	0,292	0,292	0,292	7,138	7,162	7,138	7,138	7,162			
5.	0,988	0,989	0,988	0,988	0,987	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	7,090	7,090	7,090	7,090	7,090	7,090000	0,000000	0,000000
	0,987	0,986	0,987	0,987	0,986	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	7,090	7,090	7,090	7,090	7,090			

Skúšaný materiál č. 1																
i	λ_{ef} [W.m ¹ .K ⁻¹]					$\bar{x}$	s	v [%]	R [W ⁻¹ .K.m ²]					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	0,03712	0,03721	0,03705	0,03725	0,03725	0,03718	0,000071	0,190963	0,08621	0,08600	0,08637	0,08591	0,08591	0,08610	0,000164	0,190476
	0,03714	0,03717	0,03709	0,03714	0,03725				0,08616	0,08609	0,08628	0,08616	0,08591			
2.	0,03655	0,03651	0,03648	0,03663	0,03651	0,03652	0,000047	0,128697	0,08755	0,08765	0,08772	0,08736	0,08765	0,08762	0,000113	0,128966
	0,03656	0,03648	0,03651	0,03648	0,03651				0,08753	0,08772	0,08765	0,08772	0,08765			
3.	0,03747	0,03759	0,03747	0,03752	0,03763	0,03751	0,000087	0,231938	0,08540	0,08513	0,08540	0,08529	0,08504	0,08531	0,000196	0,229750
	0,03740	0,03759	0,03740	0,03743	0,03759				0,08556	0,08513	0,08556	0,08549	0,08513			
4.	0,03672	0,03688	0,03680	0,03688	0,03680	0,03681	0,000067	0,182016	0,08715	0,08677	0,08696	0,08677	0,08696	0,08694	0,000161	0,185185
	0,03684	0,03672	0,03688	0,03684	0,03672				0,08686	0,08715	0,08677	0,08686	0,08715			
5.	0,03716	0,03720	0,03716	0,03716	0,03713	0,03714	0,000034	0,091546	0,08611	0,08593	0,08611	0,08611	0,08618	0,08615	0,000100	0,116077
	0,03713	0,03709	0,03713	0,03713	0,03709				0,08618	0,08628	0,08618	0,08618	0,08628			

Tepelná vodivosť - λ_{ef}

$\bar{x} = 0,03703$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $s = 0,000379$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $v = 1,023494$ [%]

Tepelný odpor - R

$\bar{x} = 0,08642$ [W⁻¹.K.m²] $s = 0,000883$ [W⁻¹.K.m²] $v = 1,021754$ [%]

Skúšaný materiál č.2																		
i	U ₁ [m.V]					U ₂ [m.V]					Δ T [m.V]					$\bar{x}$	s	v [%]
											Namerané hodnoty							
1.	1.145	1,148	1.150	1,152	1.150	0,319	0,320	0,320	0,320	0.320	7,787	7,811	7,811	7,811	7.811	7,803800	0,011593	0,148556
	1.147	1,149	1.150	1,150	1.152	0,319	0,320	0,320	0,319	0.320	7,787	7,811	7,811	7,787	7.811			
2.	1,219	1,224	1,224	1,225	1,226	0,333	0,333	0,333	0,334	0,333	8,124	8,124	8,124	8,148	8,124	8,131200	0,011593	0,142574
	1,220	1,224	1,224	1,226	1,224	0,333	0,333	0,334	0,334	0,333	8,124	8,124	8,148	8,148	8,124			
3.	1,288	1,290	1,293	1,298	1,298	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	8,341	8,341	8,341	8,341	8,341	8,336200	0,010119	0,121386
	1,286	1,293	1,297	1,298	1,299	0,341	0,342	0,342	0,341	0,342	8,317	8,341	8,341	8,317	8,341			
4.	1,308	1,306	1,306	1,310	1,308	0,345	0,346	0,345	0,346	0,346	8,413	8,437	8,413	8,437	8,437	8,422600	0,012394	0,147152
	1,309	1,310	1,310	1,309	1,309	0,345	0,345	0,345	0,345	0,346	8,413	8,413	8,413	8,413	8,437			
5.	1,287	1,288	1,284	1,288	1,288	0,347	0,347	0,347	0,347	0,347	8,461	8,461	8,461	8,461	8,461	8,456200	0,010119	0,119664
	1,286	1,285	1,287	1,288	1,288	0,347	0,347	0,346	0,346	0,347	8,461	8,461	8,437	8,437	8,461			

Skúšaný materiál č.2																
i	λ_{ef} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]					$\bar{x}$	s	v [%]	R [W ⁻¹ .K.m ²]					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	0,03738	0,03736	0,03742	0,03749	0,03742	0,03744	0,000056	0,149573	0,08159	0,08163	0,08151	0,08136	0,08151	0,08148	0,000119	0,146048
	0,03744	0,03739	0,03742	0,03754	0,03749				0,08146	0,08157	0,08151	0,08125	0,08136			
2.	0,03814	0,03830	0,03830	0,03822	0,03836	0,03825	0,000072	0,188235	0,07997	0,07963	0,07963	0,07980	0,07951	0,07973	0,000151	0,189389
	0,03817	0,03830	0,03818	0,03825	0,03830				0,07991	0,07963	0,07988	0,07974	0,07963			
3.	0,03925	0,03931	0,03940	0,03956	0,03956	0,03946	0,000143	0,362392	0,07771	0,07759	0,07741	0,07710	0,07710	0,07730	0,000281	0,363519
	0,03931	0,03940	0,03953	0,03967	0,03959				0,07759	0,07741	0,07714	0,07688	0,07704			
4.	0,03952	0,03935	0,03946	0,03947	0,03941	0,03949	0,000078	0,197518	0,07718	0,07751	0,07729	0,07727	0,07739	0,07723	0,000150	0,194225
	0,03955	0,03958	0,03958	0,03955	0,03944				0,07712	0,07706	0,07706	0,07712	0,07733			
5.	0,03866	0,03869	0,03857	0,03869	0,03869	0,03868	0,000070	0,180972	0,07889	0,07883	0,07908	0,07883	0,07883	0,07885	0,000143	0,181357
	0,03863	0,03860	0,03877	0,03880	0,03869				0,07895	0,07902	0,07867	0,07861	0,07883			

Tepelná vodivosť - λ_{ef}

$\bar{x} = 0,03866$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $s = 0,000864$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $v = 2,234868$ [%]

Tepelný odpor - R

$\bar{x} = 0,07892$ [W⁻¹.K.m²] $s = 0,001782$ [W⁻¹.K.m²] $v = 2,257983$ [%]

Skúšaný materiál č.3																		
i	U ₁ [m.V]					U ₂ [m.V]					Δ T [m.V]							
											Namerané hodnoty					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	1.202	1,198	1,198	1,198	1,197	0,304	0,304	0,305	0,305	0.305	7,426	7,426	7,450	7,450	7.450	7,438000	0,012649	0,170059
	1.200	1,198	1,199	1,196	1,196	0,305	0,304	0,304	0,305	0.304	7,450	7,426	7,426	7,450	7.426			
2.	1,176	1,175	1,176	1,176	1,174	0,304	0,304	0,304	0,304	0,305	7,426	7,426	7,426	7,426	7,450	7,430800	0,010119	0,136176
	1,175	1,176	1,175	1,174	1,174	0,305	0,304	0,304	0,304	0,304	7,450	7,426	7,426	7,426	7,426			
3.	1,167	1,167	1,167	1,166	1,167	0,302	0,303	0,303	0,303	0,303	7,378	7,402	7,402	7,402	7,402	7,399600	0,007595	0,102641
	1,167	1,167	1,166	1,166	1,167	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	7,402	7,402	7,402	7,402	7,402			
4.	1,178	1,176	1,175	1,175	1,178	0,303	0,304	0,303	0,304	0,304	7,402	7,426	7,402	7,426	7,426	7,418800	0,011593	0,156265
	1,178	1,176	1,175	1,176	1,178	0,304	0,303	0,304	0,304	0,304	7,426	7,402	7,426	7,426	7,426			
5.	1,146	1,143	1,145	1,146	1,142	0,297	0,297	0,297	0,298	0,298	7,258	7,258	7,258	7,282	7,282	7,267600	0,012394	0,170538
	1,145	1,143	1,145	1,143	1,143	0,297	0,298	0,297	0,298	0,297	7,258	7,282	7,258	7,282	7,258			

Skúšaný materiál č. 3																
i	λ_{ef} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]					$\bar{x}$	s	v [%]	R [W ⁻¹ .K.m ²]					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	0,03912	0,03899	0,03886	0,03886	0,03883	0,03893	0,000099	0,254303	0,07413	0,07438	0,07463	0,07463	0,07468	0,07449	0,000189	0,253725
	0,03893	0,03899	0,03902	0,03880	0,03893				0,07449	0,07438	0,07432	0,07474	0,07449			
2.	0,03827	0,03824	0,03827	0,03827	0,03809	0,03822	0,000065	0,170068	0,07578	0,07584	0,07578	0,07578	0,07614	0,07590	0,00014	0,184453
	0,03812	0,03827	0,03824	0,03821	0,03821				0,07608	0,07578	0,07584	0,07590	0,07590			
3.	0,03823	0,03810	0,03810	0,03807	0,03810	0,03810	0,000046	0,120735	0,07586	0,07612	0,07612	0,07618	0,07612	0,07611	0,000105	0,137958
	0,03810	0,03810	0,03807	0,03807	0,03810				0,07612	0,07612	0,07618	0,07618	0,07612			
4.	0,03846	0,03827	0,03837	0,03824	0,03834	0,03833	0,000072	0,187842	0,07540	0,07578	0,07558	0,07584	0,07564	0,07567	0,000148	0,195586
	0,03834	0,03840	0,03824	0,03827	0,03834				0,07564	0,07552	0,07584	0,07578	0,07564			
5.	0,03816	0,03806	0,03813	0,03804	0,03790	0,03825	0,000633	1,654902	0,07600	0,07620	0,07606	0,07624	0,07652	0,07620	0,000193	0,253281
	0,03813	0,03794	0,03813	0,03794	0,03806				0,07606	0,07644	0,07606	0,07644	0,07620			

Tepelná vodivosť - λ_{ef}

$\bar{x} = 0,03837$ [W.m⁻¹.K⁻¹] s = 0,000326[W.m⁻¹.K⁻¹] v = 0,849622 [%]

Tepelný odpor - R

$\bar{x} = 0,07567$ [W⁻¹.K.m²] s = 0,000693 [W⁻¹.K.m²] v = 0,9158819 [%]

Skúšaná materiál č. 4																		
i	U _I [m.V]					U ₂ [m.V]					Δ T [m.V]							
											Namerané hodnoty					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	1,266	1,266	1,266	1,266	1,264	0,334	0,335	0,335	0,334	0,334	8,148	8,172	8,172	8,148	8,148	8,160000	0,012649	0,155012
	1,265	1,265	1,266	1,265	1,264	0,335	0,335	0,335	0,334	0,334	8,172	8,172	8,172	8,148	8,148			
2.	1,278	1,278	1,280	1,281	1,282	0,332	0,332	0,332	0,332	0,332	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,097600	0,017709	0,218694
	1,279	1,280	1,280	1,279	1,281	0,330	0,333	0,332	0,332	0,332	8,052	8,124	8,100	8,100	8,100			
3.	1,230	1,232	1,232	1,230	1,232	0,333	0,332	0,332	0,331	0,332	8,124	8,100	8,100	8,076	8,100	8,100000	0,011314	0,139679
	1,232	1,232	1,230	1,232	1,230	0,332	0,332	0,332	0,332	0,332	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100			
4.	1,278	1,278	1,279	1,280	1,281	0,331	0,330	0,330	0,330	0,330	8,076	8,052	8,052	8,052	8,052	8,056800	0,010119	0,125596
	1,276	1,278	1,278	1,281	1,282	0,331	0,330	0,330	0,330	0,330	8,076	8,052	8,052	8,052	8,052			
5.	1,268	1,268	1,269	1,271	1,271	0,333	0,333	0,333	0,334	0,333	8,124	8,124	8,124	8,148	8,124	8,136000	0,012649	0,155470
	1,269	1,268	1,270	1,270	1,271	0,334	0,334	0,334	0,334	0,333	8,148	8,148	8,148	8,148	8,124			

Skúšaný materiál č. 4																
i	λ _{ef} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]					λ̄	s	v [%]	R [W ⁻¹ .K.m ²]					λ̄	s	v [%]
1.	0,03626	0,03615	0,03615	0,03626	0,03620	0,03618	0,000054	0,149254	0,07722	0,07746	0,07746	0,07722	0,07735	0,07738	0,000116	0,149910
	0,03612	0,03612	0,03615	0,03623	0,03620				0,07752	0,07752	0,07746	0,07728	0,07735			
2.	0,03682	0,03682	0,03688	0,03690	0,03693	0,03688	0,000081	0,219631	0,07605	0,07605	0,07592	0,07588	0,07582	0,07592	0,000169	0,222603
	0,03707	0,03677	0,03688	0,03685	0,03690				0,07553	0,07615	0,07592	0,07598	0,07588			
3.	0,03533	0,03549	0,03549	0,03554	0,03549	0,03547	0,000056	0,157880	0,07925	0,07890	0,07890	0,07878	0,07890	0,07895	0,000125	0,158328
	0,03549	0,03549	0,03544	0,03549	0,03544				0,07890	0,07890	0,07901	0,07890	0,07901			
4.	0,03693	0,03704	0,03707	0,03710	0,03712	0,03705	0,000088	0,237517	0,07582	0,07559	0,07553	0,07547	0,07543	0,07558	0,00018	0,238158
	0,03687	0,03704	0,03704	0,03712	0,03715				0,07594	0,07559	0,07559	0,07543	0,07537			
5.	0,03642	0,03642	0,03645	0,03640	0,03651	0,03641	0,000067	0,184015	0,07688	0,07688	0,07682	0,07692	0,07669	0,07690	0,000141	0,183355
	0,03634	0,03631	0,03637	0,03637	0,03651				0,07705	0,07711	0,07699	0,07699	0,07669			

Tepelná vodivosť - λ_{ef}

λ̄ = 0,03640 [W.m⁻¹.K⁻¹] s = 0,000626[W.m⁻¹.K⁻¹] v = 1,719780 [%]

Tepelný odpor - R

λ̄ = 0,07695 [W⁻¹.K.m²] s = 0,001335 [W⁻¹.K.m²] v = 1,734893 [%]

Skúšaný materiál č.5																		
i	U ₁ [m.V]					U ₂ [m.V]					Δ T [m.V]							
											Namerané hodnoty					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	1.502	1,501	1.500	1,501	1.502	0,338	0,338	0,339	0,338	0.338	8,244	8,244	8,268	8,244	8.244	8,253600	0,012394	0,150165
	1.499	1,500	1.503	1,500	1.499	0,339	0,339	0,339	0,338	0.338	8,268	8,268	8,268	8,244	8.244			
2.	1.463	1,462	1.464	1,466	1.466	0,340	0,339	0,339	0,339	0.338	8,293	8,268	8,268	8,268	8.244	8,268100	0,011551	0,139706
	1.463	1,463	1.464	1,466	1.467	0,339	0,339	0,339	0,339	0.339	8,268	8,268	8,268	8,268	8.268			
3.	1.492	1,492	1.491	1,489	1.492	0,336	0,337	0,337	0,336	0.336	8,196	8,220	8,220	8,196	8.196	8,208000	0,012649	0,154106
	1.491	1,494	1.489	1,491	1.490	0,337	0,337	0,337	0,336	0.336	8,220	8,220	8,220	8,196	8.196			
4.	1.458	1,457	1.456	1,456	1.455	0,336	0,336	0,335	0,335	0.335	8,196	8,196	8,172	8,172	8.172	8,179200	0,011593	0,141738
	1.457	1,456	1.455	1,455	1.454	0,336	0,335	0,335	0,335	0.335	8,196	8,172	8,172	8,172	8.172			
5.	1.422	1,419	1.420	1,420	1.419	0,332	0,333	0,332	0,332	0.332	8,100	8,124	8,100	8,100	8.100	8,104800	0,010119	0,124852
	1.418	1,419	1.422	1,420	1.419	0,333	0,332	0,332	0,332	0.332	8,124	8,100	8,100	8,100	8.100			

Skúšaný materiál č. 5																
i	λ_{ef} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]					$\bar{x}$	s	v [%]	R [W ⁻¹ .K.m ²]					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	0,04100	0,04097	0,04082	0,04097	0,04100	0,04092	0,000076	0,185728	0,06585	0,06590	0,06614	0,06590	0,06585	0,06599	0,000124	0,187907
	0,04080	0,04082	0,04091	0,04094	0,04092				0,06618	0,06614	0,06600	0,06595	0,06598			
2.	0,03970	0,03979	0,03984	0,03990	0,04001	0,03986	0,000085	0,213246	0,06801	0,06786	0,06777	0,06767	0,06748	0,06775	0,000145	0,214022
	0,03982	0,03982	0,03984	0,03990	0,03993				0,06781	0,06781	0,06777	0,06767	0,06762			
3.	0,04096	0,04084	0,04082	0,04088	0,04096	0,04088	0,000066	0,161448	0,06592	0,06611	0,06614	0,06605	0,06592	0,06605	0,000106	0,160484
	0,04082	0,04090	0,04076	0,04093	0,04091				0,06614	0,06601	0,06624	0,06597	0,06600			
4.	0,04003	0,04000	0,04009	0,04009	0,04006	0,04005	0,000034	0,084894	0,06745	0,06750	0,06735	0,06735	0,06740	0,06741	0,000057	0,084557
	0,04000	0,04009	0,04006	0,04006	0,04004				0,06750	0,06735	0,06740	0,06740	0,06743			
5.	0,03950	0,03930	0,03945	0,03945	0,03942	0,03942	0,000074	0,187722	0,06835	0,06870	0,06844	0,06844	0,06849	0,06849	0,000130	0,189809
	0,03928	0,03942	0,03950	0,03945	0,03942				0,06874	0,06849	0,06835	0,06844	0,06849			

Tepelná vodivosť - λ_{ef}

$\bar{x} = 0,04023$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $s = 0,000656$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $v = 1,630624$ [%]

Tepelný odpor - R

$\bar{x} = 0,06714$ [W⁻¹.K.m²] $s = 0,001093$ [W⁻¹.K.m²] $v = 1,627942$ [%]

Skúšaný materiál č. 6																		
i	U ₁ [m.V]					U ₂ [m.V]					Δ T [m.V]							
											Namerané hodnoty					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	1,336	1,337	1,337	1,338	1,336	0,327	0,326	0,325	0,325	0,324	7,980	7,956	7,932	7,932	7,908	7,939200	0,022768	0,298042
	1,337	1,336	1,337	1,337	1,337	0,326	0,326	0,325	0,325	0,324	7,956	7,956	7,932	7,932	7,908			
2.	1,345	1,344	1,345	1,344	1,343	0,323	0,323	0,324	0,323	0,323	7,884	7,884	7,908	7,884	7,884	7,888800	0,010119	0,128270
	1,346	1,344	1,346	1,343	1,343	0,323	0,323	0,324	0,323	0,323	7,884	7,884	7,908	7,884	7,884			
3.	1,342	1,344	1,344	1,340	1,343	0,323	0,322	0,323	0,323	0,323	7,884	7,859	7,884	7,884	7,884	7,876500	0,012076	0,153317
	1,342	1,344	1,343	1,344	1,342	0,323	0,323	0,323	0,322	0,322	7,884	7,884	7,884	7,859	7,859			
4.	1,338	1,338	1,338	1,338	1,338	0,321	0,322	0,321	0,322	0,320	7,835	7,859	7,835	7,859	7,811	7,844600	0,016781	0,213918
	1,336	1,338	1,336	1,336	1,336	0,322	0,322	0,322	0,321	0,321	7,859	7,859	7,859	7,835	7,835			
5.	1,338	1,337	1,338	1,337	1,337	0,321	0,321	0,320	0,321	0,320	7,835	7,835	7,811	7,835	7,811	7,823000	0,012649	0,161690
	1,337	1,337	1,337	1,337	1,337	0,321	0,320	0,320	0,320	0,321	7,835	7,811	7,811	7,811	7,835			

Skúšaný materiál č. 6																
i	λ_{ef} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]					$\bar{x}$	s	v	R [W ⁻¹ .K.m ²]					$\bar{x}$	s	v [%]
1.	0,03418	0,03431	0,03442	0,03444	0,03450	0,03438	0,000106	0,308319	0,07168	0,07141	0,07118	0,07114	0,07101	0,07126	0,000221	0,310132
	0,03431	0,03429	0,03442	0,03442	0,03452				0,07141	0,07145	0,07118	0,07118	0,07097			
2.	0,03483	0,03481	0,03473	0,03481	0,03478	0,03479	0,000038	0,109227	0,07034	0,07038	0,07054	0,07038	0,07044	0,07041	0,000076	0,107939
	0,03486	0,03481	0,03475	0,03478	0,03478				0,07028	0,07038	0,07050	0,07044	0,07044			
3.	0,03476	0,03492	0,03481	0,03470	0,03478	0,03481	0,000072	0,206837	0,07048	0,07016	0,07038	0,07061	0,07044	0,07038	0,000146	0,207445
	0,03476	0,03481	0,03478	0,03492	0,03487				0,07048	0,07038	0,07044	0,07016	0,07026			
4.	0,03487	0,03476	0,03487	0,03476	0,03498	0,03481	0,000084	0,241310	0,07026	0,07048	0,07026	0,07048	0,07004	0,07039	0,000168	0,238670
	0,03471	0,03476	0,03471	0,03482	0,03482				0,07058	0,07048	0,07058	0,07036	0,07036			
5.	0,03487	0,03484	0,03498	0,03484	0,03495	0,03490	0,000059	0,169054	0,07026	0,07032	0,07004	0,07032	0,07010	0,07020	0,000119	0,169516
	0,03484	0,03495	0,03495	0,03495	0,03484				0,07032	0,07010	0,07010	0,07010	0,07032			

Tepelná vodivosť - λ_{ef}

$\bar{x} = 0,03474$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $s = 0,000205$ [W.m⁻¹.K⁻¹] $v = 0,590098$ [%]

Tepelný odpor - R

$\bar{x} = 0,07053$ [W⁻¹.K.m²] $s = 0,000418$ [W⁻¹.K.m²] $v = 0,592656$ [%]

