

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní materiálové inženýrství

Zaměření: Řízení jakosti

**METODIKA MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI
PLOŠNÝCH TEXTILIÍ
METHODOLOGY MEASUREMENT OF THERMAL
CONDUCTIVITY OF FLAT TEXTILES**

Bc. Jitka Sitteová

KTM – 551

Vedoucí práce: Ing. Miroslava Maršálková, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu: 79

Počet obrázků: 30

Počet tabulek: 11

Počet příloh: 11

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 10. května 2010

Bc. Jitka Sitteová

Poděkování

Dovoluji si touto cestou poděkovat vedoucí této diplomové práce Ing. Miroslavě Maršákové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky. Děkuji také všem pracovníkům laboratoří za ochotu a pomocnou ruku.

Anotace

Téma této diplomové práce je zaměřeno na tepelnou vodivost plošných textilií a metody určené k jejímu měření s co největší přesností.

Práce je rozdělena na tři základní úseky: na teoretickou část, experimentální část, a na výsledky měření a diskuze.

V první části je zmíněn vývoj měřících přístrojů a metod, od historických až po moderní metody, které slouží k zjištění tepelné vodivosti plošných textilií. Jsou popsány i přístroje dostupné na Technické univerzitě v Liberci. Samostatná kapitola je věnována plošným textiliím, jejich rozdělení, vysvětlení základních vlastností, způsobům výroby a zpracování. Dále jsou v této části práce vysvětleny základní tepelně izolační vlastnosti, mezi které se kromě tepelné vodivosti, které je věnována samostatná kapitola, řadí tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelná jímavost a měrná tepelná kapacita. V této kapitole jsou také uvedeny a vysvětleny faktory, které měření tepelné vodivosti mohou ovlivňovat.

Experimentální část práce je zaměřena na popis jednotlivých zkušebních vzorků, které mají zastoupení v řadách syntetických a přírodních vláken. Dále je zde pozornost věnována metodikám měření na přístrojích dostupných v rámci Technické Univerzity v Liberci.

Ve třetí části jsou uvedeny naměřené hodnoty, které jsou graficky znázorněny. Dále jsou diskutovány výsledky měření i případné nedostatky jednotlivých měřících metod.

Klíčová slova:

Tepelná vodivost

Tepelně izolační vlastnosti

Plošné textilie

Annotation

The topic of this diploma work is focused on thermal conductivity of flat textiles and methods used for its measurement with the most accurate precision.

The work is divided into three basic sections: the theoretical part, the experimental part and the measurement results and discussion.

In first part the development of measuring instruments and methods are mentioned from historical to modern methods used to determine the thermal conductivity of flat textiles. The instruments available on Technical University in Liberec are also described. A separate chapter is devoted to flat textiles, their distribution, explanation of the basic properties and modes of production and processing. Further in this part of the work are explained the basic thermal insulating properties that in addition to the thermal conductivity which is described in separate chapter are thermal resistance, temperature conductivity, thermal capacity and specific thermal capacity. In this chapter are also listed and explained the factors which may affect the measurement of thermal conductivity.

The experimental part is focused on the description of individual specimens which are represented in the ranks of synthetic and natural fibers. The attention is also paid to the measurement methodologies on instruments available at the Technical University in Liberec.

In the third part are listed the measured values which are graphically displayed. The measurement results and possible shortcomings of measurement methods are also discussed.

Key words:

Thermal conductivity

Thermal insulating properties

Flat Textiles

Obsah:

1	Úvod	11
2	Teoretická část	12
2.1	Vývoj měřicích přístrojů a metod k zjišťování tepelné vodivosti	12
2.2	Vybrané měřicí přístroje a metody	16
2.2.1	<i>Poensgenova desková metoda</i>	16
2.2.2	<i>Bockova desková metoda</i>	17
2.2.3	<i>Zkušební metoda dle Kawabaty a Yondey</i>	19
2.2.4	<i>Alambeta</i>	19
2.2.5	<i>Togmeter SDL M 259</i>	21
2.2.6	<i>TP-2</i>	22
2.2.7	<i>Statická metoda</i>	23
2.2.8	<i>Dynamická metoda</i>	25
2.3	Plošné textilie	27
2.3.1	<i>Tkaniny</i>	28
2.3.2	<i>Pleteniny</i>	29
2.3.3	<i>Netkané textilie</i>	29
2.4	Tepelně izolační vlastnosti	30
2.4.1	<i>Tepelný odpor</i>	31
2.4.2	<i>Teplotní vodivost</i>	31
2.4.3	<i>Tepelná jímavost</i>	32
2.4.4	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	32
2.5	Tepelná vodivost	33
2.5.1	<i>Vliv jemnosti použitých vláken</i>	35
2.5.2	<i>Vliv zaplnění a objemové hmotnosti</i>	35
2.5.3	<i>Vliv teploty</i>	36
2.5.4	<i>Vliv vlhkosti</i>	36
2.5.5	<i>Vliv směru tepelného toku</i>	36
3	Experimentální část	38
3.1	Popis zkoumaných plošných textilií	39

3.1.1	Tkaniny.....	39
3.1.2	Pleteniny	41
3.1.3	Netkané textilie	43
3.2	Metodika experimentů	45
3.2.1	Metodika měření na přístroji TP-2	45
3.2.2	Metodika měření na přístroji Alambeta	46
3.2.3	Metodika měření na přístroji Togmeter SDL M 259	49
3.2.4	Metodika měření statickou metodou	50
4	Výsledky a diskuze.....	52
4.1	Zhodnocení tepelné vodivosti tkanin	52
4.2	Zhodnocení tepelné vodivosti pletenin	57
4.3	Zhodnocení tepelné vodivosti netkaných textilií	62
4.4	Vzájemné porovnání tepelné vodivosti jedné vrstvy a dvou vrstev plošných textilií.	67
4.5	Porovnání hodnot tepelné vodivosti všech plošných textilií na přístroji Alambeta	71
4.6	Závislost tepelné vodivosti plošných textilií na jejich prodyšnosti	73
4.6.1	Prodyšnost	73
5	Závěr.....	77
	Použitá literatura	80
	Seznam tabulek	82
	Seznam obrázků.....	83
	Seznam příloh	85

Seznam použitých zkratk:

PES ... polyester

$D_{o, u}$... dostava osnovních, útkových nití [m^{-1}]

$H_{s,ř}$... hustota sloupků, řádku [m^{-1}]

Seznam fyzikálních veličin:

B ... tepelná propustnost [$W m^{-2} K^{-1}$]

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

c ... tepelná kapacita [$J kg^{-1} K^{-1}$]

d ... průměr [m]

h ... tloušťka [m]

K ... empirická konstanta

m ... hmotnost [kg]

P ... pórovitost [%]

p ... poměr maximálního a ustáleného tepelného toku [-]

Q ... teplo [J]

ΔQ ... tepelná výměna [J]

q ... tepelný tok [$W m^{-2}$]

R ... tepelný odpor [$m^2 K W^{-1}$]

S ... plocha [m^2]

T ... jemnost [tex]

t ... teplota [K], [°C]

Δt ... rozdíl teplot [K], [°C]

$grad\ t$... gradient teploty [$m\ K^{-1}$]

U ... napětí [V]

α ... teplotní vodivost [$m^2\ s^{-1}$]

λ ... tepelná vodivost [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]

ρ ... hustota [$kg\ m^{-3}$]

ρ_s ... plošná měrná hmotnost [$kg\ m^{-2}$]

ρ_v ... objemová měrná hmotnost [$kg\ m^{-3}$]

φ ... relativní vlhkost [%]

τ ... jednotka času [s]

Seznam statistických veličin:

r ... korelační koeficient

s ... směrodatná odchylka

v ... variační koeficient [%]

1 Úvod

Tepelné vlastnosti textilií patří k jejich nejdůležitějším vlastnostem, proto je jejich znalost důležitou podmínkou úspěšné konstrukce oděvních a tepelně-izolačních textilií. Tepelná vodivost, spolu s tepelným odporem, tepelnou jímavostí a tepelným tokem patří mezi nejdůležitější tepelně-izolační vlastnosti. Tyto veličiny spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují.

S tepelnými charakteristikami plošných textilií se setkáváme v běžném životě jak v oděvním průmyslu při nošení běžného ošacení či obuvi, tak i v jiných průmyslových odvětvích s technickým využitím, například při izolování budov, střech, nebo i v nábytkářském sektoru.

Na téma měření tepelné vodivosti byly vypracovány mnohé výzkumy a pojednání, týkaly se však technického hlediska měřicích přístrojů, nikoli jednotlivých druhů textilií. Práce nepopisovaly vlastnosti zkoumaných textilií, jejich strukturu, materiálové složení, vazbu atd., proto tyto závěry nemají pro textilní průmysl příliš význam.

Cílem této práce je vyhledat přístroje k měření tepelné vodivosti textilií, teoreticky vysvětlit jejich princip a nalézt faktory, které měření ovlivňují. Tyto poznatky jsou zjišťovány pomocí experimentu. Hlavními požadavky při měření tepelné vodivosti plošných textilií kladenými na měřicí metody jsou rychlost, spolehlivost, reprodukovatelnost výsledků a dostatečná přesnost.

2 Teoretická část

V této kapitole je pozornost věnována měřicím přístrojům a metodám, které slouží k zjištění tepelné vodivosti plošných textilií. Je zde popsána původní desková metoda dle Poensgena, na jejímž principu se postupně vyvíjely další měřicí zařízení jak ve světě, tak i u nás.

Podstatná část této kapitoly se zabývá přístroji dostupnými na Technické univerzitě v Liberci, u kterých je vysvětlen základní princip jejich fungování.

Další kapitola je zaměřena na samostatné plošné textilie, jejich rozdělení a vysvětlení, čím se od sebe navzájem liší. Jsou popsány základní vlastnosti těchto textilií, způsob jejich výroby a zpracování, a dále je stručně nastíněn jejich vývoj i současná situace.

V této části práce jsou dále popsány tepelně izolační vlastnosti, které jsou charakterizovány tepelnou vodivostí. Vedle tepelné vodivosti se mezi tyto parametry zařazují tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelná jímavost a měrná tepelná kapacita.

Samostatná kapitola je věnována právě tepelné vodivosti a faktorům, které mohou měření ovlivňovat, neboť na tuto vlastnost je práce zaměřena.

2.1 Vývoj měřicích přístrojů a metod k zjišťování tepelné vodivosti

Měření tepelné vodivosti probíhá buď za stacionárních podmínek (metody ustáleného toku tepla), nebo nestacionárních podmínek (metody neustáleného toku tepla), podle toho, zda se teplota v čase mění nebo ne.

- Stacionární metody jsou principiálně velmi jednoduché a jejich základní podmínkou je, že celé přiváděné teplo musí projít vzorkem při ustáleném stavu bez ztrát. K největším přednostem patří především přesnost a snadná kontrola měření, proto je většina měření prováděna právě touto

metodou. Nevýhodou je časová náročnost, kvůli dosažení ustáleného stavu. Při měření se zjišťuje tloušťka vzorku, teplota vyhřívaného i chladnějšího povrchu a množství tepla, které projde vzorkem. Na starších přístrojích se toto množství tepla určovalo z množství přiváděné kapaliny a jejího oteplení nebo ochlazení, dnes se zjišťuje převodem elektrické energie spotřebované ve vyhřívacím zařízení.

- Nestacionární metody měření jsou charakteristické zejména změnou teploty při měření, což je hlavní nevýhoda, neboť je potřeba změřit teplotu alespoň ve dvou časových okamžicích. Výhodou tohoto měření je časová nenáročnost a fakt, že tepelné ztráty zde nemají tak velký význam jako při stacionárním měření. [1, 2]

Pro výběr vhodné metody je proto potřeba zvážit:

- požadavky na přesnost měření – podle nároků na přesnost se rozhoduje, zda používat složité laboratorní metody, které zabírají mnoho času
- požadavky na rychlost měření – pro měření velkého počtu vzorků se nehodí zdlouhavé stacionární metody
- požadavky na tvar vzorků – za stacionárních podmínek se postupně vyvinuly metody desky, koule, válce a elipsoidu; v nestacionárních metodách lze použít i vzorky nedefinovaného tvaru
- okolnosti měření – je potřeba dbát na speciální podmínky měření, například při velmi nízkých nebo vysokých teplotách [1]

Původní stacionární metodou měření tepelné vodivosti desky je *metoda dle Poensgena* (viz kapitola 2.2.1), která byla později vyvinuta *Dr. Bockem* (viz kapitola 2.2.2). Přístroje měří tepelnou vodivost vzorků ve tvaru desek, kolmým průtokem tepla z vyhřívaného panelu vrstvami zkoušeného vzorku k chladícím panelům.

Z původní Poensgenovy metody byly sestrojeny mnohé měřicí zařízení, přičemž základní způsob měření zůstal stejný, lišilo se jen uspořádání výhřevných a chladících desek a vzorků. Mezi tyto přístroje lze jmenovat *Poensgenův jednostranný přístroj*,

který je podobný původní deskové metodě, avšak místo dvou zkušebních desek se používá jen jedna. Dalšími zařízeními jsou například *Cammererův přístroj* založený na jednostranném toku tepla v rozmezí od 50 do 150 °C, nebo *Raischův přístroj* přizpůsobený měření při vyšších teplotách, až do 1200 °C. [2]

Další metoda měření tepelné vodivosti textilií byla vyvinuta na Technické univerzitě v německém Chemnitzu. Její princip spočívá v příkonu ploché topné vložky obklopené z obou stran textilním vzorkem, zbývající plochy vzorku jsou v kontaktu s chladicími deskami. Mezi hlavní nevýhody tohoto měření patří použití velkého textilního vzorku, dlouhá doba měření a vysoký rozptyl číselných hodnot, což vede ke komplikovanému vyhodnocení. [3]

Kromě stacionárních metod, které jsou používané častěji, byly vyvinuty i metody měření tepelné vodivosti za nestacionárních podmínek přenosu tepla. Ty jsou však méně přesné. Snad nejznámější nestacionární metodu, ze které se v textilním průmyslu vychází, je zařízení založené na neustáleném toku tepla mezi předehřátou měděnou destičkou a textilií, vyvinuté *Kawabatou* a *Yondeou* (viz kapitola 2.2.3). Hlavní nevýhodou této metody je matematická náročnost při vyhodnocování výsledků. [4]

Jako další nestacionární metody lze uvést *Lambdakalorimetr* nebo *rovinný bikalorimetr*, vypracované Kondratievem. V první metodě se tepelná vodivost určí na základě ochlazování (případně ohřevu) vzorku v prostředí s předem známou hodnotou koeficientu přestupu tepla. U druhé metody je rychlost ochlazování (ohřátí) masivního bloku o vysoké tepelné kapacitě, obklopeného textilií o výrazně nižší tepelné kapacitě předem stanovena. [1]

Za zmínku stojí *Fitchova metoda* měření tepelné vodivosti při nestacionárních podmínkách. U tohoto přístroje prostupuje tepelný tok z ohřívací nádoby přes zkušební vzorek do měrného válce. Rozdíl teplot za určitou dobu se sleduje na vhodném přístroji – buď galvanometr, nebo milivoltmetr, pomocí diferenciálně zapojených termočlánků. Tato metoda se používá především na měření vlhkých vzorků, ačkoliv je přesnost výsledků horší než při klasických metodách za ustáleného toku tepla. [2]

V Čechách byla většina přístrojů sestrojena na základě Bockova přístroje, avšak po proměření přesnosti těchto přístrojů byly výsledky neuspokojivé. Proměřovaný vzorek málo stlačitelné textilie ukázal několik negativních faktorů, např. odchylky až 50 % nebo časová náročnost měření (až 1 hodina). Z toho důvodu nebyly publikovány žádné přesné údaje o tepelné vodivosti plošných textilií. [3]

Patrně nejznámější měřicí přístroj termofyzikálních vlastností textilií u nás je Alambeta, vyvinutý na Technické univerzitě v Liberci profesorem Hesem a docentem Doležalem. Tento přístroj oproti svým předchůdcům totiž umožňuje nedestruktivní měření v poměrně krátkém čase. Všechna data jsou zpracována počítačem podle matematického modelu, charakterizujícího nestacionární teplotní pole v tenké desce vystavené různým okrajovým podmínkám. Výhodou tohoto stroje je dokonalá simulace lidské pokožky, čímž se ověřuje zajištění fyziologického komfortu oděvu. Více o tomto přístroji je popsáno v kapitole 2.2.4. [5]

Na Technické Univerzitě v Liberci však Alambeta není jediným přístrojem k zjišťování tepelné vodivosti plošných textilií. Jako další přístroje lze jmenovat přístroj pro měření tepelné propustnosti TP-2, Togmeter SDL M 259 nebo statickou či dynamickou metodou. Tyto metody měření tepelné vodivosti plošných textilií jsou popsány v kapitolách 2.2.5 – 2.2.8.

Závěrem stojí za zmínku slovenská firma Applied Precision, která se mimo jiné zabývá zjišťováním termofyzikálních vlastností materiálů. Pro tyto účely sestrojila několik přístrojů, které také měří tepelnou vodivost. Mezi tato zařízení lze jmenovat přístroj *ISOMET 2104*, založený na metodě tepelných impulsů s použitím plošných nebo vpichovaných měřících sond. Další přístroje, jmenujme například *Heat Flow Meter Apparatus HFM 8301* nebo *Guarded Hot Plate Apparatus GHP 8302*, měří vzorky s obsahem pryskyřic, syntetiky, minerálních a skleněných vláken, lehčeného polyuretanu apod. Všechny tyto přístroje jsou plně automatizované. [6]

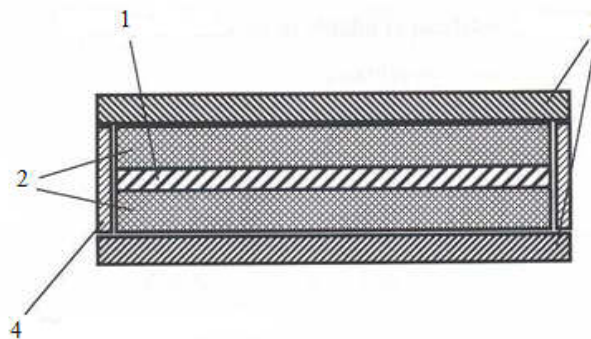
2.2 Vybrané měřicí přístroje a metody

V této kapitole jsou popsány vybrané přístroje nebo metody pro měření tepelné vodivosti textilií. U každé je vysvětlen princip jejího fungování, případně je vyobrazeno schéma přístroje.

2.2.1 Poensgenova desková metoda

Princip zjišťování hodnot tepelné vodivosti pomocí Poensgenova měřicího přístroje spočívá v zahřátí vyhřívané desky na určitou teplotu a následným průchodem tepla zkoušeným vzorkem k chladicí desce. Toto měření probíhá za ustáleného tepelného toku na vzorcích deskovitého tvaru, a ze zjištěných hodnot se určí součinitel tepelné vodivosti. [2]

Schéma Poensgenova deskového přístroje je znázorněno na obrázku 2.1.



- (1) vyhřívaná deska, (2) zkušební vzorky, (3) chladicí desky,
(4) prstencovitě kompenzační výhřevná deska

Obr. 2.1 Poensgenův měřicí deskový přístroj [2]

Celé měřicí zařízení je uloženo ve skříni s izolační vrstvou ve volném prostoru.

Uprostřed přístroje se nachází vyhřívaná deska (1), obsahující elektrickou výhřevnou mřížku, která je z obou stran krytá nejprve izolačními a potom hliníkovými nebo měděnými deskami na povrchu. Tato vyhřívaná deska má elektrický příkon určený z hodnot napětí a intenzity proudu.

Na tuto desku jsou z obou stran položeny totožné zkušební vzorky (2), jejichž rozměr je shodný s vyhřívanou deskou.

Na každou vnější stranu vzorku je uložena chladicí deska (3) ochlazována protékající vodou uváděnou do pohybu vodním čerpadlem.

Po stranách je vyhřevná deska obklopena prstencovitě kompenzačními vyhřevnými deskami (4), které mají vlastní vyhřevnou mřížku ohřivanou na stejnou teplotu, jako hlavní vyhřívaná deska. Tyto desky odstraňují nepříznivé ztráty při stacionárním toku tepla.

Aby nedocházelo k přímému přenosu tepla mezi chladicími a kompenzačními deskami, je zde vložen izolační materiál.

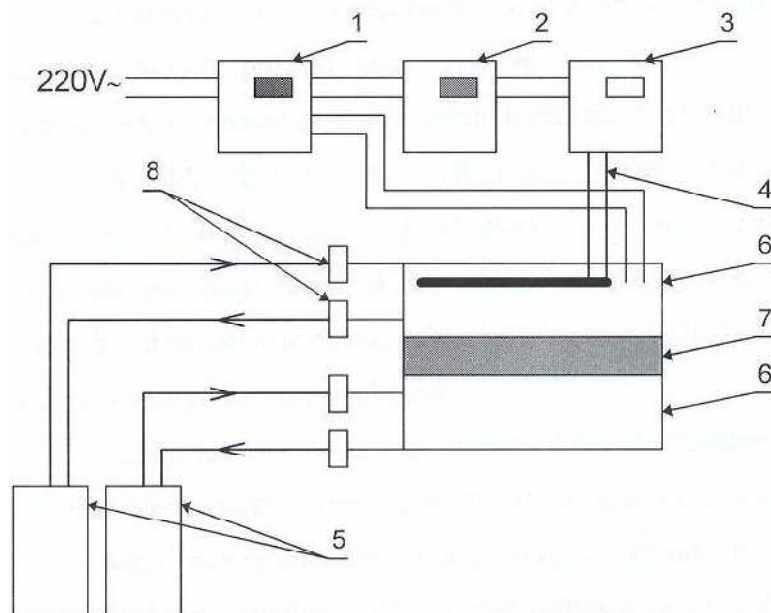
Na každé ploše zkoušených vzorků i chladících desek je minimálně pět termočlánku, které měří povrchové teplo. [2]

2.2.2 Bockova desková metoda

Princip měření tepelné vodivosti metodou dle Bocka je založen na původní Poensgenově metodě, avšak měřicí zařízení je již částečně automatizováno.

Měření spočívá stejně jako u Poensgenova měřicího přístroje v kolmém průtoku tepla z vyhřívané desky skrz vzorek k chladicí desce za ustáleného stavu. [2]

Schéma Bockova měřicího přístroje je znázorněno na obrázku 2.2.



(1) motorový kompenzátor, (2) wattmetr, (3) přepínač výkonu, (4) topení, (5) termostaty, (6) topné desky, (7) zkušební vzorek, (8) odporové teploměry

Obr. 2.2 Bockův měřicí přístroj [2]

Celá Bockova měřicí souprava je složena ve tvaru laboratorního stolu. Základ přístroje tvoří horní vytápěná a dolní chlazená deska (6), mezi kterými je umístěn zkušební vzorek (7). Tato centrální měřicí soustava je při měření chráněna izolovaným krytem. Přístroj je doplněn kontrolními a pomocnými prvky. Počítač zaznamenává elektrický příkon spotřebovaný výhřevnou deskou.

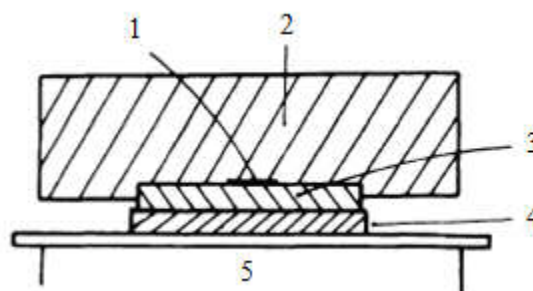
Horní topná deska je složena z vlastní měřicí výhřevné desky kruhového tvaru a okolo ní je prstencově obklopená, tepelně odizolovaná ochranná kompenzační výhřevná deska. Tato ochranná část je zahřívána na konstantní teplotu pomocí kapaliny ohřívané v prvním termostatu (5).

Spodní topná deska o stejném rozměru, jako horní topná deska je chlazená protékající vodou a udržuje se na konstantní teplotě pomocí druhého termostatu (5). [2]

2.2.3 Zkušební metoda dle Kawabaty a Yondey

Kawabatova a Yondeova zkušební metoda je založena na principu nestacionárního přenosu tepla, tj. že se během doby měření teplota mění. Tento měřicí systém pro zjišťování tepelné vodivosti plošných textilií byl postupně vyvíjen, až vznikl přístroj se snadným ovládním a vysokou přesností. [4]

Schéma této metody je znázorněno na obrázku 2.3.



(1) snímač teploty, (2) tepelný izolátor, (3) vyhřívaná měděná deska, (4) zkušební vzorek, (5) spodní deska

Obr. 2.3 Zkušební metoda dle Kawabaty a Yondey [4]

Měření je uskutečněno za podmínky, že teplota spodní desky (5) je konstantní, a vyhřívaná měděná deska (3) je tepelně izolovaná (2).

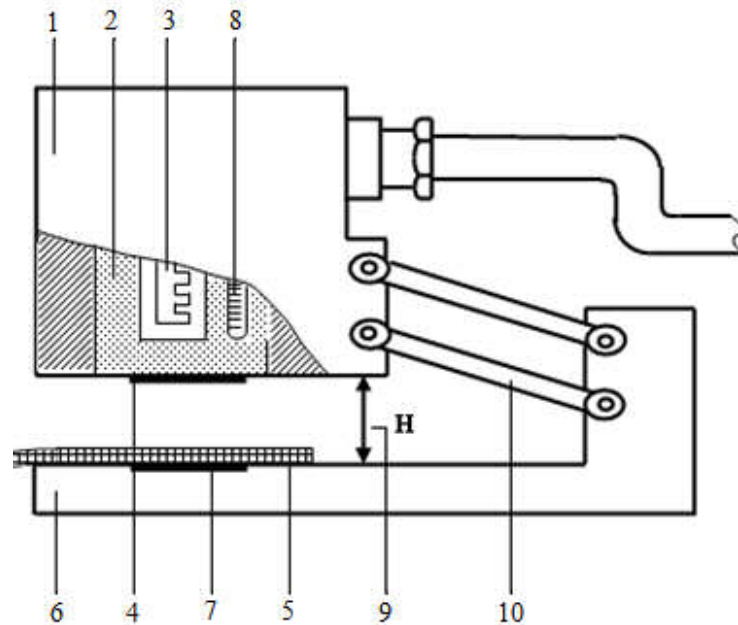
Principem měření je umístění vzorku (4) na desku s konstantní teplotou a zahřátí vyhřívací desky na teplotu o 5 – 10 °C vyšší než je teplota vzorku. Během měření je tato deska umístěna na vrchní straně vzorku, odkud postupně přenáší teplo. Zaznamenává se čas, po který klesá teplota vyhřívané desky kvůli proudění tepelného toku do vzorku. Tepelný tok je získáván elektricky různorodým signálem z křivky teplotního spádu. [4]

2.2.4 Alambeta

Alambeta je poloautomatický, počítačem řízený přístroj, jehož princip spočívá v simulaci lidské pokožky, čímž se zjišťují vhodné termofyzikální parametry textilií. Tento přístroj obsahuje program, který je během měření schopen vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů a zároveň zabraňuje chybným operacím přístroje.

Během procesu, který trvá dle tloušťky vzorku 10 – 100 sekund změří Alambeta kromě tepelné vodivosti λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] tloušťku materiálu h [mm], tepelný odpor R [$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$], tepelný tok q [W/m^2], měrnou teplotní vodivost α [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] a tepelnou jímavost b [$\text{W s}^{1/2} \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$]. Z těchto hodnot se dále zjistí měrná tepelná kapacita c [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$] a poměr maximálního a ustáleného tepelného toku p [-]. [5, 7]

Schéma tohoto měřicího přístroje je na obrázku 2.4.



- (1) tepelně izolační kryt, (2) kovový blok, (3) topné těleso, (4) snímač tepelného toku, (5) vzorek textilie, (6) základna přístroje, (7) snímač tepelného toku, (8) teploměr, (9) volný prostor před měřením, (10) paralelní vedení

Obr. 2.4 Schéma přístroje Alambeta [6]

Princip tohoto přístroje spočívá v přímém měření tepelného toku. Součástí základny přístroje je termostat a teploměr, součástí měřicí hlavičky je tepelná izolace, termostat, topné těleso a teploměr.

Před vlastním měřením je důležité nechat klesnout měřicí hlavičku bez vložení vzorku, kdy si přístroj nastaví nulovou tloušťku.

Vzorek textilie (5), který je udržován při teplotě okolí (cca 22 °C), je položen na základnu přístroje (6). Měřicí hlavice (1) je díky topnému tělesu (3) zahřátá na teplotu o 10 °C vyšší (cca 32 °C), než je zkoušený vzorek.

Na počátku měření klesne měřicí hlavice na textilií a začne se měnit povrchová teplota měřeného vzorku. Snímače tepelného toku (4 a 7) měří tepelný tok mezi jednotlivými povrchy, což je zaznamenáno počítačem. Zároveň je fotoelektrickým senzorem změřena tloušťka zkoušeného vzorku, jako vzdálenost měřících hlav při předem stanoveném přitlaku.

Pro statistické zpracování je potřebný minimální počet měření 3, maximální 20. Z těchto měření počítač vypočítává aritmetický průměr a variační koeficient naměřených hodnot a na displeji se zobrazí naměřené hodnoty.

Hlavní výhody tohoto přístroje jsou rychlost měření, není zde potřeba velkých vzorků, které nejsou během měření poškozeny. [5, 7]

2.2.5 Togmeter SDL M 259

Přístroj, který je uložen ve speciální skříňce s řízeným tokem vzduchu, je vybaven teplotními čidly a topným tělesem ovládaným digitálním ovladačem teploty pro vymezení tepelné vodivosti a tepelné odolnosti textilií.

Měření na Togmeteru SDL M 259 lze provést dvěma metodami, buď měření s jednou deskou pro materiály, které jsou z jedné strany běžně přístupné vzduchu (například venkovní oblečení), nebo metodou měření se dvěma deskami používané pro materiály, které jsou při používání chráněny před okolním vzduchem (kupříkladu příkrývka v povlečení). Z důvodu přesnosti a reprodukovatelnosti výsledků je doporučováno měřit metodou se dvěma deskami pro všechny druhy materiálů.

Před samotným měřením je potřeba nastavit ovladač na požadovanou teplotu, která by měla být v rozmezí 304 – 308 K.

Doporučený počet měření je minimálně tři od každého zkoušeného materiálu. Tloušťka vzorků je změřena při tlaku 6,9 Pa na elektronickém tloušťkoměru

SDL M034A. Tato naměřená hodnota je poté nastavena jako vzdálenost mezi dolní a horní deskou Togmeteru SDL M 259.

Průběh měření spočívá v odejmutí vrchní studené desky z Togmeteru SDL M 259. Poté se vzorek položí na spodní vyhřátou desku a na něj se zpět položí studená deska ve vzdálenosti předem nastavené tloušťky vzorku a je přitlačována pod tlakem 6,9 Pa. Při měření je důležité sledovat teplotu na každém ze tří termoelektrických bodů, dokud nebude ustálená alespoň 30 minut (kolísání by nemělo přesáhnout 0,1 K). Na závěr měření se odečtou naměřené hodnoty tepelného odporu, za kterých lze spočítat hodnotu tepelné vodivosti (viz kapitola 2.4.1, vzorec (4)).

Nevýhodou tohoto měření je doba trvání zkoušky, která trvá od zapnutí topného tělesa až do doby ustáleného stavu pro materiály o nízké hustotě cca 2 hodiny, pro hutnější materiály až 3 hodiny. [8]

2.2.6 TP-2

Tento deskový přístroj TP-2 měří tepelnou propustnost plošných textilií, s přesností $\pm 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Měření na tomto přístroji probíhá ve stacionárním stavu, tzn. za ustáleného toku tepla.

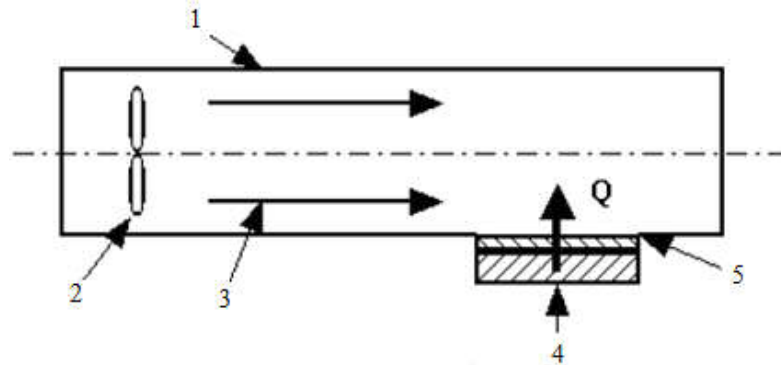
Podstatou měření je zjištění tepelné propustnosti mezi dvěma deskami, která je vyjádřena množstvím elektrické energie, spotřebované k udržení konstantní teploty vyhřívaného tělesa na jednotku plochy při tepelném spádu 1 K.

Spodní deska je vyhřívána na teplotu 35 °C, zatímco horní deska je udržována při konstantní teplotě 21 – 23 °C vzduchem proudícím v tunelu rychlostí 3 m/s.

Tepelnou vodivost zjistíme jako součin tepelné propustnosti $B \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}]$ a tloušťky materiálu $h \text{ [m]}$.

$$\lambda = B h \tag{1}$$

Schéma přístroje TP-2 je znázorněno na obrázku 2.5. [9, 10]



(1) tunel, (2) vrtule, (3) proudící vzduch, (4) vyhřívaná čelist,
(5) vzorek textilie

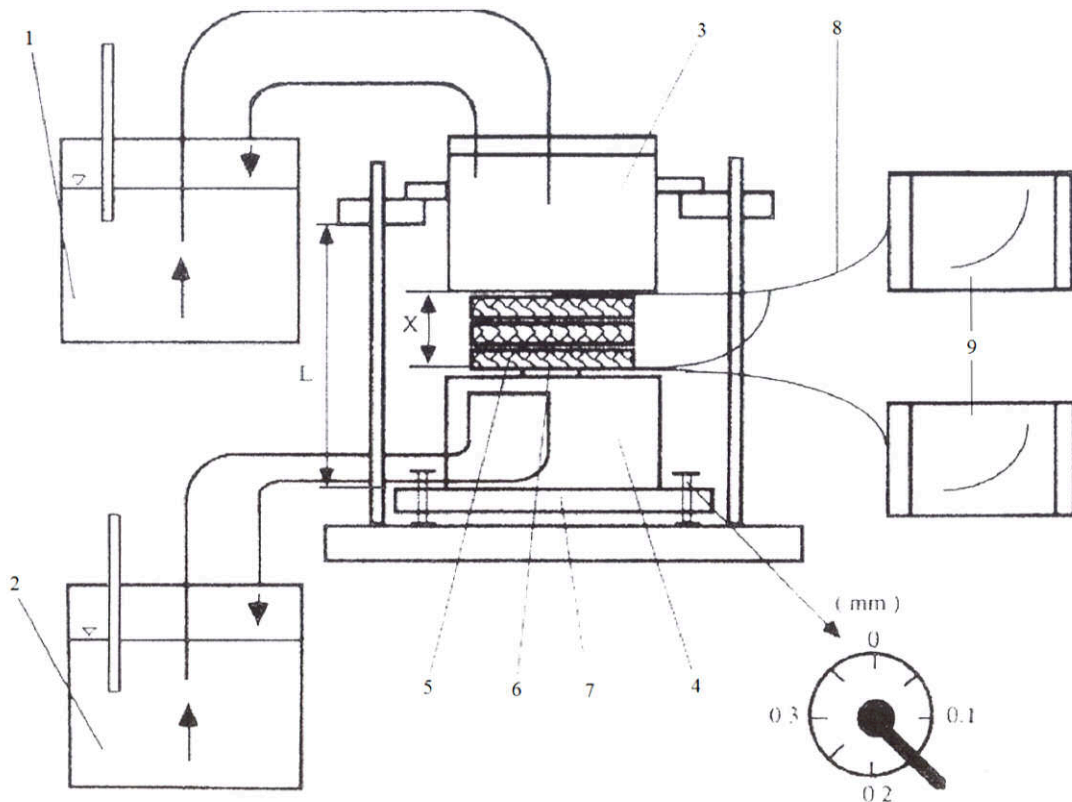
Obr. 2.5 Schéma přístroje TP-2 [9]

Vzorek zkoumané textilie (5) o maximální tloušťce 10 mm je umístěn mezi spodní vyhřívanou čelistí (4) a vzduchovým tunelem (1), kterým proudí vzduch o rychlosti 3 m/s. Konstantního tepelného toku je docíleno ohříváním spodní čelisti na teplotu 35 °C, kdy se po jeho ustálení odečte množství energie dodávané do vyhřívané čelisti. [9, 10]

2.2.7 Statická metoda

Při měření statickou metodou prochází přiváděné teplo měřeným vzorkem při ustáleném stavu. [10]

Schéma přístroje měřícího statickou metodou je vyobrazeno na obrázku 2.6.



(1) termostat pro horní nádobu, (2) termostat pro spodní nádobu, (3) ohřívána horní nádoba s horkou cirkulující vodou, (4) spodní nádoba s cirkulující vodou o teplotě okolí, (5) vzorek textilie, (6) senzor tepelného toku, (7) nastavitelné opěry, (8) diferenciální termočlánek, (9) zapisovací zařízení

Obr. 2.6 Schéma zařízení pro měření statickou metodou [10]

Zkušební přístroj se skládá ze dvou ploch tvořených dny nádob, ve kterých protéká voda o rychlosti 5 l/min. Vzorek je vložen do izolačního mezikruží, který zabraňuje úniku tepla do okolí.

Horní nádoba (3) je zahřívána na stálou teplotu 30 °C, spodní nádoba (4) se senzorem tepelného toku (6) o velikosti 50 x 50 mm, obsahuje vodu o teplotě okolí 20 °C. Konstantní teplotu obou desek zajišťují termostaty (1, 2). Vzdálenost těchto desek je možné měnit, čímž lze i ovlivňovat tlak, který působí na zkoušený vzorek (5).

Rozdíl teplot Δt mezi oběma povrchy vzorku je zjišťován dvojicí termočláneků (8), umístěných pod stejným úhlem na dnech jednotlivých nádob s vodou.

Signál generovaný z termočlánků je přiveden do záznamníku (9) a hodnota Δt je odečtena pomocí kalibračního grafu.

Získaný signál o tepelném toku je zpracován a pomocí zapisovače (10) je vyhodnocena závislost napětí na čase. Kalibrace je provedena z výstupního napětí.

Tepelnou vodivost získáme jako součin senzorké konstanty K rovné hodnotě 83 340,32881 [W/m² μ V] , napětí U [μ V] a tloušťky materiálu h [m], ku rozdílu teplot Δt [°C]. [10]

$$\lambda = \frac{K U h}{\Delta t} \quad (2)$$

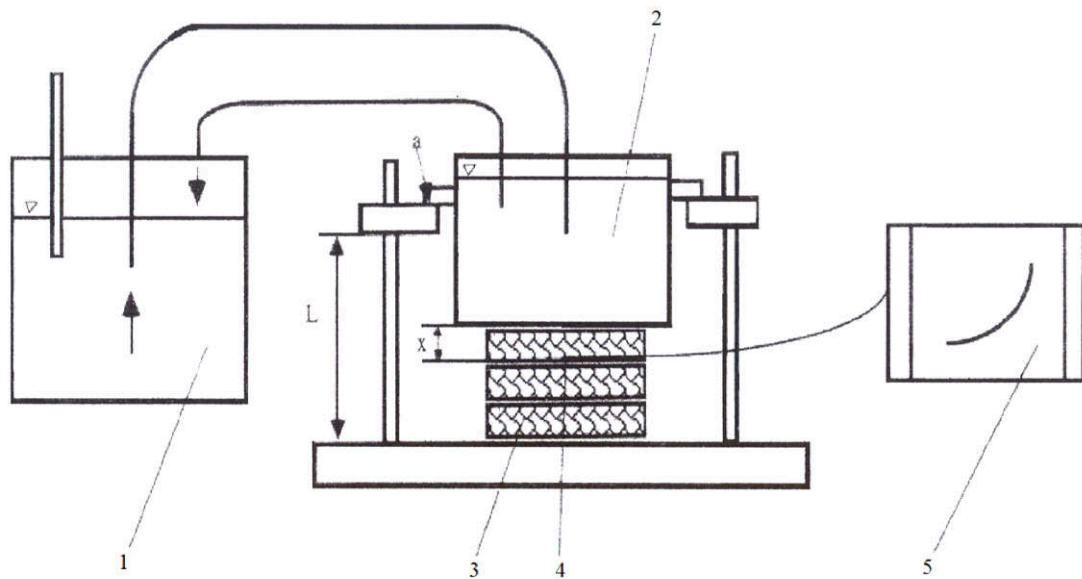
2.2.8 Dynamická metoda

První typ zkušebního přístroje, vyvinutý Martinem a Lambem se skládá ze dvou kovových desek o pokojové teplotě, mezi které se vkládají vrstvy zkoušeného materiálu ohřáté na 125 °C. Následně je zaznamenáván pokles středové teploty a zjištěn tepelný rozptyl.

Nevýhodou této původní metody je ohřívání vzorku na vysokou teplotu, čímž se můžou změnit původní tepelné vlastnosti zkoušených vzorků. Je zde obtížné stanovit tlak, na kterém je tepelný přenos závislý, neboť nejsou známy kompresní vlastnosti materiálu při vysokých teplotách. Také není snadné zjistit čas a teplotu začátku chladnutí a zohlednění transferu sálavého tepla.

Kvůli mnoha negativním faktorům byla na katedře netkaných textilií vyvinuta nová dynamická zkušební metoda. Schéma této metody je znázorněno na obrázku 2.7.

I tato metoda má však své negativum, a to veliké disproporce mezi výsledky měření porézních materiálů způsobené silou vzdušného proudění, které závisí na rychlosti tepelného toku. Tepelný tok je závislý nejen na tepelných vlastnostech zkoušeného materiálu, ale i na jeho struktuře, tedy i na velikosti a tvaru jeho pórů. [10]



(1) termostat, (2) nádoba s cirkulující vodou, (3) vzorek textilie, (4) termočlánek, (5) zapisovací zařízení, (a) stykový spínač, (x) tloušťka měřeného vzorku (vzdálenost mezi senzorem a horkou deskou)

Obr. 2.7 Schéma zařízení pro měření dynamickou metodou [10]

Měřicí zařízení se skládá z nádoby (2) tvořící tepelnou plochu ohřivanou vodou o průtokové rychlosti 5 l/min. Teplota dna nádoby, která slouží jako zářič tepla je řízena termostatem (1). Vzdálenost nádoby lze měnit pro přesné stanovení tlaku, který je přenášen na vzorek (3). Z termočláneku (4) je snímán signál, který je dále zpracován a pomocí zapisovače (5) se vyhodnotí časo-teplotní křivka.

Tepelnou vodivost zde získáme součinem teplotní vodivosti α [m^2/s], měrného tepla c [$\text{J}/\text{kg K}$] a hustoty ρ [kg/m^3]. [10]

$$\lambda = \alpha c \rho \quad (3)$$

2.3 Plošné textilie

Údaje o tepelné vodivosti se liší podle druhu plošné textilie, její vazby, způsobu výroby, či použitého výchozího vlákenného materiálu, proto je potřeba nejdříve tyto textilie rozdělit a identifikovat.

Plošné textilie jsou vymezeny jako všechny textilní útvary, ať už se jedná o tkaniny, pleteniny, netkané textilie nebo jejich kombinace, jejichž dva rozměry jsou mnohonásobně větší než rozměr třetí.

Historicky nejstarší podobou plošných textilií jsou tkaniny, jejichž původní pozůstatky jsou staré asi 28 tisíc let. Už asi před čtyřmi tisíci lety bylo známé mechanické tkaní v Číně, v Evropě je známo necelých dva tisíce let. Pleteniny také nejsou nejmladší obor, avšak strojově se vyrábějí teprve cca 400 let. V případě netkaných textilií lze říci, že již v pravěku docházelo ke zpracování zvířecích srstí postupy plstění, avšak pro nás jsou z technologického hlediska nejmladším oborem. Od 19. století se zpracovávají textilní odpady a vyrábějí první vpichované textilie.

Ještě před konstrukcí plošné textilie je potřeba stanovit následující aspekty výroby:

1. cíle výroby – požadované vlastnosti textilie, především užité vlastnosti s ohledem na ekonomické parametry;
2. prostředky k dosažení těchto cílů – materiál, výrobní technologie, zušlechťování;
3. hodnocení výsledků – stupeň dosažení jednotlivých požadovaných parametrů.

Při výrobě plošných textilií jsou nejdůležitějším polotovarem nitě, které jsou nositelkami struktury a vlastností konečného produktu, proto je potřeba jim věnovat zvýšenou pozornost. Jsou na ně kladeny požadavky geometrické (průřez), mechanické (pevnost, deformace, tření), transportní a termické (transport vzduchu, vody a vodních par, přenos tepla), chemické, trvanlivostní (oděr, žmolkovitost), případně estetické. [11]

2.3.1 Tkaniny

Tkaniny vznikají provázáním dvou vzájemně kolmých soustav nití – podélné osnovy a příčného útku na tkacích strojích. Podle způsobu provázání vzniká žádaný vzor (plátno, kepr, atlas nebo jejich odvozeniny, vazby komponované či speciální), který tvoří základní konstrukci textilie.

Vazba tkaniny má vliv na vzhled, pevnost, pružnost, tuhost, splývavost, omak, tepelnou izolaci, prodyšnost, odolnost proti oděru a další vlastnosti. Každá tkanina musí dosáhnout určitých kvalitativních vlastností, které jsou dány především technologickým postupem při její výrobě a použitým textilním materiálem.

Pro výrobu tkaniny jsou aplikovány tři základní operace:

1. příprava materiálu ke tkaní – příprava osnovních i útkových nití;
2. vlastní tkaní;
3. dokončovací práce – zejména kontrola zboží a oprava chyb, případně zušlechťování.

K rozlišení tkanin pro obchodní sítě se užívá různých názvů, ať už podle použitého výchozího materiálu, konstrukce, vzhledu, účelu použití nebo dlouholetých tradic. Většina tkanin je na první pohled charakteristická svým vzorem, tvořeným barevným snováním, různě barevnými útky, tiskem nebo jinou výrobní technologií. V současnosti také existuje celá řada textilních úprav, např. nežehlivé, nehořlavé, vodoodpudivé, antistatické apod., které zlepšují některé vlastnosti textilních materiálů.

V dnešní době jsou tkaniny v oděvním i technickém průmyslu stále více nahrazovány pleteninami. Avšak díky široké škále textilních vláken, různým druhům nití a mnoha vazebním možnostem vede jejich výroba ke vzniku rozsáhlé produkce těchto textilií, takže toto téma bude do budoucna stále aktuální. [12, 13]

2.3.2 Pleteniny

Tyto plošné útvary vznikají vzájemným proplétáním oček uspořádaných do sloupků a řádku a podle zpracované soustavy nití se rozdělují na zátažné (nit prochází ve směru řádku) a osnovní (nitě probíhají ve směru sloupků).

Charakteristické vlastnosti pletenin jsou dány především strukturou pleteniny, ovlivněnou šířkou a výškou oka, délkou nitě v oku, průměrem nitě či hustotou řádků a sloupků, a zpracovaným materiálem.

Pleteniny mají řadu vynikajících vlastností, zejména vysokou tažnost danou tvarem oka. Mezi další kladné vlastnosti pleteniny patří pružnost, měkkost, prodyšnost, nasákavost, splývavost, tepelně izolační schopnosti a další.

Jak již bylo zmíněno, pleteniny se dělí na zátažné a osnovní. Tyto se dále rozdělují na zátažné – jednolící, oboulící, obourubní a interlokové, a osnovní – jednolící a oboulící. Podle požadavků na vlastnosti a vzor pleteniny se navrhuje další vazební a vzorovací prvky. Časté kombinace těchto prvků mají ustálené názvy, které vazbu popisují, nebo charakterizují její výsledný efekt.

Pro své užité vlastnosti se produkty pletařského průmyslu velmi rozšiřují. Široká škála zahrnuje kusové výrobky, zátažné nebo osnovní pleteniny v metráži, pleteniny tvarované plošně či prostorově nebo pleteniny pro technické účely.

V současné době dosahuje úroveň pletařských strojů vysoké technické dokonalosti. Mezi výhody technologie pletařství se řadí vysoká produktivita některých typů strojů, zlepšuje se jejich využití, objevují se nové vzorovací a vazební možnosti, dále schopnost tvarování pleteniny a zpracování téměř celé škály textilních i netextilních materiálů. Díky zlepšující se jakosti narůstá sortiment a použití těchto textilií. [12, 14]

2.3.3 Netkané textilie

Netkaná textilie je vlákenná vrstva (pavučina, rouno, spleť), vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, popřípadě kombinace s textilními i netextilními

útvary, spojených mechanicky (vpichování, proplétání), chemicky (impregnace, pěna, postřik) nebo termicky (teplovzdušně, kalandrem), příp. kombinací.

Postup výroby netkaných textilií lze rozčlenit na tři základní operace:

1. přípravy vláknenných surovin;
2. výrobní technologie – příprava vláknenné vrstvy, zpevnění vláknenné vrstvy a řezání, případně navíjení;
3. úprava, případně vrstvení.

Hlavní výhodou netkaných textilií je přímé zpracování suroviny na vláknennou vrstvu bez potřeby vyrábět nitě.

Nejen druhem vláknenné suroviny nebo technologií výroby, ale především finálním zušlechťováním získávají netkané textilie nejvhodnější vlastnosti potřebné pro příslušný účel použití. Při úpravě lze změnit základní vlastnosti, jako je barva, lesk, pevnost, pružnost, dále schopnost přijímat nebo odpuzovat různé kapaliny, odolnost vůči vysokým teplotám, kyselinám, alkáliím, nečistotám apod.

Rozvoj výroby netkaných textilií je provázen vývojem specializovaných strojních zařízení a důkladným výzkumem vlastností potřebných pro jednotlivá uplatnění. V dnešní době se výroba netkaných textilií neustále zvyšuje. Díky novým technologiím a materiálům se vytváří nové typy textilií, ať už pro běžné nebo pro vysoce specializované použití. [12, 15]

2.4 Tepelně izolační vlastnosti

Tepelně izolační vlastnosti materiálů jsou charakterizovány tepelnou vodivostí neboli schopností vést teplo a lze je zjišťovat jak experimentálně, tak i výpočtovými metodami.

Textilní materiály jsou ovlivňovány délkou, tloušťkou, pružností a zkadeřením vláken. Tepelně izolační vlastnosti rostou s počtem uzavřených pórů naplněných vzduchem v plošné textilii.

Pro hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií není nejdůležitější tepelná vodivost, ale tepelný odpor, který tyto vlastnosti přímo ovlivňuje. Kromě těchto dvou položek zahrnují tepelně izolační vlastnosti i teplotní vodivost, tepelnou jímavost a měrnou tepelnou kapacitu. [16]

Jelikož je tato práce zaměřena především na tepelnou vodivost, je této vlastnosti věnována samostatná kapitola. Zbýlé tepelně izolační vlastnosti jsou popsány níže.

2.4.1 Tepelný odpor

Tepelný odpor je fyzikální veličina, která vyjadřuje schopnost materiálu zadržet teplo a je přímo závislá na tloušťce materiálu a tepelné vodivosti. Značí se R a jednotka [$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$] vyjadřuje, jak velká plocha je nutná k přenosu tepla o hodnotě 1 W při rozdílu teploty 1 K.

Vzorec pro výpočet tepelného odporu:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (4)$$

kde h ... tloušťka materiálu [m]

λ ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]

Při užití více vrstev materiálu se jednotlivé tepelné odpory sčítají. Pro dosažení co nejvyšší hodnoty tepelného odporu je cílem, aby tloušťka materiálů byla co největší a jednotlivé hodnoty tepelné vodivosti co nejmenší. [17]

2.4.2 Teplotní vodivost

Teplotní vodivost je veličina, která vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotní rozdíly při neustáleném vedení tepla. Bývá označována také jako součinitel teplotní vodivosti. Označuje se α a její základní jednotkou je [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]. Čím je hodnota teplotní vodivosti vyšší, tím látka rychleji vyrovnává teplotu.

Vzorec pro výpočet měrné teplotní vodivosti:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \rho} \quad (5)$$

kde λ ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]

c ... měrná tepelná kapacita [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

ρ ... hustota [kg m^{-3}]

Všechny tyto parametry jsou závislé na vnějších podmínkách, zejména na vlhkosti a teplotě, proto je při výpočtech potřeba tyto veličiny znát. [18]

2.4.3 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost je parametr, který udává množství tepla, které proteče jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu, při rozdílu teplot 1 K. Jedná se o jedinou veličinu, která charakterizuje tepelný omak neboli převod tepla z pokožky do materiálu. Značí se b a základní jednotkou je [$\text{W m}^{-2} \text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$].

Vzorec pro výpočet tepelné jímavosti:

$$b = \sqrt{\lambda \rho c} \quad (6)$$

kde λ ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]

ρ ... hustota [kg m^{-3}]

c ... měrná tepelná kapacita [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

Je-li hodnota tepelné jímavosti materiálu vysoká, máme při dotyku pocit, že materiál je velmi studený a na druhou stranu, čím je hodnota tepelné jímavosti nižší, tím teplejší omak daný materiál má. [5]

2.4.4 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita vyjadřuje, jaké množství tepla přijme 1 kg látky, když se ohřeje o 1 K. Tato hodnota se značí c a její jednotkou je [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$].

Vzorec pro výpočet měrné tepelné kapacity:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \Delta t} \quad (7)$$

kde ΔQ ... tepelná výměna [J]

m ... hmotnost tělesa [kg]

Δt ... změna teploty [K]

U všech látek se tato veličina s rostoucí teplotou zvyšuje. [19]

Tepelná izolace, kterou poskytují plošné textilie, tedy tkaniny, pleteny i netkané útvary má praktický význam ve spojení s používáním těchto materiálů pro oděvní účely, ložní prádlo, koberce, izolaci střech, apod. [8]

2.5 Tepelná vodivost

Definice tepelné vodivosti uvádí, že tepelná vodivost označuje schopnost látky vést teplo. Tato veličina, která je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti, představuje rychlost, jakou se teplo šíří a přenáší z jedné zahřáté části materiálu do jiné, chladnější části, přičemž se předpokládá, že se teplo šíří pouze jedním směrem. Tato materiálová konstanta se zjišťuje experimentálně. [21]

Tepelná vodivost se značí λ a její základní jednotkou je $[\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$.

Výpočet tepelné vodivosti je pomocí fyzikálního vzorce, který vychází z obecného vzorce pro výpočet tepla.

Vzorec pro výpočet tepla:

$$Q = \lambda S \frac{\Delta t}{h} \tau \quad (8)$$

kde Q ... teplo [J]

λ ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]

S ... plocha [m^2]

Δt ... změna teploty [K]

h ... tloušťka materiálu [m]

τ ... jednotka času [s]

Odvozený vzorec pro výpočet tepelné vodivosti: [20, 21]

$$\lambda = \frac{Q h}{S \tau \Delta t} \quad (9)$$

Při nehybném vzduchu se součinitel tepelné vodivosti plošných textilií liší jen velmi málo, proto se konstantní součinitel uvažuje o hodnotě $\lambda = 0,0495$ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]. Naopak, ve větrném prostředí je tento součinitel závislý na jejich prodyšnosti a na klimatických podmínkách a pohybuje se v rozmezí 0,042 až 0,109 [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]. [16]

Podstatou měření tepelné vodivosti je měření tepelného toku, který prochází vzorkem umístěným mezi dvěma plochami o konstantních teplotách v případě stacionárního měření, a o různých teplotách v případě nestacionárního měření. Množství přivedeného tepla je přímo úměrné velikosti plochy, rozdílu teplot a času a nepřímo úměrné tloušťce látky. Zkoumá se množství tepla na začátku a na konci měření při dané tloušťce materiálu. [22]

Pro hledání optimálních, energeticky výhodných technologických postupů při zpracování a použití plošných textilií je velmi důležité znát tepelnou vodivost. Plošné textilie jsou vesměs nehomogenní, anizotropní látky, ale aby bylo možné je zkoumat, je potřeba je pokládat za homogenní a izotropní.

Při měření tepelné vodivosti jsou plošné textilie ovlivňovány několika faktory, jako jsou jemnost vláknenného materiálu, zaplnění a objemová hmotnost textilie, teplota, vlhkost a směr tepelného toku. Tyto faktory jsou popsány v následujícím textu. [23]

2.5.1 Vliv jemnosti použitých vláken

Jemnost vláken vyjadřuje vztah mezi jejich hmotností a délkou, značí se T a základní jednotkou je [tex].

Při použití jemných vláken v plošné textilii je tepelná vodivost nízká, což je vysvětlováno vznikem minimálních mezivláknenných prostor ve kterých je udržován vzduch. Jelikož je vzduch nejlepší izolant, je proto součinitel tepelné vodivosti nízký.

Naopak při použití hrubých vláken jsou prostory mezi vlákny sice velké, ale vzduch zde není uzavřen, čímž se zvyšuje jak tepelný tok, tak i součinitel tepelné vodivosti.

Z výše uvedeného plyne, že hodnota tepelné vodivosti je přímo závislá na jemnosti vláken. [23]

2.5.2 Vliv zaplnění a objemové hmotnosti

Zaplnění plošné textilie je poměr objemu nitě k celkovému objemu textilie, neboli podíl textilií na mezivláknenné prostory. Je označováno μ a jedná se o bezrozměrnou veličinu [-].

Objemová hmotnost textilie neboli hustota pro pórovité materiály, je poměr hmotnosti textilie k objemu textilie. Značí se řeckým ρ a základní jednotkou je [kg/m^3].

Každá plošná textilie, která je složena ze základního materiálu a vzduchových dutin má hodnotu tepelné vodivosti pohybující se v rozmezí tepelné vodivosti vzduchu a pevného materiálu.

Tato hodnota závisí na velikosti vzduchových pórů v materiálu a způsobu jejich oddělení. V drobných vzduchových komůrkách je vzduch v podstatě uzavřen, proto se teplo přenáší pouze vedením a sáláním a hodnota tepelné vodivosti je nízká. V případě větších vzduchových komůrek je teplo přenášeno především prouděním, čímž je větší tepelný tok i tepelná vodivost.

Souhrnem lze poznamenat, že hodnota tepelné vodivosti lineárně roste s hodnotou zaplnění i objemové hmotnosti, jelikož obsahují větší procento vláken než vzduchu. [23]

2.5.3 Vliv teploty

Teplota je charakteristikou tepelného stavu předmětů, značí se t , základní jednotkou je [K] a vedlejší jednotkou je [°C].

Při měření tepelné vodivosti lze vypočítat rostoucí závislost tepelné vodivosti na změně teploty. Při nárůstu teploty dochází k průchodu většího množství tepla textilií, což v konečném důsledku vede ke zvýšení tepelné vodivosti.

Je tedy možno říci, že součinitel tepelné vodivosti roste se zvyšující se teplotou lineárně. [23]

2.5.4 Vliv vlhkosti

Vlhkost je základní vlastností vzduchu a udává, jaké množství vodních par obsahuje dané množství suchého vzduchu.

Vlhkost působí z hlediska izolačních vlastností nepříznivě, neboť zvyšuje tepelnou vodivost. Již nepatrné zvětšení obsahu vlhkosti může znamenat podstatné zvýšení součinitele tepelné vodivosti. Tento jev lze odůvodnit tím, že část vzduchových pórů v textilií je zaplněna vodou, která má mnohem větší tepelnou vodivost než vzduch. [23]

2.5.5 Vliv směru tepelného toku

Tepelný tok vyjadřuje množství tepla procházející z plochy o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času. Označuje se q a základní jednotkou je [W m^{-2}].

Vliv směru toku tepla na tepelnou vodivost materiálu se vyskytuje u vláknitých materiálů, kde délka vláken je mnohonásobně větší než jejich průměr. Vliv je dán především polohou vlákna ke směru tepelného toku.

Součinitel tepelné vodivosti při tepelném toku rovnoběžně s vlákny bude větší, než součinitel tepelné vodivosti při tepelném toku kolmo k vláknům. Tento jev lze vysvětlit tím, že u vláken položených kolmo se vytvoří vzduchová vrstva, která přerušuje tepelný tok a dochází ke snížení tepelné vodivosti. Oproti tomu u vláken rovnoběžných s tokem tepla se tvoří souběžná vodivá vrstva, která tepelnou vodivost zvyšuje. [5, 23]

Součinitel tepelné vodivosti, který vyjadřuje stupeň tepelné vodivosti je mimo jiné ovlivněn také druhem vláknenného materiálu, strukturou textilie, prodyšností, a teplotou okolního vzduchu. [16]

S tepelnou vodivostí se nesetkáváme pouze v oděvním průmyslu, ale i v jiných průmyslových odvětvích s technickým využitím. V těchto oblastech se používají především tzv. „izolanty“, což jsou látky, jejichž součinitel tepelné vodivosti je nízký. Nejnižší součinitel tepelné vodivosti mají plyny (hodnota tepelné vodivosti vzduchu je $0,024 \text{ [W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$), proto textilie s velkým množstvím vzduchových mezer vedou teplo špatně a používáme je jako izolace v oděvním i technickém průmyslu. Oproti tomu jsou látky s vysokým součinitelem tepelné vodivosti, které nazýváme tzv. „vodiče“ a mezi nejlepší tyto pevné látky patří kovy. [24]

3 Experimentální část

Tato kapitola zahrnuje popis zkušebních vzorků, které byly proměřovány na vybraných měřicích přístrojích. Mezi tato zařízení patří zkušební přístroj TP-2, Alambeta, Togmeter SDL M 259 a měření pomocí statické metody.

Úkolem této části práce je pozorovat rozdíl naměřené tepelné vodivosti mezi plošnými textiliemi z přírodních vláken a vláken syntetických vybranými metodami a zároveň tyto měřicí metody porovnat. Pro srovnání byla z přírodních vláken zvolena vlna a z řad syntetických polyester. Cílem je najít nejvhodnější kombinaci měření pro jednotlivé druhy materiálů.

Pro každý experiment byla zvlášť zjištěna tloušťka zkoušených materiálů, pokaždé za jiného přitlaku. Tento přitlak odpovídá tlaku hlavice měřicích přístrojů působící na textilie během zjišťování hodnot tepelné vodivosti. Bylo provedeno vždy deset měření na různých místech jednotlivých plošných textilií, ze kterých se spočítala průměrná hodnota, která byla použita do výpočetních vzorců.

Při měření na přístroji TP-2 je na textilií působena za tlaku 0,4 kPa, proto byla za stejného tlaku zjištěna tloušťka na tloušťkoměru UNI-TTHICKNESS-METER. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v příloze č. 1.

Na stejném přístroji byla změřena tloušťka pro zjišťování hodnot tepelné vodivosti statickou metodou. Jelikož je při této metodě obtížně nastavit tlak působící na textilií, byla tloušťka textilie zjištěna za normovaného tlaku 0,1 kPa. Výsledky tohoto měření jsou znázorněny v příloze č. 5.

Na přístroji Alambeta byla tloušťka změřena samotným přístrojem během procesu zjišťování termofyzikálních vlastností. Hodnoty naměřené tloušťky za přitlaku hlavice 0,2 kPa jsou zobrazeny v příloze č. 3.

Pro nastavení vzdálenosti desek při měření na Togmeteru SDL M 259 bylo potřeba zjistit tloušťku za přitlaku 6,9 Pa. Ta byla zjištěna na tloušťkoměru SDL M034A za tlaku 7 Pa. Změřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 7.

3.1 Popis zkoumaných plošných textilií

Během tohoto experimentu byly proměřovány tkaniny, pleteniny i netkané textilie. Jak již bylo zmíněno, zkoumala se závislost tepelné vodivosti mezi plošnou textilií syntetickou a přírodní. Představiteli těchto materiálů byly polyester a vlna.

3.1.1 Tkaniny

Při zjišťování hodnot tepelné vodivosti plošných textilií byly zkoumány mimo jiné zástupci tkanin. Jednalo se o tkaninu z polyesterových vláken a tkaninu z vláken vlněných. Obě tyto plošné textilie byly utkány v plátnové vazbě.

- **Tkanina z polyesterových vláken**

- Jemnost osnovních i útkových vláken: $T_v = 4,28 \text{ dtex}$

Jelikož se jedná o vlákna kruhového průřezu, byla jemnost vypočítána z tloušťky osnovních i útkových vláken zjišťované pod projekčním mikroskopem – lanametrem. Měrná hmotnost polyesterových vláken je stanovena na 1380 kg/m^3 . Průměrná tloušťka vláken byla: $d = 19,88 \mu\text{m}$, směrodatná odchylka: $s = 1,986 \mu\text{m}$, variační koeficient: $v = 9,99 \%$.

- Jemnost přízí: $T_o = 2 \times 25 \text{ tex}$; $T_u = 2 \times 24 \text{ tex}$

Z tkaniny bylo vypáráno 10 nití (zvláště v osnově a v útku) o délce alespoň 20 cm. Poté se svazek nití napne, přiloží se přesná 100 mm měrka a konce se odříznou. Zbylé svazky příze (o délce 1 metr) jsou zváženy na přesných digitálních vahách: $m_o = 0,05 \text{ g}$; $m_u = 0,048 \text{ g}$. Bylo zjištěno, že se jedná o dvojmo skané příze jak osnovní, tak útkové.

- Dostava nití: $D_o = 200/0,1 \text{ m}$; $D_u = 180/0,1 \text{ m}$

Dostava nití byla zjištěna přímým počítáním nití ve vzorku tkaniny na 10 mm. Osnovní a útkové nitě se zjišťují zvláště.

- Plošná měrná hmotnost: $\rho_s = 0,1996 \text{ kg/m}^2$

Plošná hmotnost tkaniny byla zjištěna zvážením vzorku o rozměrech $100 \times 100 \text{ mm}$: $m = 1,996 \text{ g/m}^2$. Plošná měrná hmotnost byla přepočítána.

- Objemová měrná hmotnost: $\rho_v = 413,25 \text{ kg/m}^3$

Objemová měrná hmotnost byla spočtena z plošné hmotnosti tkaniny a průměrné tloušťky vzorku (viz příloha č. 5).

- Pórovitost: $P = 70,05 \%$

Pórovitost tkaniny byla vypočtena z hustoty vlákenného materiálu a objemové měrné hmotnosti.

- **Tkanina z vlněných vláken**

- Jemnost osnovních i útkových vláken: $T_v = 4,86$ dtex

Vlněná vlákna jsou také kruhového průřezu, proto byla jejich jemnost vypočítána stejným způsobem jako vlákna polyesterová. Měrná hmotnost vlněných vláken je vymezena na 1320 kg/m^3 . Průměrná tloušťka vláken byla: $d = 21,65 \mu\text{m}$, směrodatná odchylka: $s = 10,94 \mu\text{m}$, variační koeficient: $v = 50,5 \%$.

- Jemnost přízí: $T_o = 2 \times 24 \text{ tex}$; $T_u = 2 \times 23 \text{ tex}$

Měření probíhalo stejně jako u polyesterových nití, na digitálních vahách byla zjištěná hmotnost: $m_o = 0,048 \text{ g}$; $m_u = 0,046 \text{ g}$. I v tomto případě se jednalo o dvojmo skanou přízi v osnově i útku.

- Dostava nití: $D_o = 200/0,1 \text{ m}$; $D_u = 180/0,1 \text{ m}$

Dostava nití vlněné tkaniny byla zjištěna stejným způsobem jako dostava polyesterové tkaniny.

- Plošná měrná hmotnost: $\rho_s = 0,1951 \text{ kg/m}^2$

Plošná hmotnost tkaniny z vlněných vláken byla, stejně jako u tkaniny z polyesterových vláken, zjištěna zvážením vzorku o rozměrech $100 \times 100 \text{ mm}$: $m = 1,951 \text{ g/m}^2$. Plošná měrná hmotnost byla přepočítána.

- Objemová měrná hmotnost: $\rho_v = 319,31 \text{ kg/m}^3$

Objemová měrná hmotnost byla i v tomto případě spočtena z plošné hmotnosti tkaniny a průměrné tloušťky vzorku (viz příloha č. 5).

- Pórovitost: $P = 75,81 \%$

Pórovitost tkaniny byla spočtena z hustoty vlákenného materiálu a objemové měrné hmotnosti.

Tabulka 3.1 zobrazuje souhrn zjištěných parametrů zkoumaných tkanin.

Tab. 3.1 Souhrn parametrů tkanin

TKANINY		
parametr	Polyesterová tkanina	Vlněná tkanina
Jemnost vláken [dtex]	4,28	4,86
Jemnost osnovních přízí [tex]	2 x 25	2 x 24
Jemnost útkových přízí [tex]	2 x 24	2 x 23
Dostava osnovy [počet nití/0,1 m]	200	200
Dostava útku [počet nití/0,1 m]	180	180
Plošná měrná hmotnost [kg/m ²]	0,1996	0,1951
Objemová měrná hmotnost [kg/m ³]	413,25	319,31
Pórovitost [%]	70,05	75,81

3.1.2 Pleteniny

Dalším představitelem plošných textilií, na kterých byla zjišťována hodnota tepelné vodivosti, byly pleteniny. Jednalo se o pleteniny oboulící, a stejně jako v předchozím případě, vlákněným materiálem byly polyester a vlna.

Pletenina z polyesterových vláken

- Jemnost vláken: $T_v = 5,6$ dtex
Postup zjišťování jemnosti vláken byl popsán v předchozí kapitole (3.1.1).
Průměrná tloušťka vláken: $d = 22,7 \mu\text{m}$, směrodatná odchylka: $s = 2,72 \mu\text{m}$,
variační koeficient: $v = 11,98 \%$.
- Jemnost přízí: $T = 7 \times 36,86$ tex
Z pleteniny byla vypárána příze a nastříhána na 10 nití o délce alespoň 20 cm. Potom byl tento svazek nití napnut, a po přiložení přesné 100 mm měřky byly konce odříznuty. Na závěr byly zbývající svazky příze (o délce 1 metr) zváženy na přesných digitálních vahách: $m = 0,258$ g.
Po rozkroucení příze bylo zjištěno, že se jedná o přízi tvořenou seskáním sedmi přízí.
- Hustota sloupků; řádků: $H_s = 28/0,1$ m; $H_r = 44/0,1$ m
Hustota sloupků a řádků byla zjištěna přímým počítáním oček v daném směru vzorku pleteniny na 0,1 m.

- Plošná měrná hmotnost: $\rho_s = 0,9567 \text{ kg/m}^2$
Plošná hmotnost pleteniny byla zjištěna, stejně jako u tkanin, zvážením vzorku o rozměrech 100 x 100 mm: $m = 9,567 \text{ g/m}^2$. Plošná měrná hmotnost byla poté přepočítána.
- Objemová měrná hmotnost: $\rho_v = 222,23 \text{ kg/m}^3$
Objemová měrná hmotnost pleteniny byla spočtena z plošné hmotnosti pleteniny a průměrné tloušťky vzorku (viz příloha č. 5).
- Pórovitost: $P = 83,9 \%$
Pórovitost pleteniny byla vypočtena z hustoty vlákenného materiálu a objemové měrné hmotnosti.

- **Pletenina z vlněných vláken**

- Jemnost vláken: $T_v = 12,35 \text{ dtex}$
Metoda zjišťování jemnosti vláken byla popsána v kapitole 3.1.1. Průměrná tloušťka vláken: $d = 34,51 \mu\text{m}$, směrodatná odchylka: $s = 8,66 \mu\text{m}$, variační koeficient: $v = 25,09 \%$.
- Jemnost přízí: $T = 240 \text{ tex}$
Postup zjišťování jemnosti přízí v pletenině je popsán u polyesterové pleteniny. Zjištěná hmotnost příze: $m = 0,24 \text{ g}$.
- Hustota sloupků; řádků: $H_s = 22/0,1 \text{ m}$; $H_r = 34/0,1 \text{ m}$
Hustota sloupků a řádků byla zjištěna, stejně jako u polyesterové pleteniny, počítáním oček v daném směru vzorku pleteniny na 0,1 m.
- Plošná měrná hmotnost: $\rho_s = 0,659 \text{ kg/m}^2$
Plošná hmotnost pleteniny byla určena, stejně jako u tkanin, zvážením vzorku o rozměrech 100 x 100 mm: $m = 6,59 \text{ g/m}^2$. Plošná měrná hmotnost byla poté přepočítána.
- Objemová měrná hmotnost: $\rho_v = 105,58 \text{ kg/m}^3$
Objemová měrná hmotnost pleteniny byla vypočítána z plošné hmotnosti pleteniny a průměrné tloušťky vzorku (viz příloha č. 5).
- Pórovitost: $P = 92 \%$
Pórovitost pleteniny byla, stejně jako v předchozích případech, vypočtena z hustoty vlákenného materiálu a objemové měrné hmotnosti.

Tabulka 3.2 znázorňuje souhrn zjištěných parametrů vybraných pletenin.

Tab. 3.2 Souhrn parametrů pletenin

PLETENINY		
parametr	Polyesterová pletenina	Vlněná pletenina
Jemnost vláken [dtex]	5,6	12,35
Jemnost přízí [tex]	7 x 36,86	240
Hustota sloupků [počet sloupků/0,1m]	28	22
Hustota řádků [počet řádků/0,1m]	44	34
Plošná měrná hmotnost [kg/m ²]	0,9567	0,659
Objemová měrná hmotnost [kg/m ³]	222,23	105,58
Pórovitost [%]	83,9	92

3.1.3 Netkané textilie

Posledním reprezentantem plošných textilií, na kterých byla zjišťována tepelná vodivost, byly netkané textilie. Jednalo se o vpichované netkané textilie z polyesterových a vlněných vláken. Základními parametry: počet vpichů: 10/0,1m; počet vpichovacích řad: 20; hloubka vpichu: 8 mm.

- **Netkaná textilie z polyesterových vláken**

- Jemnost vláken: $T_v = 6,35$ dtex

Princip získávání jemnosti vláken byl popsán v kapitole 3.1.1. Průměrná tloušťka vláken: $d = 24,21 \mu\text{m}$, směrodatná odchylka: $s = 1,7 \mu\text{m}$, variační koeficient: $v = 7,02 \%$.

- Plošná měrná hmotnost: $\rho_s = 0,1589$ kg/m²

Jelikož jsou netkané textilie nestejněměrné a vznikají silnější a slabší místa, byla plošná hmotnost zjištěna zvážením 5i vzorků o rozměrech 100 x 100 mm a zprůměrována: $m = 1,5886$ g/m² ($m_i = 1,875; 1,655; 1,55; 1,086; 1,777$ g/m²). Plošná měrná hmotnost byla potom přepočítána.

- Objemová měrná hmotnost: $\rho_v = 23,64$ kg/m³

Objemová měrná hmotnost netkané textilie byla vypočítána z plošné hmotnosti netkané textilie a průměrné tloušťky vzorku (viz příloha č. 5).

- Pórovitost: $P = 98,3 \%$

Pórovitost netkané textilie byla vypočtena z hustoty vlákenného materiálu a objemové měrné hmotnosti.

- **Netkaná textilie z vlněných vláken**

- Jemnost vláken: $T_v = 12,4 \text{ dtex}$

Metoda zjišťování jemnosti vláken byla popsána v kapitole 3.1.1. Průměrná tloušťka vláken: $d = 34,577 \mu\text{m}$, směrodatná odchylka: $s = 8,5 \mu\text{m}$, variační koeficient: $v = 24,57 \%$.

- Plošná měrná hmotnost: $\rho_s = 0,135 \text{ kg/m}^2$

Plošná hmotnost byla zjištěna obdobně jako u netkaných textilií z polyesterových vláken: $m = 1,3504 \text{ g/m}^2$ ($m_i = 1,589; 1,733; 1,303; 0,946; 1,181 \text{ g/m}^2$). Plošná měrná hmotnost byla, stejně jako v předchozím případě, přepočítána.

- Objemová měrná hmotnost: $\rho_v = 25,62 \text{ kg/m}^3$

Objemová měrná hmotnost netkané textilie byla spočítána z plošné hmotnosti netkané textilie a průměrné tloušťky vzorku (viz příloha č. 5)

- Pórovitost: $P = 98,06 \%$

Pórovitost netkané textilie byla vypočtena z hustoty vlákenného materiálu a objemové měrné hmotnosti.

V tabulce 3.3 je vyobrazen souhrn zjištěných parametrů netkaných textilií.

Tab. 3.3 Souhrn parametrů netkaných textilií

NETKANÉ TEXTILIE		
parametr	Polyesterová netkaná textilie	Vlněná netkaná textilie
Jemnost vláken [dtex]	6,35	12,4
Plošná měrná hmotnost [kg/m^2]	0,1589	0,135
Objemová měrná hmotnost [kg/m^3]	23,64	25,62
Pórovitost [%]	98,3	98,06

3.2 Metodika experimentů

V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody měření provedené na zvolených plošných textiliích. Jsou zde vystiženy přípravy vzorků k měření, postupy jednotlivých měření a způsoby získávání dat.

3.2.1 Metodika měření na přístroji TP-2

Na přístroji TP-2 je měřena tepelná propustnost plošných textilií mezi spodní deskou vyhřívanou na 35°C a horní deskou udržovanou při teplotě 21 – 23 °C proudícím vzduchem o rychlosti 3 m/s.

Zkoumané vzorky musí mít minimální velikost 120 x 120 mm a maximální tloušťku 10 mm. Tyto vzorky by měly být klimatizovány alespoň 24 hodin předem, při standardních laboratorních podmínkách:

- teplota vzduchu: $t = 20 \pm 2 \text{ °C}$
- relativní vlhkost vzduchu: $\varphi = 65 \pm 2 \%$

Vzorek je přitlačován spodní vyhřívanou deskou k tunelu s proudícím vzduchem pod silou přibližně 5 N. Pro jednotlivá měření je umístěn vždy v jednom směru a lícem nahoru. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího měření, je potřeba vzorky zbavit nečistot a měřit nejméně 30 mm od pevného kraje bez přehybů nebo zvlnění.



Obr. 3.1 Měřicí přístroj TP-2

Zapojením do sítě a zapnutím spínače se přístroj uvede do chodu. Poté se vyčká přibližně 15 – 30 minut na ustálení snímače na přístroji, který je sledován na displeji.

Po stabilizaci tohoto přístroje je za držadla uchycena spodní deska a stažena do dolní polohy. Na tuto vyhřívanou desku s plošným čidlem se volně položí zkoumaný vzorek a deska je lehce vrácena do původního stavu. Doba měření je dána druhem vzorku, trvá přibližně 5 – 60 minut, než se ustálí tepelný režim. Poté je hodnota tepelné propustnosti zobrazené na displeji zapsána. Stažením spodní desky do dolní polohy je zkoumaný vzorek vyjmut a lze začít nové měření.

Je doporučeno provést alespoň deset měření a vypočítat průměrnou hodnotu tepelné propustnosti. Z té lze při znalosti tloušťky zkoumaného vzorku zjistit hodnotu tepelné vodivosti (viz kapitola 2.2.6, vzorec (1)).

Hlavní předností tohoto měření je jednoduchá obsluha přístroje. Nevýhodou je poměrně dlouhá doba ustalování hodnoty tepelné propustnosti materiálů s vysokou porozitou.

Výsledky naměřených hodnot tepelné propustnosti jednotlivých textilií jsou uvedeny v příloze č. 2.

3.2.2 Metodika měření na přístroji Alambeta

Zařízení Alambeta zjišťuje přímým měřením tepelného toku mezi dvěma deskami (32 °C a 22 °C) základní termofyzikální parametry textilií, mezi které se řadí i tepelná vodivost.

Minimální velikost měřených vzorků je 10 x 10 mm a doporučená tloušťka je 0,5 – 8 mm. Podobně, jako v předchozím měření by měly být zkoumané vzorky klimatizovány alespoň 24 hodin předem při klasických laboratorních podmínkách:

- teplota vzduchu: $t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- relativní vlhkost vzduchu: $\varphi = 65 \pm 2 \text{ } \%$

I zde platí pravidlo měřit vzorky nejméně 30 mm od pevného kraje bez přehybů nebo zvlnění a zbavené nečistot.



Obr. 3.2 Měřicí přístroj Alambeta

Všechny ovládací prvky přístroje jsou umístěny na předním panelu. Po zapojení do sítě se přístroj zapne pomocí spínače *O/I*, což je indikováno na displeji. Během pár sekund proběhne kontrola paměti mikropočítače a kontrola analogově číslicového převodníku. Poté se na displeji zobrazí *PrL* (preparation – Low), kdy se začne zahřívat horní měřicí hlavice na stanovenou teplotu, spodní deska zůstává beze změn při okolní teplotě. Přístroj je přednastaven na měření o teplotním rozdílu hlavic 10 °C a přítlaku na zkoušený vzorek 200 Pa. Pro kalibraci přístroje se spustí horní hlavice na spodní desku, kdy přístroj stanoví nulovou tloušťku a horní hlavice se vrátí do původní polohy. Po zobrazení *rDL* (ready – Low) na displeji je zařízení připraveno k vlastnímu měření.

Na základnu přístroje se umístí zkoušený vzorek vždy v jednom směru s osou přístroje, lícem dolů. Stiskem tlačítka *ST* (start) se spouští měřicí cyklus, na jehož

počátku se horní měřicí hlavice spustí na základnu přístroje. Průběh měření je zobrazen nápisem *run* na displeji. Na konci měření se horní hlavice vrátí do původní polohy a na displeji se zobrazí naměřené hodnoty. Tlačítkem *RL* (roll) se přepíná mezi jednotlivými hodnotami. Pro uložení těchto hodnot do statistiky se stiskne klávesa *EN* (enter). Tato měření se opakují minimálně 3x, ale ze statistického hlediska se doporučuje alespoň deset měření. Po proměření souboru vzorku se stiskem tlačítek *EN* a *RL* zobrazí průměrné hodnoty jednotlivých veličin. Těmito statistickými charakteristikami se listuje krátkým stiskem tlačítka *RL*, při dlouhém stisku je zobrazena hodnota variace dané veličiny. Tlačítka *EN* a *ST* jsou statistické hodnoty vymazány.

Přístroj určí hodnotu tepelné vodivosti z definičního vztahu:

$$\lambda = \frac{q}{grad\ t} \quad (10)$$

kde λ ... součinitel tepelné vodivosti [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]

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

$grad\ t$... gradient teploty [$m\ K^{-1}$]

Základní výhodou používání tohoto přístroje při zjišťování termofyzikálních vlastností je krátká doba měření i statistické vyhodnocení díky předvolenému programu. Přístroj také indikuje případné chyby měření. Chybami mohou být nevhodná tloušťka zkoumaného vzorku, velký rozptyl tepelného toku, překročení rozsahu zobrazení některé z veličin apod.

Výsledky naměřených hodnot tepelné vodivosti jednotlivých zkušebních vzorků jsou uvedeny v příloze č. 4.

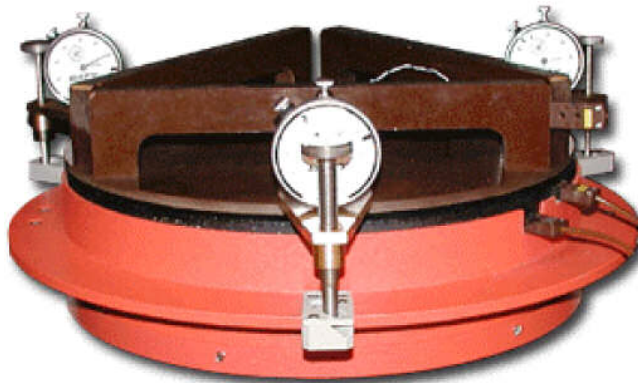
3.2.3 Metodika měření na přístroji Togmeter SDL M 259

Měření na přístroji Togmeter SDL M 259 je založeno na principu zjišťování tepelného odporu plošných textilií mezi spodní vyhřívanou deskou a horní deskou udržovanou při standardní atmosféře.

Zkoumané vzorky musí být upraveny do kruhového tvaru o průměru 330 mm bez pomačkání, záhybů a nečistot a jsou udržovány alespoň 24 hodin za klasických laboratorních podmínek:

- teplota vzduchu: $t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- relativní vlhkost vzduchu: $\varphi = 65 \pm 2 \text{ } \%$

Do přístroje je vkládají vždy v jednom směru s osou přístroje, lícem nahoru.



Obr. 3.3 Měřicí přístroj Togmeter SDL M 259

Pro zjišťování hodnot tepelné vodivosti byla použita metoda měření se dvěma deskami za přítlaku na vzorky 6,9 Pa. Přístroj je umístěn ve skříni s řízeným prouděním vzduchu. Nejprve je potřeba zapnout ovládací skříňku – Heating, ventilátor, zapisovač dat teplot a elektrická topná tělesa a spustit program pro vyhodnocování. Potom je zjištěna tloušťka textilie za přítlaku 6,9 Pa, která je navolena jako vzdálenost mezi deskami na třech tloušťkoměrech Togmeteru SDL M 259. Zkušební vzorek je umístěn na spodní desku přístroje, na něj je přiložena horní deska při stanoveném přítlaku. Poté je spuštěn software pro vyhodnocování dat, který zobrazuje jednotlivé teploty registrované čidly T1, T2 a T3 a v průběhu měření počítá odchylky kolísání teplot.

Doba měření je závislá na druhu zkoušeného vzorku. Experiment končí, když kolísání v různých teplotách, registrované čidly, je menší než 0,1 °C. V tomto případě však byla z praktických důvodů hodnota odchylky stanovena na 0,15 °C, neboť ustalování odchylek na teplotu menší než 0,1 °C by bylo mnohem zdouhavější. Po stabilizaci odchylek je počítačem vypočtena hodnota tepelného odporu zkoušeného materiálu. Se znalostí stanovené tloušťky je vypočtena hodnota tepelné vodivosti (viz kapitola 2.4.1, vzorec (4)).

Základní nevýhodou tohoto měření je dlouhá doba ustalování teplotních odchylek. Kladnou vlastností je software, který vyhodnocuje data přímo. Dříve byla potřeba odchylky jednotlivě vypočítávat až do ustálení teplot.

Výsledky naměřených hodnot tepelného odporu jsou uvedeny v příloze č. 8.

3.2.4 Metodika měření statickou metodou

Měření statickou metodou probíhá za ustáleného stavu mezi dvěma nádobami s proudící vodou o rychlosti 5 l/min.

Velikost měřených vzorků je minimálně 50 x 50 mm dle velikosti senzorů tepelného toku. Co se týká tloušťky, není zde stanoveno přesné rozmezí, ale z důvodu ustálení hodnot se nedoporučují příliš objemné zkušební vzorky. Podobně, jako v předchozích měřeních, i zde je doporučeno zkoumané vzorky klimatizovat alespoň 24 hodin předem při standardních laboratorních podmínkách:

- teplota vzduchu: $t = 20 \pm 2$ °C
- relativní vlhkost vzduchu: $\phi = 65 \pm 2$ %

Textilie bez záhybů, pomačkání a nečistot pokládáme vždy v jednom směru a podobně jako v předchozích případech lícem k chladnější desce.

Zpočátku jsou uvedeny do chodu dva termostaty, na kterých se nastaví potřebné teploty – jeden je nastaven na 30 °C, který cirkuluje vodu do horní nádoby, druhý, který cirkuluje vodu se spodní nádobou, je nastaven na teplotu 20 °C. Zároveň se zapne snímací zařízení a nastaví se daný kanál předvolený pro snímání měrného napětí. Pomocí postranních regulačních šroubů lze nastavit vzdálenost horní nádoby. Spodním regulačním šroubem se nastavuje vzdálenost spodní nádoby dle tloušťky vzorku

a zároveň se stanoví tlak působící na zkoušený vzorek. Po zahřátí horní nádoby je možné začít vlastní měření. Pomocí regulačního šroubu se spodní nádoba nastaví do dolní polohy a na měřicí senzor se položí zkoumaný vzorek. Pak se otáčením šroubu spodní nádoba vrací do horní polohy, kdy se současně nastaví i tloušťka vzorku a přítlak. Signál měřený dvojicí termočlánků z každé nádoby je snímán do měřicí ústředny, kde se vyčkává na ustálení hodnoty měrného napětí. Tato hodnota se zapíše. Regulačním šroubem je spodní nádoba opět přemístěna do dolní polohy, vzorek se vyjme a je možno začít nové měření.

Ze statistického hlediska se doporučuje provést alespoň deset měření a vypočítat průměrnou hodnotu měrného napětí. Z této hodnoty je vypočtena hodnota tepelné vodivosti (viz kapitola 2.2.7, vzorec (2)).

Hlavními nevýhodami tohoto měření jsou dlouhá doba zahřívání horní nádoby s vodou a ruční nastavení tlaku desek na zkoušené textilie, které výrazně ovlivňuje získávané hodnoty měrného napětí.

Výsledky zjištěných hodnot měrného napětí jednotlivých plošných textilií jsou uvedeny v příloze č. 6.

4 Výsledky a diskuze

V této části práce jsou zobrazeny výsledky experimentu jedné a dvou vrstev vybraných plošných textilií. Dále je zde ukázána závislost tepelné vodivosti jednotlivých plošných textilií na jejich prodyšnosti. Výsledky jsou dále diskutovány.

Z důvodu nedostatku materiálu bylo na přístroji Togmeter SDL M 259 provedeno měření pouze jedné vrstvy a pouze jedenkrát, nikoli třikrát, jak je doporučováno.

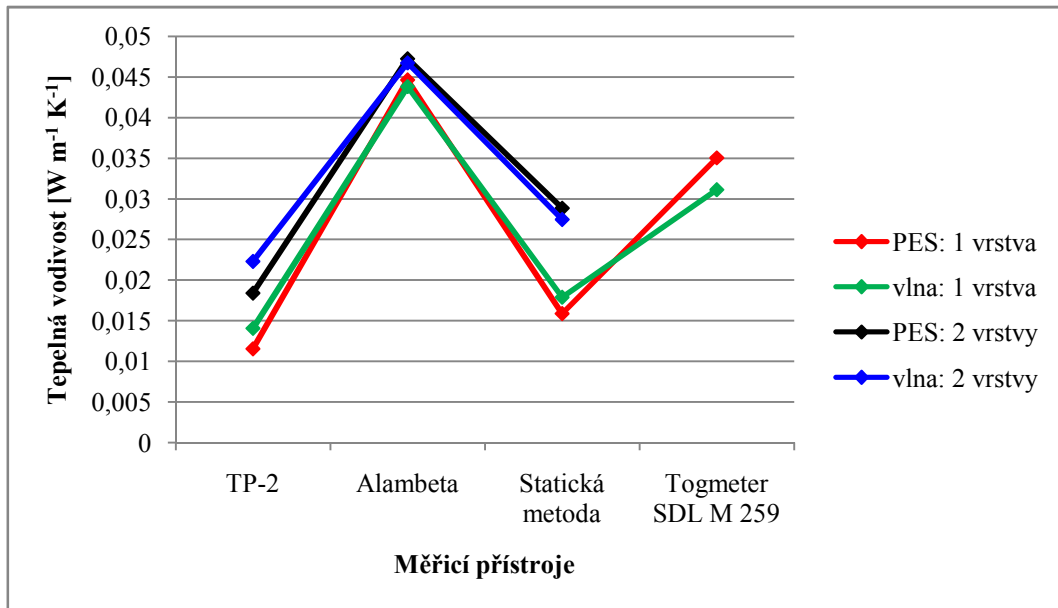
4.1 Zhodnocení tepelné vodivosti tkanin

V této kapitole je vyhodnocena tepelná vodivost tkanin zjištěná na čtyřech vybraných přístrojích a dále je zde ukázána závislost měření mezi jednotlivými vrstvami a rozdíly v materiálovém složení.

Tabulka 4.1 ukazuje souhrnně výsledné hodnoty tepelné vodivosti zjištěné vybranými metodami. Výsledky měření jsou dále graficky znázorněny a diskutovány.

Tab. 4.1 Zjištěné hodnoty tepelné vodivosti tkanin

TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]				
Přístroje	Tkaniny			
	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
TP-2	$1,15 \cdot 10^{-2}$	$1,84 \cdot 10^{-2}$	$1,41 \cdot 10^{-2}$	$2,23 \cdot 10^{-2}$
Alambeta	$4,46 \cdot 10^{-2}$	$4,72 \cdot 10^{-2}$	$4,38 \cdot 10^{-2}$	$4,67 \cdot 10^{-2}$
Statická metoda	$1,59 \cdot 10^{-2}$	$2,89 \cdot 10^{-2}$	$1,79 \cdot 10^{-2}$	$2,74 \cdot 10^{-2}$
Togmeter SDL M 259	$3,50 \cdot 10^{-2}$	X	$3,11 \cdot 10^{-2}$	X



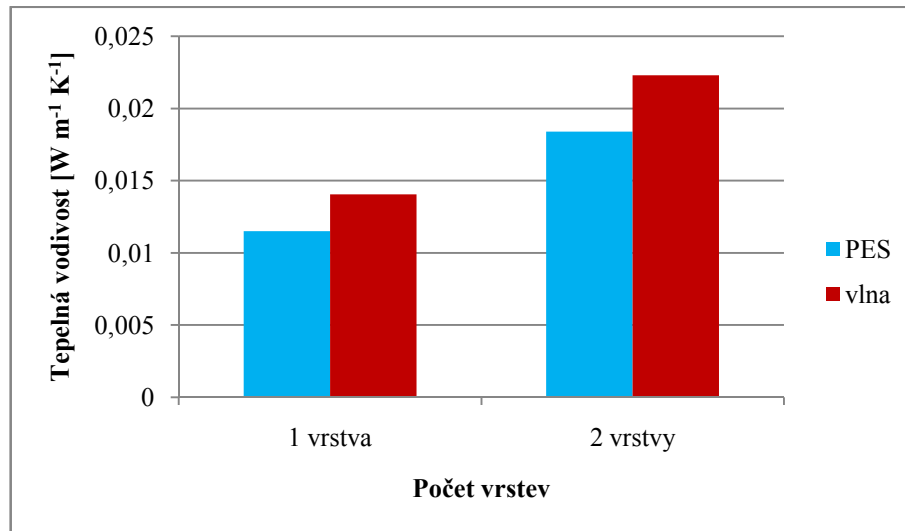
Obr. 4.1 Souhrnný graf tepelné vodivosti tkanin

Obrázek 4.1 znázorňuje výsledky měření tepelné vodivosti vlněných a polyesterových tkanin jedné a dvou vrstev na vybraných přístrojích. Je zde znatelný rozdíl měření mezi jednotlivými přístroji. S odkazem na kapitolu 2.5, kde je psáno, že tepelná vodivost plošných textilií se pohybuje v rozmezí $0,042 - 0,109$ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] je možno konstatovat, že nejpřesněji tepelnou vodivost tkanin změřil přístroj Alambeta a velmi blízko těmto hodnotám se pohybují výsledky měření přístroje Togmeter SDL M 259. Naopak přístroj TP-2 a měření statickou metodou ukazuje silné odchylky.

Možností vzniku chyby v měření na TP-2 je použití velmi tenkých tkanin, které přístroj nemusí být schopný změřit. Variantou nepřesného měření také může být tovární nastavení přístroje, nebo vzhledem k době používání opotřebení pružin, které zajišťují přítlak desek, či porušení teplotního čidla na spodní vyhřevné desce.

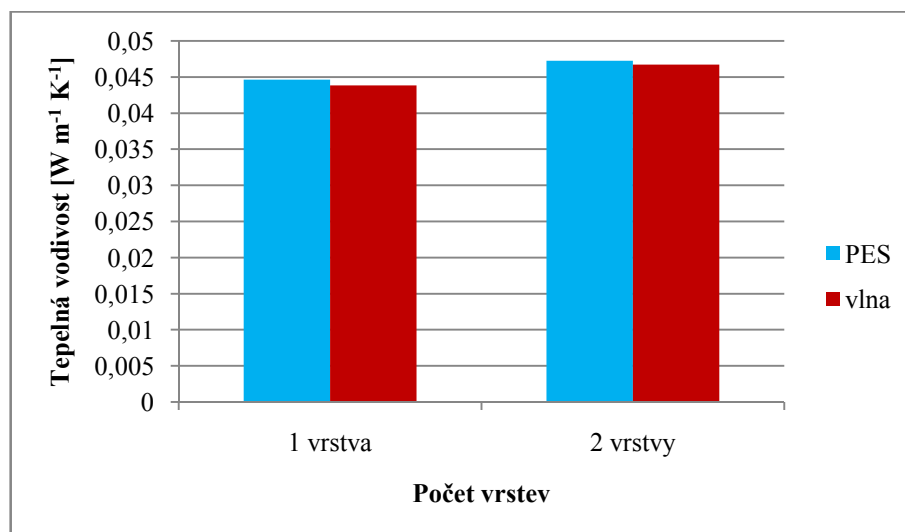
V případě měření statickou metodou je možnost vzniku chyby vysoká, vzhledem k ručnímu nastavení přítlaku. Při otáčení šroubu spodní deska s položeným vzorkem stoupá k horní desce, avšak přesné nastavení tloušťky vzorku při normovaném přítlaku 100 Pa nebylo možné. Výsledné hodnoty měření byly ovlivněny nepatrným pohybem šroubu.

Rozdíly tepelné vodivosti mezi tkaninou ze syntetického materiálu – polyesteru a tkaninou z přírodního materiálu – vlny je možno sledovat na obrázcích 4.2 – 4.5, dle použitého přístroje.



Obr. 4.2 Tepelná vodivost tkanin zjištěná přístrojem TP-2

Graf na obrázku 4.2 znázorňuje zjištěnou tepelnou vodivost tkanin na přístroji TP-2. Je zde viditelná vyšší tepelná vodivost vlněných tkanin jedné i dvou vrstev, než u polyesterových tkanin. Toto pravidlo se však vylučuje s následujícími grafy tepelné vodivosti tkanin, proto lze toto měření považovat za nepřesné. Důvody možného vzniku chyby jsou popsány v předchozím textu.

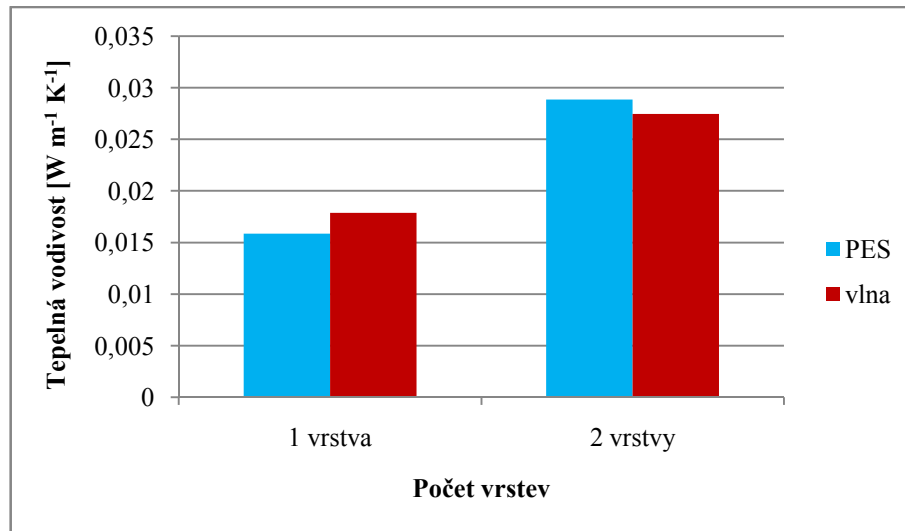


Obr. 4.3 Tepelná vodivost tkanin zjištěná přístrojem Alambeta

Graf na obrázku 4.3 vystihuje tepelnou vodivost tkanin změřenou na přístroji Alambeta.

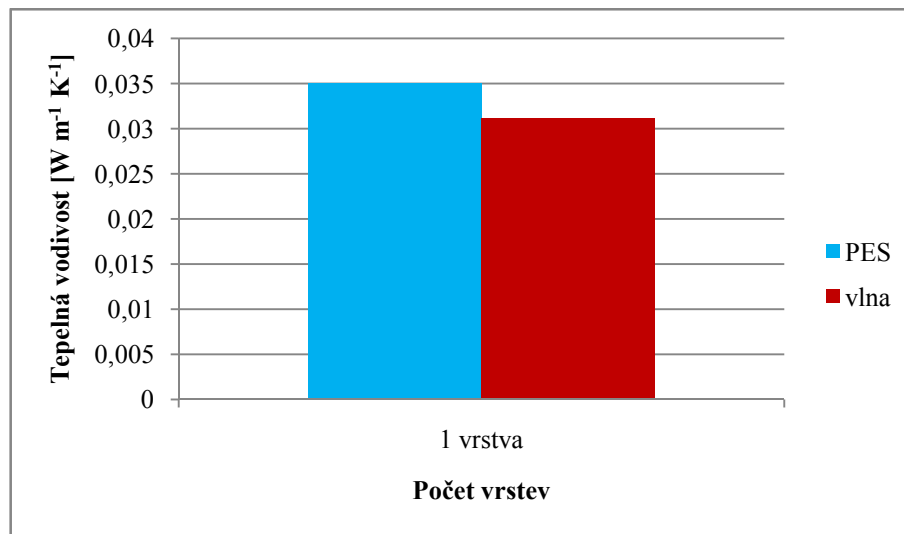
Je zde vidět, že hodnota tepelné vodivosti polyesterové tkaniny jedné i dvou vrstev je vyšší než u tkaniny vlněné, což znamená, že tento zástupce syntetických materiálů vede teplo lépe.

Během tohoto experimentu byla přístrojem indikována chyba tloušťky u jedné vrstvy polyesterové tkaniny, neboť naměřená hodnota 0,4 mm nespĺňuje požadovanou minimální tloušťku vzorku pro měření. To však nemá příliš vliv na měření.



Obr. 4.4 Tepelná vodivost tkanin zjištěná statickou metodou

Obrázek 4.4 ukazuje hodnoty tepelné vodivosti zjištěné pomocí statické metody. Je patrné, že v případě jedné vrstvy je tepelná vodivost vlněné tkaniny vyšší, avšak v případě dvou vrstev je tato hodnota již nižší. Ale jak již bylo zmíněno u obrázku 4.1, výsledné hodnoty měření se nepřibližují vymezeným hodnotám tepelné vodivosti plošných textilií, proto by na toto měření neměl být brán zřetel.



Obr. 4.5 Graf tepelné vodivosti tkanin zjištěná přístrojem Togmeter SDL M 259

Obrázek 4.5 znázorňuje výsledky měření tepelné vodivosti z přístroje Togmeter SDL M 259. Pro nedostatek materiálu zde nebylo provedeno měření dvou vrstev. Graf tedy ukazuje závislost textilních materiálů pouze jedné vrstvy a je vidět, že hodnota tepelné vodivosti polyesterové tkaniny je vyšší než u tkaniny vlněné.

Během tohoto experimentu vznikla v případě polyesterové tkaniny také chyba, zaviněná pravděpodobně nízkou tloušťkou. Hodnota tepelného odporu, ze které se vypočítá tepelná vodivost, nebyla po zdlouhavém měření (asi 20 hodin) ustálena na odchylku menší než 0,15. Experiment byl po zdlouhavém měření ukončen za odchylek přibližně 0,2 registrované na třech různých termoelektrických bodech.

Souhrnně lze říci, že tkaniny ze syntetického materiálu, v tomto případě polyesterových přízí mají lepší tepelnou vodivost než tkaniny z vlněných přízí. Jejich použití je tedy vhodnější pro ošacení, kde je požadováno rychlé odvádění tepla od těla (sportovní oblečení, letní ošacení), zatímco vlněné tkaniny teplo sice také vedou, ale pomaleji, proto je jejich použití vhodné do chladnějšího počasí.

Z tohoto experimentu lze také usoudit, že pro zjišťování hodnot tepelné vodivosti je potřeba použít tkaniny o větší tloušťce, aby nedocházelo k chybám měření.

Rozdíl mezi hodnotami tepelné vodivosti tkanin v závislosti na jejich parametrech není tak viditelný, neboť dle kapitoly 3.1.1 si jsou zkoumané materiály velmi podobné. Této problematice je více věnováno v závěru následující kapitoly.

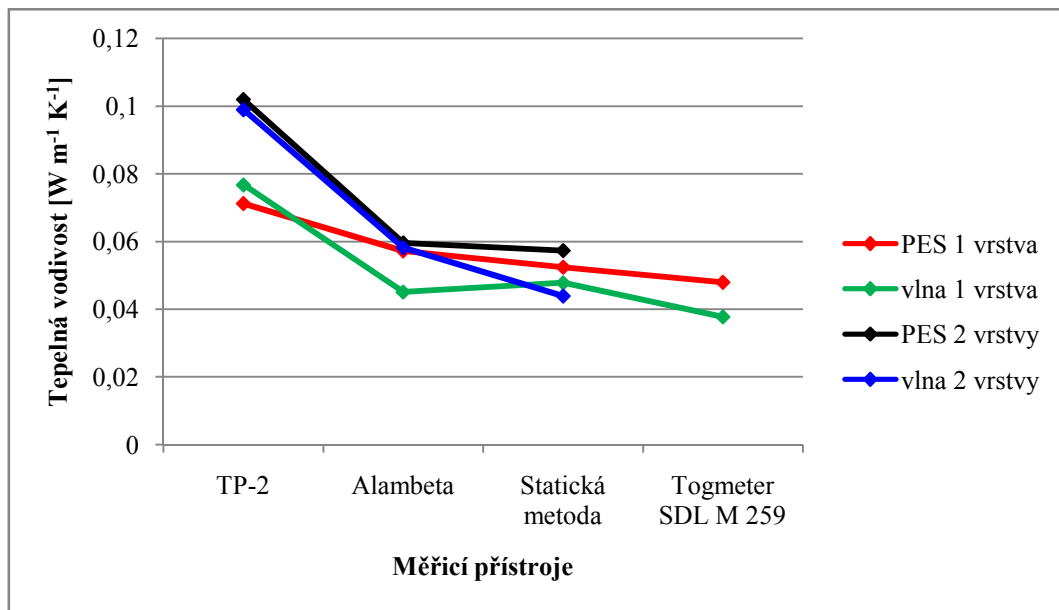
4.2 Zhodnocení tepelné vodivosti pletenin

Tato kapitola je zaměřena na zpracování hodnot tepelné vodivosti pletenin, zjištěných vybranými metodami. Stejně jako u tkanin je zde zobrazena závislost jednotlivých vrstev i materiálového složení.

Tabulka 4.2 zobrazuje výsledné hodnoty tepelné vodivosti pletenin zjištěné na daných přístrojích. Tyto hodnoty jsou dále vyobrazeny v grafech a výsledky diskutovány.

Tab. 4.2 Zjištěné hodnoty tepelné vodivosti pletenin

TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]				
Přístroje	Pleteniny			
	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
TP-2	$7,12 * 10^{-2}$	$10,2 * 10^{-2}$	$7,67 * 10^{-2}$	$9,89 * 10^{-2}$
Alambeta	$5,72 * 10^{-2}$	$5,95 * 10^{-2}$	$4,50 * 10^{-2}$	$5,81 * 10^{-2}$
Statická metoda	$5,24 * 10^{-2}$	$5,73 * 10^{-2}$	$4,78 * 10^{-2}$	$4,38 * 10^{-2}$
Togmeter SDL M 259	$4,79 * 10^{-2}$	X	$3,77 * 10^{-2}$	X

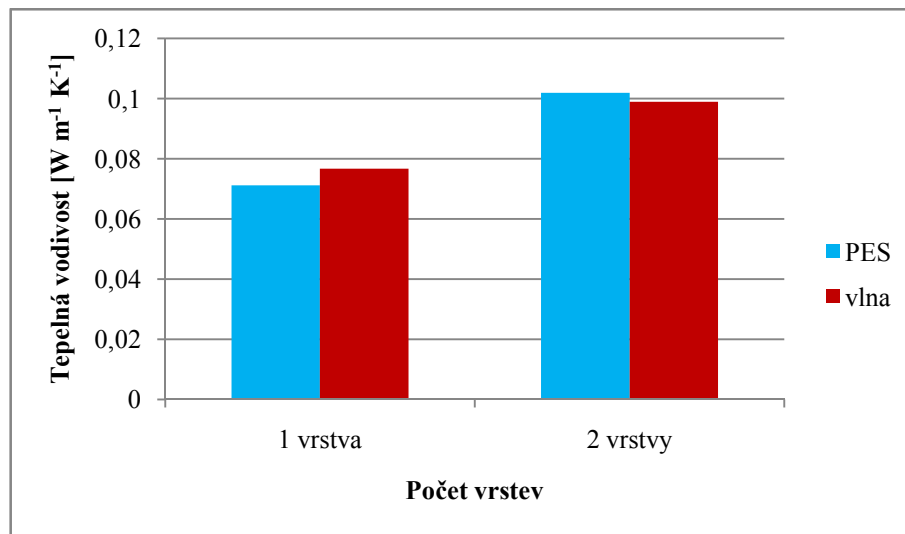


Obr. 4.6 Souhrnný graf tepelné vodivosti pletenin

Na obrázku 4.6 jsou zobrazeny výsledky měření tepelné vodivosti jedné a dvou vrstev polyesterových a vlněných pletenin na čtyřech různých přístrojích. Na rozdíl od souhrnného grafu tepelné vodivosti tkanin jsou zde jednotlivá měření na přístrojích podobná. Jedinou výjimku zde tvoří měření na přístroji TP-2.

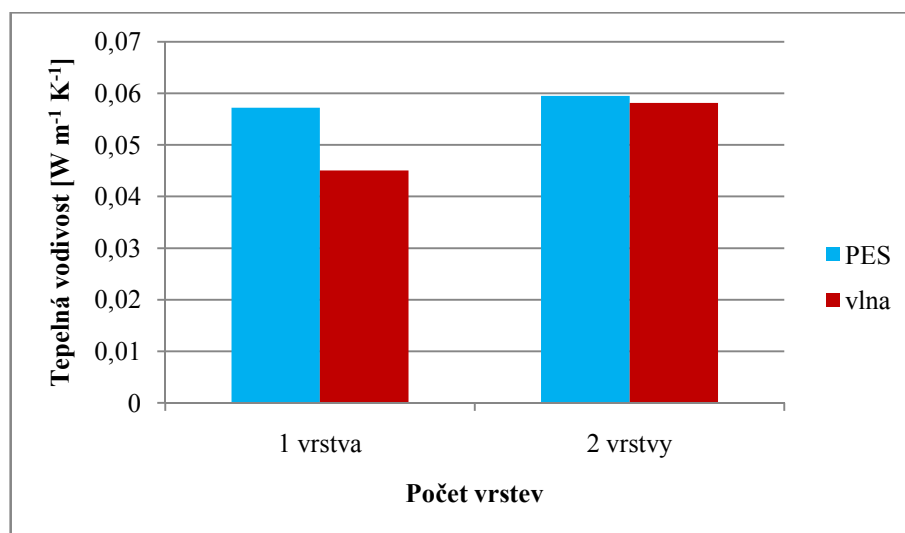
Vybočující hodnoty mohou být způsobeny, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1, nepřesným továrním nastavením přístroje, opotřebením přítlačových pružin nebo porušením teplotního čidla na spodní vyhřevné desce.

Následující grafy (obr. 4.7 – 4.10) znázorňují rozdíly mezi pleteninami z polyesterových přízí a přízí vlněných zjištěné vybranými metodami.



Obr. 4.7 Tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem TP-2

Obrázek 4.7 vystihuje tepelnou vodivost pletenin zjištěnou přístrojem TP-2. Z grafu lze vypočítat, že tepelná vodivost jedné vrstvy je vyšší u vlněných pletenin, zatímco v případě dvou vrstev je vyšší u pletenin polyesterových. Při srovnání s následujícími grafy tepelných vodivostí je měření podobné pouze v případě dvou vrstev, tedy polyesterová pletenina vede teplo lépe než vlněná pletenina, avšak naměřené hodnoty (viz tab. 4.2) vybočují. Celkově lze tedy toto měření zpochybnit.

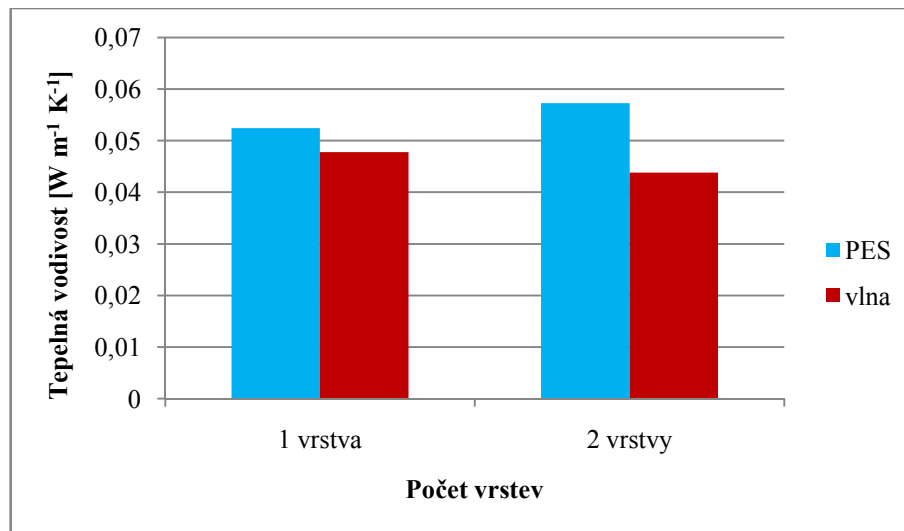


Obr. 4.8 Tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem Alambeta

Na grafu na obrázku 4.8 je sledována tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem Alambeta.

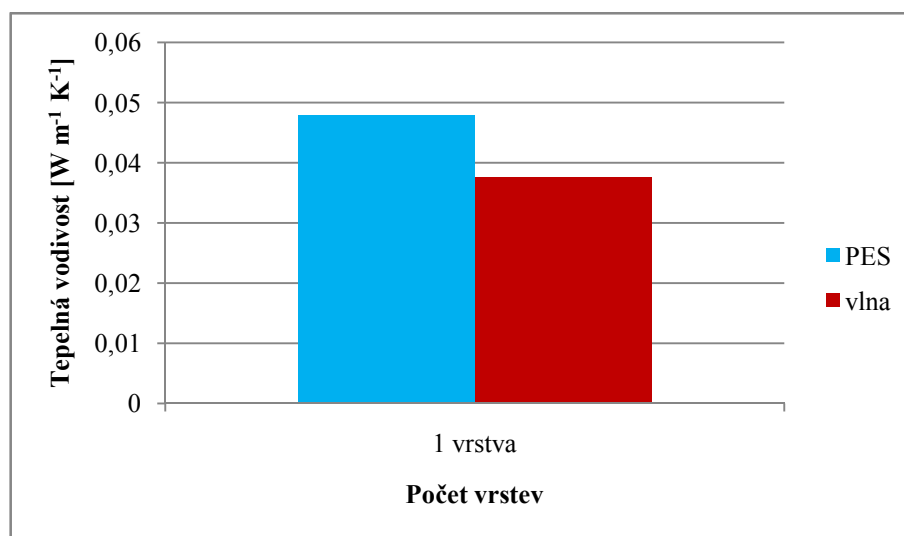
Jak je z grafu patrné, hodnota tepelné vodivosti polyesterových pletenin je vyšší než u pletenin vlněných v případě jedné i dvou vrstev.

V průběhu tohoto experimentu byla také přístrojem indikována chyba. V tomto případě však došlo při měření dvou vrstev vlněné pleteniny k velkému rozptylu tepelného toku, který mohl měření tepelné vodivosti výrazně ovlivnit. To mohlo být způsobeno velkou tloušťkou materiálu, nebo jeho nestejnou měrností. Proto bylo v tomto případě provedeno dalších deset měření, ze souhrnu hodnot bylo odstraněno 5 nejnižších a 5 nejvyšších hodnot tepelné vodivosti a k nim naměřená tloušťka. Ze zbylých dat byla vypočtena průměrná hodnota, která je zobrazena v tomto grafu.



Obr. 4.9 Tepelná vodivost pletenin zjištěná statickou metodou

Obrázek 4.9 vystihuje hodnoty tepelné vodivosti pletenin získané statickou metodou. Ačkoli mohlo dojít k chybě měření z důvodu přitlaku desek na vzorek, výsledné hodnoty tepelné vodivosti jsou podobné hodnotám z měření na přístroji Alambeta i Togmeter SDL M 259. Je zde vidět, že pleteniny z polyesterových přízí vykazují lepší tepelnou vodivost než pleteniny z přízí vlněných. Za povšimnutí stojí pokles tepelné vodivosti vlněné pleteniny při použití dvou vrstev. To může být způsobeno příliš velkou tloušťkou zkoušeného vzorku, přístroj nemusí být schopen změřit přesný přenos tepla.



Obr. 4.10 Tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem Togmeter SDL M 259

Graf na obrázku 4.10 znázorňuje měření jedné vrstvy polyesterové a vlněné pleteniny na přístroji Togmeter SDL M 259. I zde je hodnota tepelné vodivosti pleteniny z polyesterových přízí vyšší než u pleteniny z vlněných přízí, což představuje lepší vedení tepla tohoto syntetického materiálu. Měření dvou vrstev nebylo pro nedostatek materiálu provedeno.

Z výsledků měření tepelné vodivosti pletenin a jejich grafického znázornění lze konstatovat, že i v tomto případě vede syntetický materiál - polyester, lépe teplo, než zástupce přírodního materiálu – vlna. Proto je doporučeno použití těchto materiálů v obdobných případech jako u tkanin.

U této plošné textilie je zajímavé porovnání hodnot tepelné vodivosti s vlivem jemnosti vláken. V kapitole 2.5.1 je uvedeno, že při použití jemných vláken je tepelná vodivost nízká díky zadržovanému vzduchu v mezivlákněných prostorech a naopak, s rostoucí jemností vláken roste i hodnota tepelné vodivosti z důvodu velké kapacity proudícího vzduchu mezi vlákny. Vlákna vlněné pleteniny mají jemnost dvojnásobnou oproti vláknům polyesterové pleteniny, avšak jejich hodnota tepelné vodivosti je nižší. Je tedy možné říci, že zde záleží na vlastnostech výchozího materiálu, neboť vlněná vlákna svou přirozenou obloučkovitostí a šupinkami vytváří již v přízi póry, které vzduch zadržují, zatímco mezi rovnými polyesterovými vlákny vzduch volně cirkuluje.

Zajímavostí je také porovnání tepelné vodivosti s vlivem objemové hmotnosti textilie. Kapitola 2.5.2 uvádí, že s rostoucí objemovou hmotností plošné textilie roste hodnota tepelné vodivosti lineárně. Tato hodnota také závisí na velikosti pórů, které vzduch buď zadržují v drobných komůrkách a hodnota tepelné vodivosti je pak nízká, nebo v případě větších pórů dochází k cirkulaci vzduchu a tím zvýšení hodnoty tepelné vodivosti. Dle základních parametrů pletenin (viz kapitola 3.1.2) se vlněná pletenina zdá být jako materiál, který má z důvodu poloviční objemové hmotnosti a vyšší pórovitosti hodnotu tepelné vodivosti vyšší, než pletenina polyesterová, ačkoli tomu díky přirozenému zobloučkování a šupinkatému povrchu vláken zadržujícímu vzduch tak není. Z toho vyplývá, že stejně jako v předchozím případě vlivu jemnosti vláken je možné tvrdit, že hodnota tepelné vodivosti závisí především na vlastnostech použitých materiálů a vnitřní struktuře textilie.

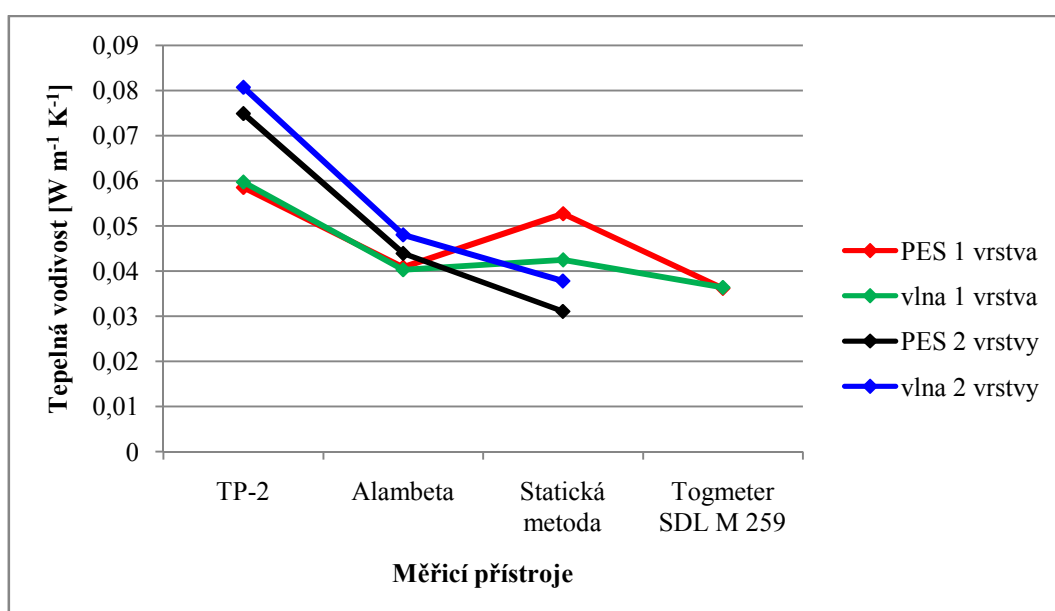
4.3 Zhodnocení tepelné vodivosti netkaných textilií

Tato kapitola se zabývá výslednými hodnotami tepelné vodivosti netkaných textilií, které byly zjištěny vybranými metodami. Podobně jako v předchozích případech, také zde je vyobrazena závislost výchozího vlákenného materiálu i použití vrstev.

Tabulka 4.3 vyobrazuje konečné hodnoty tepelné vodivosti netkaných textilií, zjištěné danými metodami. Grafické zobrazení a projednání těchto výsledků jsou v následujícím textu.

Tab. 4.3 Zjištěné hodnoty tepelné vodivosti netkaných textilií

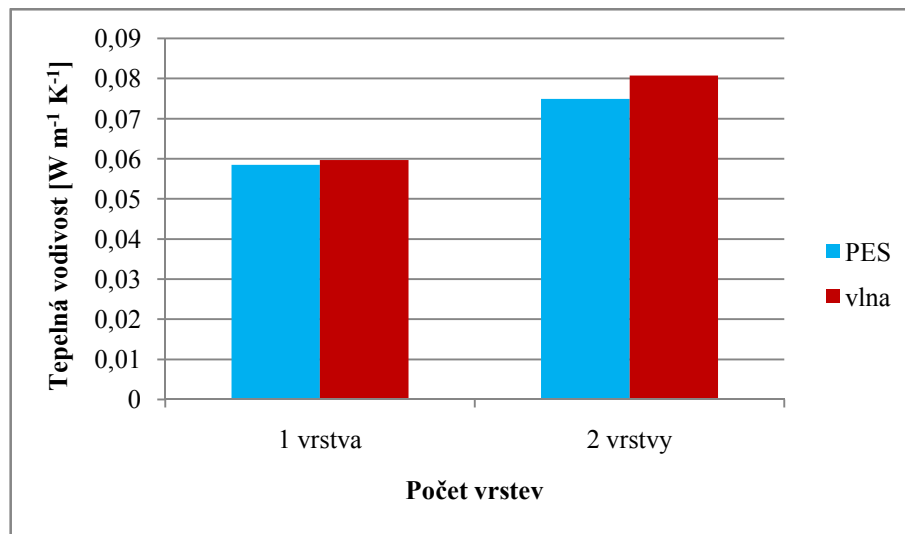
TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]				
Přístroje	Netkané textilie			
	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
TP-2	$5,85 \cdot 10^{-2}$	$7,49 \cdot 10^{-2}$	$5,97 \cdot 10^{-2}$	$8,07 \cdot 10^{-2}$
Alambeta	$4,08 \cdot 10^{-2}$	$4,39 \cdot 10^{-2}$	$4,03 \cdot 10^{-2}$	$4,80 \cdot 10^{-2}$
Statická metoda	$5,27 \cdot 10^{-2}$	$3,10 \cdot 10^{-2}$	$4,24 \cdot 10^{-2}$	$3,78 \cdot 10^{-2}$
Togmeter SDL M 259	$3,61 \cdot 10^{-2}$	X	$3,63 \cdot 10^{-2}$	X



Obr. 4.11 Souhrnný graf tepelné vodivosti netkaných textilií

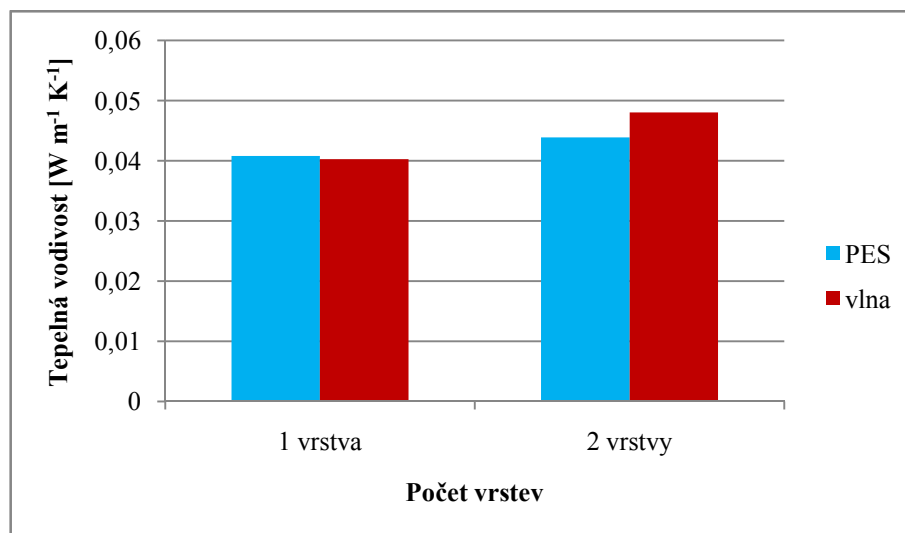
Graf na obrázku 4.11 vystihuje výsledky měření tepelných vodivostí jedné a dvou vrstev netkaných textilií z polyesterových a vlněných vláken na vybraných přístrojích. Je zde vidět jistá podobnost výsledných hodnot měření na přístrojích Alambeta a Togmeter SDL M 259. Výsledky měření přístroje TP-2 jsou opět vybočující, podobně jsou na tom i data získaná statickou metodou. Důvody vzniku vybočující hodnot těchto měření jsou popsány v předchozích kapitolách.

Rozdíly mezi netkanými textiliemi z polyesterových a vlněných vláken jedné i dvou vrstev jsou znázorněny na obrázcích 4.12 – 4.15.



Obr. 4.12 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná přístrojem TP-2

Graf na obrázku 4.12 vystihuje tepelnou vodivost jedné a dvou vrstev netkaných textilií z vlněných a polyesterových vláken, proměřenou na přístroji TP-2. Z grafu je patrné, že v obou případech má tepelnou vodivost větší vlněná netkaná textilie. Jelikož jsou hodnoty tepelné vodivosti vybočující oproti ostatním měřením, není na tento graf brán příliš zřetel.

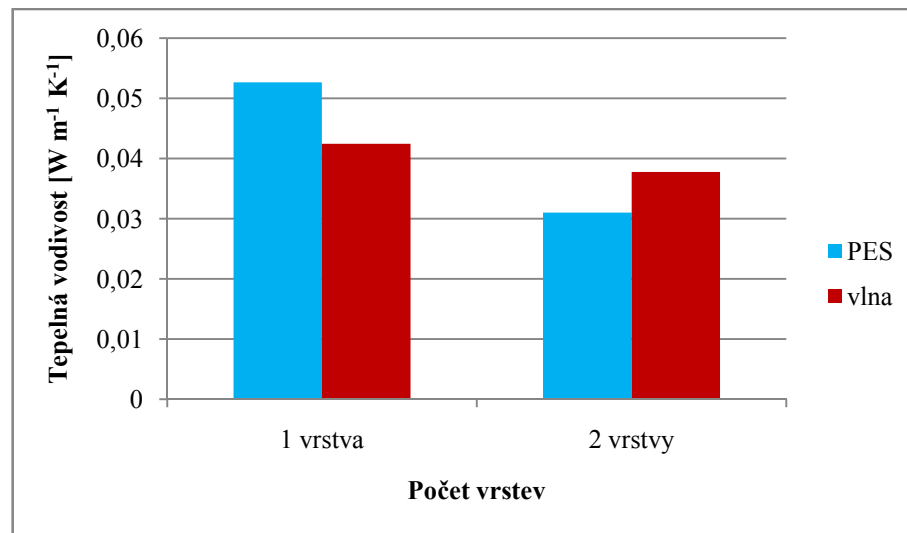


Obr. 4.13 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná přístrojem Alambeta

Obrázek 4.13 ukazuje tepelnou vodivost jedné a dvou vrstev polyesterových a vlněných netkaných textilií zjištěnou přístrojem Alambeta. Graf znázorňuje v případě jedné vrstvy nepatrně vyšší tepelnou vodivost netkaných textilií

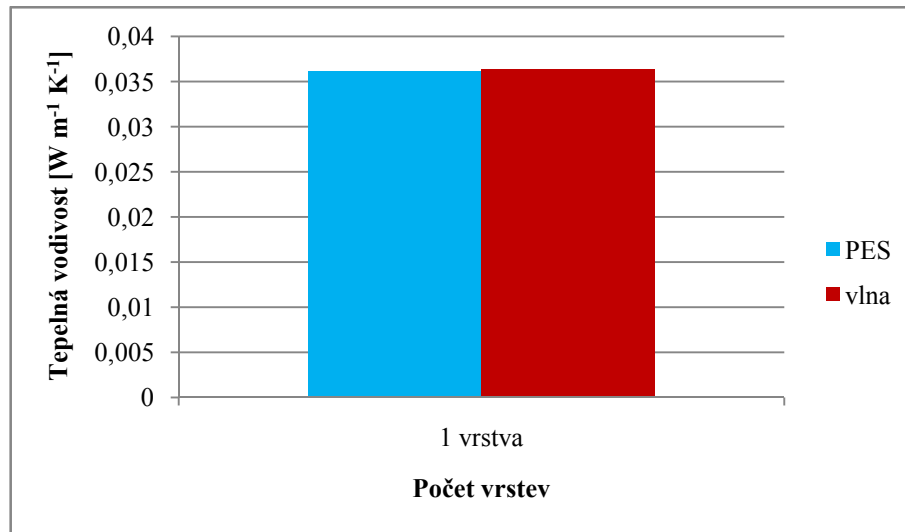
z polyesterových vláken, v případě dvou vrstev je znatelný nárůst tepelné vodivosti netkané textilie z vláken vlněných. Rozdíl jednotlivých vrstev i vlákenných materiálů může být spojen s velkým množstvím vzduchu, který není uzavřen a při vrstvení netkaných textilií se zvyšuje. Dle kapitoly 3.1.3 se hodnota pórovitosti pohybuje okolo 98 % u jedné vrstvy, v případě dvou vrstev může ještě vzrůst.

Jelikož se na tomto přístroji obvykle zjišťují termofyzikální parametry textilií užívaných v běžném životě ve styku s lidskou pokožkou (bundy, spací pytle), je zde možnost nepřesného měření u materiálů, které se používají pouze jako výplň.



Obr. 4.14 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná statickou metodou

Na obrázku 4.14 je zobrazen graf tepelné vodivosti vybraných netkaných textilií změřených statickou metodou. Získaná data ukazují stejně jako u přístroje Alambeta vyšší tepelnou vodivost polyesterové netkané textilie v případě jedné vrstvy, v případě dvou vrstev je vyšší tepelná vodivost vlněné netkané textilie. Ačkoli může být měření ovlivněno nepřesným přitlakem desek na zkoušené vzorky, je zde viditelný pokles tepelné vodivosti v případě dvou vrstev. Úbytek zjišťované hodnoty může být způsoben příliš velkou tloušťkou zkoušených textilií. Jak již bylo zmíněno u vlněné pleteniny, při použití dvou silných vrstev nemusí být přístroj schopen přesný přenos tepla změřit. Stejně tomu může být i vlivem vysoké hodnoty pórovitosti těchto materiálů, které v sobě vzduch zadržují.



Obr. 4.15 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná přístrojem Togmeter SDL M 259

Graf na obrázku 4.16 zachycuje tepelnou vodivost jedné vrstvy vybraných netkaných textilií zjištěnou přístrojem Togmeter SDL M 259. Z grafu lze vypočítat vyšší hodnotu tepelné vodivosti netkané textilie z vlněných vláken. Ačkoli jsou výsledky tohoto měření v rozporu s výsledky získanými měřeními na Alambetě či statickou metodou, odlišnost hodnot oproti netkané textilii z polyesterových vláken není příliš velká. Tento nepatrný rozdíl může být dán pórovitostí zkoušených textilií.

Ze zjištěných hodnot tepelné vodivosti netkaných textilií a jejich grafického zobrazení nelze přesně určit, který z materiálů má vyšší hodnotu tepelné vodivosti.

S ohledem na měření tkanin a pletenin je možno říci že lepší tepelnou vodivost mají polyesterové materiály. Nicméně u netkaných textilií se nebere zřetel na vztahy: vlákno – příze, příze – plošná textilie, proto je v tomto případě dobré porovnat vlivy, které měření tepelné vodivosti mohou ovlivňovat.

Jedním z těchto faktorů může být jemnost vláken (viz kapitola 2.5.1). Hodnota tepelné vodivosti je nižší v případě jemnějších vláken z důvodu malých mezivláknových prostor, které zadržují vzduch. Naopak v případě vyšší jemnosti se hodnota tepelné vodivosti zvyšuje. Ve srovnání s použitým vlákněným materiálem zkoušených netkaných textilií (viz kapitola 3.1.3) lze vypočítat, že jemnost vlněných vláken je

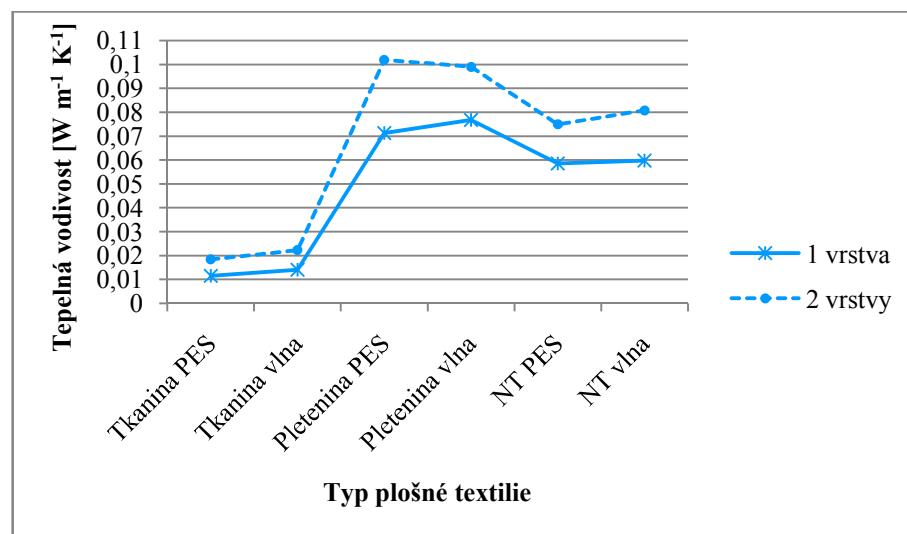
přibližně dvojnásobná oproti polyesterovým vláknům, proto je i hodnota tepelné vodivosti vyšší.

Dalším prvkem, který může hodnotu tepelné vodivosti ovlivňovat je objemová hmotnost textilie (viz kapitola 2.5.2). Hodnota tepelné vodivosti se zvyšuje s rostoucí hodnotou objemové hmotnosti, tedy s větším procentem vláken než vzduchu. Při sledování tohoto faktoru (viz kapitola 3.1.3) lze zjistit, že tepelná vodivost netkaných textilií z vlněných vláken by měla být nepatrně vyšší. Stejně tomu je i v případě sledování pórovitosti textilií. Větší procento pórovitosti mají netkané textilie z polyesterových vláken, čili v této textilii je více vzduchových mezer, které teplo zadržují, proto je v tomto případě hodnota tepelné vodivosti nižší.

4.4 Vzájemné porovnání tepelné vodivosti jedné vrstvy a dvou vrstev plošných textilií

V této kapitole je diskutován vliv vrstev jednotlivých plošných textilií na tepelnou vodivost.

Na obrázcích 4.16 – 4.18 jsou znázorněny průběhy jednotlivých měření na vybraných přístrojích.



Obr. 4.16 Porovnání jedné a dvou vrstev na přístroji TP-2

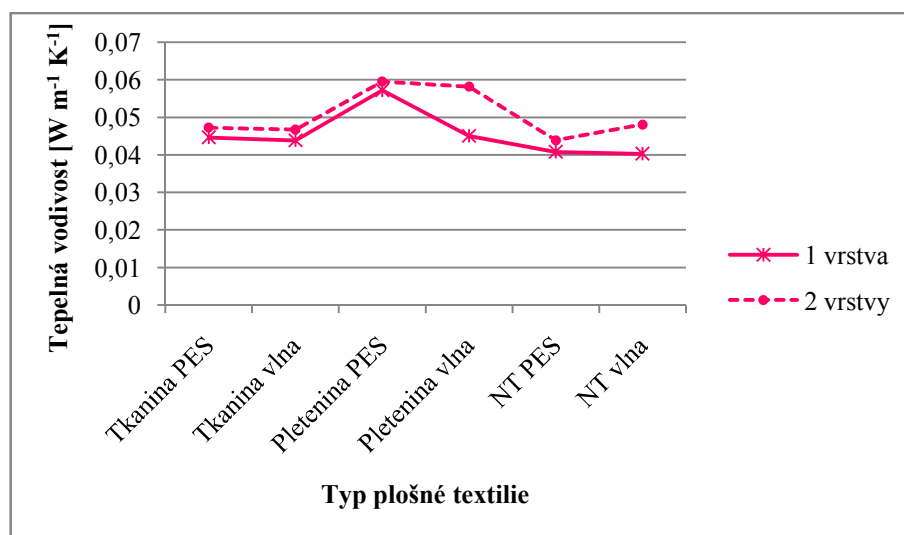
Graf na obrázku 4.16 zobrazuje vliv použití vrstev na hodnotu tepelné vodivosti jednotlivých materiálů, sledovaný přístrojem TP-2.

Ačkoli dle tabulek 4.1 – 4.3 lze vypočítat, vybočující hodnoty tepelné vodivosti zjištěné tímto zařízením, z grafu je patrné, že průběh měření jedné i dvou vrstev jednotlivých materiálů je stejný.

Při použití dvou vrstev v porovnání s jednou vrstvou se tepelná vodivost zvýší o: viz tabulka 4.4.

Tab. 4.4 Procentuální růst hodnoty tepelné vodivosti při užití dvou vrstev na přístroji TP-2

TP-2	PES	vlna
Tkaniny	59,8 %	58,6 %
Pleteniny	43,1 %	29,0 %
Netkané textilie	28,1 %	35,2 %



Obr. 4.17 Porovnání jedné a dvou vrstev na přístroji Alambeta

Měření jednotlivých vrstev na přístroji Alambeta je zobrazeno na obrázku 4.17. Graf vystihuje vliv jedné a dvou vrstev na hodnotu tepelné vodivosti vybraných materiálů.

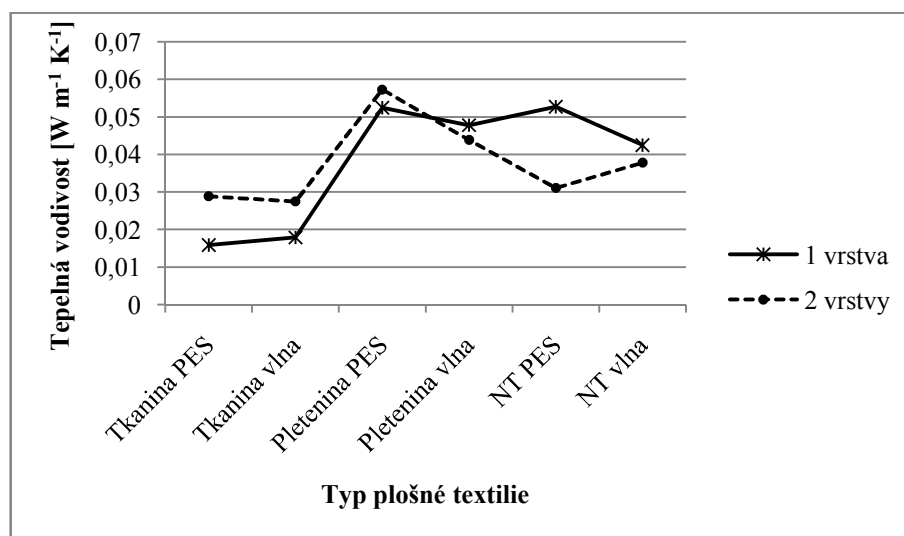
Z naměřených hodnot zobrazených v grafu lze vypočítat až na vlněnou pleteninu a netkanou textilií stejného materiálu shodný průběh měření jednotlivých vrstev. Možné důvody vybočujících hodnot jsou popsány v předešlých kapitolách.

Při aplikaci dvou vrstev se hodnota tepelné vodivosti zvýší pouze o: viz tabulka 4.5.

Tab. 4.5 Procentuální růst hodnoty tepelné vodivosti při užití dvou vrstev na přístroji

Alambeta

Alambeta	PES	vlna
Tkaniny	5,8 %	6,6 %
Pleteniny	4,0 %	29,1 %
Netkané textilie	7,5 %	19,3 %



Obr. 4.18 Porovnání jedné a dvou vrstev statické metody

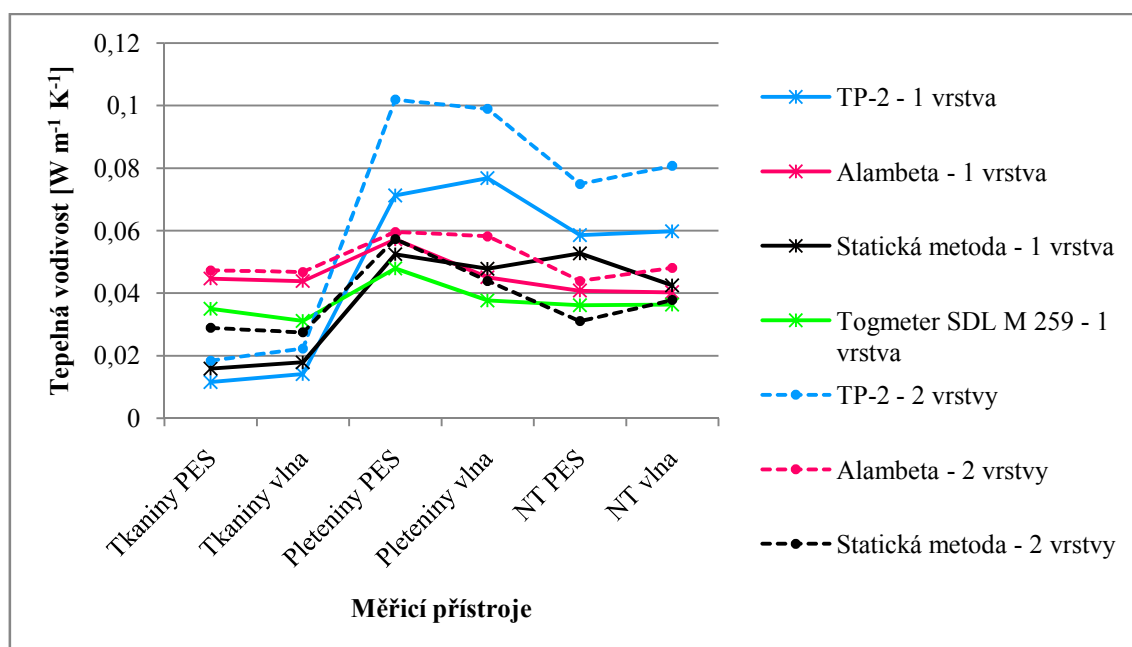
Obrázek 4.18 zobrazuje vliv vrstev na hodnotu tepelné vodivosti vybraných materiálů, pozorovaný statickou metodou.

Z grafu lze sledovat u tkanin obou typů a u polyesterové pleteniny přibližně podobný průběh měření, zatímco ve zbylých případech je možno měření dvou vrstev považovat za chybné. To může být způsobeno, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, příliš velkou tloušťkou zkoušených vzorků, které přístroj nemusí být schopen správně změřit.

Přiložením druhé vrstvy se hodnota tepelné vodivosti zvýší o: viz tabulka 4.6.

Tab. 4.6 Procentuální růst hodnoty tepelné vodivosti při užití dvou vrstev u statické metody

Statická metoda	PES	vlna
Tkaniny	82,0 %	53,6 %
Pleteniny	9,3 %	-8,2 %
Netkané textilie	-41,1 %	-11,0 %



Obr. 4.19 Souhrnné zobrazení jedné a dvou vrstev plošných textilií vybranými metodami

Na obrázku 4.19 je znázorněn souhrnný graf použití vrstev při měření vybranými přístroji. Z tohoto grafu lze vypočítat hodnoty tepelné vodivosti jedné a dvou vrstev vybraných materiálů, zjištěné na stanovených přístrojích.

Jsou vidět podobné hodnoty měření obou vrstev na přístroji Alambeta (růžové křivky) a měření přístroje Togmeter SDL M 259 jedné vrstvy (zelená křivka). Jak již bylo zmíněno, měření dvou vrstev na tomto přístroji nebylo pro nedostatek materiálu provedeno. Proto chybí porovnání hodnot tepelné vodivosti při použití více úrovní vybraných vzorků. Při sledování těchto křivek však lze vydedukovat, že zjišťování hodnot tepelné vodivosti je nejpřesnější při užití těchto přístrojů.

Sledováním hodnot tepelné vodivosti zjištěných statickou metodou (křivky černé barvy) lze vypořovovat v porovnání s přístroji Alambeta a Togmeter SDL M 259 odlišná měření, tyto odchylky však nejsou příliš velké. Dokonce v případě polyesterové pleteniny jedné i dvou vrstev se hodnoty tepelné vodivosti téměř shodují. Celkově lze konstatovat, že během tohoto měření vznikají chyby následkem nepřesně stanoveného přítlaku desek na vzorek. Nedostatkem přístroje je také nepřesné měření při užití vzorků větší tloušťky. To lze z grafu vypořovovat v případě dvou vrstev jak vlněné pleteniny, tak i netkaných textilií obou typů vláken.

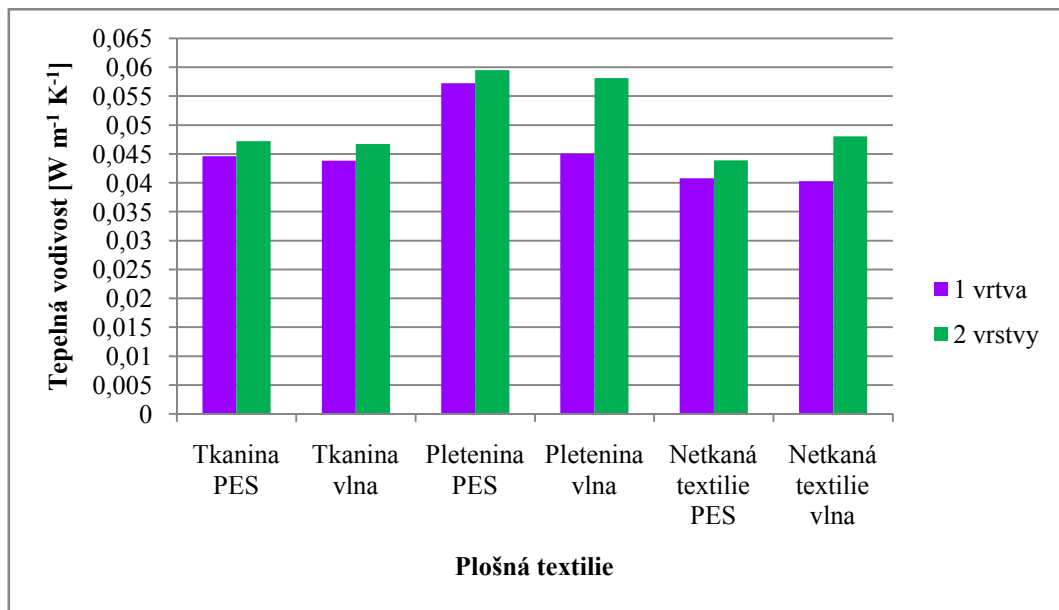
Co se týká přístroje TP-2, nepřesnost výsledných hodnot tepelné vodivosti byla zmíněna v předchozích kapitolách.

Z výsledků tohoto experimentu, sledované přístrojem Alambeta, lze konstatovat, že při užití dvou vrstev se hodnota tepelné vodivosti nezvýší o dvojnásobek, ale pouze o několik málo procent. Z toho vyplývá, že celková hodnota tepelné vodivosti se sníží a textilie tak teplo spíše ho zadržují.

4.5 Porovnání hodnot tepelné vodivosti všech plošných textilií na přístroji Alambeta

Tato kapitola je zaměřena na vzájemné porovnání hodnot tepelné vodivosti jednotlivých plošných textilií.

Pro srovnání byl vybrán přístroj Alambeta z důvodu nejpřesnějšího měření jedné i dvou vrstev plošných textilií. Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti jednotlivých plošných textilií je znázorněno na obrázku 4.20.



Obr. 4.20 Srovnání hodnot tepelné vodivosti jednotlivých plošných textilií

Graf na obrázku 4.20 sleduje vztah hodnot tepelné vodivosti mezi jednotlivými plošnými textiliemi, které byly naměřeny na přístroji Alambeta.

V případě jedné vrstvy lze z grafu vypočítat vyšší hodnotu tepelné vodivosti u všech polyesterových plošných textilií. V případě dvou vrstev má pouze vlněná netkaná textilie lepší tepelnou vodivost, u tkanin i pletenin je lépe vodivý opět polyesterový materiál.

Pokud je sledováno vzájemné porovnání hodnot tepelné vodivosti samostatných plošných textilií, pak lze z grafu vyčíst nejvyšší hodnotu u pletenin a to v případě jedné i dvou vrstev. To může být dáno ve srovnání s tkaninami množstvím neuzavřeného vzduchu mezi vlákny v přízích, což způsobuje přenos tepelného toku převážně prouděním a tím je i hodnota tepelné vodivosti vyšší. Naopak u tkanin, kde je vzduch uzavřen v drobných komůrkách, je teplo přenášeno pouze vedením a sáláním, proto je hodnota tepelné vodivosti nižší. Nejnižší hodnota tepelné vodivosti je patrná u netkaných textilií. Tento jev může být zapříčiněn vysokou pórovitostí textilie, která dosahuje až 98 % a tudíž teplo není vedeno pomocí struktury textilie, ale převážně vzduchem. A jelikož hodnota tepelné vodivosti vzduchu je nižší (pohybuje se okolo 0,024 W m⁻¹ K⁻¹), tak i výsledná hodnota tepelné vodivosti netkaných textilií je nízká.

4.6 Závislost tepelné vodivosti plošných textilií na jejich prodyšnosti

Tato kapitola je zaměřena na zobrazení závislosti mezi dvěma veličinami, v tomto případě mezi naměřenou hodnotou tepelné vodivosti a zjištěnou hodnotou prodyšnosti vybraných plošných textilií.

Nejprve je potřeba definovat co to prodyšnost je a jak se zjišťuje. Tomu je věnována následující podkapitola.

4.6.1 Prodyšnost

Dle normy ČSN EN ISO 9237 je prodyšností rozuměno rychlost proudu vzduchu, který prochází kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách.

Podstatou je měření rychlosti proudění vzduchu, který projde kolmo danou plochou textilie při stanoveném tlakovém spádu. Doporučená zkušební plocha je 20 cm^2 , tlakový spád 100 Pa, rychlost průtoku vzduchu se uvádí v l/min.

Před vlastním zkoušením musí být vzorky klimatizovány při standardních laboratorních podmínkách, experiment se provádí v normálním ovzduší pro zkoušení. Vzorek bez záhybů či pomačkaní je upnut do kruhového držáku vzorku lícem nahoru, vždy v jednom směru, na přístroji se zreguluje tlakový spád 100 Pa. Zapnutím spínače se spustí ventilátor, který nasává vzduch přes zkušební vzorek. Průtok vzduchu je seřizován, než se dosáhne doporučeného tlakového spádu na textilii, poté je hodnota zaznamenána.

V případě vysoké hodnoty průtoku vzduchu, která leží mimo rozsah měření, se použije více vrstev textilií. Vrstvy bez záhybů a pomačkaní musí být uloženy na sobě stejným směrem, vždy lícem nahoru.

Je doporučeno provést vždy alespoň deset měření na různých místech zkušebního vzorku, v případě více vrstev jsou kombinace náhodné. Z naměřených hodnot se vypočítá aritmetický průměr, ze kterého je zjištěna hodnota prodyšnosti.

Vzorec pro výpočet prodyšnosti:

$$R = \frac{\overline{q_v}}{A} 167 \quad (11)$$

kde R ... prodyšnost [mm/s]

$\overline{q_v}$... aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu [l/min]

A ... zkoušená plocha textilie [cm²]

167 ... přepočítávací faktor z [l/min cm²] na [mm/s]

Pro porovnání hodnot jsou převzaty hodnoty tepelné vodivosti zjištěné přístrojem Alambeta z důvodu nejpřesnějšího měření jedné i dvou vrstev (viz příloha č. 4).

Při zjišťování prodyšnosti byly naměřeny hodnoty jedné i dvou vrstev pouze u tkanin. U zbylých plošných textilií bylo potřeba změřit více vrstev, jelikož hodnota průtoku vzduchu u jedné a také dvou vrstev přesahovala rozsah přístroje. V případě pletenin byla hodnota naměřena přes čtyři vrstvy, u netkaných textilií přes osm vrstev. Tyto vrstvy byly vynásobeny a přepočteny na jednu a dvě vrstvy dle koeficientu, který je pro polyesterové plošné textilie 1,2, pro vlněné plošné textilie 1,1. Tyto koeficienty byly spočteny dle vztahu mezi jednou a dvěma vrstvami u tkanin pro jednotlivé textilní materiály. U takto přepočítaných hodnot prodyšnosti je potřeba brát v úvahu určitou chybu, ta by však neměla výsledné hodnocení závislostí výrazně ovlivňovat.

Hodnoty vypočtených prodyšností jsou zobrazeny v příloze č. 10.

Závislost jedné hodnoty na druhé se zjišťuje pomocí korelačního koeficientu. V tomto případě byla zjišťována závislost hodnot tepelných vodivostí jednotlivých plošných textilií na jejich prodyšnostech. Vypočítané hodnoty jednotlivých korelací jsou zobrazeny v tabulce 4.7.

Tab. 4.7 Hodnoty korelace tepelné vodivosti na prodyšnosti plošných textilií

KORELAČNÍ KOEFICIENTY						
	Tkaniny		Pleteniny		Netkané textilie	
	PES	vlna	PES	vlna	PES	vlna
1 vrstva	-0,439	-0,294	0,061	-0,173	-0,533	-0,305
2 vrstvy	-0,245	0,169	-0,029	-0,403	0,215	0,505

Z této tabulky hodnot lze vysledovat jednotlivé závislosti tepelné vodivosti plošných textilií na jejich prodyšnosti. Čím více se koeficient korelace přibližuje v absolutní hodnotě číslu 1, tím je závislost vyšší. Dle znaménka se rozlišuje závislost pozitivní (s rostoucí jednou hodnotou se druhá hodnota také zvyšuje), nebo závislost negativní (s rostoucí hodnotou jedné proměnné druhá hodnota klesá). V případě hodnot blížících se k číslu 0 lze mluvit o absolutní nezávislosti proměnných.

U jedné vrstvy polyesterových i vlněných tkanin lze vysledovat závislost slabou negativní. To znamená, že s rostoucí hodnotou prodyšnosti se tepelná vodivost mírně snižuje. Tato souvislost je větší v případě polyesterových tkanin. Při užití dvou vrstev je u polyesterových tkanin vidět menší závislost než v případě jedné vrstvy, u tkanin vlněných lze vyzorovat závislost pozitivní, která vykazuje růst hodnoty tepelné vodivosti s rostoucí prodyšností. Vzhledem k nízkému číslu tohoto korelačního koeficientu lze však říct, že tato závislost je minimální až téměř žádná.

Hodnoty korelačního koeficientu pletenin z polyesterových přízí vykazují téměř nulovou závislost tepelné vodivosti této textilie na její prodyšnosti. V případě vlněných pletenin je závislost slabá negativní, ačkoli se s počtem vrstev zvyšuje.

Závislost hodnot tepelné vodivosti jedné vrstvy netkaných textilií na jejich prodyšnosti je slabá negativní, v případě polyesterové textilie je vyšší. Naopak u dvou vrstev netkaných textilií se objevuje závislost pozitivní, která je v tomto případě větší u vlněného materiálu.

Celkově lze usoudit, že v případě všech plošných textilií jedné i dvou vrstev je závislost tepelné vodivosti na prodyšnosti nízká. To může být způsobeno konstrukcí jednotlivých plošných textilií.

Během zjišťování závislostí bylo potřeba počítat s určitými chybami hodnot prodyšností pletenin a netkaných textilií, které bylo potřeba přepočítat z důvodu vysokého rozsahu průtoku vzduchu mimo možnosti přístroje. Tyto chyby však výslednou hodnotu korelace neovlivňují.

Grafické znázornění závislostí mezi tepelnou vodivostí a prodyšností jednotlivých plošných textilií je v příloze č. 11.

Na základě poznatků zjištěných závislostí tepelné vodivosti na prodyšnosti se nabízí možnost prověření korelace tepelné vodivosti na dalších parametrech plošných textilií. Nabízenou možností je tloušťka plošných textilií (viz příloha č. 3). Vypočítané korelační koeficienty jsou zobrazeny v tabulce 4.8.

Tab. 4.8 Hodnoty korelace tepelné vodivosti na tloušťce plošných textilií

KORELAČNÍ KOEFICIENTY						
	Tkaniny		Pleteniny		Netkané textilie	
	PES	vlna	PES	vlna	PES	vlna
1 vrstva	0,441	-0,372	-0,156	0,106	0,635	0,101
2 vrstvy	-0,921	-0,763	-0,031	0,113	0,539	0,580

Z tabulky 4.8 lze vyzorovat, že ani zde není jednoznačná závislost tepelné vodivosti plošných textilií na jejich tloušťce, ačkoli to tak v případě dvou vrstev tkanin vypadá. V případě pletenin jsou vidět téměř nulové hodnoty, z čehož vyplývá, že tepelná vodivost není ani na tloušťce materiálu závislá.

Z těchto zjištěných poznatků lze vyvodit, že hodnota tepelné vodivosti nezávisí ani na prodyšnosti, ani na tloušťce jednotlivých plošných textilií. Hodnota tepelné vodivosti by proto mohla být ovlivněna strukturou jednotlivých pórů, jejich velikostí, tvarem a otevřeností či uzavřeností.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhledat přístroje pro zjišťování hodnot tepelné vodivosti plošných textilií, objasnit principy jejich fungování a pomocí experimentu zjistit co měření ovlivňuje.

Vybranými přístroji byly: Alambeta, Togmeter SDL M 259, TP-2 a měření statickou metodou. Porovnávány byly plošné textilie všech typů, tj. tkaniny, pleteniny i netkané textilie, vždy jednoho syntetického – polyesterového a jednoho přírodního – vlněného materiálu. Byl také sledován vliv při použití jedné vrstvy a dvou vrstev těchto plošných textilií.

Během experimentu bylo zjištěno, že významný vliv na hodnotu tepelné vodivosti má přítlak měřicích desek na textilii. Při stlačení textilie je vytěsněn vzduch, který jinak tepelnou vodivost snižuje. S rostoucím tlakem působícím na textilii se tedy hodnota tepelné vodivosti zvyšuje. Z tohoto důvodu lze zpochybnit měření statickou metodou, kde nelze nastavit přesný tlak působící na textilii.

Dalším důležitým faktorem, který je při zjišťování hodnot tepelné vodivosti nutno sledovat je tloušťka plošné textilie. Při měření příliš tenkých i příliš tlustých vzorků textilií může nastat chyba přístroje. S touto veličinou je možno spojovat i vliv objemové hmotnosti a pórovitosti, které mohou měření tepelné vodivosti výrazně ovlivnit. U netkaných textilií by se nemělo opomenout také na jemnost použitých vláken.

Při porovnávání hodnot tepelných vodivostí zjištěných jednotlivými přístroji vyšlo najevo, že nejpřesněji měří přístroj Alambeta, jehož výsledky se vždy pohybovaly v limitu stanoveném pro tepelnou vodivost plošných textilií. Velmi blízko těmto hodnotám byly výsledky z přístroje Togmeter SDL M 259. Naopak u přístroje TP-2 se vyskytlo vybočující měření v případě všech vzorků plošných textilií. To mohlo být způsobeno celkovým opotřebením přístroje. Co se týká statické metody, je možno konstatovat, že i toto měření je nepřesné, především z důvodu ručního ovládání tlaku desek na zkušební vzorky. Dále nelze touto metodou měřit vzorky textilií o větší

tloušťce, která může způsobit vysokou pórovitost a přístroj tak není schopen zaznamenat přesný přenos tepla.

Celkově lze doporučit pro zjišťování hodnot tepelné vodivosti plošných textilií měření na přístrojích Alambeta a Togmeter SDL M 259, které měří s podobnou přesností.

Při hodnocení závislosti materiálového složení na hodnotu tepelné vodivosti je nutno sledovat také strukturu jednotlivých plošných textilií. U tkanin a pletenin lze konstatovat, že teplo vedou lépe syntetické plošné textilie z polyesterových přízí. Velký vliv zde mají vztahy: vlákno – příze, příze – plošná textilie, ve kterých se mohou vytvářet uzavřené vzduchové komůrky, které vzduch zadržují a tím snižují hodnotu tepelné vodivosti. Tento příklad lze pozorovat u vlněných vláken, které svou přirozenou obloučkovitostí a šupinkami vytvářejí mnoho míst s uzavřeným vzduchem. V případě netkaných textilií lze říci, že nepatrně lepší tepelnou vodivost mají vlněné materiály. Hlavní vliv zde má pórovitost těchto textilií, případně jejich objemová hmotnost a jemnost použitých vláken.

Pro sledování vlivu vrstev jednotlivých plošných textilií na hodnotu tepelné vodivosti je použito přístroje Alambeta, jehož výsledky jsou jako jediné reprodukovatelné. Na přístroji Togmeter SDL M 259 nebylo možno měření dvou vrstev provést pro nedostatek zkušebního materiálu, přístroj TP-2 a statická metoda jsou pro své vybočující hodnoty nevhodné pro toto porovnání. Z měření vyplynulo, že v případě užití dvou vrstev se hodnota tepelné vodivosti zvýší o nepatrné množství, nikoli o dvojnásobek. Z toho lze vydedukovat, že celková hodnota tepelné vodivosti se sníží a textilie tak vedou teplo méně.

V této práci byly porovnány jednotlivé hodnoty tepelné vodivosti plošných textilií navzájem. Toto zhodnocení proběhlo opět z výsledných hodnot tepelné vodivosti získaných přístrojem Alambeta. Bylo zjištěno, že nejlepší tepelnou vodivost mají pleteniny v případě jedné i dvou vrstev. To může být způsobeno strukturou této textilie, která má ve srovnání s tkaninami volnější vazbu, ve které nezadržuje vzduch snižující hodnotu tepelné vodivosti. Nejnižší hodnotu tepelné vodivosti mají netkané textilie, což je způsobeno pravděpodobně pórovitostí těchto textilií. Teplo je zde spíše zadržováno, proto se tyto materiály používají jako výplňkový materiál zabraňující prostupu tepla.

Byla snaha vysledovat závislost tepelné vodivosti plošných textilií na jejich prodyšnosti. Z experimentu však bylo zjištěno, že tato souvislost je minimální. Proto byla hledaná závislost i na jiném parametru textilie – tloušťce jednotlivých plošných textilií, ale ani zde nebyl prokázán vzájemný vztah. Z toho lze usoudit, že tepelná vodivost je závislá na jiných okolnostech, pravděpodobně na struktuře a vlastnostech jednotlivých pórů. Popsání této vnitřní struktury textilií by mohlo být cílem jiné práce.

Použitá literatura

- [1] Krempaský, J.: Meranie termofyzikálných veličín. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1969.
- [2] Bittner, J.: Měření tepelných vlastností materiálů. Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická, 2006.
- [3] Hes, L.: Nové metody tepelných měření při optimalizaci výroby a vlastností textilií. Doktorská disertační práce, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1991.
- [4] Yondea, M., Kawabata, S.: Analysis of Transient Heat Conduction and its Applications, Part 1, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 29 No.4, 1983, s. 73-83
- [5] Hes, L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií. 1. vyd. Liberec, 2005. ISBN 80-7083-926-0
- [6] Applied Precision [online] [cit. 25. 11. 2009]. Dostupné na internetu:
<http://www.appliedp.com/en/isomet.htm>
- [7] Interní norma č. 23-304-02/01: Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta. Výzkumný centrum textil, 2004.
- [8] Návod k obsluze přístroje SDL M 259 TOGMETER, výr. č. P507465
- [9] Textilní zkušebnictví II [online] [cit. 7. 12. 2009]. Dostupné na internetu:
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT2dil.pdf>
- [10] Havlásek, M.: Vliv teplotního gradientu na tepelnou vodivost textilií. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, 2000.
- [11] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií. 1. vyd, Liberec 2002. ISBN: 80-7083-676-8
- [12] Dostálová, M., Křivánková, M.: Základy textilní a oděvní výroby. 3. vyd. Liberec, 2004. ISBN: 80-7083-831-0

- [13] Pařilová, H.: Textilní zbožíznalství: Tkaniny, 2. vyd. Liberec, 2000. ISBN: 80-7083-391-2
- [14] Štočková, H.: Textilní zbožíznalství: Pleteniny, 1. vyd. Liberec, 2006. ISBN: 80-7372-114-7
- [15] Jirsák, O., Kalinová, K.: Netkané textilie. 1. vyd. Liberec, 2003. ISBN: 80-7083-746-2
- [16] Delljová, R. A., Afanasjevová, R. F., Čubarovová, Z. S.: Hygiena odívání. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.
- [17] Výpočet tepelného odporu [online] [cit. 8. 12. 2009]. Dostupné na internetu: <http://www.nobasil.cz/vypocet-tepelneho-odporu/>
- [18] Tepelné vlastnosti [online] [cit. 8. 12. 2009]. Dostupné na internetu: <http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/zkousky/tepelne-vlastnosti/tepelne-vlastnosti>
- [19] Měrná tepelná kapacita [online] [cit. 8. 12. 2009]. Dostupné na internetu: <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=578>
- [20] Tepelná vodivost [online] [cit. 22. 10. 2009]. Dostupné na internetu: http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost
- [21] Co je "Tepelná vodivost"? [online] [cit. 22. 10. 2009]. Dostupné na internetu: <http://www.tepelna-izolace.cz/co-je-tepelna-vodivost.html>
- [22] Torres, S.: Stlačitelnost a tepelně izolační vlastnosti textilií z vláken různé jemnosti. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, 1994.
- [23] Chrenková, A.: Závislost' tepelne izolačních vlastností kolmo kladených textilií na stlačení. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, 1996.
- [24] Tuzarová, M.: Tepelně izolační vlastnosti objemných textilií s obsahem bavlny. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, 2000.

Seznam tabulek

Tab. 3.1 Souhrn parametrů tkanin

Tab. 3.2 Souhrn parametrů pletenin

Tab. 3.3 Souhrn parametrů netkaných textilií

Tab. 4.1 Zjištěné hodnoty tepelné vodivosti tkanin

Tab. 4.2 Zjištěné hodnoty tepelné vodivosti pletenin

Tab. 4.3 Zjištěné hodnoty tepelné vodivosti netkaných textilií

Tab. 4.4 Procentuální růst hodnoty tepelné vodivosti při užití dvou vrstev na přístroji TP-2

Tab. 4.5 Procentuální růst hodnoty tepelné vodivosti při užití dvou vrstev na přístroji Alambeta

Tab. 4.6 Procentuální růst hodnoty tepelné vodivosti při užití dvou vrstev u statické metody

Tab. 4.7 Hodnoty korelace tepelné vodivosti na prodyšnosti plošných textilií

Tab. 4.8 Hodnoty korelace tepelné vodivosti na tloušťce plošných textilií

Seznam obrázků

- Obr. 2.1 Poensgenův měřicí deskový přístroj
- Obr. 2.2 Bockův měřicí přístroj
- Obr. 2.3 Zkušební metoda dle Kawabaty a Yondey
- Obr. 2.4 Schéma přístroje Alambeta
- Obr. 2.5 Schéma přístroje TP-2
- Obr. 2.6 Schéma zařízení pro měření statickou metodou
- Obr. 2.7 Schéma zařízení pro měření dynamickou metodou
- Obr. 3.1 Měřicí přístroj TP-2
- Obr. 3.2 Měřicí přístroj Alambeta
- Obr. 3.3 Měřicí přístroj Togmeter SDL M 259
- Obr. 4.1 Souhrnný graf tepelné vodivosti tkanin
- Obr. 4.2 Tepelná vodivost tkanin zjištěná přístrojem TP-2
- Obr. 4.3 Tepelná vodivost tkanin zjištěná přístrojem Alambeta
- Obr. 4.4 Tepelná vodivost tkanin zjištěná statickou metodou
- Obr. 4.5 Graf tepelné vodivosti tkanin zjištěná přístrojem Togmeter SDL M 259
- Obr. 4.6 Souhrnný graf tepelné vodivosti pletenin
- Obr. 4.7 Tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem TP-2
- Obr. 4.8 Tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem Alambeta
- Obr. 4.9 Tepelná vodivost pletenin zjištěná statickou metodou
- Obr. 4.10 Tepelná vodivost pletenin zjištěná přístrojem Togmeter SDL M 259
- Obr. 4.11 Souhrnný graf tepelné vodivosti netkaných textilií
- Obr. 4.12 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná přístrojem TP-2
- Obr. 4.13 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná přístrojem Alambeta

Obr. 4.14 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná statickou metodou

Obr. 4.15 Tepelná vodivost netkaných textilií zjištěná přístrojem Togmeter SDL M 259

Obr. 4.16 Porovnání jedné a dvou vrstev na přístroji TP-2

Obr. 4.17 Porovnání jedné a dvou vrstev na přístroji Alambeta

Obr. 4.18 Porovnání jedné a dvou vrstev statické metody

Obr. 4.19 Souhrnné zobrazení jedné a dvou vrstev plošných textilií vybranými metodami

Obr. 4.20 Srovnání hodnot tepelné vodivosti jednotlivých plošných textilií

Seznam příloh

Příloha č. 1: Tloušťka plošných textilií za přítlaku 0,4 kPa

Příloha č. 2: Tepelná propustnost zjištěná přístrojem TP-2

Příloha č. 3: Tloušťka plošných textilií za přítlaku 0,2 kPa

Příloha č. 4: Tepelná vodivost zjištěná přístrojem Alambeta

Příloha č. 5: Tloušťka plošných textilií za přítlaku 0,1 kPa

Příloha č. 6: Měrné napětí zjištěné statickou metodou

Příloha č. 7: Tloušťka plošných textilií (1 vrstvy) za přítlaku 0,007 kPa

Příloha č. 8: Tepelný odpor zjištěný přístrojem Togmeter SDL M 259

Příloha č. 9: Průtok vzduchu pro výpočet prodyšnosti

Příloha č. 10: Vypočítané hodnoty prodyšností jednotlivých plošných textilií

Příloha č. 11: Grafické znázornění závislosti hodnot tepelných vodivostí

Příloha č. 1: Tloušťka plošných textilií za přítlaku 0,4 kPa

TLOUŠŤKA (přítlak 0,4 kPa) [m]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,70E-04	8,20E-04	5,90E-04	1,04E-03
2	4,80E-04	8,20E-04	5,70E-04	1,04E-03
3	4,60E-04	8,30E-04	5,70E-04	1,05E-03
4	4,70E-04	8,30E-04	5,80E-04	1,05E-03
5	4,70E-04	8,10E-04	5,70E-04	1,07E-03
6	4,70E-04	8,80E-04	5,90E-04	1,06E-03
7	4,50E-04	8,00E-04	5,70E-04	1,06E-03
8	4,70E-04	8,20E-04	5,90E-04	1,09E-03
9	4,60E-04	8,60E-04	5,80E-04	1,08E-03
10	0,00047,	8,00E-04	5,70E-04	1,05E-03
průměr	4,67E-04	8,27E-04	5,78E-04	1,06E-03
směrodatná odchylka	8,66E-06	2,541E-05	9,189E-06	1,663E-05
variační koeficient	1,9 %	3,1 %	1,6 %	1,6 %

TLOUŠŤKA (přítlak 0,4 kPa) [m]				
PLETENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,35E-03	8,18E-03	5,21E-03	9,00E-03
2	4,40E-03	8,19E-03	5,25E-03	8,99E-03
3	4,11E-03	8,13E-03	5,35E-03	8,98E-03
4	4,21E-03	8,17E-03	5,29E-03	8,89E-03
5	4,22E-03	8,03E-03	5,28E-03	8,85E-03
6	4,10E-03	8,11E-03	5,15E-03	8,94E-03
7	4,19E-03	8,02E-03	5,44E-03	8,87E-03
8	4,16E-03	8,13E-03	5,19E-03	8,86E-03
9	4,28E-03	8,07E-03	5,16E-03	8,92E-03
10	4,20E-03	8,03E-03	5,45E-03	8,92E-03
průměr	4,22E-03	8,11E-03	5,28E-03	8,92E-03
směrodatná odchylka	9,68E-05	6,50E-05	1,08E-04	5,49E-05
variační koeficient	2,3 %	0,8 %	2,0 %	0,6 %

TLOUŠŤKA (přítlak 0,4 kPa) [m]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,73E-03	7,58E-03	3,59E-03	7,42E-03
2	4,24E-03	8,11E-03	3,69E-03	7,16E-03
3	4,80E-03	8,06E-03	4,29E-03	7,69E-03
4	4,67E-03	7,76E-03	4,62E-03	8,05E-03
5	5,34E-03	6,95E-03	4,35E-03	8,08E-03
6	4,10E-03	7,93E-03	4,42E-03	6,13E-03
7	4,46E-03	7,35E-03	3,96E-03	7,22E-03
8	4,57E-03	7,70E-03	4,28E-03	7,22E-03
9	3,78E-03	7,70E-03	4,14E-03	7,53E-03
10	4,53E-03	7,84E-03	4,00E-03	6,95E-03
průměr	4,52E-03	7,70E-03	4,13E-03	7,35E-03
směrodatná odchylka	4,25E-04	3,45E-04	3,25E-04	5,67E-04
variační koeficient	9,4 %	4,5 %	7,9 %	7,7 %

Příloha č. 2: Tepelná propustnost zjištěná přístrojem TP-2

TEPELNÁ PROPUSTNOST [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	24,6	22	24,2	21
2	24,8	22,5	24,3	20,7
3	24,6	22,2	24,8	19,7
4	24,5	22,6	24,6	21,2
5	24,6	22,2	24,4	21,4
6	24,4	21,7	24,1	21,6
7	25,1	22,1	24	21,3
8	24,7	22,4	24,5	21,3
9	25	22,7	24,4	21
10	24,4	22	23,9	21,3
průměr	24,67	22,24	24,32	21,05
směrodatná odchylka	2,36E-01	3,10E-01	2,78E-01	5,36E-01
variační koeficient	1,0 %	1,4 %	1,1 %	2,5 %

TEPELNÁ PROPUSTNOST [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]				
PLETENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	17,2	12	14,5	10,9
2	16,3	12,5	14,6	11,2
3	17,2	12,7	14,6	10,8
4	16,7	12,7	14,8	11,3
5	16,8	12,6	14,4	11,2
6	16,6	12,6	14,5	11,3
7	17,1	12,5	14,9	11,1
8	16,5	12,7	14,4	10,9
9	17,3	12,8	14,5	11,2
10	16,9	12,6	14,2	11
průměr	16,86	12,57	14,54	11,09
směrodatná odchylka	3,37E-01	2,21E-01	2,01E-01	1,79E-01
variační koeficient	2,0 %	1,8 %	1,4 %	1,6 %

TEPELNÁ PROPUSTNOST [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	13,2	9,7	14,8	10,7
2	13	9,7	14,1	10,5
3	13,9	9,8	13,9	11,3
4	13,6	9,6	14,1	11,4
5	12,4	9,8	14,6	11,2
6	13,3	9,9	14,7	10,8
7	12,4	9,7	15	11,3
8	12,2	9,8	14,5	11,1
9	12,4	9,6	14,2	10,6
10	12,9	9,7	14,5	11
průměr	12,93	9,73	14,44	10,99
směrodatná odchylka	5,76E-01	9,49E-02	3,53E-01	3,21E-01
variační koeficient	4,5 %	1,0 %	2,4 %	2,9 %

Příloha č. 3: Tloušťka plošných textilií za přítlaku 0,2 kPa

TLOUŠŤKA (přítlak 0,2 kPa) [m]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,20E-04	8,60E-04	5,20E-04	1,05E-03
2	4,20E-04	9,00E-04	5,20E-04	1,06E-03
3	4,30E-04	8,20E-04	5,40E-04	1,09E-03
4	4,30E-04	8,50E-04	5,60E-04	1,08E-03
5	4,40E-04	8,80E-04	5,60E-04	1,08E-03
6	4,30E-04	8,90E-04	5,50E-04	1,08E-03
7	4,60E-04	8,60E-04	5,20E-04	1,06E-03
8	4,30E-04	8,30E-04	5,40E-04	1,06E-03
9	4,20E-04	8,90E-04	5,50E-04	1,18E-03
10	4,40E-04	9,00E-04	5,50E-04	1,10E-03
průměr	4,32E-04	8,68E-04	5,41E-04	1,08E-03
směrodatná odchylka	1,23E-05	2,86E-05	1,60E-05	3,72E-05
variační koeficient	2,8 %	3,3 %	2,9 %	3,4 %

TLOUŠŤKA (přítlak 0,2 kPa) [m]				
PLETENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	3,93E-03	8,17E-03	5,56E-03	1,07E-02
2	4,16E-03	8,13E-03	5,69E-03	1,12E-02
3	4,00E-03	7,95E-03	5,63E-03	1,10E-02
4	4,05E-03	8,20E-03	5,56E-03	1,12E-02
5	4,10E-03	8,05E-03	5,59E-03	1,07E-02
6	4,16E-03	8,10E-03	5,69E-03	1,11E-02
7	4,02E-03	7,95E-03	5,77E-03	1,10E-02
8	4,00E-03	8,12E-03	5,44E-03	1,11E-02
9	3,98E-03	7,85E-03	5,76E-03	1,11E-02
10	4,05E-03	7,90E-03	5,80E-03	1,13E-02
průměr	4,05E-03	8,04E-03	5,65E-03	1,10E-02
směrodatná odchylka	7,58E-05	1,21E-04	1,14E-04	2,01E-04
variační koeficient	1,9 %	1,5 %	2,0 %	1,8 %

TLOUŠŤKA (přítlak 0,2 kPa) [m]	
PLETNINY - vyřazená data	
Vlna - 2 vrstvy	
1,11E-02	
1,07E-02	
1,06E-02	
1,15E-02	
1,11E-02	
1,05E-02	
1,10E-02	
1,13E-02	
1,12E-02	
1,05E-02	

TLOUŠŤKA (přítlak 0,2 kPa) [m]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	5,50E-03	1,12E-02	4,70E-03	1,03E-02
2	5,91E-03	1,21E-02	4,85E-03	1,03E-02
3	6,41E-03	1,19E-02	5,44E-03	9,74E-03
4	6,80E-03	1,22E-02	5,18E-03	9,78E-03
5	6,64E-03	1,16E-02	5,25E-03	9,30E-03
6	6,06E-03	1,41E-02	4,83E-03	9,24E-03
7	6,78E-03	1,21E-02	4,99E-03	1,05E-02
8	6,82E-03	1,20E-02	4,71E-03	9,70E-03
9	6,27E-03	1,19E-02	4,59E-03	8,92E-03
10	6,70E-03	1,14E-02	4,41E-03	1,01E-02
průměr	6,39E-03	1,21E-02	4,90E-03	9,79E-03
směrodatná odchylka	4,48E-04	7,91E-04	3,20E-04	5,20E-04
variační koeficient	7,0 %	6,6 %	6,5 %	5,3 %

Příloha č. 4: Tepelná vodivost zjištěná přístrojem Alambeta

TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,56E-02	4,71E-02	4,29E-02	4,82E-02
2	4,46E-02	4,64E-02	4,45E-02	4,82E-02
3	4,52E-02	4,92E-02	4,52E-02	4,64E-02
4	4,45E-02	4,75E-02	4,30E-02	4,75E-02
5	4,32E-02	4,64E-02	4,37E-02	4,57E-02
6	4,50E-02	4,67E-02	4,34E-02	4,68E-02
7	4,65E-02	4,70E-02	4,48E-02	4,75E-02
8	4,47E-02	4,90E-02	4,38E-02	4,61E-02
9	4,22E-02	4,63E-02	4,27E-02	4,48E-02
10	4,48E-02	4,67E-02	4,42E-02	4,59E-02
průměr	4,46E-02	4,72E-02	4,38E-02	4,67E-02
směrodatná odchylka	1,20E-03	1,05E-03	8,46E-04	1,13E-03
variační koeficient	2,7 %	2,2 %	1,9 %	2,4 %

TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]				
PLETENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	5,78E-02	5,98E-02	4,50E-02	5,78E-02
2	5,81E-02	5,87E-02	4,53E-02	5,93E-02
3	5,70E-02	6,05E-02	4,46E-02	5,74E-02
4	5,63E-02	6,00E-02	4,43E-02	5,86E-02
5	5,71E-02	5,90E-02	4,51E-02	5,87E-02
6	5,66E-02	5,98E-02	4,53E-02	5,86E-02
7	5,74E-02	5,93E-02	4,45E-02	5,71E-02
8	5,69E-02	5,92E-02	4,54E-02	5,81E-02
9	5,77E-02	5,97E-02	4,55E-02	5,81E-02
10	5,73E-02	5,91E-02	4,53E-02	5,76E-02
průměr	5,72E-02	5,95E-02	4,50E-02	5,81E-02
směrodatná odchylka	5,55E-04	5,43E-04	4,19E-04	6,77E-04
variační koeficient	1,0 %	0,9 %	0,9 %	1,2 %

TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	
PLETENINY - vyřazená data	
Vlna - 2 vrstvy	
	5,69E-02
	6,48E-02
	5,69E-02
	5,95E-02
	6,17E-02
	5,58E-02
	5,55E-02
	6,15E-02
	6,05E-02
	5,34E-02

TEPELNÁ VODIVOST [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	3,99E-02	4,34E-02	4,06E-02	4,67E-02
2	4,06E-02	4,59E-02	3,97E-02	5,01E-02
3	4,03E-02	4,45E-02	4,05E-02	4,67E-02
4	4,07E-02	4,37E-02	4,01E-02	4,80E-02
5	4,16E-02	4,39E-02	3,96E-02	4,71E-02
6	3,98E-02	4,52E-02	4,07E-02	4,78E-02
7	4,08E-02	4,34E-02	4,13E-02	5,00E-02
8	4,11E-02	4,29E-02	4,00E-02	4,83E-02
9	4,13E-02	4,30E-02	4,04E-02	4,71E-02
10	4,20E-02	4,27E-02	3,97E-02	4,85E-02
průměr	4,08E-02	4,39E-02	4,03E-02	4,80E-02
směrodatná odchylka	7,09E-04	1,04E-03	5,40E-04	1,24E-03
variační koeficient	1,7 %	2,4 %	1,3 %	2,6 %

Příloha č. 5: Tloušťka plošných textilií za přítlaku 0,1 kPa

TLOUŠŤKA (přítlak 0,1 kPa) [m]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,90E-04	1,02E-03	5,90E-04	1,20E-03
2	5,00E-04	9,60E-04	6,20E-04	1,17E-03
3	4,70E-04	9,70E-04	6,20E-04	1,17E-03
4	4,90E-04	9,70E-04	6,00E-04	1,17E-03
5	4,90E-04	1,01E-03	6,00E-04	1,16E-03
6	4,80E-04	1,02E-03	6,00E-04	1,20E-03
7	4,80E-04	9,50E-04	6,10E-04	1,16E-03
8	4,70E-04	1,03E-03	6,10E-04	1,19E-03
9	4,80E-04	1,04E-03	6,40E-04	1,15E-03
10	4,80E-04	9,70E-04	6,20E-04	1,20E-03
průměr	4,83E-04	9,94E-04	6,11E-04	1,18E-03
směrodatná odchylka	9,49E-06	3,31E-05	1,45E-05	1,89E-05
variační koeficient	2,0 %	3,3 %	2,4 %	1,6 %

TLOUŠŤKA (přítlak 0,1 kPa) [m]				
PLTENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	4,13E-03	8,10E-03	6,12E-03	9,28E-03
2	4,47E-03	7,91E-03	6,38E-03	9,27E-03
3	4,12E-03	8,20E-03	6,50E-03	9,26E-03
4	4,61E-03	8,25E-03	6,14E-03	9,26E-03
5	4,67E-03	8,12E-03	6,11E-03	9,14E-03
6	4,29E-03	8,07E-03	5,85E-03	9,15E-03
7	4,05E-03	8,02E-03	6,31E-03	9,23E-03
8	4,23E-03	8,03E-03	6,43E-03	9,22E-03
9	4,41E-03	8,23E-03	6,10E-03	9,13E-03
10	4,07E-03	8,34E-03	6,48E-03	9,24E-03
průměr	4,31E-03	8,13E-03	6,24E-03	9,22E-03
směrodatná odchylka	2,25E-04	1,28E-04	2,10E-04	5,69E-05
variační koeficient	5,2 %	1,6 %	3,4 %	0,6 %

TLOUŠŤKA (přítlak 0,1 kPa) [m]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	7,01E-03	8,35E-03	4,89E-03	8,73E-03
2	7,04E-03	8,58E-03	4,58E-03	8,53E-03
3	6,60E-03	8,63E-03	5,71E-03	8,28E-03
4	6,81E-03	8,52E-03	5,57E-03	8,17E-03
5	6,28E-03	8,56E-03	5,27E-03	8,42E-03
6	7,11E-03	8,12E-03	5,85E-03	8,43E-03
7	6,11E-03	8,01E-03	5,89E-03	8,55E-03
8	6,77E-03	8,06E-03	5,03E-03	8,48E-03
9	6,70E-03	8,30E-03	5,01E-03	8,18E-03
10	6,77E-03	8,35E-03	4,92E-03	8,42E-03
průměr	6,72E-03	8,35E-03	5,27E-03	8,42E-03
směrodatná odchylka	3,22E-04	2,26E-04	4,56E-04	1,73E-04
variační koeficient	4,8 %	2,7 %	8,7 %	2,1 %

Příloha č. 6: Měrné napětí zjištěné statickou metodou

MĚRNÉ NAPĚTÍ [mV]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	3,9242	3,4667	3,5571	2,8344
2	3,9771	3,4941	3,5231	2,8012
3	3,9640	3,5172	3,4719	2,7779
4	3,9494	3,4703	3,5665	2,7685
5	3,9188	3,4366	3,5855	2,7895
6	3,9320	3,5530	3,5349	2,8075
7	3,9258	3,5029	3,4665	2,8244
8	3,9120	3,4408	3,4373	2,7724
9	3,9247	3,4634	3,4872	2,7864
10	3,9557	3,4816	3,4652	2,8170
průměr	3,9384	3,4827	3,5095	2,7979
směrodatná odchylka	2,17E-02	3,55E-02	5,06E-02	2,27E-02
variační koeficient	0,6 %	1,0 %	1,4 %	0,8 %

MĚRNÉ NAPĚTÍ [mV]				
PLETENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	1,4707	0,8418	0,9365	0,5697
2	1,4660	0,8280	0,9285	0,5873
3	1,4374	0,8583	0,9146	0,5600
4	1,4675	0,8497	0,9205	0,5847
5	1,4725	0,8254	0,9037	0,5750
6	1,4744	0,8384	0,9060	0,5563
7	1,4781	0,8528	0,9155	0,5673
8	1,4398	0,8479	0,9187	0,5815
9	1,4603	0,8611	0,9122	0,5516
10	1,4416	0,8516	0,9238	0,5728
průměr	1,4608	0,8455	0,9180	0,5706
směrodatná odchylka	1,55E-02	1,20E-02	9,96E-03	1,21E-02
variační koeficient	1,1 %	1,4 %	1,1 %	2,1 %

MĚRNÉ NAPĚTÍ [mV]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	0,9399	0,4433	0,9686	0,5401
2	0,9431	0,4508	0,9731	0,5367
3	0,9468	0,4537	0,9720	0,5394
4	0,9405	0,4467	0,9652	0,5422
5	0,9444	0,4484	0,9625	0,5323
6	0,9427	0,4503	0,9612	0,5412
7	0,9377	0,4446	0,9627	0,5352
8	0,9359	0,4428	0,9695	0,5375
9	0,9393	0,4391	0,9614	0,5416
10	0,9360	0,4403	0,9645	0,5374
průměr	0,9406	0,4460	0,9661	0,5384
směrodatná odchylka	3,61E-03	4,79E-03	4,42E-03	3,14E-03
variační koeficient	0,4 %	1,1 %	0,5 %	0,6 %

Příloha č. 7: Tloušťka plošných textilií (1 vrstvy) za přítlaku 0,007 kPa

TLOUŠŤKA (přítlak 0,007 kPa) [m]						
počet	TKANINY		PLETENINY		NETKANÉ TEXTILIE	
měření	Polyester	Vlna	Polyester	Vlna	Polyester	Vlna
1	9,60E-04	1,03E-03	5,83E-03	7,46E-03	7,69E-03	6,86E-03
2	9,80E-04	1,07E-03	5,54E-03	7,95E-03	9,34E-03	7,16E-03
3	9,00E-04	1,03E-03	5,77E-03	8,17E-03	9,09E-03	7,31E-03
4	9,30E-04	1,00E-03	5,23E-03	8,03E-03	8,96E-03	7,47E-03
5	8,90E-04	1,05E-03	4,71E-03	8,02E-03	8,37E-03	7,76E-03
6	9,30E-04	1,01E-03	5,14E-03	7,91E-03	8,59E-03	7,69E-03
7	9,40E-04	1,10E-03	5,66E-03	8,57E-03	8,54E-03	7,45E-03
8	9,80E-04	1,08E-03	5,76E-03	8,22E-03	8,52E-03	7,22E-03
9	9,40E-04	1,07E-03	5,22E-03	8,17E-03	8,70E-03	7,25E-03
10	8,60E-04	9,70E-04	4,89E-03	8,05E-03	8,95E-03	7,29E-03
průměr	9,31E-04	1,04E-03	5,38E-03	8,06E-03	8,68E-03	7,35E-03
směrodatná odchylka	3,87E-05	4,04E-05	3,94E-04	2,80E-04	4,58E-04	2,62E-04
variační koeficient	4,2 %	3,9 %	7,3 %	3,5 %	5,3 %	3,6 %

Příloha č. 8: Tepelný odpor zjištěný přístrojem Togmeter SDL M 259

TEPELNÁ ODOLNOST [m ² K W ⁻¹]					
TKANINY		PLETENINY		NETKANÉ TEXTILIE	
Polyester	Vlna	Polyester	Vlna	Polyester	Vlna
2,66E-02	3,35E-02	1,12E-01	2,14E-01	2,40E-01	2,02E-01

Příloha č. 9: Průtok vzduchu pro výpočet prodyšnosti

PRŮTOK VZDUCHU [l/hod]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	2700	1700	1400	800
2	2800	1500	1500	700
3	3100	1600	1200	720
4	2600	1700	1400	760
5	2900	1700	1300	750
6	2500	1500	1300	680
7	2500	1600	1400	740
8	2700	1500	1300	740
9	2900	1700	1400	720
10	2400	1600	1300	760
průměr	2710	1610	1350	737
směrodatná odchylka	218,33	87,56	84,98	34,01
variační koeficient	8,1 %	5,4 %	6,3 %	4,6 %

PRŮTOK VZDUCHU [l/hod]		
PLETENINY		
počet měření	Polyester	vlna
	4 vrstvy	4 vrstvy
1	1900	5700
2	1800	5800
3	1850	5700
4	1800	5700
5	2000	5900
6	1800	5700
7	1750	6300
8	1700	5800
9	1750	5900
10	1850	5800
průměr	1820	5830
směrodatná odchylka	85,64	182,88
variační koeficient	4,7 %	3,1 %

PRŮTOK VZDUCHU [l/hod]		
NETKANÉ TEXTILIE		
počet měření	Polyester	vlna
	8 vrstev	8 vrstev
1	3100	6000
2	3100	6800
3	3200	6000
4	3300	7000
5	3000	6300
6	3200	6900
7	3100	6400
8	3100	6600
9	3200	6500
10	3000	6800
průměr	3130	6530
směrodatná odchylka	94,87	356,06
variační koeficient	3,0 %	5,5 %

Příloha č. 10: Vypočítané hodnoty prodyšností jednotlivých plošných textilií

PRODYŠNOST [mm/s]				
TKANINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	375,75	236,58	194,83	111,33
2	389,67	208,75	208,75	97,42
3	431,42	222,67	167,00	100,20
4	361,83	236,58	194,83	105,77
5	403,58	236,58	180,92	104,38
6	347,92	208,75	180,92	94,63
7	347,92	222,67	194,83	102,98
8	375,75	208,75	180,92	102,98
9	403,58	236,58	194,83	100,20
10	334,00	222,67	180,92	105,77
průměr	377,14	224,06	187,88	102,57
směrodatná odchylka	30,38	12,19	11,83	4,73
variační koeficient	8,1 %	5,4 %	6,3 %	4,6 %

PRODYŠNOST [mm/s]				
PLETENINY				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	881,39	528,83	2884,55	1586,50
2	835,00	501,00	2935,15	1614,33
3	858,19	514,92	2884,55	1586,50
4	835,00	501,00	2884,55	1586,50
5	927,78	556,67	2985,76	1642,17
6	835,00	501,00	2884,55	1586,50
7	811,81	487,08	3188,18	1753,50
8	788,61	473,17	2935,15	1614,33
9	811,81	487,08	2985,76	1642,17
10	858,19	514,92	2935,15	1614,33
průměr	844,28	506,57	2950,33	1622,68
směrodatná odchylka	39,73	23,84	92,55	50,90
variační koeficient	4,7 %	4,7 %	3,1 %	3,1 %

PRODYŠNOST [mm/s]				
NETKANÉ TEXTILIE				
počet měření	Polyester		Vlna	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	2876,11	1725,67	6072,73	3340,00
2	2876,11	1725,67	6882,42	3785,33
3	2968,89	1781,33	6072,73	3340,00
4	3061,67	1837,00	7084,85	3896,67
5	2783,33	1670,00	6376,36	3507,00
6	2968,89	1781,33	6983,64	3841,00
7	2876,11	1725,67	6477,58	3562,67
8	2876,11	1725,67	6680,00	3674,00
9	2968,89	1781,33	6578,79	3618,33
10	2783,33	1670,00	6882,42	3785,33
průměr	2903,94	1742,37	6609,15	3635,03
směrodatná odchylka	88,02	52,81	360,37	198,21
variační koeficient	3,0 %	3,0 %	5,5 %	5,5 %

Příloha č. 11: Grafické znázornění závislosti hodnot tepelných vodivostí jednotlivých plošných textilií na jejich prodyšnostech

