

**VLIV ODPARU VLHKOSTI Z POVRCHU TEXTILIE NA
PŘESNOST MĚŘENÍ JEJICH TEPELNÉHO ODPORU V
PŘÍSTROJÍCH TYPU SKIN MODEL**

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 - Textil

Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing

Autor práce: **Michala Žalská**

Vedoucí práce: prof. Ing. Luboš Hes, DrSc., Dr.h.c



**INFLUENCE OF EVAPORATION OF MOISTURE FROM THE
SURFACE OF THE FABRIC ON THE PRECISION OF
MEASUREMENT OF THERMAL RESISTANCE IN THE DEVICES
SKIN MODEL TYPE**

Bachelor thesis

Study programme: B3107 - Textil

Study branch: 3107R007 – Textile marketing

Author: **Michala Žalská**

Supervisor: prof. Ing. Luboš Hes, DrSc., Dr.h.c



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michala Žalská**

Osobní číslo: **T13000245**

Studijní program: **B3107 Textil**

Studijní obor: **Textilní marketing**

Název tématu: **Vliv odparu vlhkosti z povrchu textilie na přesnost měření jejich tepelného odporu v přístrojích typu Skin model**

Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

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

1. Uveďte základní poznatky o termofyziologickém komfortu textilií a způsobech hodnocení jejich paropropustnosti a tepelného odporu.
2. Opatřete vzorky tkanin o stejné vazbě a o podobné plošné hmotnosti vyrobených z polypropylenu, polyesteru, bavlny a viskózy, resp. tencelu, a za standartních podmínek proměřte běžným způsobem jejich tepelný odpor v přístroji PERMETEST. Rychlost proudění bude jednak 1m/s a 2m/s.
3. V dalším kroku zopakujte výše uvedená měření, avšak při těchto měřeních bude vnější povrch textilie opatřen tenkou nepropustnou fólií, která zabrání odparu vlhkosti z povrchu textilie.
4. Všechna měření zpracujte pomocí statistických metod s cílem zjistit vliv odparu vlhkosti z povrchu textilie vytvořené prouděním podél tohoto povrchu na změřené hodnoty tepelného odporu. V závěru také vyhodnoťte a vysvětlete vliv materiálu textilie a rychlosti proudění na dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací:

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


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

Seznam odborné literatury:


Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, 2005
Kuneš J. a kol.: Tepelné bariéry, Academia 2003

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

Datum zadání bakalářské práce: **27. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




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

V Liberci dne 5. ledna 2016

Žádost o změnu termínu odevzdání závěrečné práce

Jméno a příjmení: Michala Žalská
Osobní číslo: T13000245
Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing
Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií

Žádám o změnu termínu odevzdání bakalářské práce z 13.5.2016 na únor 2017.

Odůvodnění žádosti: nesplněná zkouška.

V Liberci dne 10.5.2016

Podpis: 

Vyjádření vedoucího práce:

*Deponuji kladeš vyřizui.
Lumbar*

Vyjádření vedoucího katedry:

*Souhlas
Boja*



PROHLÁŠENÍ

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc., Dr.h.c za jeho podporu a odborné rady při tvorbě bakalářské práce. Dále děkuji také všem mým blízkým, kteří mě podporovali.

Anotace

Uvedení základních poznatků o termofyziologickém komfortu textilií a způsobech hodnocení jejich paropropustnosti a tepelného odporu.

Opatřené vzorky tkanin k testování tepelného odporu byly ve stejné vazbě a o podobné plošné hmotnosti a byly vyrobeny z polypropylenu, polyesteru, bavlny a Lyocellu. Za standardních podmínek probíhalo měření tepelného odporu v přístrojích PERMETEST v rychlosti proudění 1m/s.

V dalším kroku se výše uvedené měření opakovalo, tentokrát však při tomto měření byl vnější povrch textilie opatřen tenkou nepropustnou folií, která zabraňovala odparu vlhkosti z povrchu textilie.

Tato měření se zopakovala také na přístroji ALAMBETA.

Všechna měření jsou zpracována pomocí statistických metod s cílem zjistit vliv odparu vlhkosti z povrchu textilie vytvořeného prouděním podél tohoto povrchu na změřené hodnoty tepelného odporu.

V závěru je shrnutí a vyhodnocení získaných informací.

Klíčová slova: termofyziologický komfort, tepelný odpor, paropropustnost

Annotation

Putting basic information about Thermo physiological comfort of textile and evaluation methods of vapor permeability and thermal resistance.

Provided samples of fabrics for testing the thermal resistance were in the same relation and the similar basis weight and were made of polypropylene, polyester, cotton and lyocell. Under standard conditions were measured thermal resistance devices PERMETEST in the flow rate 1 m / s.

In the next step, the above measurement was repeated, but this time in this measurement was the external surface of the fabric provided with a thin impermeable foil to prevent evaporation of moisture from the fabric surface.

These measurements are repeated also on the device ALAMBETA.

All measurements are processed using statistical methods to determine the effect of evaporation of moisture from the surface of the fabric formed flow along this surface to the measured values of thermal resistance.

The conclusion is a summary and evaluation of information.

Key words: thermo physiological comfort, thermal resistance, permeability

Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická část.....	10
1.1 Definice.....	10
1.2 Rozbor vláken měřených vzorků.....	13
1.3 Tepelné bariéry.....	18
1.4 Analýza problému.....	25
1.5 Teorie sušení.....	28
1.6 Stanovení termofyziologických vlastnosti textilií pomocí přístrojů skin model.....	36
2 Praktická část.....	40
3 Závěr.....	47
Seznam použité literatury.....	48
Seznam příloh.....	52

Úvod

Tématem této bakalářské práce je vliv odparu vlhkosti z povrchu textile na přesnost měření jejich tepelného odporu v přístrojích typu Skin model. Toto téma bylo zvoleno na základě doporučení vedoucího práce prof. Ing. Luboše Hese, DrSc., Dr.h.c.

V této práci jsou dvě části – teoretická a praktická.

V teoretické části jsou uvedeny poznatky o termofyziologickém komfortu textilií a způsob hodnocení paropropustnosti, tepelného odporu a popsání druhů tepelných bariér. Dále jsou zde rozbor vzorků hodnocených tkanin, které jsou v plátňové vazbě a v podobné stejné plošné hmotnosti. Vzorky jsou z bavlny, Lyocelu, polypropylenu a polyesteru. V závěru teoretické části jsou vylíčeny přístroje, jejich použití a způsob měření.

V praktické části byla provedena série měření na přístrojích ALAMBETA a PERMETEST. Tyto přístroje se nachází v laboratoři TUL, na katedře hodnocení textilií. Měření probíhalo za suchého režimu, kde se vkládaly nejprve vzorky bez fólie do přístroje PERMETEST. Následně tytéž vzorky byly opatřeny z vnější strany fólií a opět vloženy do přístroje. Tato měření se pak zopakovala na přístroji ALAMBETA, nejdříve se opět vkládaly vzorky bez fólie, poté tytéž vzorky i s fólií.

Všechna měření byla následně zpracována pomocí statistických metod s cílem zjistit vliv odparu vlhkosti z povrchu textile vytvořeného prouděním podél tohoto povrchu na změřené hodnoty tepelného odporu. Dále jsou výsledky zpracovány graficky, do podoby grafů.

Cílem této bakalářské práce je zjistit a vyhodnotit paropropustnost a tepelný odpor na opatřených vzorcích tkanin o podobné plošné hmotnosti. V závěru je také vysvětlení a vyhodnocení vlivu materiálu textile na dosažené výsledky.

V bakalářské práci bylo čerpáno z odborných zdrojů, hlavně z oblasti komfortu textilií a jejich hodnocení. Přehled všech použitých zdrojů je zahrnut v seznamu literatury.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1. Definice

Komfort

Komfortem se rozumí stav lidského těla, kdy jsou tělesné funkce organismu v optimálním stavu a kdy okolní prostředí ani oděv samotný nevytváří negativní vjemy na naše smysly. Nejsou zde pocity tepla ani chladu, vlhkosti. V tomto stavu je možno setrvávat delší dobu, bez známek diskomfortu. Komfort lze tedy jednoduše definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů.

Komfort samotný vnímáme celým naším tělem pomocí smyslů. Jsou to hmat, čich, sluch a zrak. Jediný ze smyslů kterým nevnímáme komfort textilií je chuť.

Diskomfort je vnímán například jako pocit tepla nebo chladu, které se dostávají při nesprávné reakci textilie na aktivitu nositele nebo na okolní prostředí.

Komfort rozdělujeme na psychologický, sensorický, pato-fyziologický a termofyziologický.

Senzorický komfort

Senzorický komfort zachycuje vjemy a pocity člověka při nošení oděvu a to zejména při styku pokožky s jí nejbližší vrstvou oděvu. Vjem vzniká při styku pokožky s textilií, může být kladný nebo záporný. Tento komfort rozdělujeme na komfort nošení a omak.

Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort se týká rozptylování metabolického tepla a vlhkosti oděvem. Je spojen s tepelnou rovnováhou lidského těla, které se snaží udržet konstantní vnitřní teplotu okolo 37°C. Změna této teploty o $\pm 5^\circ\text{C}$ může být fatální. Při zvýšení nebo poklesu tělesného tepla může nastat přehřátí (hypertermie) nebo podchlazení (hypotermie), což snižuje pracovní výkon [1].

Sorpční vlastnosti

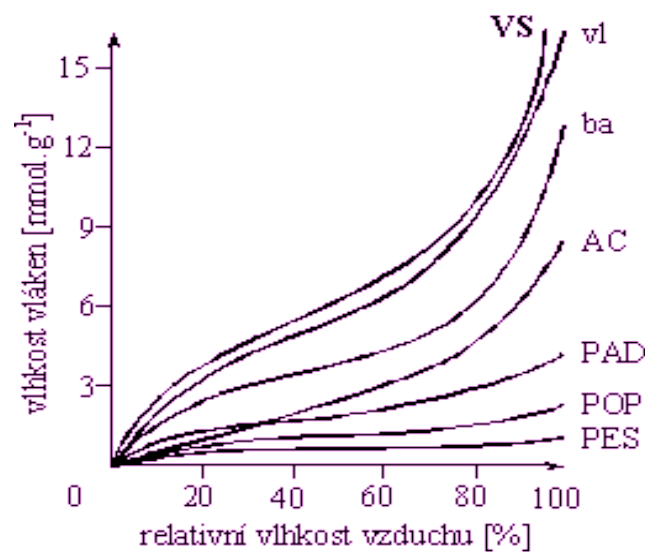
Projev těchto vlastností se vyskytuje při kontaktu s prostředím kapalným a plynným.

Obvykle se uvádí jako kapalina voda, ale nelze opominout rozpouštědla (chemické čištění oděvů), plyny (vodní páry vzduchu), popřípadě kapaliny s vyšší měrnou hmotností (tmely). Aby ke spojení došlo, musí makromolekuly, resp. jejich části, mít volné hydrofilní skupiny, na které se může reaktivní molekula navázat (např. skupina hydroxylová OH, karbonylová CO, karboxylová COOH). Navazování cizích molekul může proběhnout dvěma způsoby:

- chemická sorpce: jednorázové a pevné navázání molekul (barvení vláken)
- fyzikální sorpce: dochází ke zpětnému uvolňování molekul sorbentu na okolí (sušení prádla na šňůře)

K navazování reaktivních molekul dochází v místech amorfních segmentů makromolekul, kde s touto změnou současně dojde i k makro změně – příčné vazby mizí, amorfní segmenty se rozšiřují a vlákno mění svůj tvar. S ohledem na orientaci makromolekul se tvarová změna – bobtnání – děje převážně v příčném směru.

Na obrázku 1 můžeme vidět závislost vlhkosti vláken na relativní vlhkosti prostředí [2].



Obrázek 1: Závislost vlhkosti vláken na relativní vlhkosti prostředí.

Tepelný tok

Tepelný tok q je množství tepla šířící se z ruky (hlavice přístroje) o teplotě T_2 do textilie o počáteční teplotě T_1 za jednotku času. Pro krátkou dobu kontaktu přibližně platí:

$$q = b \cdot (t_2 - 1) / (\pi - \tau) \quad (1) [3]$$

Měrná tepelná vodivost

Součinitel měrné tepelné vodivosti λ představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. Materiály, které mají vysokou hodnotu λ se označují jako vodiče, materiály s nízkou hodnotou λ jako izolátory. Nejmenší tepelnou vodivost mají materiály z velmi jemných vláken. Průměr vláken a tloušťka tepelnou vodivost zvyšují [4].

Plošný odpor vedení tepla

Plošný odpor vedení tepla r je dán poměrem tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti. Udává, jaký odpor klade materiál proti průchodu tepla textilií. Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor, hodnotu udávanou přístrojem ALABMETA je nutno dělit 10^3 . z výše uvedeného vyplývá, že nízká tepelná vodivost a vysoký tepelný odpor charakterizují kvalitní tepelnou izolaci.

$$r = h/\lambda \quad (2)$$

Měrná tepelná vodivost

Měrná tepelná vodivost a [m^2s^{-1}] vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotu. Čím je hodnota vyšší, tím látka rychleji vyrovnává teplotu (při nestacionárním procesu), hodnota na displeji přístroje se dělí 10^6 .

$$a = \lambda / (c \cdot \rho) \quad (3)$$

Tepelná jímavost

Tepelná jímavost b je jediný parametr, který charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu.

$$b = \sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot c)} \quad (4)$$

Jako chladnější pocítujeme hmatem ten materiál, který má větší absorpční schopnosti (větší b). Tepelná jímavost je jediná vlastnost materiálu, která charakterizuje tepelný omak [5].

1.2 Rozbor vláken měřených vzorků

Měřené vzorky jsou vyrobeny z bavlny, polypropylenu, polyamidu a lyocellu. Vzorky mají plošnou hmotnost v rozmezí 150g/m² až 180g/m²) a jsou tkané v plátňové vazbě.

Plátňová vazba je nejjednodušší a nejhustější provazující vazba ve tkalcovství. Střídu vazby tvoří dvě niti osnovní a dvě niti útkové. Vazba je oboustranná. Na každé niti se střídá pravidelně osnovní a útkový vazný bod. Husté provázání plátna zajišťuje dobré zaplnění tkaniny v obou směrech. Každá malá nepravidelnost v tloušťce nití a také každá nepřesnost v tkacím procesu se výrazně projeví na výsledné tkanině a na jejím zhoršení kvality [6].

Na výsledný vzhled tkaniny má velký vliv i směr zákrutu nití. Při použití různého směru zákrutu nití v osnově a v útku (kombinace S a Z), je tkanina celistvější, hladší, ale nepravidelnosti v tloušťce jsou výraznější. Oproti tomu při použití stejného zákrutu nití v osnově a v útku jsou na tkanině jednotlivé vazní body výraznější a nestejnomyšernosti v tloušťce jsou potlačeny.

Prvořadou vlastností vláken je jejich jemnost vyjadřovaná tak v jednotce ryze textilní, jako je dtex, tak v jednotkách tloušťky μm . Jemnost má vliv jednak na omak textilií, ale zejména na schopnost směsování dvou a více komponent (tuhost a poddajnost vláken při spřádání) za účelem dosažení optimálních vlastností textilie.

Přírodní vlákna

Bavlna

Bavlna je botanicky slézovitá rostlina a je nejvíce známá jako keřovitá, na které po odkvětu se vytvoří tobolka. Když je tobolka plná vláken, praská a vlákna vyhřeznou ven. Následuje sklizeň, která je v současné době prováděna převážně strojně. Takto získaná bavlna se volně suší zpravidla na poli, načež se převezde do vyzrňovací stanice. Vyzrňování probíhá na pilkových (částečně válcových) vyzrňovacích strojích.

Dále u Bavlny rozlišujeme ještě barevný odstín na škále od bílé po žlutou, což je dáno oblastí pěstování (složení zeminy) a její ušpinění, ke kterému dochází při sklizni a vyzrňování.

Délka vláken bavlny a jejich rozdělení.

Pro kvalitně vypředenou přízi jsou zejména důležité:

- stejnoměrnost délky vláken (Uniformity Index)
- množství (procento) krátkých vláken.

Metody měření jsou dnes pomocí staplovacích přístrojů nebo systémem HVI.

Makroskopicky a organolepticky je bavlna velmi jemné vlákno, příjemné na omak, barvy bílé přes slabě žlutou až do šedé. Z ostatních kvalitativních znaků jsou to hlavně zralost, která vyplývá z tloušťky stěny vlákna. U úplně vyvinutého se pohybuje kolem 5-6 μm , u nezralého kolem 1 μm a u mrtvého pod 1 μm . Není možné, aby všechna vlákna vykazovala úplnou zralost – vždy je určité procento nezralých a mrtvých vláken. Zralost se pohybuje mezi 70 – 86%. Z metod na měření zralosti jsou především metody pneumatické, využívající dvou podtlaků v měřené komoře, nebo polarizované světlo.

Spalovací zkouška: bavlna hoří rychle, jasně žlutým plamenem, zapáchá po hořícím papíru, zbude šedobílý popel. Teplota zápalnosti je 400 °C.

Užitné vlastnosti: jemný omak, dobrá sorpcece vlhkosti, zejména potu, částečná hřejivost, při náhlém zvlhčení suchých vláken se uvolňuje tzv. sorpční teplo.

Použití: spodní prádlo, košilovina, svrchní ošacení, pracovní obleky, oděv pro volný čas, sport, ložní a stolní prádlo, posléze i technické využití.

Použitý vzorek bavlny

Použitý vzorek bavlny má plošnou hmotnosti 151,5 g/m².

Viskózová vlákna

Technologickým procesem je chemická přeměna přírodního polymeru (dřevná celulóza), jehož poslední fází je zvláknování alkalického viskózového roztoku do kyselé lázně, kde dochází ke vzniku vlákna a k utváření jeho struktury. Jednotlivé fáze výroby lze charakterizovat takto:

- jako zdroje celulózy se používá celulóza smrková, bukové nebo pro některé speciální typy linters. Polymerační stupně se pohybují v rozmezí 5 - 10*10³
- dřevná celulóza se upravuje vařením (nátronový způsob) v Na OH nebo ve

směsi NaOH, Na₂S, Na₂CO₂ (sulfátový způsob)

- dokončení chemických procesů probíhá papírenským způsobem

Vlastní výroba viskóзовých vláken probíhá následovně

- prvním procesem je mercerace (působení Na OH na celulózu za vzniku alkaliceulózy), v této fázi se rozpouštění hemicelulózy (celulózy s nízkým polymeračním stupněm)
- za působení mírné teploty dochází k depolymerace, snižuje se polymerační stupeň až na hodnotu cca 250
- na takto připravenou alkaliceulózu se působí sirouhíkem (CS₂), za vzniku xantogenátu celulózy (sůl kyseliny xantogenové)
- po filtraci nastává zrání xantogenátu (odtud této fáze již název viskóza), zvyšuje se polymerační stupeň na hodnotu cca 350
- ke zvláknování dochází v kyselé lázni, kde postupnou neutralizací vzniká plášťová struktura (skin efekt)
- následnou operací kabelu (stříhání, sekání) vzniká stříž, dále její balení a expedice

Vyráběným sortimentem viskóзовých vláken jsou obvykle stříže Ba V typů většinou matované, multifil jako vlákna lesklá a matovaná.

Kromě základních typů jsou vyráběny modifikace. Například modalová viskóza (vlákno s vyšší pevností za mokra), polynozická viskóza (vlákno s téměř kruhovým průřezem), vysoce pevná viskóza atd. Modifikace vznikají zpravidla zvýšením polymeračního stupně nebo prodlouženou fází srážení.

Užitné vlastnosti: sorpce (vyšší než bavlna)

Negativní vlastnosti: mačkavost, špinivost (prachové částice se ukládají do zářezů v povrchu vlákna)

Použití: náhrada bavlny, směsi s nízkou sorpčními vlákny, šatovky pro volný čas, chladný omak [2].

Lyocell

Lyocell je vlákno nové generace, přírodní, získané z bukové nebo dubové celulózy (tzn. z dřevní hmoty). Vlákno vyniká vysokou pevností, při jeho výrobě se díky speciální

technologii z povrchu vlákna štěpí jemné fibrily, které zajišťují materiálům s využitím Lyocellu příjemný omak [7].

Použitý vzorek

Zde se použily dva vzorky lyocellu, jeden s plošnou hmotností 169,5 g/m² a druhý s 167 g/m²

Syntetická vlákna

Tyto vlákna jsou syntetickou cestou vyrobený polymer, ze kterého jsou vyrobeny polyamidy, polyestery, polyolefiny, atd

Obecný výrobní proces syntetických vláken

- výroba syntetického polymeru s ohledem na zvlákňování
- úprava roztoku nebo taveniny, polymerační stupeň, reaktivita makromolekul chemická i fyzikální, příprava pro zvlákňování
- zvlákňovací proces z roztoků a z taveniny, funkce extruderu, teploty a tlaky v okolí zvlákňování trysky, vznikající struktura vlákna
- proces dloužení
- energetika a ekologie výroby chemických vláken

Výrobní proces syntetických vláken zahrnuje nejdříve přípravu polymeru (monomer – polyreakce, polymerace, polykondenzace, polyadice) – zvlákňování do šachty. Tvar vláken je dán tvarem zvlákňovacích trysek, takže jsou vyráběná vlákna kruhových, popř. různých profilových průřezů, která jsou zejména vhodná pro zlepšení omaku výrobků z nich vyrobených. Vytvářejí podmínky pro sníženou žmolovitost, popřípadě pro zvýšení tepelně izolační schopnosti.

Ke tvorbě vnitřní struktury vlákna dochází v okolí zvlákňovací trysky. Částečnou výhodou vyráběných vláken, ať už cestou z přírodního polymeru, tak cestou syntetickou, je vytvoření různých typů vlákněných struktur a z toho pramenících vlastností – to zejména pro jejich pozdější směsování s vlákny přírodními. V makroměřítku je typ vlákna dán jeho délkou a jemností.

Jemnost je zde obvykle udávána v jednotkách dtex a může být v rozsahu od super-

mikrovláken (0,1 dtex) až po velmi hrubá vlákna, resp. žíně, jejichž tloušťka je v mm. Rovněž délky mohou být různé a jsou udávány v mm. Jsou získávány buď jako stříže, s konstantní délkou všech vláken, kde je použitelnost především pro směsování s bavlnou. Nebo výroba trhance z kabelu, kde vlákna nemají stejnou délku a tato konvertorová technologie je rozšířena pro vlnařské typy.

Tabulka 1: Typy vyráběných syntetických vláken

Typ vlákna	Jemnost T (dtex)	Délka l (mm)
B - bavlnářský	0,75 – 2,5	25 - 35
V – vlnařský česaný	2,6 – 3,5	80 - 100
V – vlnařský mykaný	3,6 – 5,0	100 - 150
L – lýkový, popř. technický	7,0 – 10,0	Nad 100

Polypropylen

Vlákno se zvlákňuje z předem připraveného polymeru z taveniny kruhovými tryskami do šachty, větší příčné rozměry (např. pásy) do vodní lázně. Vlákna jsou převážně kruhového průřezu, nesorpční, obtížně barvitelné. Převažuje technické použití. Krátká stříž do stavebních směsí pro jejich pružnost, páskový tvar vlákna do podkladových tkanin na všívané koberce, dále vysoké uplatnění v oblasti netkaných textilií (umělé trávníky, geotextilie apod.).

Užitné vlastnosti: je to nesorpční polymer s měrnou hmotností menší než $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

Negativa: nesnadno se barví, nízké teploty tání a měknutí.

Použití: převážně technické použití, obalová technika, medicína, sportovní potřeby atd.

Použitý vzorek:

Použitý vzorek polypropylenu byl o hmotnosti 180 g/m^2

Polyester

Polymer vzniká chemickou reakcí (polykondenzací) ze dvou vstupních komponent, ze kterých je vyroben polykondenzát, který se zvlákňuje z taveniny do šachty, následně

dlouží, popřípadě sdružuje do kabelu, který se dále řeže na stříž, nebo trhá na trhanec, vznikají různě jemná, profilovaná, popřípadě bikomponentní vlákna. Polyester je ve srovnání s Polyamidem relativně tuhé vlákno. Používá se ve směsích s bavlnou, vlnou, VS stříží do mykaných a česaných přízí. Zvyšuje tuhost výrobku a snižuje jeho mačkovost. Má velmi nízkou sorpci, proto po fyziologické stránce je nevhodný. Známa obleková a šatová směs 45 Vlna / 55 Polyester byla stanovena na základě výzkumu jako optimální pro vlastnosti, kladené na tyto výrobky.

Polyamidová a polyesterová vlákna mezi nejvíce rozšířená vlákna a z toho důvodu byly vyvinuty speciální zvláknovací trysky ze kterých vznikají vlákna různých profilů. Profilování vláken má ten cíl, aby vlákno svým tvarem a povrchem napodobovalo vlákno přírodní. Zvětšením povrchu se dosáhne vyšší adsorpce a znesnadňuje se vytahování vláken z příze, čímž se sníží žmolkovitost. A vlákno, které má na povrchu rovnou plošku, odráží světlo a jeví se lesklé. Do některých přízí jsou tato vlákna přidávána právě za tímto efektem.

Užitné vlastnosti: tvarová stabilita, snadná údržba, směsi

Negativa: na povrchu vláken se časem objevují krystaly oligomerů dimerů a trimerů (krátké řetězce polyethyltereftalátu) způsobující drsnost vlákna a jeho zhoršenou zpracovatelnost. Dalšími negativy jsou fibrilace (roztřepení konců vláken při nošení), která později přechází v ojínění a v poslední fázi ve žmolkovitost – jako nejhorší vlastnost polyesterových vláken. Tím, že je vlákno prakticky bez sorpce, snadno podléhá vzniku elektrostatického náboje, přitahuje prach a stoupá jeho špinivost.

Vyráběný sortiment: monofil, multifil hladký a tvarovaný, kabel, trhanec a stříž. [2].

Použitý vzorek

Použitý vzorek byl v plošné hmotnosti 170 g/m²

1.3 Tepelné bariéry

Tepelné bariéry představují zdánlivě úzkou technickou záležitost omezující se na ochranu materiálu před extrémními teplotami. Ve skutečnosti však jde o oblast dotýkající se celé přírody, a tedy i člověka a s ním spojeného technického pokroku.

Příroda vybavila v celém svém dlouhém historickém vývoji nejen živočichy, ale i rostliny systémem termoregulace, v němž významnou roli hrají tepelné bariéry.

Pod pojmem tepelné bariéry se tedy rozumí technický či jiný prostředek, umožňující tepelnou ochranu určitého systému před působením nadměrného tepla nebo chladu. Z tohoto pohledu se bariéry dělí na povlakové tepelné bariéry (TBC, thermal barrier coating), tepelné box-bariéry (TBB, thermal box-barrier) a přirozené tepelné bariéry (TBN, natural thermal barrier).

Povlakové tepelné bariéry (TBC)

Povlaková tepelná bariéra se nanáší přímo na povrch tepelně namáhané součásti. Jejím základním úkolem je snížit teplotu základního materiálu (substrátu), a tím jej chránit proti účinkům vysoké teploty a tepelných rázů. Snížením teploty základního materiálu může být využito dvěma způsoby:

- při zachování povrchové teploty základního materiálu součásti lze použitím TBC zvýšit provozní teplotu chráněné součásti, a tím zvýšit účinnost energetického či jiného zařízení.
- při zachování provozní teploty zařízení, a tedy zachování jeho účinnosti, lze použitím TBC snížit povrchovou teplotu základního materiálu součástí, a tím prodloužit její životnost

Struktura a funkce vrstev

Tepelná bariéra má obvykle vícevrstvou heterogenní strukturu. Nejčastěji používané jsou struktury dvouvrstvé (keramická a vazná vrstva), třívrstvé (keramická, přídavná a vazná vrstva) a gradované (keramická, gradovaná a vazná vrstva). Díky svým vlastnostem má každá vrstva ve struktuře TBC nezastupitelnou úlohu.

Vrchní keramická vrstva tvoří základ TBC, jejím úkolem je snížit tepelný tok do základního materiálu součásti. Keramická vrstva musí mít nízkou tepelnou vodivost a být dostatečně odrazivá pro infračervené záření, chemicky inertní vůči provoznímu prostředí, odolná proti tepelně a chemicky indukovaným napětím a deformacím.

Přídavná vrstva bývá nanášena na povrch vazné vrstvy. Má funkci difuzní bariéry, která snižuje oxidaci a vysokoteplotní korozi vazné vrstvy a základního materiálu součásti. Oxidace způsobuje nárůst oběma a vznik napětí na jejím povrchu. Napětí podporuje

vznik trhlin a vede k degradaci keramické vrstvy a celé TBC.

Vazná vrstva je nanášena na povrch základního materiálu součástí. Jejím úkolem je zajistit dobrou vazbu keramické vrstvy na základní materiál. Vazná vrstva musí být odolná vůči oxidaci a vysokoteplotní korozi, přizpůsobovat mechanické deformace vznikající rozdílnými součiniteli tepelné roztažnosti a modulu pružnosti mezi keramickou vrstvou a základním materiálem.

Gradovaná vrstva tvoří přechod mezi keramickou a vaznou vrstvou. Na horním povrchu gradované vrstvy je 100% materiálu vazné vrstvy a mezi tím je postupný, případně plynulý, přechod podílu keramické a vazné vrstvy. Výhodou gradovaných TBC je zmenšení, případně odstranění, skokového rozdílu mechanických vlastností na rozhraní vrstev, a tím lepší odolnost proti trhlinám při tepelném rázu, větší adheze k substrátu a větší lomová houževnatost. Nevýhodou je menší odolnost gradované vrstvy proti oxidaci a vysokoteplotní korozi.

Použití TBC vrstev

Tepelné ochranné vrstvy otevřely možnost zvýšení tepelné účinnosti zařízení a snížení tepelné únavy a koroze základních materiálů u všech tepelných zařízení a snížení tepelné únavy a koroze základních materiálů u všech tepelných zařízení na přeměnu energie. V současné době je nejvíce aplikací ochranných TBC v leteckých plynových turbínách, menší část pak u průmyslových plynových turbín a dieselových motorů.

Tepelné box-bariéry (TBB)

Tepelná box-bariéra (TBB) představuje další z technických tepelných bariér. Používá se k prostorové ochraně různých zařízení před tepelnými účinky vnějšího prostředí. Její charakteristikou a zároveň odlišností, například od TBC uvedených v předchozí části, je, že TBB zcela obklopuje tepelně chráněný předmět. Teplo proniklé tepelnou bariérou se neodvádí, ale způsobuje postupný ohřev jejího vnitřního prostředí.

Jednou z typických aplikací TBB, která klade na její vlastnosti specifické požadavky, je ochrana měřících systémů. Podle požadavků technologie má tepelná bariéra chránící měřící systém různý tvar, rozměry a vnitřní strukturu. Obvykle se používají moderní tepelně izolační mikroporézní materiály, jejichž se mimo jiné využívá i k tepelné ochraně leteckých černých skříněk, které jsou rovněž chráněny

tepelnou box-bariérou.

Teplota vnitřního prostředí TBB nesmí během určité doby, kdy je vystavena působení vysokoteplotního vnějšího prostředí, přesáhnout určitou maximální povolenou teplotu. Box-bariéra musí mít proto současně nízkou tepelnou vodivost, aby se zmenšil průnik tepla dovnitř TBB, a vysokou tepelnou kapacitu, aby se zpomalil vzrůst teploty jejího vnitřního prostředí.

Struktura a funkce vrstev

Aby TBB omezených rozměrů mohla splňovat náročné požadavky ochrany ve vysokoteplotním prostředí, je tvořena vícevrstvou strukturou složenou z materiálů s odlišnými vlastnosti. Volba materiálu vrstev přitom vychází ze specifických požadavků na funkci vrstvy.

Typická struktura vysokoteplotní TBB se skládá ze čtyř vrstev.

Vnější izolační vrstva z vysokoteplotního izolačního materiálu má za úkol snížit pohlcování tepelného záření dopadajícího z vnějšího prostředí a snížit tepelný tok do dalších vrstev.

Výparná vrstva tvořená kapalinou v nádrži svojí velkou tepelnou kapacitou zahrnující výparné teplo zpožďuje růst teploty (udržuje ji po většinu doby na teplotě varu vody) a odvádí teplo zpět do vnějšího prostředí ve formě páry.

Vnitřní izolační vrstva z nízkoteplotního izolačního materiálu dále snižuje tepelný tok do vnitřní kapacitní vrstvy s velkou tepelnou kapacitou. Struktury TBC určené pro nízké teploty a kratší doby ochrany se mohou skládat jen z izolační a kapacitní vrstvy.

Pro vnější izolační vrstvu se používá vysokoteplotní izolační materiál sibal ve formě desek nebo rohoží vyráběných z hlinitokřemičitých vláken. Vyznačuje se těmito vlastnostmi:

- nízkou objemovou hmotností
- odolností vůči tepelným rázům
- snadnou a rychlou opracovatelností
- nízkou akumulací tepla
- dobrými elektroizolačními vlastnostmi

Pro materiál výparné vrstvy jsou požadovány dvě základní vlastnosti, které z dostupných látek nejlépe splňuje voda. Aby byl minimalizován účinek tepla proteklého

vnější izolační vrstvou, musí mít velkou tepelnou kapacitu.

Vypařování vody má tři příznivé účinky, kterých je v TBB využíváno:

- vysoká hodnota výparného tepla (2257kJ potřebných na vypaření 1 dm³)
- nízká výparná teplota 100 °C, neboť do ukončení fázové přeměny z vody na páru se na vnitřním povrchu vrstvy udržuje teplota do 100 °C
- transportní vlastnosti vodní páry (vypařování vody a vznik páry se projevuje růstem tlaku v nádrži, otvory v nádrži uniká pára obsahující absorbované teplo a vrací ho ve směru tlakového gradientu a proti teplotnímu gradientu kanálky ve vnější izolační vrstvě zpět do vysokoteplotního prostředí)

Jistou nevýhodou využití kapaliny ve struktuře TBB je nutnost konstrukčního řešení nádrže, jejího plnění a vyprazdňování. Dále je potřeba konstrukčně řešit přístup do vnitřní části k měřicímu systému při zachování celistvosti vrstvy. Vodní nádrž je vyráběna z ocelového plechu.

Použití TBB vrstev

Typickou aplikací TBB při prostorové ochraně různých zařízení je ochrana měřících systémů, například technologie tepelného zpracování potravin (rychlé smažení, dusíkové zmrazování, pasterizace, vaření v páře apod.). Tyto technologie používané v potravinářském průmyslu vyžadují jedno z nejpřesnějších řízení teploty v průběhu výroby, ale i uskladnění a prodeje. Navíc jsou zde přísné zdravotní a hygienické předpisy. Tepelné box-bariéry jsou pro uvedené procesy vyráběny s teplotním rozsahem -196 °C až 350 °C v různých velikostech začínajících na výšce 25 mm.

Další oblast pro použití měřících systémů s TBB jsou technologie výroby a opravy elektronických dílů (desek plošných spojů se součástkami, například pájecí vlna)

Bioteplotní mechanika a TBN

Technické tepelné bariéry typu TBC a TBB, uvedené v předchozích dvou částech, jsou v podstatě přibližným napodobováním toho, co má již příroda ideálně vyřešeno. Proto mohou být přirozené tepelné bariéry (TBN) svou dokonalostí inspirujícím příkladem při návrhu a vytváření technických bariér.

Lidské tělo představuje biologický systém, sice zcela odlišný od dosud uvažovaných technických systémů, který se však vedle mimořádných složitostí anatomické, fyziologické i fyzické vyznačuje pozoruhodnou funkcí tepelné bariéry, jež je součástí termoregulačního systému v těle. Přirozená tepelná ochrana těla pomocí řízené tepelné bariéry však přes svou dokonalost může selhat, jsou-li překročeny omezující podmínky pro její řízení, či dojde-li k jejímu poškození.

Funkce TBN v živých organizmech

Klíčovou roli u živočichů, ale i rostlin, hrají přirozené tepelné bariéry (TBN), chránící je před nadměrným ohřevem či ochlazením. Funkce TBN tudíž spočívá v ochraně před nadměrným ohřevem či chladem, při němž by došlo ke zkolabování vnitřního termoregulačního systému. Přestože je charakter TBN u živočichů a rostlin odlišný, funkce termoregulačního systému je do jisté míry analogická.

U různých živočichů jsou struktura a nastavení termoregulačního teplotního pásma různé. Například u vodních živočichů v chladných mořích představuje základní část tepelné bariéry silná tuková vrstva rovnoměrně rozložená po celém těle.

Charakteristika biotepelného procesu

Tepelný proces v těle člověka vystaveného intenzivnímu toku tepla nebo chladu silně ovlivňuje jeho fyziologickou a psychickou činnost, a tedy i jeho pracovní schopnost a zdraví.

Zatížení povrchu těla teplem nebo chladem může dosáhnout takové hodnoty, že dojde k porušení termoregulačního systému v těle, jehož centrum je uloženo v mozku. Teplota rovněž výrazně ovlivňuje biochemické reakce v živé tkáni, jež tvoří podstatu látkové přeměny – metabolismu. Její výrazné změny mohou vést k narušení metabolické rovnováhy a vyvolat nepříjemné psychické i jiné stavy.

Vnitřní a vnější tepelná bariéra

Vnitřní tepelná bariéra je přirozenou bariérou a spolu s vnější umělou bariérou chrání tělo před účinky horka či chladu, jinak před přehřátím (hypertermií) či podchlazením (hypotermií). Obě bariéry si jde představit jako proměnné tepelné odpory sloužící k řízení tělesné teploty v lidském těle.

Vnitřní přirozená tepelná bariéra

Základní část přirozeně tepelné bariéry v lidském těle tvoří kůže. S ohledem na její význam jako dynamické tepelné bariéry v systému termoregulace je vhodné se zmínit o její anatomické struktuře.

Kůže se skládá z vnější velmi tenké povrchové vrstvičky epidermis (pokožky), dále dermis (kožní vrstvy) a hypodermis (podkožní vrstvy).

Vnitřní přirozená tepelná bariéra má složku statickou a dynamickou. Statická složka vzniká přirozeným uspořádáním jednotlivých anatomických vrstev těla, jejichž tepelná vodivost směrem od povrchové kožní vrstvy k nitru roste (například vnější kožní a tuková vrstva má nejnižší tepelnou vodivost přibližně $\lambda = 0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a u kostí $\lambda = 1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

Dynamická složka vnitřní tepelné bariéry je součástí termoregulačního systému v těle a je úzce spojena s krevním oběhovým systémem zajišťujícím přenos energie organismem. Probíhá v ní značně složitý fyziologický a fyzikální proces. Ten se uplatňuje nejvíce v tenké podpovrchové kožní vrstvě o tloušťce asi 2mm a ve svalové vrstvě těla. Při extrémním vnějším ohřevu nebo ochlazování těla dochází ke kontranci a dilataci cév, čímž se mění v širokém rozsahu velikost krevního průtoku. Dynamická složka vnitřního tepelného odporu je silně závislá na velikosti tohoto průtoku a může se měnit až pětinasobně.

Vnější umělá tepelná bariéra

Je vytvářena oblečením. Vzniká tak tepelný odpor mezi povrchem těla a okolím. Důležitými vlastnostmi oděvu jako tepelné bariéry je vedle tepelné prostupnosti pórovitost, pohltivost povrchu, barva a další vlastnosti, umožňující vedle vedení tepla též jeho přestup konvekcí, radiací a vypařováním. Vnější tepelná bariéra může být statická, anebo ve speciálních případech s řízeným ochlazováním.

Je-li tělo v tepelné rovnováze, tj. v relativním klidu při teplotě okolního prostředí 25 až 35 °C a metabolickým teplem na úrovni bazálního metabolismu, potom u oděvem nechráněného těla odchází přibližně čtvrtina až třetina tepla vypařováním a zbytek konvekcí a radiací. Vnější tepelná bariéra má značný význam při udržování stálé tělesné teploty.

Termoregulace lidského těla

Tepelný proces v lidském těle představuje obecně řízený proces ve složitém biologickém systému. Jde v podstatě o zpětnovazební řídicí systém, zahrnující senzory, řídicí obvod a aktuátory a zajišťující udržení příznivých podmínek. Vnitřní tepelná bariéra v tomto řízeném systému tvoří důležitou součást termoregulačního systému.

Termoregulační systém využívá v podstatě srdečního oběhu jako vitálního mechanismu k termoregulaci, projevující se již zmíněnou kontrakcí a dilatací cév podle měnících se vnějších tepelných podmínek. Zajímavé je uspořádání a rozměry cév v těle. Jejich průměr a celková plocha průřezu jsou řádově od cm a cm² u aorty až po μm a μm² u kapilárních a jiných drobných cév. Ty slouží hlavně k přenosu hmoty a energie mezi proudící krví a okolní tkání a tvoří podstatu vnitřní dynamické tepelné bariéry, a tedy i významnou součást termoregulačního systému v těle.

Teplota se řídí hlavně pomocí vegetativního nervového systému. Vnímání tepla a chladu se děje receptory R1 a R2, jež představují v podstatě miniaturní teplotní čidla umístěná v kožní vrstvě tepelné bariéry. Zajímavá je přitom nerovnoměrná lokalizace těchto čidel, obvykle se uvádí řádově 10⁵ a 10⁴. Tato čidla rozmístěná v kožní vrstvě tepelné bariéry předávají do termoregulačního centra mozku signály o vnějších podnětech tepla či chladu. Odpovídající rychlá reakce systému zajišťuje udržení tělesné teploty na nastavené úrovni. Tato regulační centra jsou omývána krví přitékající z vnitřních orgánů. Kromě toho jsou spojena s periferními aferentními a eferentními nervy. Po zpracování aferentního impulzivního signálu a informace v eferentní impulzní signál se tento vede přes motorický a vegetativní nervový systém ke svalům, vnitřním orgánům, plicím, kožním cévám a potním žlázám [8].

1.4 Analýza problému

Při měření tepelného odporu R_{ct} textilií v přístrojích typu Skin model je volný povrch měřené textilie o teplotě t_{samp} (30 – 35°C) vystaven paralelnímu proudu vzduchu o teplotě t_{air} (20 – 25°C), čímž z povrchu hydrofilních textilií dochází k odparu vlhkosti. Celkový tepelný tok q_{tot} stoupá a dle vztahu (5)

$$R_{ct} = (t_{samp} - t_{air}) / q_{tot} \quad (5)$$

pak klesá výsledný tepelný odpor. Což však v důsledku obrovského výparného tepla vody může vytvářet chladicí efekt resp. tok q_{evap} projevující se poklesem tepelného odporu dle vztahu:

$$R_{\text{ct}} = (t_{\text{samp}} - t_{\text{air}}) / (q_{\text{dry}} + q_{\text{evap}}) \quad (6)$$

V důsledku tohoto odparu musí princip měření tepelného odporu hydrofilních textilií na přístrojích typu Skin model trpět značnou nepřesností, zejména pokud je doba měření krátká (do 5 minut). Pokud měření proběhne na pomalých Skin modelech, pak po 40 minutách stabilizace signálu přístroje měří tepelný odpor přesušených textilií, což neodpovídá reálnému použití textilií.

Z toho důvodu byla navržena modifikace metody dle ISO 11092 ke stanovení tepelného odporu, založená na zakrytí povrchu měřené textilie tenkou nepropustnou po vložení textilie do přístroje Skin model. Tato tenká textilie o tloušťce menší než 15 mikrometrů zcela zamezí odparu vlhkosti z povrchu textilie, přičemž neovlivní hodnotu tepelného odporu.

Zmíněný problém ani jeho řešení nejsou popsány v dostupné odborné literatuře. Podobný problém, analýzu vlivu odparu vlhkosti z povrchu vlhké textilie publikoval Hes [9]. Jeho rovnice posloužila základ pro výpočet vlivu odparu vlhkosti z povrchu textilie na její tepelný odpor. V této rovnici jsou definovány jednotlivé výparné odpory, kterými prochází pára při hodnocení paropropustnosti textilií v přístroji typu Skin model, viz následující Fig. 1 a Fig. 2.

<p>Figure 1. Tepelný tok generovaný v důsledku odpařování potu od pokožky a tepelný tok uvolněný z mokrého povrchu tkaniny</p>	<p>Figure 2. Model vypařování odporů při vlhkosti odpařování z pokožky</p>
---	---

Jak patrné z těchto schémat, celkový chladicí tok chladicí tok z textilie tvoří chladicí tok od kůže skrz vlhkou textilií a chladicí tok z povrchu vlhké textilie. Celý děj je izotermní, tzn. V tomto systému chybí teplotní rozdíl, hnací silou je pouze rozdíl parciálních tlaků ($p_{\text{kůže}} - p_{\text{air}}$) vodní páry. V našem případě však zkoušenou textilií žádný

chladicí tok neprochází. Na druhé straně je zde teplotní rozdíl, způsobující tok tepla q_{tot} skrz tepelný odpor textilie R_{ct} a tepelný odpor přilehlé mezní vrstvy R_{cto} .

$$q_{tot} = (t_{samp} - t_{air}) / (R_{ct} + R_{cto}) \quad (7)$$

Pokud v původní rovnici dle [9] nahradíme chladicí tok od kůže skrz textilií výše uvedeným vztahem pro tepelný tok, obdržíme

$$q_{tot} = (t_{samp} - t_{air}) / (R_{ct} + R_{cto}) + (\beta \cdot L \cdot (p_{fab} - p_{air})) / (1 + R_{ct} \cdot (1 - kU)) \quad (8)$$

kde:

β - konvekční přenos tepla a hmoty koeficienty ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$), ($kg \cdot m^{-2} \cdot PA^{-1} \cdot s^{-1}$)

L - skupenské teplo vypařování vody (J / kg)

k - experimentálně stanovené konstanty charakterizující pokles tepelného odporu tkaniny RCT o obsahu vlhkosti U

U - obsah vlhkosti v látce v souvislosti s ultra-suché hmotnosti testované tkaniny (%)

Ve vztahu $R_{ct} \cdot (1 - kU)$ faktor k charakterizuje pokles tepelného odporu

textilie s vlhkostí textilie U . V dalším postupu však budeme předpokládat, že zkoušená textilie je v podstatě suchá, takže při měření např. mezi 2ma deskami (Alambeta) se s časem tepelný odpor textilu téměř nemění. Vlivem proudění však dochází k odparu malého množství vlhkosti, což však v důsledku vysokého výparného tepla vody může vytvářet chladicí efekt resp. tok q_{evap} projevující se poklesem tepelného odporu dle vztahu:

$$R_{ct} = (t_{samp} - t_{air}) / (q_{dry} + q_{evap}) \quad (10)$$

Jestliže vystavíme klimatizovanou textilií proudu vzduchu o standardní laboratorní vlhkosti, tak v důsledku proudění, které trochu proniká do struktury tkaniny, a v důsledku jistému spádu vlhkosti stále existujícímu mezi hydrofilní textilií a vzduchem, dojde k dodatečnému odparu vlhkosti a odvodu výparného tepla z textilie, což se navenek projeví poklesem tepelného odporu

Za předpokladu, že zkoušená textilie zůstává v podstatě suchá, dostane předchozí rovnice tvar:

$$q_{\text{tot}} = (t_{\text{samp}} - t_{\text{air}}) / (R_{\text{ct}} + R_{\text{cto}}) + (\beta \cdot L (p_{\text{fab}} - p_{\text{air}})) / (1 + R_{\text{ct}}) \quad (11)$$

Protože platí $1/\alpha = R_{\text{cto}}$, obdržíme:

$$q_{\text{tot}} = (t_{\text{samp}} - t_{\text{air}}) / (R_{\text{ct}} + R_{\text{cto}}) + \beta \cdot L (p_{\text{fab}} - p_{\text{air}}) / (1 + R_{\text{ct}}/R_{\text{cto}}) \quad (12)$$

Pro zjišťování velikosti tepelného odporu z výše uvedené rovnice je třeba odečíst tepelný odpor mezní vrstvy R_{cto} . Toto je u klasických Skin modelů zajištěno první kalibrací a hodnota R_{cto} je pak odečtena programem přístroje. U přístroje PERMETEST je hodnota R_{cto} zjišťována vždy při prvním měření bez vzorku. Rozdíl pak opět vypočítá program přístroje. Nicméně, negativní vliv odparu vlhkosti na hodnotu tepelného odporu tímto kompenzován není.

Zbývá pouze již zmíněné použití nové modifikace metody dle ISO 11092 ke stanovení tepelného odporu, založená na zakrytí povrchu měřené textilie tenkou nepropustnou fólií, po vložení textilie do přístroje Skin model. Tato tenká textilie o tloušťce menší než 15 mikrometrů zcela zamezí odparu vlhkosti z povrchu textilie, přičemž neovlivní hodnotu tepelného odporu. [9]

1.5 Sušení textilií

Teoretický základ sušení textilií

Sušení, nebo také „desorpce vody“ je děj, při kterém se odstraňuje kapalina obsažená v textilií. V praxi se nejčastěji setkáváme se „sušením v užším slova smyslu“, kdy je nutno odstraňovat kapalinu (složka W) z pevné látky (složka F) odpařováním do proudu přehřátého vzduchu (složka A).

Je to komplikovaný děj, při kterém současně dochází ke sdílení tepla a hmoty. Nejčastěji se jedná o odstranění vody (složka W = water) z textilie (složka F = fabric) odpařováním do proudu přehřátého vzduchu (složka A = air) [10].

Z hlediska sdílení hmoty je nutno chápat sušení jako difúzní proces. (Difúze = samovolné pronikání molekul z oblasti vyšší koncentrace do nižší koncentrace vlivem tepelného pohybu částic)

Vlhkost prostupuje textilií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difúzní

odpor jednotlivých oděvních nebo textilních vrstev různých kvalit a druhů se pak sčítá, přičemž značnou roli hraje i odpor vzduchových mezivrstev [1].

Vnější difúze: Vypařování vlhkosti z povrchu textilie se děje díky přenosu energie konvekcí z okolí. Tento proces je závislý na podmínkách okolí (vlhkost, teplota, tlak, rychlost a směr proudění

sušícího média) a na velikosti povrchu, který je vysušován.

Vnitřní difúze: Nastává po vytvoření gradientu vlhkosti uvnitř textilie. Dochází k přesunu vlhkosti z vnitřní části látky k povrchu a k následnému odpaření, kdy se potom jedná o vnější difuzi. Vnitřní difúze závisí na teplotě, obsahu vlhkosti v textili a jedná se o funkci fyzikálních vlastností sušené textilie.

Rychlost pomalejšího z dějů pak určuje celkovou rychlost sušení. Vlhká textilie je tedy směs absolutně suché pevné látky a vody (pro kterou se při sušení používá také termín vlhkost). Koncentraci vlhkosti v textili se vyjadřuje pomocí rovnice (13):

$$W_w = M_w / M_f \quad (13) [-]$$

kde je M_w hmotnost vody a M_f hmotnost suché textilie.

Vlhkost dělíme z hlediska odstranitelnosti na vlhkost volnou, a na vlhkost neodstranitelnou (rovnovážnou).

Volná vlhkost : není spojena s molekulami látky, může se volně pohybovat od buňky k buňce. Používá se pro napájení a podporu životní činnosti buněk. V ní je většina vlhkosti. Volná vlhkost se nachází na povrchu textilie, ve velkých pórech a v makrokapilárách, snadno se odstraňuje, kromě sušení, též pomocí mechanického působení (odstředění, lisování).

Vázaná vlhkost: tvoří se v důsledku vazby s molekulami látky a je charakterizována následujícími fyzikálně-chemickými vlastnostmi: slabě nebo vůbec nerozpustí látky, které jsou rozpustné ve volné vodě, má měrnou tepelnou kapacitu nižší než je obvyklé a přibližně rovnou měrnému teplu ledu, zamrzá při velmi nízkých teplotách pod bodem mrazu a má vyšší hustotu ve srovnání s volnou vlhkostí, je ne-elektrovedivá, na rozdíl od čisté vody, protože neobsahuje rozpustné látky [11].

Hodnota rovnovážné vlhkosti závisí na vlastnostech sušícího vzduchu a sušené

textilie. Vlhkost vzduchu se vyjadřuje buď relativním hmotnostním zlomkem

$$UA = m_A / m_B \quad (14)$$

kde m_A je hmotnost vodních par a m_B hmotnost vzduchu bez vodních par, nebo jako relativní vlhkost

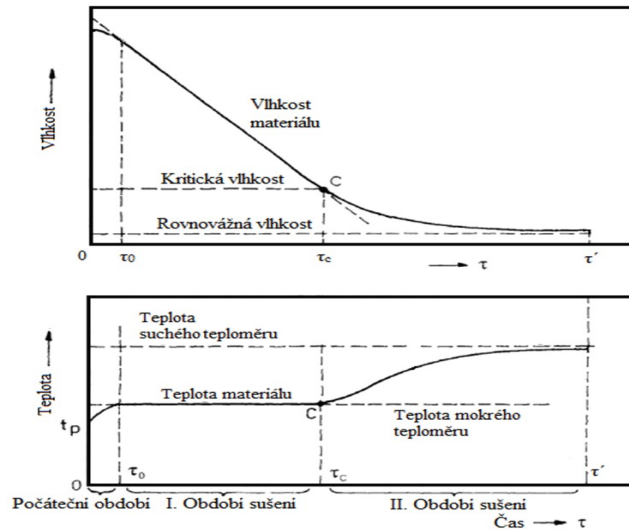
$$\phi = p_A / p_{A0} \quad (15)$$

kde p_A je parciální tlak vody ve vzduchu a p_{A0} je tlak vodní páry při dané teplotě. Jak je uvedeno na začátku, při sušení probíhá současně sdílení hmoty a sdílení tepla. Popis procesu sušení je založen na popisu toho děje, na němž nejvíce závisí celková rychlost procesu. U sušení je to sdílení hmoty s hybnou silou rovnou rozdílu koncentrací sdílené složky. Pomocí této hybné síly se pak vyjadřuje rychlost děje. Závisí však obecně na čase a místě v sušárně a dále souvisí s podmínkami, při nichž sušení probíhá. Vyjádříme ji rovnicí přestupu hmoty v plynné fázi jako:

$$\phi_A = kU (U_{Aw} - UA) \quad (16)$$

Zde je kU koeficient přestupu hmoty založený na hybné síle vyjádřené relativními hmotnostními zlomky vlhkosti ve vzduchu, UA představuje střední hodnotu vlhkosti vzduchu a U_{Aw} hodnotu na fázovém rozhraní mezi vzduchem a mokrou textilií.

Nejdříve si popíšeme proces sušení kvalitativně, tudíž budeme předpokládat, že částice pevného materiálu jsou zpočátku celé pokryty tenkou vrstvou vody. Počáteční vlhkost je W_{Ap} a teplota vlhkého materiálu na počátku děje je t_p . V okamžiku $\tau = 0$ uvedeme vlhkou textilii s výše popsány parametry (W_{Ap} , t_p) do kontaktu s proudem vzduchu o parametrech ($t > t_p$ a $U < U_{Aw}$). Začne probíhat proces sušení [12]. Závislost vlhkosti a teploty textilie na čase je kvalitativně znázorněna na obrázku 1



Obrázek 2 Kvalitativní průběh závislosti obsahu vlhkosti v materiálu W_a a teplotou t na době sušení

Textilní materiály mají schopnost adsorbovat či desorbovat vlhkost z okolí nebo do okolí. Vlhkost textilních vláken závisí za normálních podmínek na relativní vlhkosti vzduchu a teplotě okolí. Vlhkost se na textilní materiály váže různými způsoby a vlhkost lze ji rozdělit dle různých pohledů.

Můžeme narazit na následující pojmy:

Adhezní vlhkost

Vlhkost, kterou lze odstranit mechanicky, což znamená např. ždímáním. Takovou vlhkost tvoří voda, která ulpívá na povrchu vláken a je rovněž zadržována ve volných prostorách textilie a není tedy ve vláknech vázána.

Kapilární vlhkost

Vlhkost ve vláknech textilie, která je vázána kohezními a adhezními silami v kapilárách. Voda se do mikrokapilár a makrokapilár dostane smočením textilie nebo při kontaktu s prostředím o vysoké vlhkosti. V praxi odstraňování této vlhkosti není žádoucí, jelikož dochází k poškození textilu.

Rovnovážná (hydoskopická) vlhkost

Tuto vlhkost zapříčiňuje voda, která je vázána ve vláknech textilie z okolního prostředí. Vlákna pojmají jen tolik vlhkosti, kolik je potřeba k dosažení rovnováhy s relativní

vlhkostí okolního prostředí. Hygroskopickou vlhkost nelze odstranit mechanicky a je nutné ji převést na páru za teploty vyšší než je teplota nasycených par při daném okolním tlaku, tedy pouze termicky.

Bobtnací vlhkost

Tato vlhkost se do textilie dostane pouze, pokud je textilie v přímém kontaktu s kapalinou (nejčastěji vodou)

Chemicky vázaná vlhkost

Vlhkost, kterou způsobuje voda tvořící s vlákny chemickou sloučeninu, tzv. krystalickou vodu. Vzniká vazbou vody na vlákna pomocí vodíkových můstků. Tato vlhkost se odstraňuje pouze sušením za vysokých teplot (vyšší než je teplota varu), přičemž je potřeba mít na vědomí, že při tomto sušení může docházet k narušení struktury vlákna a tedy i poškození textilie [13].

Celý děj sušení můžeme rozdělit na 3 fáze, a tedy na počáteční období, první období sušení a druhé období sušení.

1. Počáteční sušení: textilie se začne ohřívat z počáteční teploty t_p na teplotu vlhkého teploměru (T_{wb} = teplota, kterou ukazuje teploměr obalený mokrou punčoškou při vynuceném obtékání vlhkým vzduchem a při odstínění proti tepelnému záření) a zároveň se z povrchu začne odpařovat vlhkost. Hybné síly dějů sdílení tepla a hmoty budou nenulové a začne klesat koncentrace vody v textili. Proces probíhá po úseku křivky sušení $[W_A = W_A(\tau)]$ od bodu A k bodu B.
2. I. období sušení (období konstantní rychlosti sušení): teplota textilie se nemění a všechno teplo dodávané sušicím vzduchem se spotřebovává na odpařování nevázané vody. Hybná síla v rovnici (4) je neměnná, a tudíž i rychlost sušení ϕ_A je konstantní. Přejdeme z bodu B do bodu C křivky sušení. Hodnota vlhkosti materiálu v tomto bodě je rovna kritické vlhkosti W_{Ac} . V I. období sušení závisí rychlost sušení na teplotě, vlhkosti a hmotnostním průtoku vzduchu, ale nezávisí na druhu, výšce vrstvy a okamžité vlhkosti materiálu.
3. II. období sušení (období klesající rychlosti sušení): v okamžiku dosažení bodu C přestane celý povrch textilie pokrývat vrstva kapaliny. Do styku se vzduchem

se dostanou první částice pevného materiálu a rychlost sušení se začne snižovat. Textilie se začne ohřívat a jeho teplota se zvýší nad teplotu mokrého teploměru: bod D. Klesá hybná síla děje sdílení tepla, z pomaluje se i sdílení hmoty, protože dráha difundující páry je složitější a tudíž odpor proti difúzi je větší. V bodě E dosáhne teplota textilie téměř teploty sušícího vzduchu. Děj sdílení tepla a hmoty se zastavuje, textilií nelze v daném prostředí více vysušit [14].

Podle schopnosti textilie pohlcovat vlhkost z okolního prostředí rozlišujeme hygrokopické a nehygrokopické textilie. Schopnost textilií udržovat vlhkost je důležitá při sušení a charakterizuje se rovnovážnou vlhkostí. Tato hodnota závisí na teplotě a vlhkosti okolního prostředí. Rovnovážná vlhkost je vlhkost, při které tlak vodní páry nad textilií se bude rovnat parciálnímu tlaku vodní páry v okolním prostředí. Při tom teplota textilie se rovná teplotě okolního prostředí. Vztah mezi obsahem rovnovážné vlhkosti textilie a vlhkosti vzduchu při určité konstantní teplotě se nazývá sorpční izotermou materiálu. Pokud rovnováha je dosažena adsorpcí vlhkosti z okolního vzduchu, dostaneme adsorpční izotermu (vlhčení). Jestliže rovnováha byla dosažena odevzdáním vlhkosti textilií okolnímu vzduchu, vytváří se izoterma desorpční (sušení).

Sušení

Doba sušení je nejdůležitější parametr pro výpočet sušárny. Z ekonomických důvodů je snaha dobu sušení minimalizovat, ale nesmí to být na úkor kvality. Stanovení doby sušení empirickými vzorci je složité a musí být použito mnoho opravných koeficientů pro různé vlivy na průběh sušení. Na dobu sušení mají hlavně vliv:

- vlastnosti sušené textilie - struktura a sazba vlhkosti
- tvar sušené textilie - rozměry částice, tloušťka sušené vrstvy
- počáteční, konečná a kritická vlhkost
- styk sušené látky se sušícím plynem
- teplota, relativní vlhkost a rychlost sušícího plynu
- volba sušícího plynu
- přípustná teplota textilie
- nároky na rovnoměrnost usušení
- volba konstrukce sušárny

Sušicí médium

Na začátku sušení zvýšení teploty sušicího média vede k zrychlení procesu sušení. Ale současně se zvyšují tepelné ztráty, které jsou nejvýznamnější na konci sušení, kdy má textilie nízkou vlhkost. Maximální přípustné teploty závisí na druhu materiálu a na způsobu sušení.

Rychlost proudění sušicího vzduchu

Vliv tohoto faktoru na rychlost sušení se projevuje pouze na úseku konstantní rychlosti (při konstantní teplotě a relativní vlhkosti). Čím vyšší je rychlost průtoku vzduchu, tím vyšší je rychlost sušení. Tento efekt je patrný do rychlosti vzduchu 5 m/sec. Další zvýšení rychlosti proudění vzduchu je omezeno tím, že proud vzduchu „odtrhává“ od sušicího povrchu malé kousky sušicího materiálu.

Tloušťka vrstvy nebo měrné zatížení

Tento faktor má vliv na rychlost sušení tímto způsobem: zvýšení tloušťky vrstvy snižuje rychlost sušení, hlavně na první etapě. V průběhu sušení se zmenšuje tloušťka vrstvy, a rychlost sušení se zvyšuje.

Textilii lze sušit přirozeným nebo umělým způsobem.

Přirozené sušení je nejstarší způsob odstraňování vlhkosti ze hmoty. Voda se na povrchu materiálu odpařuje a pára difunduje do okolního vzduchu. Nároky na energii nejsou prakticky žádné. Avšak při průmyslové výrobě se projevuje jeho nevýhoda – malá rychlost sušení.

Tato je příčinou potřeby velkých prostorů a ploch, které zvyšují nejen investiční náklady, ale i náklady na dopravu a manipulaci. Z tohoto pohledu je výhodnost přirozeného sušení sporná. Proto se stále více používá pro různé druhy textilií umělého sušení v sušárnách.

Sušárny jsou aparáty, v nichž se přívodem tepla odstraňuje z textilie vlhkost vypařováním.

Sušárny lze klasifikovat dle různých kritérií:

1. Podle režimu provozu:

- kontinuální
- diskontinuální

2. Podle provozního tlaku sušicího prostředí:

- atmosférické
- vakuové
- přetlakové

3. Podle způsobu přívodu tepla (chlada):

- konvektivní – tepelná energie se přenáší pomocí konvekce
- kontaktní (konduktivní) – tepelná energie se přenáší pomocí tepelné vodivosti
- vysokofrekvenční – tepelná energie se transformuje z elektrické energie uvnitř sušeného materiálu
- akustické (ultrazvukové) – tepelná energie vzniká v důsledku ultrazvukového kmitání
- kombinované – přenos tepla probíhá pomocí kombinace některých výše uvedených metod

4. Podle počtu použití sušicího vzduchu

- sušárny bez recirkulace sušicího vzduchu
- sušárny s recirkulací sušicího vzduchu [14]

V průběhu práce se nejdříve zabývalo sušením, avšak v průběhu vypracování vyšlo najevo, že se o sušení nejedná. Jedná se zde o chladicí efekt vytvořený odparem, nejedná se tedy o sušení, ale o kondenzační teplo (= kapalnění, při kterém pára v důsledku zmenšení svého objemu nebo snížením teploty kapalní. Při kapalnění se zpětně uvolňuje skupenské teplo kondenzační). Ve vzácných případech, pokud se však do přístroje vloží přesušená, resp. nedostatečně klimatizovaná textilie, dochází ke kondenzaci vlhkosti v textilií a přístroj typu Skin model naměří vyšší hodnoty (toto vysvětluje vysoké hodnoty tepelného odporu ve srovnání s ALAMBETOU).

Vzorky bavlny, které mají jistou relativní vlhkost, danou teplotou a vlhkostí v místnosti, jsou náhle v přístroji zahřáty na teplotu o 10°C vyšší, přičemž absolutní

množství vlhkosti ve vzorku se nemění. Tím se vzorky stanou pro dané podmínky (+10°C) přesušeny, a jakmile kolem nich začne v přístroji proudit relativně vlhčí vzduch, začnou pohlcovat vlhkost a vytvářet kondenzační teplo.

Příslušný kladný tepelný tok má v přístroji PERMETEST uměle záporné znaménko. Tak celkový tepelný tok klesá a může dosáhnout až záporných hodnot.

1.6 Stanovení termofyziologických vlastností textilií pomocí přístrojů skin model

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkostí měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla. Druhý postup v posledních letech převažuje, neboť umožňuje hodnotit termofyziologický komfort věrněji než metody první skupiny.

První způsob měření, založený na použití tzv. „skin modelu – modelu lidské pokožky“. Termofyziologická komfort oděvu, resp. textilií se pak zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu. Tento druhý parametr má mimořádně důležitou úlohu při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky [15].

Použitá označení z větší části odpovídají používaným v normě ISO 11092.

- plošná hustota tepelného toku (dále jen tepelný tok) procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem q_o [W/m^2]
- plošná hustota tepelného toku (dále jen tepelný tok) procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem q_v [W/m^2]
- tepelný odpor zkoušeného vzorku R_{ct} [m^2K/W]
- výparný odpor zkoušeného vzorku R_{et} [m^2Pa/W]
- teplota povrchu měřicí hlavice t_m [$^{\circ}C$]

Podstata zkoušky

Podstatou zkoušky je měření tepelného toku q procházejícího povrchem tepelného

modelu lidské pokožky – skin modelu. Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice (skin model) pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržována na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20 – 23 °C), který je do přístroje nasáván. Tím jsou zajištěny izotermické podmínky měření.

Při měření se pak vlhkosti v porézní vrstvě mění v páru, která pak přej separační fólii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté znovu se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky q_o a q_v .

Při měření tepelného odporu textilního vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na teplotě o 10-20°C. Vyšší než je teplota okolního vzduchu. Tepelný tok odváděný ze vzorku konvekcí do okolního proudícího vzduchu je opět registrován.

Výpočet termofyziologických vlastností z naměřených hodnot tepelného toku

Stanovení výparného odporu

Parciální tlak vodní páry ve vzduchu P_a je veličina, která je určena z relativní vlhkosti vzduchu ϕ a jeho teploty t_a . Parciální tlak páry ve stavu nasycení P_m je funkcí teploty vzduchu, která je naprogramována v počítači přístroje.

$$p = 100. (q_v/q_o)$$

$$R_{et} = (P_m - P_a).(q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad (17)$$

Stanovení tepelného odporu

Měření probíhá v suchém režimu (bez vlhčení) stejným způsobem. Tepelný odpor R_{et} charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při definované teplotě t_m jeho jedné strany a při přenosu tepla konvekcí z jeho druhé (vnější) strany do vzduchu o teplotě t_a , přičemž tepelný odpor této vnější mezní vrstvy se odečítá.

Protože se však odečítá tepelný odpor platící pro hladký měřicí povrch, zatímco povrch skutečné textilie je drsný a proto odlišný, je takto stanovena hodnota tepelného odporu jen přibližná. Nicméně, v Evropě se tento nepřesný postup používá, protože příslušná norma ISO 11092 byla vydána ve vhodné době a její použití se bez podrobného vysvětlení její podstaty stalo se součástí katalogů [16].

Stanovení tepelného odporu na přístroji Permetest

Přístroj je určen pro měření propustnosti vodních par a výparného odporu textilií nestacionárním způsobem, který má vyšší přesnost a citlivost.

Na povrch je přiložen přes separační fólii vzorek a vnější strana vzorku je ofukována. Při měření výparného odporu je měřící hlavice pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržován na teplotě o 10-20 C vyšší než je teplota okolního vzduchu. Tepelný tok odváděný ze vzorku konvekcí do okolního proudícího vzduchu je opět registrován.

Měření probíhá v suchém režimu (bez vlhčení). Tepelný odpor R_{et} charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při definované teplotě t_m jeho jedné strany a při přenosu tepla konvekcí z jeho druhé (vnější) strany do vzduchu o teplotě t_a , přičemž tepelný odpor této vnější mezní vrstvy se odečítá. Protože se však odečítá tepelný odpor platící pro hladký měřící povrch, zatímco povrch skutečné textilie je drsný a proto odlišný, je takto stanovená hodnota odporu jen přibližná [17].

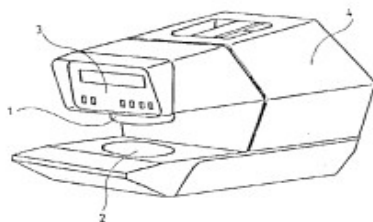
Stanovení tepelného odporu na přístroji ALAMBETA

Měření tepelných vlastností na přístroji ALAMBETA spočívá v průchodu tepelných toků $q_1(t)$ a $q_2(t)$ povrchy vzorku od neustáleného stavu k ustálenému (t_1 – teplota měřící hlavice, t_2 – teplota vzorku, základny přístroje).

Přístroj ALAMBETA byl vyvinut Hesem a Doležalem a je určen k měření termofyzikálních parametrů textilií, případně jiných netkaných textilních materiálů. Je to počítačem řízený poloautomat, který vypočítá všechny statické parametry měření a obsahuje autodiagnostický program, který zabraňuje chybným operacím přístroje. Princip přístroje ALAMBETA spočívá v napodobení parametrů lidské pokožky. Při započetí měření klesne měřící hlavice na textilií, která je položena na základnu přístroje, kde se nachází tepelný snímač. Po klesnutí měřící hlavice se začne měnit povrchová teplota měřeného vzorku a počítač registruje průběh tepelného toku. Dále je změřena tloušťka vzorku pomocí foto-elektronického senzoru. Měření tepelného omaku probíhá zahřáním měřící hlavice na teplotu 32°C (teplota lidské pokožky), zatímco teplota vzorku zůstává na teplotě 22°C. Podobně časová konstanta systému na měření tepelného toku, který měří přímo tepelný tok mezi měřící hlavicí a textilií, vykazuje podobné hodnoty (0,07 sec) jako lidská pokožka [18].

ALAMBETA

Přístroj:



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

Obrázek 3: Alambeta

Experimenty uvedenými v této bakalářské práci se podílelo na vysvětlení podstaty problému a to bylo použito i v přednášce na mezinárodní konferenci Aachen - Denkdorf - Dresden v listopadu 2016 - Proč Skin model testery tepelného komfortu tkanin někdy zobrazí záporné hodnoty tepelného odporu?

Zde byla představena možná řešení. Testovaná tkanina se nejprve klimatizovala při teplotě 20 ° C a relativní vlhkosti vzduchu 65%. Při těchto parametrech vzduch obsahuje 11,24 g / m³ vody. Rovnovážený obsah vlhkosti v bavlněné tkanině dosahuje 8,5%. Potom se vzorek testuje R_{ct} ve Skin modelu, kde vzduch proudící podél vzorku má stejnou relativní vlhkosti 65%, ale jeho teplota je 35 ° C. Při této zvýšené teplotě by měl vzduch obsahovat 25,74 g / m³ vody, to znamená, cca 2 krát více. To znamená, že měřený vzorek je ve skutečnosti sušší, než by odpovídalo vyššímu obsahu vlhkosti ve vzduchu. Z toho důvodu tkanina absorbuje vlhkost [19].

Obsah vlhkosti v bavlněné tkanině se zvýší (zhruba, bez bez záruky) na 9,5%. Vzhledem k tomu, že kondenzační teplo vody je velmi vysoké (2 250 J / g), tepelné účinky vyplývající z kondenzace vlhkosti v Skin modelech může mít za následek negativní tepelný odpor, za předpokladu, že doba měření je krátká, v minutách. Tato situace může nastat v rychlém PERMETEST Skin modelu, kde čas testování nesmí překročit 5 minut.

V konvenčních Skin modelech s delší dobou měření (30 minut nebo více), budou účinky

kondenzačního tepla mít stupňovitý pokles, protože vzorek by se adaptoval na nové podmínky ve vyšším obsahu vlhkosti ve vzduchu. To znamená, že výskyt negativního tepelného odporu je méně pravděpodobný. Nicméně, testovaná látka bude nastavena na úroveň vlhkosti, která se bude lišit od původní. Mimochodem, při použití delší doby testování také v rychlých testovacích zařízeních (např. PERMETEST) by měla napomoci k odstranění problému negativního tepelného odporu. Dalším řešením je pokrytí vnějšího povrchu testované tkaniny tenkou nepropustnou fólií, aby se zamezilo kondenzaci vlhkosti v testovaném materiálu. Obě metody byly úspěšně experimentálně ověřeny. Při testování hydrofobní látky v krátké době měření nebyly pozorovány žádné negativní hodnoty tepelného odporu [20].

2. Praktická část

V praktické části byl zjišťován tepelný odpor na příslušných vzorcích tkaniny na přístrojích PERMETEST a ALAMBETA.

První měření probíhalo na přístroji PERMETEST, kde za suchého režimu (bez zvlhčení) byl nejdříve přístroj příslušně nastaven a při rychlosti 1m/s byl měřen tepelný odpor. Vzorky se do přístroje vkládaly bez folie a výsledné hodnoty se zapisovaly do tabulky. Další měření probíhalo stejně, ale na vzorky se na vrchní stranu přiložila folie. Tato měření (bez folie a s folií) se měřila v průměru 1 minutu a v tabulkách jsou označena jako hodnoty z krátkého měření.

Další měření probíhalo opět na PERMETEST, vzorky byly vloženy (bez folie) do přednastaveného PERMETESTU, kde byly 10 minut ofukovány a poté byl zjištěn jejich tepelný odpor. Druhé měření probíhalo s folií. Tato měření jsou v tabulkách označována jako dlouhá měření.

V závěru se tato měření ještě zopakovala na přístroji ALAMBETA, vzorky se vkládaly bez folie a poté s folií. Měření probíhalo při laboratorních podmínkách - teplota vzduchu: 20,8 °C a vlhkost vzduchu: 31 %.

V přílohách jsou uvedeny grafy a tabulky s výsledky ze všech měření i s uvedenou střední hodnotou a variačními koeficienty.

I když snížení vlhkosti uvnitř vzorku (při vzrůstu teploty bavlny, Lyocelu atd z 22 na 32°C) je malé, tak díky velkému výparnému teplu vody $L = 2\,500\,000$ J/kg odpařené vody jsou tepelné efekty vysoké. S rostoucí teplotou, při stejné vlhkosti prostředí, je

tedy v bavlně méně vlhkosti.

Je velmi pravděpodobné, že, že po přiložení folie se nad vyčnívajícími chlupy bavlny a Lyocelu vytvoří další dobře izolující vrstva, která zvýší tepelný odpor. Podobný problém ještě v literatuře nebyl popsán [21].

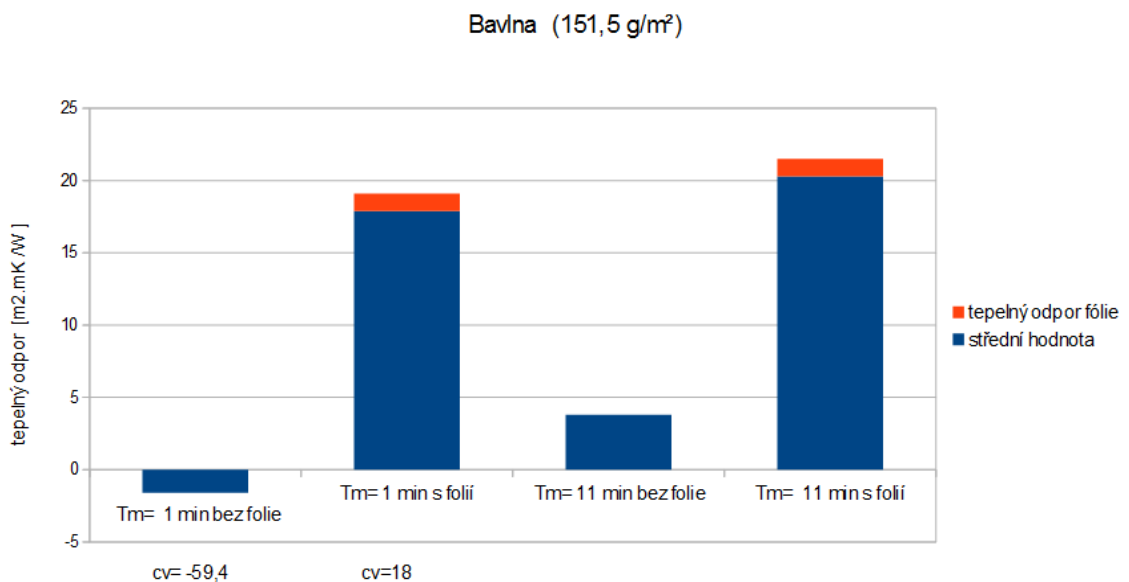
Od výsledků pro tepelný odpor se ale musel odečíst tepelný odpor folie, který po změření na přístroji Alambeta byl 1,2 [m².mK /W].

Výsledky:

Tabulka 2: Výsledky měření tepelného odporu u bavlny

Bavlna (151,5 g/m)	Doba měření 1 min bez folie	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		-1,6
	Doba měření 1 min folie s folií	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		19,1

Variační koeficient pro tepelný odpor bavlny je v intervalu (-59,4 ; 18)

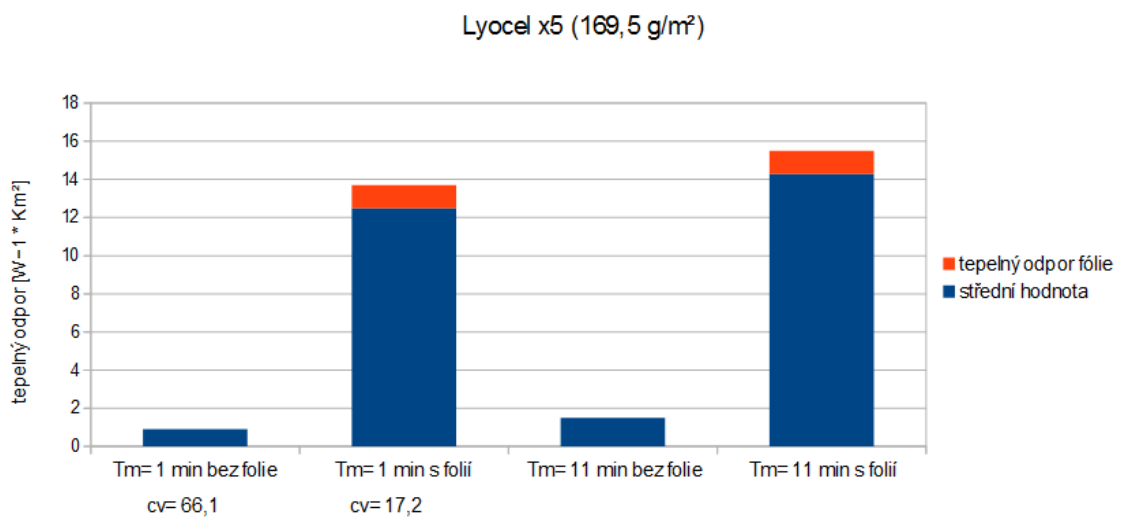


Obrázek 4: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro bavlnu

Tabulka 3: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x5

Lyocell x5 (169,5 g/m ²)	Doba měření 1 min bez folie	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		0,9
	Doba měření 1 min s folií	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		13,7

Variační koeficient pro tepelný odpor bavlny je v intervalu (66,1 ; 17,2)

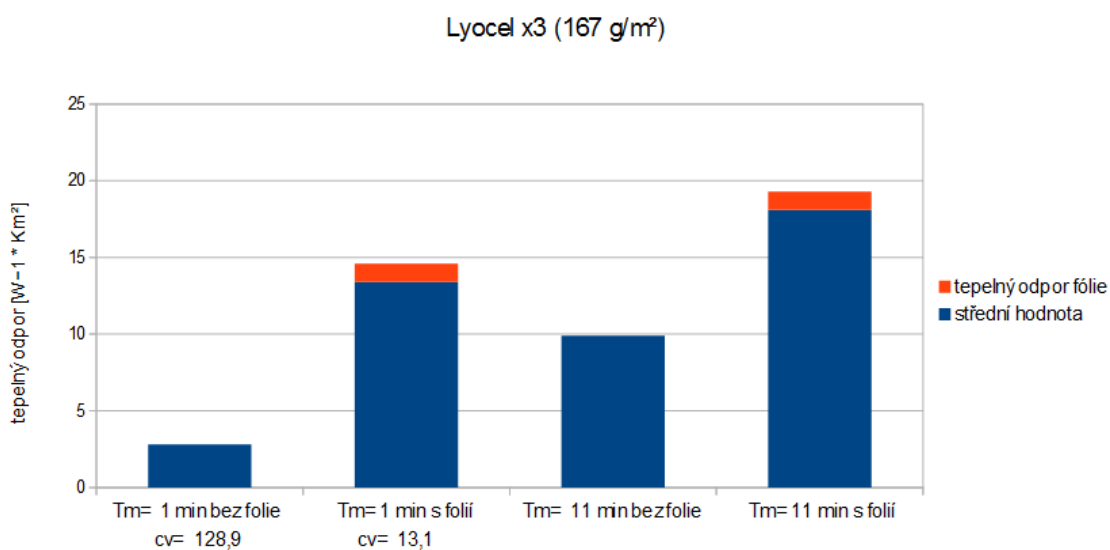


Obrázek 5: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro lyocell x5

Tabulka 4: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x3

Lyocell x3 (167 g/m ²)	Doba měření 1 min bez folie	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		2,8
	Doba měření 1 min s folií	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		14,6

Variační koeficient pro tepelný odpor bavlny je v intervalu (128,9 ; 13,1)

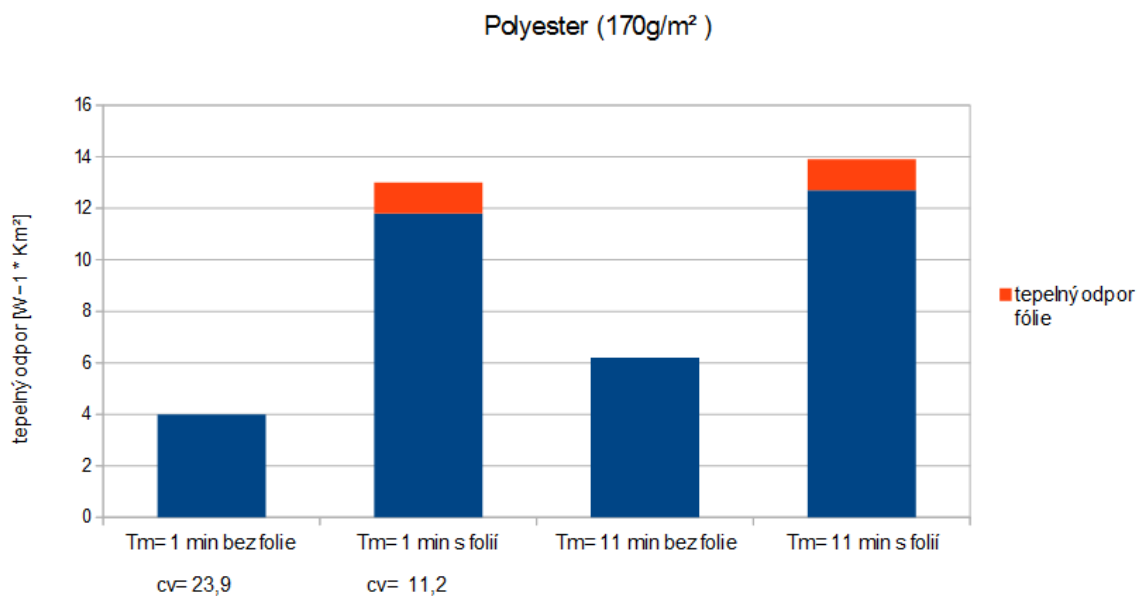


Obrázek 6: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro lyocell x3

Tabulka 5: Výsledky měření tepelného odporu u polyesteru

Polyester (170g/m ²)	Doba měření 1 min bez folie	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		4
	Doba měření 1 min s folií	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		13

Variační koeficient pro tepelný odpor bavlny je v intervalu (23,9 ; 11,2)

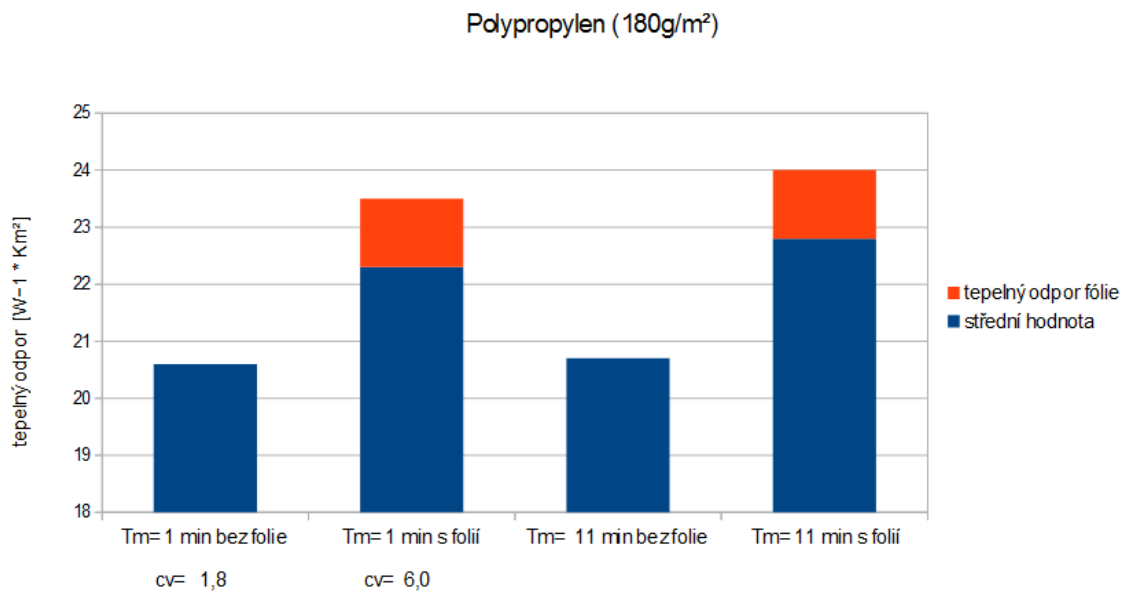


Obrázek 7: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro polyester

Tabulka 6: Výsledky měření tepelného odporu u polypropylenu

Polypropylen (180g/m ²)	Doba měření 1 min bez folie	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		20,6
	Doba měření 1 min s folií	tepelný odpor [m ² .mK /W]
Střední hodnota		22,9

Variační koeficient pro tepelný odpor polypropylenu je v intervalu (1,9 ; 6,0)



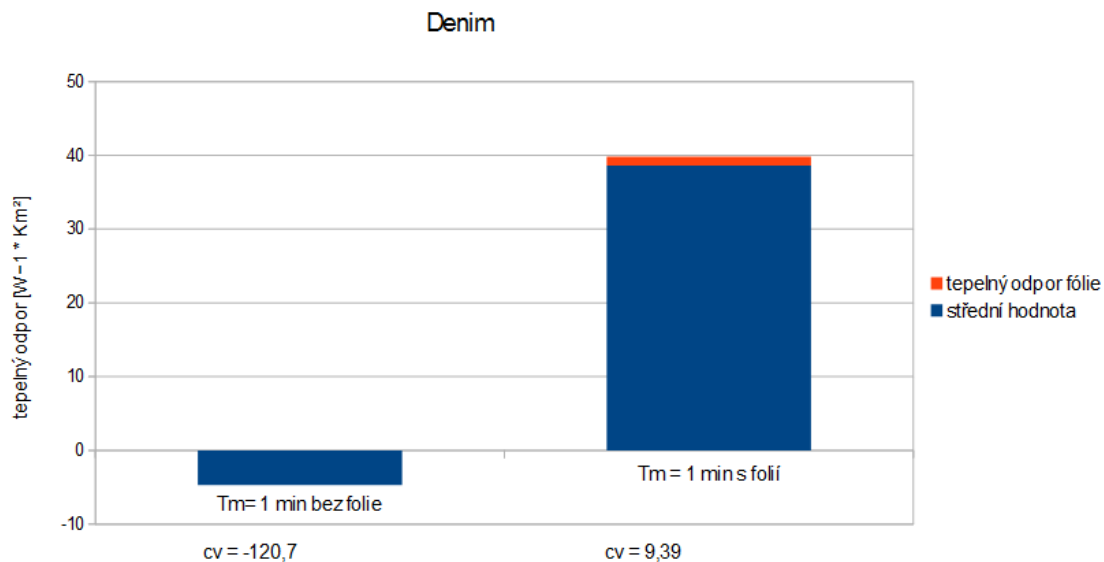
Obrázek 8: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro polypropylen

Kvůli vzorkům bavlny, které byly pro porovnání příliš tenké (0,26 mm), se použil vzorek denimu, který měl tloušťku 1 mm. Výsledky z měření pro denim jsou v následující tabulce.

Tabulka 7: Výsledky měření tepelného odporu u denimu

Denim	Doba měření 1 min bez folie	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{mK} / \text{W}$]
Střední hodnota		-4,7
	Doba měření 1 min s folií	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{mK} / \text{W}$]
Střední hodnota		38,6
	Měření na Alambetě bez folie	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{mK} / \text{W}$]
Střední hodnota		14,63
	Měření na Alambetě s folií	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{mK} / \text{W}$]
Střední hodnota		15,88

Variační koeficient pro tepelný odpor bavlny je v intervalu (-120,7 ; 9,36)



Obrázek 9: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro denim

Závěr

Prvotním úkolem této bakalářské práce bylo zjistit vliv odparu vlhkosti z povrchu textilie na přesnost měřené jejich tepelného odporu v přístrojích skin model.

Zjišťoval se tepelný odpor na 6 vzorcích pomocí přístrojů Permetest a Alambeta. Nejdříve se měřilo pomocí Permetestu, kde se vzorek za suchého režimu (bez zvlhčení) vložil do přístroje a standardně změřil. Poté se opět vložil stejný vzorek (avšak v jiném místě) a z vrchní strany byl zakryt folií a změřen. Dále se měření zopakovala, avšak nejprve byl vzorek vložen do Permetestu, kde byl po dobu 10 minut ofukován, až poté bylo spuštěno měření. Následně byl změřen vzorek i s folií. Měření se poté provedla i na přístroji Alambeta, kde se vzorek vkládal bez folie a standardně změřil. Poté se vložil tentýž vzorek, ale zakryt z vrchní strany folií. Všechna měření byla statisticky zpracována, uvedena do tabulek a zakreslena do grafů, které jsou v příloze. Vzhledem k vyšším hodnotám vycházejících na Permetestu pro denim byla měření zopakována se stejným výsledkem.

Z měření vycházely záporné hodnoty (pro bavlnu) a to se vysvětluje chladícím efektem odparu. Odpar poskytne chladící tok stejně jako chlazení měřící hlavice vzduchem o nižší teplotě, tím se celkový chladící tok zvyšuje.

Hlavní závěr je tedy takový, že v důsledku dodatečného odparu vlhkosti (jako důsledek intenzivní konvekce), a odvodu výparného tepla z textilie v důsledku průniku proudícího vzduchu do hlubších vrstev (menších pórů) textilií dojde ke vzniku dodatečného odparu vlhkosti a k poklesu naměřeného tepelného odporu. Avšak po vysušení textilie při dlouhé době měření, nebo při zakrytí textilie folií tepelný odpor vzroste. Z toho vyplývá, že vzorky musí být před měřením správně aklimatizovány, ale textilie z přírodních vláken budou stejně vykazovat při krátké době měření nízký tepelný odpor díky chladicímu efektu. Tyto jevy jsou do jisté míry potvrzeny vznikem hystereze při studiu sorpčních křivek [22].

Použitá literatura

- [1] HES, L., SLUKA P.: *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 121 stran. ISBN 80-7083-926-0.
- [2] STANĚK, J.: *Textilní zbožíznalství: vláknenné suroviny, příze, nitě*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita, 2006. 114 stran. ISBN 80-7372-147-3.
- [3] HES, L.: Thermal properties of Nonwoven, in: Proc. INDEX 87 Congress Genf 1987
- [4] HES, L.: Doležal I.: New Method and Equipment for Measuring Thermal Properties Textiles, J. Text. Mach. Soc. Japan 42, T124-128, 1989
- [5] HES, L., Prommerova M.: The Effect of Thermal Resistance and Absorptivity of Fabrics Their Thermal Contact Characteristics. In: 21st Textile Res. Symp. At Mt. Fuji, 1992
- [6] MRAZÍKOVÁ, I.: *Vazby tkanin listové: základní, odvozené a složené*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. 72 stran. ISBN 80-7083-627-X.
- [7] HONGU, T., PHILLIPS G. O. *New fibers*. 2nd rev. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1997. ISBN 9781855737570. [online]. Dostupné z: http://ipac.kvkli.cz/arl-li/cs/detail-li_us_cat-ebcocr798340927-New-fibers/?disprec=6&iset=12
- [8] KUNEŠ, J. A KOL.: *Tepelné bariéry*. Praha: Academia, 2003. 299 stran. ISBN 80-200-1218-4.
- [9] HES, L., BOGUSLAWSKA – BACZEK M.: Analysis and experimental determination of effective water vapour permeability of wet woven fabrics. JTATM, Vol. 8, No. 4, pp. 112 – 116, 2014
- [10] HEINISCH, T.: Problematika měření rychlosti schnutí u textilií. Workshop pro doktorandy Fakulty textilní a Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci : 18.-20. září 2013. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013, , 41-45.
- [11] HOLEČEK, O. Sušení, skriptum VŠCHT. Dostupné z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/labchi/S.pdf>
- [12] 25 Sušení. ÚCHI VŠCHT PRAHA. E-návody a učebnice [online]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k25.suseni.pdf>
- [13] ŠNITA, D.: Chemické inženýrství I. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 252. ISBN 80-7080-589-7 http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-589-7/pages-img/254.html

- [14] GRDZELIŠVILI, G.. *Sušení rostlinných materiálů*. ČVUT, 2010. Dostupné z: <http://chps.fsid.cvut.cz/pt2010/pdf/GrdzelisviliGulnara.pdf>. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Hoffman, Csc
- [15] ČSN ISO 11092:2014. Textil-Fyziologické účinky-Měření tepelného odporu a paropropustnosti za ustálených podmínek. 88 stran. 2014-09-01
- [16] HES, L.: Komfort textilií.Syllabus přednášek, TU Liberec 2002
- [17] HES, L.: Nové metody tepelných měření při optimalizaci výroby a vlastností textilií. Doktorská disertační práce, TU Liberec 1991
- [18] HES, L : Thermal properties of Nonwovens In: Proc. INDEX 1987 Congress' Section B1, Genere (1987)
- [19] COSTA, L.: Equilibrium moisture isotherms of textiles materials. Departamento de Engenharia Quimica, Universidade Estadual de Maringá, AV Colombo 5790, 87020 – 900. Maringá, Paraná, Brasil
- [20] HES, L: Comments to the use of skin models for determination of water vapour resistance of fabrics. Fiber Society internat. conference, ENSAIT Mulhouse 2008.
- [21] COSTA, L. et al.: Equilibrium moisture isotherms of textile materials. Acta Scientiarum, Vol, 23, No. 6, pp. 1363-1368, 2001.
- [22] HES, L.: Soukromé sdělení v citacích. 2016

Seznam obrázků

Obrázek 1: Závislost vlhkosti vláken na relativní vlhkosti prostředí. STANĚK, J.: *Textilní zbožíznalství: vlákenné suroviny, příze, nitě*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita, 2006. 114 stran. ISBN 80-7372-147-3

Obrázek 2 Kvalitativní průběh závislosti obsahu vlhkosti v materiálu W_a a teplotou t na době sušení dle [11]

Obrázek 3: Glombíková V.: Alambeta

Obrázek 4: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro bavlnu

Obrázek 5: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro lyocell x5

Obrázek 6: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro lyocell x3

Obrázek 7: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro polyester

Obrázek 8: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro polypropylen

Obrázek 9: Graf pro střední hodnotu tepelného odporu pro denim

Seznam tabulek

Tabulka 1: Typy vyráběných syntetických vláken

Tabulka 2: Výsledky měření tepelného odporu u bavlny

Tabulka 3: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x5

Tabulka 4: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x3

Tabulka 5: Výsledky měření tepelného odporu u polyesteru

Tabulka 6: Výsledky měření tepelného odporu u polypropylenu

Tabulka 7: Výsledky měření tepelného odporu u denimu

Seznam příloh

- Příloha 1: Výsledky měření tepelného odporu u bavlny
- Příloha 2: Výsledky měření z přístroje Alambeta – bavlna bez folie
- Příloha 3: Výsledky měření z přístroje Alambeta – bavlna s folií
- Příloha 4: Graf pro tepelný odpor bavlny
- Příloha 5: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x5
- Příloha 6: Výsledky měření z přístroje Alambeta – lyocell x5 bez folie
- Příloha 7: Výsledky měření z přístroje Alambeta – lyocell x5 s folií
- Příloha 8: Graf pro tepelný odpor lyocellu x5
- Příloha 9: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x3
- Příloha 10: Výsledky měření z přístroje Alambeta – lyocell x3 bez folie
- Příloha 11: Výsledky měření z přístroje Alambeta – lyocell x3 s folií
- Příloha 12: Graf pro tepelný odpor lyocellu x3
- Příloha 13: Výsledky měření tepelného odporu u polyesteru
- Příloha 14: Výsledky měření z přístroje Alambeta – polyester bez folie
- Příloha 15: Výsledky měření z přístroje Alambeta – polyester s folií
- Příloha 16: Graf pro tepelný odpor polyesteru
- Příloha 17: Výsledky měření tepelného odporu u polypropylenu
- Příloha 18: Výsledky měření z přístroje Alambeta – polypropylen bez folie
- Příloha 19: Výsledky měření z přístroje Alambeta – polypropylen s folií
- Příloha 20: Graf pro tepelný odpor polypropylenu
- Příloha 21: Výsledky měření tepelného odporu u denimu
- Příloha 22: Výsledky měření z přístroje Alambeta – denim bez folie
- Příloha 23: Výsledky měření z přístroje Alambeta – denim s folií
- Příloha 24: Graf pro tepelný odpor denimu

Přílohy

Příloha 1: Výsledky měření tepelného odporu u bavlny

Bavlna (151,5 g/m)	Výsledky tepelného odporu [m ² .mK /W]										Celkové parametry	
Doba měření 1 min bez folie	-1,4	-0,4	-0,8	-2,6	-0,9	-2,2	-2,2	-1,6	-3,2	-2,0	0,1	
	-1,4											
Střední hodnota	-1,1		-1,7			-2,0			-1,0			-1,6
Variační koeficient [%]	-52,5		-74,9			-17,3			-98,3			-59,4
Doba měření 1 min folie s folií	15,3	24,7	21,8	18,5		21,9	20,5		19,5	13,0		
	20,0		13,9			20,4			19,2			
Střední hodnota	20,0		18,1			20,9			17,2			19,1
Variační koeficient [%]	23,5		21,9			4,0			21,3			18,0
Doba měření 11 min bez folie	3,8											
Doba měření 11 min s folií	21,5											
Měření na Alambetě bez folie	4,2		4,4			4,5			4,8			
Střední hodnota												4,5
Variační koeficient [%]												5,6
Měření na Alambetě s folií	5,1		5,5			5,3			5,9			
Střední hodnota												5,5
Variační koeficient [%]												6,2

Bavlna - výsledky měření z přístroje ALAMBETA

λ = měrná tepelná vodivost [mW/(m.K)]

a = měrná teplostní vodivost [m²*s⁻¹]

b = tepelná jímavost [W·m⁻² * s^(-1/2) * K⁽⁻¹⁾]

r = plošný odpor vedení tepla [m².mK /W]

h = tloušťka materiálu [mm]

ρ = poměr maximálního a ustáleného tepelného toku [1]

q = tepelný tok [W.m⁻²]

Variační koeficient = [%]

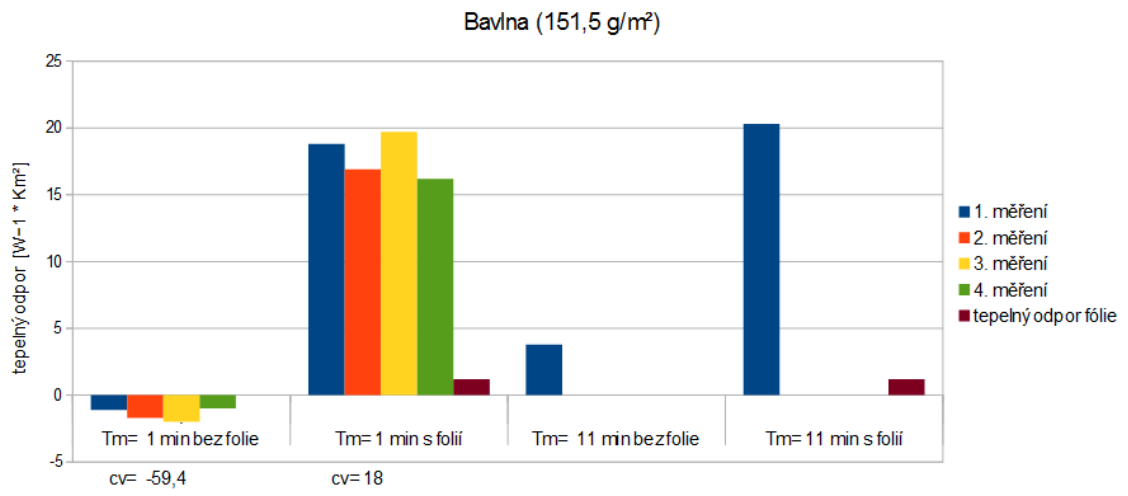
Příloha 2: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA– bavlna bez folie

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	50,4	52,3	52,2	50	51,23	2,3
a	0,04	0,05	0,04	0,45	0,15	140,3
b	250	241	249	236	244	2,74
r	4,2	4,4	4,5	4,8	4,5	5,6
h	0,25	0,26	0,28	0,27	0,27	4,78
ρ	1,2	1,13	1,16	1,23	1,18	3,73
q	0,66	0,63	0,61	0,66	0,64	3,83

Příloha 3: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – bavlna s folií

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	52,3	50,7	47,6	50	50,15	3,9
a	0,04	0,05	0,06	0,45	0,15	133,44
b	253	223	195	236	226,75	10,79
r	5,1	5,5	5,9	5,3	5,5	6,2
h	0,35	0,35	0,28	0,27	0,31	14,03
ρ	1,27	1,18	1,16	1,23	1,21	4,1
q	0,59	0,54	0,61	0,66	0,6	8,28

Příloha 4: Graf pro tepelný odpor bavlny



Příloha 5: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x5

Lyocell x5 (169,5 g/m ²)	Výsledky tepelného odporu [m ² .mK /W]									Celkové parametr y			
Doba měření 1 min bez folie	0,3	0,6	1,7	0,9	1,4	1,6	1,0	1,3	0,5	1,1	0,9	-0,4	
Střední hodnota	0,9			1,3			0,9			0,5			0,9
Variační koeficient [%]	81,9			27,7			44,9			162,9			66,1
Doba měření 1 min s folií	10,7		14,3	14,0	11,4	13,1	14,5		12,5	12,0		16,7	
	12,7						19,2			12,7			
Střední hodnota	12,6			12,8			15,4			13,8			13,7
Variační koeficient [%]	14,3			10,3			22,3			18,4			17,2
Doba měření 11 min bez folie	1,5												
Doba měření 11 min s folií	15,5												
Měření na Alambetě bez folie	6,8			7,0			6,1			5,8			
Střední hodnota													6,4
Variační koeficient [%]													8,9
Měření na Alambetě s folií	9,1			8,9			8,9			7,9			
Střední hodnota													8,7
Variační koeficient													6,2

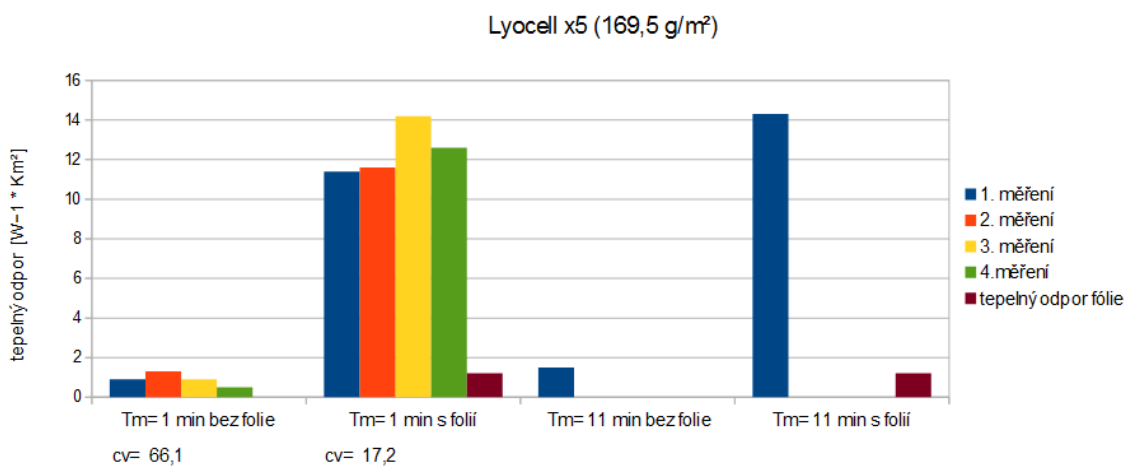
Příloha 6: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – lyocell x5 bez folie

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	48,6	43,3	46,5	50,7	47,3	6,8
a	0,05	0,05	0,04	0,07	0,05	23,9
b	214	197	222	198	207,8	5,9
r	6,8	7,01	6,1	5,8	6,4	8,9
h	0,33	0,3	0,28	0,3	0,3	6,9
ρ	1,23	1,22	1,24	1,13	1,2	4,2
q	0,57	0,55	0,61	0,57	0,58	4,3

Příloha 7: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – lyocell x5 s folií

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	46,1	44,5	45,3	46,7	45,7	2,1
a	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	12,5
b	198	215	207	207	206,8	3,4
r	9,1	8,9	8,9	7,9	8,7	6,2
h	0,42	0,4	0,4	0,37	0,4	5,1
ρ	1,3	1,42	1,42	1,33	1,36	4,5
q	0,49	0,55	0,55	0,56	0,5	6,01

Příloha 8: Graf pro teplotní odpor lyocellu x5



Příloha 9: Výsledky měření tepelného odporu u lyocellu x3

Lyocell x3 (167 g/m ²)	Výsledky tepelného odporu [m ² .mK /W]				Celkové parametry
Doba měření 1 min bez folie	-3,2 3,3 3,4	-2,0 5,5 7,5	-3,2 3,3 4	3,8 5,1 6,0	
Střední hodnota	1,2	3,7	1,37	4,9	2,8
Variační koeficient[%]	315,2	135,4	289,8	22,6	128,9
Doba měření 1 min s folií	16,4 13,3 14,0	12,1 15,4 18,4	16,4 14,3 13	12,6 13,3 16,1	
Střední hodnota	14,6	15,3	14,6	14	14,6
Variační koeficient[%]	11,1	20,6	11,8	13,2	13,1
Doba měření 11 min bez folie	9,9				
Doba měření 11 min s folií	19,3				
Měření na Alambetě bez folie	11,1	10,7	10,6	10,6	
Střední hodnota					10,8
Variační koeficient[%]					2,2
Měření na Alambetě s folií	12,1	12,2	12,3	12,5	
Střední hodnota					12,3
Variační koeficient[%]					1,4

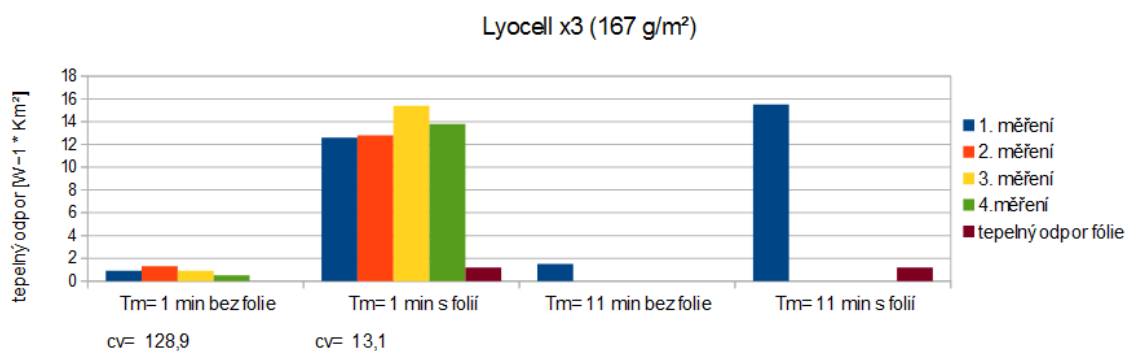
Příloha 10: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – lyocell x3 bez folie

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	41,1	41,6	40,5	41,8	41,3	1,4
a	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	7,7
b	146	145	150	159	150	4,3
r	11,1	10,7	10,6	10,6	10,75	2,2
h	0,46	0,44	0,43	0,44	0,44	2,9
ρ	1,28	1,26	1,31	1,3	1,29	1,7
q	0,42	0,42	0,44	0,44	0,43	2,7

Příloha 11: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – lyocell x3 s folií

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	41,8	42,9	42,1	42	42,2	1,1
a	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	8,9
b	164	167	169	168	167	1,29
r	12,1	12,2	12,3	12,5	12,3	1,4
h	0,5	0,52	0,52	0,52	0,52	1,9
ρ	1,54	1,54	1,64	1,52	1,56	3,5
q	0,48	0,47	0,5	0,46	0,48	3,6

Příloha 12 Graf pro tepelný odpor lyocellu x3



Příloha 13: Výsledky měření tepelného odporu u polyesteru

Polyester (170g/m ²)	Výsledky tepelného odporu [m ² .mK /W]				Celkové parametry
Doba měření 1 min bez folie	3,2 3,4 3,3	2,5 4 3,5	5,6 5,8 4,2	4,3 4,2 3,7	
Střední hodnota	3,3	3,33	5,2	4,1	4,0
Variační koeficient[%]	3,0	23,1	16,8	7,8	23,9
Doba měření 1 min s folií	10,4 12,9 13,3	11,7 12,7 14,6	12,1 12,6 12,0	15,7 14,2 14,3	
Střední hodnota	12,2	13,0	12,2	14,7	13,0
Variační koeficient[%]	12,9	11,3	2,6	5,7	11,2
Doba měření 11 min bez folie	6,2				
Doba měření 11 min s folií	13,9				
Měření na Alambetě bez folie	9,0	9,7	9,6	9,5	
Střední hodnota					9,5
Variační koeficient[%]					3,3
Měření na Alambetě s folií	11,1	11,0	11,1	11,0	
Střední hodnota					11,05
Variační koeficient[%]					0,5

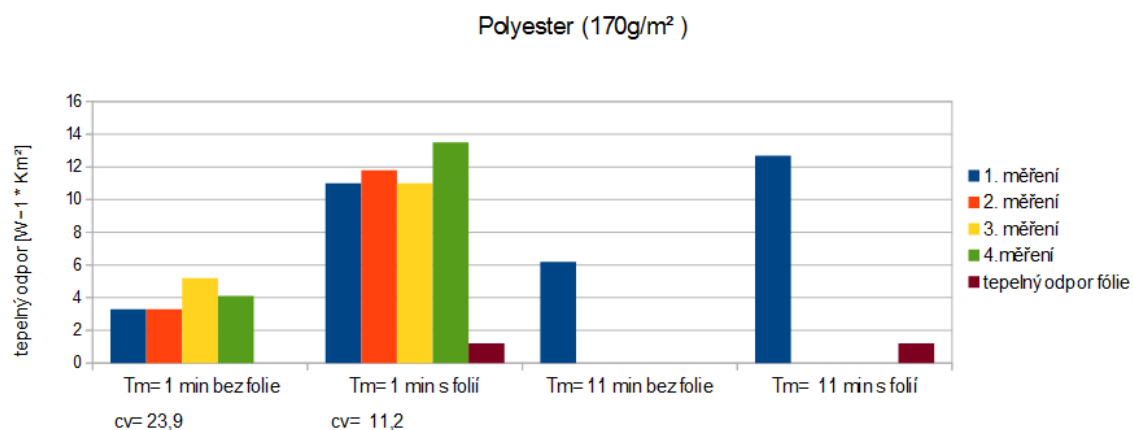
Příloha 14: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – polyester bez folie

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	51,1	49,9	49,9	51,2	50,2	1,4
a	0,11	0,11	0,1	0,1	0,11	5,5
b	154	153	154	164	156,3	3,3
r	9,01	9,7	9,6	9,5	9,5	3,3
h	0,46	0,48	0,48	0,48	0,48	2,1
ρ	1,26	1,3	1,32	1,34	1,3	2,6
q	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	1,04

Příloha 15: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – polyester s folií

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	50,7	51,4	51,4	51,5	51,25	0,7
a	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0
b	171	176	168	176	172,8	2,3
r	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	0
h	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0
ρ	1,56	1,64	1,63	1,6	1,61	2,2
q	0,51	0,55	0,54	0,53	0,53	3,2

Příloha 16: Graf pro tepelný odpor polyesteru



Příloha 17: Výsledky měření tepelného odporu u polypropylenu

Polypropylen (180g/m ²)	Výsledky tepelného odporu [m ² .mK /W]				Celkové parametry
Doba měření 1 min bez folie	20,1 21,1 20,8	20,2 21,1 20,8	20,3 20,9 20,5	20,1 20,3 20,6	
Střední hodnota	20,7	20,7	20,6	20,3	20,6
Variační koeficient[%]	2,5	2,2	1,5	1,2	1,8
Doba měření 1 min s folií	21,4 19,6 23,5	24,2 24,0 23,2	21,9 22,5 23,8	22,7 23,4, 24,4	
Střední hodnota	21,4	23,8	22,7	23,5	22,9
Variační koeficient[%]	9,2	2,2	4,3	3,6	6,0
Doba měření 11 min bez folie	20,7				
Doba měření 11 min s folií	24,0				
Měření na Alambetě bez folie	15,8	15,2	15,1	15,7	
Střední hodnota					15,5
Variační koeficient[%]					2,3
Měření na Alambetě s folií	16,2	16,5	17,2	17,0	
Střední hodnota					16,7
Variační koeficient[%]					2,7

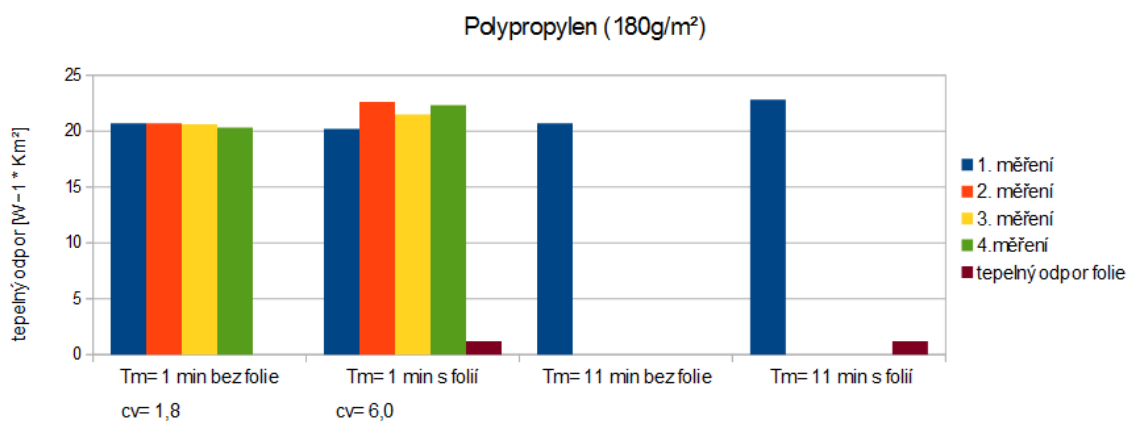
Příloha 18: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – polypropylen bez folie

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	51,6	52,4	52,5	51,7	52,05	0,9
a	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	5,4
b	160	179	177	171	171,8	4,9
r	15,8	15,2	15,1	15,7	15,5	2,3
h	0,81	0,79	0,79	0,81	0,8	1,4
ρ	1,26	1,55	1,53	1,58	1,48	10,1
q	0,32	0,4	0,4	0,4	0,38	11,8

Příloha 19: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – polypropylen s folií

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	52,5	52,1	50,2	51,1	51,45	2,01
a	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	6,8
b	182	177	174	173	176,5	2,3
r	16,2	16,5	17,2	17	16,7	2,7
h	0,88	0,86	0,86	0,87	0,87	1,1
ρ	1,89	1,88	1,87	1,85	1,87	0,9
q	0,45	0,46	0,44	0,43	0,45	2,9

Příloha 20: Graf pro tepelný odpor polypropylenu



Příloha 21: Výsledky měření tepelného odporu u denimu

Denim	Výsledky tepelného odporu [m ² .mK /W]
Doba měření 1 min bez folie	-8,4 -7,6 1,8
Střední hodnota	-4,7
Variační koeficient [%]	-120,7
Doba měření 1 min s folií	35,5 37,8 42,6
Střední hodnota	38,6
Variační koeficient [%]	9,39
Měření na Alambetě bez folie	14,7 14,3 14,0 15,5
Střední hodnota	14,63
Variační koeficient [%]	4,44
Měření na Alambetě s folií	14,8 17,2 16,8 14,7
Střední hodnota	15,88
Variační koeficient [%]	8,25

Příloha 22: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – denim bez folie

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	70,7	71,8	71,8	68,2	70,6	2,4
a	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0
b	235	237	246	233	237,8	2,4
r	14,7	14,3	14,1	15,5	14,6	4,4
h	1,04	1,03	1,01	1,06	1,04	2,01
ρ	1,35	1,64	1,62	1,54	1,54	8,6
q	0,36	0,44	0,46	0,39	0,41	22,2

Příloha 23: Výsledky měření z přístroje ALAMBETA – denim s folií

	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření	Střední hodnota	Variační koeficient
λ	73,1	67	66,2	70,4	69,2	4,3
a	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	6,8
b	262	232	224	246	241	6,9
r	14,8	17,2	16,8	14,7	15,9	8,2
h	1,08	1,15	1,11	1,03	1,09	4,6
ρ	1,65	1,55	1,62	1,66	1,62	3,1
q	0,44	0,36	0,38	0,44	0,41	10,1

Příloha 24: Graf pro tepelný odpor denimu

