

# VLIV STLAČITELNOSTI OBJEMNÝCH TEXTILNÍCH STRUKTUR NA JEJICH TEPELNĚIZOLAČNÍ VLASTNOSTI

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3106 – Textilní inženýrství  
*Studijní obor:* 3106T017 – Oděvní a textilní technologie  
*Autor práce:* **Kristýna Helešicová**  
*Vedoucí práce:* Ing. Viera Glombíková, Ph.D.





## Diploma thesis

*Study programme:* N3106 – Textile Engineering  
*Study branch:* 3106T017 – Clothing and Textile Engineering  
*Author:* **Kristýna Helešicová**  
*Supervisor:* Ing. Viera Glombíková, Ph.D.

---

Liberec 2015



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Kristýna Helešicová  
Osobní číslo: T12000385  
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství  
Studijní obor: Oděvní a textilní technologie  
Název tématu: Vliv stlačitelnosti objemných textilních struktur na jejich tepelněizolační vlastnosti  
Zadávající katedra: Katedra oděvnictví

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

1. Průzkum trhu výplňkových textilních materiálů.
2. Rešerše zaměřená na problematiku vlivu stlačitelnosti a následného zotavení vložkových výplňkových materiálů na jejich tepelně izolační vlastnosti
3. Návrh a realizace experimentu zaměřeného na testování změny tepelněizolačních vlastností výplňkových materiálů v závislosti na míře statického a cyklického mechanického namáhání stlačováním simulujícím zatížení oděvu během užívání.
4. Vyhodnocení experimentu a formulace doporučení pro optimalizaci materiálů pro zabezpečení dobrých tepelněizolačních vlastností.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

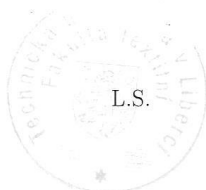
- Song, G., *Improving Comfort in Clothing*, Woodhead Publishing in textiles, 2011
- Gao, J., Pan, N., Yu, W. Compression behaviour evaluation of single down fiber and down fiber assemblies, *Journal of The Textile Institute*, 2010, Vol.101, No.3, pp.253-260
- Debnath, S., Madhusoothanan, M., Thermal Insulation, compression and air permeability of polyester needle-punched nonwoven, *Indian Journal of Fibre & Textile research*, Vol. 35, 2010, pp.38-44
- Gao, J., Pan, N., Yu, W., Structures and Properties of the goose down as a material for thermal insulation, *Textile Research Journal*, 2007, Vol. 77, No.8, pp.617-626
- Platné normy ČSN ISO EN
- Odborné a vědecké časopisy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Viera Glombíková, Ph.D.  
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: 2. listopadu 2013

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2014

  
Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



  
doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2013

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

### Žádost

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové práce do: červen 2015

Název diplomové práce: Vliv stlačitelnosti objemných textilních struktur na jejich tepelně-izolační vlastnosti

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Bc. Viera Glombíková, Ph.D.

Jméno, příjmení a adresa žadatele: Kristýna Helešicová, Čechova 331, 431 45 Březno u Chomutova

Podpis žadatele: 

Datum podání žádosti: 15. prosince 2014

Vyjádření vedoucího práce:



Vyjádření vedoucího katedry:



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ  
Katedra oděvnictví

## Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

## Poděkování

Tímto prostředkem bych ráda poděkovala za spolupráci a odbornou konzultaci paní Ing. Viere Glombíkové Ph.D., za její pomoc při výběru a koupi materiálů, tak i za její vedení, připomínky a názory při sestavování experimentu a jeho vyhodnocování.

Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Třešňákovi, panu Ing. Chotěborovi, panu Geislerovi a paní Rulcové z laboratoří katedry KOD na Technické univerzitě v Liberci za odbornou pomoc při provádění experimentů. Nakonec bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá vlivem stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových vložkových materiálů. Práce je rozdělena na dvě části, rešerši a experimentální část. V rešerši jsou vysvětleny základní pojmy, což znamená, že jsou zde popsány výplňkové materiály, jejich rozdělení a výroba. Dále jsou zde vysvětleny pojmy stlačitelnost a tepelně- izolační vlastnosti.

V experimentální části je podrobně popsán provedený experiment, který se skládal z měření stlačitelnosti pomocí speciálního zařízení a přímého měření vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových materiálů. Jako ukazatel tepelně- izolačních vlastností byl zvolen tepelný odpor  $R_{ct}$ .

## **Klíčová slova:**

Výplňkové vložkové materiály

Stlačitelnost

Tepelně- izolační vlastnosti

Tepelný odpor



## **Annotation**

This thesis is about influence which provides compressibility on thermal insulation properties of thermal insulation materials. The work is divided into two parts, research and experimental part. In first part there is explained what thermal insulation materials are and how they are produced. Then there are explain what compressibility and thermal insulation properties are.

In the experimental part is described experiment which is consisted of measurement of compression using special equipment. Next there is described influence of compressibility on thermal insulation properties of thermal insulation materials. As an indicator of thermal insulation properties was choosed thermal resistance  $R_{ct}$ .

### **Key words:**

Thermal insulation materials

Compressibility of textile materials

Thermal insulation properties of textile material

Thermal resistence

## Seznam použitých symbolů a značek

m- hmotnost [kg]

l- délka [km]

T<sub>v</sub>- jemnost vláken [tex]

Q- odparné teplo [W]

Δ<sub>i</sub>- měrné výparné skupenské teplo

m<sub>k</sub>- permeabilita kůže [kg/s\*m<sup>2</sup>\*Pa]

S- plocha povrch těla [m<sup>2</sup>]

p<sub>0</sub>- parciální tlak na povrchu kůže [Pa]

p<sub>1</sub>- parciální tlak na povrchu textilie [Pa]

ρ<sub>S</sub>- plošná hmotnost [kg.m<sup>-2</sup>]

λ – měrná tepelná vodivost [W\*m<sup>-1</sup>\*K<sup>-1</sup>]

R<sub>ct</sub> – tepelný odpor [m<sup>2</sup>K/W]

q – tepelný tok [W/m<sup>2</sup>]

ρ<sub>c</sub>- tepelná kapacita [J.kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]

b- tepelná jímavost [W.m<sup>-2</sup>s<sup>1/2</sup>K<sup>-1</sup>]

t= teplota [°C]

h= tloušťka [m]

p= tlak [Pa]

F= síla [N]

μ- zaplnění [-]

V- objem [m<sup>3</sup>]

S- stlačitelnost [%]

°C – stupeň Celsia

K – Kelvin

W – Watt

N- Newton

Pa- Pascal

## Obsah

Úvod .....	13
1. Vložkové oděvní materiály.....	15
1.1. Výztužný vložkový materiál .....	15
1.2. Výplňkový vložkový materiál .....	15
1.2.1. Přírodní výplňkový vložkový materiál .....	16
1.2.2. Syntetický výplňkový vložkový materiál .....	18
1.2.3. Výrobci syntetických výplňkových materiálů .....	19
2. Vlastnosti výplňkových vložkových materiálů .....	23
2.1. Jemnost vláken.....	24
2.2. Zkadeření vláken.....	24
2.3. Plošná hmotnost.....	25
2.4. Tuhost v ohybu .....	25
3. Tepelně- izolační vlastnosti .....	25
3.1. Faktory ovlivňující tepelně- izolační vlastnosti.....	27
3.2. Veličiny tepelně- izolačních vlastností .....	28
3.2.1. Tepelná vodivost .....	28
3.2.2. Tepelný odpor.....	29
3.2.3. Tepelný tok .....	30
3.2.4. Měrná teplotní vodivost.....	30
3.2.5. Měrná tepelná kapacita.....	31
3.2.6. Tepelná jímavost .....	31
3.3. Měření tepelně- izolačních vlastností .....	32
3.3.1. Alambeta.....	32
3.3.2. Togmetr .....	33
3.3.3. Přístroj C – Therm .....	34
3.3.4. Přístroj Sweating Guarded Hotplate .....	34
3.3.5. FOX Instruments .....	35

4.	Stlačitelnost .....	35
4.1.	Vztah mezi stlačením a zaplněním textilního útvaru .....	36
4.2.	Typy deformace .....	37
	Elastická deformace.....	37
	Plastická deformace .....	37
	Viskoelastická deformace.....	37
4.3.	Stlačitelnost a tloušťka.....	37
4.4.	Měření tloušťky a stlačitelnosti .....	38
4.4.1.	Tloušťkoměr .....	38
4.4.2.	Labtest .....	39
4.4.3.	Instron.....	39
4.4.4.	Tiratest.....	40
4.4.5.	KES.....	40
4.4.6.	Obrazová analýza .....	41
4.4.7.	Tlaková podložka X- Senzor .....	43
4.5.	Problematika stlačitelnosti publikovaná ve vědeckých studiích.....	44
5.	Vliv stlačitelnosti na tepelně izolační vlastnosti.....	47
6.	Experimentální část .....	52
6.1.	Použité materiály .....	52
6.2.	Měření stlačitelnosti.....	54
6.2.1.	Vyhodnocení experimentu stlačitelnosti .....	56
6.3.	Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti.....	62
6.3.1.	Vyhodnocení experim. vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti ...	69
6.4.	Diskuse výsledků .....	72
	Závěr.....	74
	Citace .....	79
	Přílohová část .....	87

## Úvod

Cílem diplomové práce je zjištění vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových materiálů. To bylo provedeno rešerší na dané téma a experimentem.

Rešerše je rozdělena na několik částí. V první části jsou definovány výplňkové materiály a jejich základní rozdělení. Dále jsou v této kapitole podrobně popsány vlastnosti syntetických i přírodních vložkových materiálů, jejich výhody či nevýhody, použití a u syntetických materiálů je popsána i jejich výroba.

Poté je vysvětlen pojem tepelně- izolační vlastnosti materiálu, a jakým způsobem se posuzují. Jejich hlavním identifikátorem je schopnost udržet teplo a ochránit uživatele těchto materiálů před povětrnostními podmínkami. Izolační vrstvu textilie vytvářejí vlákna a především vzduch, který je špatným vodičem tepla. Jsou zde uvedeny nejdůležitější tepelně- izolační vlastnosti, mezi které patří tepelná vodivost, plošný tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelná kapacita, tepelný tok a tepelná jímavost. Jednotlivé veličiny jsou v této kapitole blíže popsány.

Další kapitola se zabývá stlačitelností textilních materiálů. Je zde popsáno, co je to stlačitelnost, jaké vlastnosti materiálu mají vliv na stlačitelnost a jakým způsobem dochází k deformaci materiálu při stlačování. Dále je v této kapitole popsána stlačitelnost z hlediska historického i současného výzkumu. Nakonec je uveden výzkum posledního desetiletí, který se zabývá vlivem stlačitelnosti na tepelně- izolační materiály.

V druhé části diplomové práce je popsán provedený experiment, který měl za úkol zjistit, zda existuje, případně jak velký vliv má stlačitelnost na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových materiálů, které se používají jako izolační výplně do oděvů (především zimních bund) a spacích pytlů.

Jako zkušební materiál byly použity výplňkové materiály XP/Apex a HL od firmy Climashield a výplňkové materiály Sport od firmy PrimaLoft® při třech různých plošných hmotnostech.

Byly provedeny dva samostatné experimenty. Nejdříve byla zjišťována stlačitelnost a relaxace materiálu. To bylo provedeno pomocí přístroje, který zjišťuje schopnost zotavení po stlačování podle interní normy KOD- FT- TUL Liberec, užitný vzor č. 25543 na zařízení pro měření stlačitelnosti objemných textilních struktur. Toto zařízení se skládá

z plastového válce a čelisti, která je zatížena definovanými závažími, aby bylo dosaženo požadovaného tlaku. Stlačitelnost byla vyhodnocena ze změny tloušťky materiálu před a po stlačování. Tloušťka materiálu byla měřena pomocí obrazové analýzy.

V druhé části experimentu byl již přímo zjišťován vliv stlačitelnosti na tepelně-izolační vlastnosti výplňkových materiálů. Experiment simuloval reálné podmínky při nošení zimní bundy a batohu. Nejdříve se změřila tloušťka materiálu a tepelný odpor  $R_{ct}$  a poté byl materiál stlačován tlakem, kterým působí batoh o hmotnosti 10 kg, načež se opět zjistila tloušťka materiálu a tepelný odpor  $R_{ct}$ .

## 1. Vložkové oděvní materiály

Vložkový materiál se vkládá mezi vrchový materiál a podšívku oděvu. Jeho vlastnosti jsou přizpůsobeny účelu, který má plnit. Je-li určen k vyztužení některé části oděvu, nazývá se výztužný vložkový materiál, má-li oděv jen vyplňovat, aby se dosáhlo lepšího tvaru nebo větší hřejivosti, je to výplňkový vložkový materiál.

### 1.1. Výztužný vložkový materiál

Výztužný vložkový materiál se používá ke zlepšení a udržení patřičného vzhledu oděvních výrobků nebo jejich částí. Umožňuje tvarovat oděvní díly a udržuje tvar i po údržbě a používání oděvu. Základní vlastností výztužných vložek je pevnost, přiměřená tuhost, lehkost a splývavost.

Výztužné vložky se spojují s vrchovým materiálem ve švu nebo v ploše (podlepovací výztužné vložky). Podlelepovací výztužné vložky jsou na lícni straně opatřeny nánosem polymeru, který po působení teploty, tlaku a času přilne k rubu vrchového materiálu. Používají se výztužné vložky tkané (plátňové, keprové), pletené (osnovní úplet se vkládaným útkem, které jsou po rubu broušeny, aby získaly na objemnosti) a netkané mechanicky vázané nebo chemicky spojené. [1]

### 1.2. Výplňkový vložkový materiál

Byly vyvinuty různé druhy plošných textilií za účelem zvýšení tepelné izolace. Dříve se používaly pro tento účel odpadové materiály nebo se používaly vlněné a kožešinové vložky. Velmi prospěšným se v druhé polovině 20. století stal velký rozvoj v oblasti netkaných textilií, který umožnil aplikaci vysoce hřejivých a velmi lehkých materiálů. Vlněné a kožešinové vložky jsou používány jen zřídka, kvůli nevyhovující plošné hmotnosti a náročnému zpracování. [3]

Výplňkový vložkový materiál se používá k vyplňování oděvu, nejčastěji do trupové části zimních oděvů, kde se vkládá mezi podšívku a výztužnou vložku. [1]

Výplňkový vložkový materiál může plnit tyto funkce: estetickou funkci, ta zajišťuje modelační funkci v oblasti ramen (ramenní vycpávky). Dále plní funkci tepelně-izolační, neboli zajišťuje vyplnění prostoru mezi vrchovým materiálem a podšívku oděvu, a to v celé ploše nebo pouze v části oděvu (nejčastěji v trupové části zimních oděvů). Vyznačuje se lehkostí, měkkostí a objemností. S vrchovým materiálem se spojují ozdobným prošitím

nebo ve švu. Dále také mohou být spojeny s mikroporézní fólií nebo mohou být na jedné straně opatřeny nánosem termoplastického pojiva. [2] [3]

Výplňkové vložkové materiály se dělí na syntetické a přírodní vložkové materiály. Syntetické výplňkové vložkové materiály se vyrábí technologií netkaných textilií a používají se jako vlákenná rouna z polyesteru nebo polyamidu. Jako přírodní výplňkové vložkové materiály se používá peří, které má výborné tepelně-izolační vlastnosti, ale hůře se čistí a zpracovává. Také přitahuje roztoče. [1]

### **1.2.1. Přírodní výplňkový vložkový materiál**

Jako přírodní výplňkový materiál se používá peří. Peří je osvědčený přírodní výplňkový materiál, který je 100 % ekologický. Má vynikající izolační vlastnosti vzhledem k objemu, hmotnosti a stlačitelnosti.

Používá se výhradně husí nebo kachní peří (kachní peří není natolik vhodné pro použití, protože zapáchá, není tak husté a bohaté, jen 10% tvoří prachové peří). Od peří hrabavé drůbeže se liší konstrukcí pírka, které vytváří tepelně izolované duté komory. Z peří je nejvhodnější použít prachové peří (u husy je to 30 g - cca 20% veškerého peří). Peří se získává pelicháním, sběrem z hnízd (např. kajčí peří) nebo škubáním živé či zabitě drůbeže. [3]

Prachové peří je nejcennější a má nejlepší izolační vlastnosti, vysokou absorpční schopnost a životnost. Toto peří nemá brka, vyrůstá přímo na povrchu těla ptáka a chrání ho před zimou. Nemá tedy žádný stvol, je to v podstatě „vločka“ s velmi jemnými prachovými částicemi (přibližně 0,001 g - 0,002 g na jednu vločku), které mají bohatě rozvětvený povrch – cca 1000 komor u jedné prachové částice. [3] [4]

Každé prachové peří je vlastně tvořeno z krátkého dřívku, ze kterého vychází mnoho menších náhodně orientovaných větví. Každá menší větev nese mnoho fibril, které svírají s hlavní větví úhel 30- 40 °. Průměr fibril je 2-6  $\mu\text{m}$  a jejich délka je 100- 500  $\mu\text{m}$ , přičemž větve mají průměr 8- 20  $\mu\text{m}$  a délku 0,5- 3,5 cm. Samotné fibrily mají desítky pórů a kolínek, které dosahují velikosti až 30  $\mu\text{m}$ . [40]

Prachové peří se posuzuje indexem plnicí schopnosti. To je schopnost peří vyplnit určitý objem při dané konstantní hmotnosti a zatížení. V metrické soustavě je jednotkou  $\text{m}^3/\text{kg}$ , v praxi se však užívá anglosaská jednotka CUIN, což je objem jedné unce peří v kubických palcích ( $\text{cu in}/\text{oz} = \text{in}^3/\text{oz}$ ). Nejlepší prachové kachní peří má index plnicí



schopnosti asi 600 CUIN, husí peří podle podílů prachového peří 600 – 900 CUIN, kajčí peří 800 – 1200 CUIN. [4] [54]

Dále se posuzuje procentním obsahem prachových částic k malým pírkům, např. 85/15, 90/10, 60/40 (100% prachového peří lze dosáhnout jen v laboratorních podmínkách). Nejlepší peří mívá tento údaj zhruba 90/10 (odpovídá přibližně 600 CUIN), běžné směsi 70/30. Drané peří je známo z historie, kdy po večerech ženy otrhávaly peří z brk. V současné době se peří krátí sekáním celých brk. Ve směsi pak jsou ostré hroty. Takto upravené peří se používá v čalounictví, kde je peří dokonale izolováno od potahu. V oděvu by mohlo dojít k propíchnutí vrchového materiálu. Na 1 bundu je potřeba použít peří z asi 10-20 hus. [3] [4]

Struktura prachového peří, především množství a orientace fibril, umožňuje vysokou tloušťku materiálu a je potřeba nízký podíl objemu tohoto peří pro tepelné účely, jelikož fibrily jsou schopny udržet vysoké množství vzduchu, který izoluje. [4] [40]

Další výhodou této struktury je, že prachové peří má velmi dobrou odolnost proti stlačení. Různě velké větve a kolínka jsou dostatečně velká tak, že jsou schopny udržet jednotlivé fibrily na místě a zabránit jim v deformování. [40]

Výhodou přírodních výplňkových materiálů je, že jsou stále o něco lepší v tepelně-izolačních vlastnostech než syntetické materiály (při laboratorních testech bylo zjištěno, že při stejné hmotnosti prachového peří a syntetického materiálu, je prachové peří 2x teplejší), má velmi dobrou tvarovou stálost a velkou vzduchovou kapacitu. Další jeho výhodou je výborná stlačitelnost a nízká hmotnost. [3] [4]

Jeho nevýhodou je, že absorbuje vlhkost a při navlhnutí se výrazně snižuje jeho izolační schopnost. Díky absorbované vodě se jednotlivé fibrily „slepí“ a přiblíží k sobě. To zapříčiní, že peří přestane být tolik rozvětvené a objem vzduchu ve struktuře se zmenší, což ovlivní tepelný odpor vlákna. [4] [40]

Peří také škodí UV záření, podléhá stárnutí a vyžaduje speciální čištění. Další nevýhodou je, že prach z peří způsobuje alergie a bývá napadeno různými roztoči.

Roztoči se vyskytují z více než 90 % v matracích, protože zde mají ideální vlhké prostředí a živí se převážně keratinem, který se nachází v odloupaných šupinkách lidské kůže. Podle posledních studií není peří tolik alergenní, jak se uvádí, protože vznášející se

alergen ve vzduchu se jednoduše vyfoukne čerstvým vzduchem skrz otevřené okno a odvane alergeny pryč ze vzduchových kapslí peří. Také se používá přípravek Acarason. Tento přípravek zamezuje opětovnému množení roztočů. Acarosan obsahuje látku benzyloá, který je zdraví naprosto neškodný a je schválen hlavním hygienikem ČR. [4]

Oděv vyplněný peřím se může prát při 30 - 40° C. Nesmí se ždímat a sušit ho, je vhodné protřepáváním i v sušičce. Chemické čištění je prováděno fluoruhlovodíkem. Jiné chemické prostředky nejsou povoleny, protože zbavují peří tuku, které je potřebné pro pružnost peří a tudíž způsobuje pokles odolnosti vůči stlačení.

### **1.2.2. Syntetický výplňkový vložkový materiál**

Syntetický výplňkový vložkový materiál se vyrábí ve formě rouna. Rouna se vyrábějí chemickým pojením nebo mechanickým vázáním, proplétáním nebo vpichováním. Vyznačují se měkkostí, objemností a malou hmotností. Čím více jsou objemnější, tím více zadržují vzduch, a tím jsou hřejivější. Plošná hmotnost se pohybuje od 50 - 300 g/m<sup>2</sup>.

Materiál pro výrobu roun je polyester, polyamid a polypropylen (nebo jejich směsi). Polypropylen je nejlevnějším syntetickým vláknem. Je vhodný především z hlediska jeho nízké sorpce, smáčivosti a nasákavosti, nízké měrné hmotnosti (0,91 g/cm<sup>3</sup>), která je menší než u vody. Dalšími jeho vlastnostmi je odolnost v oděru a chemikáliím, dobrá pružnost a nepatrná navlhavost.

Funkce, pro kterou se rouno používá jako výplňkový materiál, je tepelná izolace. Ta je zapříčiněna vzduchem, obsaženým ve struktuře textilie. Vzduch je velmi špatným vodičem tepla, tedy téměř dokonalým izolantem. Tepelně-izolační vlastnosti ovlivňuje také tloušťka, délka, zkadeření a pružnost vláken. Použití jemných, krátkých, zkadeřených vláken umožňuje získat v textilií velký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem.

Tepelná izolace je také závislá na vlhkosti rouna. Se zvyšující se vlhkostí klesá tepelný odpor textilie. Voda je dobrým vodičem tepla, a proto zvyšuje tepelnou vodivost materiálu. Je-li v pórech voda, zvětšují se styčné plochy mezi částicemi materiálu, a tím i jeho tepelná vodivost. Kvalitní tepelná izolace je charakterizovaná právě nízkou tepelnou vodivostí. Znamená to tedy, že je nežádoucí, aby tepelně-izolační vložka obsahovala větší

množství vlhkosti vzniklé např. deštěm, sněhem nebo nadměrným pocením, neboť vlhkost značně zvyšuje tepelnou vodivost.

Nejnižší vodivost mají materiály z velmi jemných vláken, neboť mezi jemnými vlákny vzniká větší množství vzduchových prostor. Nejvyšší hodnoty tepelné vodivosti dosahují materiály z hrubých vláken, mezi nimiž je naopak menší množství vzduchových prostor. Rouna z hrubších vláken sice nemají tak nízkou tepelnou vodivost, ale jsou velmi odolné vůči stlačování. Stlačováním se vytěsňuje vzduch, což je výborný izolant. Proto je vždy nutné zajistit optimální složení vlákenné směsi, aby výrobek plnil svoji tepelně-izolační funkci.

Nevýhodou roun je ta, že má-li vrchový nebo podšívkový materiál řidší dostavu, mohou vlákna výplně pronikat skrz materiál na povrch a tam vytvářet žmolky. Zhoršuje se estetická funkce oděvu. Tento negativní jev můžeme zmírnit použitím obloučkovaných vláken pro výrobu rouna.

#### Rouna Melt- blown

Rouna melt-blown se obvykle používají jako průmyslové sorbenty nebo filtry, ale v dnešní době se používají také v oděvnictví jako tepelně-izolační materiál do zimního sportovního ošacení.

Rouna melt- blown jsou tvořena velmi jemnými vlákny, nejsou objemná a přitom mají dobré tepelně-izolační vlastnosti a jsou velmi příjemná na omak.

Melt-blown je technologie výroby netkané textilie vyrobené suchou cestou přímo z polymeru zvláknováním- rozfukováním. Pojem melt-blown by se dalo volně přeložit jako rozfukovaná tavenina. Rouna melt-blown se skládají z vláken volitelných průměrů. Běžná jsou mikrovlákná o průměru  $2 \div 10 \mu\text{m}$ , která se vyznačují velkým měrným povrchem. Procesem lze vyrobit superjemná vlákna ( $0,1 \mu\text{m}$ ) nebo vlákna běžných textilních jemností  $10 \div 15 \mu\text{m}$ . Ty mohou být vyrobeny například z polypropylenu, polyesteru a polyamidu. Jeho plošná hmotnost se pohybuje od 60 do  $200 \text{ g/m}^2$ .

#### **1.2.3. Výrobci syntetických výplňkových materiálů**

Výrobou syntetických výplňkových materiálů se zabývá řada firem. Mezi nejznámější patří firma 3M, DuPont, PrimaLoft®, Trevira® a Condor. Mezi české výrobce

těchto textilních materiálů se řadí firmy, jako je Kolora Semily, Retex Ivančice, Vigona Svitavy, Silon Planá nad Lužnicí a jiné. [3]

### **Firma Condor**

Firma Pavel Šmic - Condor je výrobcem spacáků, oblečení ze syntetických materiálů, typí, podsadových stanů, pláštěnek, polštářů, příkrývek a dalších drobných doplňků. Firma Condor je tuzemská firma. Jako tepelně-izolační materiály používají, kromě běžných textilií, vlastnoručně vyvinutý a patentovaný textilní materiál Duotherm®.

#### Duotherm®

Duotherm® je tepelně-izolační materiál, který se vyznačuje velmi dobrým poměrem hmotnosti a izolační schopnosti a také zvýšenou mechanickou odolností, což se příznivě projeví v prodloužené životnosti.

Tento materiál je vyroben ze směsi dutých vláken a značkového mikrovlákná od firmy Trevira® (SRN). Materiál Duotherm® byl vyvinut pro výrobu kvalitních spacích pytlů.

Mechanickou pevnost materiálu dodává velmi lehká nosná textilie (asi 7 g/m<sup>2</sup>), která je vložena mezi dvě vrstvy tepelně spojených vláken. Obě vrstvy jsou tvořeny z vertikálně orientovaných vláken, která dodávají materiálu velmi vysoký vzduchový objem, a tím i velmi dobré izolační vlastnosti. Vertikální orientace vlákna zlepšuje mechanické vlastnosti, jako je pružnost materiálu, objem při zatížení a odolnost proti slehnutí. [5]

#### Duté vlákno

Dalším materiálem od této firmy je pojmenováno jednoduše jako Duté vlákno. Duté vlákno je univerzální syntetický izolační materiál. Jeho hlavní výhodou je nízká nasákavost, a tím také rychlé vysychání, což spolu s dobrými izolačními schopnostmi předurčuje tyto materiály k univerzálnímu použití, protože ve vlhkých podmínkách ztrácí minimum svých izolačních schopností. Další výhodou je nenáročnost na údržbu. Firma Condor používá jednodutinková, silanizovaná (silanizace je chemický proces, při kterém se na povrch vláken nanášejí polysiloxany obsahující reaktivní vazbu, tato reaktivní vazba se vyznačuje tím, že dále reaguje s vodou a siloxany vznikající na povrchu vláken se stávají nerozpustnými) a termopojivá vlákna. [5] [6]

## **Firma 3M**

Nejvíce používanými vlákny od firmy 3M je materiál Thinsulate LiteLoft a Thinsulate.

### Thinsulate LiteLoft®

3M Thinsulate LiteLoft® je mikrovláknový izolační materiál od firmy 3M. Používá se ve spacích pytlích, na oděvech i doplňcích. Rouno je tvořeno strukturou mikrovláken o tloušťce 15 mikrometrů, ve které se okolo těchto vláken díky jejich povrchovému napětí drží mikrovrstva vzduchu. Povrchová plocha takovéto struktury je asi 20 x větší než povrchová struktura vláken normálních, a proto zachytí více vzduchu při stejném objemu materiálu a vytvoří tak větší vzduchovou izolaci. Má minimální nasákavost (menší než 1 %) a díky tomu také rychle vysychá. Nevyvolává alergii. Rouno je termopojivé a povrchově ošetřené, proto je vhodné pro sportovní oděvy. [5]

### Thinsulate®

Materiál Thinsulate® od firmy 3M je vyroben z mikrovláken o jemnosti 15  $\mu\text{m}$ . Jejich povrchová plocha je 20 x větší než u klasických dutých vláken, to znamená, že je v něm zachyceno více vzduchu při stejném objemu materiálu. [10]

## **Firma PrimaLoft**

Firma PrimaLoft® se zabývá výzkumem a vývojem vláken pro vysoce výkonné izolace a příze, považuje svoje materiály za jedny z nejvýkonnějších tepelně-izolačních materiálů pro outdoorové a extrémní použití, které je možné koupit na současném trhu. Jejich technologie byla původně vyvinuta pro armádu USA jako syntetická náhrada přírodních výplňkových materiálů (peří). Tento materiál neabsorbuje vodu a tepelně-izolační schopnosti se téměř nesnižují ve vlhkém prostředí. [7] [8]

Mezi výrobky této firmy patří materiál PrimaLoft® One, PrimaLoft® Sport, PrimaLoft® SYNERGY, PrimaLoft® INFINITY, PrimaLoft® ECO a PrimaLoft® ECO FOOTWEAR. [8]

### PrimaLoft® One

PrimaLoft® One používá patentovanou strukturu ultra jemných mikrovláken s dutými vlákny větších, kruhových průměrů, čímž je dosaženo velmi specifických

výkonových charakteristik. Vlákna jsou větších a menších průřezů, a díky tomu se uzavře ve vrstvě textilie více vzduchu. Díky dutým vláknům větších průměrů jsou jeho vlastnosti zachovány i po dlouhodobém používání, stlačování, praní a sušení.

### PrimaLoft® Sport

Materiál PrimaLoft® Sport se od předešlého materiálu liší technologií výroby. PrimaLoft® One byl zcela přepracován s použitím nové Convexion Technology, aby získal větší objem a výkon. Bylo dosaženo o 15 % objemnější a teplejší struktury izolačního rouna. Objemnější ultra-jemná vlákna vytvářejí dokonalejší izolaci i při nižší plošné hmotnosti. Materiál PrimaLoft® Sport má velmi podobné vlastnosti jako peří, a to především v tepelné izolaci, lehkosti, měkkosti, stlačitelnosti a prodyšnosti. [7]

### PrimaLoft® SYNERGY

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

### PrimaLoft® ECO

Materiál PrimaLoft® Eco využívá recyklovaného materiálu k vytvoření tepelně efektivního a ekologického izolačního materiálu. K výrobě 1 kg materiálu se přibližně použije 28 recyklovaných PET lahví, což znamená, že na výrobu 1 m materiálu se spotřebují 4 PET lahve a přibližně 6 PET lahví se spotřebuje na výrobu jednoho kusu oděvu. Užité vlastnosti má tento materiál stejné jako předešlé materiály. [8]

### **Climashield**

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

Climashield vyrábí různé typy materiálů pro různé použití. Patří mezi ně XP/Apex (vrchní oděvy), Contur (vrchní oděvy), Combat (armádní oděvy- spací pytle), Prim (vrchové oděvy, spací pytle), HL (vrchní oděvy, spací pytle), CL (spací pytle) a Elite (ložní prádlo a příkrývky). [37]

### XP/Apex

Podle výrobce se materiál XP/Apex nejvíce podobá peří. Má robustní 3D strukturu, která je podobná peří. Je tvořen tepelně spojenými překříženými vlákny s dutinou trojúhelníkového průřezu. Materiál se vyznačuje vysokou tepelně- izolační schopností i za vlhka, nízkou hmotností, dobrou odolností proti stlačení, rychlou vysychavostí a snadnou údržbou. Je určen pro výplň vrchních oděvů, rukavic a obuvi.[36]

### Contur

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

### HL

Tento materiál dosahuje nejvyšší tloušťky materiálu ze všech výrobků firmy Climashield. Název HL je zkratka pro výraz high-loft, což už napovídá, že tento materiál má velkou plošnou hmotnost, dosahuje vysoké tloušťky na jednotku plochy. Používá se pro výrobu vrchních oděvů a spacáků. [37]

## **2. Vlastnosti výplňkových vložkových materiálů**

Sledovanými vlastnostmi výplňkových materiálů je plošná hmotnost, tloušťka a stlačitelnost plošné textilie, jemnost a zkadeření vláken. Pokud má vrchový nebo podšívkový materiál řidší dostavu, mohou vlákna výplně pronikat skrz materiál na povrch a tam vytvářet žmolky. To by znamenalo zhoršení estetické funkce materiálu a v konečném důsledku celého oděvu. K odstranění tohoto nechtěného jevu se používají obloučkovitá vlákna, ty zajišťují nižší pronikání vláken rovna na povrch oděvu. Další důležitou vlastností je tepelná izolace tohoto materiálu. [10]

Pojem stlačitelnost a termo-izolace jsou blíže vysvětleny v kapitole číslo 4 a 5.

## 2.1. Jemnost vláken

Jemnost vláken, přízí a nití je podle normy nazývána délkovou hmotností, definovanou poměrem mezi hmotností a délkou. Jemnost plošných textilií  $T_v$  [tex] se vyjadřuje její hmotností na jednotku plochy, tzv. plošnou měrnou hmotností. Vypočítá se podle vztahu, kde  $m$  je hmotnost [g] a  $l$  je délka materiálu [km]:

$$T_v = \frac{m}{l} [\text{tex}]. \quad (1)$$

Jemnost (též délkovou hmotnost) lze stanovit několika metodami: výpočtem z průměru tloušťky vlákna u vláken kruhového průřezu, výpočtem z plochy průřezu, metodou gravimetrickou (přesné odměření délky vlákna a jeho zvážení), metodou rezonanční (založena na stanovení frekvence, popř. délky vlny kmitající struny, která je závislá na délce kmitající struny) nebo metodou pneumatickou (založena na stanovení odporu vložky vláken ve tvaru ucpávky proti pronikání vzduchu). [11]

## 2.2. Zkadeření vláken

Důležitými charakteristikami staplových vláken, které v souvislosti s délkou vláken nelze zanedbat, jsou obloučkové charakteristiky vlákna. Obloučkování nebo kadeření vláken je technologicky velmi důležité a výrazně ovlivňuje zpracovatelské vlastnosti vláken, a často i finální vlastnosti textilních výrobků, především u netkaných textilií. Určuje např. vlastnosti a soudržnost přástu nebo pavučiny na mykacím stroji a podobně. Ovlivňuje i objemnost textilií.

Obloučkové charakteristiky vlákna jsou:

- počet obloučků na jednotku délky
- stupeň zkadeření (poměr délky zkadeřeného a nataženého vlákna)
- stálost zkadeření (poměr délky zkadeřeného vlákna před a po zatížení)
- zbytkové zkadeření (stupeň zkadeření po tahovém namáhání vlákna).

U vlny jsou obloučky poměrně stálé, zatímco u syntetických vláken je nutné obloučky tepelně fixovat, aby se zvýšila stálost zkadeření.

Obloučkování může být „rovinné“, což znamená, že většina obloučků leží v jedné rovině procházející osou vlákna. Toto kadeření bývá u syntetických vláken „prostorové“.



U vlny je to „spirálovité“ kadeření. Následná rovina dvou obloučku je v tomto případě vzájemně pootočena. [13]

### 2.3. Plošná hmotnost

Jemnost plošných textilií se vyjadřuje její hmotností na jednotku plochy. Plošná hmotnost se stanoví ze vztahu, kde  $\rho_s$  je plošná hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ] a  $m$  je hmotnost odstříhu plošné textilie [kg] o ploše  $S$  [ $\text{m}^2$ ]:

$$\rho_s = \frac{m}{S} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]. \quad (2)$$

Plošná hmotnost se stanovuje gravimetricky: z plošné textilie se odstříhne přesně po niti vzorek o rozměrech 100 x 100 mm. Tyto vzorky jsou poté zváženy a hodnoty statisticky zpracovány podle uvedeného vztahu. Pokud jsou použité váhy elektronické (místo analytických), je možné získat po zadání plochy odstříhu přímo plošnou hmotnost v  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ .

### 2.4. Tuhost v ohybu

Tuhost v ohybu je fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformaci (ohýbání) vnějším zatížením. Toto vnější zatížení je vyvozováno buď osamělou silou, nebo spojitým obtížením vyvolaným plošnou měrnou hmotností. Z definice vyplývá potřeba znát tuhost v ohybu textilie. Zejména v případech, kdy je textilie používána na vyztužení výrobku (např. prsní část přednice pánského saka) nebo naopak, když má mít textilie tuhost co nejmenší a má být splývavá (např. tkanina na dámskou sukni, závěsová bytová textilie). [11]

## 3. Tepelně- izolační vlastnosti

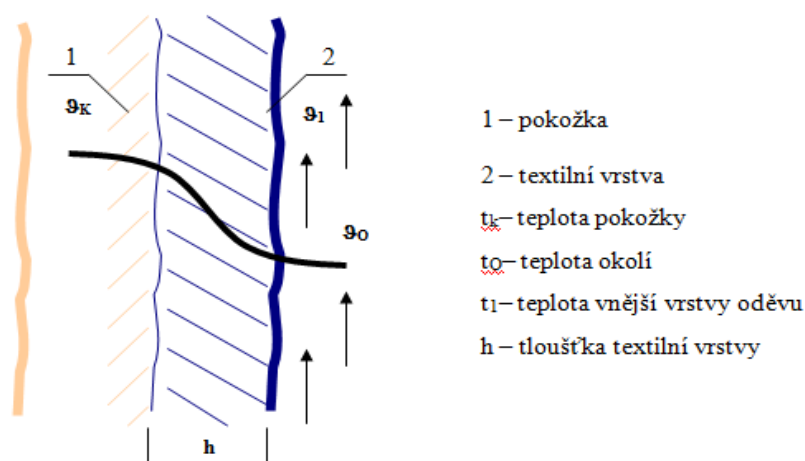
Tepelně- izolační vlastnosti materiálů se posuzují podle jejich schopnosti udržet teplo a ochránit uživatele těchto materiálů před povětrnostními podmínkami. Izolační vrstvu textilie vytvářejí vlákna a především vzduch, který je špatným vodičem tepla. [10] [50]

U textilních materiálů patří tepelně- izolační vlastnosti do skupiny fyziologických vlastností a společně s prodyšností, savostí, nasákavostí, vysýchavostí a propustností vodních par umožňují regulovat mikroklima, které vytváří pocit tepelné pohody. Tepelná pohoda člověka je stav, kdy je člověk v tepelné neutralitě vzhledem k okolnímu prostředí.

Množství produkovaného tepla je dáno metabolismem a intenzitou tělesné práce. Odvod tepla z těla závisí na tepelném odporu oblečení a na fyzikálních parametrech prostředí, což je teplota vzduchu, povrchová teplota stěn a těles okolního prostředí, rychlost proudění a vlhkost vzduchu. [9] [50]

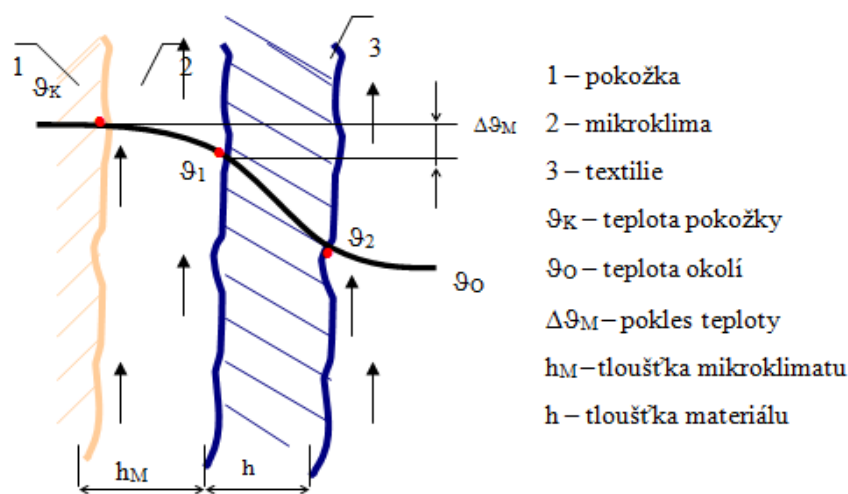
K přenosu tepla mezi živým organismem a okolím může dojít několika způsoby, a to kondukcí (vedením), konvekcí (prouděním), radiací (zářením), evaporací (odpařováním potu) a respirací (dýcháním). Teplo se přenáší z vyšší teploty (teplota pokožky člověka) na nižší (teplota okolí) všemi pěti způsoby současně a podílí se na fyzikální termoregulaci organismu. Celkové množství tepla, jež projde skrz oděvní vrstvu, je součtem všech pěti způsobů vedení tepla. [15] [24]

Kondukcce je přenos tepla vedením, k čemuž dochází např. chodidly, zadní částí těla při sezení či spánku. Vedení tepla je také hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách v oděvních systémech.



Obr. č. 1 Vedení tepla kondukcí [15]

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolím. Teplo je transportováno částicemi tekutin pohybujících se rychlostí v [m/s]. Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva, ve které se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy



Obr. č. 2 Přestup tepla konvekcí [15]

je vyšší při tzv. laminárním proudění tekutiny a klesá v případě proudění turbulentního, kdy trajektorie drah jednotlivých částic nezachovávají svůj původní směr a vzájemně se mísí. Proudění lze pak ještě rozdělit na nucené (např. pomocí ventilátoru) nebo přirozené. [15]

Dalším typem přenosu tepla je radiace, což je přirozené vyzařování energie tělesem, která se šíří elektromagnetickým vlněním rychlostí světla  $c = 300 \text{ mil. m/s}$  prostorem. Množství vyzářené energie tělesa závisí na velikosti jeho plochy a na jeho teplotě. Tok tepla prostupující skrz oděvní vrstvy pomocí infračerveného záření představuje až 25 % celkového tepelného toku. [15] [24]

V teplém prostředí může docházet ke sdílení tepla evaporací neboli odpařováním potu (vlhkosti) z pokožky. Evaporace závisí na fyzické aktivitě organismu, meteorologických podmínkách okolí a vhodnosti oděvu. Odparné teplo je závislé na měrném výparném skupenském teple a na rozdílu parciálních tlaků vodních par dle vzorce:

$$Q = \Delta_i * m_k * S * (p_0 - p_1) \quad (3)$$

Q= odparné teplo [W]

$\Delta_i$ = měrné výparné skupenské teplo

$m_k$ = permeabilita kůže [ $\text{kg/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$ ]

S= plocha povrch těla [ $\text{m}^2$ ]

$p_0$ = parciální tlak na povrchu kůže [Pa]

$p_1$ = parciální tlak na povrchu textilie [Pa]

Posledním způsobem odvodu tepla z těla je respirace. Ta je uskutečňována dýchacími cestami člověka. Velikost odvedeného tepla dýcháním je dána rozdílem množství vodních par vdechovaných a vydechovaných. [24]

### 3.1. Faktory ovlivňující tepelně- izolační vlastnosti

Tepelně- izolační vlastnosti textilií ovlivňuje řada faktorů, mezi které patří zaplnění, stlačitelnost, struktura, způsob zpracování, druh materiálu a podobně. Dále je to jemnost, délka a zkadeření. Použití jemných, krátkých, zkadeřených vláken umožňuje získat v textilií velký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem.

Další vlastností je vlhkost rouna, což znamená, že se zvyšující se vlhkostí klesá tepelný odpor textilie. Vlhkost značně zvyšuje tepelnou vodivost (voda je dobrým vodičem tepla, zvyšuje tepelnou vodivost materiálu). Vlhkost je nežádoucí vlastností oděvních materiálů. [10]

Důležitou vlastností je také tepelná vodivost vláken, což je schopnost materiálů vést teplo. Čím je tepelná vodivost nižší, tím je izolace hodnotnější. Jestliže má textilie velký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem, má tato textilie lepší tepelně-izolační vlastnosti, protože vzduch je špatným vodičem tepla. Při nehybném vzduchu se tepelná vodivost různých tkanin liší jen nepatrně. Ve větru je tepelná vodivost závislá na prodyšnosti, těsnosti obepínání povrchu těla a na klimatizačních podmínkách. Nejnižší vodivost mají materiály z velmi jemných vláken (mezi jemnými vlákny vzniká větší množství vzduchových prostor). Nejvyšších hodnot tepelné vodivosti dosahují materiály z hrubých vláken. [10] [15]

Poslední a důležitou vlastností je odolnost vůči stlačování (pružnost vláken). Stlačováním se vytěsňuje vzduch z materiálu. Rouna z hrubších vláken jsou odolnější vůči stlačování než jemnější vlákna. [10]

### **3.2. Veličiny tepelně-izolačních vlastností**

Tepelně-izolační vlastnosti se stanovují různými metodami. Mezi nejdůležitější tepelně-izolační vlastnosti patří: tepelná vodivost, plošný tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelná kapacita, tepelný tok a tepelná jímavost. Jednotlivé veličiny spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují.

#### **3.2.1. Tepelná vodivost**

Měrná tepelná vodivost je hodnocena součinitelem měrné tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]. Představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky (z jedné strany textilie na druhou) za jednotku času a vytvoří rozdíl teploty 1 K. S rostoucí teplotou, teplotní vodivost klesá. Látky s hodnotami  $\lambda < 0,1$  označujeme jako tepelné izolátory (např. vzduch), naopak jako vodiče tepla udáváme látky mající  $\lambda > 2$ .

Kvalitní tepelnou izolaci charakterizuje nízká tepelná vodivost, která určuje schopnost látky vést teplo a vysoký tepelný odpor, který je přímo úměrný tloušťce a vyjadřuje schopnost látky klást odpor proti průchodu tepla. [15]

Tepelnou vodivost izolačních materiálů ovlivňuje:

- poréznost (se zvýšením poréznosti a počtem pórů se snižuje objemová hmotnost izolace a současně tepelná vodivost),
- vlhkost (se zvyšováním vlhkosti roste tepelná vodivost, a tím se zhoršují tepelně- izolační vlastnosti),
- teplota (se zvyšováním teploty roste tepelná vodivost),
- chemické složení (organické látky jsou dobrými izolanty, velmi příznivých izolačních vlastností dosahujeme v případech, kdy se podaří z nich vytvořit uzavřenou porézní strukturu, která není narušována průnikem vlhkosti ve formě vodní páry),
- směr tepelného toku (je-li tepelný tok orientován kolmo nebo podélně k vláknům či k vrstvené struktuře izolačního materiálu, zjišťujeme rozdílné hodnoty tepelné vodivosti) a
- stlačitelnost (vlivem působení tlaku dochází k mechanické deformaci a v textiliích se mění uspořádání vzduchových pórů). [25]

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

### 3.2.2. Tepelný odpor

Další důležitou veličinou termo- izolačních materiálů je tepelný odpor  $R_{ct}$  [m<sup>2</sup>\*K/W]. Tepelný odpor udává, jaký odpor klade materiál při průchodu tepla. Tepelný odpor je definovaný jako množství tepla prošlého mezi dvěma povrchy materiálu za jednotku plochy při jednotkovém teplotním spádu. Tepelný odpor velmi závisí na vazbě a struktuře textilie, která udává tloušťku a prodyšnost. Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. [14] [15]

Tepelný odpor se vypočítá ze vztahu: [15]

$$R_{ct} = h/\lambda. \quad (4)$$

$R_{ct}$ = tepelný odpor [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$h$ = tloušťka materiálu [mm]

$\lambda$ = součinitel měrné tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

Nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím tepelný odpor, a tím přímo i tepelně- izolační vlastnosti je tloušťka materiálu, a to nezávisle na jeho vlákenném složení a hustotě. [14]

### 3.2.3. Tepelný tok

Tepelný tok  $q$  [ $W/m^2$ ] je definován jako 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:

$$q = b \cdot \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}}. \quad (5)$$

$q$ = tepelný tok [ $W/m^2$ ]

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

$t_1$ = počáteční teplota [ $^{\circ}C$ ]

$t_2$ = konečná teplota [ $^{\circ}C$ ]

$\pi$ = konstanta [-]

$\tau$ = čas [s]

### 3.2.4. Měrná teplotní vodivost

Měrná teplotní vodivost  $a$  [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ] se vypočítá ze vztahu:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (6)$$

$a$ = měrná teplotní vodivost [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

$\lambda$ = součinitel měrné tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

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

$\rho$ = hustota [ $kg/m^3$ ]

Měrná teplotní vodivost vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotní změny. Čím je hodnota vyšší, tím látka rychleji vyrovnává teplotu (při nestacionárním procesu).

### 3.2.5. Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita neboli součinn  $\rho c$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ] se vypočítá ze vztahu:

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

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

$\Delta Q$  = přírůstek tepla [J]

$\Delta t$  = přírůstek teploty [K]

Součinn  $\rho c$  představuje množství tepla, které je potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K. S rostoucí teplotou u všech látek měrná tepelná kapacita zvolna roste.

### 3.2.6. Tepelná jímavost

Tepelná jímavost  $b$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$ ] je parametr, který charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče (z jedné strany textilie na druhou stranu) při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Tepelná jímavost se vypočítá ze vztahu:

$$b = \sqrt{\lambda * \rho * c} \quad (8)$$

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

$\lambda$  = součinnitel měrné tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

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

Úroveň tepelné jímavosti nezávisí na teplotním gradientu mezi textilií a pokožkou a ani na čase měření.

Hodnoty tepelné jímavosti suchých textilií se nacházejí v rozmezí 20 až 300 [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$ ]. Jako chladnější pocít'ujeme hmatem ten materiál, který má větší tepelnou jímavost. Tepelný omak testovaných textilií je silně ovlivněn jejich strukturou a složením. Vlákna a vlákenné polymery s vyšší rovnovážnou vlhkostí poskytují také studenější omak.

Nejteplejšího pocitu může být dosaženo u materiálů a textilií vyrobených z polypropylenu, polyakrylonitrilu, kdežto viskóza, len, bavlna a polyamidová vlákna

vykazují nejchladnější omak. Který pocit je lepší, závisí na nositeli: pro horké letní dny a v teplých oblastech většinou zákazníci požadují chladnější omak oděvů (bavlna), zatímco v severnějších oblastech zeměkoule je většinou preferováno teplejší oblečení na základě směsi PES/ vlna. [15]

### 3.3. Měření tepelně- izolačních vlastností

V této podkapitole jsou uvedeny nejdůležitější zkušební přístroje, které se používají pro měření tepelně- izolačních vlastností textilních materiálů. Mezi tyto zkušební přístroje patří Alambeta Togmetr, C – Therm (TCI), Sweating Guarded Hotplate (SGHP) a Fox Instruments.

#### 3.3.1. Alambeta

Přístroj Alambeta byl vyvinutý profesory Hesem a Doležalem na Technické univerzitě v Liberci. Přístroj měří termo- fyzikální parametry textilií, a to jak stacionární tepelně – izolační vlastnosti (tepelný odpor, tepelná vodivost), tak i vlastnosti dynamické (tepelná jímavost, tepelný tok).

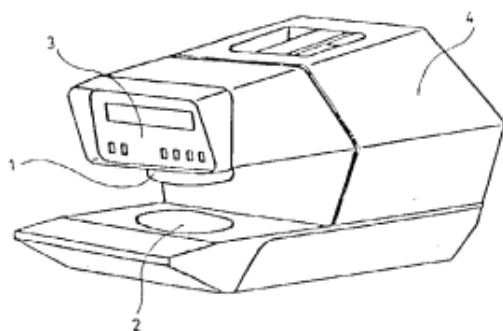
Jedná se o poloautomatický počítačem řízený přístroj, který je zároveň s měřením schopen vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů, a který také obsahuje autodiagnostický program zabraňující chybným operacím přístroje. Celá měřicí procedura, včetně měření tepelné vodivosti  $\lambda$ , tepelného odporu  $R$ , tepelného toku  $q_{\max}$ , tloušťky vzorku a statistické zpracování výsledků. Jako objektivní parametr tepelného omaku textilií byla na základě analýzy vybrána tepelná jímavost  $b$  [ $W*s^{1/2}/m^2*K^{-1}$ ]. Měření probíhá při teplotě 35 °C kontaktní měřicí plochy (textilie je udržovaná na teplotě 22 °C). Tato teplota odpovídá konstantní teplotě lidské pokožky, která si i po kontaktu s textilií, díky průtoku krve, tuto teplotu zachovává.

Přístroj měří následující parametry: tloušťku materiálu  $h$  [mm]; měrnou tepelnou vodivost  $\lambda$  [ $W*m^{-1}K^{-1}$ ], plošný odpor vedení tepla  $R$  [ $W^{-1}K*m^2$ ], tepelný tok  $q$  [ $W/m^2$ ], měrnou teplotní vodivost  $a$  [ $m^2*s^{-1}$ ], součinn  $\rho c$  [ $J*kg^{-1}*K^{-1}$ ] a tepelnou jímavost  $b$  [ $W*s^{1/2}/m^2*K^{-1}$ ].

Princip první verze tohoto přístroje spočívá v aplikaci systému přímého měření tepelného toku připevněného k povrchu kovového bloku s konstantní teplotou, která se liší od teploty vzorku. Po zahájení měření se vyhřívaná hlavice dotkne měřeného vzorku, jehož



povrchová teplota se náhle změní a počítač začne zaznamenávat průběh tepelného toku. [15]



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

Obr. č. 3 Schéma přístroje Alambeta [51]

### 3.3.2. Togmetr

Zkušební přístroj Togmetr byl vyvinutý britskou společností Shirley Technologies Ltd. a je pojmenován podle jednotky TOG (jednotka tepelné odolnosti, přepočít:  $1 \text{ TOG} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ) definované rovněž firmou Shirley jako výhodná vedlejší jednotka tepelného odporu. Tento přístroj zaznamenává tepelný tok procházející plochou textilie na základě gradientu povrchových teplot vzorku a určuje tak tepelné charakteristiky zkoumaného materiálu. [24] [26]

Togmetr je schopen měřit tepelný odpor vzorků dvěma způsoby- metodou dvoudeskovou (pro materiály, které jsou při použití „skryty“ před okolním vzduchem, např. příkrývka a výplňkové materiály) a jednodeskovou (pro materiál, který je z jedné strany přístupný vzduchu, např. venkovní oblečení). Ale je doporučeno pro všechny materiály používat dvoudeskovou metodu. [26]



Obr. č. 4 Přístroj Togmetr [34]

Dvoudeskový přístroj se sestává ze dvou měřících desek kruhového tvaru, kdy vzdálenost obou desek je nastavována pomocí šroubů s ručičkovými ukazateli tloušťky. Dolní deska je vyhřívaná topným tělesem, ovládaným digitálním ovladačem. Horní deska se nevyhřívá. Teplotní spád je detekován teplotními čidly. Celé měřicí zařízení je umístěno

ve speciální skříni s řízením proudu vzduchu. Na tomto přístroji se měří tepelný odpor a tepelná vodivost. [24]

### 3.3.3. Přístroj C – Therm

Přístroj C- Therm (zkráceně TCI) vyrábí firma C- Therm Technologies. Tato firma se zabývá výrobou přístrojů pro měření tepelných vlastností materiálů nedestruktivní metodou. Přístroj C- Therm měří tepelnou vodivost a tepelnou jímavost technických materiálů (jakož to i strukturu a odchylky materiálu), ale pomocí stanovených vzorců je možné na tomto přístroji zjišťovat i jiné tepelně- izolační vlastnosti, jako je tepelná kapacita, tepelný odpor a jiné. Používá se i pro vrstvené materiály.



Obr. č. 5 Přístroj C- Therm [38]

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

Jeho výhodou je, že tato metoda je nedestruktivní a velmi rychlá (0,8- 5 sekund). Další výhodou je velikost vzorku, která není omezena (nedestruktivní metoda). Tento přístroj dosahuje širokého teplotního rozsahu testovaných látek od – 50 °C až do 200 °C. [38]

### 3.3.4. Přístroj Sweating Guarded Hotplate

Přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate (zkráceně SGHP) je přístroj, který provádí měření tepelného odporu a paropropustnosti za ustálených podmínek. Materiálem mohou být tkaniny, nátěry, pěny a kůže, vícevrstvé materiály a podobně.

Přístroj měří tepelný odpor až do 2000  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  s rozlišením 0,001  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Odpařovací rozsah odporu je 0 - 1000  $\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$  s přesností 1  $\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$ . Vzduch v komoře se



Obr. č. 6 Přístroj SGHP [35]

pohybuje rychlostí do 1,2 m/s. Teplotu zkušební desky je možné nastavit na teplotu 20 °C až 50 °C. Velikost desky je 254 mm × 254 mm a materiál může mít tloušťku až 50 mm. Přístroj má automatický přívod a odvod vody. [35]

### 3.3.5. FOX Instruments

Přístroje FOX Instruments jsou přístroje pro měření tepelně- izolačních vlastností. Fungují na principu jednorozměrného Fourierova zákona:

$$q = -\lambda \left( \frac{dt}{dx} \right) \quad (9)$$

kde  $q$  je teplotní tok ( $W/m^2$ ) tekoucí přes vzorek,  $\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $dT/dx$  je teplotní gradient na izotermním plochém povrchu vzorku.

Přístroj se sestává z komory a základny s klávesnicí a displejem. Horní deska je pevná a spodní se může pohybovat směrem nahoru a dolů čtyřmi nezávislými krokovými motory. Každá deska je udržována na jiné teplotě, a pomocí toho se zjišťuje tepelný tok mezi deskami. Čtveřice přesných digitálních senzorů tloušťky monitoruje polohu všech čtyř rohů spodní desky. Pokaždé, kdy je do komory vložen vzorek a sestava je sevřena, je určena průměrná tloušťka vzorku.

Termometry s vysokým prostupem (převodníky) jsou uchyceny k povrchům obou desek. Jsou tvořené stovkami termočlánků, takže poskytují vysokou citlivost převodníků a integraci signálů. Celková tloušťka převodníků je kolem 1 mm.

Velikost vzorku je 305 mm x 305 mm a tloušťka materiálu by měla být maximálně 51 mm. Jeho nevýhodou je poměrně dlouhá doba měření. [39]

## 4. Stlačitelnost

Výsledné chování vlákenného útvaru je dáno morfologií jeho vlákenné struktury. Morfologicky orientovaný výzkum se přitom vždy nějak dotýká dvou problémů: orientace a tvaru vláken v útvaru. Stlačení (deformace) může být jednodimenzionální nebo dvojdimenzionální (deformace ve více směrech). Jednodimenzionální deformace vlákenných svazků je složitý mechanický proces, což je vztah mezi napjatostí a deformací při různých formách tlakového namáhání. Za určitých předpokladů je však možné zjednodušeně chápat vlákenný svazek jako systém, ve kterém je vynaložena deformační

energie závislá jen na výsledné deformaci. Působením tlaku  $p$  na plochu materiálu dochází ke stlačení vláknenného materiálu. Rozměr materiálu se nemění, avšak změní se tloušťka materiálu a jeho zaplnění. Zaplnění charakterizuje hustotu vláken ve vláknenném útvaru a může být definováno jako podíl objemu vláken a pojiva z textilního útvaru k celkovému objemu tohoto útvaru. [17] [18]

Proces stlačování vláknenné vrstvy je složitý, a to proto, že je provázený změnou mechanismu deformace a vznikem vedlejších jevů nesouvisejících s pružností (např. stlačení vláken v bodech kontaktu, napnutí vláken).

Proces stlačování ovlivňují hlavně tyto faktory:

- vlastnosti použitých vláken,
- vlastnosti použitého pojiva u netkaných textilií,
- zaplnění textilními vlákny,
- délky volných úseků vláken mezi vaznými místy,
- orientace vláken v netkané textilii,
- druh a distribuce vazných míst. [17]

#### **4.1. Vztah mezi stlačením a zaplněním textilního útvaru**

Ve vláknenném útvaru se vlákna navzájem dotýkají. Mohou být uspořádána s převážnou orientací do jednoho směru nebo mohou být neuspořádaná, tj. jsou uložena v různých směrech. Jejich styk je nazýván kontaktem. Místo na povrchu vlákna, jímž se dotýká jiného vlákna, bývá označován kontaktním místem. Jeden kontakt je tedy tvořen dvěma kontaktními místy. Prostřednictvím kontaktů se z vlákna na vlákno přenášejí síly, které vznikají při deformování (např. stlačování) vláknenného útvaru. Hustota kontaktů je dána typem a vlastnostmi vláken a rovněž hustotou (objemovou hmotností) vláknenného útvaru. Tyto kontakty mají význam pro zjištění potřebné pružnosti a odolnosti textilie vůči stlačování. Intuitivně je zřejmé, že čím vyšší je zaplnění vláknenného útvaru, tím větší je i počet kontaktů v něm. Součinitel zaplnění se vypočítá z následujícího vztahu, kde  $\mu$  představuje zaplnění [1],  $V$  je objem vláken [ $m^3$ ] a  $V_c$  je celkový objem vláknenného útvaru [ $m^3$ ]: [18]

$$\mu = \frac{V}{V_c} [1]. \tag{10}$$

## 4.2. Typy deformace

Při deformaci materiálu může dojít ke třem typům deformace, a to k deformaci elastické, plastické a viskoelastické.

### Elastická deformace

Elastická deformace je časově nezávislá a dokonale vratná. Vložená energie se vrací zpět ve formě práce. U vysoce krystalických polymerů je velmi malá a uplatňuje se především při velmi krátkých časech měření a u velmi malých deformací. U textilních vláken se prakticky nevyskytuje.

### Plastická deformace

Plastická deformace je časově závislá a dokonale nevratná. Při této deformaci se v látce účinkem zatížení vyvolá tlak, který má za následek trvalou změnu rozměrů tělesa. Jde přitom o lokální přemístění molekul nebo jejich částí. Vynaložená energie se přeměňuje v teplo.

### Viskoelastická deformace

Viskoelastická deformace v průběhu doby zatížení roste a po odlehčení postupně klesá. Je závislá na čase. Patří mezi dokonale vratné deformace. Doba návratu do původního, nedeformovaného stavu může být u některých materiálů velmi dlouhá. [19]

## 4.3. Stlačitelnost a tloušťka

Pojem stlačitelnost také velmi souvisí s tloušťkou materiálu. Tloušťku plošné textilie lze definovat jako kolmou vzdálenost mezi lícem a rubem textilie, neboli vzdálenost mezi přítlačnou čelistí a podkladovou deskou měřícího zařízení (tloušťkoměru). Lze jí měřit bez přítlaku nebo ve stlačení mezi čelistmi. Protože je materiál snadno deformovatelný (stlačitelný), je měření tloušťky textilie předepsáno normou za přesně stanoveného přítlaku čelistí. K měření tloušťky textilií je používáno tloušťkoměrů různých konstrukcí. [11] [12]

Plošná textilie je položena na základní desce a je přítlačována kruhovou čelistí definovaného rozměru, která vytváří pomocí závaží přítlak na textilii. Ten je nutný proto, že povrchový reliéf plošné textilie (odstávající vlákna) velmi stěžuje možnost měřit tloušťku této vrstvy bezdotykovým způsobem. [12]

Jak bylo výše uvedeno, důležitým parametrem měření tloušťky textilie je přítlak mezi čelistmi. Je dán plochou zatěžující čelisti a silou, kterou čelist na textiliu působí. Je definován jako měrný tlak  $p_m$ , kde  $F$  je zatěžující síla [N] a  $S$  je plocha čelisti [m<sup>2</sup>]:

$$p_m = \frac{F}{S} \text{ [Pa]}. \quad (11)$$

Tento přítlak je vyrovnáván vnitřním odporem v textilii. Jestliže by se měřila tloušťka textilie ihned po vložení přítlaku, dospělo by se k jiným výsledkům, než kdyby byla tloušťka měřena až po určitém čase. Čas, při kterém dojde k ustálení deformace textilie, bývá v normách stanoven na 30 s. [12]

Je patrné, že když se použijí různé přítlaky, změní se různé tloušťky textilie. Toto popisuje Sommer tzv. stlačitelností  $S$  [mm\*log Pa<sup>-1</sup>], kde  $h_1$  je tloušťka [m] při tlaku  $p_1$  [Pa] a  $h_2$  je tloušťka [m] při tlaku  $p_2$  [Pa]:

$$S = \frac{h_1 - h_2}{\log p_2 - \log p_1} \text{ [mm*log Pa}^{-1}\text{]}. \quad (12)$$

Je nutné si zároveň uvědomit, že různé normy mohou předepisovat různý přítlak pro různé typy textilií (např. pro textilie s vlasovým povrchem – na plyše budou zřejmě předepsány jiné přítlaky než pro hustě dostavené hladké textilie). [11]

#### 4.4. Měření tloušťky a stlačitelnosti

V této podkapitole jsou popsány nejdůležitější přístroje pro měření tloušťky a stlačitelnosti, mezi které patří Tloušťkoměr, Tiratest, Labtest, Instron a KES (Kawabata Evaluation System).

##### 4.4.1. Tloušťkoměr

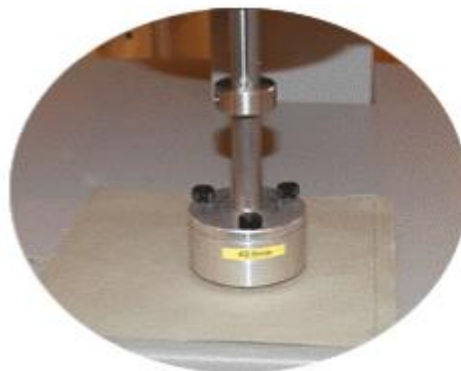
Mezi nejdůležitější přístroje měřící tloušťku materiálu patří přístroj tloušťkoměr, což je měřicí přístroj pro měření tloušťky podle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie- zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků. Měření tloušťky patří mezi nedestruktivní testování.



Obr. č. 7 Tloušťkoměr SDL M034A [23]

Zjišťování tloušťky je stanoveno jako měření kolmé vzdálenosti mezi základní deskou, na které je vzorek umístěn, a paralelním kruhovým přitlačným kotoučem, který vyvíjí specifikovaný přitlak na zkoušenou plochu textilie. Přístroj je vybaven přitlačnou hlavicí o velikosti plochy 20 cm<sup>2</sup> nebo 100 cm<sup>2</sup>. Je možno aplikovat sílu 0,1 N až 200 N. Standardně se tloušťka měří při přitlaku 1 kPa. Na tloušťkoměru SDL M034A lze měřit textilie o tloušťce 0,01 mm až 50,0 mm. Velikost vzorku není omezena, ale rozměr vzorku musí být větší, než je rozměr přitlačné hlavičky.

Důležitou součástí přístrojů jsou snímače tlaku (síly) a vzdálenosti (tloušťky), které ovlivňují přesnost měřicího přístroje. Používají se elektronické snímače. Průběh měření a zpracování výsledků je řízeno pomocí počítačového softwaru. Výsledky lze vytisknout pomocí tiskárny. [23]



Obr. č. 8 Detail přitlačné patky [23]

#### 4.4.2. Labtest

Na přístroji Labtest je možné provádět měření v tahu, tlaku, ohybu, v cyklickém a statickém namáhání. Přístroj pracuje se zatížením, které se pohybuje od 0 kN do 500 kN a jeho rozsah měřicí síly je od 0,4 % do 100 % rozsahu snímače. [28]

Přístroj Labtest se skládá z pevného podstavce (základny) vybaveného vodováhou, z důvodu přesného horizontálního ustavení, a z posuvného příčnicku. Posuvný příčník je pohyblivě upevněn mezi dvěma vodícími sloupy, které zajišťují přesný pohyb a odečet polohy pístu ve vertikálním směru. Přístroj je možno používat pro namáhání tahem, tlakem a ohybem při použití odpovídajících čelistí nebo hlav. [20]



Obr. č. 9 Přístroj Labtest 5.250SP1 [28]

#### 4.4.3. Instron

Přístroj Instron je vyráběn firmou Tira Maschinenbau GmbH Rauenstein Thuringen. Přístroj je určen k zjišťování mechanických vlastností délkových a plošných textilií. Lze realizovat jednoosé namáhání tlakem, tahem a ohybem.



Přístroj má analogový výstup signálu pro sílu a deformace, číslicový řídicí systém pohonu příčnicku s možností měnit rychlost, display dat (až tři kanály mohou zobrazovat měřené hodnoty v reálném čase), volitelný systém jednotek (SI, metrické, dle US zvyklostí, záleží na výběru uživatele), měřicí kanály protažení a síly, zpětný rychloposuv 600 mm/ min se zabudovanou zpomalovací funkcí pro přesné polohování příčnicku, rozsah rychlosti příčnicku je 0,5 mm/ min až 500 mm/ min, maximální dráha příčnicku je 1067 mm a šířka pracovního prostoru je 250 mm. Přístroj dosahuje maximálního zatížení 5kN. Na stroji je možné měnit měřicí hlavy různých rozměrů a tvarů dle potřeby. Na měření stlačitelnosti textilií se používají speciální kruhové upínací čelisti o průměru 10 cm. [16]



Obr. č. 10 Přístroj Instron 4411 [16]

#### 4.4.4. Tiratest

Je univerzální zkušební přístroj s elektromagnetickým pohonem od firmy Tira GmbH. Přístroj může být použit pro měření mechanických vlastností výrobků z kovu, plastu, textilu, stavebního materiálu, dřeva, keramiky a podobně. Přístroj se ovládá pomocí počítačového programu. Měří se na něm tuhost a pevnost v tahu, stlačitelnost a cyklické namáhání. Různé typy strojů poskytují zatížení až do 3000 kN. [27]



Obr. č. 11 Přístroj Tiratest [27]

#### 4.4.5. KES

Systém KES (Kawabata Evaluation System) vyvinutý prof. Kawabatou a dodávaný japonskou firmou KATO tvoří sada čtyř přístrojů, které měří 15 charakteristik plošných textilií v rozsahu běžného namáhání oděvních textilií při nošení. Tento postup se nazývá FOM (Fabric Objective Measurement). Toto objektivní měření mechanických vlastností materiálů slouží k získání soustavy mechanických charakteristik. Výsledky se zaznamenávají do tzv. Snake diagramů.



Tento systém je v praxi používán zejména pro objektivní hodnocení omaku tkanin při volbě materiálů pro vrchní konfekci. Systém také slouží k optimalizaci finálních úprav. [15]

#### 4.4.6. Obrazová analýza

V této kapitole je uvedena obrazová analýza z důvodu toho, že byla použita v experimentu k měření tloušťky materiálu. Obrazová analýza představuje nástroj, pomocí kterého je možné převést informace obsažené v obraze do numerické formy. Jedná se o přeměnu obrazových vjemů do číselné podoby. [42]

Systém pro počítačovou analýzu obrazu je složen z digitalizačního zařízení a počítače, který je vybaven speciálním softwarem (např. aplikace ACC od firmy SoFo Brno nebo LUCIA od Laboratory Imaging Praha). Klíčovým krokem v celém postupu je získání kvalitního digitalizovaného obrazu předlohy (např. mikroskopického preparátu). K digitalizaci lze užít skener nebo mikroskop, který je propojen s digitální kamerou. Poté je obraz v nekomprimované podobě uložen v počítači a s pomocí výše zmíněných aplikací dále upravován a hodnocen. [43]

Snímání obrazu je převod optické veličiny na elektrický signál, který je spojitý v čase i úrovni. Vlastní proces snímání můžeme též chápat jako radiometrické měření. Na výsledný sejmutý obraz má vliv mnoho faktorů, jako je ozáření snímaného objektu a jeho vlastností. Pokud ale předem známe některé veličiny, jakými jsou např. právě ozáření a odrazivost povrchu, mohou nám pomoci při částečné rekonstrukci 3D obrazu, který získáme z 2D obrazu při snímání. Pro rekonstrukci 3D obrazu se ale většinou používají jiné metody, které jsou založeny na vyšším počtu snímacích zařízení.

Vstupní informací při snímání nemusí být vždy jen jas z kamery či scanneru, ale mohou to být i jiné veličiny, jako jsou intenzita rentgenového záření, ultrazvuk či tepelné záření. [44]

Druhým krokem při získávání obrazu vhodného pro další zpracování v počítačích je převod spojitého analogového signálu na signál digitální, tzv. digitalizace.

Digitální obraz je ekvivalentem spojitě obrazové funkce  $f(i, j)$ , kde  $i$  a  $j$  jsou souřadnice v prostoru. Je získán pomocí vzorkování obrazu do matice  $M \times N$  bodů a kvantováním do  $K$  úrovní.

Vzorkování se řídí obecně známou Shanonovou větou, ze které plyne, že nejmenší detail v digitálním obraze musí být minimálně dvojnásobkem vzorkovacího intervalu. Volba vhodného rozlišení obrazu je jedním ze zásadních kroků digitalizace. Při nízkém rozlišení budeme ztrácet informaci o detailech v obraze, a naopak při velkém rozlišení nám bude stoupat výpočetní náročnost při dalším zpracování obrazu. Velikost obrazu se většinou udává v obrazových bodech- pixlech (picture element). Rozlišení obrazu je uváděno v jednotkách body/ palce, neboli DPI (dots in inch). U kvantování úrovní jasu volíme jejich počet tak, aby nedocházelo k falešným obrysům, jež začínají být člověku patrné, pokud počet úrovní klesne pod 50.

Důležitou součástí digitalizace je volba vzorkovací mřížky. Nejčastěji používanými mřížkami jsou mřížky čtvercové a hexagonální. Čtvercová mřížka vychází z konstrukce většiny snímaných prvků a je velmi snadno realizovatelná, ale má i své nevýhody týkající se především měření vzdáleností a spojitosti objektů.

Další důležitou vlastností je vzdálenost dvou obrazových bodů udanými souřadnicemi  $(i, j)$  a  $(x, y)$ . Obecně je vzdálenost dvou bodů chápána jako Eukleidovská vzdálenost  $D_e$ , definovaná jako: [44]

$$D_e = \sqrt{(x - i)^2 + (y - j)^2} \quad (13)$$

Lucia G rozeznává dva základní typy obrazů- binární a barevný. Každý šedý obraz je odvozený. Binární obrazy mají dvě možné hodnoty, 0 pro pozadí a 255 pro objekty a struktury. Tvoří se funkcemi jako prahování (threshold) a často se o nich mluví jako o segmentových obrazech. To zejména v případech, kdy se zdůrazňuje jejich vazba na původní barevný obraz, ze kterého vznikly segmentací. Používají se pro měření tvaru a velikosti. Barevné obrazy se skládají ze tří složek RGB, které představují intenzitu červené, zelené a modré barvy. Hodnoty pixelů pro každou složku jsou od 0 do 255. Pro systém Lucia G je to nejpřirozenější typ obrazu, převedený digitalizační kartou. Šedé obrazy jsou obrazy odvozené. Hodnoty pixelů se mění od 0 do 255, ale jsou v každém pixelu identické pro všechny tři složky. Šedé obrazy nejsou vlastní systému Lucia G, ale mohou se vytvářet několika transformacemi např. vytažením složek z RGB reprezentace. Protože šedé obrazy jsou speciálním případem barevných obrazů, odvolává se na ně jako na obrazy barevné. [45]

Diskriminace obraz výrazně zjednodušuje, neboť jejím výsledkem je binární obraz, který zná jen dvě barevné hodnoty - černou a bílou. Nastavení intervalů šedi, které odpovídají černé, je cílem prahování. Většinou se využívá 256 odstínů, tedy 8 bitů hloubky. V takto upraveném obrazu je možné používat binární logické operace - průnik, součet a rozdíl. Postupy, kterými se dále upravují binární obrazy, spadají do binární morfologie a používají se v nich filtry typu eroze, způsobující redukci světlých objektů v okolí hlavního objektu nebo dilataci, která naopak způsobuje růst objektů a zaplňování děr. Jejich spojením v pořadí eroze a dilatace dochází k otevření obrazu, k zavření použijeme-li nejprve dilataci a potom erozi. [42] [44]

Jedním z nejtěžších kroků zpracovávání obrazu je segmentace obrazu. Jedná se o analýzu obrazu vedoucího k nalezení objektů v obraze. Za objekty se zde považují části obrazu, které jsou bodem zájmu v dalším průběhu zpracování. Cílem segmentace tedy je rozdělení obrazu do částí odpovídající předmětům či oblastem reálného světa. Výsledkem segmentace by měl být soubor oblastí, které odpovídají objektům ve vstupním obraze. Jedná se pak o tzv. kompletní segmentaci. Pokud ale oblasti neodpovídají přesně objektům, tak tuto segmentaci nazýváme částečnou. Kompletní segmentace obecně využívá vyšší úroveň zpracování, která je založena na znalostech řešeného problému. Částečná segmentace je založena na principu homogenity obrazových vlastností (např. jas, barva) uvnitř segmentu. [44]

V takto upraveném obrazu je již možné provádět měření velikosti, plochy, orientace, obvodu nebo počtu daných objektů, protože jsou přesně definovány jejich hranice. Postupy obrazové analýzy nabízí řada programů, od jednodušších, které umožňují úpravu obrazů a jejich barvení (Adobe Photoshop), až po velmi složité (Image Pro Plus, systém Lucia G, NS Elements), které umožňují řadu měření nebo jsou speciálně upravené pro získání určitých informací z obrazu. [42]

#### **4.4.7. Tlaková podložka X- Senzor**

Taková podložka X-Senzor je v této kapitole také uvedena z důvodu, že byla použita pro sestavení experimentu Vliv stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových vložkových materiálů, který je popsán v kapitole č. 6.3. Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti. Zařízení X- Sensor tvoří speciální tenká podložka a vyhodnocovací jednotka připojená k počítači. Na výrobek (matrace,

autosedačka) je uložena podložka a po spuštění řídicího programu je možné snímat míru rozložení tlaku.

Výsledkem vyhodnocení jsou tlakové mapy s rozlišením až 7 200 bodů znázorňující hodnotu kontaktních tlaků v jednotlivých částech měřicího zařízení a schopnost matrace či jiného výrobku rozložit tlak. Pro statistické vyhodnocení jsou k dispozici histogramy a trendové křivky. [52]



Obr. č. 12 Tlaková podložka X- Sensor [47]

Zařízení X- Sensor pracuje na kapacitním principu. Kompresní namáhání způsobuje mezi elektrodami tvořícími měřicí plošku změnu dielektrické konstanty, která se dle příslušné kalibrace převede na hodnotu tlaku. Elektrody jsou realizovány napříč vrstev, v nichž jsou umístěny ploché vodiče ze stříbra. Nevodivá separace elektrod je zajištěna pomocí vloženého elastomeru. Zařízení má vysokou splývavost a zanedbatelnou tuhost. [53]

#### **4.5. Problematika stlačitelnosti publikovaná ve vědeckých studiích**

V roce 1997 se touto problematikou zabývali T. Komori a K. Makishima, zjišťovali, nakolik bude stlačitelnost ovlivněna počtem kontaktů ve zkoumaném materiálu při stlačování. Teorii založili na následujících předpokladech:

- vlákna uvažovali jako válce o stejném průměru a délce,
- rozložení vláken v útvaru je náhodné,
- zanedbali konce vláken.

Pomocí těchto předpokladů a výsledků měření došli k závěru, že pravděpodobná četnost kontaktů během stlačování závisí na směru daného vlákna, přičemž můžeme zanedbat jeho délku, tvar a orientaci v prostoru. [55]

Další teorii popsali T. Komori a M. Itoh v článku Theory of the general deformation of fiber assemblies, kde charakterizovali chování vlákenné soustavy při deformaci, založené na principu deformační energie. Soustavu pojali jako sílu skládající se

z velkého počtu vláken, přičemž uvažovali, že každé vlákno je spojeno dvěma dotykovými body a chování jednotlivých vláken se odráží v celkové odezvě soustavy. Základní schéma bylo poté formulováno tak, aby bylo využitelné pro ostatní druhy vlákenných soustav, jako je délková, netkaná a plošná textilie. [56]

Poté spolupracovali s A. Takaku, se kterým navázali na své předchozí výsledky práce. Za model jednotky ohybu vláken předpokládali nepřímý tedy křivočarý nosník, a podle dříve stanoveného mikromechanického základu uvažovali stlačitelnost vlákenného shluku v útvaru. Pomocí strukturálních veličin (elasticita vláken, stupeň zkadeření, hustota samotného shluku vláken) je možné lépe vyjádřit závislost deformace vláken na napětí. Díky zohlednění těchto parametrů dochází ke snížení numerické chyby, kterou obsahovaly dřívější teorie stlačitelnosti. [57]

N. Pan a G. A. Carnaby se také podíleli na výzkumu chování vláken během deformace. Oblast svého výzkumu zaměřili nejen na stlačování vlákenného materiálu, ale také na jeho hysterezi během procesu zatěžování a následujícího odlehčení. Body ve vlákaném útvaru tvořící kontakt rozdělili do dvou skupin dle kritického skluzového úhlu, přičemž podstatou bylo jejich proklouznutí či neproklouznutí. Ve výsledcích své práce porovnali vypočítané křivky získané dle odvozených vztahů a skutečné křivky získané měřením. [20]

V roce 2008 zkoumali G. Jing, N. Pan a W. Yu axiální ohyb jednotlivých fibril prachového peří na zařízení, kde se testovala deformace vlákna ke své ose. Obě strany vlákna byly zafixovány v čelistech a pohybem jedné čelisti směrem k druhé, docházelo k axiálnímu ohýbání vlákna. Rychlost čelisti byla 0,1 mm/s. Byl zjišťován vztah mezi kritickou silou působící na vlákno a ohybem vlákna ke své ose. Axiální ohyb byl vypočten z času a rychlosti namáhání. Výsledky testování prachového peří byly srovnány s vlněnými vlákny, tuhost peří byla srovnatelná s vlnou, ale modul ohybu byl mnohem nižší než u vlny. To znamená, že peří je možné deformovat při mnohem menší působící síle a zároveň je schopné mnohem lepší relaxace po deformaci než vlna, což by mohlo být zapříčiněno kompaktnější krystalickou strukturou makromolekul peří. Dále byla měřena stlačitelnost peří, kde bylo zjištěno, že peří má větší stlačitelnost než vlna. Struktura peří má velký počet různě orientovaných větví a fibril, což činí peří velmi objemné. To zajišťuje mnoho prostoru pro stlačitelnost jednotlivých vloček peří. [59]

V článku Experimentální výzkum stlačitelnosti vícevrstvých tkaných sendvičových textilií v zatížení zjistil Hualin Fan, Wei Yang a Qing Zhou, že maximální zatížení vícevrstvé textilie je srovnatelné s jednovrstvou textilií, která má značně vyšší tloušťku. A také zjistili, že vícevrstvé textilie dosahují větší deformace při stejné stlačitelnosti, což znamená, že při stejném přítlaku vícevrstvé textilie mají horší odolnost proti stlačení. [29]

V článku Compression properties of polyester needlepunched fabric byl zkoumán vliv plošné hmotnosti, orientace vláken ve vlákenném útvaru, stlačitelnost a relaxace netkané polyesterové textilie, která je zpevňována vpichováním. Testovány byly netkané textilie o různé plošné hmotnosti, které měli konstantní počet 300 vpichů jehly na plochu 1 cm<sup>2</sup>. Stlačitelnost byla měřena při tlaku 1,55 kPa až 51,89 kPa. U tohoto experimentu došlo k závěru, že tloušťka a hustota roste se zvýšením plošné hmotnosti. S rostoucí plošnou hmotností roste počet vláken na metr čtvereční, což má za následek zvýšení tloušťky tkaniny, bez ohledu na tvar průřezu vláken. Procento stlačitelnosti se snižuje s nárůstem hmotnosti tkaniny. S nárůstem hmotnosti textilie se zvyšuje množství vláken na jednotku plochy, a tím pádem větší počet vláken sdílí zatížení (tlak). [32]

Stlačitelností se dále zabývali Nell Pearce a John Summerscales, ti sledovali sílu potřebnou ke stlačení tkaných výztuží ze skleněných vláken. Měření bylo provedeno na zkušebním přístroji Instron 1175. Vzorky byly umístěny vodorovně mezi ocelové desky kruhového profilu o průměru 150 mm se zatížením 100 kN a byly měřeny v jedné, dvou a třech vrstvách. Materiál měl větší odolnost proti stlačení při vyšší rychlosti. Vzorky byly testovány za tlaku 100, 200 nebo 300 kPa. Jakmile bylo dosaženo maximálního zatížení, stroj byl zastaven na 5 min a hodnoty byly průběžně zaznamenány. Měření bylo provedeno pětkrát a bylo zaznamenáno 5 cyklů relaxace. Celková tloušťka vzorků v každém testu byla měřena před provedením a po dokončení relaxačního cyklu pomocí posuvného měřítka. Jednovrstvé materiály jsou stlačeny z obou stran leštěnými ocelovými deskami. Ve vrstvě se dotýkají textilie s textilií, které vzájemně na sebe působí a vznikají mezi nimi interakce. Je pravděpodobné, že tření mezi látkou a ocelí je nižší než mezi dvěma dotýkajícími se vrstvami textilie, kde dva textilní povrchy mohou působit na konce vláken, které vyčnívají z textilie v přilehlé vrstvě a mohou být omezeny soudržné síly mezi vlákny na povrchu textilie. Textilie ve vrstvě také mohou mít různou tloušťku, protože se tam mohou vyskytovat různé nestejnomyšernosti. Po dokončení každého z testů bylo zjištěno, že plocha vlákenného materiálu se značně změnila. Z toho plyne, že veškerá změna, která

nastane během stlačení, má za následek změnu vnitřního uspořádání a rotaci jednotlivých vláken. Energie mohou být uloženy v systému jako napětí. Dále bylo zjištěno, že:

- ke stlačování dochází bez prostorového rozšiřování,
  - existuje lineární zvýšení doby do dosažení cílového tlaku s každou další vrstvou tkaniny,
  - interakce mezi textiliemi poskytují větší tlak než interakce mezi textilií a měřicí hlavicí,
  - stupeň relaxace je lineárně úměrný ke zvýšení objemového podílu vláken.
- [22]

V České republice se touto problematikou zabývali O. Jirsák, K. Zelová a podobně. Například v článku Modelování kompresních vlastností vysoce objemných materiálů se R. Bharanitharan, J. Privatská a O. Jirsák zabývali modelem, který by mohl studovat stlačitelnost a pružné zotavení vysoce objemných materiálů (tzv. highloft materiálů). Highloft materiály jsou definovány jako netkané textilie, které se vyznačují velkou tloušťkou a plošnou hmotností. Tepelná izolace highloft materiálu závisí na tloušťce textilie, proto je nutné, aby si materiály zachovaly svojí objemnost i po opakovaném zatížení. Experiment byl proveden tak, že materiál byl stlačen na 50 % původní tloušťky v čase  $t_1$  a byl zatížen do doby  $t_2$ . Bylo zjištěno, že deformace materiálu se v průběhu času postupně ustaluje. Prvních několik desítek sekund tloušťka materiálu klesá velmi rychle, dochází i okamžité deformaci, která vzniká ihned po zatížení, a postupně se tato deformace zpomaluje. V čase  $t_2$  byl materiál uvolněn a ponechán k zotavení. Materiál se rychle snaží vrátit na svojí původní tloušťku, což představuje zotavení materiálu. Rozdíl mezi původní a novou tloušťkou se nazývá plastická deformace materiálu. [21]

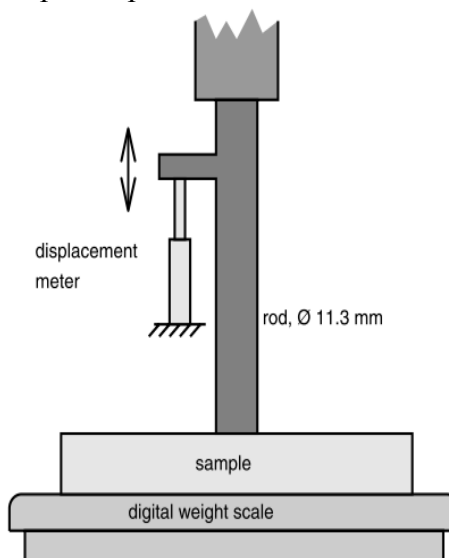
## 5. Vliv stlačitelnosti na tepelně izolační vlastnosti

Bylo zjištěno, že tato problematika doposud nebyla příliš zkoumána. Někteří autoři zkoumali na různých materiálech stlačitelnost a i tepelně- izolační materiály, ale nebyly doposud dány do vzájemné souvislosti.

Tepelně- izolační vlastnosti podle Holcombe a Hoschke nejvíce ovlivňují typ vlákna. Konstrukční parametry textilie, jako je tloušťka, hrají menší roli, ale i tak jsou významné. Yamada zjistil, že tepelná vodivost se zvyšuje s objemovým podílem vláken. Fujimoto a Niwa zhodnotili anizotropní tepelnou vodivost a přenos tepla sáláním na

vlněných a polypropylenových vláknech. Ukázalo se, že přenos tepla je závislý na průměru vláken a je méně účinný u jemnějších vláken. Reakce na kolmo působící síly je stlačitelnost. Došli k závěru, že s nárůstem plošné hmotnosti se stlačitelnost zvyšuje a snižuje se zotavení. [31]

Dále tuto problematiku zkoumali M. Bergmann Tiest a Astrid M.L. Kappers, kteří se zaměřili na hmatové vlastnosti materiálu. Podle nich má na hmatové vlastnosti vliv stlačitelnost, drsnost, tepelná vodivost, tepelná kapacita a tření materiálu. Stlačitelnost zkoumali speciálním zařízením, které bylo sestaveno přímo pro toto měření. Stlačitelnost byla prováděna mosaznou tyčí, která byla zakončena stlačovací deskou o průměru 11,3 mm. Tento průměr odpovídá průměru bříška prstu. Na každém vzorku bylo měřeno 8 bodů při tlaku 0,2 - 4 N, což by mělo odpovídat tlaku prstu na materiál (dříve zjištěno Louwem, Kappersem a Koenderinkem). V tomto experimentu zjistili, že vliv stlačitelnosti na hmatové vnímání textilie není příliš velké. Mnohem důležitějším faktorem je drsnost materiálu. [30]



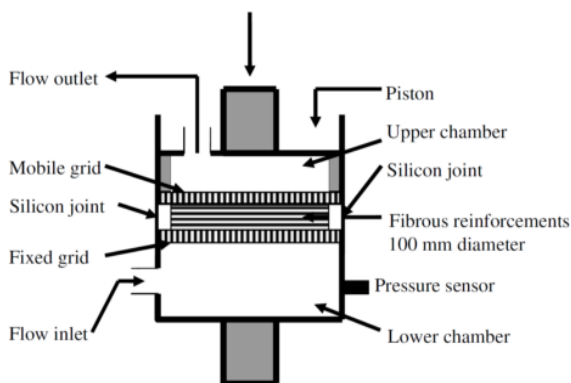
Obr. č. 13 Zařízení na měření stlačitelnosti [30]

Tímto tématem se také zabýval D. B. Shakyawar, P. C. Patni a N. P. Gupta. Ti zkoumali třecí, kompresní a tepelné vlastnosti ručně vyráběných plstí z různých živočišných vláken. Stlačitelnost a pružnost plstí byly měřeny pomocí tloušťkoměru od firmy Shirley. Působící tlak byl postupně snižován, až byl použit tlak 1,73 kPa po dobu 30 s. Poté byla měřena počáteční tloušťka. Kompresních tlak byl zvýšen v krocích po 1,73, 5,18, 20,70, 41,39, 62,08 a 82,77 kPa a odpovídající tloušťka byla zaznamenána po 30 s při každém zvýšení tlaku. Přístroj Sasmira, který měří tepelnou vodivost, byl použit pro určení tepelné vodivosti. Vzorek byl umístěn nad ohřívanou desku. Mezi vzorkem a tepelnou deskou byla udržována mezera 5 mm. Teplota horní desky byla udržována na 50° C, spodní deska byla vyhřívána na 45° C. Pokles teploty byl zaznamenán v různých časových intervalech. Měření bylo provedeno při pokojové teplotě 27 °C. Teplota desky byla zvolena tak, aby simulovala teplotu lidské pokožky, což odpovídá 37 °C. Bylo zjištěno, že plsti vyrobené ze 100 % materiálů (z králíčích a velbloudích vláken) vykazují nejvyšší stlačitelnost. Stlačitelnost směsových materiálů je nižší, což může být zapříčiněno vysokou



variabilitou vláken ve směsi, kde vznikají různě velké vzduchové kapsle. Přítomnost většího počtu vláken tvoří větší izolační vrstvu vzduchu a tím i výsledné zvýšení izolace. Stlačitelnost je negativně závislá na plošné hmotnosti. Tepelná vodivost závisí především na průměru vlákna. Textilie z hrubšího vlákna budou mít vyšší tepelnou vodivost a budou dosahovat menších hodnot tepelné izolace. To je způsobeno tím, že tyto výrobky mají menší počet vrstev izolačního vzduchu v celé své tloušťce, a tím umožní poměrně více tepla projít skrz tloušťku materiálu. [31]

Ouahbi, Ouagne, Ark a Bréard vymysleli speciální hydromechanické zařízení, které sleduje průtok kapaliny (průtoková rychlost) v příčném směru přes textilii a působící tlak za různých podmínek. Vzorky jsou umístěny mezi dvěma perforovanými deskami, mezi které je vstříkována kapalina s konstantním průtokem. Perforované desky jsou pohyblivé a pohybují se konstantní rychlostí kolmo ke zkušebnímu materiálu. Ti došli k závěru, že působící tlak má jistý vliv na průchod kapaliny skrz textilii, což může být zapříčiněno změnou tloušťky a vnitřního uspořádání materiálu. [33]



Obr. č. 14 Schéma Hydro-mechanical loading device [33]

Stlačitelnost a tepelně- izolační vlastnosti prachového peří byly zkoumány v roce 2007 Jing Gaoem, Weidong Yuem z Donghua University (Shanghai) a Ning Panem z University of California at Davis. Byl proveden experiment, kde se testovaly čtyři různé materiály: peří, vlna, bavlna a polyester. Materiál byl vložen do čtvercového boxu o objemu  $1\,500\text{ cm}^3$ . Množství materiálu bylo zváženo tak, aby dosahovalo  $1/3$  objemu boxu, tedy  $500\text{ cm}^3$ . Box byl 20 x protřesen, aby se materiál ustálil a načechrál, načež se změřila tloušťka, které dosahoval. Poté se materiál zatížil jiným boxem a postupně se na něj položilo závaží o hmotností 20 g až 200 g a opět se změřila tloušťka vrstvy při různých zatížení. Nakonec byla změřena okamžitá relaxace. Každé zatížení bylo prováděno po dobu 5 min. Z takto získaných dat, byla vypočtena objemnost textilní vrstvy podle níže uvedeného vzorce. S přibývajícím objemností je ve vrstvě materiálu více vzduchu, a tím pádem, jeho tepelně izolační vlastnosti jsou lepší. [40]

$$\text{Objemnost} = \frac{V_c}{m} = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right] \quad (14)$$

$V_0 = \text{objem} = 500 \text{ cm}^3 [\text{cm}^3]$

$\rho = \text{plošná hmotnost} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right]$

Stlačitelnost a okamžitá relaxace byla měřena při zatížení 200 g a vypočtena podle vzorce:

$$\text{Stlačitelnost} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (15)$$

$h_1 = \text{počáteční tloušťka} [\text{mm}]$

$h_2 = \text{tloušťka po stlačení} [\text{mm}]$

$$\text{Relaxace} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_2} \times 100 [\%] \quad (16)$$

$h_1 = \text{počáteční tloušťka} [\text{mm}]$

$h_2 = \text{tloušťka po stlačení} [\text{mm}]$

$h_3 = \text{tloušťka relaxované vrstvy} [\text{mm}]$ .

Z měřených materiálů peří dosahovalo nejvyšší stlačitelnosti, ale zároveň i nejlepší relaxace po zatěžování, což potvrdilo předpoklad, že peří má jednu z nejlepších odolností proti stlačení. V rámci experimentu byly měřeny i tepelně-izolační vlastnosti, to bylo provedeno pomocí přístroje Sweating Guarded Hotplate, kde byla měřena tepelná jímavost. Materiál byl vložen do netextilního vaku krychlového tvaru o velikosti hrany 30 cm a poté vložen do přístroje. Jelikož byl použit netextilní vak z velmi tenkého materiálu, mohly být jeho výsledky zanedbány. Toto měření potvrdilo předešlé výsledky, že peří má nejmenší tepelnou jímavost. To znamenalo, že peří dosahovalo nejlepších tepelně-izolačních vlastností ze všech testovaných materiálů. Velmi dobré tepelně-izolační vlastnosti, jakožto vysoký stupeň stlačitelnosti a relaxace po stlačování, dělá z peří vhodný materiál pro výrobu zimních oděvů, lůžkovin a spacích pytlů do méně vlhkého prostředí. [40]

V roce 2008 se tímto tématem zabývala studentka Technické univerzity v Liberci ve své diplomové práci na téma Vliv tepelně-izolačních vlastností sendvičových struktur

oděvních materiálů na stlačení. Cílem jejího experimentu bylo zjistit vliv tlakového působení na tepelně- izolační vlastnosti, tedy na možnost transportu tepla sendvičové struktury oděvních materiálů. Experiment byl proveden na přístroji Togmetr a na Tloušťkoměru. Při experimentu se pracovalo se třemi různými přitlaky. První přítlak byl stanoven podle normy na 6,9 Pa, což odpovídá pouze kontaktnímu dotyku horní desky s povrchem vzorku. Další přítlak byl zvolen takový, který je schopna vyvinout samotná hmotnost horní desky Togmetru na zkoumaný vzorek. Tento přítlak byl 317 Pa. Poslední přítlak byl 1 kPa, což je přibližná vypočítaná hodnota pro ležícího člověka. Diplomová práce vedla k závěru, že vyšší hodnoty stlačitelnosti představují lepší poddajnost vlákněné vrstvy při tlakovém zatížení, což ale znamená horší udržení tepelně- izolačních schopností při tomto namáhání, jelikož vlivem rostoucího přitlaku jsou vlákna nucena, působením vnější síly, měnit své dosavadní prostorové uspořádání, a tím dochází k vytlačování vzduchu ze struktury textilie. Změna tloušťky vede ke snížení relativní tloušťky vrstvy vzduchu, a tím tedy ke snížení tepelně- izolační vrstvy. Dále bylo zjištěno, že snižování tloušťky, a tím pádem vytlačení vzduchu z textilní vrstvy, ovlivňuje celkovou hodnotu tepelné vodivosti materiálu. Vzduch se vytlačuje, a tím roste hodnota tepelné vodivosti, což znamená, že materiál ztrácí schopnost tepelné izolace, jelikož samotný pevný materiál bez vzduchu vykazuje vyšší hodnoty tepelné vodivosti. Působením navyšujících se přitlaků také dochází ke změně hodnot tepelného odporu materiálu. Se snižováním tloušťky byly zjištěny menší teplotní spády. Snížení hodnot tepelného odporu znamená horší tepelně- izolační vlastnosti oděvu. Na zhoršení těchto izolačních schopností závisí množství transportovaného tepla od organismu do okolního prostředí, jelikož parametry tepelného odporu (tloušťka a tepelná vodivost) přímo ovlivňují velikost průchodu tepla skrz soustavu oděvu. Bude-li soustava vykazovat vysoké hodnoty tepelného odporu, množství prošlého tepla touto soustavou se sníží. V opačném případě bude oděv méně bránit transportu tepla a hodnota prošlého tepla bude vyšší, což není vhodné pro tepelnou izolaci organismu. [24]

## 6. Experimentální část

V experimentální části diplomové práce je zjišťováno, jaký vliv má stlačitelnost na tepelně-izolační vlastnosti výplňkových materiálů, které se používají jako izolační výplně do oděvů (především zimních bund) a spacích pytlů.

Experimentální část je rozdělena na dvě části. Nejdříve byla měřena schopnost zotavení po stlačování podle interní normy KOD-FT-TUL Liberec, užitný vzor č. 25543 na zařízení pro měření stlačitelnosti objemných textilních struktur, které se skládá z plastového průhledného válce a čelisti, která je zatížena definovanými závažími, aby se dosáhlo požadovaného tlaku. Změna tloušťky materiálu po stlačování byla měřena pomocí obrazové analýzy NS Elements, ze kterých byla následně vypočítána stlačitelnost.

Druhá část se již přímo zabývá vlivem stlačitelnosti na tepelně-izolační vlastnosti, což je provedeno experimentem, při kterém je zjišťována závislost mezi tloušťkou materiálu a tepelným odporem, který se měřil metodou vyvinutou na Katedře oděvnictví na Technické univerzitě v Liberci. Stlačitelnost byla měřena na zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstevných kompozitů podle interní normy KOD-FT-TUL Liberec pořadové č. E224165, užitný vzor č. UV0623CZ.

Oba experimenty byly provedeny na dvou typech materiálů od firmy Climashield a PrimaLoft® při třech různých plošných hmotnostech. Z každého materiálu byl náhodně vybrán určitý počet vzorků podle normy ČSN EN 12751 Textilie- Odběr vzorků vláken, nití a plošných textilií ke zkouškám.

### 6.1. Použité materiály

V diplomové práci je zjišťován vliv stlačitelnosti na tepelně-izolační vlastnosti výplňkových materiálů. Z tohoto důvodu byly vybrány dva typy výplňkových materiálů, které se běžně používají jako výplň do zimních bund a kalhot, spacích pytlů a příkrývek.

Výplňkový vložkový materiál se vyznačuje lehkostí, měkkostí a objemností. Syntetické výplňkové vložkové materiály se vyrábí technologií netkaných textilií a používají se jako vlákenná rouna z polyesteru nebo polyamidu. [1] [2]

První myšlenka byla, že experiment bude proveden na přírodních i syntetických materiálech, ale z ekonomického i časového hlediska byl nakonec experiment proveden pouze na syntetických materiálech od firmy PrimaLoft® a Climashield.

Oba materiály se vyznačovaly vysokou nestejnou tloušťkou, která je patrná již při vizuálním pohledu, a pravděpodobně vznikla při výrobě rouna. U materiálu Climashield XP/Apex a HL jsou viditelné spoje, kde byla jednotlivá rouna spojována, v těchto místech byla tloušťka téměř až dvojnásobná. To se také odrazilo na skutečné plošné hmotnosti, která je trochu jiná než plošná hmotnost deklarovaná firmou (viz. Tab. č. 1 Porovnání deklarované a skutečné plošné hmotnosti [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]). Poměrně velké rozdíly mezi skutečnou a deklarovanou plošnou hmotností ovlivnily výsledky experimentů, především se to projevilo při porovnávání materiálu Primaloft a Climashield, kde byly porovnávány materiály stejně deklarované plošné hmotnosti, ale ve skutečnosti byly tyto plošné hmotnosti poměrně rozdílné, což může mít za následek odlišné výsledky experimentů.

Materiál Primaloft® Sport je materiál vyroben z ultra jemných mikrovláken s dutými vlákny větších průměrů. Vlákna jsou větších a menších průřezů, a díky tomu se uzavře ve vrstvě textilie více vzduchu. Díky dutým vláknům větších průměrů jsou jeho vlastnosti zachovány i po dlouhodobém používání, stlačování, praní a sušení. Materiál PrimaLoft® Sport má velmi podobné vlastnosti jako peří, a to především v tepelné izolaci, lehkosti, měkkosti, stlačitelnosti a prodyšnosti. Vložkové výplňkové materiály vyrobené z mikrovláken jsou lehké, prodyšné, poměrně pevné, mají dobrou odolnost proti žmolování, mají dobrou tepelnou izolaci, objemnost a teplejší omak. [7] [60]

Od firmy Climashield byl použitý materiál XP/Apex a HL. Materiál XP/Apex má robustní 3D strukturu, která je podobná peří. Je tvořen tepelně spojenými překříženými vlákny s dutinou trojúhelníkového průřezu. Materiál se vyznačuje vysokou tepelně-izolační schopností i za vlhka, nízkou hmotností, dobrou odolností proti stlačení, rychlou vysychavostí a snadnou údržbou. Polyesterová dutá vlákna mají dobrou pružnost, relaxaci, objemnost, tepelnou izolaci, jsou lehčí a mají dobrou nasákavost vody a potu. [36] [60]

Materiál HL je vyroben stejně, ale má větší tloušťku a plošnou hmotnost, patří mezi tzv. high-loft materiály. Tento materiál dosahuje nejvyšší tloušťky materiálu ze všech výrobků firmy Climashield. Název HL je zkratka pro výraz high-loft, což už napovídá, že tento materiál má velkou plošnou hmotnost, tím pádem dosahuje vysoké tloušťky na jednotku plochy. Používá se pro výrobu vrchních oděvů a spacáků. [36]

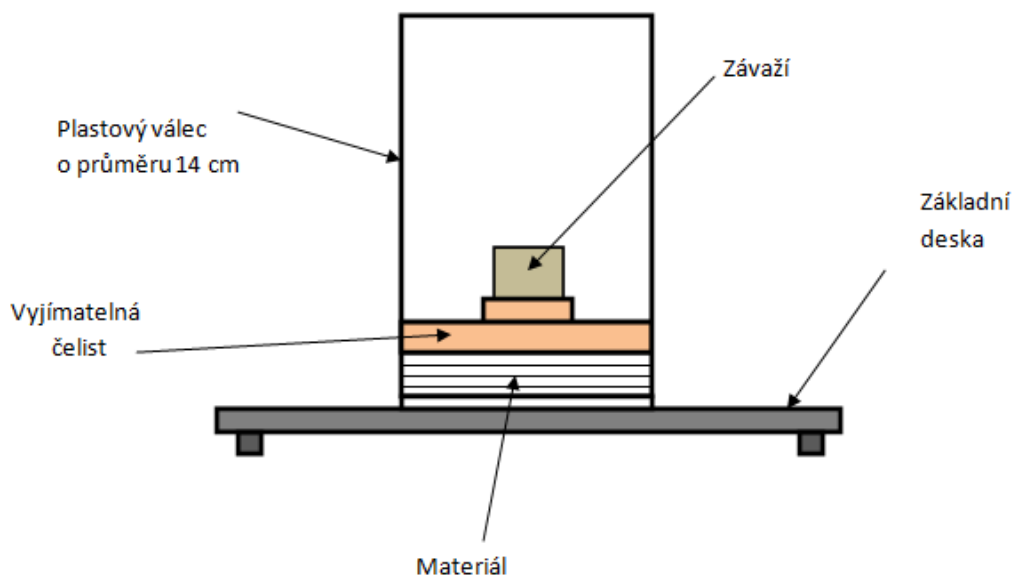
Materiál	Climashield HL a XP/Apex			Primaloft Sport		
	Deklarovaná plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]	67	103	133	67	103
Skutečná plošná hmotnost (průměr) [g/m <sup>2</sup> ]	65	92	119	73	102	136
Rozptyl [(g/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> ]	62,21	46,73	59,05	39,99	4,27	136,57
Směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]	10,02	5,15	7,40	10,75	1,24	8,87
Variační koeficient [%]	15,40	5,59	6,23	14,73	1,22	6,52
95 % interval spolehlivosti [g/m <sup>2</sup> ]	56,28-73,83	87,49-96,51	112,33-125,30	63,58-82,42	100,77-102,95	128,13-143,68

Tab. č. 1 Porovnání deklarované a skutečné plošné hmotnosti [g/m<sup>2</sup>]

## 6.2. Měření stlačitelnosti

Jako první byl proveden experiment, při kterém se zjišťovala stlačitelnost a následná relaxace použitých výplňkových materiálů. Stlačitelnost lze definovat tak, že působením tlaku  $p$  na plochu materiálu, dochází ke stlačení vlákenného materiálu. Rozměr materiálu se nemění, avšak změní se tloušťka materiálu a jeho zaplnění. Zaplnění charakterizuje hustotu vláken ve vlákenném útvaru a může být definováno jako podíl objemu vláken a pojiva z textilního útvaru k celkovému objemu tohoto útvaru. [17] [18]

Stlačitelnost byla měřena na zařízení, které testuje schopnost zotavení po stlačování podle interní normy KOD- FT- TUL Liberec, užitný vzor č. 25543 na zařízení pro měření stlačitelnosti objemných textilních struktur, které se skládá ze základní desky, na které je umístěn plastový průhledný válec se stupnicí [mm] o průměru 14 cm, do kterého se vkládají materiály o stejném průměru. Materiál je poté zatížen čelistí, která není nijak připevněna k tomuto válci a lze ji jednoduše z válce odebrat. Stlačitelnost lze měřit pouze pomocí čelisti, kdy je materiál stlačován jen vlastní vahou čelisti nebo je možné tento tlak zvýšit a to tím, že na čelist umístíme závaží o definované hmotnosti [g]. Jelikož je ale celkově zařízení malé, použité závaží nemůže mít příliš velkou hmotnost. Schéma přístroje je uvedeno níže na obr. č. 15 Zařízení pro měření stlačitelnosti. [61]



Obr. č. 15 Zařízení pro měření stlačitelnosti

Materiál je poté zatížen a namáhán na tlak po určité době, kdy dochází ke zvyšování zaplnění materiálu, což znamená, že se z materiálu vytlačuje vzduch, který je vázán ve struktuře materiálu, a jednotlivá vlákna vlákenné vrstvy se více přibližují k sobě a vzniká mezi nimi více kontaktů, které přenášejí síly, jež vznikají při této deformaci. Tyto kontakty mají význam pro zjištění potřebné pružnosti a odolnosti textilie vůči stlačování. [18]



Obr. č. 16 Zařízení na stlačování- bez zatížení Obr. č 17 Zařízení na stlačování- zatížené

Jak již bylo řečeno, experiment byl proveden na 2 materiálech Climashield a Primaloft při třech různých plošných hmotnostech. Od každého materiálu bylo měřeno 5 vzorků najednou, aby se zajistila větší přesnost měření. Z takto získané hodnoty se poté vypočítala průměrná tloušťka jednotlivé vrstvy materiálu před a po stlačení, z čehož se následně vypočítala stlačitelnost S [%] a relaxace materiálu R [%].

Materiál byl zatěžován při dvou tlacích, a to při tlaku 200 Pa a 330 Pa. Dále byly stanoveny dva různé časy zatížení a relaxace, které byly různě nakombinovány a měřeny po 4 cyklech podle normy ČSN EN ISO 3386-1 Měkké lehčené polymerní materiály- Stanovení odporu proti stlačení. Čas zatížení a relaxace byl zvolen pomocí experimentu, kdy byly použity různé časy, a sledovalo se, o kolik se změnila tloušťka materiálu po jeho uplynutí (při zatížení materiálu a následné relaxaci).

Působící tlak [Pa]	Čas zatížení [min]	Čas relaxace [min]
200	10	15
330	30	40

Tab. č. 2 Čas relaxace a zatížení, Velikost působícího tlaku

Tloušťka materiálu, jež je definovaná jako kolmá vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami při tlaku nižším než 1 kPa, byla stanovena pomocí obrazové analýzy NS Elements, která je popsána v kapitole č. 4.4.6. Měření tloušťky a stlačitelnosti- Obrazová analýza. [41]

### 6.2.1. Vyhodnocení experimentu stlačitelnosti

Stlačitelnost byla měřena na speciálním zařízení při dvou tlacích (200 Pa a 320 Pa) při dvou různých časech zatížení (10 a 15 min) a relaxace (30 a 40 min). Stlačitelnost S [%] byla vypočítána podle vzorce:

$$S = \left( \frac{h_1 - h_2}{h_1} \right) * 100 \quad (17)$$

S= relativní stlačitelnost [%]

$h_1$ = průměrná tloušťka materiálu před stlačováním [mm]

$h_2$ = průměrná tloušťka materiálu po stlačování [mm].



Dále byla vypočítána relaxace materiálu po stlačování, která je definovaná jako schopnost materiálu navrátit se do svého původního stavu po odstranění působícího zatížení. Relaxace  $R$  [%] materiálu byla vypočtena ze vztahu:

$$R = \left( \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_2} \right) \times 100 \quad (18)$$

$R$  = relaxace materiálu [%]

$h_1$  = průměrná tloušťka materiálu před stlačováním [mm]

$h_2$  = průměrná tloušťka materiálu po stlačování [mm]

$h_3$  = průměrná tloušťka relaxované vrstvy [mm].

Výsledky stlačitelnosti jsou uvedeny v tab. č. 2 Přehled stlačitelnosti [%] při tlaku 200 Pa materiálu Primaloft Sport a Climashield XP/Apex a HL při kombinaci různého času zatížení a relaxace a v tab. č. 3 Přehled stlačitelnosti [%] při tlaku 320 Pa materiálu Primaloft Sport a Climashield XP/Apex a HL při kombinaci různého času zatížení a relaxace v příloze č. 1- Vyhodnocení experimentu stlačitelnosti. Je zde možné pozorovat trend, v němž se stlačitelnost materiálu mění v závislosti na čase zatížení a relaxace. Stlačitelnost je nižší u materiálů, které byly delší dobu relaxovány, tzv. materiál, který byl zatěžován 10 min a relaxován pouze 15 min, má větší stlačitelnost než materiál relaxován 40 min při stejné době zatěžování.

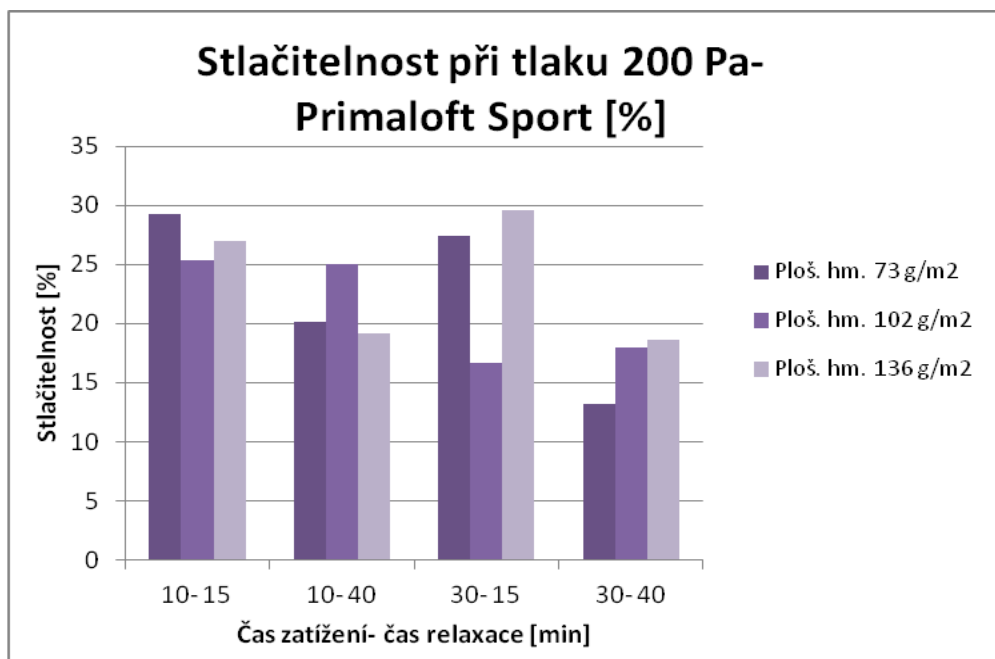
Namáhaný materiál je vlivem působícího tlaku nucen přeskupovat svoje vnitřní uspořádání, což znamená, že jednotlivá vlákna materiálové hmoty jsou k sobě „lisována“, čímž se zaplňují mezivazné prostory mezi jednotlivými vlákny a zároveň se z těchto prostor vytlačuje vzduch, který se v těchto prostorech nachází v tzv. vzduchových kapslích. Tyto kapsle jsou nositelem „hřejivosti“, což znamená, že zabraňují prostupu tepla textilií, jelikož vzduch je špatným vodičem tepla a dobrým izolantem. Teoreticky stlačená textilie by měla mít horší tepelně- izolační vlastnosti, což je řešeno v kapitole níže č. 7.3. Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti.

Ze změny tloušťky materiálu je možno říci, že hodnota tohoto snížení udává relativní tloušťku vrstvy vzduchu, která byla následkem působícího tlaku ze soustavy odstraněna (je-li pominuta deformace vláken). [24]

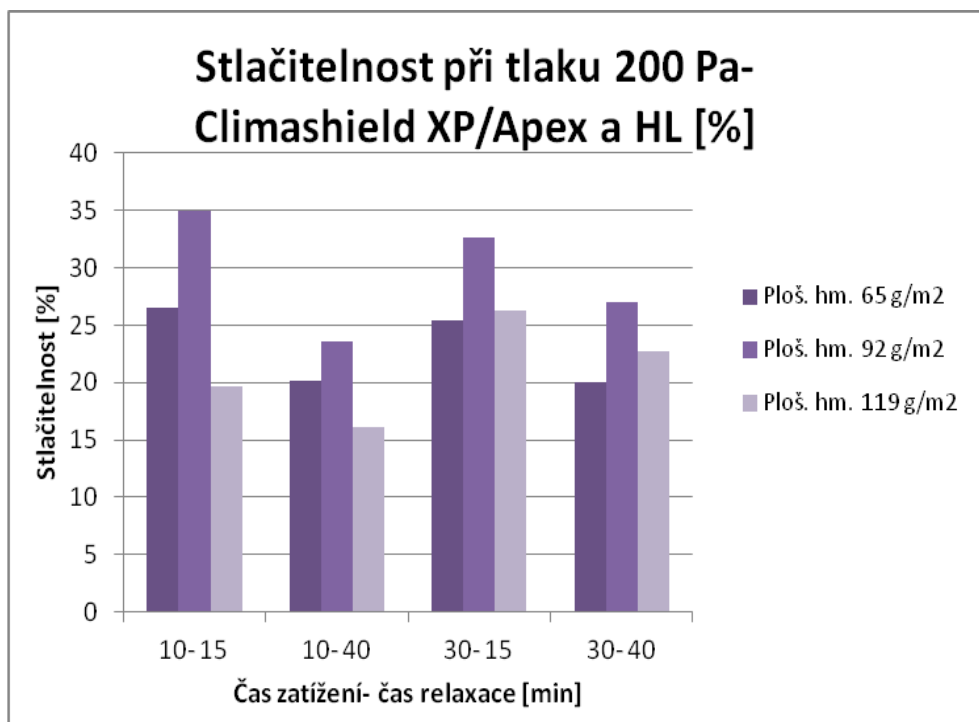
Materiál, již má delší čas relaxace, je schopen účinněji obnovit svoje vnitřní uspořádání a je schopen navázat zpět část vzduchu, který byl vytlačen z materiálu při stlačování. Schopnost relaxace materiálu je závislá na čase  $t$ , teoreticky je materiál v čase  $t=\infty$  schopen nabýt své původní tloušťky  $h_1$ . Naopak materiál je možné zatěžovat pouze do určité doby  $t_{\mu}$ , kdy dochází k již tak velkému stlačení materiálu, že veškerý vzduch vázaný ve struktuře materiálu je vytlačen a zaplnění vlákenné vrstvy je  $\mu=1$ .

Na níže uvedených grafech (obr. č. 18 až 21 Stlačitelnost  $S$  [%]) je také možné pozorovat výše zmíněný trend. Je zde dále vidět, že u obou materiálů při tlaku 200 Pa stlačitelnost nepřesáhla hodnotu 30 %, ale při vyšším tlaku (320 Pa) je stlačitelnost vyšší a u materiálu Climashield dosahuje v některých případech téměř 40 %. Z toho vyplývá, že velikost působícího tlaku má zásadní vliv na stlačitelnost materiálu a platí úměra, že čím bude vyšší přítlak  $p$  [Pa], tím rychleji dojde k deformaci materiálu a bude potřeba delšího času k relaxaci materiálu (viz. obr. č. 2 až č. 7 v příloze č. 1 Vyhodnocení experimentu stlačitelnosti).

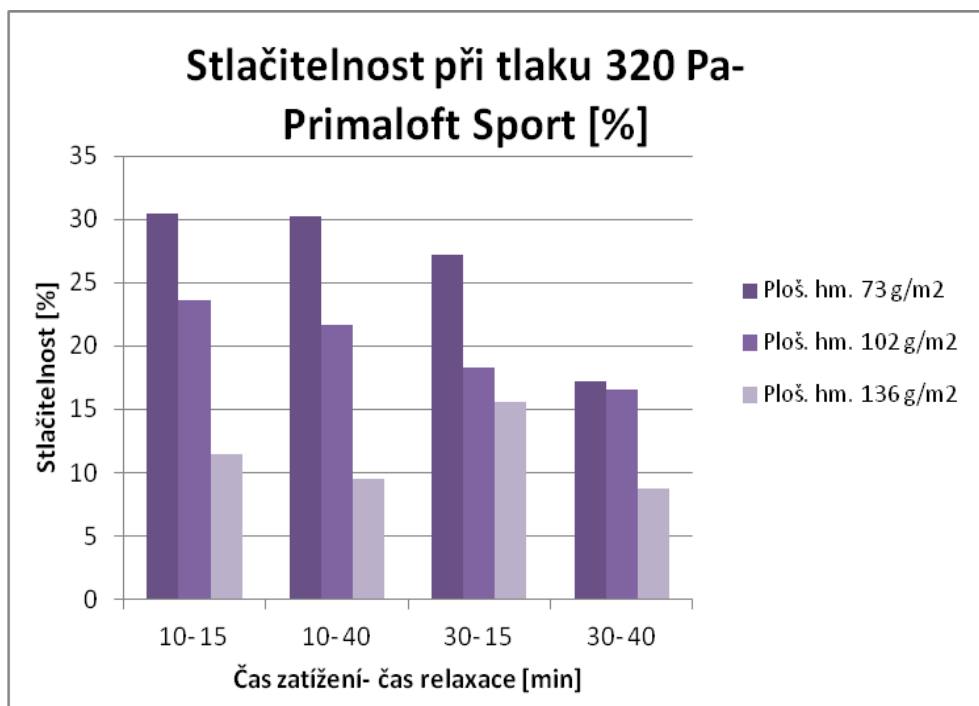
Lepší odolnosti proti stlačení dosahoval materiál Primaloft, jež je vyroben z ultra jemných mikrovláken s dutými vlákny větších průměrů kruhového průřezu. Dutá vlákna kruhového průřezu zajišťují v materiálu Primaloft dostatečnou stabilitu při stlačování. Materiál Climashield je vyroben z vláken s dutinou trojúhelníkového průřezu. Tyto vlákna při stlačování dokážou výhodněji zaplnit mezivazné prostory kvůli svému trojúhelníkovému průřezu, a tím dochází k horší odolnosti proti stlačení.



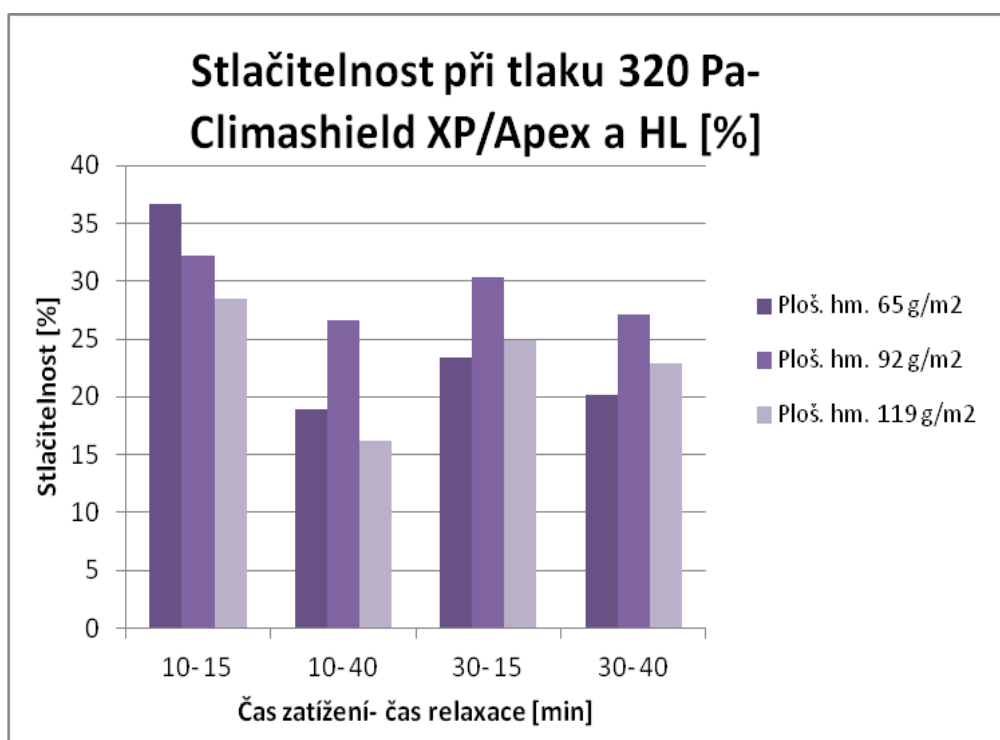
Obr. č. 18 Stlačitelnost [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 200 Pa



Obr. č. 19 Stlačitelnost [%] materiálu Climashield XP/Apex při tlaku 200 Pa



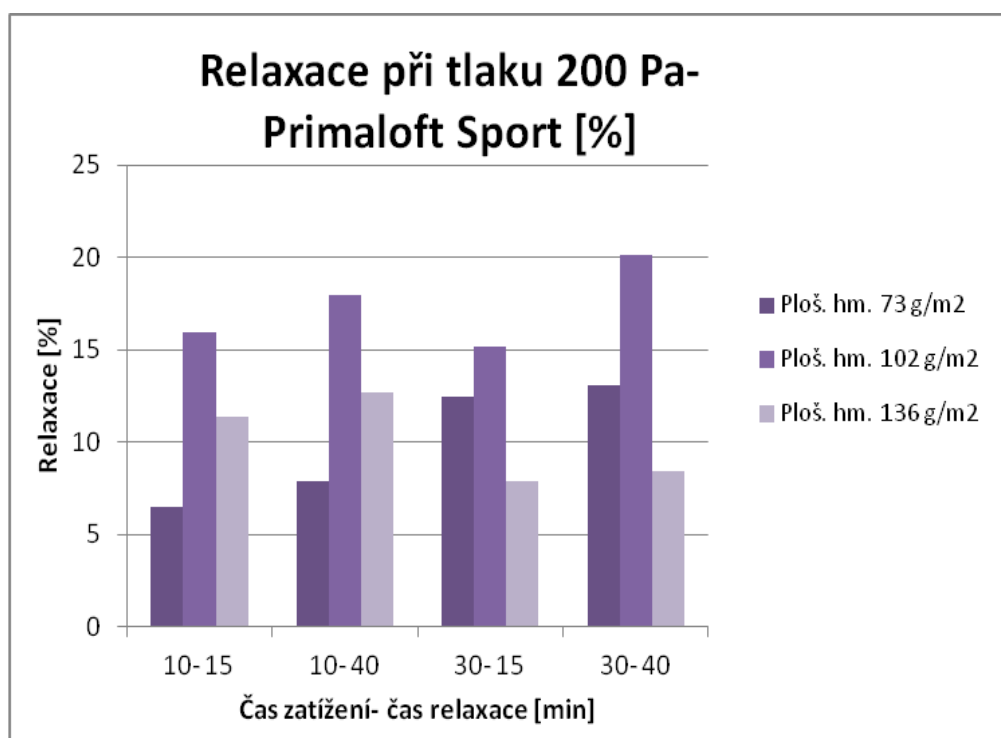
Obr. č. 20 Stlačitelnost [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 320 Pa



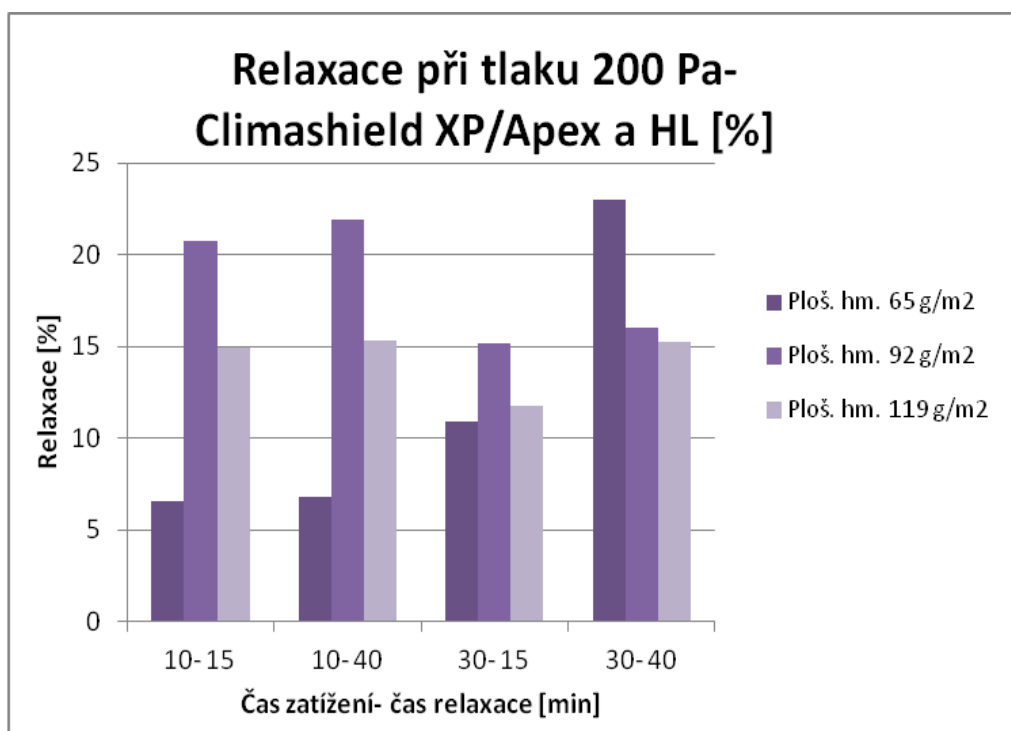
Obr. č. 21 Stlačitelnost [%] materiálu Climashield XP/Apex při tlaku 320 Pa

Na níže uvedených grafech (obr. č. 22 až 25 Relaxace materiálu R [%] při tlaku 200 a 320 Pa) je možné pozorovat relaxaci R [%] testovaných materiálů. Je zde možné pozorovat stejný trend jako u stlačitelnosti S [%], který je popsán výše. Zásadní vliv na relaxaci má velikost působícího tlaku a čas zatížení a následné relaxace. Při nižším tlaku 200 Pa je relaxace materiálu vyšší než u tlaku 320 Pa. Relaxace R [%] také vychází lepší u materiálu, které byly relaxovány 40 min.

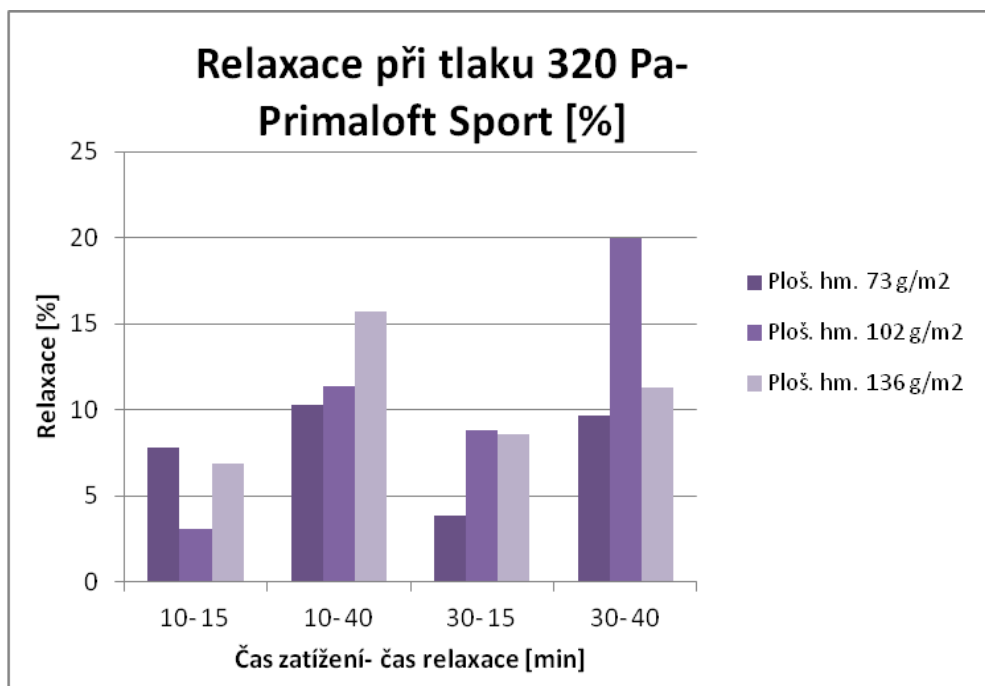
Materiál Climahield XP/Apex a HL obecně dosahoval lepší relaxace než materiál Primloft Sport. To může být způsobeno tvarem průřezu vláken a jejich jemností, kdy Climashield má trojúhelníkový průřez dutiny vláken a materiál Primaloft Sport je vyroben ze směsi mikrovláken a vláken větších průměrů kruhového průřezu. Vlákná trojúhelníkového průřezu jsou schopna účinněji se navrátit do svého původního tvaru než vlákná kruhového průřezu.



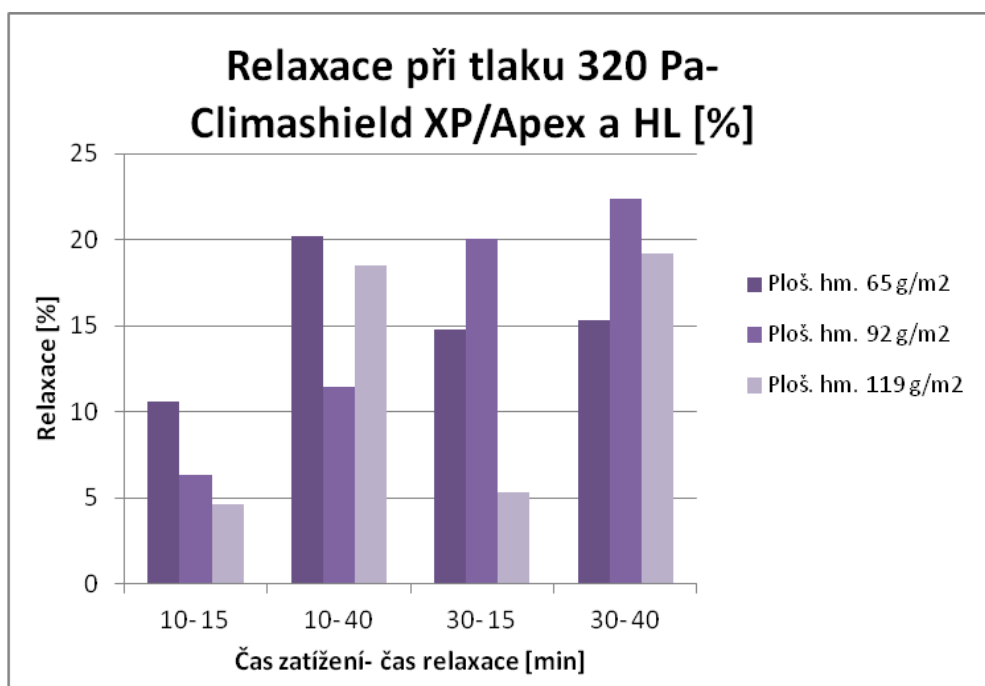
Obr. č. 22 Relaxace R [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 200 Pa



Obr. č. 23 Relaxace R [%] materiálu Climashield XP/Apex a HL při tlaku 200 Pa



Obr. č. 24 Relaxace R [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 320 Pa



Obr. č. 25 Relaxace R [%] materiálu Climashield XP/Apex a HL při tlaku 320 Pa

### 6.3. Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti

V druhém experimentu bylo zjišťováno, jak velký vliv má stlačitelnost a případná změna tloušťky materiálu na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových materiálů.

Experiment byl postaven tak, že simuloval reálné podmínky při nošení zimní bundy a batohu. Působící tlak odpovídal tlaku, kterým působí popruhy batohu o hmotnosti 10 kg.

Nejdříve se změřila tloušťka  $h$  [mm] a tepelně- izolační vlastnosti materiálu, v tomto případě tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2 \cdot K/W$ ], poté se materiál stlačoval po určitou dobu, načež se hned po stlačování opět změřila tloušťka  $h$  [mm] a tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2 \cdot K/W$ ]. Nakonec se experiment vyhodnotil a pomocí korelační analýzy se zjišťovalo, zda změna tloušťky má vliv na změnu tepelného odporu.

První myšlenka, jak tento experiment provést, byla, že tepelně- izolační vlastnosti, budou měřeny na přístroji EY50 Sweating Guarded Hotplate (SGHP), který provádí měření tepelného odporu a paropropustnosti za ustálených podmínek. Blíže je tento přístroj popsán v kapitole 3.3.4. Přístroj Sweating Guarded Hotplate.

Tepelný odpor  $R_{ct}$  měl také být měřen před stlačováním a okamžitě po stlačování a pro měření stlačitelnosti měl být použit speciální přístroj, který cyklicky namáhá materiál při 40 otáčkách za minutu.

Nevýhodou této metody byla časová náročnost, jelikož přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate měří tepelný odpor  $R_{ct}$  jednoho vzorku přibližně 60- 90 min (způsobeno pomalým ustalováním tepelného toku proudícího přes testovaný textilní materiál). I měření samotné stlačitelnosti by bylo velmi časově náročné, jelikož je potřeba dosáhnout minimálně 10 000 otáček, což přibližně odpovídá 4 hodinám namáhání materiálu. Jeden vzorek by se tedy měřil asi 7 hod. [35]

Další nevýhodou byla rozdílná velikost a tvar vzorku. Velikost vzorku pro přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate je 30 x 30 cm, kdežto přístroj na měření stlačitelnosti používá kruhovou čelist o průměru 16 cm.

Z těchto důvodů bylo nutné experiment sestavit jiným způsobem. Nejdříve se přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate nahradil speciálním zařízením, které bylo sestrojeno na Katedře oděvnictví na Technické univerzitě v Liberci. Toto speciální zařízení se skládá z vyhřívané tepelné desky, která je vyhřívána na teplotu  $35 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , což odpovídá teplotě pokožky lidského těla. Teplota je kontrolována pomocí termočláňkového čidla. Výhodou zařízení KOD TUL je rychlost a rozměry zařízení. Tepelný odpor  $R_{ct}$  je možné stanovit již za 20- 25 min.

Na vyhřívanou tepelnou desku je umístěný testovaný vzorek, který se zde zajistí kovovým rámečkem. Celé toto zařízení je umístěné v klimatizační komoře, která je nastavená tak, aby odpovídala klimatickým podmínkám definovaných v normě ČSN EN ISO 139 (800056) Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení. Vlhkost vzduchu v komoře byla nastavena na  $65 \% \pm 2 \% \text{ RH}$  a teplota vzduchu byla  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tepelný odpor  $R_{ct}$  byl stanoven pomocí tepelného toku, který prochází z vyhřívané strany materiálu na druhou stranu materiálu, která je ochlazována proudícím vzduchem klimatizační komory, který má nižší teplotu ( $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) než vyhřívaná deska ( $35 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Teplota je snímána z obou stran pomocí dvou termočlánků, které jsou připojeny do přístroje Almemo a naměřená data jsou z tohoto přístroje bezdrátově přenášena do počítače. Almemo je přenosný přístroj s digitálním displejem, do kterého lze připojit několika měřících čidel, například termočlánek. Sondy mohou měřit například rychlost proudění vzduchu [m/s], teplotu [ $^\circ\text{C}$ ] a relativní vlhkost [%] vzduchu v komoře.

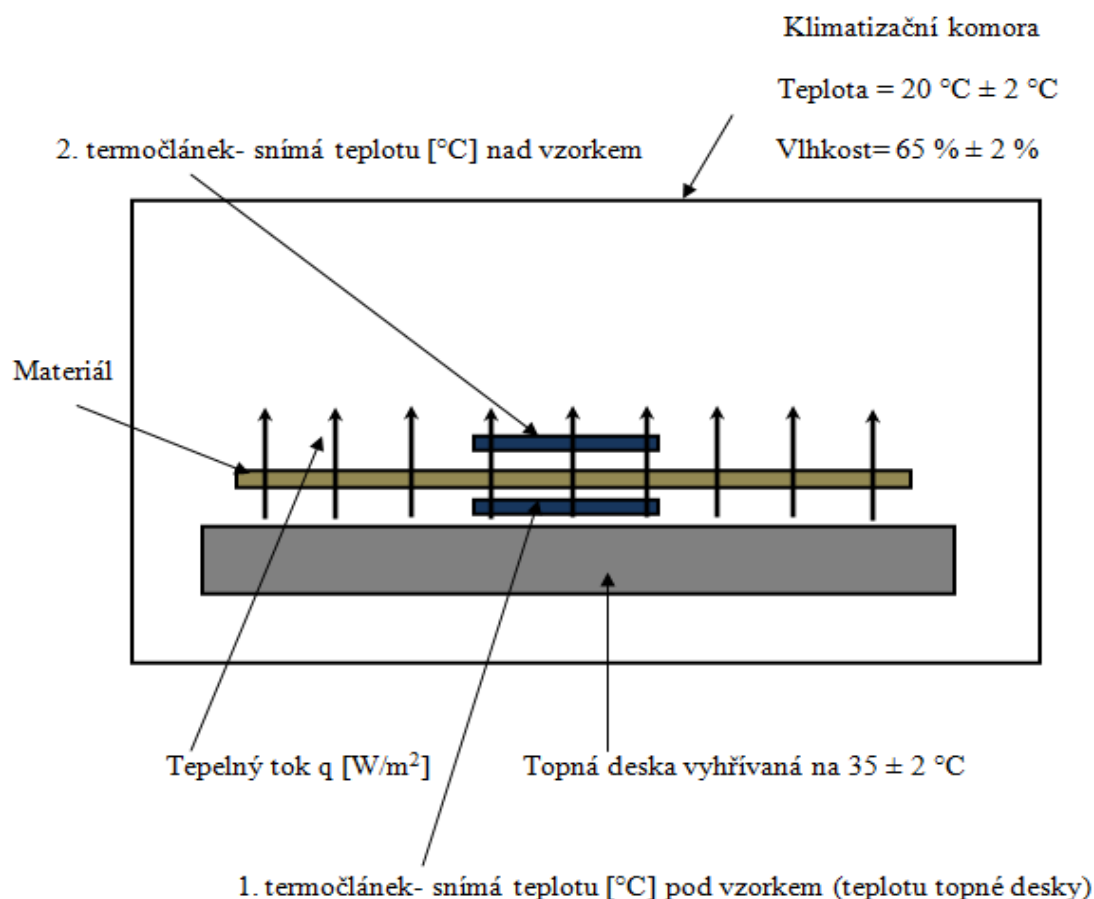
Termočlánek je snímač pro měření teploty. Termočlánek je tvořen dvěma vodiči z různých kovových materiálů A a B, které jsou na obou koncích spolu vodivě spojeny. Jestliže se teplota  $t_m$  [K] jednoho spoje liší od teploty  $t_s$  [K] druhého spoje, vzniká termoelektrické napětí a obvodem prochází termoelektrický proud. V zjednodušené formě lze závislost termoelektrického napětí  $E$  [V] na teplotě vyjádřit lineárním vztahem, kde  $\alpha_{AB}$  [ $\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$ ] je materiálová konstanta.

$$E = \alpha_{AB}(t_m - t_s) \quad (19)$$

Materiál na výrobu termočlánků má vykazovat pokud možno velký a lineární přírůstek napětí  $E$  v závislosti na teplotě a stability údaje při dlouhodobém provozu a odolnost proti chemickým a mechanickým vlivům. Kovové páry materiálů pro vytvoření termočlánků jsou normalizovány podle použití. [49]

Zdali je možné tímto zařízením nahradit přístroj EY50 Sweating Guarded Hotplate bylo zjišťováno pomocí korelační analýzy. Vzorky byly změřeny na zařízení KOD TUL a poté i na přístroji EY50 Sweating Guarded Hotplate podle normy ČSN EN 31092 – Textilie: Zjišťování fyziologických vlastností. Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou). Tato norma udává, že teplota povrchu měřící jednotky je  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , teplota vzduchu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , relativní vlhkostí  $65 \%$  a rychlost vzduchu je  $1 \text{ m/s}$ . [48]





Obr. č. 26 Zařízení KOD TUL- zjišťování tepelného odporu

Po zjištění a vyhodnocení tepelného odporu jednotlivých materiálů, byla provedena korelační analýza. Korelační analýza znázorňuje statickou závislost dvou kvantitativních veličin, jinak řečeno měří vztah dvou proměnných. Dvě proměnné jsou korelované, jestliže určité hodnoty jedné proměnné mají tendenci se vyskytovat společně s určitými hodnotami druhé proměnné.

Statická závislost se zjišťuje pomocí Pearsonova korelačního koeficientu  $r$ , který nabývá hodnot od -1 do 1, přičemž:

$r = 0 \Rightarrow$  nezávislost

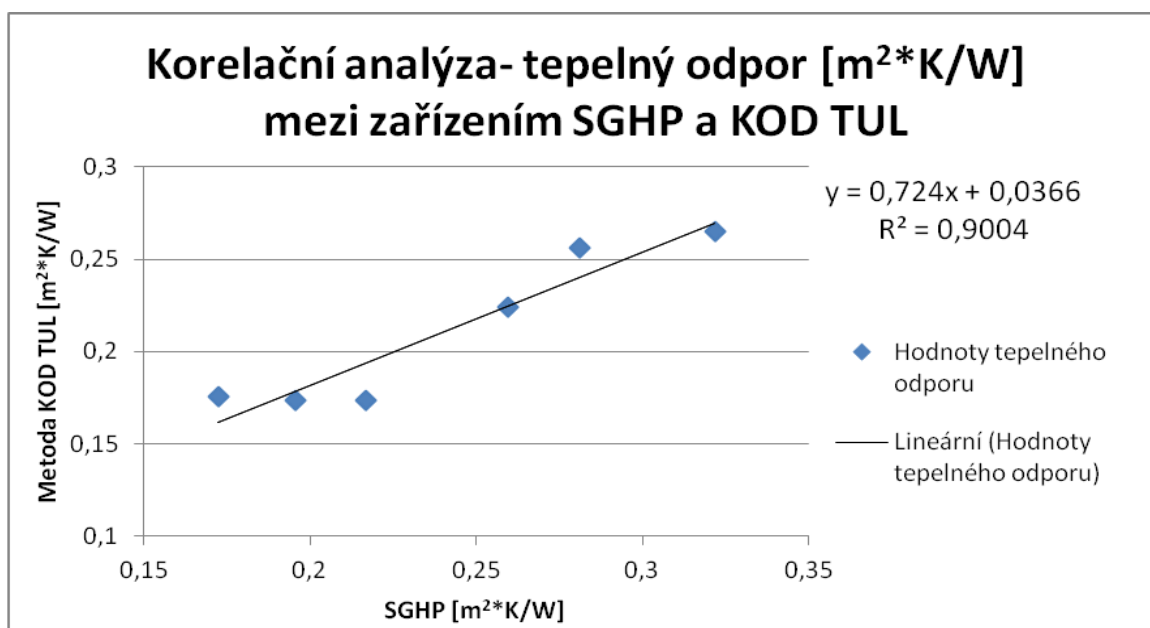
$r = 1 \Rightarrow$  přímá závislost

$r = -1 \Rightarrow$  nepřímá závislost.

Korelační koeficient se počítá pomocí směrodatných odchylek obou proměnných a jejich kovariancí (míra vzájemné vazby mezi oběma veličinami). Korelační koeficient je velmi ovlivněný odlehlými hodnotami a vypočítá se podle vzorce: [46]

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (20)$$

Koeficient determinace  $R^2$  (korelační determinace- znázorňuje podíl společné variace) vycházel 90 %. Z hodnoty intervalu spolehlivosti vychází, že je možné tyto dvě zařízení libovolně nahradit. Byl spočítán test hypotézy významnosti korelačního koeficientu  $r$  (korelační koeficient  $r$  vycházel 0,9489), podle tohoto testu vychází, že korelační koeficient  $r$  je statisticky významný. Při měření ale bylo zjištěno, že použité materiály jsou vysoce nestejněměrné, což ovlivnilo konečně výsledky tepelného odporu, a tím pádem hodnotu intervalu spolehlivosti  $R^2$ , který by pravděpodobně u méně nestejněměrných materiálů vycházel vyšší (viz. tab. č. 4 průměrný tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2K/W$ ] naměřený na zařízení KOD TUL a tab. č. 5 průměrný tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2K/W$ ] naměřený na přístroji SGHP v příloze č. 2- Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti- rozdíl mezi naměřenými hodnotami tepelného odporu  $R_{ct}$  na přístroji SGHP a zařízení KOD TUL).

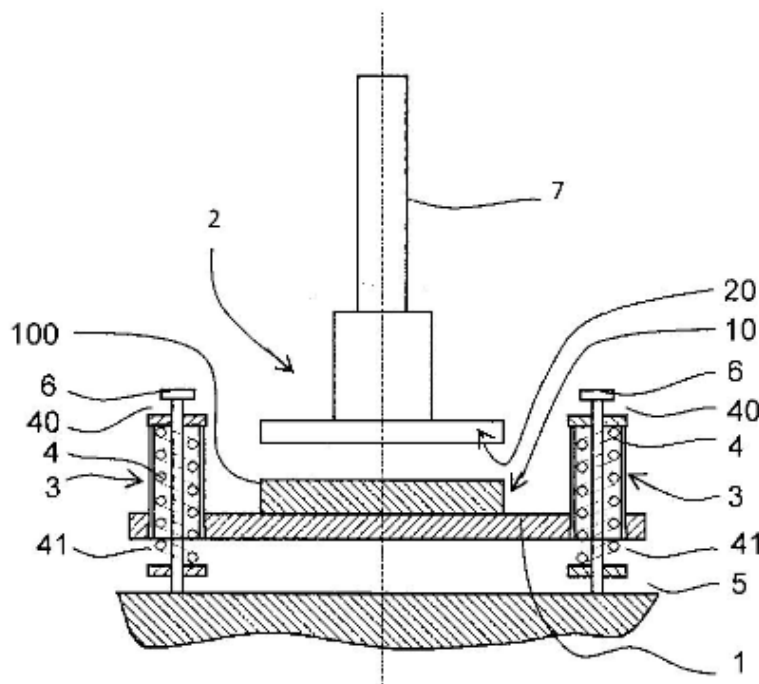


Obr. č. 27 Korelační analýza- tepelný odpor  $R_{ct}$  mezi zařízením SGHP a KOD TUL

Stlačitelnost byla měřena na zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstvých kompozitů podle interní normy KOD-FT-TUL Liberec pořadové č. E224165, užitný vzor č. UV0623CZ. Podle technického řešení tohoto zařízení obsahuje pružně uloženou testovací desku s testovací plochou, a proti ní pohyblivě uloženou přítlačnou hlavou, která

je proti testovací ploše testovací desky orientovaná svou testovací plochou (viz obr. č. 28 Zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstvých kompozitů).

Testovací deska je tvořená horizontálně orientovanou čtvercovou deskou, která je prostřednictvím čtyř pružných prvků uspořádaných ve svých rozích pružně uložena na podkladu. Pružné prvky obsahují pouzdro, ve kterém je uložena pružina a veden dřík, přičemž pouzdro je z jedné strany uzavřeno kalibrační maticí pro kalibraci polohy testovací desky a pružina se opírá o stavěcí matici pro nastavení stlačení pružiny. Testovací deska je na své testovací ploše nebo v její blízkosti opatřena prostředky pro uložení testovaného vzorku textilie či vícevrstvého textilního kompozitu. Přítlačná hlava je s výhodou odnímatelná, takže je možné ji nahradit přítlačnou hlavou jiného typu a je uložena na pohyblivě uloženém trnu, který je spojený s pohonem. [58]



Obr. č. 28 Zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstvých kompozitů [58]

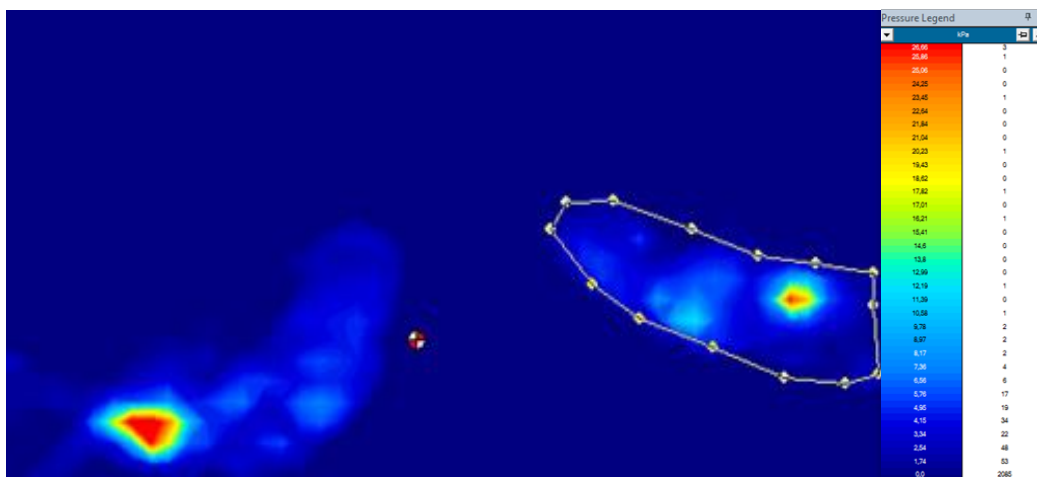
Toto zařízení pracuje s vysokými otáčkami za minutu, optimální počet otáček je 400 otáček za minutu, ale je možné počet otáček různě regulovat. Experiment byl proveden při 24 000 otáčkách, což odpovídá 1 hod namáhání materiálu (při tomto počtu otáček byla již změna tloušťky ustálena).

Další problém, který při tomto experimentu vyvstal, bylo jaký tlakem působit na materiál. Jak již bylo řečeno dříve, tento experiment simuluje reálné podmínky, kdy

dochází při nošení batohu v místě ramen a zad (díky popruhům) ke stlačení materiálu, ze kterého je zimní bunda vyhotovena, deformují se především výplňkové materiály.

Pro zjištění potřebného tlaku byl proveden experiment pomocí tlakové podložky X- Sensor. Zařízení X- Sensor tvoří speciální tenká podložka a vyhodnocovací jednotka připojená k počítači. Na výrobek (matrace, autosedačka, v tomto případě ramena probanda) je uložena podložka a po spuštění řídicího programu je možné snímat míru rozložení tlaku. Tlaková podložka je blíže popsána v kapitole č. 4.4.7. Tlaková podložka X- Sensor. [52]

Pro experimentální zjištění potřebného tlaku byli vybráni 3 probandi o různých typových postavách, od velmi hubené až po plnější postavu. Na ramena byla umístěna tlaková podložka, přes kterou se nasadil batoh o hmotnosti 10 kg a pomocí počítače bylo snímáno tlakové rozložení v místě popruhů (ukázka tlakové mapy je na obr. č. 29).



Obr. č. 29 Tlaková mapa- rozložení tlaků popruhů batohu v místě ramen probanda

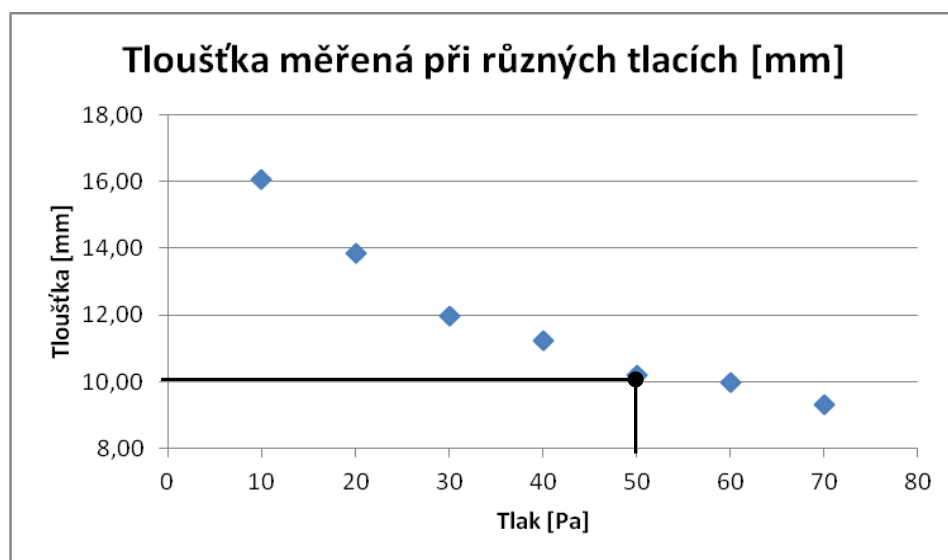
Výsledný tlak byl vypočítán zprůměrováním tlaků v místě ramen probanda, naměřené tlaky v jiných částech těla probanda byly zanedbány. Výsledný tlak vycházel 6 kPa. Tento tlak byl použit pro stlačování materiálů.

Nakonec se ještě muselo vyřešit, jakým způsobem se bude měřit tloušťka materiálu, jelikož se v tomto případě nedala použít obrazová analýza jako v předešlém experimentu. Při stlačování se namáhala jen část vzorku (pouze střed vzorku, vzorek nemohl být namáhán celý, jelikož čelist byla menší než velikost vzorku, která byla potřebná, aby se mohl vzorek uchytit v přístroji), tím pádem vzorek v místě stlačování měl jinou tloušťku než v místě úchyty, kde nebyl stlačován.

Z tohoto důvodu bylo nutné pro měření tloušťky použít přístroj tloušťkoměr SDL M034A, což je přístroj, který vyvíjí specifikovaný přítlak na zkoušenou plochu textilie

podle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie- zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků. Tloušťkoměr je podrobněji popsán v kapitole č. 4.4.1. Měření tloušťky a stlačitelnosti- Tloušťkoměr. [23]

Jelikož tloušťkoměr běžně používá přítlak 1 kPa, bylo nutné tento přítlak upravit s ohledem na použité materiály. Byla testována tloušťka výplňkových materiálů při tlaku 10 Pa (přístroj C- Therm pracuje s přítlakem 7 Pa) až 70 Pa (dle přítlaku, který používá přístroj Fox Instruments). Byla vyhodnocena průměrná tloušťka těchto materiálů a zadána do grafu, kde se sledovalo, při jakém tlaku je hodnota tloušťky ustálena. Jako optimální přítlak tloušťkoměru pro výplňkové materiály byl zvolen 50 Pa (viz. obr. č. 30 Tloušťka materiálu měřená při různých tlacích)



Obr. č. 30 Tloušťka materiálu [mm] měřená při různých tlacích

### 6.3.1. Vyhodnocení experimentu vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti

Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti simuloval reálné podmínky při nošení zimní bundy a batohu, který svými popruhy působí určitým tlakem na tepelně- izolační materiály bundy. Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jak velký vliv má takto vyvolaný tlak na tepelně- izolační vlastnosti výplňkových materiálů bundy.

Experiment byl postaven tak, že se nejdříve změřila tloušťka materiálu na tloušťkoměru SDL M034A, poté byl změřen tepelný odpor  $R_{ct}$  pomocí termočlánků, načež byl materiál cyklicky namáhán působením tlaku v ploše materiálu (24 000 otáček) na zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstvých kompozitů. Po uplynutí 24 000 otáček byla opět změřena tloušťka materiálu na tloušťkoměru a zjištěný tepelný odpor  $R_{ct}$ .

Tepelně- izolační vlastnosti byly vyhodnoceny pomocí tepelného odporu  $R_{ct}$  [ $m^2K/W$ ]. Tepelný odpor udává, jaký odpor klade materiál při průchodu tepla z jedné strany materiálu na druhou. Tepelný odpor  $R_{ct}$  je definován jako rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu rozdělenými výsledným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru tepelného spádu. Tepelný odpor velmi závisí na vazbě a struktuře textilie, která udává tloušťku a prodyšnost. [14] [15]

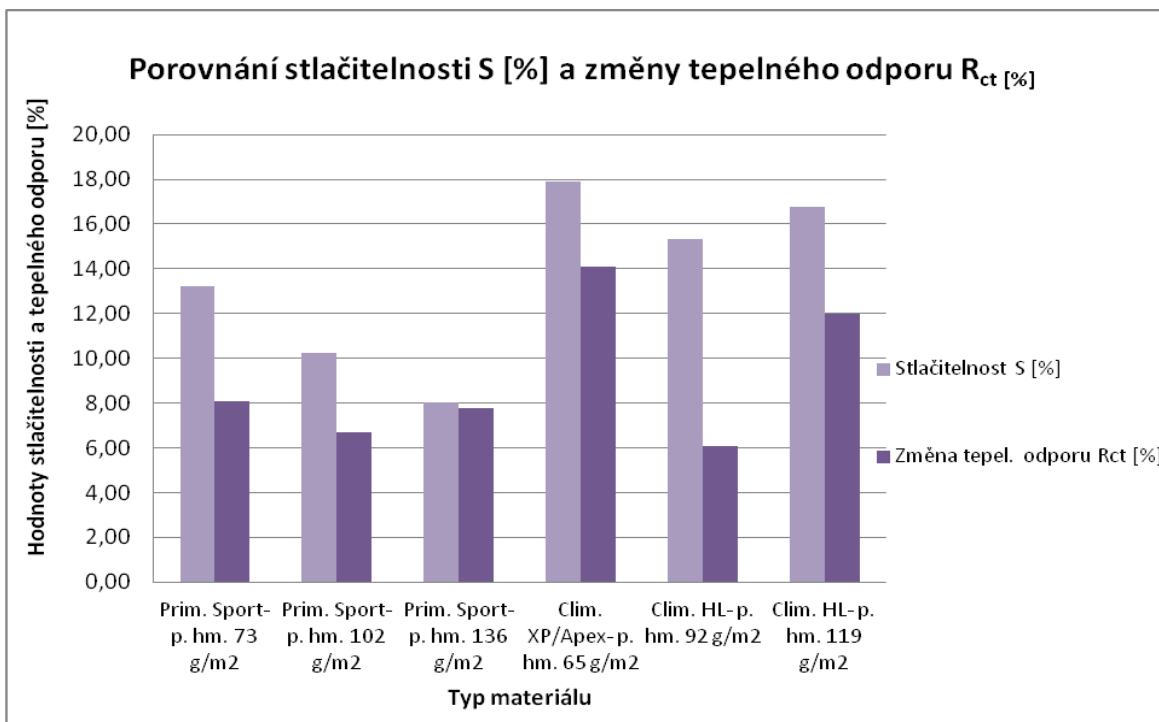
V předešlé kapitole je popsáno, že vlivem působícího tlaku je materiál nucen přeskupovat svoje vnitřní uspořádání a vzduch obsažený v textili je „vytlačován ven“ z textilie. Teoreticky to má za následek to, že součinitel tepelné vodivosti materiálu  $\lambda$  [ $W \cdot m^{-1}K^{-1}$ ] se zvyšuje (určuje schopnost materiálu vést teplo) a tepelný odpor  $R_{ct}$  naopak klesá (vyjadřuje schopnost materiálu klást odpor proti průchodu tepla), jelikož vzduch má nižší tepelnou vodivost ( $0,026 W/m \cdot K$ ) než běžné polymery. [14]

Provedený experiment tuto teorii potvrdil. V tab. č. 3 Stlačitelnost [%] a změna tepel. odporu [%] použitých vzorků je možné pozorovat, že při jistém procentuálním snížení tloušťky materiálu, se také snížila hodnota tepelného odporu  $R_{ct}$  (viz. také obr. č. 31 Porovnání stlačitelnosti  $S$  a změny tepelného odporu  $R_{ct}$ ). Lepší odolnosti proti stlačení dosahuje materiál od firmy Primaloft. Tento materiál je vyroben z polyesterových mikrovláken a vláken s příměsí dutých vláken většího průměru kruhového průřezu (materiál Climashield XP/Apex a HL je vyroben z polyesterových dutých vláken trojúhelníkové průřezu). Mikrovlákna jsou schopna navázat více vzduchových kapslí ve své struktuře díky jejich mikroskopickým rozměrům a uspořádání ve vrstvě materiálu, a tak i při stejné plošné hmotnosti jako u materiálu Climashield jsou schopny zajistit lepší tepelně- izolační vlastnosti.

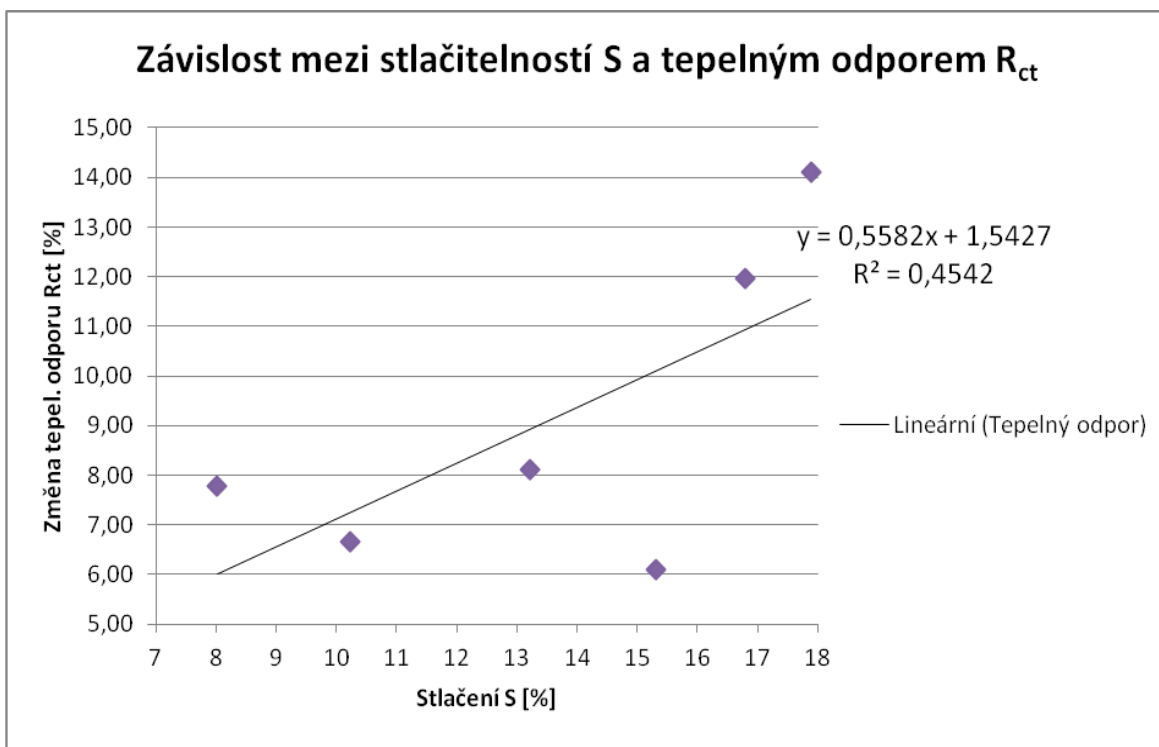
I když má materiál od firmy Primaloft celkově nejnižší snížení tepelného odporu, tak nejlepší odolnost dosahoval Climashield XP/Apex při plošné hmotnosti  $92 g/m^2$ . To by mohlo být zapříčiněno velkou nestejnouměrností použitých roun.

Materiál	Primaloft Sport			Climashield XP/Apex a HL		
<b>Plošná hmotnost [<math>g/m^2</math>]</b>	73	102	136	65	92	119
<b>Stlačitelnost <math>S</math> [%]</b>	13,22	10,23	8,02	17,89	15,32	16,80
<b>Změna tepelného odporu <math>R_{ct}</math> [%]</b>	8,11	6,67	7,78	14,11	6,10	11,97

Tab. č. 3 Stlačitelnost [%] a změna tepel. odporu [%] použitých vzorků



Obr. č. 31 Porovnání stlačitelnosti S [%] a změny tepelného odporu  $R_{ct}$  [m<sup>2</sup>K/W]



Obr. č. 32 Závislost mezi stlačitelností S [%] a tepelného odporu  $R_{ct}$  [%]

Z obr. č. 32 Závislost mezi stlačitelností S [%] a tepelného odporu  $R_{ct}$  [%] je možné vyčíst, že tloušťka má vliv na tepelný odpor materiálu. Avšak koeficient determinace  $R^2$

vychází pouze 45 %. Byl proveden test hypotézy významnosti korelačního koeficientu  $r$  (koralční koeficient  $r$  je 0,6739), podle tohoto testu je korelační koeficient  $r$  statisticky významný. Nízká hodnota koeficientu determinace  $R^2$  znamená, že tato závislost by neměla být příliš vysoká a nelze prokazatelně říci, že tloušťka je zásadní faktor, který ovlivňuje tepelně- izolační vlastnosti výplňkových materiálů. Ale je nutno si uvědomit, že měřené materiály byly poměrně nestejněměrné, takže koeficient determinace je touto nestejněměrností značně ovlivněn a u jiných stejnoměrnějších materiálů by pravděpodobně vycházel vyšší.

#### **6.4. Diskuse výsledků**

Lepších tepelně- izolačních vlastností dosahoval materiál Primaloft Sport, tento materiál se velmi dobře hodí na výrobu zimních bund. Dosahoval lepší odolnosti proti stlačení i změny tepelného odporu než materiál Climashield. Pouze v relaxaci byl tento materiál o něco horší. Dobrá odolnost proti stlačení zajistí, že si zimní bunda ponechá schopnost ochránit svého nositele před nízkou teplotou i při stlačení materiálu (například popruhy batohu). Nižší schopnost relaxace znamená, že bunda po delší době používání nebude natolik schopna se navrátit do své původní tloušťky a bude docházet ke zhoršení tepelně- izolačních vlastností.

Materiál Climashield vykazoval horší hodnoty odolnosti proti stlačení a tepelného odporu než materiál Primaloft, ale dosahoval lepší relaxace materiálu po stlačení. Tento materiál bude výhodný pro výrobu spacích pytlů, u kterých je žádoucí, aby materiál byl schopen poměrně vysoké deformace při malých tlacích a naopak vynikající relaxace po této deformaci, jelikož pro přenášení spacího pytle (například v batohu) je nutné, aby spací pytel byl co nejlehčí a dosahoval co nejmenších rozměrů. U tohoto materiálu po stlačení dochází k horším tepelně- izolačním vlastnostem, což po delší době opět vede ke zhoršení funkčnosti výrobku.

Materiál Climashield je také možné použít pro výrobu zimních bund, ale je potřeba počítat s tím, že u zimní bundy vyrobené z toho materiálu může dojít k rychlejšímu zhoršení funkčnosti bundy v rámci tepelné izolace.

Materiál Primaloft a Climashield patří k nejlepším tepelně- izolačním materiálům, které jsou na trhu k dostání, ale jako izolační vrstvu zimní bundy či spacího pytle, ze syntetických materiálů, by bylo možné použít například materiál Duotherm, Polarguard, Quallofil, Thermolite nebo Thinsulate. Tyto materiály jsou vhodné do nízkých teplot



vzduchu, jelikož bunda vyplněná tímto materiálem, bude schopna ochránit svého nositele před nízkou teplotou okolí. V kombinaci s vrchním materiálem, který je propustný pro vodní páry, ale odolný proti působení deště a větru (například materiály Goretex a Sympatex), a podšívkou propustnou pro vodní páry, bude tvořit ideální zimní bundu či spací pytel do nízkých teplot.

Bylo by také velmi vhodné použít přírodní výplňkový materiál, peří. Jelikož peří má výborné tepelně-izolační vlastnosti, vysokou absorbační schopnost, velmi dobrou tvarovou stálost, velkou vzduchovou kapacitu a nízkou hmotnost. Další jeho výhodou je, že prachové peří má velmi dobrou odolnost proti stlačení a relaxaci po stlačení. Největší nevýhodou peří je, že absorbuje vlhkost a při navlhnutí se výrazně snižuje jeho izolační schopnost. [4] [40]

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zdali stlačitelnost má vliv na tepelně-izolační vlastnosti výplňkových materiálů, a jak zásadní tento vliv je. Aby tohoto cíle mohlo být dosaženo, byla provedena rešerše a experiment na dané téma.

Rešerše je rozdělena na několik kapitol a podkapitol, které se samostatně zabývají klíčovými slovy, jež jsou výplňkové vložkové materiály, stlačitelnost a tepelně-izolační vlastnosti. Výplňkový vložkový materiál se používá k vyplnění oděvu, nejčastěji do trupové části zimních oděvů, kde se vkládá mezi podšívku a výztužnou vložku a především plní funkci tepelně-izolační.[1]

Výplňkový vložkový materiál se dělí na syntetické a přírodní vložkové materiály (peří). Syntetické výplňkové vložkové materiály se vyrábí technologií netkaných textilií a používají se jako vlákenná rouna z polyesteru, polyamidu nebo polypropylenu (a jejich směsí). Vyznačují se měkkostí, objemností a malou hmotností. Tepelně-izolační vlastnosti rouna ovlivňuje tloušťka, délka, zkadeření, pružnost vláken a vlhkost. [1] [3]

V další části rešerše byl vysvětlen pojem tepelně-izolační vlastnost. Tepelně-izolační vlastnosti materiálů se posuzují podle jejich schopnosti udržet teplo a ochránit uživatele těchto materiálů před povětrnostními podmínkami. Izolační vrstvu textilie vytvářejí vlákna a především vzduch, který je špatným vodičem tepla. [10] [25]

Tepelně-izolační materiály se stanovují různými metodami. Mezi nejdůležitější tepelně-izolační vlastnosti patří: tepelná vodivost, plošný tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelná kapacita, tepelný tok a tepelná jímavost. Jednotlivé veličiny spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují. [15]

Po tepelně-izolačních vlastnostech se rešerše zabývala stlačitelností, neboli odpor proti stlačení. Působením tlaku  $p$  na plochu materiálu dochází ke stlačení vlákenného materiálu. Rozměr materiálu se nemění, avšak změní se tloušťka materiálu a jeho zaplnění. Proces stlačování ovlivňují vlastnosti použitých vláken a pojiva u netkaných textilií, zaplnění textilními vlákny, délky volných úseků vláken mezi vaznými místy, orientace vláken v netkané textilii, druh a distribuce vazných míst. [17] [18]

V další části diplomové práce je popsán experiment, jehož cílem bylo zjistit, jak velký vliv má stlačitelnost na tepelně-izolační vlastnosti výplňkových materiálů, které se používají jako izolační výplně do oděvů (především zimních bund) a spacích pytlů.

Experiment byl proveden na materiálech o třech plošných hmotnostech od dvou firem, Climashield a PrimaLoft®. Tyto materiály se běžně používají jako výplň do zimních bund a kalhot, spacích pytlů a přikrývek. Oba materiály se vyznačovali vysokou nestejnomyšností tloušťky, která pravděpodobně vznikla při výrobě rouna.

Materiál PrimaLoft Sport je materiál vyroben z ultra jemných mikrovláken s dutými vlákny větších průměrů kruhové průřezu. Plošná hmotnost byla 73 g/m<sup>2</sup>, 102 g/m<sup>2</sup> a 136 g/m<sup>2</sup>. Od firmy Climashield byl použitý materiál XP/Apex a HL. Materiál XP/Apex je tvořen tepelně spojenými překříženými vlákny s dutinou trojúhelníkového průřezu. Plošná hmotnost Climashieldu XP/Apex byla 65 g/m<sup>2</sup>, u Climashieldu HL to bylo 92 g/m<sup>2</sup> a 119 g/m<sup>2</sup>. [7] [36]

V rámci experimentální části byly provedeny dva experimenty. V prvním experimentu se zjišťovala stlačitelnost a následná relaxace použitých výplňkových materiálů. Stlačitelnost byla měřena přístroji, který zjišťuje schopnost zotavení po stlačování podle interní normy KOD- FT- TUL Liberec, užžitný vzor č. 25543 na zařízení pro měření stlačitelnosti objemných textilních struktur. Toto zařízení se skládá ze základní desky, na které je umístěn plastový průhledný válec, do kterého se vkládají materiály o stejném průměru. Materiál je poté zatížen čelistí, která není nijak připevněna k tomuto válci a lze ji jednoduše z válce odebrat, působící tlak se reguluje závažím.

Materiál byl zatěžován při dvou tlacích (200 Pa a 330 Pa) a při dvou různých časech zatížení (10 min a 30 min) a relaxace (15 min a 40 min). Byly provedeny 4 cykly. Tloušťka materiálu před a po stlačování byla stanovena pomocí obrazové analýzy NS Elements.

Stlačitelnost materiálu se měnila v závislosti na čase zatížení a relaxace. Stlačitelnost je nižší u materiálů, které byly delší dobu relaxovány. Namáhaný materiál je vlivem působícího tlaku nucen přeskupovat svoje vnitřní uspořádání, čímž se zaplňují mezivazné prostory mezi jednotlivými vlákny a zároveň se z těchto prostor vytlačuje vzduch, který je vázán na vláknech. Vzduch vázán ve hmotě textilie je nositelem „hřejivosti“, což znamená, že zabraňuje prostupu tepla textilií, jelikož vzduch je špatným

vodičem tepla a dobrým izolantem. Materiál, jež má delší čas relaxace, je schopen účinněji obnovit svoje vnitřní uspořádání a je schopen navázat zpět část vzduchu, který byl vytlačen z materiálu při stlačování.

Na odolnost proti stlačení má také zásadní vliv velikost působícího tlaku, a platí úměra, že čímž bude vyšší přítlak  $p$  [Pa], tím rychleji dojde k deformaci materiálu a bude potřeba delšího času k relaxaci materiálu.

Lepší odolnosti proti stlačení dosahoval materiál Primaloft, jež je vyroben z ultra jemných mikrovláken s dutými vlákny větších průměrů kruhového průřezu. Dutá vlákna kruhového průřezu zajišťují v materiálu Primaloft dostatečnou stabilitu při stlačování. Materiál Climashield je vyroben z vláken s dutinou trojúhelníkového průřezu. Tyto vlákna při stlačování dokážou výhodněji zaplnit mezivazné prostory kvůli svému trojúhelníkovému průřezu, a tím dochází k větší stlačitelnosti.

Dále byla vypočítána relaxace materiálu po stlačování, která je definovaná jako schopnost materiálu navrátit se do svého původního stavu po odstranění působícího zatížení. Materiál Climashield XP/Apex a HL obecně dosahoval lepší relaxace než materiál Primloft Sport. To může být způsobeno tvarem průřezu vláken a jejich jemností, kdy Climashield má trojúhelníkový průřez dutiny vláken. Vlákna trojúhelníkového průřezu jsou schopna účinněji se navrátit do svého původního tvaru než vlákna kruhového průřezu.

V druhém experimentu byl již přímo sledován, jak velký vliv má stlačitelnost na tepelně-izolační vlastnosti výplňkových vložkových materiálů. Experiment byl sestaven tak, že simuloval reálné podmínky při nošení zimní bundy. Působící tlak odpovídal tlakům, jež vyvolávají popruhy batohu zatíženého 10 kg závažím.

Nejdříve se změřila tloušťka materiálu na tloušťkoměru SDL M034A, poté byl změřen tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2 \cdot K/W$ ] pomocí termočlánků, načež byl materiál cyklicky namáhán působícím tlakem v ploše materiálu (24 000 otáček) na zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstvých kompozitů podle interní normy KOD-FT-TUL Liberec pořadové č. E224165, užitiný vzor č. UV0623CZ. Po uplynutí 24 000 otáček byla opět změřena tloušťka materiálu na tloušťkoměru a zjištěný tepelný odpor  $R_{ct}$ . Nakonec byly vyhodnoceny naměřené výsledky pomocí základní statistiky a byla provedena korelační analýza, jejíž úlohou bylo zjistit, nakolik změna tloušťky materiálu ovlivní tepelný odpor  $R_{ct}$ , jež udává, jak velký odpor klade materiál při průchodu tepla skrz materiál. [14] [15]

U tohoto experimentu došlo opět vlivem působícího tlaku k přeskupování vnitřního uspořádání materiálu a „vytlačení“ vzduchu z mezivazných prostor textilie. To mělo za následek, že tepelný odpor  $R_{ct}$  se snížil o několik procent po provedeném stlačování. Lepší odolnosti proti stlačení dosahuje materiál od firmy Primaloft, jež je vyroben z polyesterových mikrovláken s dutými vlákny většího průměru. Mikrovlákna jsou schopna navázat více vzduchových kapslí ve své struktuře díky jejich mikroskopickým rozměrům a uspořádání ve vrstvě materiálu, a tak i při stejné plošné hmotnosti jako u materiálu Climashield jsou schopny zajistit lepší tepelně-izolační vlastnosti.

Z tohoto experimentu plyne, že tloušťka má zásadní vliv na tepelný odpor materiálu (tepelně-izolační vlastnosti). Avšak použité materiály byly natolik nestejněměrné, že koeficient determinace  $R^2$  vycházel pouze 45 %, což znamená, že nelze s jistotou říci, že tloušťka je zásadní faktor, který ovlivňuje tepelně-izolační vlastnosti výplňkových materiálů.

Tyto výsledky jsou podpořeny několika vědeckými publikacemi, které se zabývaly stejným tématem. Například Holcombe a Hoschke zjistili, že tepelně-izolační vlastnosti nejvíce ovlivňují typ vlákna. Konstrukční parametry textilie, jako je tloušťka, hrají menší roli, ale i tak jsou významné.

Ke stejnému závěru také došli D. B. Shakyawar, P. C. Patni a N. P. Gupta. Ti zkoumali třecí, kompresní a tepelné vlastnosti ručně vyráběných plstí z různých živočišných vláken. Stlačitelnost a pružnost plstí byly měřeny pomocí tloušťkoměru od firmy Shirley. Došli k závěru, že stlačitelnost směsových materiálů je nižší než u materiálů z přírodních vláken, což může být zapříčiněno vysokou variabilitou vláken ve směsi, kde vznikají různě velké vzduchové kapsle. Zároveň přítomnost většího počtu vláken tvoří větší izolační vrstvu vzduchu a tím i výsledné zvýšení izolace. [31]

V roce 2008 se tímto tématem zabývala studentka Technické univerzity v Liberci ve své diplomové práci na téma Vliv tepelně-izolačních vlastností sendvičových struktur oděvních materiálů na stlačení. Experiment byl proveden na přístroji Togmetr a na Tloušťkoměru. Diplomová práce vedla k závěru, že vyšší hodnoty stlačitelnosti představují lepší poddajnost vlákenné vrstvy při tlakovém zatížení, což ale znamená horší udržení tepelně-izolačních schopností při tomto namáhání, jelikož vlivem rostoucího přítlaku jsou vlákna nucena, působením vnější síly, měnit své dosavadní prostorové uspořádání, a tím

dochází k vytlačování vzduchu ze struktury textilie. Změna tloušťky vede ke snížení relativní tloušťky vrstvy vzduchu, a tím tedy ke snížení tepelně- izolační vrstvy. [24]

Závěrem této práce je, že při nošení zimní bundy a těžkého batohu dochází ke stlačitelnosti výplňkových výztužných materiálů, které se nacházejí mezi vrchním materiálem bundy a podšívkou. Tato deformace výplňkových materiálů v místě popruhů batohu způsobuje určité zhoršení tepelně- izolačních vlastností bundy, které se častým a dlouhodobým nošením nadále zhoršuje, jelikož materiál není schopen se dostatečně rychle zrelaxovat a navrátit svojí původní tloušťku. Po určitém čase dochází ke zhoršení funkčnosti výrobku.

## Citace

- [1] ZOUHAROVÁ, Jana. *Výroba oděvů I.* první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-781-0.
- [2] Texus.info: Textilní výkladový slovník. Výplňkový vložkový materiál [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: [http://cz.texus.info/V%C3%BDpl%C5%88kov%C3%BD\\_vlo%C5%BEkov%C3%BD\\_materi%C3%A1l](http://cz.texus.info/V%C3%BDpl%C5%88kov%C3%BD_vlo%C5%BEkov%C3%BD_materi%C3%A1l)
- [3] Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-02-17/12-18-50.pdf>
- [4] PAŘILOVÁ a Hana ŠTOČKOVÁ. *Textilní zbožíznalství: Bytové textilie.* Druhé vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005.
- [5] Firma Condor: Spacáky [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.spacaky.cz/default.htm>
- [6] Příkrývky- deky.cz: Z výrobního procesu [online]. 2010 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.prikryvky-deky.cz/silanizovane-rouno-vyroba>
- [7] Hanibal sport: Slovník pojmů [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.hanibal.cz/poradna/slovník-pojmu/>
- [8] PrimaLoft: Insulation Technology [online]. 2012 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.primaloft.com/en/performance/home.html>
- [9] HRUŠKA, F. *Systém regulace a řízení parametrů tepelné pohody člověka.* Automatizace, ročník 44, 2011, s. 8.
- [10] ZELOVÁ, Katarína. *Oděvní materiály- rozdělení: 2. přednáška.* Liberec. Přednáška. Technická univerzita v Liberci, 2012.
- [11] KOVAČIČ, Vladimír. *Kapitoly z textilního zkušebnictví.* 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-823-X.
- [12] STANĚK, J.: *Nauka o textilních materiálech*, díl I., část 4., Vlastnost délkových a plošných textilií, VŠST, 1988.

- [13] MILITKÝ, Jiří a Jiří VANÍČEK. *Vlastnosti vláken: Přednáška 7. Geometrické a optické vlastnosti vláken* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska7.pdf>
- [14] ČSN P ENV 342 (83 27 60). Ochranné oděvy- Soupravy pro ochranu proti chladu.
- [15] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [16] KANALOŠOVÁ, J., *Univerzální trhací stroj INSTRON 4411*. Výzkumné centrum TUL Textil II: 2005- 2009 [online]. Liberec [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: [http://vct.tul.cz/prac\\_fyz\\_vl5.php](http://vct.tul.cz/prac_fyz_vl5.php)
- [17] SASKOVÁ, Pavlína. *Vlastnosti objemných netkaných textilií ve stlačení*. Liberec, 2002. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Oldřich Jirsák.
- [18] NECKÁŘ, B.: *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998.
- [19] KOŠKOVÁ, B., *Struktura a vlastnosti vláken*, skripta VŠST, Liberec, 1989.
- [20] CARNABY, G. A. a N. PAN. *Theory of the Shear Deformation of Fibrous Assemblies*. Textile Research Journal. roč. 62, s. 10.
- [21] BHARANITHARAN, R., J. PRIVATSKÁ a O. JIRSKÁK. *Modelování kompresních vlastností vysoce objemných materiálů*. Strutex. 2003, s. 5.
- [22] PEARCE, Nell a John SUMMERSCALES. *The compressibility of a reinforcement fabric*. Composites Manufacturing. 1995, č. 6.
- [23] Digitální tloušťkoměr: Přístroj SDL M034A. KOD TUL [online]. Liberec [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM1/Cviceni/TLOUSTKOMER.pdf>
- [24] WISZCZOROVÁ, Zuzana. *Vliv tepelně izolačních vlastností sendvičových struktur oděvních materiálů na stlačení*. Liberec, 2008. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Antonín Havelka.
- [25] SAZIMA, M. *Sdílení tepla*. SNTL. Praha 1993.



- [26] ŠUBERT, Radim. *Hodnocení tepelně- izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu*. Liberec, 2006. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Zdeněk Kůs.
- [27] TIRAtest Universal Testing Machines. Tira [online]. 2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://www.isi-be.eu/wp-content/uploads/2013/04/TIRAtest-Prospekt-engl\\_kd.2009.pdf](http://www.isi-be.eu/wp-content/uploads/2013/04/TIRAtest-Prospekt-engl_kd.2009.pdf)
- [28] LaborTech: *Zkušební trhací stroje* [online]. 2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/produkty/zkusebni-stroje/zkusebni-trhaci-stroje-elektromechanicke/250-1000kn-stojanove-provedeni/>
- [29] FAN, Hualin, Wei YANG a Qing ZHOU. *Experimental research of compressive response of multi-layered woven textile sandwich panels under quasi-static loading*. Science Direct. 2010, s. 6.
- [30] TIEST, Wouter M. Bergmann a Astrid M.L. KAPPERS. *Analysis of haptic perception of materials by multidimensional scaling and physical measurements of roughness and compressibility*. Science Direct. 2005, s. 10.
- [31] SHAKYAWAR, PATNI a GUPTA. *Studies on animal fibre blended handmade felts: part 2- frictional, compressional and thermal properties*. Indian Journal of fibre and Textile research. 2006. Dostupné z: [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/335/1/IJFTR%2032\(3\)%20\(2007\)%20301-305.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/335/1/IJFTR%2032(3)%20(2007)%20301-305.pdf)
- [32] DEBNATH, Sanjoy a M. MADHUSOOTHANAN. *Thermal insulation, compression and air permeability of polyester needle-punched nonwoven*. Indian Journal of Fibre and Textile Research. 2009. Dostupné z: <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/7670/1/IJFTR%2035%281%29%2038-44.pdf>
- [33] OUAHBI, OUAGNE, PARK a BRÉARD. *Simultaneous identification of preform permeability and compressibility*. 18 th International conference on composite materials. 2011, s. 4. Dostupné z: [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/65/80/48/PDF/full\\_Paper\\_HAL\\_2.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/65/80/48/PDF/full_Paper_HAL_2.pdf)



<http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/cviceni/OBRAZOV%C3%81%20ANAL%C3%9DZA%20A%201.pdf>

[46] Korelační a regresní analýza. Wikisofia: Portál pro tvorbu, ukládání a získávání studijních materiálů z oblasti humanitních věd [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: [http://wikisofia.cz/index.php/Korela%C4%8Dn%C3%AD\\_a\\_regresn%C3%AD\\_anal%C3%BDza](http://wikisofia.cz/index.php/Korela%C4%8Dn%C3%AD_a_regresn%C3%AD_anal%C3%BDza)

[47] Ergonomie ležení. Nábytkářský informační systém [online]. 2013 [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/ergonomie-lezeni/page/505/>

[48] ČSN EN 31092. Textilie. Zjišťování fyziologických vlastností. Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou). 1993.

[49] SMUTNÝ, Lubomír. *Snímače teploty: Současný stav a směry vývoje*. FCC Public: knihy a časopisy navazující na tradici české odborné literatury [online]. 2007, s. 18 [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34041](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34041)

[50] RŮŽIČKOVÁ, D.: *Oděvní materiály*. Skripta Technické univerzity v Liberci, Liberec 2003.

[51] Alambeta: Interní norma 23-304-02/01- Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta. [online]. Liberec [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/ALAMBETA1.pdf>

[52] Komfort: Optimální distribuci tlaku určuje X-Sensor. Linet [online]. Slaný, 2004 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.linet.cz/zdravotnicka-technika/o-spolecnosti/casopis-komfort/komfort-4-2004/26840/optimalni-distribuci-tlaku-urcuje-x-sensor>

[53] NOVÁK, Ondřej. *3D Netkané textilie ve zdravotnictví: Simulace chování matrací při zatěžování*. Liberec, 2010. Dostupné z: [http://www.ft.tul.cz/bulletin/statni\\_doktorske\\_zkousky\\_a\\_obhajoby/teze-Novak\\_2011.pdf](http://www.ft.tul.cz/bulletin/statni_doktorske_zkousky_a_obhajoby/teze-Novak_2011.pdf). Autoreferát disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Jaroslav Hanuš.

[54] Jak poznáme kvalitní peří. Prosport [online]. 2011 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.prosport.cz/yeti/technologie/164>

[55] KOMORI, T. a K. MAKISHIMA. *Numbers of fiber to fiber contacts in general fiber assemblies*. Textile Research Journal. 1977, roč. 47, s. 5.

[56] KOMORI, T. a M ITOH. *Theory of the general deformation of fiber assemblies*. Textile Research Journal. 1991, roč. 61, s. 8.

[57] KOMORI, T., M ITOH a A. TAKAKA. *A model analysis of the compressibility of fiber assemblies*. Textile Research Journal. 1992, roč. 62, s. 8.

[58] Technická univerzita v Liberci, Liberec. Zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstevných textilních kompozitů. Průvodce vynálezu: Antonín Havelka, Zdeněk Kůs, Milan Baxa. Pořadové číslo: E224165. Užitený vzor č. zápisu: UV0623CZ. Č. přihlášky PUV 2014-30445. 07. 09. 2014, datum zápisu: 15. 12. 2014

[59] Gao J., Pan N. a Yu W.. 2008. *Compression behavior evaluation of single down fiber and down fiber assemblies*. The Journal of Textile Institute. Vol. 101, No. 3, pp. 253- 260

[60] SONG, Guowen. 2011. *Improving comfort in clothing*. 1. New Delhi: Woodhead Publishing Limited. ISBN 978-84569-539-2.

[61] Technická univerzita v Liberci, Liberec. Zařízení pro měření stlačitelnosti objemných textilních struktur. Průvodce vynálezu: Viera Glombíková. Užitený vzor č. zápisu: 25543., datum přijetí: 17. 6. 2013

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 Vedení tepla kondukcí [15] .....	26
Obr. č. 2 Přestup tepla konvekcí [15] .....	26
Obr. č. 3 Schéma přístroje Alambeta [51] .....	33
Obr. č. 4 Přístroj Togmetr [34] .....	33
Obr. č. 5 Přístroj C- Therm [38] .....	34
Obr. č. 6 Přístroj SGHP [35] .....	34
Obr. č. 7 Tloušťkoměr SDL M034A [23] .....	38
Obr. č. 8 Detail přítlačné patky [23] .....	39
Obr. č. 9 Přístroj Labtest 5.250SP1 [28] .....	39
Obr. č. 10 Přístroj Instron 4411 [16] .....	40
Obr. č. 11 Přístroj Tiratest [27] .....	40
Obr. č. 12 Tlaková podložka X- Senzor [47] .....	44
Obr. č. 13 Zařízení na měření stlačitelnosti [30] .....	48
Obr. č. 14 Schéma Hydro-mechanical loading device [33] .....	49
Obr. č. 15 Zařízení pro měření stlačitelnosti .....	55
Obr. č. 16 Zařízení na stlačování- bez zatížení .....	55
Obr. č. 17 Zařízení na stlačování- zatížené .....	55
Obr. č. 18 Stlačitelnost [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 200 Pa .....	58
Obr. č. 19 Stlačitelnost [%] materiálu Climashield XP/Apex při tlaku 200 Pa .....	59
Obr. č. 20 Stlačitelnost [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 320 Pa .....	59
Obr. č. 21 Stlačitelnost [%] materiálu Climashield XP/Apex při tlaku 320 Pa .....	60
Obr. č. 22 Relaxace R [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 200 Pa .....	61
Obr. č. 23 Relaxace R [%] materiálu Climashield XP/Apex a HL při tlaku 200 Pa .....	61
Obr. č. 24 Relaxace R [%] materiálu Primaloft Sport při tlaku 320 Pa .....	62
Obr. č. 25 Relaxace R [%] materiálu Climashield XP/Apex a HL při tlaku 320 Pa .....	62

Obr. č. 26 Zařízení KOD TUL- zjišťování tepelného odporu .....	65
Obr. č. 27 Korelační analýza- tepelný odpor $R_{ct}$ mezi zařízením SGHP a KOD TUL .....	66
Obr. č. 28 Zařízení pro únavové testování textilií a vícevrstevných kompozitů [58] .....	67
Obr. č. 29 Tlaková mapa- rozložení tlaků popruhů batohu v místě ramen probanda .....	68
Obr. č. 30 Tloušťka materiálu [mm] měřená při různých tlacích .....	69
Obr. č. 31 Porovnání stlačitelnosti S [%] a změny tepelného odporu $R_{ct}$ [ $m^2K/W$ ] .....	71
Obr. č. 32 Závislost mezi stlačitelností S [%] a tepelného odporu $R_{ct}$ [%].....	71

## Seznam tabulek

Tab. č. 1 Porovnání deklarované a skutečné plošné hmotnosti [ $g/m^2$ ] .....	54
Tab. č. 2 Čas relaxace a namáhání, Velikost působícího tlaku .....	56
Tab. č. 3 Stlačitelnost S [%] a změna tepel. odporu [%] vzorků .....	70

## Seznam příloh

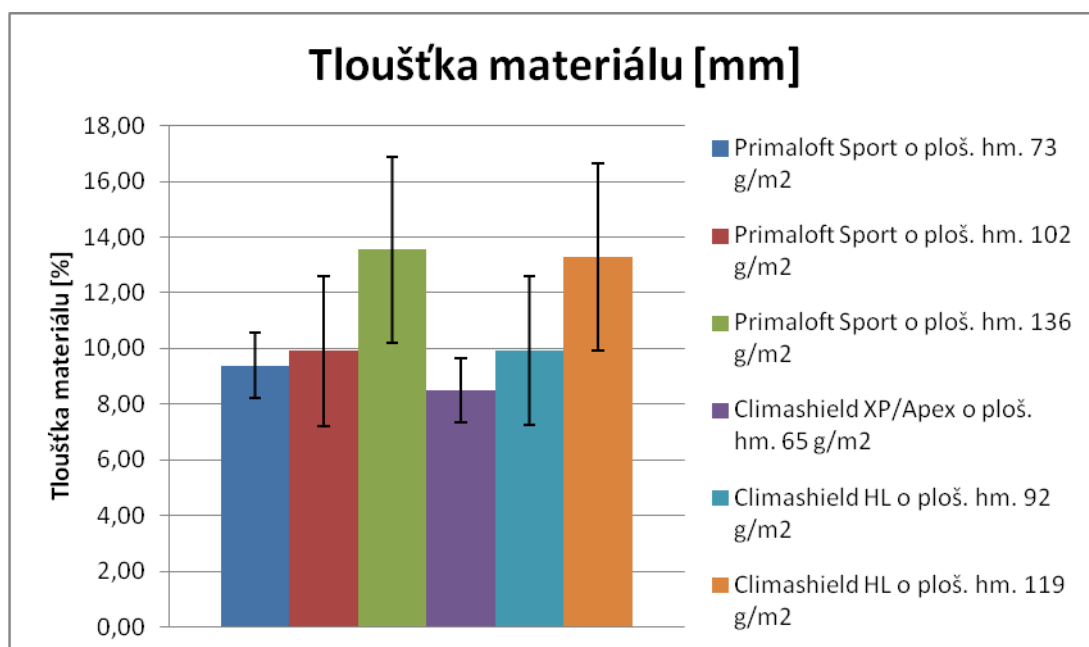
Příloha č. 1- Vyhodnocení experimentu stlačitelnosti .....	87
Příloha č. 2- Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti- rozdíl mezi naměřenými hodnotami tepelného odporu $R_{ct}$ na přístroji SGHP a zařízení KOD TUL ...	92
Příloha č. 3- Vyhodnocení expert. vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti .....	93

## Přílohová část

## Příloha č. 1- Vyhodnocení experimentu stlačitelnosti

Tloušťka materiálu [mm]						
Materiál	Primaloft Sport			Climashield XP/Apex a HL		
Deklarovaná plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]	73	102	136	65	92	119
Průměr [mm]	9,39	9,91	13,54	8,48	9,93	13,29
Rozptyl [mm <sup>2</sup> ]	2,89	15,21	23,47	2,73	14,81	23,45
Směrod. odchylka [mm]	1,70	3,90	4,84	1,65	3,85	4,84
Variační koeficient [%]	18,11	39,36	35,77	19,50	38,78	36,44
95% interval spolehlivosti [mm]	8,21- 10,57	7,20- 12,61	10,19- 16,90	7,33- 9,63	7,26- 12,59	9,93- 16,64

Tab. č. 1 Průměrná tloušťka [mm] testovaných materiálů



Obr. č. 1 Průměrná tloušťka [mm] testovaných materiálů

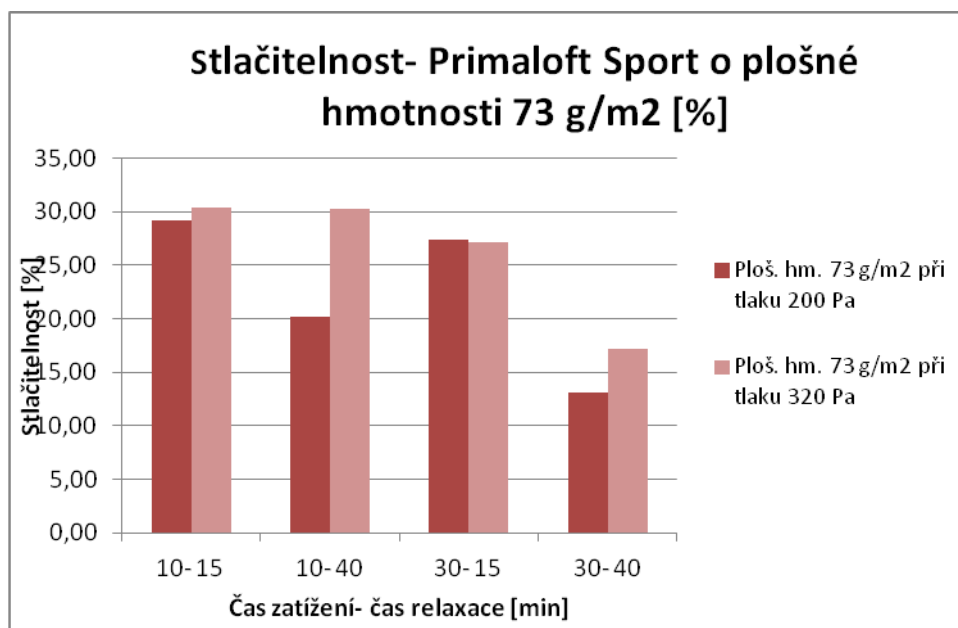
Čas zatížení- Čas relaxace [min]	Stlačitelnost [%] při tlaku 200 Pa					
	Primaloft Sport			Climashield XP/Apex a HL		
Materiál						
Plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]	<b>73</b>	<b>102</b>	<b>136</b>	<b>65</b>	<b>92</b>	<b>119</b>
10 min zatížení- 15 min relaxace	29,25	25,37	26,97	26,50	29,79	19,67
10 min zatížení- 40 min relaxace	20,15	25,05	19,13	20,10	23,53	16,12
30 min zatížení- 15 min relaxace	27,44	16,70	29,63	25,41	29,34	26,28
30 min zatížení- 40 min relaxace	13,15	17,96	18,59	20,00	26,07	22,71

Tab. č. 2 Přehled stlačitelnosti [%] při tlaku 200 Pa materiálu Primaloft Sport a Climashield XP/Apex a HL při kombinaci různého času zatížení a relaxace

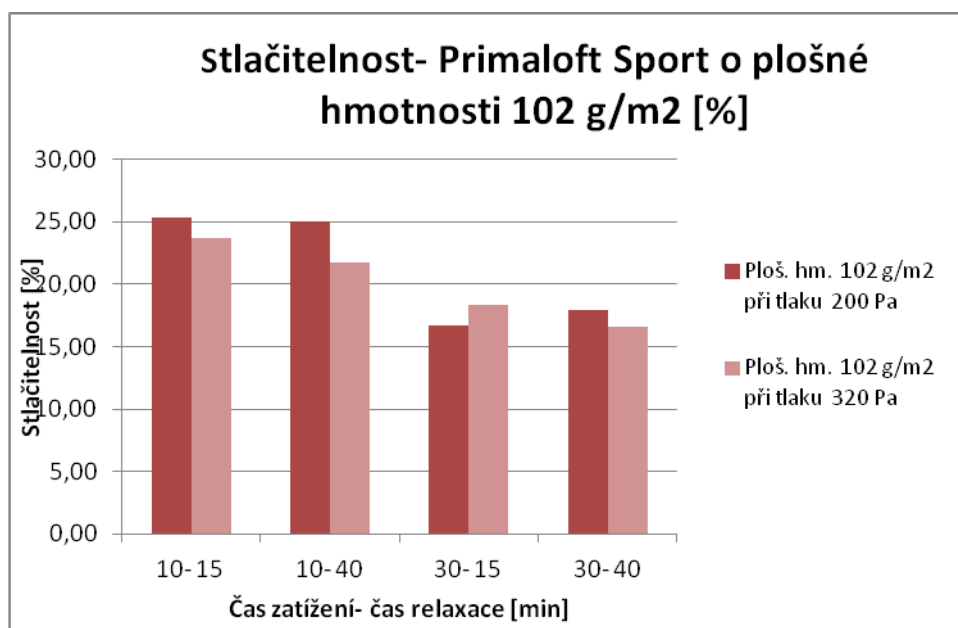
Čas zatížení- Čas relaxace [min]	Stlačitelnost [%] při tlaku 320 Pa					
	Primaloft Sport			Climashield XP/Apex a HL		
Materiál						
Plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]	<b>73</b>	<b>102</b>	<b>136</b>	<b>65</b>	<b>92</b>	<b>119</b>
10 min zatížení- 15 min relaxace	30,45	23,66	11,42	36,61	32,137	28,43
10 min zatížení- 40 min relaxace	30,25	21,69	9,5	18,97	26,58	16,14
30 min zatížení- 15 min relaxace	27,18	18,33	15,55	23,41	30,28	24,89
30 min zatížení- 40 min relaxace	17,21	16,59	8,77	20,15	27,11	22,93

Tab. č. 3 Přehled stlačitelnosti [%] při tlaku 320 Pa materiálu Primaloft Sport a Climashield XP/Apex a HL při kombinaci různého času zatížení a relaxace

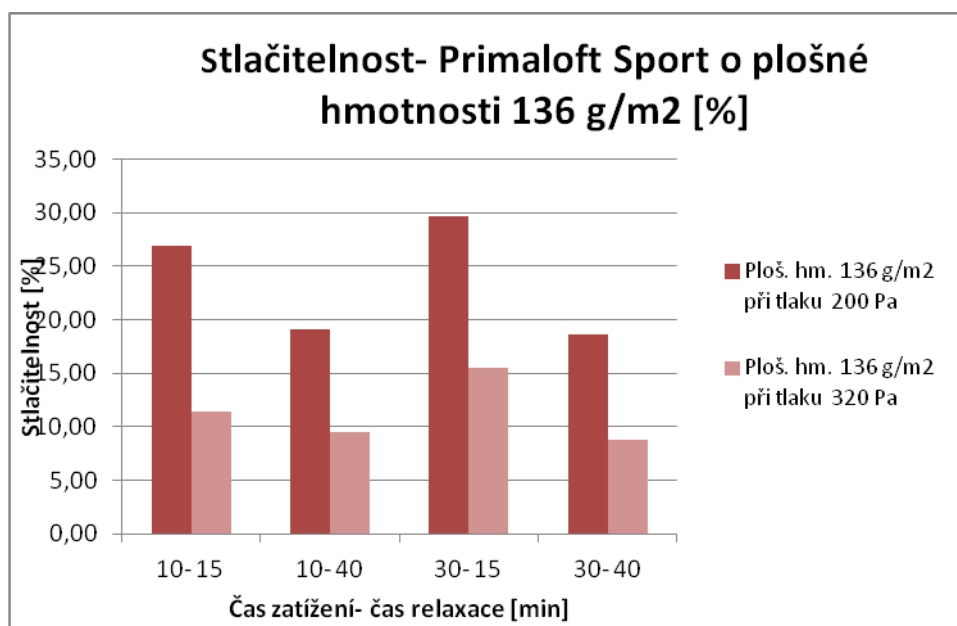




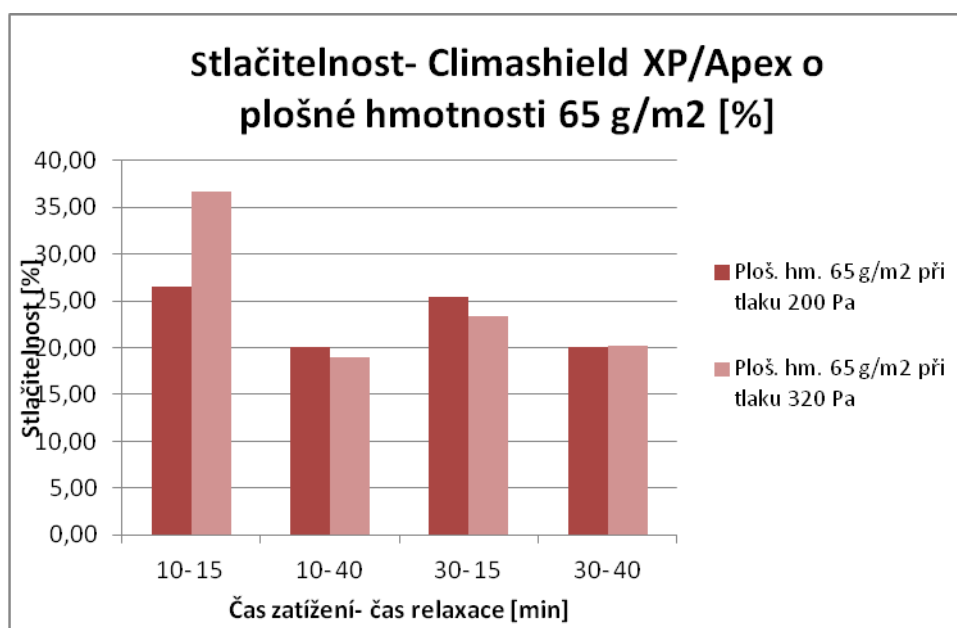
Obr. č. 2 Porovnání stlačitelnosti materiálu Primaloft Sport o pl. hm. 73 g/m<sup>2</sup> při rozdílných přítlacích (200 Pa a 320 Pa)



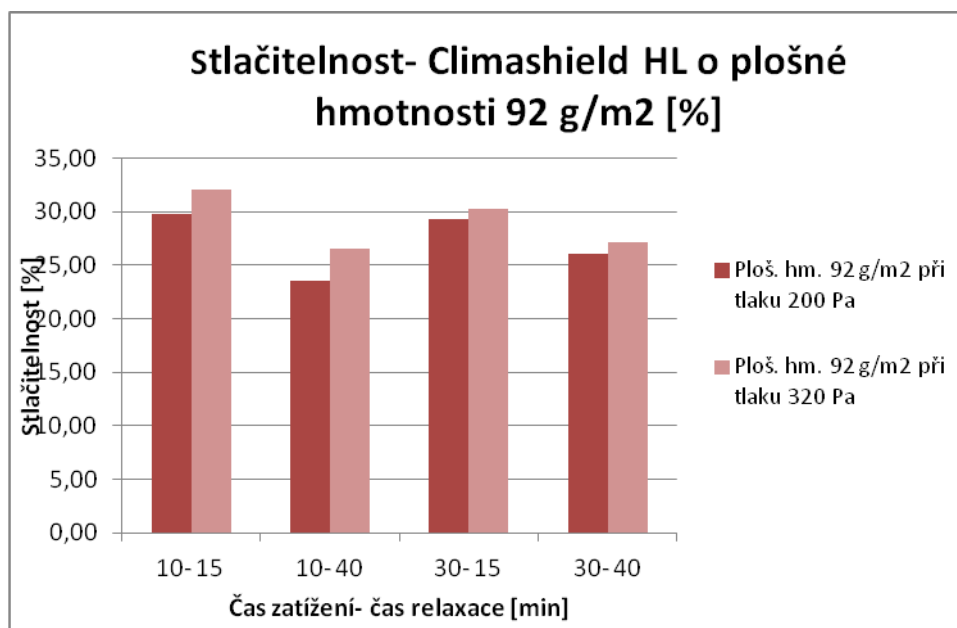
Obr. č. 3 Porovnání stlačitelnosti materiálu Primaloft Sport o pl. hm. 102 g/m<sup>2</sup> při rozdílných přítlacích (200 Pa a 320 Pa)



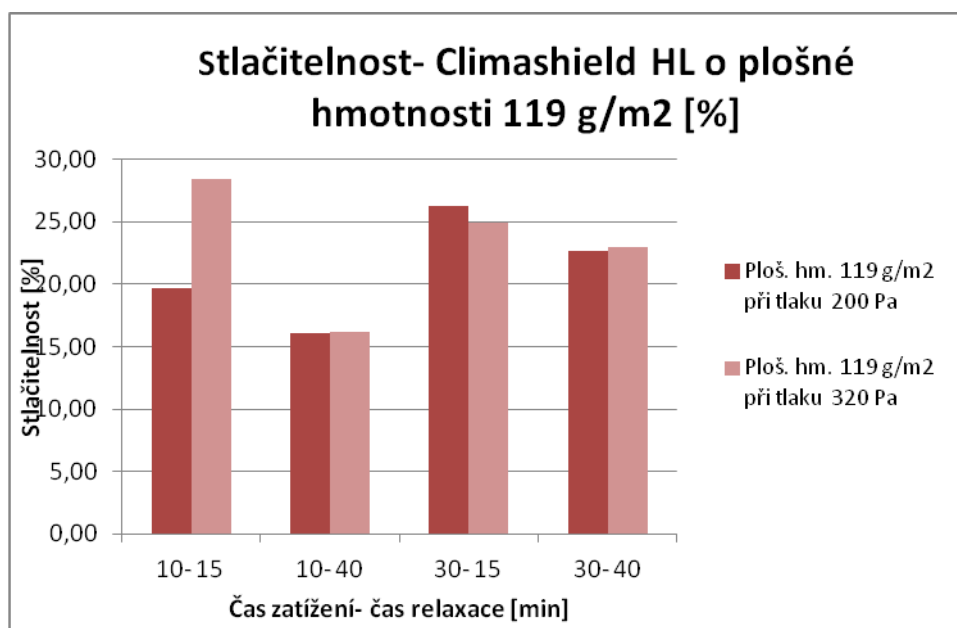
Obr. č. 4 Porovnání stlačiteľnosti materiálu Primaloft Sport o pl. hm. 136 g/m<sup>2</sup> při rozdílných přitlacích (200 Pa a 320 Pa)



Obr. č. 5 Porovnání stlačiteľnosti materiálu Climashield XP/Apex o pl. hm. 65 g/m<sup>2</sup> při rozdílných přitlacích (200 Pa a 320 Pa)



Obr. č. 6 Porovnání stlačitelnosti materiálu Climashield HL o pl. hm. 92 g/m<sup>2</sup> při rozdílných přítlacích (200 Pa a 320 Pa)



Obr. č. 7 Porovnání stlačitelnosti materiálu Climashield HL o pl. hm. 119 g/m<sup>2</sup> při rozdílných přítlacích (200 Pa a 320 Pa)

**Příloha č. 2- Experiment vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti- rozdíl mezi naměřenými hodnotami tepelného odporu  $R_{ct}$  na přístroji SGHP a zařízení KOD TUL**

<b>Tepelný odpor <math>R_{ct}</math> [<math>m^2K/W</math>]- zařízení KOD TUL</b>						
<b>Materiál</b>	<b>Climashield XP/Apex</b>			<b>Primaloft Sport</b>		
<b>Plošná hmotnost [<math>g/m^2</math>]</b>	<b>65</b>	<b>92</b>	<b>119</b>	<b>73</b>	<b>102</b>	<b>136</b>
<b>Průměr [<math>m^2K/W</math>]</b>	0,1734	0,1754	0,2565	0,1736	0,2238	0,2649
<b>Rozptyl [<math>(m^2K/W)^2</math>]</b>	0,0009	0,0014	0,0002	0,0000	0,0002	0,0009
<b>Směrodatná odchylka [<math>m^2K/W</math>]</b>	0,0305	0,0379	0,0125	0,0052	0,0157	0,0299
<b>Variační koeficient [%]</b>	17,5918	21,5759	4,8726	3,0169	7,0152	11,2844
<b>95% interval spolehlivosti [<math>m^2K/W</math>]</b>	0,1389- 0,2079	0,1326- 0,2183	0,2424- 0,2707	0,1677- 0,1795	0,2060- 0,2416	0,2311- 0,2988

Tab. č. 4 Průměrný tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2K/W$ ] naměřený na zařízení KOD TUL

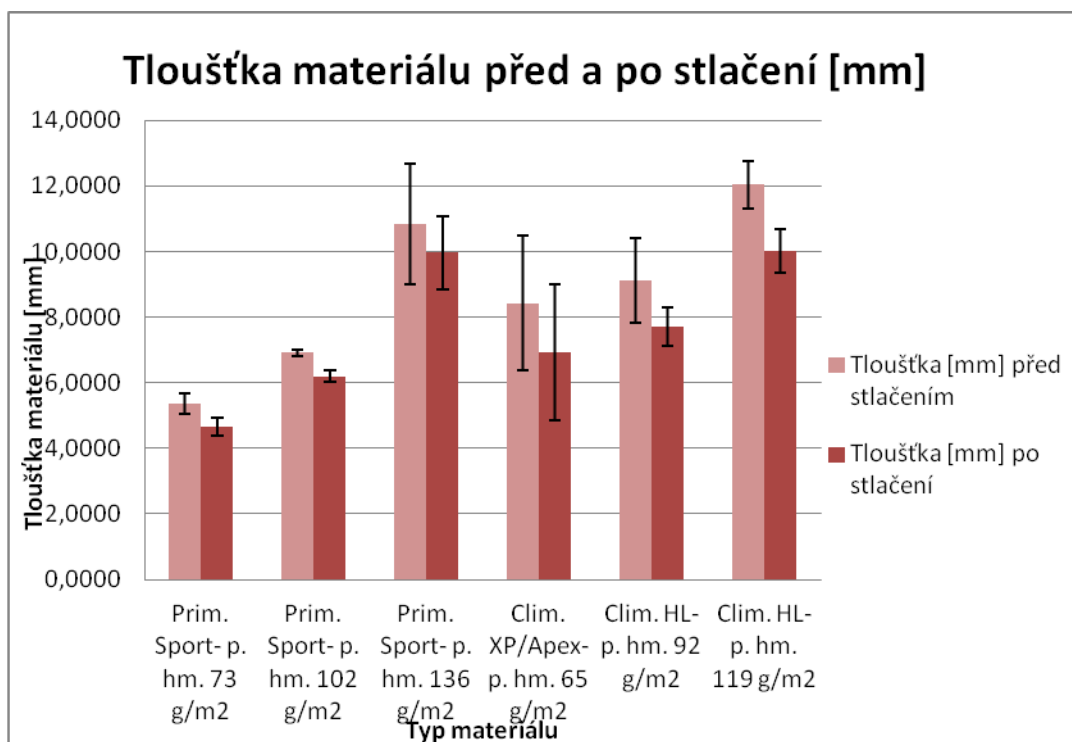
<b>Tepelný odpor <math>R_{ct}</math> [<math>m^2K/W</math>]- přístroj SGHP</b>						
<b>Materiál</b>	<b>Climashield XP/Apex</b>			<b>Primaloft Sport</b>		
<b>Plošná hmotnost [<math>g/m^2</math>]</b>	<b>65</b>	<b>92</b>	<b>119</b>	<b>73</b>	<b>102</b>	<b>136</b>
<b>Průměr [<math>m^2K/W</math>]</b>	0,1956	0,1724	0,2810	0,2170	0,2597	0,3219
<b>Rozptyl [<math>(m^2K/W)^2</math>]</b>	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001
<b>Směrodatná odchylka [<math>m^2K/W</math>]</b>	0,0079	0,0086	0,0154	0,0089	0,0060	0,0103
<b>Variační koeficient [%]</b>	4,0199	5,0114	5,4917	4,0811	2,3017	3,2072
<b>95% interval spolehlivosti [<math>m^2K/W</math>]</b>	0,1867- 0,2045	0,1626- 0,1821	0,2635- 0,2984	0,2069- 0,2270	0,2529- 0,2665	0,3102- 0,335

Tab. č. 5 průměrný tepelný odpor  $R_{ct}$  [ $m^2K/W$ ] naměřený na přístroji SGHP

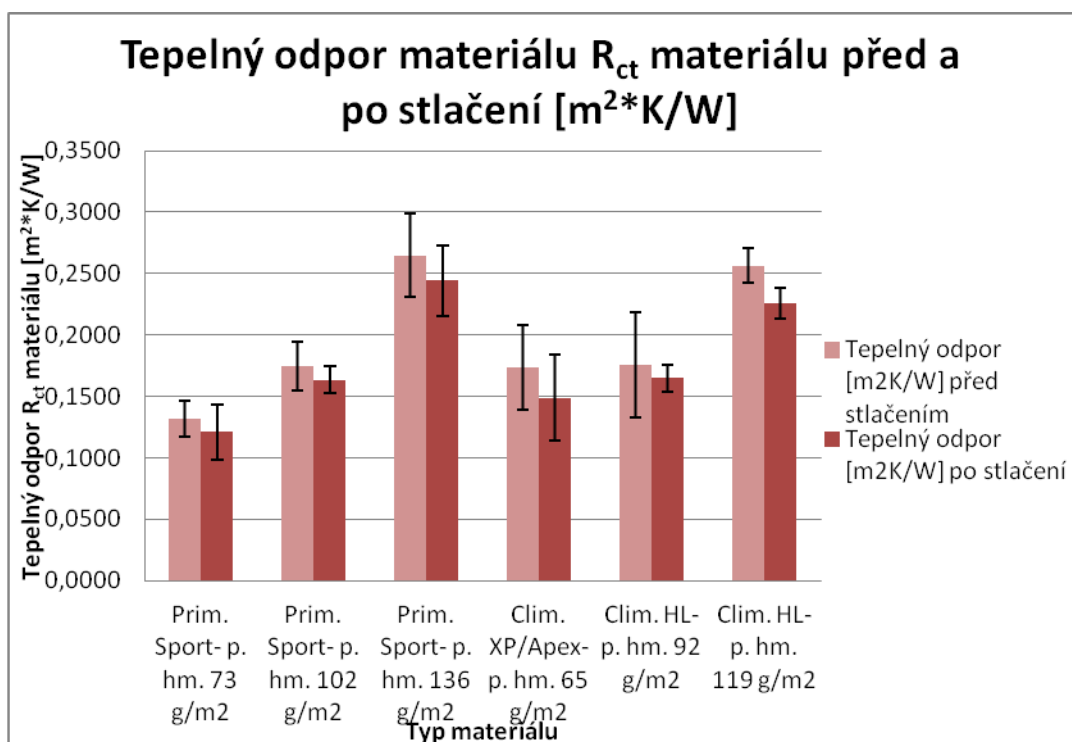
### Příloha č. 3- Vyhodnocení experimentu vlivu stlačitelnosti na tepelně- izolační vlastnosti

Materiál		Primaloft Sport			Climashield XP/Apex a HL		
Plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]		73	102	136	65	92	119
Tloušťka [mm] před stlačením	Průměr [mm]	5,3700	6,9100	10,8467	8,4200	9,1167	12,0467
	Rozptyl [mm <sup>2</sup> ]	0,0732	0,0097	2,6150	3,3075	1,2890	0,4034
	Směr. odch. [mm]	0,2706	0,0985	1,6171	1,8187	1,1354	0,6352
	Variační koeficient [%]	5,0383	1,4253	14,9088	21,5992	12,4536	5,2725
	95% interval spoleh. [mm]	5,0638- 5,6762	6,7986- 7,0214	9,0168- 12,6766	6,3620- 10,4780	7,8319- 10,4014	11,3279- 12,7654
Tepelný odpor R <sub>ct</sub> [m <sup>2</sup> K/W] před stlačením	Průměr [mm]	0,1316	0,1748	0,2648	0,1734	0,1754	0,2565
	Rozptyl [mm <sup>2</sup> ]	0,0002	0,0003	0,0009	0,0009	0,0014	0,0002
	Směr. odch. [mm]	0,0130	0,0175	0,0301	0,0305	0,0379	0,0125
	Variační koeficient [%]	9,9166	10,0034	11,3522	17,5918	21,5759	4,8726
	95% interval spoleh. [mm]	0,1168- 0,1463	0,1550- 0,1946	0,2308- 0,2989	0,1389- 0,2079	0,1326- 0,2183	0,2424- 0,2707
Tloušťka [mm] po stlačení	Průměr [mm]	4,6600	6,2033	9,9767	6,1000	8,0100	10,3400
	Rozptyl [mm <sup>2</sup> ]	0,0547	0,0242	0,9712	2,7378	0,0200	0,0722
	Směr. odch. [mm]	0,2339	0,1557	0,9855	1,6546	0,1414	0,2687
	Variační koeficient [%]	5,0189	2,5095	9,8782	27,1251	1,7656	2,5987
	95% interval spoleh. [mm]	4,3953- 4,9247	6,0272- 6,3795	8,8615- 11,0919	4,8411- 8,9855	7,1405- 8,2995	9,3665- 10,6802
Tepelný odpor R <sub>ct</sub> [m <sup>2</sup> K/W] po stlačení	Průměr [mm]	0,1209	0,1631	0,2442	0,1489	0,1647	0,2258
	Rozptyl [mm <sup>2</sup> ]	0,0004	0,0001	0,0006	0,0010	0,0001	0,0001
	Směr. odch. [mm]	0,0200	0,0097	0,0254	0,0308	0,0097	0,0110
	Variační koeficient [%]	16,5730	5,9294	10,3894	20,7036	5,8862	4,8880
	95% interval spoleh. [mm]	0,0982- 0,1436	0,1522- 0,1741	0,2155- 0,2729	0,1140- 0,1838	0,1538- 0,1757	0,2133- 0,2383

Tab. č. 6 Základní statistika hodnot tloušťky [mm] a tepelného odporu R<sub>ct</sub> [m<sup>2</sup>K/W] před a po stlačení



Obr. č. 8 Porovnání tloušťky materiálu před a po stlačení [mm]



Obr. č. 9 Porovnání tepelného odporu  $R_{ct}$  [ $m^2K/W$ ] před a po stlačení