



Měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů v proudícím vzduchu

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Radka Lamková**
Vedoucí práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.





Measurement of the thermal insulation properties of clothing materials in steaming air

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Technology
Author: **Bc. Radka Lamková**
Supervisor: Ing. Petra Komárková, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radka Lamková**
Osobní číslo: **T14000018**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů
v proudícím vzduchu**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

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

1. Rešerše zaměřená na tepelně izolační vlastnosti oděvních materiálů za extrémních klimatických podmínek a možnosti jejich měření. Uveďte současný stav dané problematiky.
2. Analýza možností měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů v proudícím vzduchu pomocí zařízení modelu lidské paže umístěném na katedře oděvnictví.
3. Návrh experimentu zaměřeného na testování tepelně izolačních vlastností vybraných druhů oděvních materiálů v proudícím vzduchu. Možnosti porovnání získaných výsledků s jinými metodami měření tepelně izolačních vlastností textilií.
4. Vyhodnocení experimentu a formulace doporučení pro optimalizaci metody měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů v proudícím vzduchu.



Rozsah grafických prací: **dle rozsahu dokumentace**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:


- Hes L., Sluka P. Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL, 2005
- Li Y. The Science Of Clothing Comfort. Textile Progress. Volume 31, Issue 1-2, March 2001, pages 1-135
- Farnworth B. Mechanisms of Heat Flow Through Clothing Insulation Textile Research Journal December 1983 53: 717-725, doi:10.1177/004051758305301201
- Šubert R. Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu, disertační práce, TUL, 2006

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petra Komárková, Ph.D.**
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: **11. listopadu 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. listopadu 2015

Žádost o změnu termínu odevzdání závěrečné práce

Jméno a příjmení: ZADKA LAMKOVÁ

Osobní číslo: T14000018

Studijní program: TEXTILNÍ INŽENÝŘSTVÍ

Studijní obor: ODĚVNÍ A TEXTILNÍ TECHNOLOGIE (OTT)

Zadávací katedra: KATEDRA ODĚVNICTVÍ

Žádám o změnu termínu odevzdání ^{diplomové} ~~bakalářské~~ práce z LS 2015-16 na LS 2016-17

Odůvodnění žádosti:

VÝJEZD NA ERASMUS (LS 2015-16)

V PRAZE dne 29.02.2016

Podpis:

Vyjádření vedoucího práce:

Souhlasím. Jovučka

Vyjádření vedoucího katedry:

Saw



21.3.2016

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra oděvnictví ①



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

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí diplomové práce **Ing. Petře Komárkové Ph.D** za čas strávený nad touto diplomovou prací, za její cenné rady, vstřícný přístup a trpělivost. Zároveň bych ráda poděkovala Ing. Evě Hercíkové za rady s měřením na přístroji Aerodynamickém tunelu a Ing. Michalu Chotěborovi za ochotu a pomoc s testováním na přístroji SGHP a TCi. Dále panu Gerhardu Geislerovi za poskytnutí dostupných materiálů k přístroji Aerodynamický tunel. V neposlední řadě děkuji přátelům a především své rodině za neustálou podporu v průběhu celého studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá v první části způsoby a metodami měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů za extrémních klimatických podmínek. Následně jsou shrnuty i výsledky průzkumů v dané oblasti, které již byly dříve provedeny. Tato práce se věnuje také popisu zařízení Aerodynamický tunel. V další části je navržen a popsán experiment, jenž zkoumá měření tepelně izolačních vlastností tohoto přístroje. Měřeny jsou vzorky oděvních materiálů určených pro pracovní oděvy. Cílem práce je vyhodnotit metodu měření přístroje Aerodynamický tunel, zhodnotit zkoumaný materiál a zjistit, zda je možné tuto metodu porovnat s dalšími zkoumanými metodami měření.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Tepelně izolační vlastnosti, Aerodynamický tunel, hustota tepelného toku, oděvní komfort, měření tepelně izolačních vlastností v proudícím vzduchu.

ANNOTATION

The diploma thesis deals with the first part ways and methods of measuring the thermal insulation properties of clothing materials under extreme climatic conditions. Subsequently, the results of surveys in the area that have already been carried out are summarized. This work also deals with the description of the Aerodynamic Tunnel. In the next part, an experiment is designed and described which examines the measurement of the thermal insulation properties of this device. Samples of garments designed for work clothes are measured. The aim of the work is to evaluate the Aerodynamic Tunnel measurement method, to assess the studied material and to find out whether it is possible to compare this approach with the other methods of measurement investigated.

KEY WORDS:

Thermal insulation properties, Aerodynamic tunnel, heat flux density, clothing comfort, measurement of thermal insulation properties in steaming air.

OBSAH

ÚVOD	8
REŠERŠNÍ ČÁST	9
2. Termofyziologický komfort	9
2.1 Podmínky termofyziologického komfortu.....	9
2.2 Vliv proudícího vzduchu	10
3. Termoregulace.....	13
4. Tepelná izolace.....	13
5. Způsoby sdílení tepla	14
5.1 Přenos tepla mezi člověkem a okolím	14
7. Hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií.....	18
7.1 Tepelná vodivost.....	18
7.2 Tepelný odpor.....	19
7.3 Tepelná kapacita	20
7.4 Teplotní vodivost.....	21
7.5 Tepelná jímavost.....	21
8. Přístroje a metody pro měření tepelně izolačních vlastností.....	22
9. Výzkum tepelně izolačních vlastností.....	37
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
10. Výběr textilních materiálů pro experiment	46
11. Charakteristika použitého materiálu.....	52
12. Návrh a realizace experimentu	60
12.1 Přístroj Aerodynamický (větrný) tunel.....	60
12.2 Přístroj Thermal Conductivity Analyzer C-Therm (TCi).....	75
12.3 Přístroj Sweating Guarded Hot Plate (SGHP).....	77
12.4 Přístroj FOX 314 Instruments.....	78
13. Vyhodnocení experimentu	81
14 Diskuze výsledků	84
ZÁVĚR	94
LITERATURA	97
SEZNAM OBRÁZKŮ	101
SEZNAM TABULEK	102
SEZNAM GRAFŮ	102
SEZNAM PŘÍLOH	103
Příloha č.1: Tloušťka materiálu	104

Příloha č.2: Přístroj Aerodynamický (větrný) tunel	105
Příloha č.3: Přístroj TCi.....	130
Příloha č.4: Přístroj SGHP	131
Příloha č.5: Přístroj FOX 314	133

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

značka veličiny	jednotka	název veličiny
W	[°C]	Wind chill teplotní index
T	[°C]	teplota
v	[m/s]	rychlost proudění vzduchu
R	[m ² ·K/W]	tepelný odpor
h	[mm]	tloušťka materiálu
λ	[W/m·K]	měrná tepelná vodivost
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
d	[m]	charakteristický rozměr objektu
ν	[m ² /s]	dynamická viskozita tekutiny
q	[W/m ²]	hustota tepelný tok
Q	[J]	množství tepla
grad T	[K·m ⁻¹]	teplotní spád
τ	[s]	čas
S	[m ²]	plocha textilie
α _c	[W/m ² ·K]	koeficient přestupu tepla
c	[m/s]	rychlost šíření vlny
b	[W·m ⁻² ·K ⁻¹ ·s ^{1/2}]	tepelná jímavost
c	[J·K ⁻¹ ·kg ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
α	[m ² s ⁻¹]	součinitel teplotní vodivosti
P	[kW]	elektrický výkon
p	[m ² s ⁻¹]	tlak vzduchu
RH	[%]	relativní vlhkost
k	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	koeficient tepelné vodivosti
D _{os} , D _{út}	[nití/10 cm]	dostava osnovy, útku

H_{sl}, H_f	[m]	hustota sloupku, řádku
T_1, T_n	[-]	koefficienty Grubbsova testu

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AM	asynchronní motor
PC	počítač
A0	alfa sonda
Al	hliník
Cu	měď
Mg	magnezium
Mn	mangan
CO	bavlna
PES	polyester
PAD	polyamid
PES	polyester
ls	lící strana
rs	rubní strana
č.	číslo
např.	například
obr.	obrázek
ISO	International Organization for Standardization

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá tepelně izolačními vlastnostmi, ovlivněnými faktorem proudění vzduchu. Tepelně izolační materiál lze popsat jako materiál, jenž brání průchodu tepla do okolí. Materiál však sám o sobě nedokáže hrát. Pro teplo a jeho udržení je důležité využít izolantů, a to nejčastěji vzduchu, jelikož s jeho pomocí lze zajistit termofyziologický komfort nositeli a ochránit tak jeho mikroklima. Dobrá nebo výborná tepelná izolace je požadována nejen v chladném počasí, ale také při větrných vnějších podmínkách.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí. Část rešeršní je zaměřena na tepelně izolační vlastnosti a možnosti jejich měření. V rešerši jsou vypsány vybrané měřicí přístroje a metody, jimiž se testují tepelně izolační vlastnosti. Jsou zde uvedeny metody jak původní, tak i nové, které jsou stále ve vývoji. Dále jsou v diplomové práci uvedeny průzkumy a studie, jež se zabývaly měřením těchto vlastností s uvedením závěrů, které byly v těchto výzkumech zjištěny.

Druhá, praktická část práce se zabývá experimentem, jeho vytvořením, provedením a vyhodnocením. Pro experiment bylo dále stanoveno, že bude měřen na oděvních materiálech určených pro pracovní oděv. U tohoto oděvu jsou požadovány dobré tepelně izolační vlastnosti pro zajištění komfortu nositeli, a to nejen při práci, ale i odpočinku. Jelikož absence těchto faktorů u pracovního oděvu ovlivňuje i pracovní výkonnost nositele. Dalším důvodem je, že pracovník je vystaven při své práci různým vnějším klimatickým podmínkám, kterým musí pracovní oděv čelit, a to pomocí materiálu, který lze vybrat z rozsáhlé škály variant, jež lze použít v jednotlivých vrstvách systému oděvu.

Materiál bude dále měřen na zvolených přístrojích. Jedná se o normované přístroje, které jsou v dnešní době velmi používané, a také o zařízení, jež je stále ve vývoji. Experiment bude proveden na zařízeních Aerodynamický tunel, Thermal Conductivity Analyser (TCi), Sweating Guarded Hotplate (SGHP), Fox 314 Instrument (FOX 314).

Cílem práce je provést analýzu měření nejen u zařízení Aerodynamický tunel, ale také u ostatních uvedených přístrojů spolu s vyhodnocením měřeného materiálu. To znamená, že se bude dále zjišťovat, jaký druh materiálu z vybrané kombinace vzorků má tepelně izolační vlastnosti a je vhodný pro testování na daném přístroji a jaký materiál naopak vhodný není. Dále bude zjištěna možnost, zda lze měření na zařízení Aerodynamický tunel porovnat s ostatními přístroji, nebo zda to možné není.

REŠERŠNÍ ČÁST

2. Termofyziologický komfort

Oděvní komfort je prof. Hesem definován jako stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce v optimu a okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Jedná se tedy o stav s absencí znepokojujících a bolestivých vjemů. [1]

Termofyziologický komfort, je jednou z částí funkčního komfortu, který je zaměřen na tepelně-izolační vlastnosti a konstrukci textilie. Souvisí s transportními vlastnostmi vzduchu, kapalnou vlhkostí a teplem společně s prouděním vzduchu. Zajišťuje vyváženou tepelnou bilanci organismu, ochraňuje proti chladu a teplu, odvádí vlhkost. Jinými slovy termofyziologický komfort je subjektivním pocitem člověka, který produkuje takové množství tepla, které současně transportuje do okolí bez zapojení termoregulačních mechanismů. [8]

2.1 Podmínky termofyziologického komfortu

Pro zajištění tepelné pohody, nebo-li termofyziologického komfortu, musí být splněny tyto podmínky[1]:

- teplota pokožky 33-35 °C
- relativní vlhkost (RH) vzduchu 50±10%
- rychlost proudění vzduchu 25±10 cm.s⁻¹
- obsah CO₂ v mikroklimatu 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce

Jde o stav člověka při normálním prokrvení organismu bez potu a pocitu chladu v podmínkách, kdy organismus nemusí regulovat tělesnou teplotu lidského těla a nedochází k termoregulaci. Dosažení stavu termofyziologického komfortu je pro každého jednotlivce značně individuální a závislé na pohlaví, stáří, psychické a fyzické kondici každého jedince. [1][3]

Klesne-li teplota v prostředí, dostavuje se u odpočívajícího člověka pocit chladu. Tomuto pocitu může být zabráněno vhodně zvoleným oblečením, které dokáže zpomalit odvádění vyprodukované tepla. Oděv tak tělu pomáhá udržet nejen tepelnou rovnováhu, ale dává organismu i pocit pohodlí, kdy kolem těla vytvoří určité mikroklima. To je závislé jednak na tepelném stavu organismu, klimatických změnách vnějšího prostředí a na

vlastnostech oděvu (na střihu, fyzikálně-chemických vlastnostech textilních materiálů a počtu vrstev). [22] Za extrémních klimatických podmínek lze dosáhnout tepelné pohody jen velmi obtížně. To je dáno tím, že při těchto situacích je lidské tělo, především jeho oděv vystaven extrému, na který musí reagovat okamžitě. Oděv má ve většině případů funkci ochrannou, má tedy chránit lidské tělo před klimatickými podmínkami, mezi které se řadí i vítr - významný ochlazující faktor. [3]

Pro další zkoumání byla vybrána problematika proudění vzduchu za vysoké rychlosti. K tomuto rozhodnutí bylo přistoupeno díky vybrané testovací aparatuře -aerodynamickému (větrnému) tunelu, na kterém lze v laboratorních podmínkách nasimulovat podmínky proudění vzduchu ve vysokých rychlostech.

2.2 Vliv proudícího vzduchu

Tepelný komfort, který člověk pociťuje ve venkovním prostředí, je závislý nejen na teplotě okolí, ale i na jeho relativní vlhkosti, intenzitě slunečního záření a rychlosti větru. S charakterem a rychlostí proudění okolního vzduchu je úzce spojena tepelná ztráta způsobená nucenou konvekcí. Výši této tepelné ztráty organismu má na svědomí turbulentně proudící vzduch. Jeho jednotlivé části se intenzivně mísí a dochází tak ke zmenšení tloušťky tepelné mezní vrstvy (mikroklimatu). Z hlediska termofyziologického komfortu jsou ideálními rychlostmi proudění vzduchu okolo lidského těla v rozmezí hodnot $0,25 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tohoto stavu je dosaženo ve venkovním prostředí jen málokdy. [3]

Rychlost větru v nárazech běžně dosahuje hodnot $10-15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mimo této pasivní role větru je člověk schopen aktivně vytvářet proudění vzduchu kolem sebe, a to svým pohybem, jako např.: při běhání. U této činnosti je lidské tělo podrobena zvýšené svalové zátěži a tedy významné produkci tepla. Avšak jsou aktivity, u kterých nelze dosáhnout tak výrazné produkce tepla např. při sjezdovém lyžování. Při těchto činnostech je vybraný oděv a jeho dobře zvolené tepelně-izolační vlastnosti jednou z nezbytných podmínek, jak dosáhnout termofyziologického komfortu, i když teplota vzduchu je nízká. Lidský organismus oblečený do oděvu výrazně ochlazuje rychle proudící vzduch a to několika způsoby: stlačováním oděvu - zmenšením objemu uzavřeného vzduchu v textilií, rychlým odvodem prostupujícího tepla z vnější strany oděvu a proniknutím do struktury textilie - čímž narušuje izolační vlastnosti vzduchu uzavřeného v textilií. [3]

Vlivy větru na termofyziologický komfort popisuje tzv. *Wind chill teplotní index* (WCT). Princip jeho výpočtu spočívá na určení teploty okolního vzduchu pokožkou lidského těla, jelikož člověk není schopen vnímat okolní teplotu jinými způsoby. Tento pocit nelze změřit na laboratorních přístrojích. Jedná se tedy o subjektivní pocit v případě větrného počasí. V zimních měsících je tento index uváděn i v některých státech jako jsou Kanada a USA u předpovědi počasí.

Wind chill index (WCT) je definován na základě tepelné ztráty lidské pokožky vystavené teplotě okolního prostředí a proudícímu vzduchu. Doby, za které dochází ke vzniku omrzlin, jsou nazývány *Frostbite times*. Mezi jedny z nejnáchylnějších oblastí lidského těla z hlediska vzniku omrzlin jsou uváděny prsty rukou a nohou, ušní lalůčky a špička nosu. [3] Výpočet pro *Wind chill teplotní index*:

$$W = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot v^{0,16} + 0,3965 \cdot T \cdot v^{0,16} \quad (1)$$

kde W [°C] značí *Wind chill teplotní index*, T [°C] je teplotou vzduchu a v [km.hod⁻¹] rychlost větru. Hodnota W [°C] je sice uváděna ve stupních Celsia, jedná se přesto o "pocitovou" teplotu.

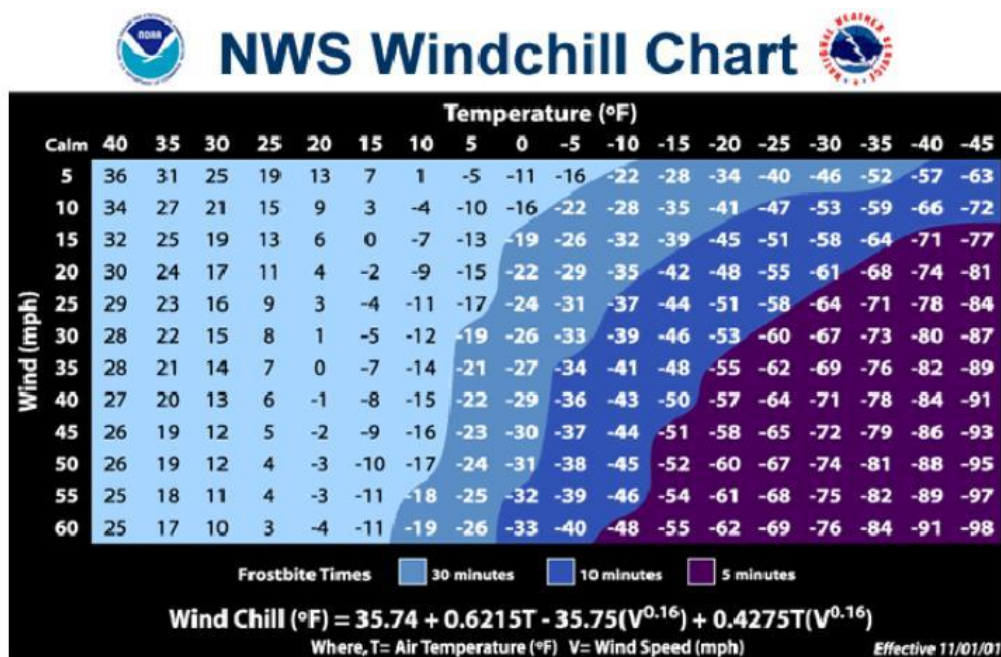
V tabulce níže jsou uvedeny vypočítané hodnoty WCT a vstupující konkrétní hodnoty teplot vzduchu T [°C] a rychlostí proudícího vzduchu v [km.hod⁻¹]. Jde tedy o matematický model, který zahrnuje obě veličiny pro výpočet konečného WCT.

T air	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
V ₁₀												
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-8	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

FROSTBITE GUIDE	
Low risk of frostbite for most people	
Increasing risk of frostbite for most people in 10 to 30 minutes of exposure	
High risk for most people in 5 to 10 minutes of exposure	
High risk for most people in 2 to 5 minutes of exposure	
High risk for most people in 2 minutes of exposure or less	

Obr. č. 1: Hodnoty Wild chill indexu [51]

V současné době výzkum této problematiky stále pokračuje. Do Wind chill indexu jsou snahy implementovat např.: záření Slunce nebo je dále připraveno detailnější rozlišení doby do vzniku omrzlin, jak je to vidět u horní tabulky, a tzv.: Wet wind chill index zahrnující vliv vlhkosti prostředí.



Obr. č. 2: Nově přepočtené hodnoty WCT [52]

3. Termoregulace

Termoregulaci si lze vysvětlit jako schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, i když jeho produkce tepla, jeho příjem a ztráty nepřetržitě kolísají. Organismus člověka představuje samoregulační systém, který si různými termoregulačními mechanismy udržuje stálou vnitřní teplotu okolo průměrné hodnoty 36 - 37°C. Její kolísání je způsobeno vnějšími a vnitřními vlivy. Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem, udržující tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické přeměny. Díky tomu můžeme termoregulace rozlišit na:

- chemickou - tvorba tepla
- fyzikální - výdej tepla [1]

Chemická termoregulace představuje látkovou přeměnu, tedy intenzitu chemických reakcí a tvorbu tepla. Je zároveň závislá na fyzické zátěži organismu a na jeho činnosti. Největší množství tepla je produkováno při namáhavé činnosti organismu. **Fyzikální** termoregulace zahrnuje podíly z jednotlivých odvodů tepla organismu, tedy tvorbu a výdej tepla. [1]

4. Tepelná izolace

Tepelnou izolaci je možné vysvětlit jako schopnost textilního materiálu bránit průchodu tepla z chladnějšího do teplejšího prostředí. V chladném prostředí je úlohou zvoleného materiálu zachycovat tělesné teplo, oproti tomu v teplém prostředí tento postup funguje naopak, a to zabráněním zvýšení tělesné teploty. Ke změně tepelně-izolačních vlastností přispívá ve skutečnosti vzduch uzavřený v textiliích.

Organismus lidského těla pracuje na principu tepelného zářiče vysílajícího kontinuálně teplo pro ohřev mikroklimatu mezi tělem a oděvní vrstvou. Tato vrstva působí jako zásobník okolní teploty kolem lidského těla, díky kterému oděv poskytuje větší ochranu než odhalená kůže. Je proto nutné volit nejvýhodnější konstrukci textilií, textilního vlákna a vhodný počet vrstev tak, aby nedošlo k porušení přirozeného rozdělení teploty lidského těla. Hodnota tepelné izolace je vyjádřena v jednotkách clo. [8]

5. Způsoby sdílení tepla

Princip sdílení tepla probíhá jako nerovnovážený termodynamický děj s konečnou rychlostí v prostoru a čase. Z fyzikálního hlediska je sdílení tepla spojeno s několika formami pohybu hmoty. Tyto formy pohybu je důležité rozlišit a stanovit mezi nimi závislosti rozdělení teplot a tepelných toků u vybrané soustavy těles. Podmínkou děje sdílení tepla je existence teplotního rozdílu, ke kterému dochází při předávání tepla z míst s vyšší teplotou do míst o nižší teplotě. Dále je nutné, aby u soustavy těles nebo v prostoru, kde probíhá děj sdílení tepla, byla zaznamenána nerovnoměrnost rozložení teplot (nehomogenita teplotních polí).

Regulace přestupu tepla má tedy podstatný význam pro udržení tepelné rovnováhy lidského organismu. Podle toho, v jakém prostředí se pohyb tepelné energie uskuteční, rozeznáváme formy sdílení tepla vedením, prouděním, zářením, odpařováním potu a dýcháním. [9]

5.1 Přenos tepla mezi člověkem a okolím

K přenosu tepla mezi lidským organismem a okolím je dosaženo :

- **Kondukcí** (vedením tepla)
- **Konvekcí** (prouděním tepla)
- **Radiací** (zářením)
- **Evaporací** (odpařováním potu)
- **Respirací** (dýcháním)

5.1.1 Konduktce

Konduktce neboli přenos tepla vedením. Kondukcí ztrácíme teplo (až 5%) tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Jde o přenos chodidly, zadní částí těla při sezení nebo spánku. Vedení tepla je také hlavním mechanismem přenosu tepla v tenkých vrstvách v oděvních systémech. [1]

Základním zákonem pro vedení tepla je Fourierův zákon. Vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla q [W/m^2], tepelnou vodivostí λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$] a teplotním gradientem $\Delta t/\Delta x$. Veličina q představuje množství tepla v joulech [J] proteklého jednotkou plochy kolmou na směr proudění za jednotku času. [2]

$$q = -\lambda \cdot \Delta t/\Delta x \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (2)$$

5.1.2 Konvekce

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Teplo je transportováno částicemi tekutin pohybujícími se rychlostí v [m/s]. Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva (mikroklima) o tloušťce δ , ve které se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při tzv. laminárním proudění tekutiny a klesá v případě proudění turbulentního. Je to díky trajektorii drah jednotlivých částic, které u turbulentního proudění nezachovávají původní směr a vzájemně se mísí. Turbulentní proudění tekutiny nastává v případě, kdy tzv. Reynoldsovo číslo Re převyšuje 2300. [1]

Tato bezrozměrná hodnota je definovaná vztahem:

$$Re = vd/\nu \quad (3)$$

kde d značí charakteristický rozměr objektu [m] a ν znamená dynamickou viskozitu tekutiny [m^2/s].

Při turbulentním proudění je přenos tepla intenzivnější než při proudění laminárním. Proudění je možné dále dělit na přirozené a nucené. Tepelný tok q [$W \cdot m^{-2}$] přenášený jakýmkoliv druhem proudění vyjadřuje Newtonův zákon. [1]

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

Koeficient přestupu tepla α_c [W/m^2K] je relativně nízký pro přirozené proudění a vzrůstá pro vynucené proudění.

5.1.3 Radiace

Radiaci lze jinými slovy popsat jako přenos tepla zářením, které představuje elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti $c = 300\,000\,000$ m/s. Podle vlnových délek rozlišujeme záření gama, dále pak záření rentgenové (RTG), extrémní ultrafialové (EUV), ultrafialové, optické, infračervené, submilimetrové, mikrovlnné a radiové. Na povrch Země dopadá ultrafialové záření UVA (320 - 400) a UVB (280 - 320), infračervené paprsky a viditelné světlo.

Při dopadu záření na povrch tělesa může dojít k odrazu záření, jeho pohlcení nebo též k průchodu záření objektem. Energetickou bilanci lze vyjádřit rovnicí. [1]

$$E = E_\rho + E_\alpha + E_\tau \quad (5)$$

kde E je zde vyjádřeno jako hustota zářivého toku dopadajícího, E_p je hustotou zářivého toku odraženého, E_a je hustota zářivého toku absorbovaného a E_r je hustota zářivého toku prošlého objektem. Tok tepla prostupujícího skrz oděvní vrstvy pomocí infračerveného záření představuje až 25% celkového tepelného toku. V horkých dnech nebo teplých zemích způsobuje sluneční záření viditelné i neviditelné základní termofyziologický diskomfort.

Podle Wienova zákona je součin absolutní teploty zářiče T [K] a vlnové délky λ_{\max} [μm] konstanty, odpovídající maximální hladině výdeje energie - vzorec níže.

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2890 \quad (6)$$

Závislost tepelného toku přenášeného radiací na vlnové délce záření vyjadřuje Plackův zákon. Jeho integrací přes všechny vlnové délky vznikne zákon Stephan - Bolzmanův, který našel uplatnění v praxi při výpočtu množství tepla přenášeného infračerveným zářením mezi různými objekty o různé teplotě.

Tento zákon můžeme použít k výpočtu tepelného toku q [W/m^2] přenášeného infračerveným zářením mezi 2 oděvními vrstvami. Příslušný vztah platí pro přenos tepla v propustném prostředí mezi rovnoběžnými rovinami udržovanými na teplotách T_1 a T_2 a s hodnotami emisivity ε_1 a ε_2 , kde $\sigma = 5,67 \cdot 10^4$ je tzv. radiační konstanta.

$$q = (T_1^4 - T_2^4) / \left[\left(\frac{1}{\varepsilon_1} \right) / \left(\frac{1}{\varepsilon_2} \right) - 1 \right] \quad (7)$$

Další důležitý vztah slouží k výpočtu tepelného toku přenášeného mezi objektem a rozlehle vzdáleném okolí. Objektem může být i člověk o povrchové emisivitě ε .

$$q = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) [1] \quad (8)$$

5.1.4 Evaporace

Evaporace je odpařování potu a difúzní vlhkosti v horkém prostředí. Jde o sdílení tepla, kdy tímto způsobem je schopen člověk vydat do okolí až 27% z celkových tepelných ztrát (1/3 z horních dýchacích cest, 2/3 ze ztráty odpařováním z povrchu pokožky).

Rychlost odpařování vlhkosti z povrchu lidského těla závisí na několika podmínkách, a to: na rozdílu parciálních tlaků páry v mezní vrstvě u pokožky a v okolním vzduchu, na rychlosti proudění vzduchu, propustnosti oděvu pro vzduch a páry a na velikosti povrchu zvlhčeného potem. [9]

5.1.5 Respiration

Mezi další část podílu celkových tepelných ztrát řadíme dýchání, tedy ohřev vdechovaného vzduchu. Pro nárůst jeho tepelných ztrát je zapotřebí zvýšení energetických výdajů a snížení teplot vzduchu. V praxi se s případy jednotlivých způsobů sdílení tepla jen těžko setkáváme samostatně. Na co se lze však zaměřit jsou časté kombinace těchto způsobů.
[10]

7. Hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií

Tepelné-izolační vlastnosti jsou jednou z důležitých částí vlastností textilních materiálů. Základní funkce oděvu je možné určit i díky tepelné izolaci. Většina studií zabývajících se touto tematikou, je především věnována měření statistických tepelných vlastností, mezi které patří např.: tepelná vodivost, tepelný odpor apod.

Tepelně izolační vlastnosti nejsou pouze stanoveny z fyzických parametrů, ale jsou dány také strukturálními parametry, mezi které je možné zařadit vazbu tkanin a její zakrytí. [11] Udržení tepla a ochrana proti vlhkosti a chladu, či extrémně vysokým teplotám, jsou jednou z hlavních podmínek k udržení tepelné stability lidského těla a zvolení tepelně izolačních vlastností textilního materiálu.

Mezi tepelně-izolační vlastnosti se řadí: tepelná vodivost, tepelný odpor, tepelná kapacita, teplotní vodivost a tepelná jímavost. Jednotlivé veličiny spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují. [1]

7.1 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je veličina charakterizovaná *součinitelem tepelné vodivosti* λ

$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$, udávajícím schopnost látek vést teplo. Představuje tepelný tok, které proteče při ustáleném stavu vrstvou o tloušťce 1m a plochou 1m^2 při rozdílu teplot 1 K na obou stranách vrstvy. Výpočet pro λ lze vyjádřit vztahem[1]:

$$\lambda = -\frac{q}{\text{grad } T} \quad (9)$$

kde v tomto vztahu q $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$ vyjadřuje hustotu tepelného toku a $\text{grad } T$ $[\text{K}\cdot\text{m}^{-1}]$ teplotní spád. *Hustota tepelného toku* q $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$ je množství tepla Q [J] prošlého za dobu τ [s] plochou S $[\text{m}^2]$ kolmo ke směru proudu:

$$q = \frac{Q}{S\cdot\tau} \quad (10)$$

Teplotní spád $\text{grad } T$ je dán poklesem teploty dT [K] na malé délce dl [m]

$$\text{grad } T = -\frac{dT}{dl} \quad (11)$$

Podle hodnot λ můžeme látky rozdělit na tepelné izolanty a tepelné vodiče. Tepelné izolanty značíme jako látky s $\lambda < 0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}$ (např. vzduch) a vodiče tepla s $\lambda > 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}$ (např. kovy). [1] Dobrymi vodiči tepla jsou látky s vysokými hodnotami tepelné vodivosti. Mezi ně patří kovy, ve kterých vedení tepla uskutečňují pohyblivé volné elektrony.

U ostatních pevných látek mimo tuhu se tepelná vodivost již značně liší. Nejmenší součinitele tepelné vodivosti dosahují plyny. V kombinaci pevných látek s plynnými u materiálů obsahujících velké množství malých mezer nebo dutin obsahujících vzduch tak dochází k špatnému vedení tepla. U oděvních materiálů se hodnota součinitele tepelné vodivosti pohybuje v rozmezí 0,033-0,070 W.m⁻¹.K⁻¹. Díky tomu je nelze označit ani za tepelné vodiče nebo izolanty, což je jejich podstatou. Avšak tyto hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou pouze přibližné, jelikož součinitel tepelné vodivosti je závislý na mnoha parametrech. Tepelná vodivost těchto látek tak závisí na jejich vlhkosti, struktuře materiálu, na objemové hmotnosti, jemnosti vláken aj. [4] [3] Ve větrných podmínkách je tepelná vodivost závislá na prodyšnosti, těsnosti obepínání povrchu těla a na klimatických podmínkách. [1]

Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m⁻¹.K⁻¹] se používá pro výpočet tepla, které projde rovinným materiálem tloušťky h [m] o povrchových teplotách $T_1 \neq T_2$ [K]. Teplo prostupuje materiálem z oblasti s vyšší teplotou do oblasti s nižší teplotou až do nastolení rovnovážného stavu $T_1 = T_2$. Upravením výpočtu prošlého tepla Q [J], lze dopočítat rychlost odvodu tepla vrstvou Q/τ [J.s⁻¹]:

$$\frac{Q}{\tau} = \frac{\lambda \cdot S \cdot (T_1 - T_2)}{h} \quad (12)$$

kde v tomto vztahu Q [J] vyjadřuje množství převedeného tepla a τ [s] čas. A zlomek Q/τ je dán součinem součinitele tepelné vodivosti λ [W.m⁻¹.K⁻¹] s plochou textilie S [m²], teplotním spádem (rozdílem teplot $T_1 - T_2$) ΔT [K] a tloušťkou textilie h [m].

7.2 Tepelný odpor

Tepelný odpor R [m².K.W⁻¹] je důležitou veličinou při hodnocení tepelného komfortu. [1] Jde o odpor, který klade materiál při průchodu tepla. Plošný tepelný odpor lze definovat jako množství tepla prošlého za jednotku plochy při jednotkovém teplotním spádu. Tepelný odpor závisí na faktorech vazby a struktury textilie, udávající prodyšnost a tloušťku. Výstupem většiny měřicích metod jsou právě hodnoty tepelného odporu. [5]

Vztah pro výpočet se udává ve tvaru:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (13)$$

kde R [m².K.W⁻¹] je tepelný odpor, rovnající se podílu tloušťky h [m] a tepelné vodivosti λ [W.m⁻¹.K⁻¹].

Ze vzorce vyplývá, že čím vyšší je tepelný odpor, tím nižší je tepelná vodivost. Svého maxima dosahuje tepelný odpor vzduchové vrstvy v oděvu při hodnotě $h = 5 \text{ mm}$. U silnějších vrstev tepelný odpor klesá. Celkový tepelný odpor oděvu R_{CL} záleží na odporu a počtu jednotlivých vrstev oděvu.[1]

$$R_{CL} = R_1 + R_2 + R_3 \dots \dots \quad (14)$$

Nalézt lze i další používané alternativní veličiny související s tepelným odporem, a to TOG a CLO. Pro 1TOG a tepelný odpor platí vztah $1\text{TOG} = 0,1R$ a použití shodných jednotek [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]. Jednotka 1 CLO odpovídá průměrnému tepelnému odporu tzv. business suitu - úplnému pánskému oblečení zahrnujícímu spodní prádlo, kalhoty, košili, vestu a sako. Tato hodnota však již nezahrnuje odpor tzv. vnější vrstvy R_E . Jednotka 1 CLO souvisí s tepelným odporem vztahem $1 \text{ CLO} = 0,155 \cdot R$. [1] [6]

7.3 Tepelná kapacita

Tepelná kapacita je definována jako schopnost látek přijímat teplo. Přijme-li izolované těleso teplo dQ [J] a zvýší-li se jeho teplota o dT [K], říkáme, že těleso má tepelnou kapacitu C [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}$]. [6] Vztah pro výpočet tepelné kapacity:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (15)$$

Máme-li tuto tepelnou kapacitu vztaženou na jednotku hmotnosti m [kg], dostaneme *měrnou tepelnou kapacitu* c [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{dQ}{dT \cdot m} \quad (16)$$

Měrná tepelná kapacita vyjadřuje jaké množství tepla dQ [J], které je potřeba k ohřátí látky hmotnosti m 1kg o teplotu dT 1 K. Vysokých hodnot měrné tepelné kapacity dosahují oděvy určené pro zimní období.

7.4 Teplotní vodivost

Součinitel teplotní vodivosti α [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] je parametr, který vyjadřuje rychlost šíření tepla materiálem. Čím je hodnota vyšší, tím rychleji v materiálu nastává vyrovnání teplot. Pro součinitel teplotní vodivosti platí vztah ve tvaru:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (17)$$

Ze vzorce vyplývá závislost tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] s měrnou hmotností materiálu ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] a měrnou tepelnou kapacitou c [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]. [1]

7.5 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{1/2}$] je parametr, charakterizující tepelný omak, který byl zaveden prof. Hesem v roce 1986. Je definován jako množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. [1]

Vztah pro výpočet tepelné jímavosti:

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{\alpha}} = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (18)$$

Veličina tepelné jímavosti vyjadřuje pocit chladu a tepla. Platí závislost, že čím větší je tepelná jímavost b , tím chladněji pocítujeme hmatem tento materiál. Tepelná jímavost textilií závisí na povrchu, struktuře a složení zvoleného materiálu. Jelikož tepelná jímavost textilií je převážně povrchovou vlastností, její výsledná hodnota může být velmi ovlivněna povrchovou finální úpravou. [1]

8. Přístroje a metody pro měření tepelně izolačních vlastností

Pro zjištění tepelně izolačních vlastností existuje spousta metod a přístrojů, které se od sebe liší postupy i aplikovatelností. [6] Principem u všech známých metod těchto vlastností je přivedení tepla k textilii, jeho průchod a následný odvod tepla z materiálu. Při procesu jsou měřeny různé parametry jako povrchové teploty, množství tepla, tloušťka textilie apod.

Měření lze provést dvěma způsoby, a to :

- **ve stacionárním stavu** - kdy teplota se v závislosti na čase nemění,
- **v nestacionárním stavu** - teplota se v závislosti na čase mění.

Pro dosažení přesných a spolehlivých výsledků se používá měření ve stacionárním stavu. Jeho nevýhodou je dlouhá doba potřebná na ustálení, která může trvat u některých zařízení až několik hodin. Jiný způsob, jaký lze použít pro rozdělení dle stavu tepelného toku, je rozdělení na metody dynamické a statické. Všechny používané metody buď vyžadují dlouhý čas, nebo jsou zatíženy experimentální chybou. [7]

Další možností, jak rozdělit metody hodnocení:

- **metody ochlazením** - model těla je pokryt oděvem, jehož vnější povrch je vystaven okolnímu vzduchu a je měřeno jeho ochlazování
- **deskové metody** - měřená textilie je umístěna mezi dvěma deskami o různých teplotách a je měřena hodnota tepelného toku zvoleným tex. vzorkem
- **metody konstantní teploty** - model těla je obalen hodnocenou textilií a je měřena energie vyžadovaná na udržení pokožky na konstantní teplotě. [6]

8.1 Přístroje a metody

Hodnocení tepelně izolačních vlastností je založeno na základě měření termofyzikálních parametrů materiálu, mezi které patří tepelná vodivost nebo tepelný odpor. Následující část textu je věnována soupisu běžně používaných testovacích zařízení, která jsou na měření těchto vlastností zaměřena. K vypsáním zařízením je uveden přehled konvenčních a nekonvenčních metod hodnocení tepelně izolačních vlastností.

8.1.1 Aerodynamický (větrný) tunel

Přenos tepla z vyhřívaného válce obtékaného vzduchem je jevem silně závislým na charakteru obtékání. Aerodynamických tunelů, které se těmto faktorům věnují, lze najít nespočet druhů. Ty se vyznačují různou konstrukcí a konstrukčními parametry. [3]

Tato část je níže věnována pouze jednomu druhu těchto větrných tunelů. Jeho technickým vývojem a metodikou hodnocení prodyšnosti a tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů při vyšších rychlostech proudění vzduchu se na KOD Technické univerzity v Liberci zabývali mimo jiné Radim Šubert a Andrea Halasová [3]. V období let 2001-2002 tak byl sestaven model větrného (aerodynamického) tunelu s modelem vyhřívaného válečku, tzv. model lidské paže.

Pro vývoj větrné trati byla vybrána délka trati 5 m s měřicí částí čítající od vstupu vzduchu do počátku této části délku 2,1 m. Krátké aerodynamické tunely s prouděním vzduchu ve vysokých rychlostech jsou charakteristické turbulentním prouděním média o různé intenzitě turbulence.

Turbulentní proudění se vyznačuje pulzací a fluktuací všech veličin, přičemž dráhy těchto částic tekutin jsou nepravidelné. Dochází tak k jejich posouvání, vykonání vlastního složitého pohybu a k intenzivnímu promíchání celého objemu tekutiny. To vše vede ke vzniku vírů převážně s různou velikostí a tvarem, kterým je vystaveno a také ofukováno lidské tělo. Proti tomu laminární proudění se vyznačuje prouděním částic přímočaře v úzkých rovnoběžných vrstvách, které se navzájem téměř nemísí. Víry, ke kterým při tomto proudění dochází, jsou tak velmi malé až mikroskopické. K laminárnímu proudění lze dojít proto pouze při malých rychlostech, velké viskozitě, či malých průměrech potrubí. [44]

Zařízení obsahuje jednu měřicí zónu s rozměry 0,1 x 0,4 x 1,2 m, která je spolu se vstupním konfuzorem a výstupním difuzorem vyrobena z organického skla (plexiskla) pro zajištění detailnějšího pozorování zkoumaného materiálu během testování. Pro řízení všech měřicích procesů bylo vybráno automatické řešení, tedy s pomocí PC. K této volbě bylo přistoupeno díky zadaným úvodním faktorům, mezi které patří kompatibilita zařízení, cenová dostupnost a zajištění definovaných stálých podmínek proudění, které jsou nezbytné jak pro provedení spolehlivých a reprodukovatelných měření, tak i pro snadné zpracování a vyhodnocení jednotlivých měření. [3]

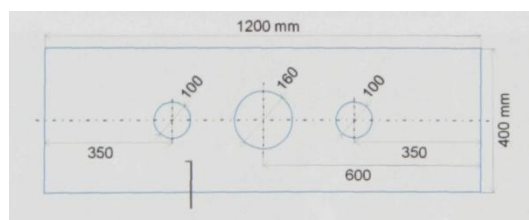


Obr.č.3: Aktuální sestava Aerodynamického tunelu v laboratoři KOD.

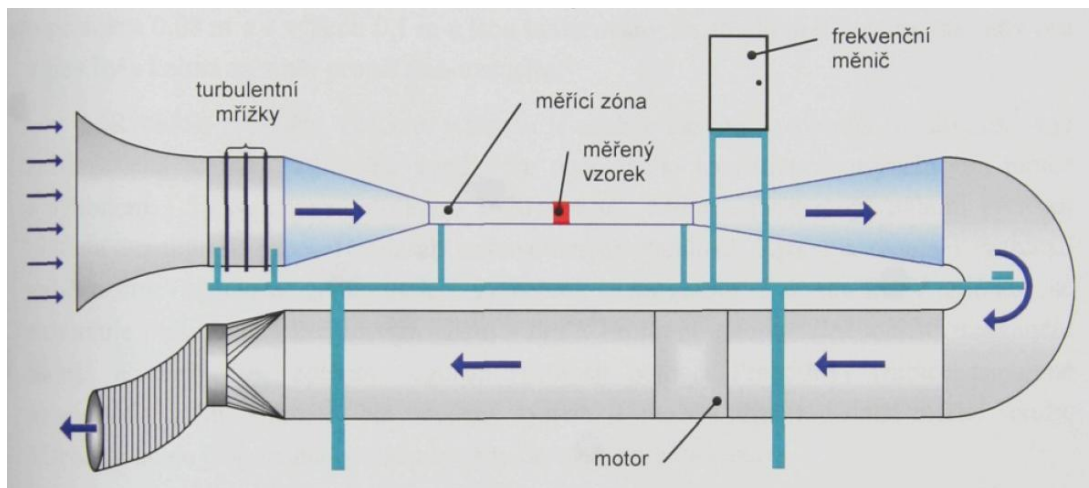
Popis zařízení

Aerodynamický tunel je sestaven jako otevřená trať fungující na principu otevřené cirkulace vzduchu. Pro zajištění standardních podmínek měření je proto laboratoř vybavena klimatizací. Větrný tunel lze rozdělit do dvou částí, a to z otevřené konstrukce mechanického tunelu a z komponent, které zajišťují elektronické řízení všech měřících procesů. Jednotlivé části tunelu budou v textu posléze rozebrány. Nejprve zde bude uvedena konstrukce větrného tunelu, poté i elektronické řízení všech měřících procesů.

Otevřená konstrukce větrného tunelu, jak je již z obrázku zřejmé, se skládá z několika částí, a to ze vstupního kužele, který nasává vzduch do větrné trati, části s difuzorem a turbulentními mřížkami. Dále se skládá z měřicí části s modelem lidské paže, na kterém je umístěn měřený vzorek a anemometr, dále následuje frekvenční měnič a asynchronní motor.



Obr.č. 4: Umístění anemometru v měřicí části.[3]



Obr. č. 5: Schéma trati větrného (aerodynamického) tunelu [11]

Vstupní část větrné trati. Do části u vstupu proudícího vzduchu na větrné trati jsou umístěny: čtvercový difuzor o hraně 1,2 m se zaoblenými stěnami a tři sériově řazené relativně husté turbulentní mřížky s rozměrem ok 1,75 x 1,75 mm s propustností 55%. Jejich úkolem je zajistit ve větrné konstrukci eliminaci nežádoucích větších vírových struktur, které mají tendenci se tvořit a postupovat celým větrným tunelem. Turbulentní mřížky jsou schopné umožnit rozbití velkých vírů na malé struktury, které mají tendenci se dále rozpadat. Malé víry jsou více tlumeny viskozitou tekutin a přeměnou jejich kinetické energie tak vzniká vnitřní tepelná energie. [3]

Jednou ze základních částí větrné trati je asynchronní motor (AM). Jeho výkon činí 1,5 kW a maximální otáčky dosahují 1420 ot./min. Motor ve větrné trati slouží k zajištění rychlosti proudění vzduchu v definovaném rozmezí od 0-20 m·s⁻¹. Pro zabezpečení konstantní rychlosti otáček motoru je k němu připojen frekvenční měnič (0-50 Hz), jelikož větrná trať musí být schopna dosáhnout stabilní rychlosti proudění s možností plynulé změny rychlosti. Umístění obou těchto částí je zvoleno mimo trať z důvodu jednoduššího dosažení standardních podmínek pro měření. [3]

V další části budou více popsána měřicí zařízení (Almemo, teplotní anemometr, Alambeta a další), jejich propojení přes komunikační linku do PC. Dále je zde uvedeno názorné schéma elektrického řízení větrného tunelu.

Elektronické řízení všech měřicích procesů. Tato část bude věnována dokumentaci a sestavení použitých hardwarových komponent určených pro řízení Aerodynamického tunelu. Patří sem asynchronní motor, frekvenční měnič s filtrem a měřicí systém Almemo,

který dále obsahuje sondu, regulátor a měřicí přístroje (8 alfa metrů a teplotní anemometr). Dále nechybí převodníky nezbytné pro řízení komunikační linky s PC a síťový přepínač (Switch), přes které jsou dále odesílána naměřená data do PC, kde jsou ve vývojovém prostředí LabView, zpracována a uložena.

Jak je již výše uvedeno, pro větrnou trať byl použit třífázový asynchronní motor od výrobce Siemens D-91056 Erlangen. Jeho výkon činí 1,5 kW s frekvencí sítě 50 Hz. Motor je připojen na frekvenční měnič VS-606V7 od firmy Yaskawa a je umístěn ve skřínce nad zařízením mimo trať větrného tunelu. (viz. obr. č.6).

V této skřínce je dále uložen frekvenční měnič s odrušovacím filtrem, který je připojen na výstup měniče. Odrušovací filtr od firmy Elfis typ 3ELF6 OM je určen pro potlačení rušivých radiových signálů, které pronikají do napájecí sítě. Tento druh filtrů se používá k odrušení individuálních zdrojů rušení nebo ke zvýšení odolnosti zařízení proti vnějšímu rušení apod. [44]

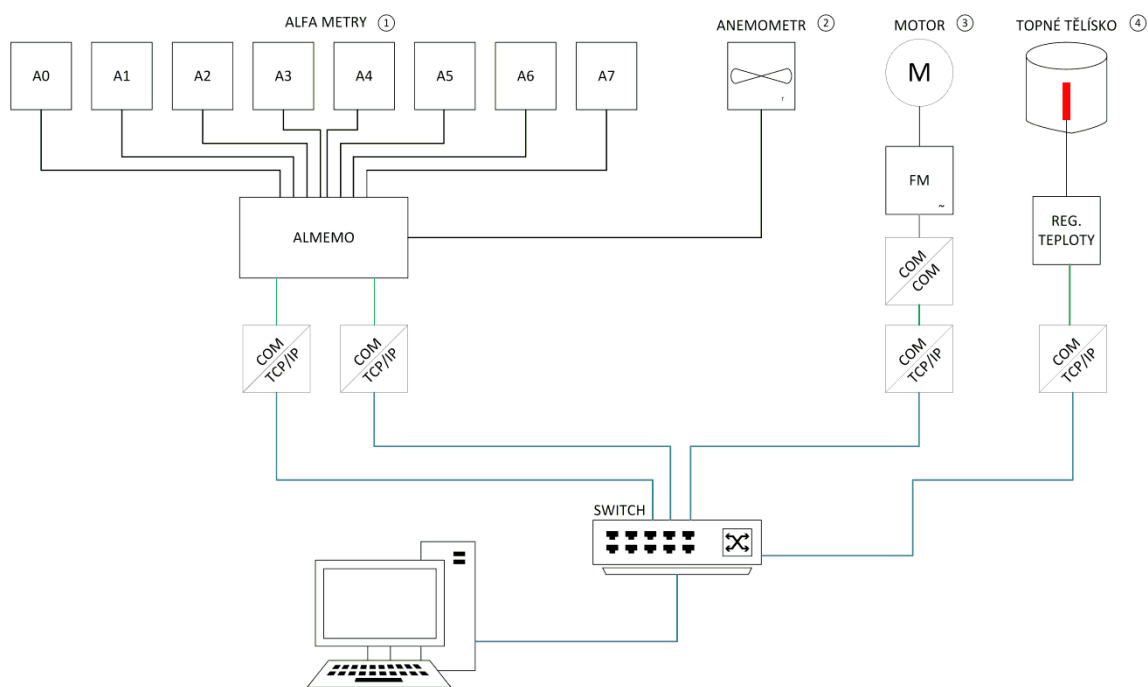
Dále následuje měřicí systém Almemo® 8990-6. Tento systém je určen k zabezpečení měření pro senzory (teplotní anemometr a alfametry). K přístroji lze pomocí speciálních konektorů připojit čidlo pro měření fyzikálních, elektrických a chemických veličin. Zařízení je řízeno mikroprocesorem. Pro zařízení byl vybrán systém Almemo® typ 8990-6 vyráběný firmou Ahlborn. Tento měřicí systém je vybaven 9 el. izolovanými vstupy a 2 výstupy. Do těchto vstupů jsou zasunovány konektory jednotlivých měřicích čidel. Prostřednictvím těchto konektorů lze k přístroji zcela identicky připojit nejrůznější požadovaná měřicí čidla. Přestože je systém Almemo® použit k řízení větrného tunelu, toto zařízení slouží také ke komunikaci s PC. [44] S měřicí částí je spojen nejen vyhřívaný váleček vybavený topným tělískem a osazený 8-alfametry, ale i regulátor teploty válečku a teplotní anemometr. Vyhřívaný váleček a jeho komponenty budou více popsány v další pasáži textu věnované modelu lidské paže. Teplotní anemometr nebo-li termoanemometr se používá k měření rychlosti proudění. Anemometr se řadí mezi rychlostní sondy, jež se používají pro přesná jednorázová měření. Ve větrném tunelu bylo použito digitální termoanemometrické čidlo FVAD 35 THX s konektorem Almemo® a s integrovaným čipem tlaku vzduchu pro automatickou kompenzaci tlaku vzduchu měřenou ve trati tunelu. Výrobcem digitálního termoanemometrického čidla je firma Ahlborn. Funkčním principem tohoto zařízení je ochlazení drátku žhaveného na určitou teplotu proudem měřeného media, v tomto případě vzduchu. Zvolený teplotní anemometr obsahuje tři naprogramované měřicí kanály pro snímání rychlosti proudění vzduchu (v [m/s]), tlaku vzduchu (p c) a teploty (t [°C]) ve větrném tunelu. [45]

Řízení komunikační linky s PC. K tomuto řízení se využívá komunikační převodník. Ten dokáže předat vstupní COM komunikaci na TCP/IP komunikaci a tu přes síťový přepínač (SWITCH) odeslat do síťové karty v PC. SWITCH je pak připojen síťovým kabelem k internetu, který je klíčovým prvkem pro komunikaci větrného tunelu s PC. Pokud nefunguje internetové připojení, není možné spustit a řídit větrný tunel. V zařízení větrný tunel jsou zapojeny čtyři převodníky MIDAM 020, jež jsou určeny pro převod rozhraní komunikace na COM-TCP/IP komunikaci. V PC je na řízení celého zařízení a na příjem všech těchto získaných a naměřených dat nainstalováno vývojové a programovací prostředí s názvem LabView® 14, které je určeno pro sběr, analýzy a prezentaci naměřených dat. LabView® lze tak využít při komunikaci se zařízeními pro sběr dat, zpracování obrazu, vizuální kontrolu či řízení pohybu apod. [44, 45]

Řízení a regulaci rychlosti zabezpečuje aplikace „Automatic“ vytvořená v programu Labview®. Tento program automaticky spouští frekvenční měnič a zabezpečuje zpětnou regulaci rychlosti, teploty a tlaku pomocí anemometru napojeného na systém Almemo®. V aplikaci „Automatic“ lze nastavit požadovanou rychlost proudění v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Do systému Labview jsou připojeny i další měřicí sondy. Všechny získané údaje jsou následně ukládány do PC. [11] Jednotlivá připojení všech těchto zmíněných částí jsou ke snazšímu pochopení uvedena ve schématu, viz. obrázek č. 10. Schéma je rozděleno do 4 částí. První část je zaměřena na zapojení alfametrů (A0-A7), část druhá se věnuje zapojení anemometru, ve třetí část je znázorněno zapojení asynchronního motoru a čtvrtá je určená k zapojení vyhřívaného válečku, tzv. modelu lidské paže.



Obr. č. 6 a č. 7: Zapojení elektronického řízení větrného tunelu- komunikační linky, umístěné pod podstavcem vyhřívaného válečku. [43]

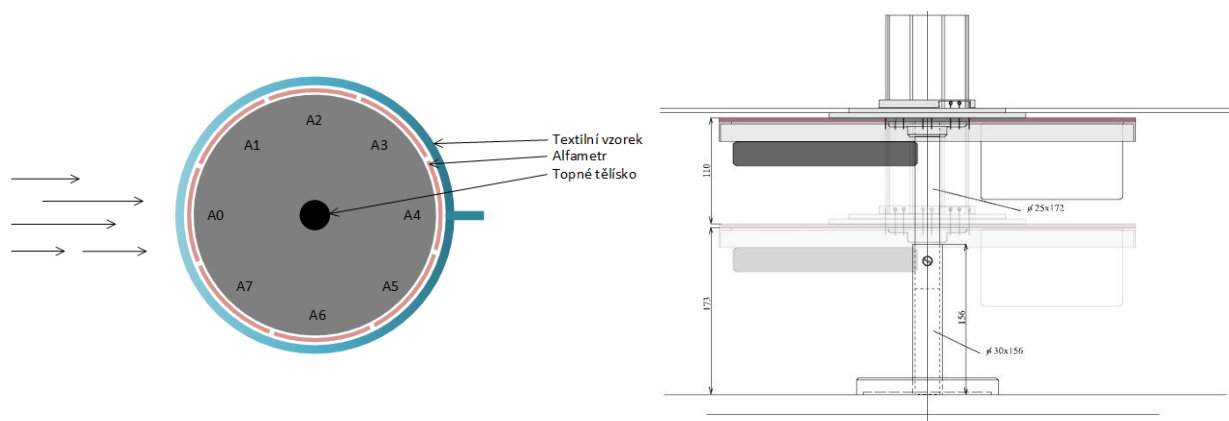


Obr. č.8: Schéma elektrického řízení sestavy větrného tunelu.

Model lidské paže

Další součást, která patří do zařízení větrného tunelu, je model lidské paže. Ten prošel v průběhu let již od svého vývoje několika úpravami a změnou měřicí metody. V současné době byl upraven další optimalizací. Tento model paže je tvořen sondou ve formě vyhřívaného válečku o průměru 0,08 m s výškou 0,1 m. Model je umístěn do středu měřicí zóny tak, aby osa tohoto válce byla kolmá ke směru proudícího vzduchu. Vyhřívání váleček, jak je patrné z obr. č. 12, je vkládán do měřicí části tunelu zespodu pomocí desky, na jejíž spodní straně je umístěna většina hardware komponentů určených pro elektrické řízení větrného tunelu.

Zvoleným materiálem válečku je dural (slitina 93,7% Al, 4,3% Cu, 1,4% Mg, 0,6%Mn). Váleček je vyhříván zabudovaným topením o výkonu 300 W. Lze jej tak velmi rychle vyhřát. Ztížena je ale díky použitému materiálu a zapojení možnost řízení a regulace teploty povrchu válečku. Střed sondy je vyhříván více než její povrch a stává se tak zásobárnou tepelné energie, která je zpětně transportována k povrchu, čímž dochází k jeho dodatečnému zpožděnému vyhřívání.



**Obr. č. 9 a č. 10: Schéma vyhříváného válečku uložené v měřicí části větrného tunelu.
Uložení vyhříváného válečku v měřicí části větrného tunelu.**

Na povrchu sondy vyhříváného válečku je umístěno 8 snímačů tepelného toku - alfa sondy (alfametrů). Ty jsou k válečku připevněny jemnou syntetickou síťkou, jež drží alfa sondy v těsném kontaktu s válečkem. Alfametr je aktivní spínač bez zdroje napětí. Jeho základní měrný systém je soustava miniaturních termočlánků, tzv. multitermočlánek, který je protkán nosnou fólií definované tloušťky, jež tak dokáže určit teplotní rozdíl (teplotní spád) na obou povrchových plochách nosné fólie. Pro model lidské paže byly vybrány flexibilní alfa snímače tepelného toku typ FQA017CSI vyráběné firmou Ahlborn. Vybraný počet alfametrů nebyl zvolen náhodně. Celkový počet 8 měřicích snímačů (A0-A7) totiž nejlépe kopíruje obvod vyhříváného válečku. Proudění vzduchu je nastaveno jedním směrem, což vede ke vzniku dvojic protilehlých alfametrů: A0-A4, A1-A7, A2-A6 a A3-A5, u kterých by mělo být dosaženo podobných výsledných hodnot měření. Alfametr A0 je nastaven přímo proti směru proudění. Výstupem těchto alfa sond je parametr hustota tepelného toku q [W/m²] [46]

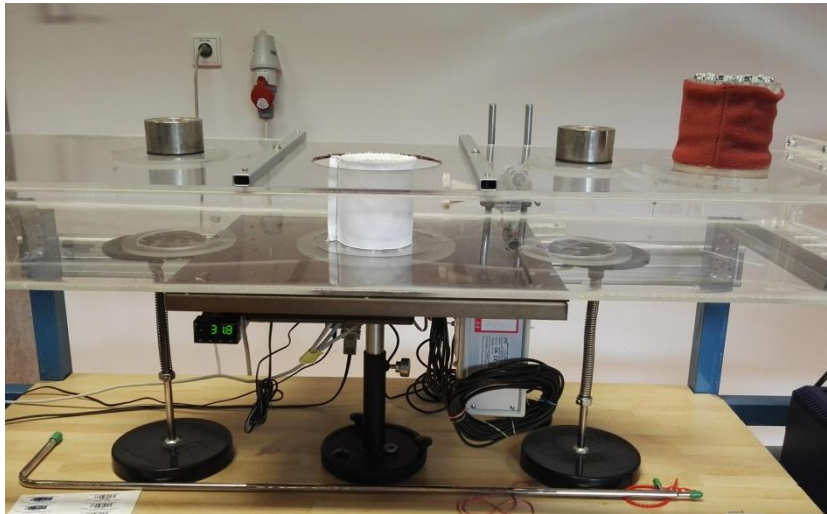
Na váleček obepínající síťkou alfametry je následně navlečen testovací vzorek, u kterého je měřena hustota tepelného toku q [W/m²]. Testován je tepelný tok vyhříváného válečku, jenž je zakrytý vzorkem tex. materiálu, který se mění vlivem zvolené rychlosti proudění vzduchu. Testovaný materiál musí být vždy upraven do zadaných rozměrů, a to 0,15 x 0,1 m (viz. obr. č.15), jež jsou dány velikostí vyhříváného válečku, na který je posléze testovaný vzorek navlékán.

Rovnoměrnost vyhřívání je jednou ze základních předpokladů měření. U vyhříváného válečku vystaveného vysokým rychlostem proudění vzduchu je poměrně složité nalézt správný typ regulátoru. Pro model lidské paže byl nakonec zvolen regulátor NEWPORT i32. Zařízení vyrábí společnost Electronics, Inc a slouží pro spínání a rozepíná obvodu, jež zahřívá váleček na požadovanou teplotu. Zároveň přístroj i32 zobrazuje na svém displeji

aktuální teplotu vyhřívá válečku. [45] Řízení a způsob sestavení této měřicí části je uveden výše v obr. č.10, jenž zobrazuje schéma elektronického řízení všech měřicích procesů.



Obr. č. 11 a č. 12: Náhledy na vyhřívá váleček osázený alfametry (A0-A7).[43]



Obr.č.13: Měřicí část větrného tunelu.

8.1.2 Togmetr SDL M 259

Togmeter je zařízení, které měří tepelný odpor a tepelnou vodivost u testovaných vzorků (tkanin, vrstvených materiálů, netkaných textilií, roun). Ty jsou kruhového tvaru o průměru $d_v=330$ mm, ve stanoveném stavu bez pomačkání a záhybů. Pro zkoušku by měly být vybrány min. 3 vzorky od každého testovaného materiálu.



Obr. č. 14: Přístroj Togmetr SDL M 259 [28]

Testování přístrojem Togmetr probíhá při standardní atmosféře podle definice normy ISO 139, tj. za relativní vlhkosti (RH) $65\pm 2\%$ a teploty $20\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $27\pm 2^\circ\text{C}$. Zvolené vzorky musí být klimatizovány ve standardní atmosféře minimálně 24 hod. před testováním. Zařízení pracuje v souladu s normou ISO 5085 část 1 (BS 4745). Název přístroje je odvozen podle jednotky tepelného odporu TOG definované institutem firmy Shirley Technologies Ltd., který zařízení také vyvinul. [3] [28]

Přístroj se skládá ze dvou kruhových desek- dolní vyhřívané a horní „studené“, které jsou uloženy v komoře disponující řízením proudění vzduchu. Zařízení je dále vybaveno teplotními čidly a topnými tělesy, které jsou ovládány digitálním ovladačem teploty. [28]

Zařízením Togmetr lze testovat vzorek pomocí dvou metod měření- dvoudeskovou a jednodeskovou. Dvoudesková metoda je určena pro materiály, které jsou při použití chráněny před okolním vzduchem. Jednodesková metoda se používá u materiálů, které jsou z jedné strany přístupné vzduchu. [3]

Princip dvoudeskové metody. Testovaný vzorek je položen na vyhřívanou desku, na kterou je následně umístěna studená deska pod tlakem 6,9 Pa. Zapne se vyhřívání a je zajištěno, aby došlo k ustálení děje, dokud se teploty po dobu 30 min. nezmění o více než 0,1 K. Po jeho dosažení se odečtou teploty T_1, T_2 a T_3 [$^\circ\text{C}$] ze tří termoelektrických čidel, využívaných pro měření teploty vzduchu. Následně je provedeno stejné měření bez vzorku.

Pro jednodeskovou metodu platí obdobný princip měření pouze s tím rozdílem, že horní deska nepřitlačuje testovaný vzorek, ale je volně umístěna na dně komory. Teplotní senzor umístěný na horní desce měří teplotu okolního vzduchu a zkoušený vzorek je oblepen izolační páskou.

Vyhodnocením metody je výpočet hodnoty *tepelného odporu* R_f [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] vzorku s pomocí naměřených teplot T_1, T_2 a T_3 [$^\circ\text{C}$] a *tepelného standardu* R_s . [3]

8.1.3 Physiological Skin Model (PSM-2)

Přístroj PSM -2 je určen k testování tepelného odporu a výparného odporu pro různé textilie na základě zadaných podmínek (teploty a vlhkosti) simulujících lidskou kůži. Vzorky vybraného materiálu o velikosti 280 x 280 mm musí být před zkouškou klimatizovány podle normy ISO 139, kdy jejich povrch nesmí vykazovat známky poškození. Zařízení PSM-2 produkuje česká firma s názvem GF Instruments s.r.o.



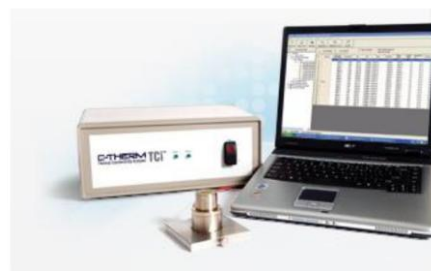
Obr. č.15: Přístroj PSM-2 [29]

Princip zkoušky. Testování v klimatizované laboratoři je řízeno pomocí PC softwaru. Při měření je zkoušený vzorek plošné textilie upevněn pomocí dvou rámečků na měřicí podložku, která je zakryta víkem. (Pro testování zaměřené na odolnost vůči vodním parám je poté nezbytné vložit na měřicí desku celofánovou membránu.)V testovacím prostoru je udržována stálá teplota měřicí podložky 35°C. Spuštěním zkoušky dochází k průchodu vodní páry skrz podložku a testovaný materiál směrem do vzduchového kanálu s kontaktním prouděním rychlosti 1[m/s]. Zaznamenaná je celková ztráta, která je kompenzována dodáním přesného množství el. energie.

Měření tepelné odolnosti i odolnosti vůči vodním parám trvá přibližně 15 min. Vyhodnocení měření je zpracováno pomocí PC softwaru. [29]

8.1.4 Thermal Conductivity Analyser - C-Therm (TCi)

Analyzátor tepelné vodivosti zkráceně TCi je zařízení, které zjišťuje součinitele tepelné vodivosti u testovaného materiálu. Měřit lze různé typy vzorků - pevné látky, kapaliny, prášky, pasty, vláknité vzorky včetně textilních struktur. Mezi výhody zařízení patří flexibilita velikosti vzorku od minimální hodnoty kruhového výřezu 17 mm k neomezené maximální velikosti. Testované vzorky je nutné před měřením klimatizovat dle ISO 139. [12]



Obr.č.16: Přístroj C-Therm TCi . [12]

Přístroj TCi vyrábí firma C-Therm Technologies. Zařízení umožňuje testování tepelné vodivosti nedestruktivní metodou pomocí sledování růstu teploty na rozhraní mezi senzorem a vzorkem. TCi odpovídá měření podle normy ASTM D7984. [12]

TCi se skládá z jednostranného mezi-kontaktního teplotně odrazivého snímače, (ve kterém se nachází zdroj tepla), řídicí elektroniky a PC softwaru. Zařízení využívá metodu Modified Transient Plane Source (MTPS). Jde o princip definovaného el. napětí, které proudí směrem od senzoru k testovanému materiálu. Zkoumán je tak nárůst teploty snímače v přechodové rovině mezi vyhřívaným čidlem a testovaným vzorkem. Nárůst teploty na rozhraní snímače vyvolá změnu v poklesu el. napětí na čidle. Lze tak říci, že čím je větší tepelně izolační schopnost materiálu, tím strmější je jeho nárůst napětí. [13] [14] Pro testování jsou zadány možnosti rozsahu tepelné vodivosti od 0-100 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], teplotní rozsah -50 až +200°C při použití klimatické komory. Dále rozpětí tepelné jímavosti od 0 – 19 000 [$\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] a relativní vlhkost (RH) až do 95%.

Dle základu metody přechodové roviny jsou z vyhodnocení zkoušky stanoveny koeficient tepelné vodivosti k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a tepelná jímavost e [$\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. A díky tomu je možné podle zadaných kritérií dopočítat tepelnou vodivost α [m^2/s], měrnou tepelnou kapacitu C_p [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. [14]

8.1.5 Sweating Guarded Hot Plate

Zařízení EY50 Sweating Guarded Hot Plate (často označováno jako "SGHP") je specializováno na měření tepelného a výparného odporu za ustálených podmínek. Přístroj je určen pro testování různých vzorků, mezi které patří tkaniny, nátěry, filmy, pěny, kůže a vícevrstvé materiály. Zvolené zkušební vzorky mají zadané požadované rozmezí tloušťky od 0-50 mm. Přístroj vyrábí společnost EYTest. [15]



Obr.č. 17: Přístroj EY50 Sweating Guardede Hot Plate [15]

Přístroj obsahuje zkušební desku simulující lidskou pokožku určenou pro testovaný vzorek s rozměry 254mm x 254 mm, klimatickou komoru oddělené konstrukce pro zajištění specifické teploty a vlhkosti, automatický dávkovač vody, automatický výpustní systém a tepelný chránič s řízením teploty. Jádrem zařízení je měřicí jednotka s řízením teploty a přívodem vody. [15] Měření přístroje je stanoveno podle několika standardů ČSN ISO 11092, ASTM F1868-09 a ASTM D1518-85. [15] Tyto standardy popisují metody a možnosti měření. Testovací metody spojuje ale stejný základ, a to měření celkového odporu, tzn. odporu tkaniny a odporu vzduchové vrstvy. Odpor vzduchové vrstvy je stanoven provedením testu bez vzorku. Pro určení hodnoty odporu tkaniny je odpor vzduchové vrstvy odečten od celkového odporu (odporu vzorku sečteného s odporem

vzduchové mezivrstvy). Každý ze standardů si stanoví např. jednotky, názvy měřených metod, klimatické podmínky pro zkoušku či rychlost proudění vzduchu apod. [30]

Přístroj měří *tepelný odpor* v rozsahu hodnot až do 2 000 [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] s rozlišením

0,001 [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]. Odpařovací rozsah *výparného odporu* se pohybuje od 0-1 000 [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W s}$] přesností 1 [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$]. Teplota zkušební desky dosahuje od 20°C - 50°C. [15]



Obr.č. 18: Ukázka zařízení SGHP z laboratoře na KOD. [42]

8.1.6 Fox 314 Instrument

Přístroj FOX 314 je mikroprocesorově ovládané zařízení určené pro měření tepelné vodivosti. Testovány jsou zde vzorky materiálu o rozměrech 300mm x 300mm a tloušťce v rozmezí od 0-102 mm. Zařízení FOX 314 vyrábí firma TA Instruments. Měření na přístroji se řídí podle norem ASTM C518, ISO 8301 a ČSN EN 12667.

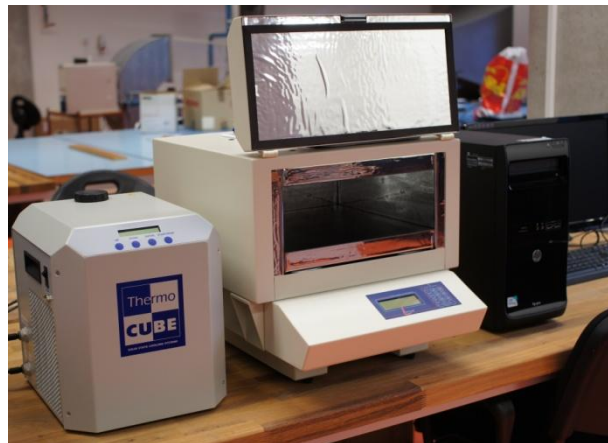


Obr.č.19: Přístroj FOX 314 Instrument [17]

Zařízení Fox se skládá z komory a základny, na které je umístěna klávesnice a displej pro ovládání zařízení. Všechna elektronika je tak uložena na základně. V přední části komory jsou umístěna dvířka pro vládání vzorků mezi dvě desky. Tyto desky jsou zahřívány či ochlazovány podle potřeby na teplotu od -20°C až do +95°C. Horní deska je pevná (zde je umístěn vzorek), spodní je volná, může se s ní pohybovat směrem nahoru a dolů s pomocí čtyř zabudovaných krokových motorů. Desky jsou umístěny v rozsahu definovaném tloušťkou vzorku zadaného ručně nebo za použití Auto tloušťkoměru, který vzdálenost automaticky nastaví. Tloušťka vzorku je monitorována čtveřicí digitálních senzorů, vložených

v rozích spodní desky. Díky tomu je zajištěna stabilita měření měřeného vzorku s přesností $\pm 0,025$ mm. [17]

Jádrem měření součinitele tepelné vodivosti jsou senzory. Tyto senzory jsou umístěny po celé aktivní oblasti (75mm x 75mm) pro naměření celkového tepelného toku. Na každý tento senzor je uprostřed uchycen termočlánek. Tyto termočláanky jsou vloženy v rozmezí 0,1mm od povrchu desky. Jejich účel je poskytnout přesné údaje o teplotě povrchu měřeného vzorku. Stejně termočláanky jsou použity pro regulaci teploty desky. Ochlazení a ohřev obou desek je nastaveno pomocí softwaru přístroje. Před zapnutím zařízení je vždy důležité se ujistit, zda je přístroj připojen k přívodu vody. Přístroj by mohl být vystaven vážnému poškození. Parametr měření *tepelná vodivost* je vyhodnocen v rozmezí 0,005-0,35 W/m·K. [17]



Obr.č.20: Ukázka zařízení FOX 314 v laboratoři KOD [42]

8.1.7 Metoda podle Bocka

Metoda se řadí mezi stacionární zkoušky. Jejím principem je zjistit koeficient tepelné vodivosti rovného vzorku na základě výpočtu hodnot jeho tloušťky, množství tepla prošlého mezi jeho povrchy a rozdílu jejich teplot za ustáleného stavu za definovaných podmínek daných konstrukcí přístroje. [18]

8.1.8 Metoda podle Markese

Metoda podle Markese spočívá na položení textilie na nekovovou desku. Tato deska a současně spodní strana textilie jsou vytápěny pomocí niklového drátu. Horní povrch měřené textilie o známé teplotě a vlhkosti je ofukován proudícím vzduchem o rychlosti 3 m/s.

Vyhodnocením této metody zjistíme úměrnost tepelné propustnosti s příkonem, který je potřebný pro udržení teploty ohřívací desky v požadované hodnotě. [3]

8.1.9 Metoda stacionárního měření příkonu

Principem, jak změřit tepelnou vodivost při ustáleném stavu, je pomocí izolací, které dosáhnou toho, že testovaným vzorkem prochází téměř všechno teplo vyvinuté z topné desky. Měření je proto příkon topné desky, který se shoduje s vyvinutým množstvím tepla Q [W] v topné desce a tepla prošlého textilií.:

$$Q = U \cdot I \quad (19)$$

Jelikož vzorkem prochází téměř všechno vyvinuté teplo, lze tak dopočítat hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] z rovnice:

$$\lambda = \frac{U \cdot I \cdot h}{S \cdot \Delta T} \quad (20)$$

Pro určení hledané hodnoty součinitele tepelné vodivosti je zapotřebí znát napětí U [V], topný proud I [A], tloušťku vzorku h [m], rozdíl „studeného“ a „teplého“ povrchu vzorku ΔT [K] a plochu topné desky S [m^2]. [3]

8.1.10 Metoda s využitím součinitele teplotní vodivosti

Jedná se o principiálně jednoduchou metodu vyžadující minimum speciálních zařízení. Tato metoda byla použita při studiu působení vlákných strukturálních parametrů na tepelnou vodivost textilií. [18] Testovaný vzorek je složen ze 4-6 vrstev stejného materiálu. Následně je přiveden do kontaktu s vyhřívanou plochou. Teplotní čidlo je umístěno mezi vrstvami materiálu, nejčastěji pod první z nich. Čidlo zaznamenává závislost teploty na čase. Z této závislosti je v oblasti s největším teplotním vzestupem odvozena teplotní vodivost α [$m^2 \cdot s^{-1}$] s pomocí dalších údajů jako jsou: teploty vyhřívané plochy, počáteční teploty textilního materiálu a vzdálenosti čidla od vyhřívané plochy. Součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] je určen ze vztahu:

$$\lambda = \alpha \cdot \rho \cdot c \quad (21)$$

Pro výpočet součinitele tepelné vodivosti je nezbytné znát i měrnou hmotnost materiálu (hustotu) ρ [$kg \cdot m^{-3}$] a jeho měrnou tepelnou kapacitu c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]. [3]

9. Výzkum tepelně izolačních vlastností

Následující část práce je zaměřena na současný stav týkající se tématu měření tepelně izolačních vlastností testovaného textilního materiálu. Jde o shrnutí provedených výzkumů a studií se zaměřením na danou problematiku. Jednotlivé práce se zabývají různými druhy materiálů, ať už díky jejich konstrukci nebo vazbě testované na odlišných zařízeních se zaměřením na část problematiky, která se týká tepelně izolačních vlastností. Analyzován byl časový rámec od roku 1990 po rok 2014. Díky uvedeným vědeckým pracím lze říci, že testování tepelně izolačních vlastností prošlo pozoruhodným vývojem. Zpočátku šlo převážně o měření na zařízeních vyvinutých pouze pro tento druh vlastností, avšak jak se zdá nyní jsou více vyhledávaná zařízení s použitím především tepelných figurín.

Jako první vyvinuté zařízení je zde uveden přístroj TRI sestavený výzkumníky G.E.R. Lamb a M. Yoneda jako zjednodušené zařízení "alternativa" k větrnému tunelu. Jde o zařízení měřící tepelný tok za podmínek proudění vzduchu, avšak s jednou výhodou oproti větrnému tunelu známé rychlosti pohybu válce, jež se rovná rychlosti proudění vzduchu. Dále jsou zde vybrány dvě další studie vypracované pracovníky I. Frydrych, G. Dziworska, J.Bilska a Malgorzatou Matusiak, zabývající se měřením na zařízení Alambeta. První studie se věnuje testování tepelně izolačních vlastností u finálních úprav tex. materiálů z bavlny a Tencelu. Druhý výzkum se zabývá testováním tepelně izolačních vlastností vrstvených materiálů. Následně je uvedena vědecká práce výzkumníků Eunae Kim S. J. Yoo a H. Shim, jež sestrojili simulátor člověk-oděv-prostředí určený měření tepelného komfortu oděvu za dynamických extrémních podmínek. Přístroj obsahuje dvě klimatizační komory spojené rampou, po které se pohybuje skin model. Jde o měření zaměřené na široký rozsah nastavitelných vnějších podmínek pro porovnání jejich přechodného stavu. Dále jsou zde vybrány tři studie, jež mezi sebou spojuje několik faktorů, kterými jsou použité shodné zařízení či zvolení stejné měřicí metody. První z těchto studií je vědecká práce zaměřená na otestování sestaveného zařízení Ghaddar a kol. určeného pro měření tepelné ztráty za podmínek proudění vzduchu vyvolaného houpajícím se pohybem oblečeného vyhřívaného válce. Měření dále pokračuje porovnáním získaných hodnot s Lotens modelem. Studii publikovali vědečtí pracovníci K. Ghali ve spolupráci s M. Othmani, B. Jreije a N. Předposledním výzkumem je zde uvedena vědecká práce Matthew P Morris a René M Rossi, kteří pracovali na testování celkového tepelného odporu u oděvu se zaměřením na horní polovinu těla měřené na tepelné figuríně SAM. Poslední výzkum, který uzavírá celý přehled, je práce zaměřená na testování účinku větru a oděvních otvorů systému oděvu. Měřeny jsou parametry lokální míra proudění a

lokální tepelná izolace u tří částí oděvu -pravé paže, hrudníku a zad. Měření je provedeno na zařízení na bázi Lotens a Havenith modelu. Výzkum publikovali Ying Ke, Xianghui Zhang, Xiaohui Li a Jun Li ve spolupráci s George Havenith.

Z vybraných vědeckých studií lze říci, že nastupuje trend v testování tepelně izolačních vlastností použitím tepelných figurín. Jde tak o očekávaný trend spojený s časovou náročností vývoje nového zařízení, jež přináší i finanční zátěž. Nelze ale opomenout fakt, že zařízení jsou stále vyvíjena a jsou více specifikována na konkrétní extrémní situace, které souvisejí i s vývojem oděvních materiálů odolávajících extrémním situacím, při kterých nelze využít tepelných figurín a manekýnů.

Tepelná ztráta měřená na větrné oblečené struktuře. // Heat Loss from a Ventilated Clothed Body

Tato studie byla provedena v roce 1990 v New Jersey a vypracovali ji G.E.R. Lamb a M. Yoneda.

Testování bylo provedeno na zařízení TRI obsahující rotující rameno (vyhřívavý válec), které se pohybuje za podmínek bezvětří. Přístroj byl vyvinut jako alternativa k zařízení větrný tunel, avšak s výhodou známé rychlosti pohybu vyhřívavého válce, jež se rovná rychlosti proudění vzduchu. Měřen byl tepelný tok za podmínek proudění vzduchu zaznamenané na povrchu vzorků pokrývajících rameno zařízení. Měření je hodnoceno na základě Take-uchiho teorii. Celkem byly testovány 4 vzorky polyesterové pleteniny. Testované materiály byly vyrobeny ze čtyř druhů polyesterových staplových přízí s příměsí 10 % vinyonu, které byly dále upraveny do síťoviny spojené spacerem. Vzorky byly nastříhány do standardních velikostí o stejné hmotnosti s rozmezím hodnot pro jemnost od 2,25-15 denier, tloušťku od 3-13 mm a pevnosti 0,1-0,4 Nd. Nejdříve byla u vzorků změřena ztráta tepelného toku válcem, se kterou byly dopočteny hodnoty nezbytných parametrů jako jsou tepelná vodivost a prodyšnost vzorků. Testování tepelné ztráty bylo měřeno ve třech rychlostech vzduchu, a to ve 0,75, 1,5 a 3 m/s. U každé rychlosti bylo provedeno pět testování, ze kterého byl následně dopočítán aritmetický průměr.

Z vyhodnocení experimentu vyplývá, že u polyesterového vzorku s jemností 2,25 denier, s prodyšností 10^{-9} m^2 se součinitel přestupu tepla mění s rychlostí vzduchu až do 3 m/s, což je dáno změnou vrstvy mimo testovaný vzorek. Tato testovaná vrstva textilního materiálu by však měla být dostačující pro zhotovení svrchního oblečení k použití za podmínek rychlosti proudění vzduchu do 3 m/s. [23]

Srovnávací analýza tepelně izolačních vlastností tkanin, vyrobených z přírodních a chemických celulóзовých vláken. // Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres

Studie byla publikována v roce 2002 Institutem Textilní architektury ve spolupráci s Technickou univerzitou v Łódži v Polsku. Výzkum provedli I. Frydrych, G. Dziworska a J. Biliska.

Hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií bylo provedeno u tkanin ze 100% bavlny a 100% Tencelu (celulóзовé vlákno extrahované ze dřeva). Celkem bylo testováno 15 vzorků, konkrétněji 6 vzorků z bavlny a 9 ze Tencelu. U každého z testovaných materiálů byla nanesena finální úprava. U bavlněných vzorků šlo o dokončovací úpravy pomocí škrobu nebo elastomerů, u vzorků z Tencelu se jednalo o úpravy enzymatickým odšlichtováním a úpravy s použitím enzymatických látek nebo pryskyřic. Příze u vybraných materiálů dosahovaly jemnosti 20 tex. Zvoleny byly tři vazby tkanin, a to plátno, canvas a tvil společně s hustotou osnovy a útku pro všechny testované vzorky na 32 nití/cm.

Fyzikální a mechanické vlastnosti všech typů upravených tkanin z Tencelu a bavlny byly hodnoceny podle polských norem. Měření tepelně izolačních vlastností bylo realizováno na přístroji Alambeta. Každý ze vzorků byl testován vždy pětkrát s dopočítáním aritmetického průměru z těchto hodnot. Z měření vzorků bylo vypočteno šest parametrů. Prvním vyhodnoceným parametrem byla měrná tepelná vodivost, kdy z pohledu zhodnocení použitého materiálu dosáhly bavlněné vzorky vyšších hodnot než vzorky z Tencelu. Získané hodnoty také potvrdily ovlivnění hodnot po použití finálních úprav. Dále u zhodnocení parametru měrné teplotní vodivosti dosáhly vzorky Tencelu vyšších hodnot oproti těm bavlněným. S ohledem na strukturu tkanin lze říci, že hladší a tedy i nižší tloušťka odpovídá nižšímu tepelnému odporu.

Celkovým shrnutím výsledků bylo zjištěno, že Tencel a tenký bavlněný materiál může být použit pro letní oblečení z důvodu zajištění vhodného přenosu tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Z veličin naměřených na přístroji Alambeta je patrné, že vhodnost zvoleného materiálu lze zajistit nejen výběrem jeho tloušťky či jeho zakrytím, ale také jeho strukturou, druhem použité vazby nebo povrchovou úpravou. [24]

Zkoumání tepelně izolačních vlastností u vícevrstvých textilií // Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles

Výzkum, byl proveden v roce 2006 Malgorzatou Matusiak z Institutu Textilní architektury. Cílem této práce bylo prozkoumat tepelně izolační vlastnosti u jednovrstvých a vícevrstvých textilních materiálů používaných v zimním sportovním oblečení. K testování byly vybrány různé druhy textilií - bavlněné tkaniny, tepelně izolační materiály a kombinace obou těchto materiálů.

Bavlněné vzorky byly zařazeny do výběru testování z několika důvodů, jde o materiál, který je jednoduše k sehnání a je často používán jako vnější vrstva pro outdoorové oblečení. Celkem byly vybrány tři druhy bavlněných tkanin. U všech vzorků byla použita stejná vazba a to kepr s jemností 40 tex. Určena byla i dostava u osnovy 25 nití/cm a v útku 15 nití/cm. U vybraných vzorků byla použita odlišná konečná úprava, ve třech barvách: žlutá (A1), červená (A2) a modrá (A3). Díky těmto odlišnostem vzorky dosahovali různé hmotnosti. Z tepelně izolačních materiálů byly zvoleny netkané textilie (NT) z polyesteru, třívrstvá vpichovaná textilie z viskózy. Měření tepelně izolačních vlastností bylo testováno na přístroji Alambeta. Každý vzorek byl testován vždy dvacetkrát, kdy byl poté ze získaných hodnot dopočítán aritmetický průměr.

Vyhodnocení naměřených hodnot u parametru tepelné vodivosti dopadlo dle očekávání. Nejnížší výsledek byl naměřen u tepelně izolačních materiálů - NT z polyesteru a třívrstvé vpichované textilie z viskózy. Nejvyšších hodnot u parametru teplotní vodivosti bylo naměřeno u netkané textilií z polyesteru a to díky struktuře NT a jeho vysoké porózitě a tím pak velkému množství vzduchu v jeho struktuře. Tepelná jímavost je parametr, ve kterém vyšších hodnot dosáhly testované vzorky z bavlny, u tepelného odporu tomu bylo naopak. Nejvyšších hodnot zde dosáhl materiál NT z polyesteru. Díky malému počtu testovaných vzorků, je tak těžké zhodnotit vztahy mezi tepelně izolačními parametry pro jednovrstvé a vícevrstvé vybrané materiály. [25]

Užitné vlastnosti vybraných oděvních systémů za podmínek blízkých nule: Stanovené na výkonu simulátoru člověka-oděvu-prostředí. // Performance of Selected Clothing Systems under Subzero Conditions: Determination of Performance by a Human-Clothing-Environment Simulator.

Studie byla publikována v roce 2006 a to výzkumníky Eunae Kim S. J. Yoo a H. Shim z Výzkumné laboratoře funkčního textilního systému, Katedry oděvu&textilu na Yoseinově Universitě v Jižní Koreji. Předmětem této práce bylo měření parametrů tepelného komfortu oděvu za dynamických podmínek. Testování bylo provedeno na zařízení vertikálního typu simulátoru člověk-oděv-prostředí.

Přístroj byl sestaven jako skin model se dvěma sousedními klimatizačními komorami spojenými rampou, ve kterých bylo možné nastavit zvlášť široký rozsah podmínek za zimního ($t = -10 \pm 0,5$) a letního počasí ($t = 25^{\circ}\text{C}$) pro porovnání přechodného stavu. U obou komor lze dále nasimulovat dva druhy měření: suchý a mokrý test. Součástí zařízení bylo pohybující se potící torzo, které se přemísťovalo mezi komorami. Měřeny byly 4 druhy vzorků, které představovaly minimální počet oděvních vrstev (celkem dvě vrstvy) pro posouzení přechodného efektu. Pro 1.vrstvu byla vybrána pletenina z polyesteru a pro 2. vrstvu byly zvoleny materiály fleecce z polyesteru, mikro porézní membrána (MPM) z polyesteru a PVC vrstva. U vybraných materiálů tak byl sledován transport vodních par za podmínek pod bodem mrazu. Během testu byly vzorky vždy vloženy do držáků vzorků v rozmezích zadaných hodnot pro vzduchové mezery tak, aby byla zajištěna simulace oděvních vrstev. Každá vrstva byla vybavena senzorem.

Vyhodnocení získaných dat parametrů relativní vlhkosti a tlaku vodních par potvrdilo kondenzaci, která probíhala na oděvních vrstvách během přechodné doby poklesu teplot. Při podmínkách blížících se nule bylo zaznamenáno, že u testovaných vzorků s nízkou propustností pro vzduch se udržovaly molekuly vody na vnitřní straně oděvní vrstvy, což dále zhoršovalo prodyšnost membrán. Testovaný oděvní systém s fleecem zaznamenal nejvyšší teploty a nízké hodnoty tlaku vodních par v porovnání s MPM za zimních podmínek, díky svým tepelně izolačním vlastnostem a prodyšnosti. Nejvyšší hodnoty tlaku vodních par oděvního systému MPM jsou připisovány kondenzaci, která způsobila blokování pórů pro transport vodní páry. [26]

Zjednodušený model přenosu tepla na větrném-propustném objektu se zakrytým válcem vykonávajícím houpavý pohyb // Simplified Heat Transport Model of a Wind-permeable Clothed Cylinder Subject to Swinging Motion

Výzkum byl publikován v roce 2009 a to K. Ghalim z Katedry strojírenství, Beirut Arab Univerzity v Libanonu ve spolupráci s M. Othmani, B. Jreije a N. Ghaddar z Katedry strojírenství, Americké Beirut Univerzity v Libanonu. Cílem této práce je otestování přístroje Ghaddar a kol. určeného pro měření tepelné ztráty během pohybu (chůze) a následné porovnání získaných hodnot s Lotens zařízením.

Přístroj Ghaddar a kol. je větrný tunel, který je určen pro měření přenosu tepla na vyhřívaném válci zakrytém testovaným vzorkem za podmínek proudění vzduchu (médiu) vyvolaného houpavým se pohybem oblečeného válce. Druhým přístrojem je konstrukčně zjednodušený síťový Lotens model, jenž se skládá z vyhřívané figuríny umístěné ve větrné komoře určené pro měření ustálené tepelné odolnosti v dynamických situacích při stálé teplotě povrchu figuríny. Lotens model je odvozen z celkové tělesné ventilace skrz otvory ze systému oděvu. Jde o testování s uzavřenými nebo otevřenými oděvními otvory. U zařízení Ghaddar a kol. jde o testování ztráty tepla uzavřeného vnitřního válce zakrytého testovaným vzorkem při různých frekvencích pohybu.

U obou měření byla provedena zkouška, u Ghaddar a kol. zařízení skrze experiment při různé frekvenci (40-80 ot./min) pohybu oblečeného válce. U zkoušky bylo zajištěno testování při nízkých otáčkách větrné trati (0-4 m/s) za bezvětří nebo při rovnoměrném bočním proudění. U Lotens modelu testování spočívalo v měření tepelné ztráty na čtyřvrstevném oděvním modelu skládajícím se z tepelných a odpařovacích sítí umístěných na tepelné figuríně. Tyto sítě měřily tepelné ztráty pohybující se figuríny na základě známé míry proudění a rychlosti chůze. Obě zkoušky byly provedeny za ustálených podmínek. Větrná komora byla nastavena na teplotu $T=25^{\circ}\text{C}$ s relativní vlhkostí $\text{RH}=50\%$. Testována byla neupravená bavlněná tkanina s tloušťkou 1mm.

Vyhodnocení naměřených hodnot prokázalo shodu mezi získanými výsledky jednotlivých zařízení. Výsledky zařízení Ghaddar a kol. poukázaly na rychlost tepelné ztráty, jež se zvyšuje se zvyšující frekvencí proudění. Prouděním vzduchu skrz oděv ve spojení větru a pohybu bylo zjištěno, že lze dosáhnout dvojnásobné nebo až trojnásobné tepelné ztráty ve srovnání s Lotens modelem, nehybným objektem (figurínou) za bezvětří. Z těchto důvodů lze potvrdit, že vyvinuté zařízení Ghaddar a kol. je vhodným nástrojem pro měření tepelné ztráty lidského těla při chůzi.[27]

Vliv větru, pohybu těla a oděvních úprav na efektivní tepelný odpor oděvu s nízkou a vysokou vzduchovou izolační propustností// The effect of wind, body movement and garment adjustments on effective thermal resistance of clothing with low and high air permeability insulation

Studii v r. 2013 publikovali Matthew P Morris a René M Rossi z Laboratoře pro ochranu a fyziologii, EMPA Švýcarské Federální Laboratoře pro Materiálový výzkum a technologii, St. Gallen ve Švýcarsku. Tato studie je součástí velkého projektu určeného pro optimalizaci využívání vysoké propustnosti izolace v oblečení. Studie je zaměřena na testování celkového tepelného odporu u úplného oděvu měřeného na tepelné figuríně SAM. Cílem této studie je analýza vlivů působících při chůzi a větru, které mají za důsledek vysokou propustnost tepelné izolace u oděvu skrze jeho vrstvy. Ve studii jsou testovány pouze oděvy zakrývající horní část lidského těla.

Pro měření byly vybrány dva odlišné oděvní soubory. U prvního souboru byla použita vysoce prodyšná vnitřní vrstva, pro druhý soubor byla vybrána vnitřní vrstva méně propustná. Každý z oděvních souborů vždy obsahoval celkem tři vrstvy. První soubor se skládal ze základní vrstvy: termoprádlo se strukturou síťoviny ze 100% polypropylenu, vnitřní vrstvy: distanční pletenina spacer ze 100% polyesteru a vnější vrstvy: laminát tvořený tkanou vnější vrstvou s mikroporézní PU membránou a vnitřní vrstvou tvořenou trikot pleteninou. Druhý soubor se skládal ze základní vrstvy: z konvekční pleteniny ze 100% polyesteru, vnitřní vrstvy: fleece upletu ze 100% polyesteru a stejné vnější vrstvy jako u prvního oděvního souboru, tedy laminátu. Oba oděvní soubory byly testovány při třech rychlostech chůze a to $v=0, 1,5$ a $2,5$ km/hod., kdy jednotlivé rychlosti chůze byly dále měřeny ve třech rychlostech proudění větru $v= 0,1$ a $2,5$ m/s. Pro testování byly zadány ustálené podmínky, a to okolní teplota $T=20^{\circ}\text{C}$ s vlhkostí $\text{RH}=65\%$. Za těchto podmínek byla vždy provedena pouze tři měření.

Vyhodnocením naměřených hodnot bylo prokázáno, že vnější vrstva oděvního systému musí mít nízkou prodyšnost, jelikož tím plní ochrannou funkci proti pronikání proudění větru. Avšak vnitřní vrstva může být vysoce prodyšná pro tepelnou izolaci, jelikož dokáže nabídnout výhody pro poskytnutí flexibilní tepelné izolace oděvu. [47]

Vliv větru a oděvních otvorů na lokální oblečení za rychlosti proudění a tepelné izolace // Effect of wind and clothing aperatures on local clothing ventilation rates and thermal inslutation

Výzkum byl publikován v roce 2014 a to Ying Ke, Xianghui Zhang, Xiaohui Li a Jun Li z Výzkumného centra pro ochranné oděvy, Fashion Institutu, Donghua Univerzity, Shanghai v Číně ve spolupráci s George Havenith z Výzkumného centra ekologie a ergonomie, Sociální vědy, Loughborough Univerzity ve Velké Británii. Předmětem tohoto výzkumu bylo otestovat účinky větru a oděvních otvorů v lokální míře prodyšnosti určované u tří oděvních částí - pravé paže, hrudníku a zádech. Dále se výzkum zabývá zjištěním lokální tepelné izolace u již zmíněných oděvních částí oděvu.

Pro testování bylo vybráno devět pracovních bund. Zvoleny byly bundy konstrukčně totožné, jež se odlišují pouze svojí zvolenou velikostí a prodyšností textilního materiálu. Bundy byly zhotoveny ze tří druhů bavlny, a to v keprové vazbě se zvolenou tloušťkou $h=0,48$ mm. Vybrané tkaniny se od sebe lišily svou prodyšností: na prodyšné (PM), poloprodyšné (SM) a neprodyšné (IM). Tkaniny byly napůl obarveny. Vybrané pracovní bundy byly vždy zhotoveny ve třech velikostech (170, 175 a 180) a každá velikost byla vyrobena ve třech variantách zvoleného materiálu (PM,SM,IM). Měření bylo provedeno na zařízení větrný model sestaveného na bázi zařízení od Lotense a Havenitha, které obsahovalo stojící vyhřívanou figurínu umístěnou ve větrné komoře. Měřeny byly lokální míra prodyšnosti a lokální tepelná izolace. Experimenty byly provedeny při zvolené rychlosti proudění větru $v= <0,3$ a $1,1$ m/s ve třech zvolených podmínkách oděvních otvorů, a to bez uzavření otvorů, s uzavřeným lemem a uzavřeným lemem+krkem, jež byly měřeny vždy jednotlivě.

Vyhodnocením naměřených hodnot bylo zjištěno, že vítr spolu s oděvními otvory u zvolených částí oděvu má významný vliv na výsledek testovaných parametrů. Zjištěny byly také další vlivy, a to velikost oděvů, propustnost a splývavost tkanin. U pravé paže byla změřena nejvyšší lokální míra prodyšnosti při rychlosti větru $v=1.1$ m/s. Lokální míra prodyšnosti u zad a hrudníku byla vyhodnocena jako vyšší při proudění větru než v bezvětří. Uzavřením oděvních otvoru byla ovlivněna lokální tepelná izolace u většiny oděvu, především však u bund s neprodyšnou tkaninou (IM). [48]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce se bude zabývat testováním tepelně izolačních vlastností u vybraných textilních materiálů na zařízení aerodynamický (větrný) tunel. Získané výsledky budou dále porovnány s výslednými hodnotami z celkem tří přístrojů, které měří tepelně izolační vlastnosti textilií. K porovnání budou použity již naměřené hodnoty z diplomové práce vypracované Terezou Szepesiovou, která se zaměřila na testování tepelně izolačních vlastností textilních vzorků měřených na shodné aparatuře. Pro měření jsou vybrány vzorky materiálů pracovního oblečení. Tento druh vzorků byl zvolen z důvodu častého použití oděvu za různých vnějších podmínek, tedy i za extrémních podmínek proudění vzduchu, během kterých jsou na oděv kladeny nároky na komfort a tepelně izolační vlastnosti pro zajištění normálního tepelného stavu pracovníka.

Cílem diplomové práce není pouze porovnat zmíněné přístroje, ale pokusit se najít souvislost mezi naměřenými hodnotami a daty již získanými testováním různých metod měření tepelně izolačních vlastností textilií.

U textilních materiálů bude sledováno, jak se hodnoty tepelné izolace mění v rámci jejich výchozích parametrů a zda jsou vybrané přístroje vhodné či nevhodné pro porovnání mezi sebou. Výsledkem práce by mělo být posouzení, zda přístroj aerodynamický (větrný) tunel může být porovnáván s vybranými přístroji pro hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií či nikoliv. Experiment byl proveden na přístrojích Aerodynamický (větrný) tunel, C-Therm TCi, SGHP a Fox 314. Jejich popis je více rozebrán výše (viz. kapitole 7).

10. Výběr textilních materiálů pro experiment

Pro diplomovou práci bylo stanoveno testování oděvních materiálů pracovního oděvu určeného pro použití při práci v různých klimatických podmínkách. Důvodem výběru tohoto typu oděvu jsou široké možnosti kombinací oděvních materiálů, které lze použít k zajištění termofyziologického komfortu v podmínkách vnějšího prostředí. Dalším důvodem výběru je důležitost oděvu jako každodenního oblečení, které poskytuje tepelně izolační vlastnosti a komfort nositeli nejen při práci, ale i odpočinku a má vliv na jeho pracovní výkonnost.

Pracovní oděv je druh oblečení určený k ochraně nositele. Tento oděv poskytuje částečnou nebo úplnou ochranu lidského těla. Jeho zhotovení je ovlivněno účelem použití. Oděv může být určen k práci za různých klimatických podmínek jako jsou nízké teploty spojené s prouděním větru, kdy je nutné přizpůsobit oděv a zabránit tak proniknutí chladného vzduchu do mezní vrstvy oděvu. K tomu lze nejčastěji použít několik typů pracovního oblečení, jako jsou bunda (nejčastěji zimní), kalhoty (nebo montérky) se zateplením nebo bez zateplení a kombinézy. Tyto typy oděvů je možné nosit zvlášť, či je společně kombinovat do pracovních kompletů. Jednotlivé typy oblečení se však od sebe odlišují, a to svými požadavky v závislosti na řadě činitelů, kterými jsou: podmínky užití oděvu, vlastnosti materiálu, tvorba oděvu a jeho vrstev (počet vrstev, velikost vzduchových mezivrstev, požadavky na přiléhání oděvu, celková tloušťka) a chemická úprava povrchu výrobku. [5]

Záměrem této práce není pouze specifikovat části pracovních oděvů, ale více se zaměřit na danou problematiku z celkového pohledu pracovního oděvu určeného pro použití za různých extrémních klimatických podmínek, a to kombinací materiálů, které se pro jednotlivé typy oděvu nejčastěji používají. Vybrány jsou tyto materiály: hustě dostavená tkanina, fleecové úplet, tkanina s membránou a softshell textilie.

V současné době je nabídka textilních materiálů určených pro pracovní oblečení úzce propojena s funkčními textiliemi. To je dáno nejen díky vyšším požadavkům na pohodlí pracovníka, ale i dostupností těchto materiálů. Většinou se jedná o textilie, které mají schopnost propouštět vlhkost ve formě vodní páry produkované lidským tělem a současně zabránit průchodu kapalné vlhkosti z okolního prostředí směrem k pokožce. Pro tyto textilní materiály určené pro pracovní oděv jsou velmi důležité i tepelně izolační vlastnosti, které jsou popsány výše (viz. kapitola 4). Dalšími požadavky pro pracovní oděv jsou komfort při nošení, fyziologicko-hygienické vlastnosti, dostatečná odolnost proti opotřebení, snadná údržba, estetika a ostatní užité vlastnosti. [1,5]

10.1 Pracovní oděvy

Pracovní oděv patří k nejpoužívanějším prostředkům, jak chránit nositele při práci. Jde o oděv, který je přizpůsoben nejen potřebám pracovníka (splňovat fyziologické požadavky a tepelně izolační vlastnosti), ale i podmínkám pracovního prostředí. Oděvů určených pro práci existuje velké množství, lze je tak rozdělit do několika kategorií, a to např. podle použití, typu oblečení nebo pohlaví pracovníka apod.

Pracovní oblečení, které zde bude více rozebráno, je oděv používaný za vnějších extrémních klimatických a větrných podmínek. Ty se vyznačují chladným počasím a nízkou teplotou. Při této situaci je oblečení vystaveno nesčítným požadavkům pro zajištění komfortu pracovníka.

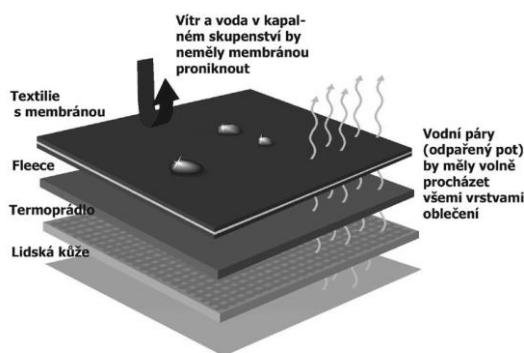
Věnována je tak velká pozornost vybranému typu oblečení a způsobu jeho vrstvení. Celý systém funguje na principu udržení tzv. mikroklimatu. Při jeho změně, ztrátě tepla nebo jeho nahromadění, tzv. přehřátí, reaguje lidské tělo na změnu spuštěním procesů k obnovení jeho rovnováhy a optimálního tělesného klimatu.

Vrstvení oblečení, nazývané také jako cibulový princip, vychází z rozdílných vlastností jednotlivých materiálů oděvních vrstev. Ty je nutné nejen správně kombinovat, ale i specifikovat, jelikož každá z nich plní svoji funkci a není možné ji vynechat. Využití systému vrstvení lze najít napříč obory, nejčastěji jsou však uplatňovány u sportovního a outdoorového oblečení. Výjimkou tomu není i u pracovního oblečení. To již často využívá možnosti funkčních materiálů neboli multifunkčních textilií spolu se zavedenými přírodními materiály pro zajištění zvyšujících se požadavků nejen na komfort nošení, ale i na výkonnost pracovníka (tyto dva vlivy spolu souvisejí) a možnosti práce za jakýchkoliv klimatických podmínek. Určení množství oděvních vrstev je tak velmi individuální volbou. Při konečné volbě je však důležité volit oblečení nejen podle venkovní teploty, ale i podle druhu fyzické zátěže a osobních dispozic.

Nejčastěji je používán systém oblečení, který vychází z existence tří vrstev a to: komfortní, izolační a ochranné, které se vzájemně doplňují a svým způsobem se podílejí na regulaci klimatu. První vrstvou oděvního materiálu je **komfortní vrstva**. Ta je tvořena ve většině případů funkčním spodním prádlem, které je vyráběno ze syntetických materiálů, nejčastěji polyesteru nebo polypropylenu. Další vrstvou je druhá **izolační vrstva**.



Obr. č. 21: Pracovní oděv [36]



Obr. č. 22: Struktura vrstev oděvu [37]

Ta je tvořena svršky obsahujícími různé materiálové složení, mezi které se řadí i fleece (počesaná pletenina). Poslední vrstvou je poté třetí **vrstva ochranná**, svrchní, neboli vnější vrstva. Tu tvoří materiály jako jsou tkaniny s hustou dostavou s materiálovým složením v kombinaci přírodních a syntetických vláken nebo tkaniny se zátěrem (vrstvou polyuretanu či jiného materiálu). Nejvíce se však nyní používají lamináty - membránové materiály, a to buď dvouvrstvé nebo třívrstvé. Jak již bylo řečeno, pracovní oděv bude v textu dále specifikován jako celek se zaměřením na vybrané oděvní materiály, které se často používají při zhotovení pracovního oděvu. V následující pasáži budou proto více rozepsány konkrétní vrstvy oděvních materiálů. [1,31,32,33, 34]

10.1.2 Komfortní vrstva (I.vrstva)

Tato vrstva je základní vrstvou celého systému vrstvení oblečení a to především při chladném počasí. Její hlavní funkcí je transport potu z povrchu těla (kapilární jev) a převod do další vrstvy oblečení. Další možností je odpařit tuto vlhkost do vzduchu a tím zamezit ochlazování nebo přehřívání těla. Pro zajištění funkčnosti první vrstvy a možnosti odvádět vlhkost z těla pryč je nezbytné, aby vrstva přiléhala v celé své šíři. Jestliže funkční prádlo nepřiléhá, je celý proces zkomplikován. Pot se tak nejprve musí z těla odpařit a teprve následně páry potu na prádlo zkondenzovat, aby byl pot z těla odveden.



Obr. č. 23: První vrstva oděvu [36]

Další funkcí především u teplejšího provedení je výrazné zlepšení tepelné izolace, tzv. mikroklimatu, kolem pokožky nositele. Současně však musí být funkční prádlo zhotoveno z příjemného materiálu a být nealergické.

Funkční prádlo se vyrábí v mnoha různých vazbách i tloušťkách. Vzhledem k tomu, že hlavní úkol této vrstvy je transport tělesné vlhkosti do dalších vrstev, je žádoucí, aby byl zvolený materiál co nejméně nasákavý. Využití přírodních materiálů tak není příliš vhodným řešením, a to nejen díky jeho vysokým sorpčním vlastnostem, ale i silnou vazbou vlhkosti, která se projevuje tím, že prádlo pomaleji schne a dochází tak k pocitu chladu. Výjimkou je pouze materiál vyráběný z merino vlny. Z toho důvodu jsou využívána hydrofobní syntetická vlákna vyráběná na bázi polyesteru, polypropylenu a polyamidu. Ta dokáže nejen kvalitně izolovat, ale i odvádět tělesnou vlhkost s téměř nulovou tolerancí. Do první vrstvy tak lze zařadit speciální funkční prádlo a termoprádlo vyrobené z materiálu např.: Micra, Moira a Coolmax. [33, 34, 35]

10.1.3 Izolační vrstva (II.vrstva)

Hlavní úkol druhé vrstvy je termoizolace. Ta má zabránit ztrátě tepla jeho zachycením. Zároveň však má být prodyšnou vrstvou, která umožní rychlý odvod potu a přebytečné tepelné energie směrem k vnější vrstvě oblečení. Jednodušeji řečeno jde o vrstvu, která se nosí na první (transportní) vrstvě, ze které je odváděna vlhkost a jež současně udržuje tělesné teplo. Jejím použitím lze zabránit koncentraci potu mezi jednotlivými vrstvami a pomoci tak udržovat potřebnou tělesnou teplotu, jelikož se vyprodukované teplo nahromadí v látce v podobě potu a to vede opět k následnému ochlazení.



Obr. č. 24: Druhá vrstva [36]

Mezi izolační vrstvu lze nejčastěji zařadit různé druhy tepelně izolačních vláken, tkanin a materiálů s velkým obsahem vzduchu. Opět není vhodné použití přírodních vláken. Nejčastěji se tak využívají fleecové materiály vyrobené z polyesteru a polyamidu, které jsou často upraveny jednostranným nebo oboustranným počesáním pleteniny dostupné v různých plošných hmotnostech s použitím různých povrchových úprav. Používaný fleec a jeho druhy např.: microfleece, Polartec apod. by tak měly být především lehké, teplé, rychleschnoucí a nevlhcnoucí. Tloušťka materiálu bývá větší, než je tomu u první vrstvy. Za příznivějších klimatických podmínek při vyšší teplotě se tato vrstva často používá jako svrchní oblečení. [33, 34, 35]

10.1.4 Ochranná vrstva (III.vrstva)

Třetí vrstva je nazývána ochranou. Ta má za úkol chránit tělo proti vnějším vlivům počasí a současně sloužit jako prostředek k uchování vlastnosti spodních vrstev. Ochranná vrstva musí udržovat své vrstvy pod sebou suché pro zabránění nežádoucím ztrátám tepla. Mezi vlastnosti třetí vrstvy lze zařadit vysokou prodyšnost a nepromokavost, tak aby dokázala zabránit přístupu vody z vnějšího prostředí a zároveň chránila izolační vrstvy před akumulací tělesné vlhkosti vzniklé pocením. Dále by měla svrchní vrstva poskytnout ochranu proti větru a nepříznivým klimatickým podmínkám.



Obr. č.25: Třetí vrstva [36]

Pro ochranu vrstvu se nejčastěji využívá membránových materiálů, tkanin se zátěrem nebo s hustou dostavou. Na současném trhu lze najít populární tzv. kombinovanou vrstvu (softshellové materiály), která splňuje vlastnosti jak izolační tak ochranné vrstvy. Díky vzniku různých kombinací vrstev tak vzniká dostatečně přizpůsobivé oblečení. To je však méně vhodné do náročných klimatických podmínek. U pracovních oděvů se využívají různé druhy textilií. Ty lze rozřadit dle základního rozdělení na:

- **tkaniny s husou dostavou** (vyrábí se z bavlněných přízí a jsou nejčastěji tkaná v keprové vazbě)
- **tkaniny nebo pleteniny opatřené zátěrem** (patří sem např.: mikroporézní nebo hydrofilní povrstvené , velikost póru $<0,001\mu\text{m}$)
- **tkaniny nebo pleteniny laminované užitím membrán** (jde o mikroporézní, hydrofobní membrány s průměrem pórů 0-1,3 μm (GORETEX) nebo neporézní, hydrofilní film s velikostí póru $<0,001\mu\text{m}$, fungující na principu difúze (SYMPATEX)). [1]

Oděv určený pro práci v chladném prostředí musí splňovat i fyziologické požadavky, tedy tepelně izolační vlastnosti. Ty souvisejí nejen se schopností materiálů vést teplo, ale jsou také nepřímou závislé na součiniteli tepelné vodivosti, který je ovlivňován druhem vlákenného materiálu a strukturou textilie. Materiál tak sám o sobě nedokáže hřát. Jeho funkcí je tedy pouze izolace. Pro teplo a jeho udržení je proto nutné využít nevodivých materiálů - izolantů. Pro tento účel je nejčastěji využíván vzduch. K vytvoření izolačního materiálu je proto nezbytné použít materiál s co největším objemem vzduchu (mezi vlákny, v pórech vlákna, v

dutinách). Pro ten se používají tvarovaná vlákna, vlákna s modifikovaným tvarem (dutá vlákna, apod.) nebo peří. [38] Tepelnou vrstvu lze u třetí vrstvy zajistit použitím nejen podšívky např.: vrstvou fleecu nebo výplňkovými materiály. Nejčastěji je u pracovního oděvu využíváno jako výplňkový materiál rouno. To se vyznačuje především svou měkkostí, objemností a malou hmotností. Rouna jsou vyráběna z materiálů polyester, polyamid, polypropylen nebo jejich směsi. Na trhu tak lze najít velké množství těchto materiálů. Nejčastěji jsou však používány Vatelín a Saxima. [34, 38]

Pro experimentální část byly nakonec vybrány čtyři oděvní materiály. Jde o jednotlivé textilní vzorky bavlněné tkaniny, fleece úplet, softshellové textilie a membránové tkaniny. Materiály, které byly pro tuto diplomovou práci zvoleny reprezentují nejčastěji používané a velmi kvalitní materiály pro pracovní oděv. Testované vzorky jsou vybrány ze sortimentu firem Polartec a Moraviatex pletárna s.r.o. mimo bavlněnou tkaninu, která je získána ze skladu KOD.

11. Charakteristika použitého materiálu

Jak již bylo zmíněno, pro experiment byly vybrány oděvní materiály používané pro pracovní oděvy. Celkem byly testovány čtyři vzorky materiálů, a to bavlněná tkanina, fleece úplet, membránový materiál Neoshell® a softshell materiál Power Shield®. Bavlněná tkanina byla pro experiment vybrána pouze jako referenční vzorek. Materiál byl poskytnut z šicí dílny Katedry oděvnictví (KOD). Dále byl zvolen fleece materiál nebo-li zátažná pletenina s upraveným povrchem od firmy Moraviatex pletárna s.r.o. A jako poslední dva materiály byly použity membránová tkanina Neoshell® a softshell textilie Power Shield® vyráběné firmou Polartec.

V následujícím textu níže budou více popsány jednotlivé materiály, především jejich parametry - plošná hmotnost, druh plošné textilie a tloušťka. Druh plošné textilie byl zjištěn pomocí analýzy obrazu - systému NIS Elemets. Tento systém umožňuje zpracovat zvětšený obraz zvoleného textilního materiálu. Plošná hmotnost byla dále zjištěna pouze pro bavlněnou tkaninu, u které tyto hodnoty nebyly známy, u ostatních vzorků byla tato data zjištěna ze zmíněné diplomové práce Terezy Szepesiové. Plošná hmotnost byla dopočítána zvážením vzorku na analytické váze. Výsledek tohoto měření je tedy přibližný a mnou definovaný. Měření plošné hmotnosti bylo provedeno na Katedře oděvnictví (KOD).

Před samotným měřením byly vybrané zkušební vzorky vždy připraveny do konkrétních rozměrů v prostorách KOD. Získané naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek, které lze najít v přílohách. Pro vyhodnocení testovaných metod tepelně izolačních vlastností byly použity statistické metody a pro jejich srovnání bylo použito grafické vyhodnocení. Konec této kapitoly je věnován charakteristice každého z vybraných materiálů. U jednotlivých materiálů jsou uvedeny zjištěné parametry s použitím získaných obrazů z obrazové analýzy.

11.1 Měření plošné měrné hmotnosti

Plošná měrná hmotnost textilií je závislá nejen na dostavě jednotlivých soustav, ale i na jemnosti jednotlivých komponentů, ze kterých se plošná textilie skládá. Zároveň je také závislá na setkání nití v těchto soustavách. Jde tedy o součet hmotností všech nití útkové a osnovní soustavy u tkanin, u pletenin poté o součet hmotnosti řádků a sloupků. [39]

Příprava vzorků a měření:

Ze zkoušeného materiálu byly nastříhány vzorky o rozměru 10 x10 cm. Celkem je testován jen jeden materiál, a to bavlněná tkanina. Vzorek je nastříhán tak, aby se neopakovala žádná osnovní a útková nit nebo aby nedošlo k opakování materiálu v příčném či podélném směru. Zjištění plošné měrné hmotnosti bylo měřeno na analytických vahách. Jednotlivé vzorky se pokládaly na váhu a poté se zapisovaly výsledky. Celkově se jednalo o deset měření pro jednotlivý materiál. Měření bylo provedeno za normovaných teplotních podmínek: teploty vzduchu $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti vzduchu $65\pm 2\%$. [39]

Vyhodnocení zkoušky:

Naměřené hodnoty byly zapsány do tabulky. V tabulce č. 1 jsou uvedeny všechny plošné měrné hmotnosti zvolených materiálů.

Materiál	Plošná měrná hmotnost [g/m ²]
1-Bavlněná tkanina	240
2-Fleece	300
3-Membrána Neoshell®	129
4-Softshell Power Shield®	292

Tabulka č. 1: Výsledné hodnoty plošné měrné hmotnosti.

11.2 Měření tloušťky

Ke změření tloušťky byl použit Tloušťkoměr SDL M034A. Tloušťka se u testování tepelně izolačních vlastností řadí mezi základní parametry. Je proto nezbytné ji znát. Jejím změřením lze dopočítat ze zaznamenaných hodnot u zařízení FOX 314 a TCI např.: veličinu tepelného odporu, která je důležitá při hodnocení tepelného komfortu. Výpočet tepelného odporu je: $R=h/\lambda$ (h -tloušťka [mm], λ - součinitelem tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]).

Přístroj SDL M034A je určen ke stanovení tloušťky textilie, která je dána měřením kolmé vzdálenosti mezi základní deskou, na které je umístěn testovaný vzorek, a paralelním

kruhovým přitlačným kotoučem, jenž vyvíjí specifický přitlak na zkoušenou plochu testované textilie. Přístroj je vybaven přitlačnou hlavicí s plochou 20 cm² a 100 cm², na kterou je možné aplikovat sílu o velikosti 0,1-200 N.

Tloušťkoměr měří dle stanovené normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie- Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků. Velikost vzorků je neomezená, je nutné dodržet minimální velikost vzorku, která musí být větší než je velikost přitlačné patky. Vzorky musí být nepoškozené. [40]

Příprava a měření vzorků:

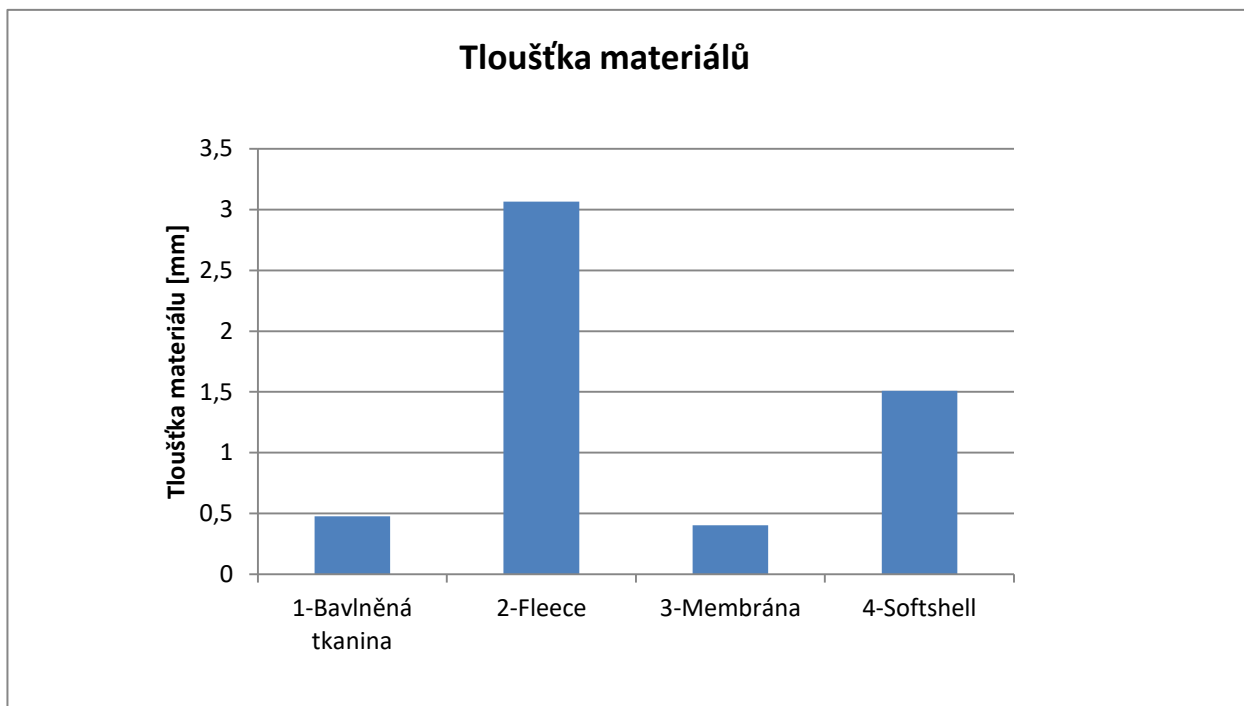
Po zvednutí přitlačné patky vznikne prostor pro vložení vzorku. Jelikož má vzorek svou vlastní hmotnost, je nutné tuto hodnotu od měření eliminovat vynulováním hodnoty zátěže. Na vzorek textilie působí patka velmi pomalou rychlostí do požadovaného přitlaku. Na obrazovce se poté zobrazí výsledek měření. [40]

Vyhodnocení zkoušky:

V tabulce č. 2 jsou uvedeny naměřené průměrné hodnoty tloušťky testovaných materiálů, které jsou znázorněny i v grafu. Jednotlivé naměřené hodnoty s dopočítanou základní statistikou jsou dále uvedeny v příloze č.1.

Materiál	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
průměr [mm]	0,475	3,065	0,403	1,508

Tabulka č. 2: Naměřené průměrné hodnoty tloušťky.



Graf. č. 1: Naměřená tloušťka všech materiálů.

11. 3 Systém NIS - Elements


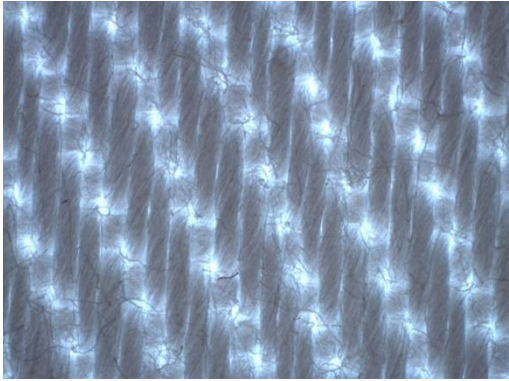
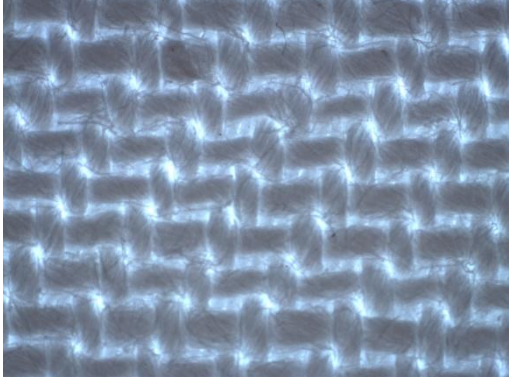
Jedná se programový systém, který byl vyvinut pro pořizování a vyhodnocení obrazu ke konkrétnější identifikaci objektů, k interaktivnímu měření geometrických vlastností (např. rozměry objektu, obvodu a ploch) u vláken, přízí a plošných textilií či jiných netextilních materiálů. Systém umožňuje archivovat rozsáhlé obrazové sekvence spolu s jejich zpracováním. Na obrázku níže je zachyceno samotné zařízení při jednom z měření. [41] Pro měření analýzy obrazu byla použita obrazová analýza z KOD. U měření bylo využito rozlišení 1024 x 768 pixel s různou hodnotou zvětšení.



Obr.č. 26: Zařízení NIS Elements.


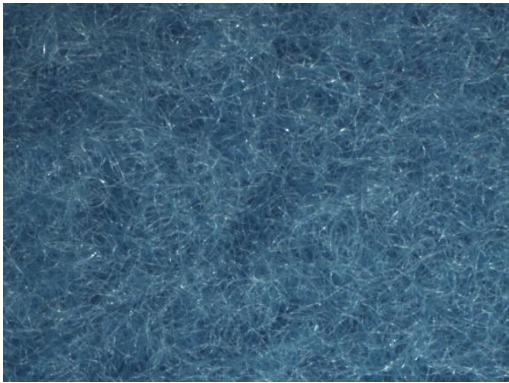
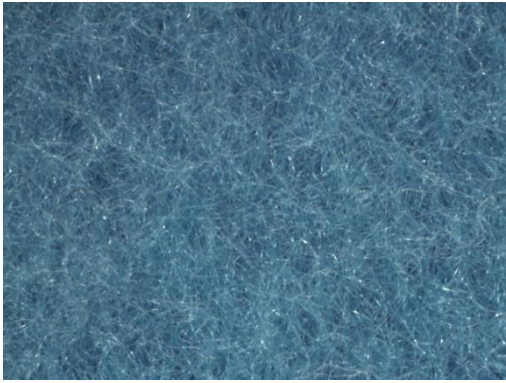
Získané zvětšené pohledy testovaných materiálů jsou použity v jednotlivých charakteristikách v textu uvedeném níže.

11.1 Bavlněná tkanina

<p>Ukázka materiálu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z lícu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z rubu</p>	
<p>Druh ploš. textilie:</p>	<p>Tkanina v keprové vazbě</p>
<p>Materiálové složení:</p>	<p>100% CO</p>
<p>Plošná hmotnost:</p>	<p>240 g/m²</p>
<p>Tloušťka:</p>	<p>0,475 mm</p>
<p>Hustota/Dostava:</p>	<p>D_o 400 nití/10cm, D_u 300nití/10cm</p>



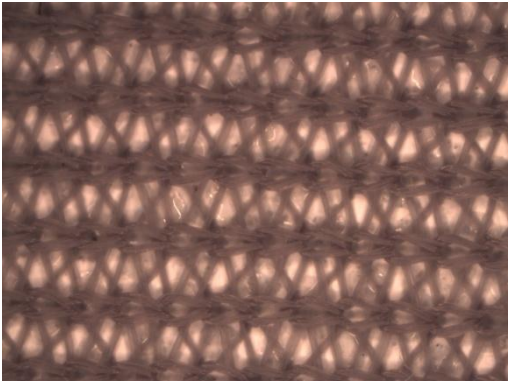
Tabulka č.3: Charakteristika vzorku č. 1.

11.2 Fleece úplet

<p>Ukázka materiálu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z lícu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z rubu</p>	
<p>Druh ploš. textilie:</p>	<p>zátažná pletenina s úpravou povrchu</p>
<p>Materiálové složení:</p>	<p>100% PES</p>
<p>Plošná hmotnost:</p>	<p>300 g/m²</p>
<p>Tloušťka:</p>	<p>3,065 mm</p>
<p>Hustota/Dostava:</p>	<p>-</p>



Tabulka č.4: Charakteristika vzorku č. 2

11.3 Membránová tkanina

<p>Ukázka materiálu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z lícu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z rubu</p>	
<p>Druh ploš. textilie:</p>	<p>Tkanina v plátňové vazbě, rubní strana trikot os. pletenina</p>
<p>Materiálové složení:</p>	<p>100% PAD (ls), 100% PES (rs)</p>
<p>Plošná hmotnost:</p>	<p>129 g/m²</p>
<p>Tloušťka:</p>	<p>0,403 mm</p>
<p>Hustota/Dostava:</p>	<p>D_o 400 nití/10cm, D_u 400 nití/10cm; H_{sl}: 0,2 m, H_f: 0,3 m</p>

Tabulka č. 5: Charakteristika vzorku č. 3

11.4 Softshell textilie

<p>Ukázka materiálu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z lícu</p>	
<p>Zvětšený materiál - pohled z rubu</p>	
<p>Druh ploš. textilie:</p>	<p>Tkanina v plátnové vazbě, rubní strana izolační vrstva</p>
<p>Materiálové složení:</p>	<p>50% PES, 38% PAD, 2% SPANDEX (ls), 100% PES (rs)</p>
<p>Plošná hmotnost:</p>	<p>292 g/m²</p>
<p>Tloušťka:</p>	<p>1,508 mm</p>
<p>Hustota/Dostava:</p>	<p>D_o 400 nití/10cm, D_u 400 nití/10cm</p>

Tabulka č. 6: Charakteristika vzorku č. 4

12. Návrh a realizace experimentu

Po výběru a stanovení materiálu určeného pro experiment následuje příprava a realizace měření tepelně izolačních vlastností na vybraných testovacích zařízeních. Přístroje, které byly zvoleny, jsou Aerodynamický (větrný) tunel spolu se zařízeními, která se řadí mezi nejnovější metody pro měření tepelně izolačních vlastností, a to přístroje SGHP, TCI a Fox 314. Zařízení Aerodynamický (větrný) tunel byl pro experiment vybrán hned z několika důvodů. Jde o zařízení, které je stále ve vývoji a v poslední době prošlo optimalizací, již bylo nutné nejen zaznamenat, ale i otestovat. Změřené výsledky byly následně porovnávány s normovanými zařízeními ve snaze pokusit se najít podobnost ve výsledcích těchto zařízení.

Jednotlivá měření probíhala za standardních podmínek používaných pro laboratorní testy. Každé testování probíhalo podle stanovených pravidel, a to dle norem či návodů měřicího zařízení. Například měření na zařízení TCI a FOX 314 probíhalo dle pravidel popsanych v návodech, měření na zařízení SGHP bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 11092 (80 0819) Fyziologické účinky- Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhříváné desky simulující efekt pocení). U přístroje Aerodynamický (větrný) tunel bylo testování provedeno dle návodu, ale rovněž také dle pokynu vedoucí práce Petry Komárkové a Evy Hercíkové.

V následujícím textu níže budou popsány jednotlivé vlastnosti přístrojů, průběh a doba měření. Obecné informace jednotlivých zařízení jsou uvedeny viz. kapitola 8. *Přístroje a metody pro měření tepelně izolačních vlastností.*

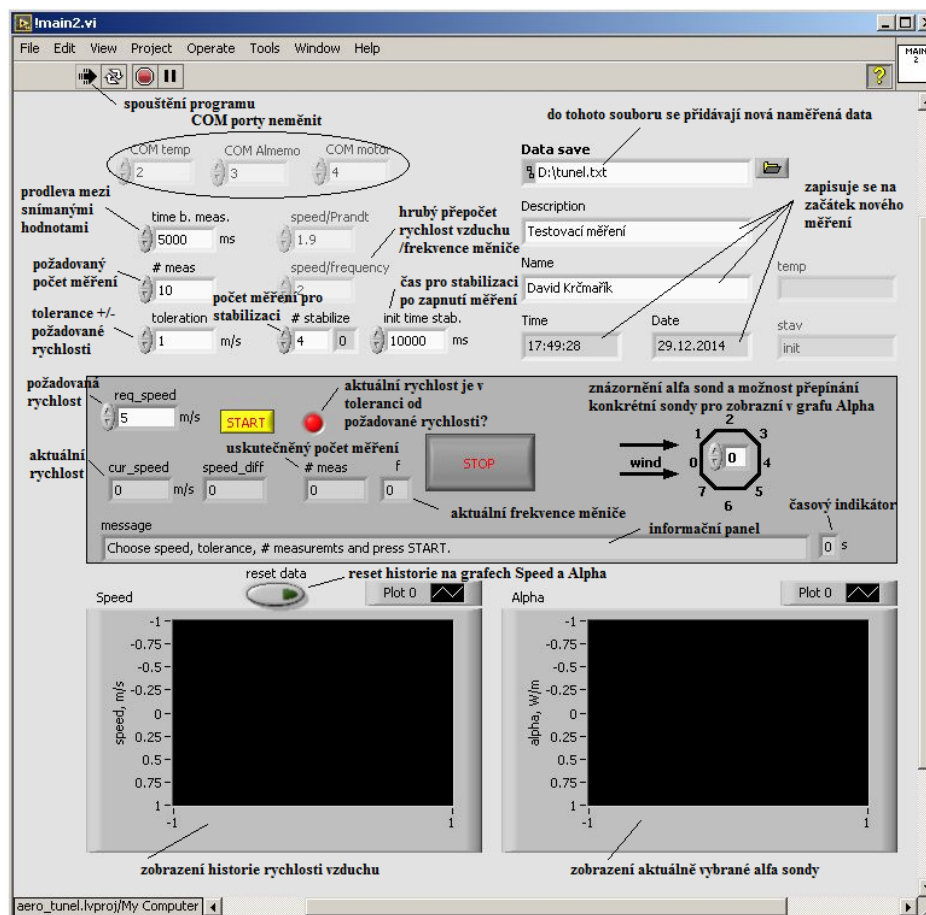
12.1 Přístroj Aerodynamický (větrný) tunel

Zařízení větrný tunel je určen pro testování tepelně izolačních vlastností u zvolených textilních vzorků. Větrný tunel je přístroj fungující na principu přenosu tepla z vyhříváného válečku obtékaného proudem vzduchu o zvolené rychlosti. Výstupem tohoto zařízení je hustota tepelného toku. Struktura zařízení je sestavena jako otevřená trať, díky tomu tak dochází k otevřené cirkulaci vzduchu, pro kterou je nezbytné zabezpečení stálých podmínek pro měření. Doba trvání jednotlivých měření byla různá. Jednotlivé testování vzorků každého textilního materiálu zabralo i s ustálením podmínek 45-50 min.

Příprava vzorků a nastavení měření:

Pro zkoušený vzorek jsou zadány specifické rozměry, jelikož textilní materiál musí být navléknut na vyhřívaný váleček o průměru 0,08 m a výšce 0,1 m. Výsledkem je upravený pruh vzorku o šířce 0,11 m, který je přeložen na délku 0,15 m a sešit zvoleným stehem. V tomto případě byl vybrán steh ruční. Vliv použitého stehu u vzorků nebyl tématem této práce. Dále je nutné zajistit definované napětí uvnitř vzorku. Přítlak a stlačení vzorku je zajištěno nastavením proudícího vzduchu, vzorek však musí splnit i další požadavek, a to umístění na válečku. Zvolený materiál musí být umístěn do těsného kontaktu bez vzniku nežádoucích vzduchových mezer, které mohou negativně ovlivnit měření. Přesná velikost a stálá poloha vzorků jsou tak nezbytnými základními podmínkami pro zajištění správnosti měření.

Příprava měření. Před začátkem testování je nezbytné zapnout celou aparaturu (větrnou trať s motorem a PC) a nechat ustálit podmínky vyhřívaného válečku, tzv. modelu lidské paže. Doba ustálení podmínek činí 15 min. Ustálení podmínek je nutné z důvodu měřeného tepelného toku, jenž je závislý na čase. Následně je nutné v PC spustit DHCP server, který přiřadí čtyři IP adresy převodníkům (Midam 020) a nastaví komunikaci s PC. Ten je nutné mít spuštěn přes celé měření. Poté je provedena kalibrace, která je spuštěna pomocí programu v PC. Kalibrací zařízení je vždy nutné projít před každým měřením, neboť tímto tak lze předcházet eliminaci chyb měření. Dále je spuštěn hlavní řídicí program, přes který lze zvolit jednotlivé parametry testu. Nabídka hl. řídicího programu je uvedena v obr. č.37. Před každým měřením je nutné nastavit část parametrů, kterými jsou: **time b. meas** = prodlevu mezi snímanými hodnotami, **#meas** = počet požadovaných měření, **toleration** = tolerance +/- požadované rychlosti, **int. time stab.** = čas pro stabilizaci po zapnutí měření a **req_speed** = požadovanou rychlost proudění. Následně je nastaven výstup naměřených dat v řádku **Data save** (D:/tunel.txt) = soubor, kam se ukládají nová naměřená data a také bližší informace pro měření, a to **Description** a **Name**. Ostatní parametry jsou buďto již fixně nastaveny, nebo se automaticky nastaví.



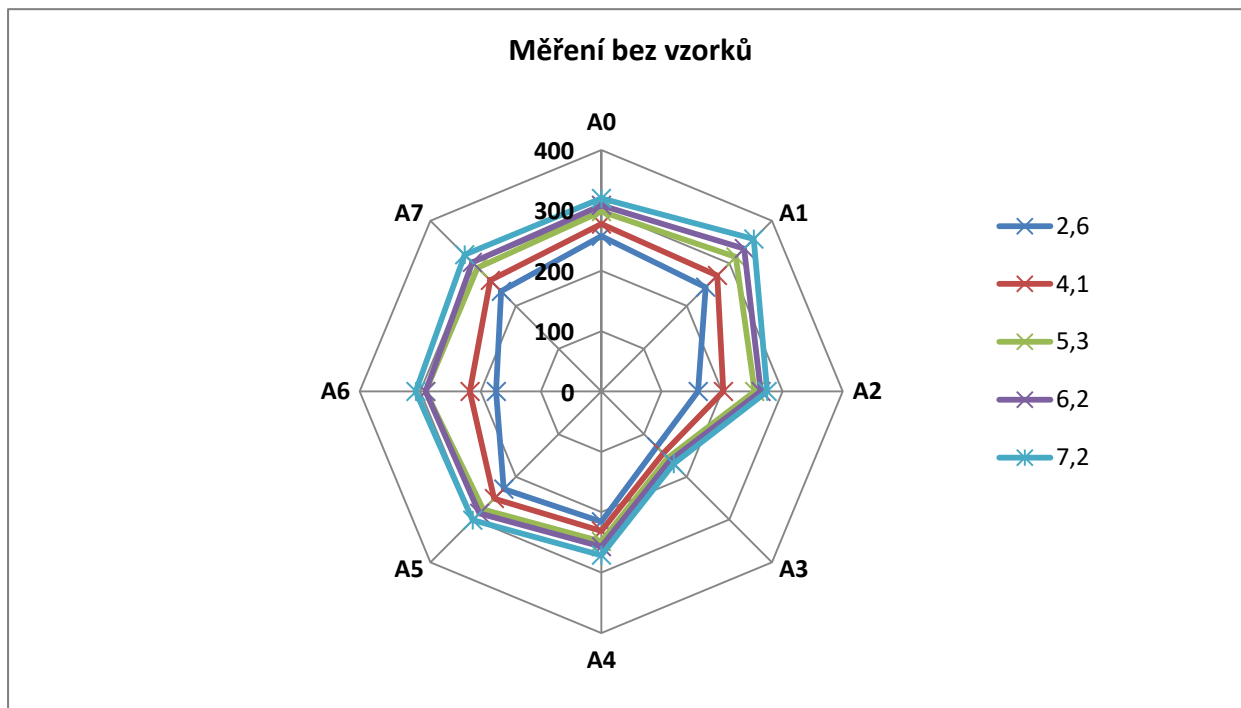
Obr. č. 27: HL řídicí program [43]

V laboratoři, kde probíhalo měření, byly zajištěny standardní podmínky testu, a to klimatizací, která reguluje teplotu a vlhkost na konstantní teplotu 22°C a relativní vlhkost (RH) 60±2%. Po nastavení potřebných parametrů lze začít se zkouškou. Po provedení přípravy je nutné si uvědomit, že celé zařízení větrný tunel je stále ve vývoji. Díky tomu je nejen samotná část přípravy, ale i měření časově náročné a stále náchylné k výskytu náhlých chyb spojených s jednotlivými měřeními.

Měření vzorků:

První zkušební měření na zařízení byla provedena bez vzorku. K tomuto testování bylo přistoupeno pro ověření správného měření zvolených koncových měřicích zařízení, a to alfametrů (A0-A7). U této zkoušky byly nastaveny parametry testu měření v nastavené rychlosti (**req_speed**) $v = 3, 4, 5, 6$ a 7 m/s s tolerancí (**toleration**) rychlosti proudění na $0,5$ m/s, kdy byla každá z těchto rychlostí měřena po dobu 30 min. Sběr dat (**time b. meas**) byl nastaven po 20 s. Celé měření trvalo přes 2 hodiny. Z testování bylo zjištěno, že zaznamenaná data z jednotlivých alfametrů jsou vybočující i přes zkalibrování všech alfametrů. Bylo shledáno, že i když jsou alfametry kolem obvodu vyhřívaného válce umístěny do protilehlých

dvojic, alfametry v několika případech nedosáhly podobných hodnot, jak bylo očekáváno. Souhrn naměřených dat je uveden v příloze č. 2. V grafu č. 1 jsou pak tyto hodnoty zobrazeny.



Graf.č.2: Naměřené hodnoty hustoty tepelného toku z alfametrů (A0-A7).

I s tímto poznatkem bylo rozhodnuto pokračovat v měření, tentokrát s vybranými vzorky. Nejdříve jsou před testováním ustáleny podmínky měření, což znamená zapnout nejen PC, ale i aparaturu větrné trati a nechat ji ustálit na celkem 15 min. Dále je nutné provést kalibraci zařízení pro zamezení ovlivnění či jiných chyb měření. Následně je vybraný vzorek vložen do měřicí části a upnut na vyhřívaný váleček, jenž je zeshora přiklopen víkem. V PC se spustí hl. řídicí program, přes který se nastaví parametry měření, a zahájí se zkouška.

U všech testování byly nastaveny stejné parametry měření. Vybrány byly požadované rychlosti proudění (**req_speed**) $v = 2-18, 19 \text{ m/s}$, kdy každé další měření rychlosti bylo zvoleno po 2 m/s . Celkem tak bylo testováno 10 rychlostí proudění. Dále byla zvolena tolerance (**toleration**) rychlosti na $0,5 \text{ m/s}$. Jako optimální doba jednoho měření jsou vybrány 3 min. Sběr dat (**time b. meas**) byl nastaven po 10 s. Test každého z vybraných materiálů trval celkem 30 min. V rámci jednoho měření bylo z každého měřicího snímače hustoty

tepelného toku sejmuto více než 150 hodnot. Získaná data byla vždy po konci testu uložena do textové souboru v PC.

Vyhodnocení zkoušky:

Naměřené hodnoty byly následně statisticky zpracovány. Získaný soubor naměřených hodnot bylo ale nejdříve nutné podrobit testu odlehlých měření. S jeho pomocí byla identifikována a vyřazena odlehlá a vybočující měření, jež silně ovlivňují aritmetický průměr a směrodatnou odchylku, dále také rozptyl a variační koeficient.

Odlehlá měření se mezi ostatní naměřené hodnoty mohou dostat několika způsoby - může to být např. nepozorností při opisování hodnot, transportem dat nebo chybou v samotném měření (vadný vzorek nebo rušení snímaného signálu apod.). Tento druh měření lze určit několika způsoby. Prvním je způsob subjektivní, jenž určí odlehlá měření graficky, a to např.: pomocí histogramu nebo krabicového grafu. Dalším je určení odlehlých měření exaktní metodou. Do této metody se řadí Dean-Dixonův Q-test a Grubbsův test. Pro testování byl nakonec zvolen Grubbsův test, jelikož jde o metodu, kterou lze použít i při vyšším počtu měření ($x > 10$). Grubbsův test spočívá na stanovení dvou parametrů T_1 a T_n a na jejich porovnání s kritickou hodnotou T_α určenou z tabulek odlehlých měření pro příslušnou velikost naměřeného souboru hodnot (n) na zvolené hladině významnosti ($\alpha=0,05$). Vzorce pro výpočet parametrů T_1 a T_n jsou:

$$T_1 = (\bar{x} - x_1) / S_n \quad (22)$$

$$T_n = (x_n - \bar{x}) / S_n \quad (23)$$

$$S_n = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (24)$$

Vypočtené koeficienty T se dále porovnají s příslušnou hodnotou z tabulky č. 7. Pokud je koeficient T_1 nebo T_n vyšší než kritická hodnota T_α , je příslušná hodnota x_1 nebo x_n vyloučena ze souboru naměřených hodnot. Následně se znovu počítají koeficienty T_1 a T_n a tento postup se opakuje tak dlouho, dokud vypočtené koeficienty nejsou nižší než kritická hodnota T_α . Takto upravený soubor naměřených hodnot lze označit za statisticky homogenní.

[3] [50]

n	kritické hodnoty T	n	kritické hodnoty T
3	1,412	12	2,387
4	1,689	13	2,426
5	1,869	14	2,461
6	1,996	15	2,493
7	2,093	16	2,523
8	2,172	17	2,551
9	2,237	18	2,557
10	2,294	19	2,600
11	2,343	20	2,623

Tabulka č. 7: Kritické hodnoty Grubbsova T - rozdělení ($\alpha=0,05$) [49]

V některých případech je nutné si dávat pozor na skutečnost, kdy jsou zjištěné vybočující hodnoty součástí souboru naměřených hodnot, v tomto případě jde např.: o projev přirozené zešikmenosti měřených dat.

U tohoto měření bylo testování provedeno za stacionárních a stabilních podmínek, výsledný soubor by tak neměl vykazovat zešikmenost nebo další jinou úměrnost. Z výsledného homogenního souboru hodnot byly dále určeny hodnoty aritmetického průměru, výběrové směrodatné odchylky a variační koeficienty dle vzorců:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (25)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (26)$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (27)$$

kde n - je počet měření, \bar{x} - aritmetický průměr, x_i - i -tou naměřenou hodnotou, s - výběrová směrodatná odchylka a v - variační koeficient. Zvolení výběrové směrodatné odchylky bylo z důvodu získání nižšího počtu měření.

Uplatnění testu odlehlých měření již použil ve své disertační práci i R. Šubert, který se věnoval hodnocení tepelně izolačních vlastností ve větrném tunelu.

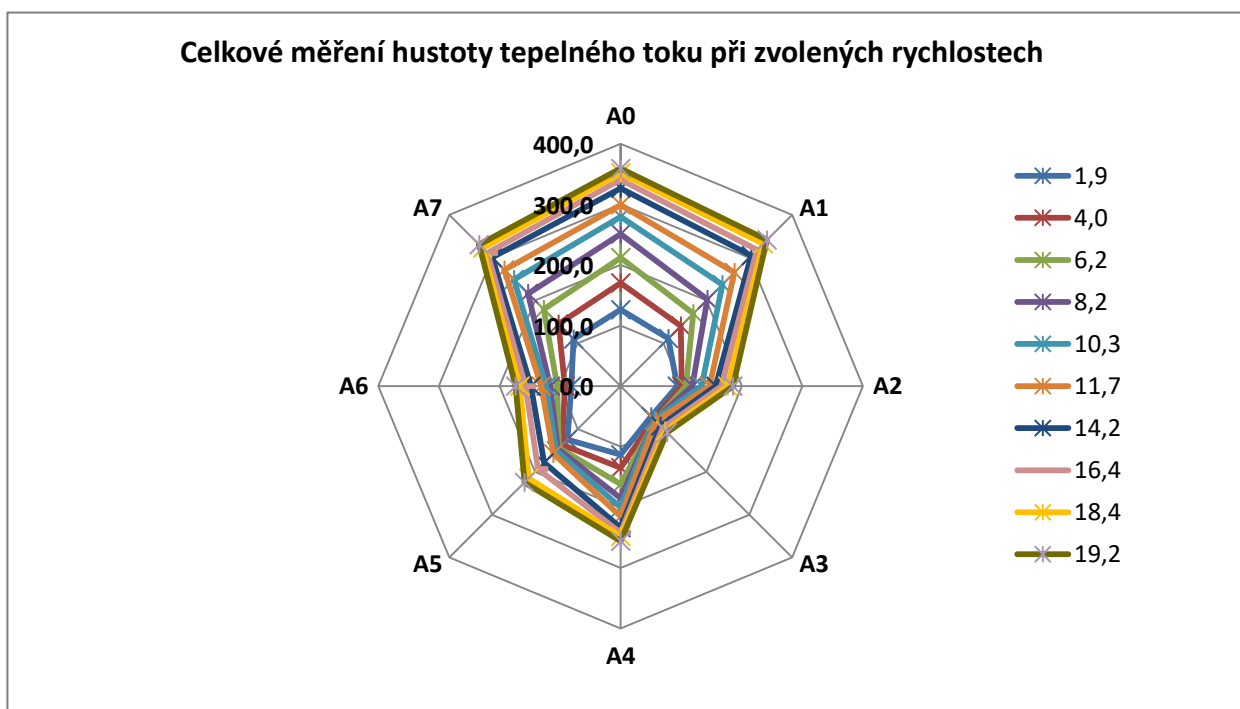
Níže jsou v tabulkách č.8 - 11 uvedeny upravené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku s teplotou vyhřívání válečku měřené v jednotlivých rychlostech proudění vzduchu u testovaných vzorků (bavlněné tkaniny, fleecové úplety, membrány a softshell). Z těchto upravených hodnot jsou dále zpracovány i grafy jednotlivých vzorků pracovního materiálu. U

každého vzorku jsou vždy uvedeny tři grafy. První dva grafy zobrazují rozmístění alfa sond (A0-A7) a jejich nasnímané měření hustoty tepelného toku, jež se v průběhu nastavených rychlostí proudění měnilo. Nejdříve je vždy uveden graf zobrazující celkové měření, poté už jen vybraná měření při zvolených rychlostech proudění $v = 2, 6, 12, 18$ a 19 m/s. Třetí graf zobrazuje nejen vybrané měření při již zmíněných rychlostech, ale i vedlejší osu, která vykresluje měnící se teplotu vyhřívaného válečku T_2 [°C] během testu. Souhrn všech zaznamenaných hodnot z měření je uveden v příloze č. 2.

1. Bavlněná tkanina

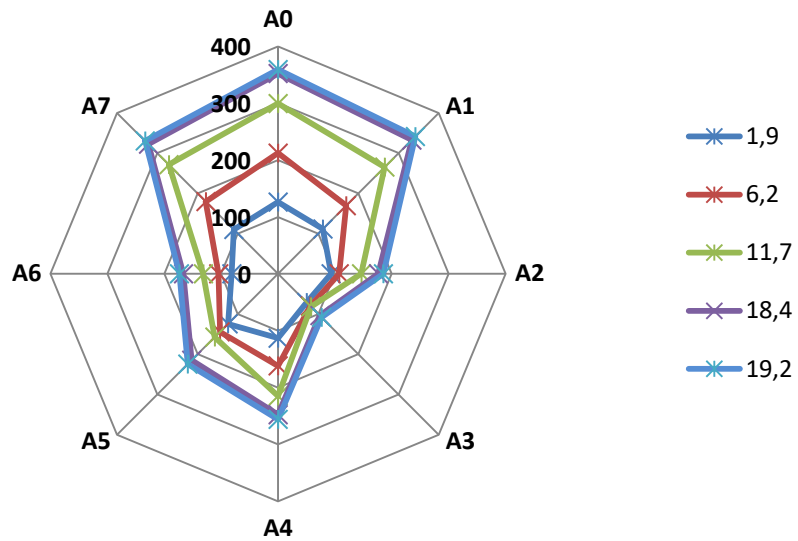
Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Teplota válečku T2 [°C]
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
2	1,9	126,1	111,4	93,2	71,2	113,2	124,5	81,4	110,1	31,9
4	4,0	170,4	140,4	100,7	77,8	134,5	137,1	91,9	145,1	31,8
6	6,2	212,1	169,4	107,4	80,2	161,8	144,4	104,5	179,5	31,8
8	8,2	251,2	202,4	118,5	78,8	184,7	146,6	116,1	216,3	31,7
10	10,3	279,7	237,2	133,7	78,1	200,1	150,5	123,3	249,1	31,6
12	11,7	299,3	265,4	146,6	82,0	214,9	157,3	131,4	271,4	31,6
14	14,2	326,6	304,7	157,0	92,8	233,4	178,8	148,1	300,1	31,6
16	16,4	341,0	318,0	166,1	97,7	242,0	193,1	157,0	310,6	31,5
18	18,4	352,1	332,5	176,4	103,9	247,8	214,9	166,4	322,3	31,4
19	19,2	359,1	341,3	185,1	108,4	255,9	224,6	173,6	330,4	31,4

Tabulka č.8: 1-Bavlněná tkanina - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku.



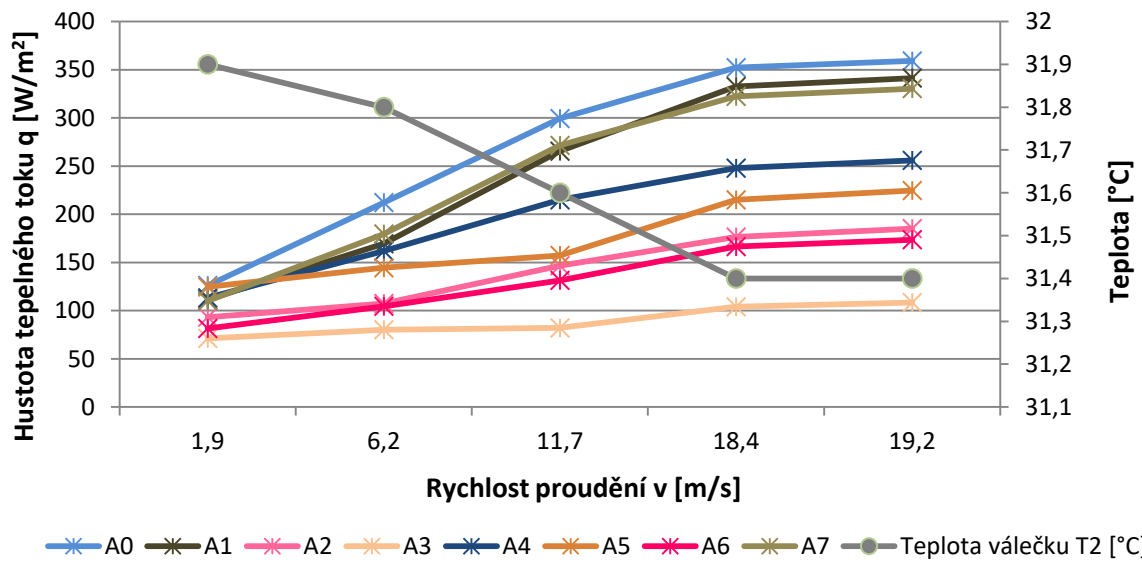
Graf č.3: 1-Bavlněná tkanina - celkové měření hustoty tepelného toku.

Měření hustoty tepelného toku při zvolených rychlostech proudění



Graf č. 4: 1-Bavlněná tkanina - vybrané měření hustoty tepelného toku.

Měření hustoty tepelného toku při vybraných rychlostech proudění

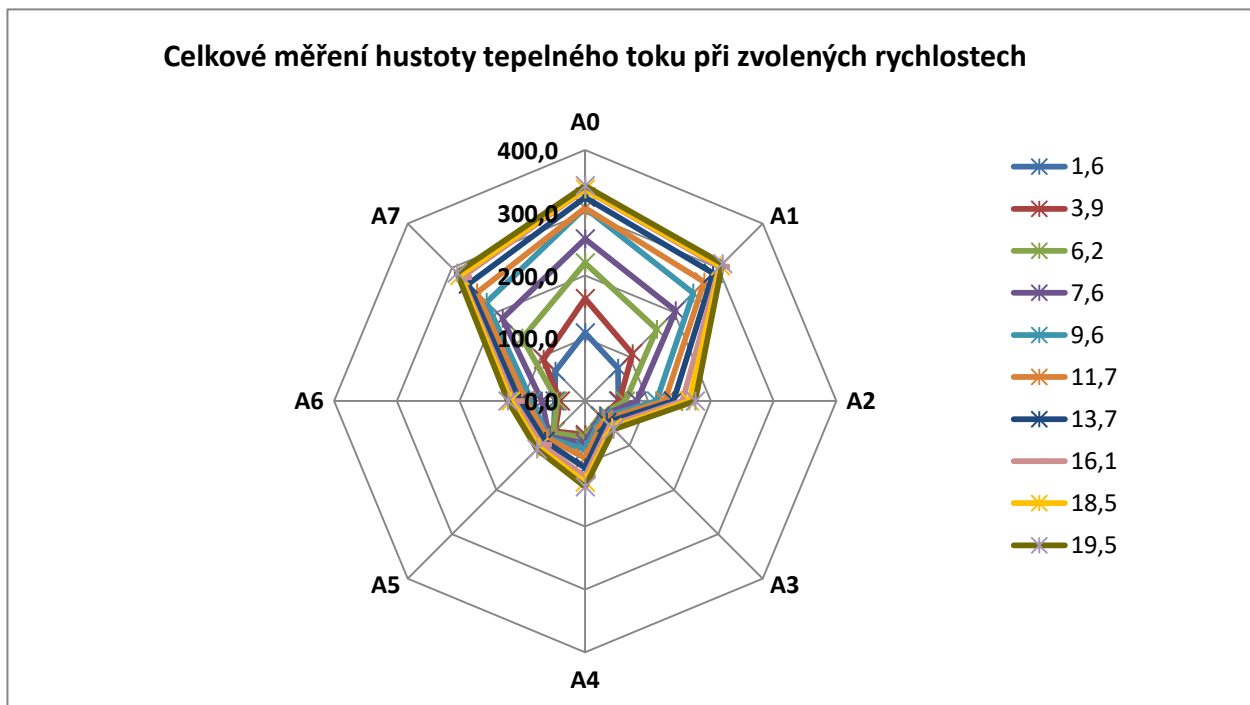


Graf č. 5: 1-Bavlněná tkanina - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívajícího válečku.

2.Fleece úplet

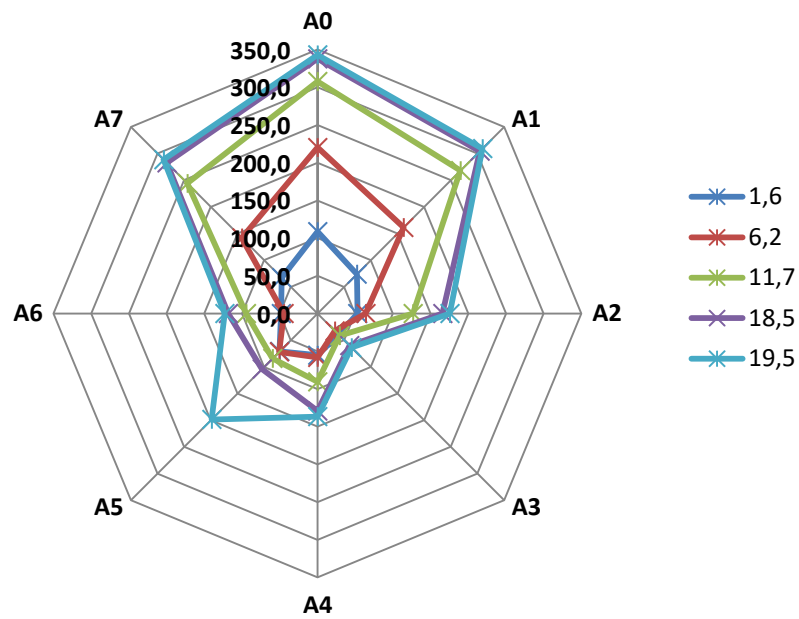
Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Teplota valečku T2 [°C]
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
2	1,6	108,6	73,9	53,0	39,5	55,3	71,1	48,2	67,3	32,0
4	3,9	163,2	106,6	54,2	35,5	53,5	68,4	39,8	94,0	32,0
6	6,2	220,1	161,4	64,0	32,6	58,2	71,8	44,6	141,8	31,9
8	7,6	258,3	203,6	82,5	34,2	67,1	80,9	69,2	186,2	31,8
10	9,6	307,7	243,1	113,4	37,4	77,4	82,5	85,6	222,3	31,7
12	11,7	307,7	268,1	126,6	41,5	90,5	84,2	94,5	244,0	31,6
14	13,7	324,6	287,8	140,3	48,3	106,5	90,8	104,2	263,5	31,6
16	16,1	336,6	302,7	154,9	55,1	120,0	98,5	113,6	278,7	31,6
18	18,5	337,7	304,5	165,9	60,0	129,2	104,0	118,4	282,6	31,5
19	19,5	343,0	309,4	175,4	63,9	136,6	108,5	123,1	288,5	31,5

Tabulka č.9: 2-Fleece úplet - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku.



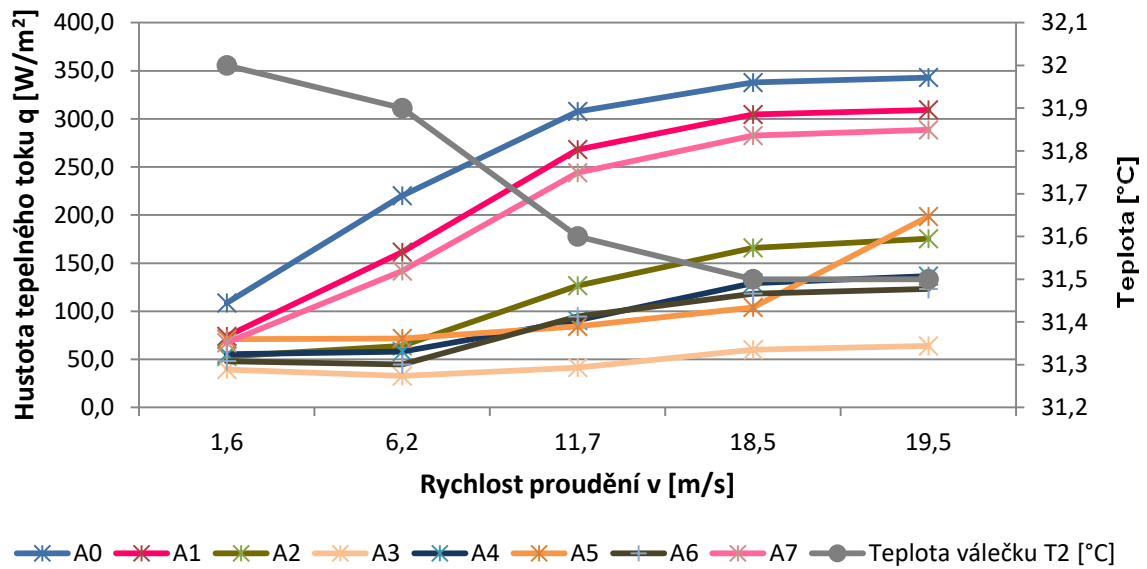
Graf č.6: 2-Fleece úplet - celkové měření hustoty tepelného toku.

Měření hustoty tepelného toku při vybraných rychlostech proudění



Graf č. 7: 2-Fleece úplet- vybrané měření hustoty tepelného toku.

Měření hustoty tepelného toku při vybraných rychlostech proudění

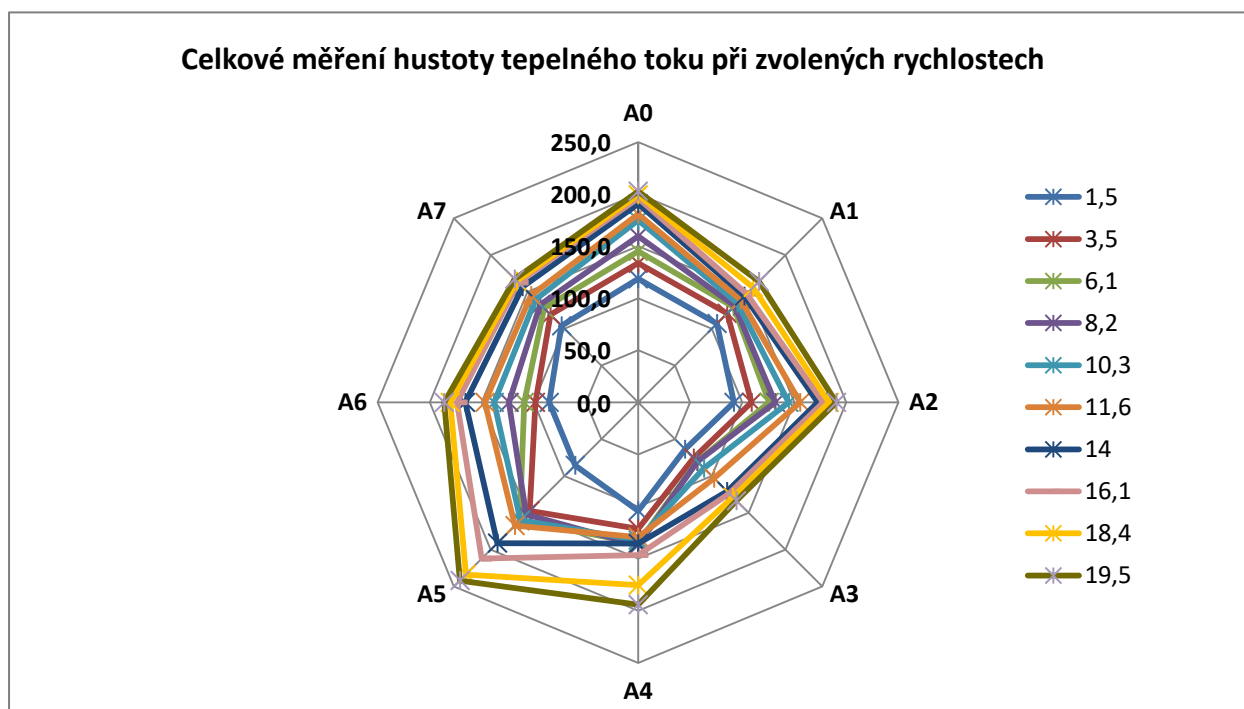


Graf č. 8: 2-Fleece úplet - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívaného válečku.

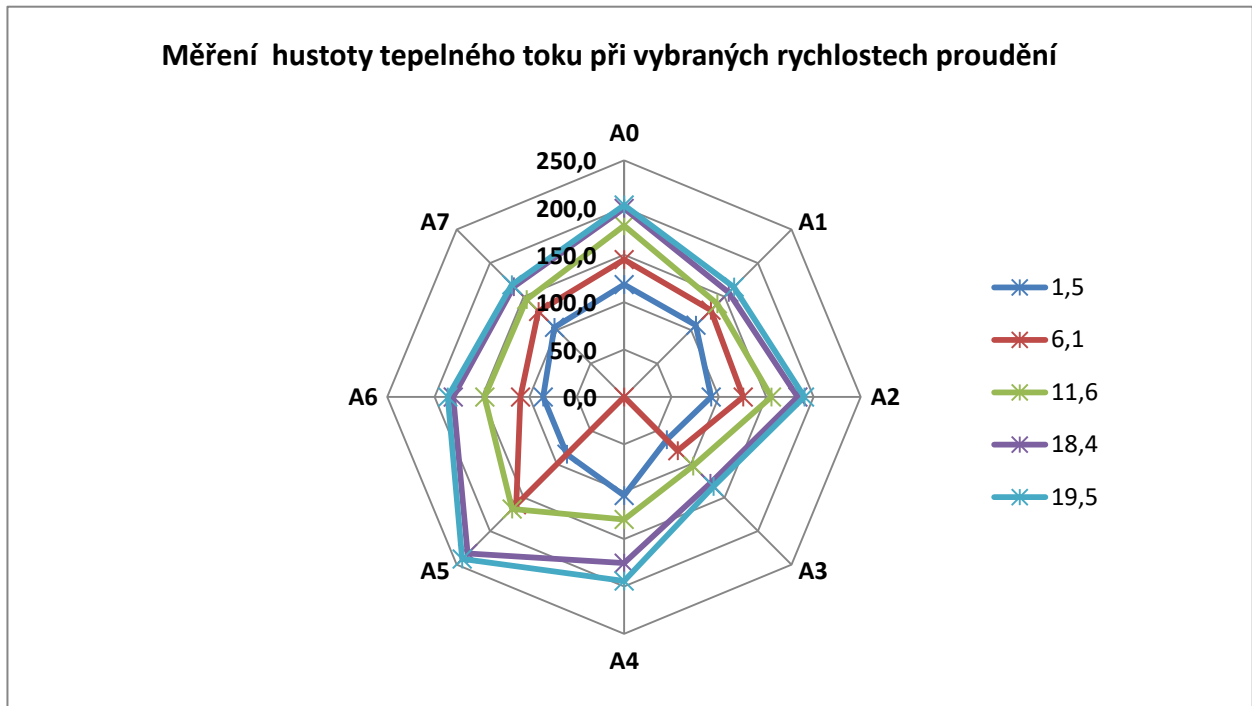
3. Membránová tkanina

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Teplota válečku T2 [°C]
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
2	1,5	118,7	107,2	91,9	63,7	104,0	85,4	85,4	104,0	31,9
4	3,5	133,6	120,9	109,0	75,5	121,4	147,1	98,7	119,0	31,8
6	6,1	145,1	129,6	125,7	80,1	134,9	160,8	109,4	127,7	31,8
8	8,2	159,4	131,2	131,8	80,5	137,0	152,0	124,0	132,8	31,9
10	10,3	174,8	134,8	144,7	89,5	132,2	159,9	138,2	139,5	31,8
12	11,6	180,8	139,2	155,5	103,1	129,2	167,2	147,1	145,2	31,8
14	14	190,5	144,3	172,6	120,8	135,5	191,0	165,9	156,9	31,7
16	16,1	196,2	147,4	177,8	123,7	146,6	212,2	173,7	162,7	31,8
18	18,4	199,2	156,2	183,4	128,8	175,4	233,6	180,4	164,7	31,8
19	19,5	202,7	164,2	190,4	133,5	194,2	241,8	186,2	167,6	31,7

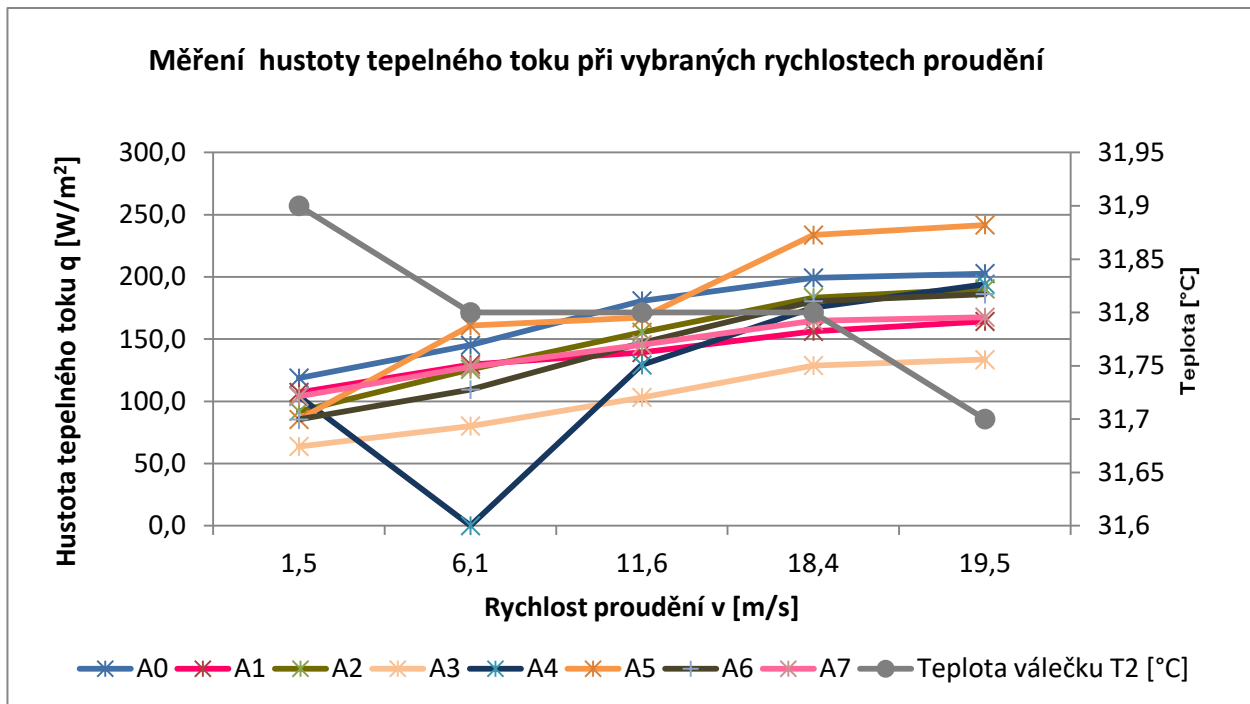
Tabulka č. 10: 3-Membrána - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku.



Graf č. 9: 3-Membrána - celkové měření hustoty tepelného toku.



Graf č. 10: 3-Membrána - vybrané měření hustoty tepelného toku.

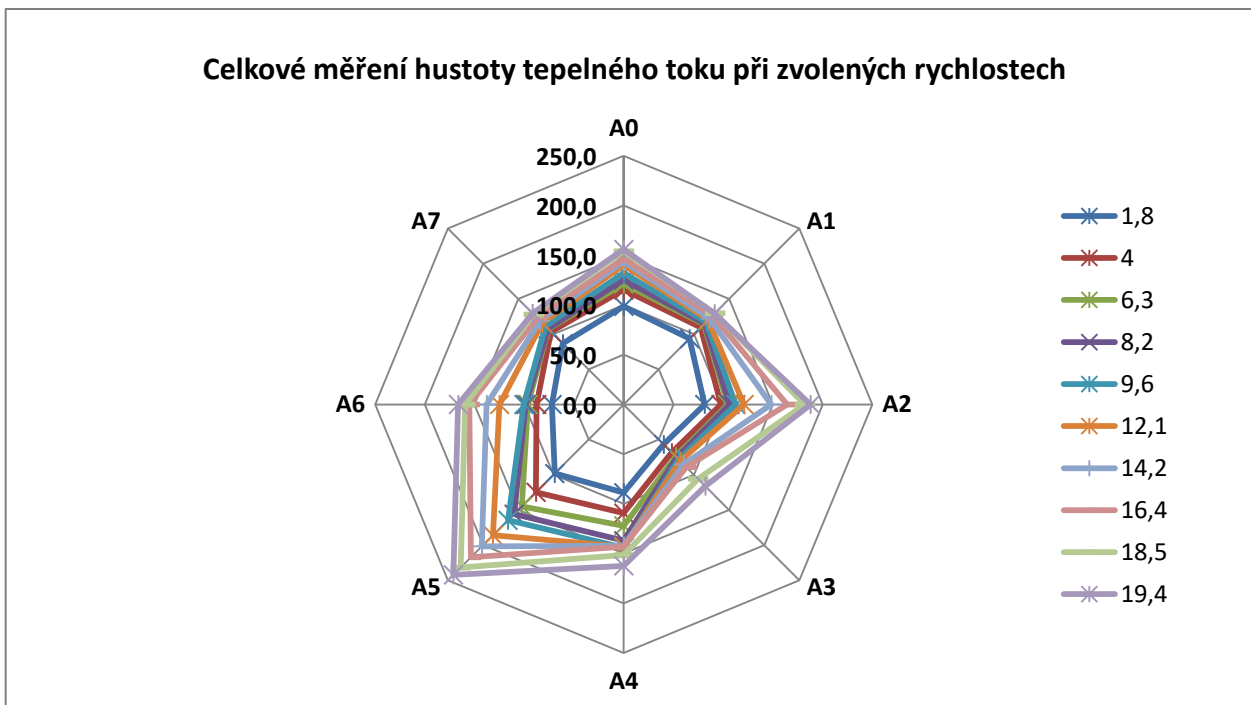


Graf č. 11: 3-Membrána - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívaného válečku.

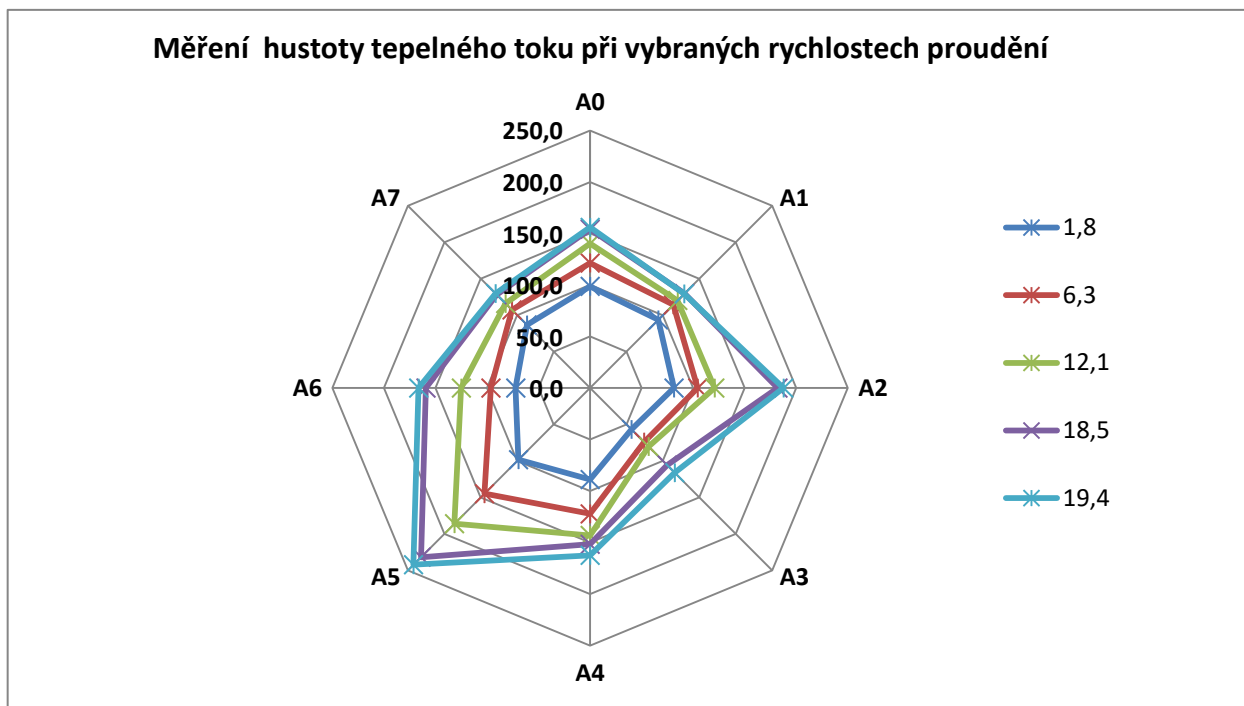
4. Softshell textilie

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Teplota valečku T2 [°C]
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
2	1,8	98,7	93,6	81,4	56,8	88,8	98,3	72,2	86,6	31,8
4	4	115,3	109,6	97,7	68,4	109,3	124,9	87,7	103,3	31,8
6	6,3	121,3	114,2	104,4	74,1	122,1	145,0	96,3	107,2	31,8
8	8,2	125,4	114,9	106,5	75,6	137,0	156,0	98,6	107,5	31,8
10	9,6	132,0	117,1	112,7	78,1	144,1	164,7	100,4	111,1	31,8
12	12,1	140,2	120,2	120,9	80,3	143,0	186,1	125,0	116,0	31,8
14	14,2	143,7	122,4	148,5	85,1	142,2	201,7	137,8	119,0	31,8
16	16,4	146,7	126,3	164,4	89,0	143,2	217,3	155,2	123,0	31,7
18	18,5	154,1	129,7	182,2	105,8	151,6	232,0	159,3	128,0	31,7
19	19,4	155,9	129,2	187,8	116,2	162,3	242,4	166,4	129,7	31,8

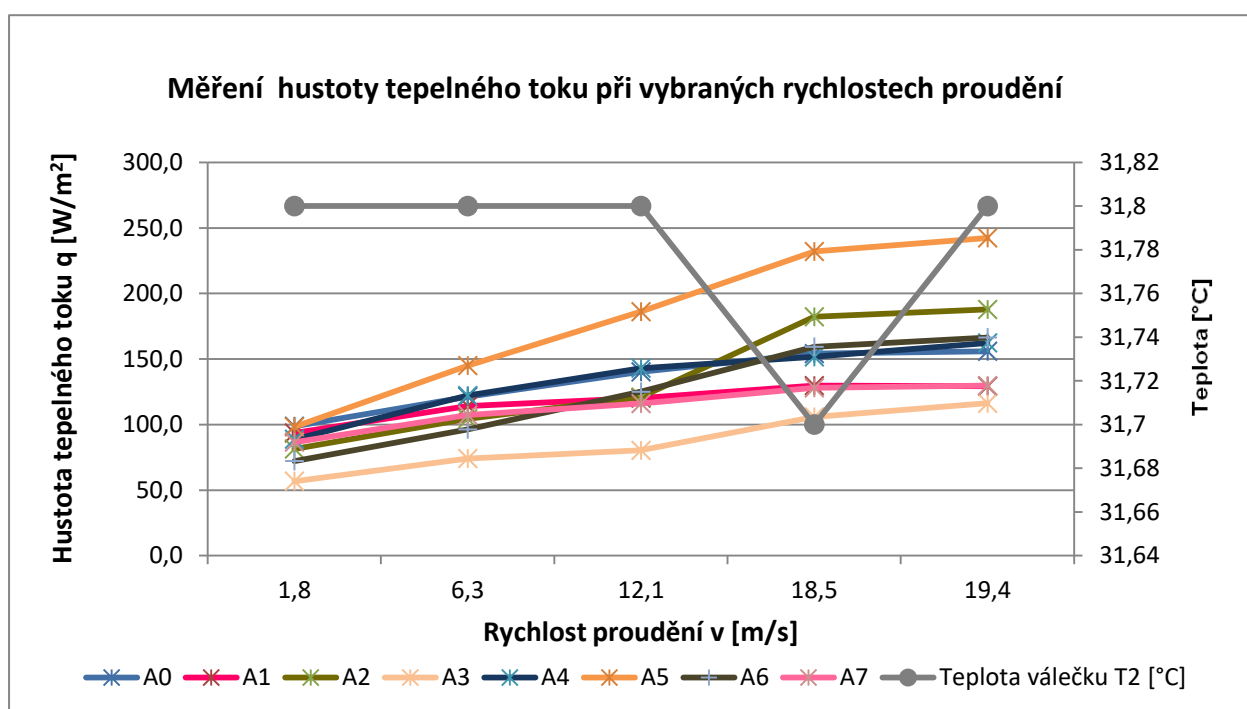
Tabulka č. 11: 4-Softshell - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku z větrného tunelu.



Graf č. 12: 4-Softshell - celkové měření hustoty tepelného toku.



Graf č. 13: 4-Softshell - vybrané měření hustoty tepelného toku.



Graf č. 14: 4-Softshell - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívajícího válečku.

U všech materiálů proběhlo testování bez jakýchkoliv problémů. Různá tloušťka materiálů nebo jiná hodnota plošných hmotností tak neovlivnily měření jednotlivých testů. Ze zobrazených hodnot a grafů jsou patrné skokové změny snímaných hodnot hustoty tepelného

toku a teploty vyhřívaného válečku. Tyto změny jsou patrné především u rychlostí proudění $v = 2, 6, 12, 18$ a 19 m/s. Jednotlivými testy bylo také potvrzeno rozmezí nastavených rychlostí proudění, při kterých lze provést měření. Zařízení tak dokáže měřit v rychlosti proudu vzduchu $v = 2-19$ m/s. Při zadání rychlosti $v = 20$ m/s už nelze ustálit podmínky měření.

Nevýhodou zařízení větrný tunel je časová náročnost měření, a to především částí týkající se ustálení podmínek měření. Dále také obsáhlý výstup naměřených hodnot a omezení snímání parametrů testu, se kterými by bylo možné lépe dopočítat a vyhodnotit výsledné hodnoty měření.

12.2 Přístroj Thermal Conductivity Analyzer C-Therm (TCi)

TCi je přístroj určený k měření tepelné vodivosti pro různé druhy testovacích vzorků. Zařízení funguje na principu změření definovaného el. napětí, které proudí od senzoru k zkoušenému vzorku. Zkoumán je nárůst teploty v přechodové rovině mezi senzorem a vzorkem. Velikost testovaného materiálu je neomezená. Doba jednoho měření trvá přibližně jednu minutu.

Příprava a měření vzorků:

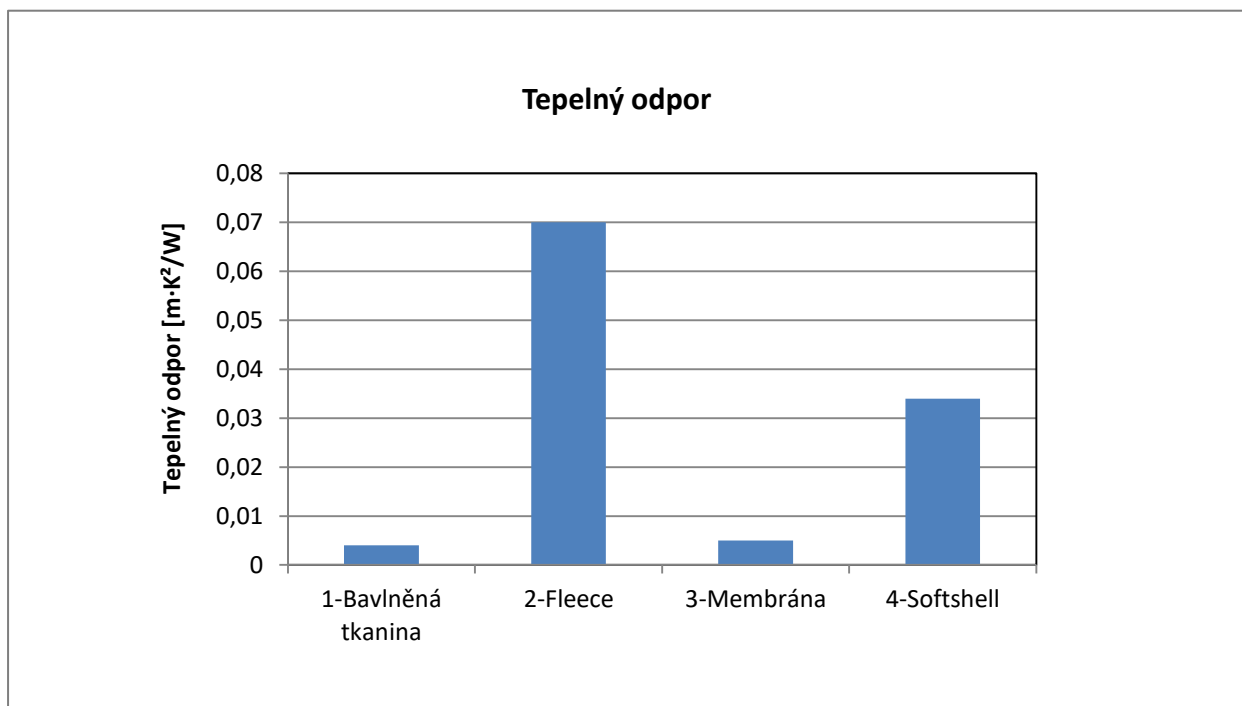
Na začátku je nezbytné zkalibrovat zařízení. Poté je zvolený vzorek umístěn na měřicí senzor. Vybraný vzorek je na svém povrchu přikryt závažím o požadované hmotnosti a tlaku. Poté je zahájeno testování. V tomto měření bylo použito závaží o hmotnosti 25g, což odpovídá 200 Pa. Pro měření bylo zvoleno závaží o nejmenší hmotnosti, jelikož nebylo žádoucí, aby došlo k velkému stlačení vzorku, čímž by byl vytěsněn vzduch z měřené textilie a výsledkem by byly nepřesné hodnoty.

Vyhodnocení zkoušky:

V tabulce č. 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty naměřené tepelné vodivosti a dopočítané hodnoty tepelného odporu. Celkové hodnoty z vyhodnocení měření jsou v příloze č. 3.

Materiál	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
Tep. vodivost λ - průměr [W/m·K]	0,109	0,044	0,075	0,044
Tep. odpor R - průměr [m·K ² /W]	0,004	0,070	0,005	0,034

Tabulka č. 7: Naměřené a vypočtené hodnoty z TCi



Graf č.15: Naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji TCi.

V grafu č. 2 jsou zobrazeny průměrné hodnoty dopočítaného tepelného odporu získaného ze zařízení TCi. Každý jednotlivý vzorek materiálu byl testován sedmkrát, kdy z těchto naměřených hodnot byla následně dopočítána průměrná hodnota. Výhodou tohoto zařízení je neomezená velikost vzorků spolu s velmi krátkou dobou měření. Mezi nevýhody lze zařadit stlačování testovaného materiálu, ke kterému dochází již na začátku měření při položení závaží na vzorek.

Jak již bylo zmíněno, přístroj TCi je zařízení přizpůsobené k testování různých druhů vzorků, avšak mezi nabídkou zadaného nastavení nelze najít položku pouze pro textil. Na výběr jsou proto jiné podobné druhy, a to pěny nebo polymery. Měření bylo nakonec provedeno v nastavení pro pěny, i když jako min. tloušťka testovaného materiálu byla zadána hodnota od 2 mm, což tři ze čtyř zkoušených vzorků splnily jen stěží. Z tohoto důvodu mohou být některé z naměřených hodnot zkreslené. Přístroj je vhodný pro materiály středně tenké (ne však méně než 2 mm) a také pro objemné materiály, které nelze snadno stlačit.

12.3 Přístroj Sweating Guarded Hot Plate (SGHP)

Zařízení SGHP je určeno k měření tepelného a výparného odporu zkoušeného vzorku za ustálených podmínek. V tomto testování je pozornost zaměřena pouze na určení hodnoty tepelného odporu.

Příprava a měření vzorků:

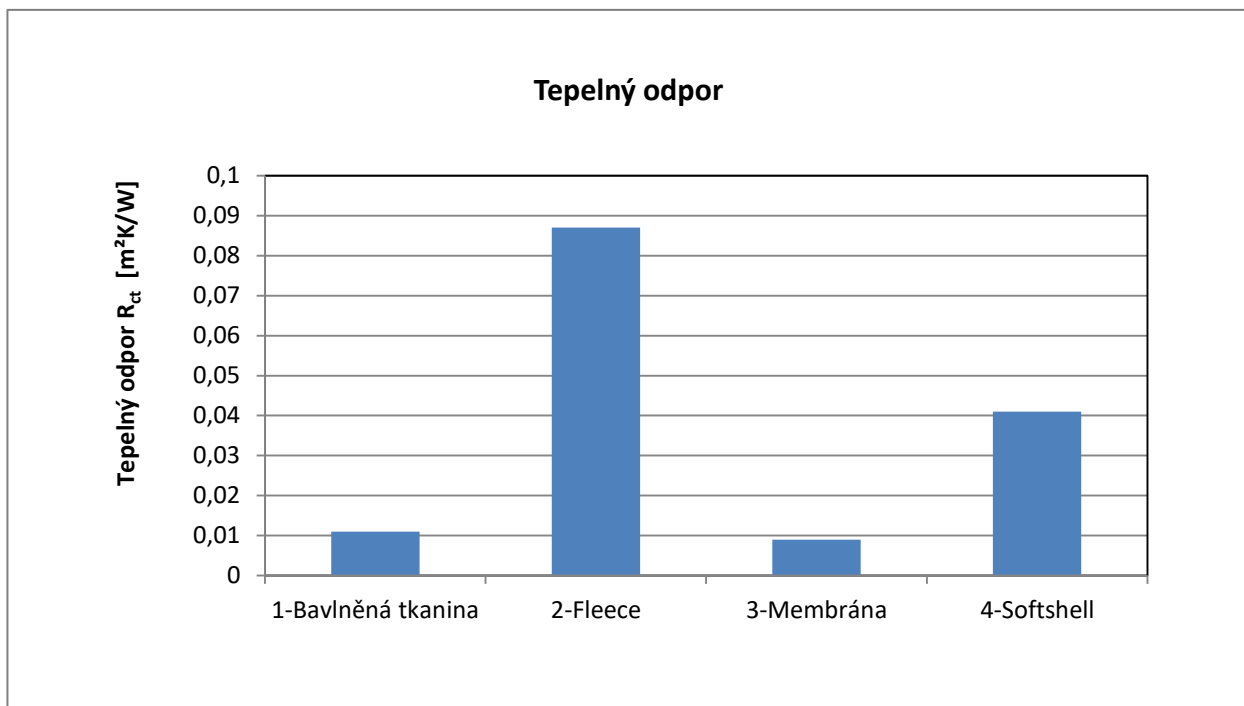
Příprava měření. Zvolený vzorek je umístěn do klimatické komory o předepsané teplotě a vlhkosti, kde je upnut rámečkem na zkušební desku simulující lidskou pokožku. Po zapnutí zařízení dochází k ustálení podmínek. Díky tomu je tak možné začít s testováním, které samotné trvá 30 minut. Celková doba měření jednoho vzorku je okolo 50 minut až 1 hodiny. Pro vzorek jsou zadány stanovené rozměry, a to čtverec o straně 30,4 cm. Výsledkem měření na tomto přístroji je tedy hodnota tepelného odporu.

Vyhodnocení zkoušky:

V tabulce č. 8 níže jsou uvedeny naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu. Všechny naměřené hodnoty spolu s dopočítanou statistikou jsou uvedeny v příloze č. 4.

Materiál	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
Tep. odpor R_{ct} - průměr [m²K/W]	0,011	0,087	0,009	0,041

Tabulka č. 8: Naměřené hodnoty z SGHP



Graf č.16: Naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji SGHP.

Na grafu č. 3 výše jsou znázorněny průměrné hodnoty tepelného odporu naměřeného na zařízení SGHP. Od každého zvoleného materiálu byly vždy testovány tři vzorky, ze kterých byla posléze dopočítána průměrná hodnota.

12.4 Přístroj FOX 314 Instruments

Zařízení Fox 314 je určen k testování tepelné vodivosti u zvoleného materiálu. Na tomto přístroji je možné testovat za širokého rozsahu teplot včetně teplot pod bodem mrazu. Při tomto měření byla zvolena pouze jedna teplota 20 °C.

Příprava a měření vzorků:

Přístroj Fox 314 je sestaven ze dvou desek, spodní pohyblivé a horní pevné. Na spodní desku byl vložen zkoušený vzorek. Následně byla dolní deska upravena do stanovené vzdálenosti. Pro velikost vzorků jsou zadány rozměry, a to čtverec o délce strany 30,5 cm a tloušťce v rozmezí od 0-102 mm. Po vložení vzorku do zařízení následovalo uzavření komory a nastavení zvolených teplot. Teplota vzduchu v komoře byla zvolena na 20 °C a teplota dolní desky byla nastavena na 35 °C. Teplota dolní desky je určena na 35 °C, jelikož simuluje teplotu lidské pokožky. Měření na zařízení Fox 314 trvá přibližně 1 hodinu, avšak u testování

slabších materiálů se tato doba protáhla na 2 až více hodin. Výslednou hodnotou je tepelná vodivost.

Vyhodnocení zkoušky:

Po skončení každého měření je vždy vystaven protokol o zkoušce. Protokol obsahuje uvedený název vzorku, zvolenou teplotu, datum a čas spolu s naměřenými hodnotami tepelné vodivosti z jednotlivých bloků. Testování na tomto přístroji je nastaveno k zápisu v blocích, přičemž jeden blok trvá přibližně 5 min. Minimální počet bloků je 12. Po skončení každého bloku je zařízením vždy dopočítána průměrná hodnota tepelné vodivosti a průměrná teplota již změřeného bloku. Pokud je po 12 blocích ustálena teplota a nedochází ke kolísání hodnoty tepelné vodivosti, je měření po tomto počtu bloků ukončeno.

Po změření tloušťky a tepelné vodivosti zvoleného materiálu byla dále získaná data tepelné vodivosti přepočítána na tepelný odpor. Pro přepočet byly použity následující vzorce:

$$1. U_1 = \lambda_L \cdot 10 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]} \quad (28)$$

- U_1 - hodnota tepelného toku + vzduchu [W/m²·K]
- λ_L - nejnižší tepelný tok spodní desky[W/m·K]

$$2. U_2 = (U_{bp} \cdot U_1)/(U_{bp} - U_1) \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]} \quad (29)$$

- $U_{bp}= 6,67$ [W/m²·K]
- U_2 - propustnost tepla vzorkem [W/m²·K]

$$3. \lambda = k = U_2 \cdot t_i/1000 \text{ [W/m}\cdot\text{K]} \quad (30)$$

- t_i - tloušťka materiálu [mm]
- $\lambda=k$ - tepelná vodivost materiálu [W/m·K]
- U_2 - propustnost tepla vzorkem [W/m²·K]

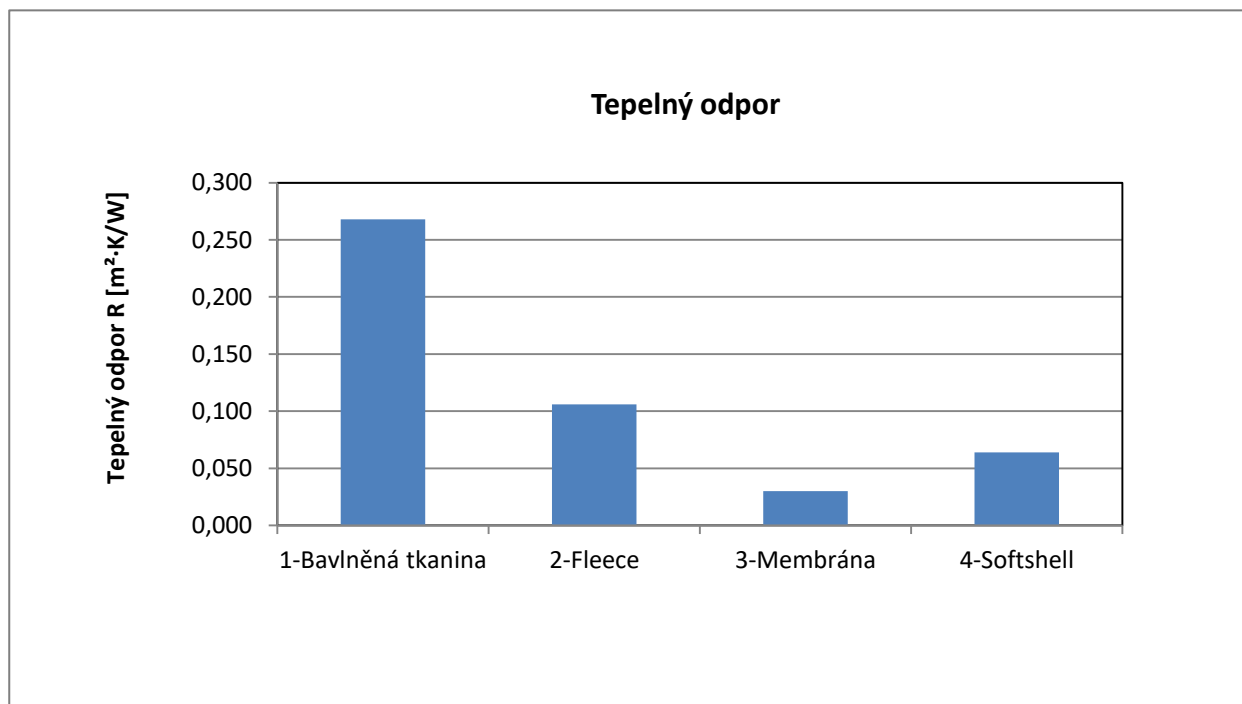
$$4. R = 1/U_2 \text{ [m}^2\cdot\text{K /W]} \quad (31)$$

- R- tepelný odpor vzorku textilie [m²·K /W]
- U_2 - propustnost tepla vzorkem [W/m²·K]

V tabulce č. 9 jsou níže uvedeny dopočítané průměrné hodnoty tepelného odporu. V příloze č. 5 jsou uvedeny všechna naměřená data tepelné vodivosti spolu s vypočítanou statistikou.

Materiál	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
Tep. vodivost λ - průměr [W/m·K]	0,597	0,391	0,558	0,468
Tep. odpor R - průměr [m²·K/W]	0,268	0,106	0,030	0,064
var. koeficient [%]	6,268	2,836	9,684	8,553

Tabulka č. 9: Naměřené a vypočtené hodnoty z FOX 314



Graf č.17: Naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji FOX 314.

V grafu č. 4 jsou zaznamenány průměrné hodnoty dopočítaného tepelného odporu, které byly změřeny při teplotě 20 °C. Touto zkouškou bylo znovu potvrzeno, že zařízení Fox 314 není příliš vhodné pro měření tenkých textilních vzorků. Při testování se špatně měřil např. membránový materiál nebo bavlněná tkanina. Doba měření u těchto vzorků se tak pohybovala okolo 2 až 3 hodin. Délka této zkoušky je dána čekáním na ustálený stav, který byl dosažen po kolísání hodnot tepelného toku a teploty systému. V tabulce č. 9 jsou uvedeny i hodnoty variačního koeficientu, ze kterých lze určit dosažení vyšších hodnot u zmíněného zkoušeného vzorku. Výsledek tohoto měření může být dán tloušťkou zvoleného materiálu, který je pro přístroj Fox obtížné změřit, jelikož ten není k těmto podmínkám od výrobce přizpůsoben.

13. Vyhodnocení experimentu

Jak již bylo uvedeno, experiment byl měřen na čtyřech testovacích zařízeních. Byly to přístroje Aerodynamický tunel, Thermal Conductivity Analyser-C-Therm (TCi), Sweating Guarded Hot Plate (SGHP) a Fox 314 Instrument (FOX 314). Všechna tato zařízení jsou určena pro měření tepelně izolačních vlastností. Každý z těchto přístrojů pracuje dle své měřicí metody, jež se od ostatních zařízení liší. (viz. kapitola 8).

Větrný tunel je zařízení, které bylo sestaveno a je stále vyvíjeno na Katedře oděvnictví (KOD) TUL. Přístroj funguje na principu přenosu tepla z vyhřívajícího válečku obtékaného proudem vzduchu o nastavené rychlosti. Přístroj měří od rychlosti 2 m/s po 19 m/s (s nastavením tolerance rychlosti $v = 0,1$ m/s). Bez nastavení min. rychlosti proudění nelze uvést přístroj do provozu. Jelikož jde o zařízení, které je sestaveno jako otevřená větrná trať s otevřenou cirkulací proudění vzduchu v laboratoři vybavené klimatizací, nelze zvolit nižší rychlosti než je 2 m/s. Toto zařízení prošlo v poslední době také optimalizací, která se týkala především vyhřívající sondy, tzv. modelu lidské paže, na kterém se měří hustota tepelného toku testovaného vzorku, tedy množství tepla, které prošlo skrz měřený vzorek kolmo ke směru proudu vzduchu.

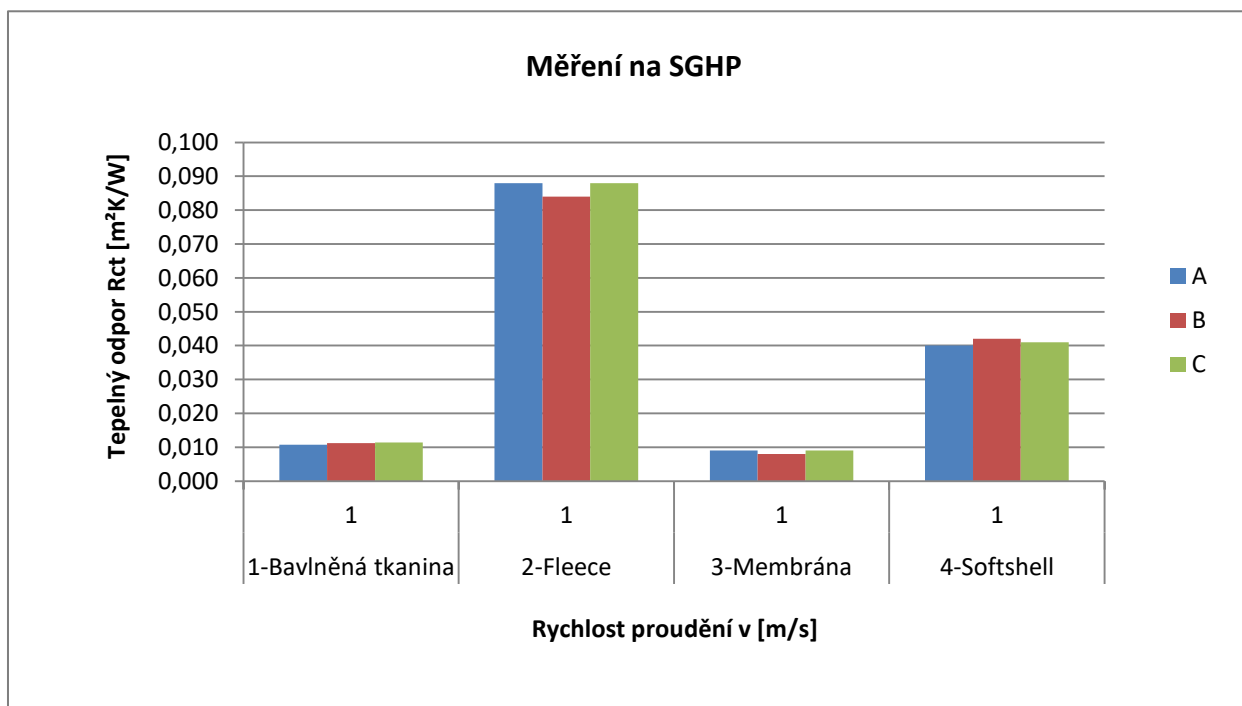
Ostatní uvedená zařízení jsou normována. Jde o přístroje, které jsou často používány pro hodnocení tepelně izolačních vlastností u textilních vzorků. U těchto zařízení lze převést naměřené hodnoty na stejnou tepelně izolační vlastnost - tepelný odpor. To však nelze u zařízení větrný tunel, jelikož během testu nejsou zaznamenány všechny potřebné faktory pro přepočítání. Jedná se především o změřené hodnoty teplotního spádu mezi vyhřívajícím válečkem a testovaným vzorkem. Tento parametr je nezbytný pro další zpracování a vypočítání tepelně izolačních vlastností jako je např.: tepelná vodivost nebo tepelný odpor, jenž je velmi důležitý pro hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií.

Díky tomuto problému je tak velmi obtížné najít možnost, jak porovnat Aerodynamický tunel s ostatními normovanými zařízeními. Z tohoto důvodu bylo nakonec přistoupeno k možnosti porovnat zařízení větrný tunel pouze s jedním přístrojem, a to vizuálně pomocí grafů. Vybrán byl přístroj SGHP, který využívá podobný princip měření jako zařízení větrný tunel, ale se změřením jiného výstupu - tepelného odporu R_{ct} [$m^2 \cdot K/W$] s rozlišením 0,001 [$m^2 \cdot K/W$]. Zařízení SGHP měří na základě vložení vybraného vzorku na vyhřívající desku, která je ofukována klimatizovaným vzduchem, jenž proudí napříč a

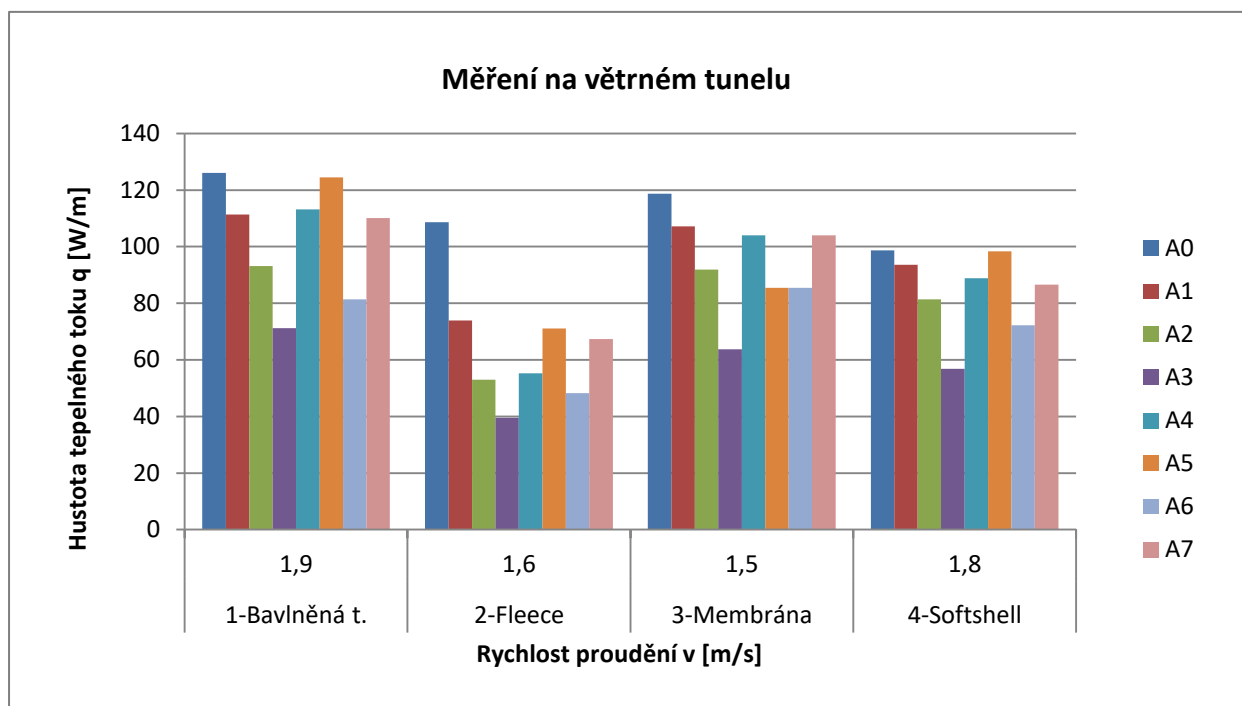
rovnoběžně s povrchem vzorku. Rychlost proudění vzduchu je automaticky nastavena na hodnotu $v_a = 1\text{m/s}$.

Porovnání zařízení větrný tunel a SGHP je zobrazeno v grafech č. 16 a 17. Tyto grafy zachycují měření jednotlivých zařízení při rychlostech proudění u SGHP $v_a = 1\text{m/s}$ a u přístroje větrný tunel při rychlostech proudění $v = 1,9; 1,6; 1,5$ a $1,8$ s nastavenou tolerancí testu $v = 0,5$ m/s. Dále jsou u měření na přístroji SGHP uvedena všechna tři měření (A,B. a C) oděvních vzorků, u zařízení větrný tunel je uvedeno jedno měření textilních vzorků.

Z uvedených grafů č. 16 a 17, jež zobrazují získaná měření přístroje SGHP a větrného tunelu, je zřejmé, že ač jde o vyhodnocení jiného parametru tepelně izolačních vlastností, v určitém ohledu se jejich výsledky podobají, a to především u hodnocení naměřeného výsledku vzorku softshellu. Ten je u obou zařízení vyhodnocen vždy jako průměrný, což může být dáno nejen tloušťkou, ale i strukturou tohoto materiálu. Z grafů je dále patrné, že zařízení SGHP je více přizpůsobeno pro měření silnějších materiálů, oproti tomu u přístroje větrný tunel dosáhly lepších výsledků materiály s nižší tloušťkou. Obě testovací zařízení jsou určena více pro test vrstvených textilií, u kterých lze nejlépe vyhodnotit tepelně izolační vlastnosti. Zařízení jsou si podobná v metodě měření, avšak odlišná co se týká konstrukce zařízení. Naopak zařízení TCi a Fox 314 se odlišují od těchto přístrojů nejen svým principem měření,



Graf č. 18: Měření na zařízení SGHP.



Graf č. 19 Měření na zařízení větrný tunel.

Po vyhodnocení výsledků měření na větrném tunelu bylo možné porovnat získané hodnoty pouze s jedním zařízením, a to SGHP, které se svým principem měření podobá zařízení větrný tunel. Možnost porovnat získané výsledky i s ostatními přístroji není hlavní náplní této práce. Tato práce se zabývá aktuálním stavem zařízení větrný tunel, jeho testováním tepelně izolačních vlastností u zvoleného oděvního materiálu a jeho možnostmi a také tím, zda lze tento přístroj dále porovnat s uvedenými normovanými zařízeními či nikoliv. Po další vývoj zařízení větrný tunel je nutné brát v úvahu i vyhodnocení dalších faktorů měření, jež souvisejí s testováním tepelně izolačních vlastností. Také je nutné zmínit, že jakákoliv úprava týkající se měřicí části zařízení, jako např.: přidání dalšího koncového měřicího senzoru do konstrukce větrného tunelu by pak neměla jakkoliv ovlivnit měření tohoto zařízení.

14 Diskuze výsledků

Po skončení všech měření a získání statistických údajů je důležité provést celkové vyhodnocení experimentální části této práce. V první řadě je nutné se zmínit o materiálech, jež byly testovány. Šlo o čtyři jednovrstvé oděvní materiály, které jsou určeny pro pracovní oděv. Některé ze zvolených oděvních materiálů dosahovaly nízkých hodnot tloušťky, což mělo za důsledek získání odlišných výsledných hodnot z jednotlivých zařízení. Normovaná zařízení, která jsou určena pro měření tepelně izolačních vlastností testovaného vzorku, jsou nejčastěji využívána k testování textilních materiálů, vrstvených textilií či pěn apod., jež dosahují vyšší tloušťky. Proto bylo v některých případech provedeno i opakované měření, které potvrdilo či vyloučilo ovlivnění měření v důsledku tohoto nedostatku.

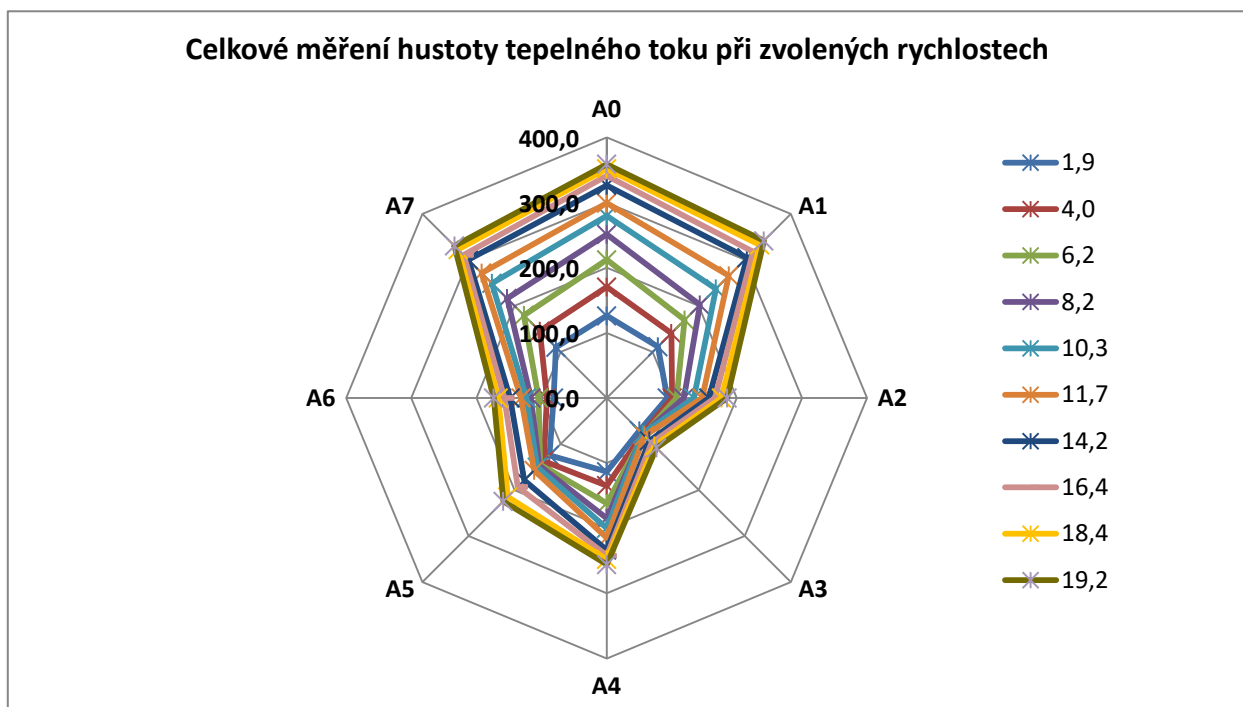
Dále je nutné zmínit několik informací o měření na zařízení větrný tunel. Tento přístroj prošel v nedávné době optimalizací, což přineslo do jeho měření několik změn. Ty se projeví především úpravou vyhřívaného válečku, kterému byla tímto pozměněna možnost vyhodnotit všechny nezbytné faktory, jež jsou pro hodnocení či porovnání tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů důležité. Z tohoto důvodu bude níže v textu uvedeno hodnocení naměřených výsledků jednotlivých oděvních vzorků na větrném tunelu zvláště, jelikož výstup tohoto zařízení je odlišný od výstupů ostatních zařízení. Dále budou vyhodnoceny výsledky měření u normovaných zařízení, a to TCi, SGHP a FOX 314.

Z grafů hodnotících měření na zařízení větrný tunel je patrná jedna již zmíněná informace týkající se alfa sond (A0-A7), jež jsou rozmístěny do protilehlých dvojic na vyhřívaném vlečku. Jejich měřením bylo prokázáno, že tyto protilehlé dvojice nevyhodnocují podobně. I přes toto zjištění bylo rozhodnuto pokračovat v měření. V průběhu celého testu lze označit zaznamenané měření protilehlé dvojice alfa sond A3-A5 za odlišné. Tento trend je v jednotlivých grafech zaznamenán již od počátku měření, především již od rychlosti $v=4$ m/s, ale také u dalších vyšších rychlostí proudění. Další výkyv ve výsledcích měření je nalezen u protilehlé dvojice alfa sond A0-A4, ten je však dán jejich umístěním. Alfa sonda A0 je totiž umístěna přímo a kolmo ve směru proudu vzduchu. Oproti tomu alfometr A4 je umístěn na zadní části válečku, čímž je díky své pozici v závětrné části válečku získaný výsledek měření mírně ovlivněn. Nejvíce podobná měření jsou zaznamenána od dvojice alfometrů A1-A7, u kterých se i přes zvyšující se rychlost proudění podobnost jejich měření hustoty tepelného toku nemění. Tyto alfa sondy jsou proto u každého z měření hodnoceny. U všech měření textilních vzorků je tvar získaného celkového měření hustoty tepelného toku označen za

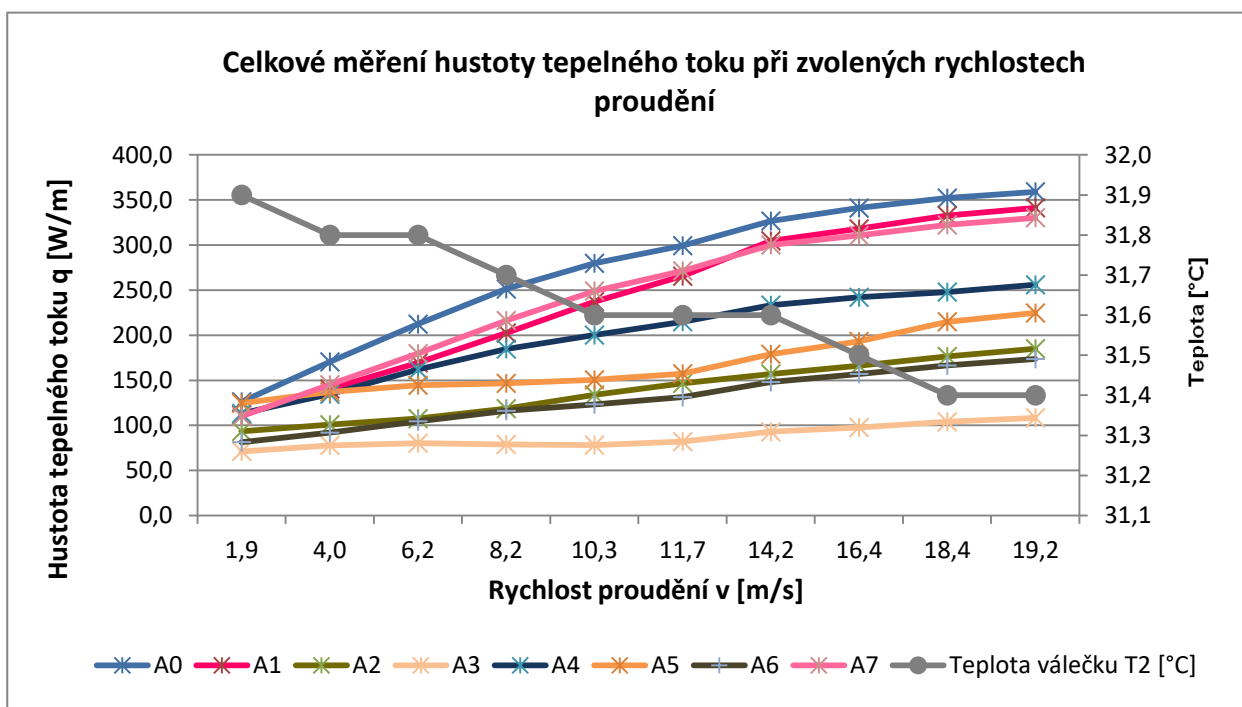
nesymetrický, a to podle vodorovné osy vyhřívaného válečku (modelu lidské paže) v důsledku nelaminárního proudění, které je za touto osou. Díky tomu jsou proto výsledné hodnoty alfametrů A3, A4 a A5 tak vychýlené. Z toho zjištění tak vyplývají dvě příčiny. První je citlivost alfametrů na nelaminární proudění nebo porucha či ovlivnění měření těchto měřících senzorů. Směr ani úhel snímané hustoty tepelného toku není dále předmětem této práce.

Na grafech č. 19 a č. 20 jsou vidět průměrné hodnoty hustoty tepelného toku naměřené na vzorku č.1 bavlněné tkaniny na zařízení větrný tunel. Největší skokové změny u zjištěných hodnot měření hustoty tepelného toku jsou patrné v rychlostech proudění $v=4,0; 8,2; 11,7; 18,4$ a $19,2$ m/s. Při těchto rychlostech proudění byly u protilehlé dvojice alfametrů A1-A7 zaznamenány hodnoty hustoty tepelného toku (A1) $q=140,4; 202,4; 265,4; 332,5; 341,3$ W/m² a u (A7) $q=145,1; 216,3; 271,4; 322,3; 330,4$ W/m². Teplota válečku T_2 je v průběhu testu velmi proměnlivá. Z grafu č. 20 je vidět, že během testování má teplota vyhřívaného válečku klesající tendenci. U získaných hodnot měření je již zřejmé, že od rychlosti proudění $v=4$ m/s je zaznamenán nárůst hodnoty hustoty tepelného toku, jenž strmě pokračuje až do konečné rychlosti $v=19$ m/s. Tím lze říci, že množství prošlého tepla (od vyhřívaného válečku) vlivem proudění vzduchu s každou další rychlostí narůstá. Z toho vyplývá, že bavlněný materiál není zcela vhodným materiálem, jenž by tepelně izoloval.

Pracovník, který by si vzal bavlněný oděv a byl by při své práci vystaven větrným vnějším podmínkám prostředí při rychlosti proudění vzduchu nad $v=6$ m/s, by zaznamenal diskomfort oděvu a po určité době (1 hod.) i pocit chladu (viz. naměřená teplota válečku $T_2=31,8$).



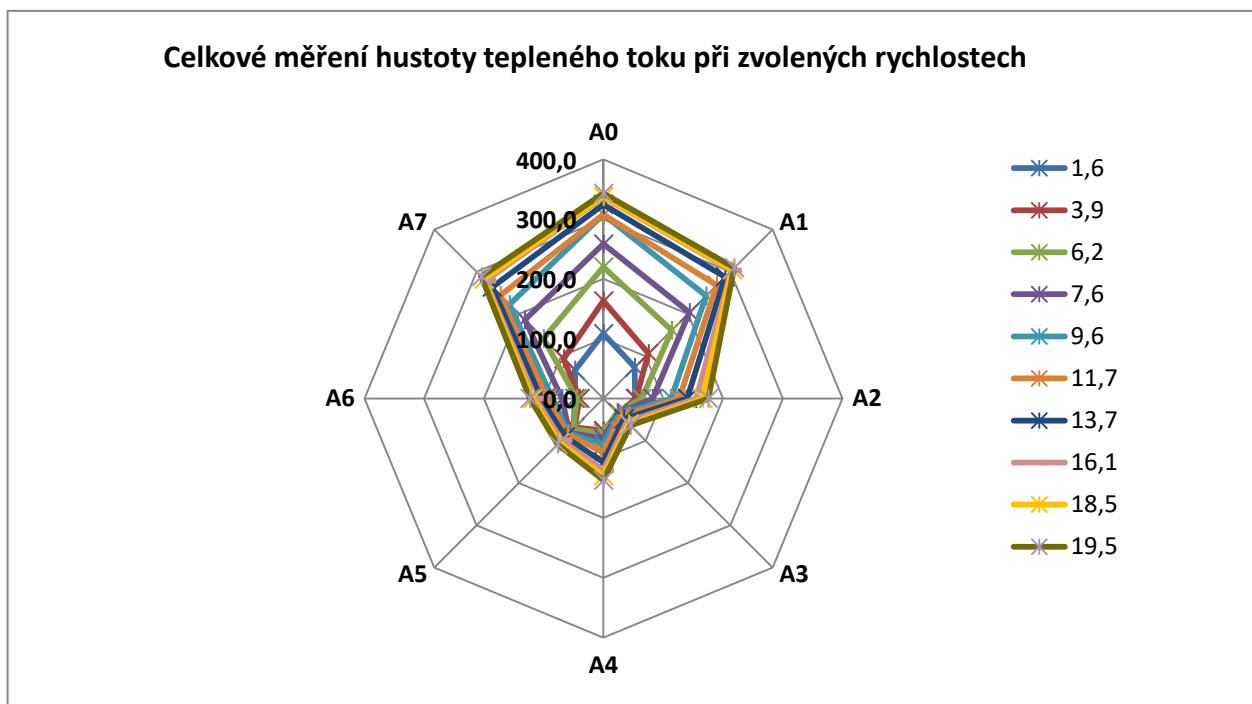
Graf č. 20: 1-Bavlněná tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku.



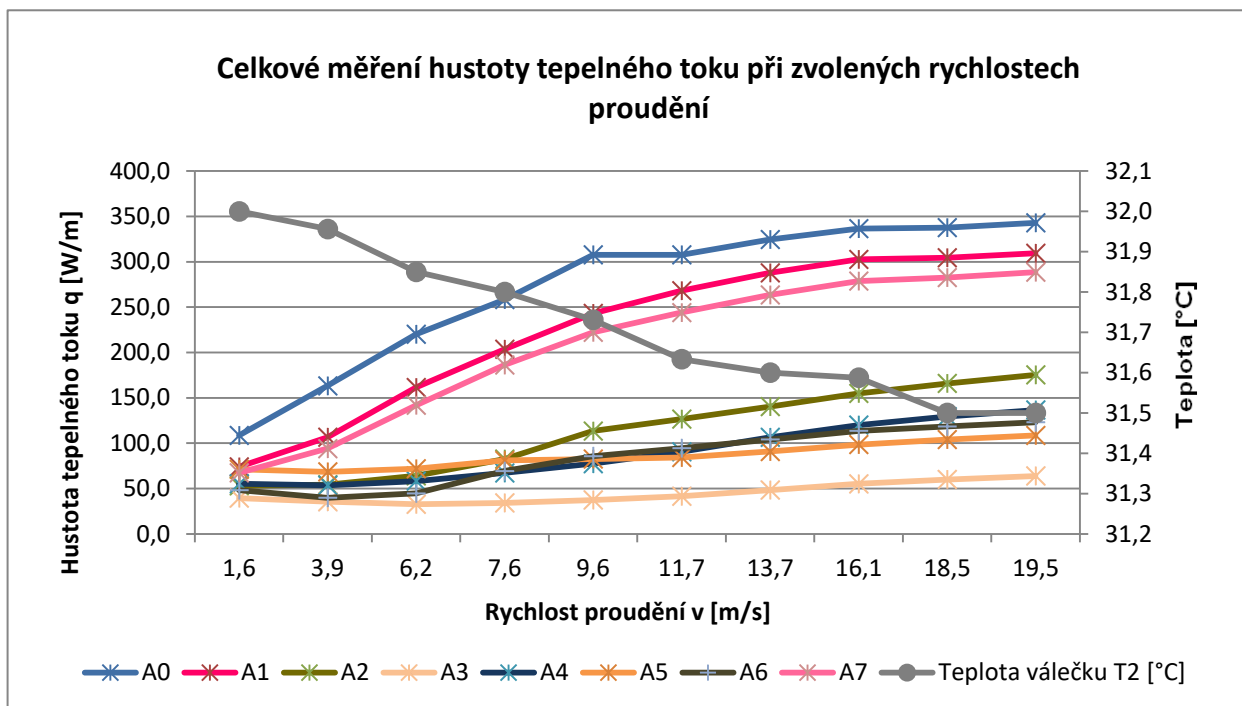
Graf č. 21: 1-Bavlnění tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívávaného válečku.

Dále jsou na grafech č. 21 a 22 zobrazeny získané průměrné hodnoty hustoty tepelného toku testovaného vzorku č. 2 fleece úpletu. U tohoto materiálu byly zaznamenány skokové změny u naměřených hodnot hustoty tepelného toku při rychlostech proudění vzduchu $v = 3,9; 6,2; 7,6; 9,6; 18,5$ a $19,5$ m/s. Při těchto změnách byly u protilehlé dvojice alfa sond A1-A7 naměřeny hodnoty hustoty tepelného toku (A1) $q = 106,6; 161,4; 203,6; 243,1; 304,5; 309,4$ W/m² a u (A7) $q = 94,0; 141,8; 186,2; 222,3; 282,6; 288,5$ W/m². Z grafu č. 22 lze určit, že teplota vyhřívávaného válečku má jako u bavlněného materiálu klesající gradient. Z naměřených hodnot je dále zřejmé, že již od rychlosti proudění $v = 3,9$ m/s je zobrazen nárůst hodnoty hustoty tepelného toku, který průběžně strmě narůstá během celého testu až do rychlosti $v = 19$ m/s. Tímto výsledkem lze říci, že množství prošlého tepla (od vyhřívávaného válečku) vlivem proudění vzduchu s další rychlostí narůstá, avšak ve srovnání s bavlněným materiálem o poznání méně. Z toho lze vyhodnotit fleecový materiál jako vhodný vzorek, jenž má tepelně izolační vlastnosti, ale jen při nízkých rychlostech proudění, a to do 6 m/s.

Pracovník, který by byl oblečen do fleecového oblečení a byl by při své práci vystaven větrným vnějším podmínkám prostředí při rychlosti vzduchu nad $v = 6$ m/s, by zaznamenal diskomfort oděvu a po určité době (1h) i pocit chladu (viz. teplota vyhřívávaného válečku $T_2 = 31,8^{\circ}\text{C}$).



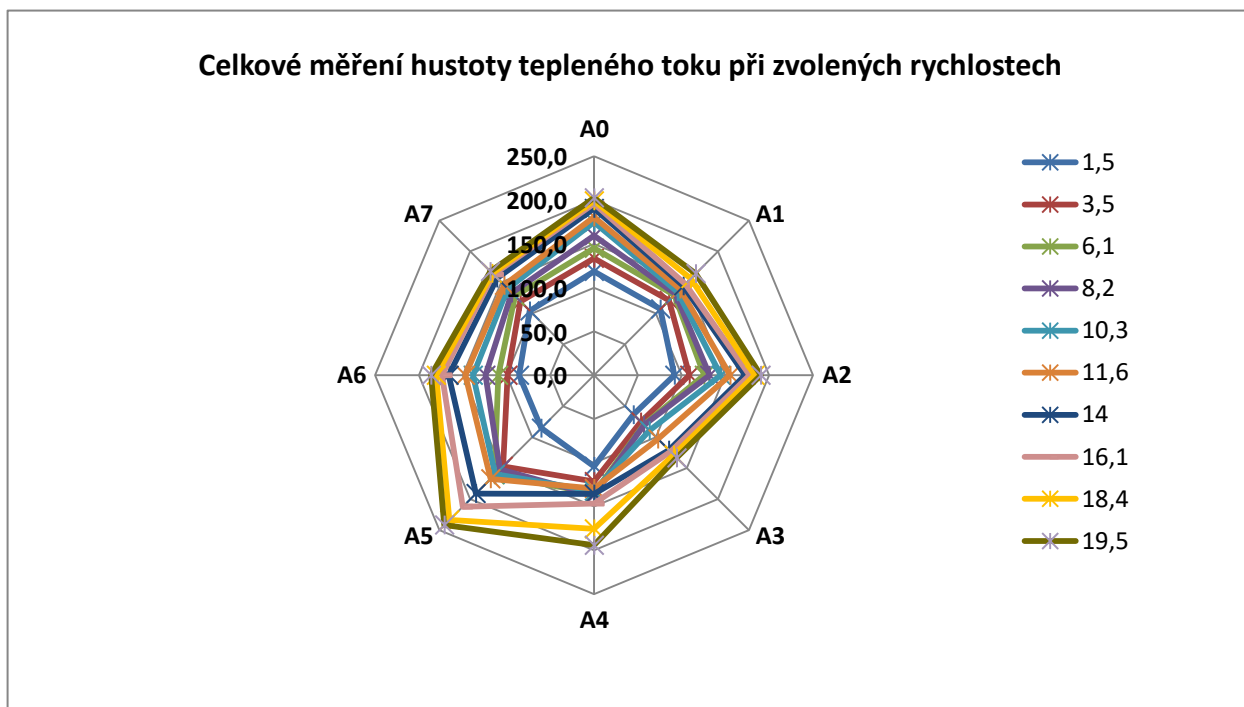
Graf č. 22: 2-Fleece úplet - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku.



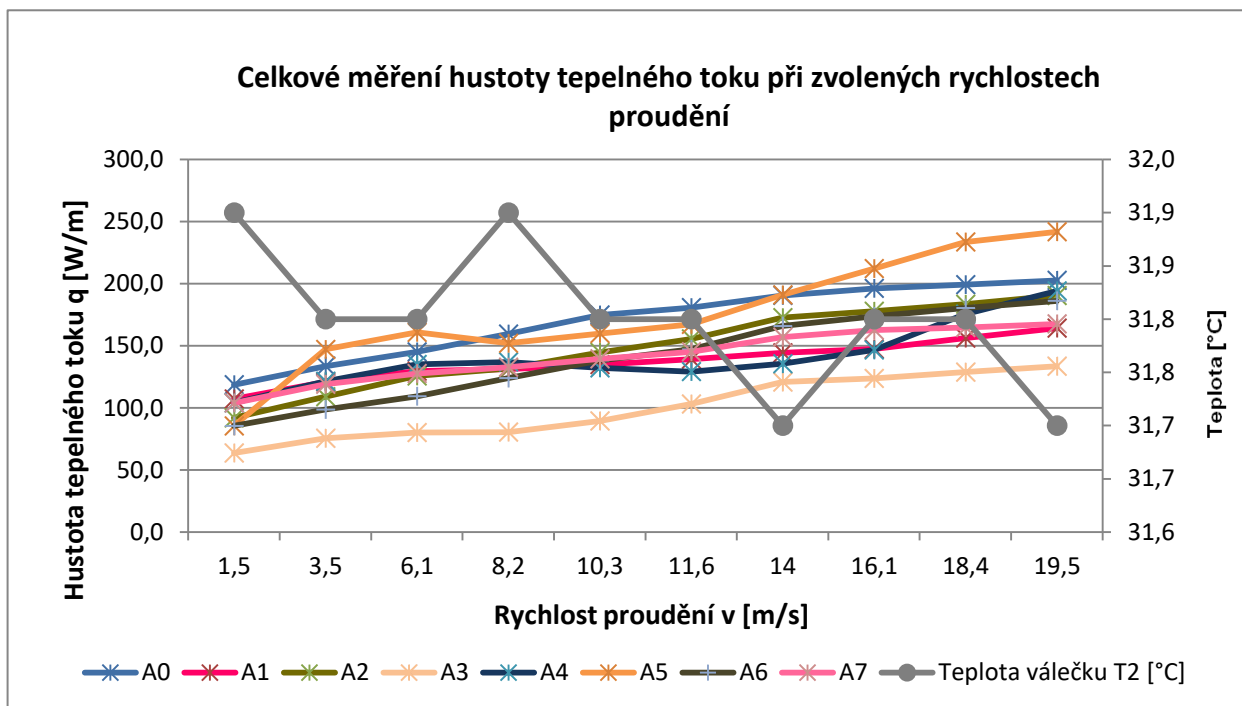
Graf č. 23: 2-Fleece úplet - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívaného válečku.

Grafy č. 23 a č.24 ukazují naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku zvoleného vzorku č.3 membránové tkaniny. U materiálu membránová tkanina byly během zkoušky zaznamenány skokové změny hustoty tepelného toku při rychlostech proudění $v=3,5$; $10,3$; $16,1$; a $18,4$ m/s. V těchto vybraných rychlostech proudění byly u dvojice protilehlých alfametrů A1-A7 naměřeny hodnoty hustoty tepelného toku (A1) $q=120,9$; $134,8$; $147,4$; $156,2$ W/m² a (A7) $q=119,0$; $139,5$; $162,7$; $164,7$ W/m². Dalším faktorem měření je teplota vyhřívaného válečku. Z grafu č. 24 je patrné, že teplota válečku byla během testu velmi proměnlivá. Ze získaných hodnot je dále vidět, že již od hodnoty rychlosti proudění $v=3,5$ m/s je zobrazen nárůst hustoty tepelného toku, který narůstá v průběhu testu až do konečné testovací rychlosti proudu vzduchu. Tímto zaznamenaným výsledkem lze říci, že množství prošlého tepla (od vyhřívaného válečku) vlivem proudění vzduchu s další rychlostí narůstá, ale již ne tak znatelně jako u dvou předchozích materiálů bavlněné tkaniny a fleece úpletu. Testovaný materiál membránová tkanina lze zhodnotit jako materiál, který má tepelně izolační vlastnosti, a to i při vyšších rychlostech proudění.

Pracovník, jenž by si vybral oděv zhotovený z membránové tkaniny a byl by při práci vystaven větrným vnějším podmínkám prostředí, by při rychlosti proudění $v = 14 \text{ m/s}$ již pocítil diskomfort oděvu a po určité době (po 1 hod.) i pocit chladu (viz. teplota vyhřívaného válečku $T_2 = 31,7^\circ\text{C}$).



Graf č. 24: 3-Membránová tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku.

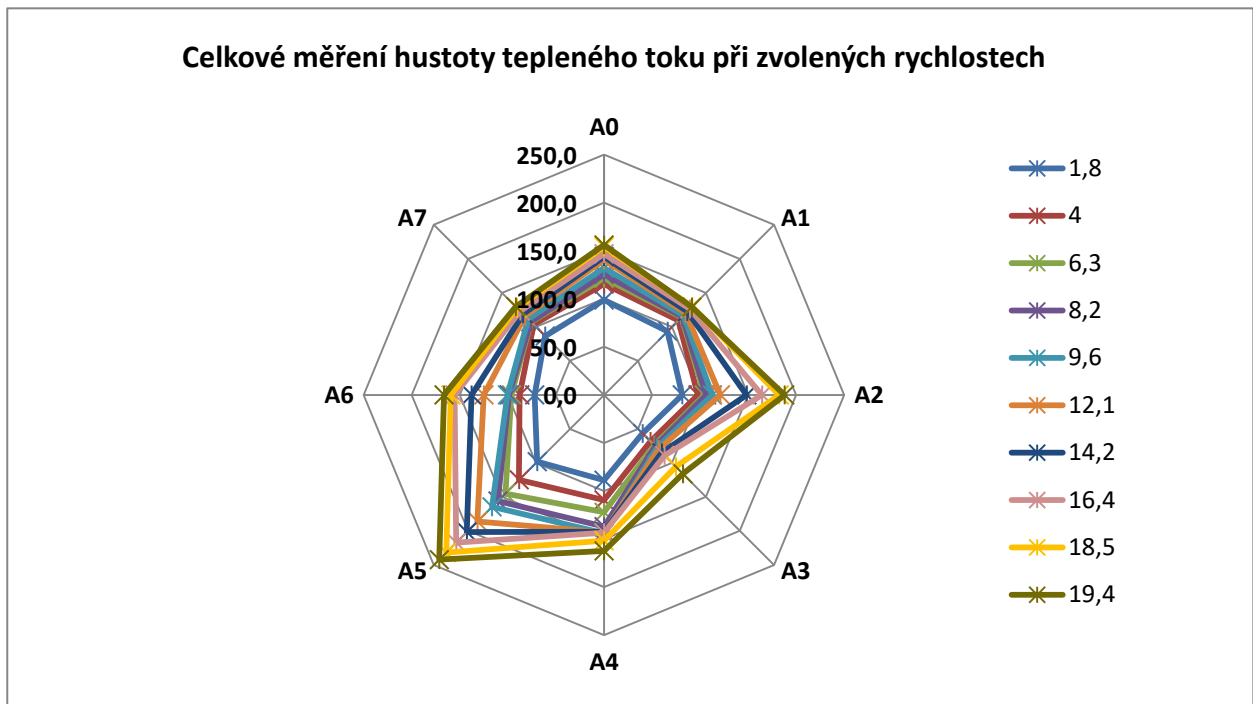


Graf č. 25: 3-Membránová tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívajícího válečku.

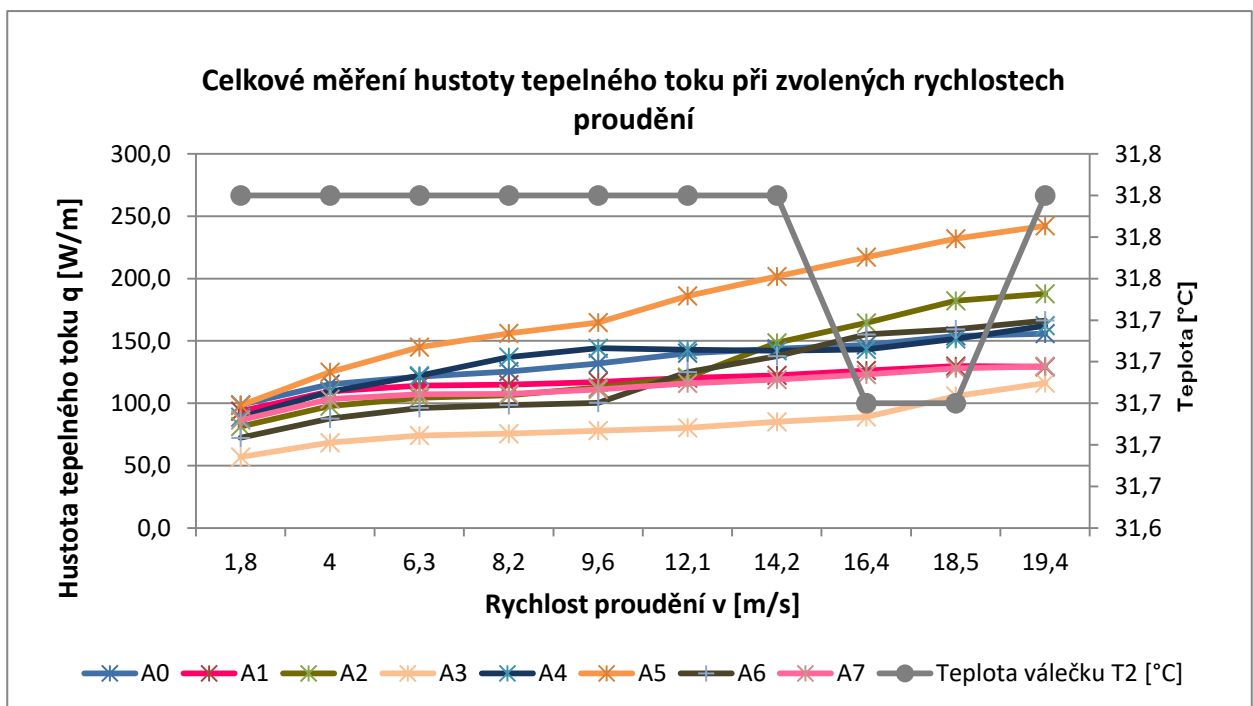
Grafy č. 25 a č.26 zobrazují získané průměrné hodnoty hustoty tepelného toku u posledního vzorku oděvního materiálu č.4 softshell textilií. Během měření byly u materiálu zaznamenány skokové změny hustoty tepelného toku při rychlostech proudění $v = 4; 9,6; 16,4; 19,4$ m/s. U těchto vybraných hodnot proudění byla protilehlou dvojicí A1-A7 zaznamenány hodnoty hustoty tepelného toku (A1) $q = 109,6; 117,1; 126,3; 129,2$ W/m² a (A7) $q = 103,3; 111,1; 123,0; 129,7$ W/m². Dále byla při zkoušce softshell textilie zkoumána i teplota vyhřívajícího válečku, jenž je zanesena do grafu č. 26. Z naměřených hodnot je patrné, že snímaná teplota byla během zkoušky ustálena až do rychlosti proudu $v = 14,2$ m/s. Ze získaných hodnot je dále vidět, že již od rychlosti proudění $v = 6,1$ m/s je zaznamenán mírný nárůst hodnot hustoty tepelného toku, který pokračuje až do konečné rychlosti proudění 19 m/s. Tímto výsledkem lze říci, že množství prošlého tepla (od vyhřívajícího válečku) vlivem proudění vzduchu s další rychlostí narůstá, avšak ve srovnání s ostatními testovanými vzorky velmi pomalu. Měřený vzorek oděvního materiálu softshell textilie, lze vyhodnotit jako materiál, který má tepelně izolační vlastnosti a to i při vyšších rychlostech proudění.

Pracovník, který by byl oděn do oblečení vyrobeného ze softshell textilie a byl by při své práci vystaven větrným vnějším podmínkám by při rychlosti proudění nad 18 m/s

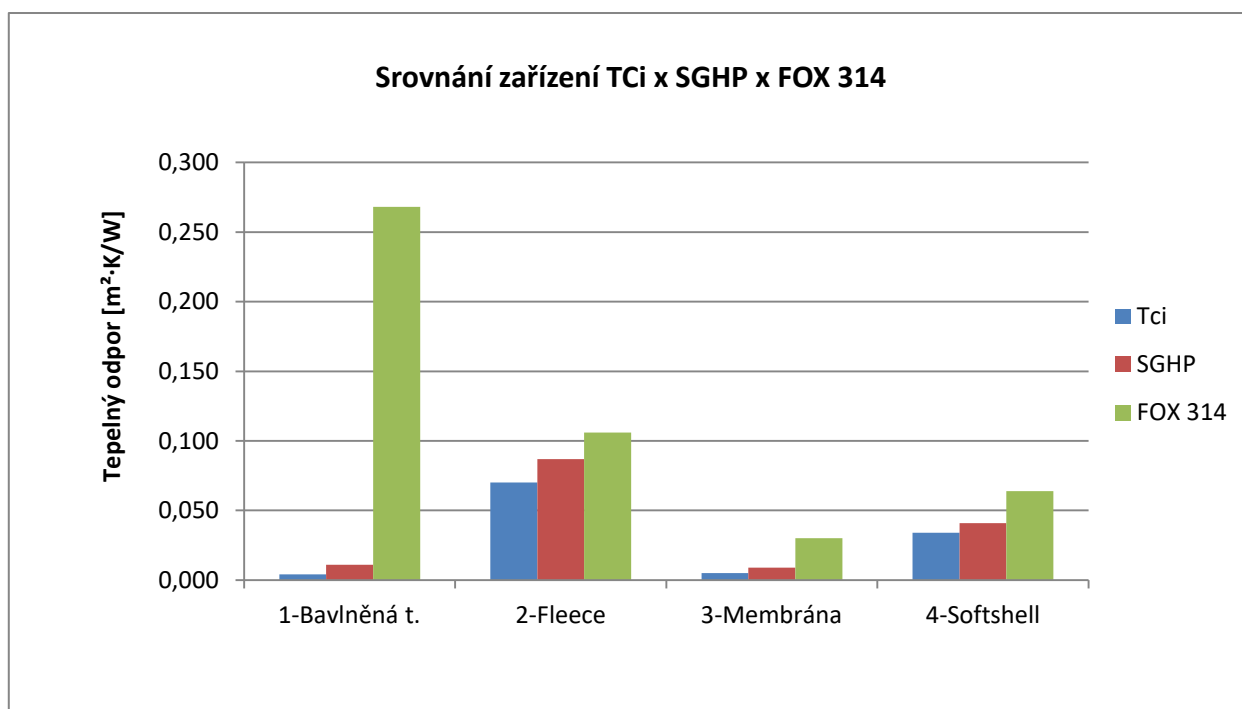
zaznamenali diskomfort oděvu a po určité době (po 1 hod.) pocit chladu (viz. teplota vyhřívajícího válečku $T_2 = 31,7^\circ\text{C}$).



Graf č. 26: 4-Softshell textilie- naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku.



Graf č. 27: 4-Softshell textilie- naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívajícího válečku.



Graf č. 28: Srovnání získaných hodnot u zařízení TCi, SGHP a FOX 314.

Na posledním grafu č. 27 jsou zobrazeny naměřené a dopočítané průměrné hodnoty tepelného odporu na zařízeních TCi, SGHP a FOX 314. Z grafu je patrné, že přístroj FOX 314 má výsledné hodnoty tepelného odporu nejvyšší. Naopak přístroj TCi zaznamenal nejnižší hodnoty. Měření dále ukázalo, že přístroje SGHP a FOX 314 jsou vhodné pro měření silných a objemných materiálů nebo vrstvených textilií. Tento výsledek je patrný ze získaných hodnot měření na přístroji FOX 314 u bavlněné tkaniny, která má tloušťku materiálu ($h = 0,475$ mm) nižší, než je zadaný limit zařízení. Nejen tímto faktorem je s velkou pravděpodobností ovlivněn i naměřený výsledek. Dále bylo zjištěno, že zařízení TCi není vhodné pro měření stlačitelných materiálů, jelikož jeho princip měření využívá závaží, které je umístěno na měřený vzorek, čímž se na vzorku vytvářejí záhyby a celé toto měření tak může být díky stlačení vzorku zkresleno.

Následně lze z grafu vyhodnotit vzorek oděvního materiálu z jednotlivých měření zařízení, jenž dosáhl nejvyšší průměrné hodnoty tepelného odporu. Tímto vzorkem byl zvolen fleece úplet, u kterého byla u všech zařízení dosažena nejvyšší hodnota. Jeho výsledek je dán nejen parametrem tloušťky ($h = 3,065$ mm), která je vyšší než u ostatních vzorků, ale i parametrem plošné hmotnosti. Oproti tomu nejnižšího výsledku dosáhly vzorky bavlněné tkaniny a membránové tkaniny. Bavlněný vzorek je vybrán i přesto, že dosáhl nejvyšší hodnoty měření u zařízení FOX 314, které je ovlivněno. Oba vybrané vzorky mají nízkou

tloušťku materiálu, což je jeden z faktorů, které materiály spojuje. Membránová tkanina je materiál charakteristický kombinací vrstev, oproti tomu použitá bavlněná tkanina je pouze jednovrstvý materiál. Ze získaných výsledků měření u všech uvedených zařízení lze shrnout do několika výsledků.

Zařízení větrný tunel se od normovaných použitých přístrojů liší nejen svou metodou měření, sestavou zařízení, ale i svým výstupem měření. Zařízení je stále ve vývoji, což vysvětluje, proč s každou novou úpravou musí být bráno v úvahu mnoho faktorů, které na sebe nejen navazují, ale i s měřením souvisí. Měřením vybraných oděvních materiálů bylo prokázáno jisté odlišení se od získaných výsledků ze zařízení SGHP, TCi a FOX 314. Zařízení větrný tunel je také přístroj určený pro test za extrémních podmínek proudění vzduchu, což je velmi specifické oproti ostatním metodám měření. U každého ze zařízení tak mají u vyhodnocení měření vliv i parametry, jež se u jiné měřicí metody tolik neuplatňují.

Měření na zařízení větrný tunel vyhodnotilo jako nejlépe tepelně izolační materiál softshell textilií. Oproti tomu oděvní vzorek, u kterého byly prokázány nejnižší tepelně izolační vlastnosti, byl vzorek bavlněné tkaniny. Dále bylo zjištěno, že lépe byly vyhodnoceny multifunkční textilie (membrána nebo softshell) než jednovrstvé oděvní vzorky. Tímto výsledkem je prokázáno, že zařízení je určeno především pro testy vrstvených vzorků, u kterých lze lépe vyhodnotit tepelně izolační vlastnosti. Na celkové měření u větrného tunelu neměla až tak velký vliv tloušťka materiálu, ale především prodyšnost, struktura a stlačitelnost materiálu a rovněž tvar a velikost mezivlákněných prostor.

Testováním na zařízeních TCi, SGHP a FOX 314 byl získán odlišný výsledek. Nejlépe byl vyhodnocen fleecový úplet, nejhůře bavlněná tkanina. Oproti tomu u těchto zařízení měla vliv především tloušťka vybraných materiálů, dále pak prodyšnost, struktura a plošná hmotnost materiálů spolu s dalšími faktory zmíněnými výše.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala problematikou měření tepelně izolačních vlastností v proudícím vzduchu. V úvodu práce je obecně shrnuto, co jsou tepelně izolační vlastnosti, proč jsou důležité a čím mohou být ovlivněny za extrémních klimatických podmínek, a to vlivem proudění vzduchu. První část práce je zaměřena na literární rešerši vybraných metod měření, kterými se testují tepelně izolační vlastnosti. Jsou zde uvedeny běžně používané metody, jež se využívaly již dříve, poté metody, které se v měření tepelně izolačních vlastností neuplatnily, a také nové metody, jež se dále vyvíjejí tak jako zařízení Aerodynamický tunel. Tento přístroj byl sestaven na Katedře oděvnictví (KOD) a v poslední době prošel i několika úpravami, kterým je věnována i část této rešerše. Většina metod a přístrojů vyhodnocuje svá měření veličinou tepelná vodivost nebo tepelný odpor. Součástí výpočtu tepelné vodivosti je hustota tepelného toku, která je dělena teplotním spádem. Hustota tepelného toku představuje množství tepla, které projde za určitou dobu plochou kolmo ke směru proudu. Tyto uvedené tepelně izolační veličiny spolu dále úzce souvisejí. Naměření vysoké hodnoty tepelného toku u testované textilie či u jiného materiálu znamená, že je dobře tepelně izolační a je hřejivý. Naopak zjištění vysoké hodnoty tepelné vodivosti znamená, že materiál dobře vede teplo.

Dobré tepelně izolační vlastnosti textilního materiálu závisí na několika jeho parametrech a těmi jsou struktura textilie, technologie zpracování, zaplnění, stlačitelnost, tloušťka a materiálové složení textilie. Tepelně izolační vlastnosti však ovlivňují i další vnější a vnitřní faktory, mezi které se řadí i vlhkost. Pokud textilie zvlhne, jsou zhoršeny nejen její tepelně izolační vlastnosti, ale i subjektivní tepelné pocity nositele. Pro teplo a jeho udržení je proto důležité využít izolantů - nejčastěji vzduchu. Ten dokáže ochránit mikroklima kolem lidského těla, jelikož materiál sám o sobě nedokáže hrát. Z tohoto důvodu jsou pro zajištění tepelně izolačních vlastností oděvu často používány textilní materiály s co největším objemem vzduchu.

První část této práce končí shrnutím experimentů a studií týkajících se problematiky měření tepelně izolačních vlastností v proudícím vzduchu, které byly již v této oblasti poslední dobou realizovány. Je patrné, že v průběhu let bylo provedeno několik výzkumů, každý se zaměřením na měření jiné tepelně izolační vlastnosti a použitím odlišného testovacího zařízení či měřicí metody. Zpočátku šlo o měření na zařízeních vyvinutých pro test určité tepelně izolační vlastnosti, avšak později se začaly více upřednostňovat výzkumy s použitím především tepelných figurín.

Druhá část práce je věnována provedenému experimentu. Ten byl měřen na čtyřech zařízeních. Vybrána byla především nová a často využívaná normovaná zařízení spolu s přístrojem, jenž je vyvíjen na KOD. Zvolené přístroje měří různé veličiny tepelně izolačních vlastností, a to hustotu tepelného toku, tepelnou vodivost a tepelný odpor. Nicméně zadáním experimentu bylo zjistit možnost, zda se dají či nedají jednotlivá normovaná měření porovnat se zařízením, které je stále vyvíjeno. Pro měření byly vybrány přístroje Aerodynamický tunel, Thermal Conductivity Analyser - C-Therm (TCi), Sweating Guarded Hotplate (SGHP) a FOX 314 Instrument (FOX 314). Všechna tato zařízení měří tepelně izolační vlastnosti, každé ale jinou metodou měření

Jako zkoumaný materiál byly zvoleny oděvní vzorky určené pro pracovní oblečení. Důvodem výběru materiálu je důležitost oděvu jako každodenního oblečení, jež má poskytovat tepelně izolační vlastnosti a komfort pracovníkovi nejen při práci, ale i odpočinku. Absence těchto faktorů má vliv i na jeho pracovní výkonnost. Zkoumán byl pracovní oděv určený pro použití za různých extrémních klimatických podmínek, a to kombinací materiálů, které se pro jednotlivý typ oděvu nejčastěji používají. Vybrány byly tyto materiály - hustě dostavená bavlněná tkanina, membránová tkanina, fleecové úplet a softshell materiál, jež reprezentují jednotlivé vrstvy používané při vrstvení oděvu jako ochranná (III. vrstva), nebo u fleecového úpletu i jako izolační vrstva (II. vrstva). Od každého z materiálů byly z časových důvodů či kvůli vytíženosti přístrojů a spotřebě materiálu měřeny tři vzorky u normovaných zařízení a jeden vzorek byl testován na přístroji větrný tunel.

Po změření a vyhodnocení bylo zjištěno, že přístroj větrný tunel není možné porovnat s ostatními normovanými přístroji, jelikož u měření zařízení nejsou snímány všechny potřebné parametry pro přepočítání. Z tohoto důvodu bylo nakonec přistoupeno k možnosti porovnat zařízení větrný tunel pouze s jedním zařízením, a to vizuálně pomocí grafů. Vybrán byl přístroj SGHP, který používá podobný princip měření jako zařízení větrný tunel, ale vyhodnocuje jinou tepelně izolační vlastnost.

Zařízení větrný tunel je určeno především pro testování vrstvených materiálů, u nichž lze lépe vyhodnotit tepelně izolační vlastnosti při vyšších rychlostech proudění. Měření na tomto zařízení je časově náročné z důvodu přípravy měření, což je dáno tím, že je zařízení stále ve vývoji. Princip měření je specifický, jelikož lze u měření nastavit vysokou rychlost proudění. Dále bylo potvrzeno, že přístroje SGHP a FOX 314 jsou určeny také pro měření silného materiálu nebo vrstvených textilií. Měření slabých materiálů může být u těchto měřicích metod ovlivněno. Dalším rozdílem, ve kterém se oba přístroje rozcházejí, je doba

měření. Zařízení SGHP změří jeden vzorek za jednu hodinu, oproti tomu přístroj FOX 314 testoval jeden vzorek i několik hodin.

Přístroj TCi má měřicí metodu, jež je jednoduchá a časově velmi krátká. Měření na zařízení je vyhodnoceno do několika minut. Testované vzorky nemusí být rozměrově upraveny. Tato metoda měření se však nehodí pro tenké vrstvy materiálů a stlačitelný materiál, jelikož se při měření na zkoumaný vzorek pokládá závaží.

Získané výsledky jednotlivých zkoumaných materiálů prokázaly neshodu při jejich vyhodnocení. U zařízení větrný tunel byl nejlépe vyhodnocen softshell materiál, u ostatních normovaných zařízení tímto vzorkem byl fleece úplet. U vzorku s nejnižšími tepelně izolačními vlastnostmi se shodly obě skupiny zařízení. Byla jím bavlněná tkanina. Faktorů, které způsobují odlišný výsledek těchto měření, může být několik. Jedním z hlavních faktorů je množství vzduchu a jeho rozložení v textilním materiálu. S tím souvisí struktura a technologie zpracování textilie, dále také tloušťka vzorku, prodyšnost a stlačitelnost materiálu, stejně tak i faktor materiálového složení.

Na závěr této práce je vhodné zmínit doporučení pro optimalizaci a další vývoj zařízení větrný tunel, jež by pomohla zlepšit jeho měření. Zmíněná doporučení se týkají zejména měřicí části tunelu. Prvním bodem je regulace teploty u vyhřívaného válečku, čímž by byly dosaženy konstantní a stejné podmínky u všech měření. Jak bylo testováním prokázáno, teplota kolísá před testem i během testu i přes ustálení podmínek měření. Druhou možností je doplnit váleček o zaznamenání údajů o spotřebované energii, která byla použita pro vyrovnání teploty. Třetím bodem optimalizace by bylo přidání senzoru pro změření teploty mezi válečkem a vzorkem, jelikož tento údaj je pro další vyhodnocení tepelně izolačních vlastností důležitý a zatím není snímán. A čtvrtým posledním bodem je možnost měřit na zařízení bez nastavení rychlosti proudění a pokusit se tak znovu zkalibrovat jednotlivé alfa sondy, nebo se rozhodnout pro jejich výměnu. Testováním bylo totiž prokázáno, že se naměřené výsledky některých alfa sond až podezřele rozcházejí. Shnutím všech těchto poznatků lze říci, že tímto bylo splněno zadání diplomové práce. Rozsah této práce je dán především vyhodnocením všech naměřených hodnot koncových měřících komponent zařízení větrný tunel, jejichž hodnoty jsou nezbytné pro výsledek testu a je nutné je vždy uvádět. Dále je důležité si připomenout, že přístroj Aerodynamický tunel je stále vyvíjen, z tohoto důvodu je uvedení všech naměřených dat spolu s jejich vyhodnocením více obsáhlé, avšak nutné pro jeho další rozvoj.

LITERATURA

- [1] HES, L. a SLUKA, P. *Úvod do komfortu textilií. první*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [2] FSV.CVUT. *Vedení tepla - kondukce*. [online]. [cit. 2016-10-10]. URL: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_tepla.pdf.
- [3] ŠUBERT, R. *Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu*. Liberec, 2007. Disertační. Technická univerzita v Liberci.
- [4] LEVINSKÝ, O. *Technický slovník*, SNTL 1985
- [5] DELLJOVÁ, R.A., AFANASJEVOVÁ, R.F., ČUBANOVÁ, Z.S. *Hygiena odívání*, SNTL, Praha, 1984.
- [6] UKPONMWAN, J.O. *The thermal - insulation properties of fabrics*. Textile progress, Vol.24, No. 4, The Textile Institute 1993
- [7] ŽALUD, V. *Hodnocení tepelně izolačních vlastností objemových textilií*. Liberec, 1997. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [8] GÖTZ, K. Chemická vlákna v textilním průmyslu . *XXII. Kongres Mezinárodní federace pletářských odborníků, 2.-5. října 1977*, Boras-Švédsko. 62, II.díl.
- [9] STŘEDA, I., SAZIMA, M. A DOUBRAVA, J. *Termomechanika*, ČVUT Praha, 1996
- [10] STANĚK I. A KUBÍČKOVÁ, M.: *Oděvní materiály*, VŠST Liberec, 1982.
- [11] HALASOVÁ, A. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu*. Liberec, 2007. Disertační. Technická univerzita v Liberci.
- [12] C-THERM TECHNOLOGIES. *C-Therm-TCI*. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: http://ctherm.com/files/C-Therm_TCI_Brochure.pdf
- [13] C-THERM TECHNOLOGIES. *How it works C-Therm Thermal Conductivity Analyzer TCI*. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: http://ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/how_the_tci_works/
- [14] Manuál k přístroji Thermal Conductivity Analyzer TCI - Model C-Therm TCI, TUL Liberec 2013.

- [15] EYTEST. *EY50 Sweating Guarded Hotplate*. [online]. [cit. 2017-01-18].
URL: <http://www.eytest.com/ey50.html>
- [16] SATRA TECHNOLOGY. *Satra STM 511 Sweating guarded hotplate*. [online].
[cit. 2017-01-18]. URL: https://www.satra.co.uk/portal/test_equipment/tec_view.php?id=189
- [17] TA INSTRUMENTS. *Fox 314 - An accurate, easy-to-use instrument for measuring thermal conductivity*. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: <http://www.tainstruments.com/fox-314/#ffs-tabbed-14|ffs-tabbed-23>
- [18] ČEJKOVÁ, L. *Měření tepelně-izolačních vlastností plošných textilií*. Liberec, 2002. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [19] JIRSÁK, O., GOT, T., PANN, N. *A dynamic and static methods for measurement of conductivity properties of textiles*. In young textile science 96, Liberec 1996.
- [20] KOPECKÝ, V. *Laserové anemometrie v experimentální mechanice tekutin*. 2001, s.188. Habitační. Technická univerzita v Liberci.
- [21] KRMÁŠKOVÁ, P. *Objektivní hodnocení fyziologického komfortu spacích pytlů*. Liberec, 1996. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [22] RŮŽIČKOVÁ, D. *Oděvní materiály. první*. Liberec. Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-682-2.
- [23] LAMB, G.E.R., YONEDA, M. *Heat Loss from a Ventilated Clothed Body*. 1990, s.5. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/004051759006000702>
- [24] FRYDRYCH, I., DZIWORSKA G., BILSKA. J. *Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres*. 2002, s. 5. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: http://fibtex.lodz.pl/39_08_40.pdf
- [25] MATUSIAK, M. *Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles*. 2006, s.5. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: <https://www.degruyter.com/view/j/aut.2014.14.issue-4/aut-2014-0030/aut-2014-0030.xml>
- [26] KIM, E., YOO, S. J., SHIM, H. *Performance of Selected Clothing Systems under Subzero Conditions: Determination of Performance by a Human-Clothing-Environment Simulator*. 2006, s.7. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0040517506057529>

- [27] GHALI, K., OTTHMANI, M., JREIJE, B., GHADDAR, N. *Simplified Heat Transport Model of a Wind-permeable Clothed Cylinder Subject to Swinging Moton*. 2009, s.13. [online]. [cit. 2017-01-18].]. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0040517508101460>
- [28] GLOMBÍKOVÁ, V. *Togmeter - SDL M 259*, text k přednáškám předmětu KOD/OM, TUL 2015.
- [29] GLOMBÍKOVÁ, V. *Skin-Model PSM-2*, text k přednáškám předmětu KOD/OM, TUL 2015.
- [30] MCCULLOUGH EA., HUANG J., KIM, CS. *An explanation and comparison of sweating hot plate standards*. 2004, s.13. [online]. [cit. 2017-01-27]. URL: https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/JAI/PAGES/JAI12098.htm
- [31] OBLEČ SE DO PRÁCE. *Rozdělení a využití pracovních oděvů*. [online]. [cit. 2017-02-21]. URL: <http://www.oblecsedoprace.cz/clanek/rozdeleni-a-vyuziti-pracovnich-odevu>
- [32] ENGELBERT STRAUSS. *Oděvy*. [online]. [cit. 2017-02-21]. URL:<https://www.engelbert-strauss.cz/Odevy/List>.
- [33] CYKLISTIKA KRNOV. *Používané materiály*. [online]. [cit. 2017-02-24]. URL: <http://www.cyklistikakrnov.com/Cykloinformace/Obleceni-Pouzivane-materialy.htm>
- [34] SPORTISIMO. *Vrstvení oblečení*. [online]. [cit. 2017-02-24]. URL: <https://www.sportisimo.cz/poradna/vrstveni-obleceni/>
- [35] ŠTEKLOVÁ, P. *Tepelný komfort vrstvených zimních oděvů*. Liberec, 2013. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [36] ROAD - OUTDOOR CENTRUM. *Funkční prádlo*. [online]. [cit. 2017-02-24]. URL: <http://www.roadoutdoor.cz/images/sampledata/obleceni/funkcnipradlo.jpg>
- [37] CHYTEJ. *Oblékáte se k vodě v souladu s moderními trendy*. [online]. [cit. 2017-02-24]. URL: <https://www.chytej.cz/clanky/789/oblekate-se-k-vode-v-souladu-s-modernimi-trendy/>
- [38] DUDOVÁ, M. *Užitné vlastnosti materiálů používaných pro výrobu pracovních a ochranných oděvů*. Liberec, 2009. Bakalářská. technická univerzita v Liberci.
- [39] Norma ČSN EN 12127 - *Textilie - Plošné textilie - Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků*. Praha: Český normalizační institut, Praha 1998, s.12.

- [40] GLOMBÍKOVÁ, V. *Digitální tloušťkoměr*, text k přednáškám předmětu KOD/OM, TUL 2015.
- [41] FAKULTA TEXTILNI. *Laboratoř obrazové analýzy | Ft.Tul.cz*. [online]. [cit. 2017-03-24]. URL: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-obrazove-analyzy?preview=1>
- [42] TUL, ÚSTAV PRO NANOMATERIÁLY, POKROČILÉ TECHNOLOGIE A INOVACE. *Laboratoř pro výrobu vzorků a prototypů výrobků*. [online]. [cit. 2017-04-10] URL: <https://cxi.tul.cz/materialovy-vyzkum/oddeleni-fyzikalnich-mereni/laborator-pro-vyrobu-vzorku-a-prototypu-vyrobku>
- [43] KOMÁRKOVÁ, P., HERCÍKOVÁ, E. *Obsluha Aerodynamického tunelu*. TUL 2014.
- [44] KALCŮ, P. *Řízení a sběr dat z aerodynamického tunelu pro hodnocení vlastností textilií za podmínek proudícího vzduchu*. Liberec, 2008. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [45] AHLBORN. *Thermoanemometrické čidlo FVAD35TH4*. [online]. [cit. 2017-04-10]. URL: <http://www.ahlborn.cz/cidla-a-snimace/cidla-a-snimace-pro-fyzikalni-veliciny/snimace-proudeni-vzduchu/thermoanemometricke-cidlo-fvad35th4.html>
- [46] AHLBORN. *Snímač tepelného toku FQA017CSI*. [online]. [cit. 2017-04-10]. URL: <http://www.ahlborn.cz/cidla-a-snimace/cidla-a-snimace-pro-fyzikalni-veliciny/snimace-tepelneho-toku/snimac-tepelneho-toku-fqa017csi.html>
- [47] MORRISSEY, M, P., ROSSI, R. M. *The effect of wind, body movement and garment adjustments on the effective thermal resistance of clothing with low and high air permeability insulation*. 2013, s.10. [online]. [cit. 2017-01-27]. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0040517513499431>
- [48] KE, Y., HAVENITH, G., ZHANG, X., LI, X., LI, J. *Effects of wind and clothing apertures on local clothing ventilation rates and thermal insulation*. 2014, s.12. [online]. [cit. 2017-01-27]. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0040517513512399>
- [49] ČSN EN 11092 (80 0819). *Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. s.18.
- [50] VSCHT. *Vylučování Odlehlých výsledků*. [online]. [cit. 2017-01-18]. URL: <https://web.vscht.cz/~poustkaj/APPP%20Vylucovani%20odlehlych%20vysledku.pdf>

[51] WIND CHILL FACTOR. *Related Keyywords & Suggestions*. [online]. [cit. 2017-01-18].
URL: <http://www.keyword-suggestions.com/d2luZCBjaGlsbCBmYWN0b3I/>

[52] TRINITY SAFETY GROUP. *Winter Weather Safety Planning*. [online].
[cit. 2017-01-18]. URL: <http://www.trinitysafetygroup.com/news/general/winter-weather-safety-planning/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č.1: Hodnoty Wild chill indexu. [51]	10
Obr. č.2: Nově přepočtené hodnoty WCT. [52]	11
Obr. č.3: Aktuální sestava Aerodynamického tunelu v laboratoři KOD.....	23
Obr. č.4: Umístění anemometru v měřicí části. [3]	23
Obr. č.5: Schéma trati větrného (aerodynamického) tunelu. [11]	24
Obr. č.6: Zapojení elektronického řízení větrného tunelu- komunikační linky. [43].....	26
Obr. č.7: Umístěné pod podstavcem vyhřívaného válečku. [43]	26
Obr. č.8: Schéma elektrického řízení sestavy větrného tunelu.....	27
Obr. č.9: Schéma vyhřívaného válečku uložené v měřicí části větrného tunelu. [43]	28
Obr. č.10: Uložení vyhřívaného válečku v měřicí části větrného tunelu [43].....	28
Obr. č.11: Náhledy na vyhřívaný váleček osázený alfametry (A0-A7). [43]	29
Obr. č.12: Náhledy na vyhřívaný váleček osázený alfametry (A0-A7). [43]	29
Obr. č.13: Měřicí část větrného tunelu	29
Obr. č.14: Přístroj Togmetr SDL M 259 [28]	30
Obr. č.15: Přístroj PSM-2 [29]	31
Obr. č.16: Přístroj C-Therm TCI. [12].....	31
Obr. č.17: Přístroj EY50 Sweating Guardede Hot Plate [15].....	32
Obr. č.18: Ukázka zařízení SGHP z laboratoře na KOD. [42].....	33
Obr. č.19: Přístroj FOX 314 Instrument [17]	33
Obr. č.20: Ukázka zařízení FOX 314 v laboratoři KOD [42]	34
Obr. č.21: Pracovní oděv [36]	48
Obr. č.22: Struktura vrstev oděvu [37].....	49
Obr. č.23: První vrstva oděvu [36]	49
Obr. č.24: Druhá vrstva [36]	50
Obr. č.25: Třetí vrstva [36].....	51
Obr. č.26: Zařízení NIS Elements	56
Obr. č.27: Hl. řídicí program [43]	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka č.2: Výsledné hodnoty plošné měrné hmotnosti	54
Tabulka č.2: Naměřené průměrné hodnoty tloušťky.....	55
Tabulka č.3: Charakteristika vzorku č. 1.....	57
Tabulka č.4: Charakteristika vzorku č. 2.....	58
Tabulka č.5: Charakteristika vzorku č. 3.....	59
Tabulka č.6: Charakteristika vzorku č. 4.....	60
Tabulka č.7: Kritické hodnoty Grubbsova T - rozdělení ($\alpha=0,05$) [50].....	66
Tabulka č.8: 1-Bavlněná tkanina - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku.....	68
Tabulka č.9: 2-Fleece úplet - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku	70
Tabulka č.10: 3-Membrána - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku	72
Tabulka č.11: 4-Softshell - naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku.....	74
Tabulka č.12: Naměřené a vypočtené hodnoty z TCi	76
Tabulka č.13: Naměřené hodnoty z SGHP	78
Tabulka č.14: Naměřené a vypočtené hodnoty z FOX 314	81

SEZNAM GRAFŮ

Graf č.3: Naměřená tloušťka všech materiál.....	54
Graf č.2: Naměřené hodnoty hustoty tepelného toku z alfametrů (A0-A7).....	62
Graf č.3: 1-Bavlněná tkanina - celkové měření hustoty tepelného toku	66
Graf č.4: 1-Bavlněná tkanina - vybrané měření hustoty tepelného toku.....	67
Graf č.5: 1-Bavlněná tkanina - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívání válečku	67
Graf č.6: 2-Fleece úplet - celkové měření hustoty tepelného toku.....	68
Graf č.7: 2-Fleece úplet- vybrané měření hustoty tepelného toku	69
Graf č.8: 2-Fleece úplet - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívání válečku	69
Graf č.9: 3-Membrána - celkové měření hustoty tepelného toku.....	70
Graf č.10: 3-Membrána - vybrané měření hustoty tepelného toku	71
Graf č.41: 3-Membrána - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívání válečku	71
Graf č.52: 4-Softshell - celkové měření hustoty tepelného toku.....	72
Graf č.63: 4-Softshell - vybrané měření hustoty tepelného toku	73
Graf č.74: 4-Softshell - vybrané měření hustoty tepelného toku doplněné o změnu teploty vyhřívání válečku	73
Graf č.85: Naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji TCi	75
Graf č.96: Naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji SGHP	77
Graf č.107: Naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji FOX 314.....	79
Graf č.118: Měření na zařízení SGHP.....	81
Graf č.129: Měření na zařízení větrný tunel.....	82
Graf č.20: 1-Bavlněná tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku	85

Graf č.21: 1-Bavlnění tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívaného válečku.....	85
Graf č.22: 2-Fleece úplet - celkové výsledky hustoty tepelného toku	86
Graf č.23: 2-Fleece úplet - celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívaného válečku	87
Graf č.24: 3-Membránová tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku	88
Graf č.25: 3-Membránová tkanina - naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívaného válečku.....	89
Graf č.26: 4-Softshell textilie- naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku.....	90
Graf č.27: 4-Softshell textilie- naměřené celkové výsledky hustoty tepelného toku doplněné o teplotu vyhřívaného válečku	90
Graf č.28: Srovnání získaných hodnot u zařízení TCi, SGHP a FOX 314	91

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.13:Tloušťka materiálu.....	103
Příloha č.2:Přístroj Aerodynamický (větrný) tunel	104
Příloha č.3:Přístroj TCi	129
Příloha č.4: Přístroj SGHP	130
Příloha č.5: Přístroj FOX 314.....	132

Příloha č.1: Tloušťka materiálu

Tabulka naměřených hodnot tloušťky všech materiálů s vypočítanou statistikou.

	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
	0,470	3,040	0,380	1,520
	0,480	3,130	0,400	1,500
	0,490	2,950	0,420	1,510
	0,460	3,140	0,410	1,500
průměr [mm]	0,475	3,065	0,403	1,508
směrodatná odchylka [mm]	0,011	0,077	0,015	0,008
rozptyl [mm²]	0,000	0,006	0,000	0,000
variační koeficient [%]	2,354	2,511	3,675	0,550
interval spolehlivosti (IS) [mm]	0,000	0,002	0,000	0,000
dolní IS [mm]	0,456	2,978	0,386	1,498
horní IS [mm]	0,479	3,152	0,419	1,517

Příloha č.2: Přístroj Aerodynamický (větrný) tunel

V tabulkách níže jsou uvedeny naměřené průměrné hodnoty hustoty tepelného toku spolu s dalšími parametry měření. Následně jsou uvedeny i tabulky s dopočítanou statistikou.. U každého materiálu jsou tak uvedeny dvě tabulky výsledných hodnot. Nejdříve je zde uvedena bavlněná tkanina, dále fleecové úplet, membránová tkanina a nakonec softshell materiál. Jednotlivé materiály byly testovány pouze jednou.

První je nejdříve uvedena tabulka s upravenými průměrnými hodnotami měření bez vzorku.

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Teplota válečku T2 [°C]
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
2	2,6	257	244,2	160,3	129,9	215,8	228,7	174,1	234,5	31,5
4	4,1	277,2	271,8	202,1	145	230,8	250,8	217,6	260,5	31,5
5	5,3	297,9	314,9	253,8	155,6	248,5	276,6	291,1	289,7	31,4
6	6,2	308,3	334,7	264,3	161,5	257,0	285,3	291,1	302,4	31,4
7	7,2	319,7	357,0	274,5	169,4	271,1	301,5	307,3	320,3	31,4

1- Bavlněná tkanina:

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Frekvence f [Hz]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Tlak p [Pa]	Teplota tunelu T1 [°C]	Teplota válečku T2 [°C]
			A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7			
2	1,9	4	94,8	88,2	83,7	63,9	95,2	109,3	69,8	77,4	966	22,6	31,9
2	1,9	4	104,3	95,2	86,5	65,9	100	115,2	74,7	90,3	965,9	22,5	31,9
2	1,9	4	111,3	100,1	88,3	67,4	103,5	117,8	76,7	96,4	965,9	22,5	31,9
2	1,9	4	119	105,6	90,2	68,9	106,2	119,7	78,3	101,3	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	122,8	108,5	91,2	69,7	109	121,9	79,5	105,3	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	125,7	110,6	91,9	70,2	110,7	122,9	81	109,8	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	129	113,2	92,5	70,7	112	123,7	81,7	112,1	966	22,4	31,9
2	1,9	4	130,7	114,5	93,3	71,2	113,2	124,2	82,2	114	966	22,4	31,9
2	1,9	4	131,9	115,5	93,4	71,3	113,4	124,7	82,7	116,1	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	132,9	116,4	93,7	71,5	113,7	124,7	83	117,2	966	22,5	31,9
2	1,9	4	134,3	117,6	94	71,7	114	124,9	83,1	118,2	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	135,1	118,3	94,1	71,8	114	125,2	83,3	119	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	135,8	119	94,2	71,9	114,3	125,5	83,6	120,2	966	22,4	31,9
2	1,9	4	136,5	119,6	94,4	72,1	114,6	125,6	83,9	120,8	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	136,7	119,8	94,4	72	114,6	125,6	83,8	121,1	965,9	22,4	31,9
2	1,9	4	137	120	94,5	72	115	125,4	84	121,6	965,9	22,4	31,9
4	4	7,2	154	131,1	97,8	74,5	126	129,3	87,4	133,1	965,9	22,2	31,8
4	4	7,2	158,3	133,3	98,3	75,3	127,7	131,7	88,2	135,9	965,9	22,2	31,8
4	4	7,2	162,6	135,9	99	76,2	129,2	132,9	88,9	138,4	965,9	22,3	31,8
4	4	7,2	165,1	137,5	99,4	76,7	132,1	134,6	90,1	141,5	965,9	22,3	31,8
4	4	7,2	166,7	138,6	99,8	77,1	133,6	135,6	90,8	143	965,9	22,3	31,8
4	4	7,2	168,7	140,1	100,1	77,5	134,7	136,3	91,3	144,2	965,9	22,3	31,8
4	4	7,2	169,7	140,7	100,5	77,9	135,9	137,3	91,7	145,4	965,9	22,3	31,8
4	4	7,2	170,3	141,3	100,8	78,1	135,9	137,8	92,2	146,5	965,9	22,3	31,8
4	4	7,2	171,1	142	101	78,3	135,7	138,2	92,6	147,2	966	22,3	31,8
4	4	7,2	171,4	142,3	101,4	78,6	136,1	138,7	92,8	147,8	966	22,3	31,8
4	4	7,2	172,2	142,9	101,6	78,7	136	139	93,2	148,6	965,9	22,2	31,8
4	4	7,2	172,4	143,2	101,7	78,9	136,9	139,5	93,6	149	965,9	22,2	31,8
4	4	7,2	173,2	143,9	102,1	79,2	137,3	139,8	93,9	149,5	966	22,2	31,8
4	4	7,2	173,5	144	102,2	79,3	138,6	140,4	94,3	149,9	965,9	22,2	31,8
4	4	7,2	173,8	144,4	102,5	79,4	138,4	140,8	94,7	150,4	966	22,2	31,7

4	4	7,2	174,3	144,9	102,7	79,6	137,8	140,9	94,8	150,7	965,9	22,2	31,7
6	6,2	10,8	196	160,1	105,1	79,6	153,4	142,2	98,7	163,7	965,9	22,2	31,7
6	6,2	10,8	201	162,6	105,3	79,6	157	142,3	100,6	169,7	966	22,2	31,7
6	6,2	10,8	205,4	165,3	105,7	79,5	157,7	142,3	101,6	172,6	965,9	22,2	31,7
6	6,2	10,8	207,1	166,5	106	79,7	159,2	142,9	102,2	174,5	966	22,2	31,7
6	6,2	10,8	209,1	168,1	106,5	79,8	160,2	143,6	103,3	177,3	966	22,2	31,7
6	6,2	10,8	210,8	169,3	106,9	79,9	160,8	143,8	103,8	178,5	966	22,2	31,7
6	6,2	10,8	211,8	170	107,3	80	161,2	144	104,7	180	966	22,2	31,7
6	6,2	10,8	212,4	170,5	107,4	80,1	162	144,4	105	180,9	966	22,1	31,7
6	6,2	10,8	213	171,1	107,9	80,3	162,3	144,7	105,4	181,5	966	22,2	31,7
6	6,2	10,8	213,5	171,9	108,1	80,5	162,4	145,2	105,8	182	966	22,1	31,7
6	6,2	10,8	214	172,1	108,2	80,5	163,2	145,4	106,3	182,8	965,9	22,1	31,7
6	6,2	10,8	214,3	172,2	108,4	80,5	164,2	145,7	106,5	183	965,9	22,1	31,7
6	6,2	10,8	214,5	172,4	108,7	80,6	164,1	146	106,8	183,3	965,9	22,1	31,7
6	6,2	10,8	214,1	172,2	108,8	80,7	163,7	146,2	107	183,2	965,9	22,1	31,7
6	6,2	10,8	214,9	172,8	109,1	80,9	164,6	146,2	107,3	183,9	966	22,1	31,7
6	6,2	10,8	215,1	172,9	109,2	80,9	164,9	146,2	107,3	183,9	965,9	22,1	31,7
8	8,2	14,4	239	193,9	114,9	79,7	178,1	146,1	111,4	201,7	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	243,2	196,5	115,8	79,6	180,1	146,3	112,9	207,9	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	246,6	198,9	116,5	79,2	181,6	146,3	113,9	210,5	965,9	22,1	31,7
8	8,2	14,4	248	200	117,2	78,8	183,7	146,1	114,5	212,3	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	249,2	200,9	117,8	78,8	184,4	146,2	115,4	214,3	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	250,1	201,7	118,4	78,7	185	146,1	115,7	215,3	965,9	22,1	31,7
8	8,2	14,4	251,2	202,4	118,7	78,7	185,5	146	116,1	216,2	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	251,4	202,6	118,8	78,7	185,3	146,3	116,5	216,8	966,1	22,1	31,7
8	8,2	14,4	251,4	202,5	119	78,5	185,6	146,3	116,7	216,8	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	251,9	203	119,4	78,6	185,2	146,8	116,7	217,4	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	252,1	203,6	119,7	78,7	185,4	147	116,9	217,9	966,1	22,1	31,7
8	8,2	14,4	252,4	203,6	119,9	78,7	185,7	147	117,3	218,1	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	252,1	203,5	119,8	78,7	185,9	147,2	117,3	218,1	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	252	203,4	119,8	78,7	185,8	147,3	117,1	218	966	22,1	31,7
8	8,2	14,4	252	203,5	120,1	78,7	185,3	147,3	117,3	218,1	966,1	22,1	31,7
8	8,2	14,4	252	203,5	120,1	78,7	185,4	147	117,3	218	966	22,1	31,7
10	10,3	18	272,7	229,8	129,5	78,1	196,5	147,8	120,8	237,7	966,1	22	31,7
10	10,3	18	276	232,8	130,9	78,2	198,5	149,3	121,8	243,7	966,1	22	31,7
10	10,3	18	277,9	234,7	131,9	78,2	200	149,9	122,3	246	966	22,1	31,7
10	10,3	18	279,1	236,1	132,9	78,1	200	149,9	122,7	247,3	966	22,1	31,7

10	10,3	18	279,9	237	133,5	77,9	200	149,9	123,1	248,8	966	22	31,7
10	10,3	18	280,2	237,4	133,8	78	199,5	150,1	123,2	249,3	966	22,1	31,7
10	10,3	18	280	237,2	133,9	77,9	200	150	123,3	249,5	966	22,1	31,7
10	10,3	18	279,6	237	133,8	77,9	199,6	150,1	123,3	249,5	966,1	22,1	31,6
10	10,3	18	279,7	237,2	134,1	77,9	199,9	150,4	123,4	249,5	966,1	22,1	31,6
10	10,3	18	280,3	237,4	134,1	77,9	199,7	150,7	123,6	249,6	966	22	31,6
10	10,3	18	280,3	238	134,5	77,9	200,4	151,3	123,6	249,8	966	22,1	31,6
10	10,3	18	280	237,4	134,2	78,1	200,3	151,5	123,5	249,6	966,1	22,1	31,6
10	10,3	18	280	237,3	134,4	78,2	201,5	151,8	123,6	249,5	966,1	22,1	31,6
10	10,3	18	279,8	236,9	134,6	78,1	200,6	151,8	123,5	249,4	966,1	22,1	31,6
10	10,3	18	279,7	237	134,6	78,2	200,8	151,8	123,7	249,4	966,1	22,1	31,6
10	10,3	18	279,8	237,2	134,7	78,5	200,8	152	123,8	249,6	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	294,7	260	143,6	80,3	210,7	155	128,6	264,5	966	22	31,6
12	11,7	21	297	262,4	144,6	80,7	212,1	156	129,8	268,1	966,1	22	31,6
12	11,7	21	298,2	263,6	145,5	81,1	213,3	156,3	130,7	269,6	966,1	22	31,6
12	11,7	21	298,7	264,6	146,4	81,3	213,7	156,2	131	270,4	966	22	31,6
12	11,7	21	299,3	265,1	146,6	81,5	214,3	156,4	131,2	271	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	299,8	265,8	147,2	81,8	215,2	156,6	131,6	271,7	966,1	22	31,6
12	11,7	21	300,2	265,8	146,9	82,3	216,2	157,3	131,6	271,9	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	300	265,8	146,9	82,5	215,8	158,1	131,5	271,9	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	299,5	265,5	147,2	82,3	214,9	158	131,5	271,6	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	299,4	265,5	146,9	82,2	214,6	157,9	131,6	271,5	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	298,9	265,3	146,7	82,3	214,6	157,6	131,5	271,2	966,1	22,1	31,6
12	11,7	21	299,4	266,1	147	82,6	215,6	157,9	131,5	271,5	966,1	22	31,5
12	11,7	21	299,2	265,8	146,7	82,8	215,9	158,2	131,5	271,3	966,2	22	31,5
12	11,7	21	299,1	265,8	146,6	83,3	216,9	158,9	131,3	271,3	966,1	22,1	31,5
12	11,7	21	299,4	266,1	146,5	83,6	215,5	159	131,5	271,5	966,1	22,1	31,5
14	14,2	25,2	320,1	299,5	153,8	88,5	229	169,1	142	291,9	966,1	22	31,5
14	14,2	25,2	322,7	301,6	154,7	89,7	230,1	172,5	145	296,2	966	22	31,5
14	14,2	25,2	324,3	302,5	155,1	90,8	230,9	174,9	145,9	297,4	966,1	22	31,5
14	14,2	25,2	325,2	303,5	156,3	91,8	233	176,9	146,7	298,3	966,1	22,1	31,5
14	14,2	25,2	325,5	304	156,5	92	232,9	177,3	147,3	299	966	22,1	31,5
14	14,2	25,2	326	304,5	157,2	92,4	232,7	177,6	147,8	299,6	966,1	22	31,5
14	14,2	25,2	326,5	304,7	157,2	93,8	233,7	178,4	148	299,9	966,1	22,1	31,5
14	14,2	25,2	326,9	305,1	157,6	93,5	233,7	179,7	148,2	300,2	966,1	22	31,5
14	14,2	25,2	327	304,8	157,7	93,8	235,2	179,9	147,9	300,2	966,1	22,1	31,5
14	14,2	25,2	326,9	304,4	157,4	94,3	235,2	180,9	148	300,2	966,1	22,1	31,5

14	14,2	25,2	326,6	304,4	157,8	94	234,2	179,9	148,3	300,1	966,1	22,1	31,5
14	14,2	25,2	326,8	304,6	157,7	94,1	234,8	181,4	148,2	300,2	966,1	22,1	31,5
14	14,2	25,2	327,6	305,4	158,3	94,2	234,7	181,6	148,4	300,7	966	22	31,5
14	14,2	25,2	327,8	305,3	158	94,1	233,4	183,3	148,1	300,7	966	22	31,5
14	14,2	25,2	328	305,5	158,2	94,1	234,3	183,7	148,9	301,1	966	22,1	31,5
14	14,2	25,2	327,7	305,3	158,1	94,3	236,1	184,1	148,9	301,1	966	22,1	31,5
16	16,4	27	342,4	320,3	167,2	98	244	193	158,2	312,7	966	22	31,5
16	16,4	27	342,2	320,2	167,2	98,5	243,5	193,1	158	312,2	966	22	31,5
16	16,4	27	342,9	320,4	167,2	98,2	242,5	192	157,7	312,4	966,1	22	31,5
16	16,4	27	342,8	319,6	167,2	98	244	191,1	157,5	312,2	966,1	22	31,5
16	16,4	27	342,4	319,5	167	98,4	243,1	193,7	157,6	311,9	966	22	31,5
16	16,4	27	341,7	318,4	166,6	97,8	242,9	192,5	157,2	311,1	966	22,1	31,5
16	16,4	27	341,4	318,2	166,8	97,8	242,9	192,2	156,8	310,8	966	22,1	31,5
16	16,4	27	341	317,5	166,2	97,6	240,8	190,5	157	310,5	966	22,1	31,5
16	16,4	27	340,8	317,3	166,1	97,5	241,4	194,2	156,9	310,3	966	22,1	31,5
16	16,4	27	340	316,6	165,6	97,4	241	194	156,3	309,5	966,1	22,1	31,5
16	16,4	27	339,4	315,9	164,8	96,9	239,7	192,5	156	309	966,1	22,1	31,5
16	16,4	27	339,6	316,4	165,1	97,4	239,5	193,4	156,3	309,1	966	22,1	31,5
16	16,4	27	340	316,9	165	97,7	241,2	194,5	156,4	309,5	966	22	31,5
16	16,4	27	339,6	316,3	164,8	97,3	242	195	156,8	309,4	966,1	22,1	31,5
16	16,4	27	339,4	316,4	165,1	96,7	241,9	194,8	156,3	309	966,1	22,1	31,5
18	18,4	29,6	356,1	336,5	177,6	104,2	247,8	211,6	168,3	326,7	966	22	31,5
18	18,4	29,6	354,9	335,4	177,2	104	247,7	213,7	167,4	324,8	966,1	22	31,5
18	18,4	29,6	353,5	334,1	176,8	104,1	246,8	215,5	166,9	323,9	966	22,1	31,5
18	18,4	29,6	352,5	332,7	176,6	103,4	247,3	213,4	166,8	323,3	966,1	22,1	31,5
18	18,4	29,6	351,5	332,2	176,4	103,7	246,4	213,9	166,2	321,9	966	22,1	31,4
18	18,4	29,6	351,3	332	176,4	103,1	246,6	214,1	165,9	321,7	966,1	22,1	31,4
18	18,4	29,6	352	332,9	176,9	103,4	248,2	215	166,3	322,1	966	22	31,4
18	18,4	29,6	351,7	332,2	176,2	104	248,9	215,4	166,1	321,9	966	22,1	31,4
18	18,4	29,6	350,7	330,8	175,7	104	248	216,3	165,9	320,9	966	22,1	31,4
18	18,4	29,6	350,6	331,2	175,7	103,7	248	217,3	165,7	320,5	966,1	22,1	31,4
18	18,4	29,6	351,1	331,4	176,3	104,3	247,9	216,8	166	321,3	966	22,1	31,4
18	18,4	29,6	351,1	331,1	175,9	104,4	248,5	215,1	166,1	321,2	966	22,1	31,4
18	18,4	29,6	350,7	330,5	175,7	104,3	247,9	214,4	166,2	321	966	22,1	31,4
18	18,4	29,6	351,3	331,7	176,4	104,4	249,5	216,2	166,4	321,2	966	22,1	31,4
19	19,2	31	361,3	343,7	186,5	108,7	255,6	224,1	175,1	333	966	22	31,4
19	19,2	31	360,5	342,7	185,8	108,5	254,9	224,3	174,1	331,8	966	22	31,4

19	19,2	31	360	342,1	185,7	108,7	255,8	226	174,2	331,1	966,1	22,1	31,4
19	19,2	31	359,8	342,2	185,8	108,5	256,3	226,2	174,1	331,1	966	22,1	31,4
19	19,2	31	359,7	342,2	185,4	108,4	257,4	226,8	173,8	331,1	966	22,1	31,4
19	19,2	31	358,9	340,6	184,8	108,9	258	224,1	173,6	329,9	966,1	22,1	31,4
19	19,2	31	357,9	340,2	184,9	108,8	258	224,5	173,2	329,4	966	22,1	31,4
19	19,2	31	358	339,8	184,2	108,1	254,6	222,7	172,8	329,1	966	22,1	31,4
19	19,2	31	359,2	341,6	185,3	108,5	255,8	224	173	330,1	966,1	22	31,4
19	19,2	31	358,4	340,5	184,5	107,7	255,2	226,4	173,1	329,8	966,1	22,1	31,4
19	19,2	31	358	340,2	184,4	107,7	254,6	223,1	173,1	329,3	966	22,1	31,4
19	19,2	31	358,1	340,5	184,3	108,4	255,2	223,9	173,3	329,3	966,1	22,1	31,4
19	19,2	31	358,6	341	184,3	107,8	255,1	224,2	173,3	329,6	966,1	22,1	31,4

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]							
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2	1,9								
Průměr \bar{x} [W/m]		126,1	111,4	93,2	71,2	113,2	124,5	81,4	110,1
Směrodatná odchylka s [W/m]		12,72	9,60	1,37	1,00	1,79	1,17	2,87	9,76
Variační koeficient v [%]		10,09	8,61	1,47	1,41	1,58	0,94	3,53	8,86
4	4,0								
Průměr \bar{x} [W/m]		170,4	140,4	100,7	77,8	134,5	137,1	91,9	145,1
Směrodatná odchylka s [W/m]		3,50	4,09	1,50	1,52	3,83	3,43	2,31	5,38
Variační koeficient v [%]		2,05	2,92	1,49	1,95	2,85	2,50	2,51	3,71
6	6,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		212,1	169,4	107,4	80,2	161,8	144,4	104,5	179,5
Směrodatná odchylka s [W/m]		3,02	3,88	1,36	0,48	2,47	1,48	2,60	4,44
Variační koeficient v [%]		1,42	2,29	1,27	0,60	1,52	1,02	2,49	2,47
8	8,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		251,2	202,4	118,5	78,8	184,7	146,6	116,1	216,3
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,32	1,48	1,62	0,35	1,67	0,48	1,38	2,39
Variační koeficient v [%]		0,53	0,73	1,37	0,44	0,90	0,33	1,19	1,11
10	10,3								
Průměr \bar{x} [W/m]		279,7	237,2	133,7	78,1	200,1	150,5	123,3	249,1
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,61	0,43	1,07	0,17	0,69	1,14	0,41	1,07
Variační koeficient v [%]		0,22	0,18	0,80	0,22	0,35	0,76	0,33	0,43
12	11,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		299,3	265,4	146,6	82,0	214,9	157,3	131,4	271,4
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,53	0,69	0,70	0,92	1,27	1,16	0,27	0,41
Variační koeficient v [%]		0,18	0,26	0,48	1,13	0,59	0,73	0,21	0,15
14	14,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		326,6	304,7	157	92,8	233,4	178,8	148,1	300,1
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,07	0,59	1,35	1,81	1,94	4,09	0,59	0,79
Variační koeficient v [%]		0,33	0,19	0,86	1,95	0,83	2,29	0,40	0,26
16	16,4								
Průměr \bar{x} [W/m]		341,0	318,0	166,1	97,7	242,0	193,1	157,0	310,6
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,31	1,63	0,97	0,51	1,42	1,32	0,68	1,36
Variační koeficient v [%]		0,38	0,51	0,59	0,52	0,59	0,68	0,43	0,44
18	18,4								
Průměr \bar{x} [W/m]		352,1	332,5	176,4	103,9	247,8	214,9	166,4	322,3
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,66	1,75	0,57	0,41	0,86	1,52	0,70	1,76
Variační koeficient v [%]		0,47	0,53	0,33	0,39	0,35	0,71	0,42	0,55
19	19,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		359,1	341,3	185,1	108,4	255,9	224,6	173,6	330,4
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,08	1,18	0,74	0,41	1,20	1,29	0,64	1,18
Variační koeficient v [%]		0,30	0,34	0,40	0,38	0,47	0,58	0,37	0,36

2-Fleece úplet:

Požadovaná rychlost v [m/s]	Aktuální rychlost v [m/s]	Frekvence f [Hz]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]								Tlak p [Pa]	Teplota tunelu T1 [°C]	Teplota válečku T2 [°C]
			A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7			
2	1,6	4,4	68	55,2	52,6	39	53,1	68,3	47,1	51,1	961,1	22,7	32
2	1,6	4,4	78,9	60	52,8	39,3	53,7	69,2	47,6	55,4	961,2	22,6	32
2	1,6	4,4	91,1	65,2	53	39,5	54,1	70	48	58,9	961,2	22,6	32
2	1,6	4,4	96,7	67,6	53	39,7	54,9	70,9	48,2	61,7	961,2	22,6	32
2	1,6	4,4	100,9	69,5	53	39,7	55,1	71,1	48,3	64,9	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	105,5	71,8	53	39,7	55,3	71,3	48,4	66,7	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	107,7	72,9	53	39,7	55,5	71,4	48,3	68,1	961,1	22,5	32
2	1,6	4,4	109,3	73,8	52,9	39,6	55,5	71,4	48,3	69,6	961,1	22,5	32
2	1,6	4,4	110,6	74,6	52,9	39,5	55,5	71,4	48,2	70,4	961,1	22,5	32
2	1,6	4,4	112,3	75,7	53	39,5	55,6	71,3	48,2	71,2	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	113	76,2	53	39,4	55,5	71,3	48,2	72,1	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	113,9	76,8	53	39,4	55,5	71,2	48,1	72,6	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	114,3	77,1	53	39,3	55,5	71,2	48,1	73	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	114,5	77,3	53,1	39,4	55,5	71,2	48,2	73,4	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	114,7	77,7	53,2	39,4	55,5	71,1	48,2	73,7	961,2	22,5	32
2	1,6	4,4	115,2	78	53,3	39,3	55,3	71,1	48,1	73,9	961,1	22,4	32
4	3,9	7,2	139,5	92,9	54,7	37,5	54,1	70	44,5	80,8	961,1	22,4	32
4	3,9	7,2	147,2	96,6	54,4	36,9	53,9	69,2	42,2	85,1	961,2	22,5	32
4	3,9	7,2	153,8	99,8	53,9	36,5	53,7	69	41,1	87,1	961,2	22,4	32
4	3,9	7,2	156,8	101,9	53,9	36	53,5	68,6	40,5	88,6	961,2	22,4	32
4	3,9	7,2	159,4	103,7	54	35,7	53,5	68,4	39,7	91	961,2	22,5	32
4	3,9	7,2	161,4	105,1	53,8	35,5	53,4	68,3	39,5	91,9	961,2	22,5	32
4	3,9	7,2	162,5	106,1	53,9	35,3	53,4	68,1	39,2	92,9	961,2	22,4	32
4	3,9	7,2	163	106,6	53,9	35,1	53,4	68,1	39	94	961,2	22,4	32
4	3,9	7,2	163,7	107,3	54	35	53,4	68	38,9	94,6	961,3	22,5	32
4	3,9	7,2	164,4	108,3	54,1	34,9	53,4	68	38,9	95,1	961,1	22,4	31,9
4	3,9	7,2	164,9	108,5	54,2	34,7	53,3	67,9	38,8	95,6	961,1	22,4	31,9
4	3,9	7,2	165,1	108,9	54,3	34,7	53,4	67,9	38,8	96,3	961,1	22,4	31,9
4	3,9	7,2	165,3	109	54,4	34,8	53,4	67,9	38,9	96,4	961,1	22,4	31,9
4	3,9	7,2	165,1	109	54,5	35	53,5	68,1	39	96,6	961,1	22,5	31,9
4	3,9	7,2	165	108,8	54,5	35	53,6	68,3	39,1	96,9	961,1	22,4	31,9
4	3,9	7,2	164,9	108,9	54,8	35,1	53,7	68,4	39,4	97	961,1	22,5	31,9
6	6,2	10,8	199,4	143	60,5	33,9	55,6	69,2	40,1	117,2	961,1	22,4	31,9

6	6,2	10,8	206,4	148	61	33,1	56,5	69,4	40,4	123,5	961,2	22,4	31,9
6	6,2	10,8	211	151,6	61,5	32,8	56,9	70,4	42	130,4	961,1	22,4	31,9
6	6,2	10,8	215,9	156,6	62,2	32,5	57,2	70,7	42,6	134	961,1	22,4	31,9
6	6,2	10,8	217,6	158,1	62,8	32,3	57,5	70,9	43,1	137	961,1	22,4	31,9
6	6,2	10,8	218,9	159,8	63,5	32,2	57,6	71,3	43,7	139,9	961,2	22,4	31,9
6	6,2	10,8	219,3	159,9	63,5	32,1	57,7	71,5	44,1	140,8	961,1	22,4	31,9
6	6,2	10,8	219,7	161,3	64,2	32,2	58	71,6	44,5	141,8	961,1	22,4	31,9
6	6,2	10,8	220,4	161,8	64,4	32,1	58,3	71,7	44,9	142,9	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	220,1	162	64,5	32,2	58,3	72,1	45,6	143,7	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	220,3	162,6	65,2	32,3	58,9	72,4	46	144,4	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	220,6	163	65,5	32,4	59,4	72,7	46,6	145,3	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	220,5	162,7	65,7	32,6	59,6	73,2	47	145,6	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	220,8	163,1	66	32,8	59,8	73,6	47,5	146,2	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	221,3	163,6	66,3	32,9	59,9	73,9	47,7	146,5	961,1	22,4	31,8
6	6,2	10,8	221,3	163,6	66,6	33,1	60,1	74,2	48	147	961,1	22,4	31,8
8	7,6	14	246,9	193,4	76,4	33,4	64,2	76,6	57,2	168,1	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	250,9	196,9	78	33,5	65,1	78,3	61,9	175,4	961	22,3	31,8
8	7,6	14	253,3	199,2	79,1	33,6	65,6	79	64	178,5	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	255,7	200,9	80,7	33,8	66,2	79,6	65,7	180,8	961	22,3	31,8
8	7,6	14	257,1	202,7	81,7	34	67	80,5	67,6	183,8	961	22,3	31,8
8	7,6	14	257,3	203,2	82,2	34,1	67,2	80,9	68,5	185,2	961	22,3	31,8
8	7,6	14	258,3	204,2	83,1	34,2	67,5	81	69,1	186,2	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	258,6	204,7	83,6	34,4	67,8	81,3	69,9	187,3	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	258,2	203,9	84	34,4	67,9	81,3	70,4	187,6	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	258,4	204,2	84,4	34,5	67,7	81,3	71	187,9	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	258,9	204,7	84,7	34,5	67,9	81,6	71,9	188,7	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	258,8	204,7	84,7	34,5	68,1	81,8	72,2	188,7	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	259	204,9	85	34,5	68,4	81,9	72,6	188,9	961,1	22,3	31,8
8	7,6	14	258,7	204,6	84,8	34,5	68,1	82	72,2	188,6	961	22,3	31,8
8	7,6	14	258,4	204,5	84,8	34,5	68,2	82	72,2	188,4	961,1	22,3	31,8
10	9,6	18	282,1	237,4	101,2	35,9	72,4	81,7	78,1	208,9	961	22,3	31,8
10	9,6	18	285,2	239,9	106,2	36,4	73,9	81,2	80	213,2	961	22,3	31,8
10	9,6	18	287,3	241,1	108,7	36,6	74,7	81,3	82,2	217,8	961,1	22,3	31,8
10	9,6	18	288,9	242,6	110,3	36,7	75,6	81,3	83,3	219,8	961	22,3	31,8
10	9,6	18	289,1	242,7	112,1	37	76,9	81,2	84	220,5	961	22,3	31,8
10	9,6	18	289,3	243,1	112,4	37,2	77,1	81,3	84,8	221,7	961	22,3	31,7
10	9,6	18	289,2	243	113	37,2	77,4	81,6	85,3	221,9	961,1	22,3	31,7

10	9,6	18	289	243,1	114,3	37,4	77,7	82,4	85,9	222,3	961,1	22,3	31,7
10	9,6	18	288,9	243,1	114,6	37,5	78	82,7	86,1	222,7	961,1	22,3	31,7
10	9,6	18	288,9	243,1	114,7	37,6	78,4	83,2	86,4	222,9	961	22,3	31,7
10	9,6	18	288,9	243,8	114,8	37,8	78,6	83,6	86,8	223	961	22,3	31,7
10	9,6	18	288,7	243,9	115,4	37,9	79	83,7	86,7	222,9	961,1	22,3	31,7
10	9,6	18	288,5	243,3	115	38	79,2	83,7	86,9	222,8	961,1	22,3	31,7
10	9,6	18	288,6	243,4	116	38,2	79,5	83,7	86,8	222,8	961,1	22,3	31,7
10	9,6	18	288,8	243,9	115,9	38,3	79,7	83,8	86,9	223	961	22,3	31,7
10	9,6	18	288,5	243,8	116,9	38,6	79,9	83,8	86,7	223,1	961	22,3	31,7
12	11,7	21,6	304,2	265,9	123,4	39,9	85,4	83,9	90,8	236,8	961	22,2	31,7
12	11,7	21,6	305,8	267	124,2	40,2	87,1	83,5	91,5	239,5	961	22,2	31,7
12	11,7	21,6	306,7	267,6	124,9	40,4	88,2	83	92,8	241,4	961	22,3	31,7
12	11,7	21,6	306,8	267,6	124,8	40,5	88,5	82,9	92,9	242,2	961,1	22,3	31,7
12	11,7	21,6	307,2	268,2	125,7	40,8	89,7	82,8	93,1	242,8	961	22,3	31,7
12	11,7	21,6	307,5	269	126,4	41	90,3	82,9	93,8	243,4	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	307,6	268,8	126,5	41,1	90,5	83	94,7	243,4	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	307,4	268,2	126,9	41,3	90,4	83,3	94,7	243,9	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	308	269,1	127,5	41,6	90,9	83,7	94,9	244,5	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	308,5	268,5	127,4	41,7	91,5	84,4	95,6	244,8	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	308,1	267,8	127,5	42,1	92,1	85	96,1	244,9	961	22,3	31,6
12	11,7	21,6	307,8	267,6	127,9	42,4	92,5	85,7	96,6	244,8	961	22,3	31,6
12	11,7	21,6	308	268,1	128,5	42,7	92,8	85,7	96,7	244,9	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	308,3	268,4	128,5	43	93,6	86	96,6	245,2	961	22,2	31,6
12	11,7	21,6	308,3	268,1	128,2	43,1	93,8	86,6	96,5	245,5	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	320,3	283,9	137,4	45,8	100,3	88,7	100,8	257,8	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	322,6	285,6	138,5	46,7	102,4	88,8	101,7	259,7	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	323,7	286,9	139,2	47,2	104,2	89,6	102,9	261,5	960,9	22,2	31,6
14	13,7	25,2	325	289,1	140	47,6	105,1	90,1	103,2	262,7	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	325,2	288,6	139,9	47,9	105,4	90,5	103,3	263,5	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	326,1	289,2	140,2	48,3	106,2	90,7	103,9	263,8	960,9	22,1	31,6
14	13,7	25,2	325,7	289	140,3	48,6	106,4	90,9	104,4	264	960,9	22,2	31,6
14	13,7	25,2	324,7	287,8	140,3	48,8	106,8	91,1	104,7	263,8	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	324,5	287,3	140,4	48,8	107,2	91	105	263,4	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	324,1	287	140,1	48,8	107	91,5	104,8	263,5	960,9	22,2	31,6
14	13,7	25,2	324,1	286,2	140,3	48,9	106,8	91,4	104,9	263,6	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	323,9	287	140,2	48,9	107,1	91,3	105,3	263,2	961	22,3	31,6
14	13,7	25,2	324,2	287,7	140,5	49,1	106,8	91,5	105,3	263,8	960,9	22,2	31,6

14	13,7	25,2	324,3	287,7	140,8	49,1	106,9	91,7	105,3	263,7	961	22,2	31,6
14	13,7	25,2	325,3	288,9	141,1	49,3	107,1	91,6	105,4	263,8	960,9	22,2	31,6
14	13,7	25,2	325,5	288,8	141,1	49,4	107,5	91,8	105,5	264,1	960,9	22,2	31,6
16	16,1	28,8	334,9	303	151	52,5	114,6	95,6	110,2	275,1	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	337,6	303,9	152,6	53,7	117,4	96,5	111,5	277,5	960,9	22,2	31,6
16	16,1	28,8	337,7	303,3	153,7	54,2	118,7	97,3	112,6	278,9	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	337,2	302,3	154	54,6	119	98,1	113,1	279,6	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	337,5	303,6	154,8	55	119,8	98,3	113,4	279,5	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	338	303,8	155,7	55,3	120,1	98,6	114,1	280	960,9	22,2	31,6
16	16,1	28,8	338,1	304,2	156,2	55,4	120,6	98,7	114,4	280,3	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	337,4	303	155,6	55,4	120,7	98,7	114,1	280,1	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	337,4	303,1	155,5	55,6	120,8	99	114,5	279,7	960,9	22,2	31,6
16	16,1	28,8	336,7	302,5	155,4	55,5	120,6	99	114,7	279,2	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	336,5	301,8	156	55,7	121,2	99,7	114,6	279,5	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	336,3	303,2	155,6	55,7	121,3	99,4	114,5	278,7	960,9	22,2	31,6
16	16,1	28,8	335,9	302,2	155,6	55,7	120,6	99,4	114,4	278,5	960,9	22,2	31,6
16	16,1	28,8	335,1	301,3	155,5	55,8	121	99,4	114,3	278,1	961	22,2	31,6
16	16,1	28,8	334	300,1	155,5	56	121,7	99,3	113,7	277,5	960,9	22,3	31,5
16	16,1	28,8	334,6	301,2	155,1	56,1	121,9	99	113,7	277,7	960,9	22,2	31,5
18	18,5	30,2	338,5	305,7	165,7	59,3	128	102,2	116,8	283,3	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	338,9	307	165,8	59,4	127,7	102,1	117,5	283,1	960,9	22,2	31,5
18	18,5	30,2	337	303,8	165,3	59,5	128,1	102	117,7	282,1	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,6	305,9	165,4	59,6	128,5	101,9	117,8	281,7	960,9	22,2	31,5
18	18,5	30,2	337,3	304,4	165,8	59,7	128,8	103,1	118,3	282,3	961	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337	303,6	166	59,9	129	104	118,2	282,4	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,9	304,2	166,5	60,1	129,7	104,4	118,4	282,2	960,9	22,2	31,5
18	18,5	30,2	337,5	303,6	166,1	60,2	129,4	104,8	118,9	282,7	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,2	304,5	165,2	60,2	129,8	105,2	118,8	282,1	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,4	303,5	165,9	60,3	130	105	118,6	282,5	961	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,1	303,5	165,9	60,5	130,3	105,5	119	282,8	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,6	303,6	166	60,6	130,1	105,3	119,2	283	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	337,8	304,5	166,5	60,6	130	105,3	119,5	282,9	960,9	22,3	31,5
18	18,5	30,2	338,8	305,2	166,6	60,7	130	105,4	119,3	283,4	960,9	22,2	31,5
19	19,5	31,6	344,4	310,5	176	64,1	137,3	108,9	123	289,7	960,9	22,2	31,5
19	19,5	31,6	344,4	310,6	176,2	63,9	136,3	108,8	123,3	289,5	961	22,2	31,5
19	19,5	31,6	342,8	308,9	175,5	63,7	136,2	108,9	122,8	288,8	960,9	22,2	31,5
19	19,5	31,6	342,3	307,8	174,7	63,8	136,8	109	123	288,8	960,9	22,3	31,5

19	19,5	31,6	343,1	309	175,8	63,9	136,6	108,5	122,6	288,5	960,8	22,2	31,5
19	19,5	31,6	343,1	308,6	174,7	63,9	136,8	108,7	122,9	288,5	960,8	22,3	31,5
19	19,5	31,6	342,8	308,2	174,6	63,9	136,8	108,6	123,1	288,3	960,9	22,3	31,5
19	19,5	31,6	342,4	308,3	175,4	63,9	136,8	108,6	123,3	288,3	960,9	22,3	31,5
19	19,5	31,6	342,3	308,8	174,9	63,7	135,9	107,9	122,9	287,8	960,9	22,3	31,5
19	19,5	31,6	342,9	309,6	175,3	63,8	135,9	107,9	123,1	288,5	960,9	22,2	31,5
19	19,5	31,6	342,6	308,9	175,9	64	137,2	108,2	123,1	288,2	960,9	22,3	31,5
19	19,5	31,6	342,7	310,3	175,9	63,9	136,5	108,3	123,5	288,1	960,8	22,3	31,5
19	19,5	31,6	342,6	309,7	175,2	63,9	136,7	108,4	123,7	288,1	960,9	22,3	31,5
19	19,5	31,6	343,8	312,2	174,9	64	137,1	108,7	123,5	288,2	960,8	22,2	31,5

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m ²]							
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2	1,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		108,6	73,9	53,0	39,5	55,3	71,1	48,2	67,3
Směrodatná odchylka s [W/m]		7,50	4,03	0,15	0,19	0,40	0,36	0,18	7,06
Variační koeficient v [%]		6,91	5,45	0,29	0,49	0,72	0,50	0,38	10,49
4	3,9								
Průměr \bar{x} [W/m]		163,2	106,6	54,2	35,5	53,5	68,4	39,8	94,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		2,50	2,84	0,31	0,81	0,21	0,56	1,52	4,66
Variační koeficient v [%]		1,53	2,67	0,56	2,28	0,39	0,81	3,81	4,96
6	6,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		220,1	161,4	64,0	32,6	58,2	71,8	44,6	141,8
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,02	2,10	1,87	0,47	1,29	1,45	2,43	4,82
Variační koeficient v [%]		0,46	1,30	2,92	1,45	2,21	2,02	5,44	3,40
8	7,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		258,3	203,6	82,5	34,2	67,1	80,9	69,2	186,5
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,6	1,7	2,7	0,4	1,2	1,1	3,2	3,2
Variační koeficient v [%]		0,2	0,8	3,2	1,1	1,8	1,4	4,7	1,7
10	9,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		307,7	243,1	113,4	37,4	77,4	82,5	85,6	222,3
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,5	0,7	2,9	0,7	2,1	1,1	1,5	1,0
Variační koeficient v [%]		0,2	0,3	2,5	1,9	2,8	1,3	1,7	0,4
12	11,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		307,7	268,1	126,6	41,5	90,5	84,2	94,5	244,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,5	0,6	1,6	1,0	2,3	1,2	1,9	1,2
Variační koeficient v [%]		0,2	0,2	1,2	2,4	2,6	1,5	2,0	0,5
14	13,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		324,6	287,8	140,3	48,3	106,5	90,8	104,2	263,5
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,9	1,1	0,5	1,0	0,9	1,0	1,4	0,6
Variační koeficient v [%]		0,3	0,4	0,3	2,1	0,8	1,1	1,3	0,2
16	16,1								
Průměr \bar{x} [W/m]		336,6	302,7	154,9	55,1	120,0	98,5	113,6	278,7
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,3	1,1	1,3	0,9	1,8	1,1	1,2	1,3
Variační koeficient v [%]		0,4	0,4	0,9	1,7	1,5	1,1	1,1	0,5
18	18,5								
Průměr \bar{x} [W/m]		337,7	304,5	165,9	60,0	129,2	104,0	118,4	282,6
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,6	1,0	0,4	0,5	0,9	1,4	0,7	0,5
Variační koeficient v [%]		0,2	0,3	0,3	0,8	0,7	1,3	0,6	0,2
19	19,5								
Průměr \bar{x} [W/m]		343,0	309,4	175,4	63,9	136,6	108,5	123,1	288,5
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,7	1,1	0,5	0,1	0,4	0,3	0,3	0,5
Variační koeficient v [%]		0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2

3-Membránová tkanina:

Požadovaná rychlost v [m/s]	Aktuální rychlost v [m/s]	Frekvence f [Hz]	Hustota tepelného toku q [W/m]								Tlak p [Pa]	Teplota tunelu T1 [°C]	Teplota válečku T2 [°C]
			A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7			
2	1,5	4,2	89,2	81,2	78,9	54,7	85,6	104,1	66,9	71,1	961,5	22,7	32
2	1,5	4,2	98	89,1	83	57,5	91,3	109,6	74,5	83,6	961,5	22,6	31,9
2	1,5	4,2	106,5	96,3	85,8	59,5	95,4	113,7	78	89,2	961,5	22,6	31,9
2	1,5	4,2	110,3	99,5	88,5	61,6	98,3	116,5	80,5	93,5	961,5	22,6	31,9
2	1,5	4,2	113,2	102	89,9	62,6	101,2	119,5	83,1	98,1	961,5	22,6	31,9
2	1,5	4,2	115,4	104	90,8	63,5	102,9	121,2	84,4	100,5	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	117,9	106,3	92	64,4	104,1	122,6	85,3	102,4	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	119,2	107,5	92,7	65	105,6	124	86,6	104,6	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	120,1	108,4	93,3	65,4	106,2	124,7	87,2	105,8	961,6	22,5	31,9
2	1,5	4,2	121,3	109,5	93,8	65,7	106,8	125,2	87,8	106,8	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	121,9	110,1	94,4	66,2	107,6	126,1	88,3	107,6	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	122,5	110,7	94,6	66,3	107,9	126,3	88,8	108,6	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	123	111	94,6	66,4	108	126,5	89	109	961,6	22,5	31,9
2	1,5	4,2	123,2	111,3	94,8	66,6	108,1	126,7	89,2	109,4	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	123,3	111,6	95,1	66,7	108,3	126,9	89,4	109,8	961,5	22,5	31,9
2	1,5	4,2	123,5	111,9	95,5	66,8	108,4	126,9	89,6	110	961,5	22,5	31,9
4	3,5	7	128,5	116,8	101,8	70,4	114,1	135,9	93,2	113,9	961,4	22,4	31,8
4	3,5	7	130,1	118	104,7	72,4	116,1	139	94,5	115,3	961,5	22,4	31,8
4	3,5	7	131,1	118,9	105,8	73,4	118,3	142,7	96,2	116,8	961,5	22,4	31,8
4	3,5	7	131,9	119,5	106,4	74,1	119,5	144,3	97	117,5	961,5	22,4	31,8
4	3,5	7	132,9	120,2	107,5	74,9	120,4	145,5	97,7	118,1	961,5	22,5	31,8
4	3,5	7	133,2	120,5	108,1	75,2	121,6	146,8	98,3	118,5	961,5	22,5	31,8
4	3,5	7	133,6	120,9	108,7	75,7	122,3	147,8	99	119,2	961,4	22,5	31,8
4	3,5	7	134,3	121,5	109,2	76,1	122,5	148,6	99,4	119,6	961,3	22,4	31,8
4	3,5	7	134,6	121,7	109,7	76,6	123	149,5	99,7	120	961,4	22,4	31,8
4	3,5	7	134,8	121,8	110,2	76,7	123,3	149,8	100,2	120,3	961,4	22,5	31,8
4	3,5	7	135,2	122,2	110,5	76,9	123,3	150,3	100,4	120,6	961,4	22,4	31,8
4	3,5	7	135,5	122,5	110,8	77,1	123,6	150,8	100,6	120,8	961,4	22,4	31,8
4	3,5	7	135,7	122,8	111,1	77,4	124,1	151,2	100,9	121,3	961,4	22,4	31,8
4	3,5	7	136,1	123,1	111,3	77,7	124,5	151,6	101,3	121,5	961,5	22,4	31,8
4	3,5	7	136,3	123,3	111,5	77,8	124,9	151,9	101,5	121,7	961,5	22,4	31,8
6	6,1	10,8	140,6	126,6	121,5	78,9	131,4	156	105,6	124,8	961,5	22,4	31,8

6	6,1	10,8	142,4	127,8	122,4	79,3	133,2	157,4	106,9	125,6	961,4	22,4	31,8
6	6,1	10,8	143,1	128,3	123,5	79,7	134,4	158,8	107,6	126,2	961,4	22,4	31,8
6	6,1	10,8	143,7	128,7	124,4	79,8	134,8	159,3	108,5	126,8	961,4	22,4	31,8
6	6,1	10,8	144,3	129,1	124,4	80	134,9	160	109	127,2	961,4	22,4	31,8
6	6,1	10,8	144,6	129,3	125,6	80,1	135,4	160,4	109,3	127,4	961,4	22,4	31,8
6	6,1	10,8	144,8	129,6	125,3	80,1	135,4	160,5	109,4	127,8	961,5	22,4	31,8
6	6,1	10,8	145,2	129,8	125,5	80,2	135,6	160,8	109,8	128	961,4	22,4	31,8
6	6,1	10,8	145,5	130,2	125,8	80,2	134,8	160,9	109,7	128,1	961,4	22,3	31,8
6	6,1	10,8	145,7	130,3	126,1	80,3	135,1	161,1	109,8	128,4	961,5	22,3	31,8
6	6,1	10,8	145,9	130,5	126,4	80,4	135,2	161,3	109,9	128,5	961,5	22,3	31,8
6	6,1	10,8	146,1	130,6	127,7	80,6	135,1	161,5	110,4	128,7	961,5	22,4	31,8
6	6,1	10,8	146,2	130,7	128,9	80,7	135,4	161,6	110,9	128,8	961,5	22,4	31,8
6	6,1	10,8	146,2	130,7	127,9	80,6	135,3	161,6	111	128,9	961,5	22,4	31,9
6	6,1	10,8	146,2	130,7	127,9	80,5	135,1	161,6	110,9	128,9	961,4	22,4	31,9
6	6,1	10,8	146,1	130,6	127,9	80,5	134,5	161,5	110,9	128,8	961,4	22,4	31,9
8	8,2	14,4	153,3	131,6	130,2	81,1	136,8	157,5	120	131,1	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	156,7	131,9	131,1	81,3	138,4	156,6	124,7	131,9	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	157,7	131,8	131,8	81,1	139,2	155,4	124,1	132,4	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	158,6	132	132,3	81,3	139,8	154,2	123,4	132,9	961,4	22,2	31,9
8	8,2	14,4	159,3	131,7	132,7	81	139,4	153,3	124,6	133	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	159,7	131,7	132,5	81	138,9	152,8	126,1	133,1	961,5	22,3	31,9
8	8,2	14,4	159,8	131,5	132,4	80,7	137,8	151,8	124,4	133,1	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	159,9	131,4	131,6	80,7	137,4	151,4	127,8	133,2	961,3	22,3	31,9
8	8,2	14,4	159,9	131,1	132,3	80,4	136,8	150,9	125,2	133,1	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	160	131,1	132,4	80,3	136,1	150,6	124,6	133,1	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	160	130,9	132	80,1	136,2	150	123,1	133	961,4	22,3	31,9
8	8,2	14,4	160	130,8	131,9	79,9	135,8	149,8	125,6	133	961,4	22,3	31,8
8	8,2	14,4	159,9	130,5	131,3	79,6	135,1	149,6	126,1	133	961,3	22,3	31,8
8	8,2	14,4	159,9	130,4	131,2	79,6	134,8	149,5	123,1	132,9	961,4	22,3	31,8
8	8,2	14,4	160,1	130,5	131,4	79,7	134,5	149	120,2	132,8	961,3	22,3	31,8
8	8,2	14,4	160,2	130,6	131,8	79,8	134,5	149,1	120,5	132,9	961,4	22,3	31,8
10	10,3	18	168,6	133	139,6	85,2	136,5	159,1	139,7	136,2	961,4	22,2	31,8
10	10,3	18	170,6	133,3	140,4	86,2	135,4	159,8	136,7	137,6	961,4	22,2	31,8
10	10,3	18	172,5	133,6	142,5	87,9	135,1	161	138,5	138,3	961,3	22,2	31,8
10	10,3	18	173,2	133,9	144,3	89,3	133,3	160,2	135	138,6	961,4	22,2	31,8
10	10,3	18	173,6	134	143,6	89,6	132,9	159,5	138,9	138,9	961,4	22,3	31,8
10	10,3	18	174,1	134,3	145,4	89,9	132,2	158,9	133,9	138,9	961,3	22,3	31,8

10	10,3	18	174,4	134,7	144,9	90,2	131,3	159,5	138,3	139,2	961,4	22,2	31,8
10	10,3	18	174,4	134,6	145	90,2	131,1	158,8	136,1	139,4	961,3	22,3	31,8
10	10,3	18	174,7	134,9	145,2	90,2	130,8	159,2	139	139,4	961,3	22,3	31,8
10	10,3	18	175	135,2	146,4	89,8	130,6	160,4	142,7	139,9	961,3	22,3	31,8
10	10,3	18	175,2	135,4	146,1	90,7	130,8	159,2	132,7	139,7	961,3	22,2	31,8
10	10,3	18	175,5	135,7	146,2	90,3	130,9	159,4	137,7	140	961,3	22,2	31,8
10	10,3	18	175,9	136,1	147,5	90,7	131,3	160,4	135,7	140,2	961,3	22,2	31,8
10	10,3	18	176,2	136,2	146	90,4	131,2	160,5	141	140,6	961,3	22,2	31,8
10	10,3	18	176,2	135,9	145,6	90,3	131,1	160,8	142	140,8	961,3	22,2	31,8
10	10,3	18	176,2	136	146	90,5	130,6	161,2	143,6	140,9	961,3	22,3	31,8
12	11,6	21	178,8	137,9	152	98,5	133,2	165,1	149,5	143,3	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	179,3	138,3	152,8	100,3	133,1	166,3	143,2	143,7	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	179,8	138,5	153,9	101,5	132	165	140,2	143,9	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	180,1	138,5	153,2	101,9	130,8	164,5	140,4	144	961,2	22,2	31,8
12	11,6	21	180,2	138,6	154,2	102,2	130	166,7	144,5	144,2	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	180,4	138,8	155,1	103,1	128,8	164,8	142,8	144,5	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	180,7	139	154,1	103,1	128,2	166,8	150,6	145	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	181	139,5	156,9	104,1	128,3	166,9	149,1	145,4	961,2	22,2	31,8
12	11,6	21	181,4	139,5	156,4	103,4	127,9	168,4	152,4	146,1	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	181,5	139,8	156,6	104	128,2	170,4	152,2	146,2	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	181,6	139,8	156,4	103,3	127,6	170,9	152,4	146,3	961,3	22,2	31,8
12	11,6	21	181,6	139,6	156,5	103,6	127,7	170,7	155,1	146,7	961,3	22,2	31,7
12	11,6	21	181,5	139,6	157,2	103,4	127,6	169,8	149,5	146,5	961,2	22,2	31,7
12	11,6	21	181,6	139,9	158,8	104,6	127,5	166,9	143,4	146,2	961,2	22,2	31,7
12	11,6	21	181,8	140,1	158,9	105	127,5	165,2	141	146,1	961,3	22,2	31,7
14	14	25,2	186,4	143,1	170,9	116,4	132,6	181,1	155	150,7	961,3	22,2	31,7
14	14	25,2	187,6	143,7	172,6	118,7	134,2	184,3	160,1	153,2	961,3	22,1	31,7
14	14	25,2	189,1	143,6	170,7	118,6	133,9	185,4	163	154,5	961,3	22,1	31,7
14	14	25,2	189,7	143,9	173,2	120,4	134,6	183,8	156,8	154,9	961,3	22,1	31,7
14	14	25,2	189,9	144	171,8	120,3	135,1	187,6	162,1	155,8	961,3	22,2	31,7
14	14	25,2	190,3	144,3	172,9	120,6	135,6	191,2	164,9	156,6	961,3	22,1	31,7
14	14	25,2	190,6	144,3	173,6	122,1	136	188,7	164,1	156,8	961,2	22,2	31,7
14	14	25,2	190,9	144,6	173,4	121,7	136	189,7	166,6	157,3	961,2	22,1	31,7
14	14	25,2	191,2	144,6	174,2	122,1	137,1	192,2	167,8	158,1	961,3	22,2	31,7
14	14	25,2	191,6	145	173,8	122,1	136,9	194,5	171,1	158,6	961,3	22,1	31,7
14	14	25,2	192	145,1	173,6	121,8	136,8	192,2	171,9	159,2	961,3	22,1	31,7
14	14	25,2	192,2	145	171,7	121,9	136,5	195,2	171,9	159,3	961,3	22,1	31,7

14	14	25,2	192,1	144,7	172,8	122,4	135,7	195,6	171,8	159,3	961,3	22,2	31,7
14	14	25,2	191,8	144,5	173	121,2	135,6	196,2	168,2	158,8	961,3	22,2	31,7
14	14	25,2	191,6	144,1	171,6	120,8	135,5	200	173,1	159,1	961,2	22,2	31,7
14	14	25,2	191,7	144,3	172,2	121,9	136,3	198,3	165,3	158,5	961,2	22,2	31,7
16	16,1	26,6	196,1	147,7	177,1	124,9	146,1	211,2	174,6	162,4	961,2	22,1	31,7
16	16,1	26,6	196,2	147,8	179,8	124,3	146,3	214,7	179,3	163,1	961,2	22,2	31,7
16	16,1	26,6	196,2	147,6	177,1	124	145,8	209,7	174,1	162,8	961,3	22,2	31,7
16	16,1	26,6	196,2	147,5	177,8	123,9	146	211,6	177,5	163,2	961,3	22,1	31,7
16	16,1	26,6	196,3	147,6	179	124,8	146,7	212,6	171,6	162,8	961,2	22,2	31,7
16	16,1	26,6	196,4	147,7	178,8	124,5	146,2	210,7	170,1	162,6	961,3	22,2	31,7
16	16,1	26,6	196,4	147,9	180,1	123,8	147,2	213,8	172,8	162,7	961,3	22,2	31,8
16	16,1	26,6	196,4	147,5	177,6	123,3	147	213,6	172,2	162,7	961,2	22,2	31,8
16	16,1	26,6	196,3	147,4	176,7	123,4	147,2	213,8	175,1	162,7	961,2	22,2	31,8
16	16,1	26,6	196,3	147,4	177,2	122,6	147,4	214,8	175,2	162,7	961,3	22,2	31,8
16	16,1	26,6	196,2	147,2	176,9	123,5	146,4	211,1	173,9	162,6	961,2	22,2	31,8
16	16,1	26,6	196,2	147,3	176,6	122,7	146,9	213,1	174,1	162,6	961,2	22,2	31,8
16	16,1	26,6	196,1	146,9	177,3	123,2	146,7	211,3	174,2	162,5	961,2	22,2	31,8
16	16,1	26,6	195,9	146,7	176,6	123	146,8	208,3	166,5	162	961,2	22,2	31,8
18	18,4	29,6	201,3	157,1	187,4	130,6	176,1	229,4	174,8	166,1	961,3	22,1	31,8
18	18,4	29,6	201,2	157	185,8	129,8	174,2	230,4	175,2	165,8	961,3	22,1	31,8
18	18,4	29,6	200,9	156,9	184,5	130,2	174,6	228,8	173,2	165,5	961,2	22,1	31,8
18	18,4	29,6	200,2	156,4	183,3	128,6	174	230,1	181,3	165,4	961,2	22,2	31,8
18	18,4	29,6	199,6	156,3	184,6	128,7	174,7	232,4	175,8	164,7	961,2	22,2	31,8
18	18,4	29,6	199,1	156	184,1	128,1	175	237,2	182,2	164,5	961,2	22,2	31,8
18	18,4	29,6	198,7	155,9	183,5	129,3	175,3	232,4	177,8	164,4	961,2	22,2	31,8
18	18,4	29,6	198,4	155,7	183,1	128,8	175	229,9	179,1	164,1	961,3	22,2	31,7
18	18,4	29,6	198,3	155,5	182,2	127,8	175	233,8	179,6	163,8	961,2	22,2	31,7
18	18,4	29,6	198,5	155,7	180,5	128	176,2	235,9	183,1	164,1	961,3	22,1	31,7
18	18,4	29,6	198,3	155,8	182,7	127,9	175,7	236,9	187,4	164,3	961,3	22,2	31,7
18	18,4	29,6	198,2	156,1	182,4	127,7	177,7	241,1	186,8	164,3	961,2	22,2	31,7
18	18,4	29,6	198	155,5	181,9	128,4	175,9	237,2	189,4	164,4	961,2	22,2	31,7
18	18,4	29,6	198,2	156,2	182,1	128,7	176,4	234,3	179,8	164,2	961,2	22,2	31,7
19	19,5	31	202,8	162,9	191,8	134,2	195	241,2	180,8	167,6	961,2	22,2	31,7
19	19,5	31	202,8	164,1	190,6	133,6	193,3	238,6	184,4	167,5	961,3	22,2	31,7
19	19,5	31	202,5	163,9	187,9	133	194,4	245	189,6	167,8	961,3	22,1	31,7
19	19,5	31	202,7	164,1	190,4	133,6	194,1	242,1	188,1	167,8	961,2	22,2	31,7
19	19,5	31	202,4	164	192,2	133,4	193,9	237,5	179,3	167,3	961,1	22,2	31,7

19	19,5	31	202,5	165	192,7	133,1	196,1	241,3	181,1	167,2	961,2	22,2	31,7
19	19,5	31	202,8	164,3	192,3	133,3	194,5	241,7	182,6	167,3	961,2	22,2	31,7
19	19,5	31	203	164,6	189,6	133,5	193,2	238,8	181,3	167,4	961,1	22,2	31,7
19	19,5	31	202,8	163,8	190	133,4	193,5	239,4	184,7	167,5	961,2	22,1	31,7
19	19,5	31	202,9	165	189,3	133,5	193,5	243,3	191,6	168	961,1	22,2	31,7
19	19,5	31	202,6	164,1	189,8	133,7	194	243,8	191,7	167,8	961,1	22,2	31,7
19	19,5	31	202,5	164,3	189,8	133,7	193,9	244,8	193,9	168	961,1	22,2	31,7
19	19,5	31	202,5	164,6	189,2	133,5	195,1	246,2	191,4	167,8	961,2	22,2	31,7

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m]							
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2	1,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		118,7	107,2	91,9	63,7	104,0	85,4	85,4	104,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		5,39	4,93	3,70	3,64	5,28	5,38	4,59	6,49
Variační koeficient v [%]		4,54	4,60	4,03	5,72	5,08	6,30	5,38	6,24
4	3,9								
Průměr \bar{x} [W/m]		133,6	120,9	109,0	75,5	121,4	147,1	98,7	119,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		2,32	1,93	2,18	2,13	3,18	4,79	2,51	2,32
Variační koeficient v [%]		1,73	1,60	2,00	2,83	2,62	3,25	2,54	1,95
6	6,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		145,1	129,6	125,7	80,1	134,9	160,8	109,4	127,7
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,23	1,22	2,10	0,49	0,59	0,89	1,55	1,26
Variační koeficient v [%]		0,84	0,94	1,67	0,62	0,44	0,56	1,41	0,99
8	7,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		159,4	131,2	131,8	80,5	137	152	124	132,8
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,0	0,5	0,7	2,8	1,8	2,7	2,2	0,6
Variační koeficient v [%]		0,6	0,4	0,5	3,5	1,3	1,8	1,8	0,4
10	9,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		174,8	134,8	144,7	89,5	132,2	159,9	138,2	139,5
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,2	1,0	2,2	1,6	1,9	0,8	3,1	0,9
Variační koeficient v [%]		0,7	0,8	1,5	1,8	1,4	0,5	2,3	0,7
12	11,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		180,8	139,2	155,5	103,1	129,2	167,2	147,1	145,2
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,9	0,7	2,1	1,3	2,1	2,3	5,5	1,2
Variační koeficient v [%]		0,5	0,5	1,4	1,2	1,6	1,4	3,8	0,8
14	13,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		190,5	144,3	172,6	120,8	135,5	191,0	165,9	156,9
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,7	0,6	1,0	1,7	1,2	5,5	5,5	2,5
Variační koeficient v [%]		0,9	0,4	0,6	1,4	0,9	2,9	3,3	1,6
16	16,1								
Průměr \bar{x} [W/m]		196,2	147,4	177,8	123,7	146,6	212,2	173,7	162,7
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,1	0,3	1,2	0,7	0,5	1,9	3,1	0,3
Variační koeficient v [%]		0,1	0,2	0,7	0,6	0,3	0,9	1,8	0,2
18	18,5								
Průměr \bar{x} [W/m]		199,2	156,2	183,4	128,8	175,4	233,6	180,4	164,7
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,2	0,5	1,8	0,9	1,0	3,7	5,0	0,7
Variační koeficient v [%]		0,6	0,3	1,0	0,7	0,6	1,6	2,8	0,4
19	19,5								
Průměr \bar{x} [W/m]		202,7	164,2	190,4	133,5	194,2	241,8	186,2	167,6
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,2	0,5	1,4	0,3	0,8	2,7	5,1	0,3
Variační koeficient v [%]		0,1	0,3	0,8	0,2	0,4	1,1	2,7	0,2

4-Softshell materiál:

Požadovaná rychlost v [m/s]	Aktuální rychlost v [m/s]	Frekvence f [Hz]	Hustota tepelného toku q [W/m]							Tlak p [Pa]	Teplota tunelu T1 [°C]	Teplota válečku T2 [°C]	
			A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6				A7
2	1,8	3,8	75	71,4	69,4	49,1	72,6	83,1	57,8	59,6	961,9	22,7	31,9
2	1,8	3,8	82,3	78,6	72,7	51,2	77,5	88,7	63,2	70,3	961,8	22,6	31,9
2	1,8	3,8	90	85,7	75,5	52,9	81,2	91,8	66	75,6	961,8	22,6	31,9
2	1,8	3,8	93,7	88,9	78,5	54,9	84,1	94,2	68,3	79,7	961,8	22,5	31,9
2	1,8	3,8	96,4	91,4	79,7	55,8	87,1	96,8	70,8	84,2	961,9	22,5	31,9
2	1,8	3,8	98,5	93,2	80,9	56,5	88,6	98,1	72	86,4	961,9	22,5	31,9
2	1,8	3,8	100,8	95,4	82,1	57,4	89,7	99,1	73	88,2	961,8	22,5	31,9
2	1,8	3,8	101,9	96,4	82,9	57,9	91	100,3	74,1	90,2	961,8	22,5	31,8
2	1,8	3,8	102,8	97,3	83,4	58,1	91,6	100,8	74,7	91,2	961,8	22,5	31,8
2	1,8	3,8	103,7	98,2	84	58,5	92,3	101,2	75,1	92	961,9	22,5	31,8
2	1,8	3,8	104,3	98,8	84,4	58,9	92,8	101,8	75,7	93,1	961,8	22,5	31,8
2	1,8	3,8	104,9	99,4	84,7	59,1	93,4	102,2	76,1	93,6	961,8	22,5	31,8
2	1,8	3,8	105,6	100,2	85,3	59,4	94	102,8	76,5	94,3	961,8	22,5	31,8
2	1,8	3,8	106,1	100,6	85,7	59,7	94,5	103,4	77	95,1	961,8	22,5	31,8
2	1,8	3,8	106,5	101,1	86	59,9	94,6	103,7	77,3	95,5	961,9	22,5	31,8
2	1,8	3,8	107	101,6	86,5	60,1	95	104,2	77,5	95,9	961,8	22,5	31,8
4	4	7,2	110,6	105,4	91,6	62,8	100,3	112,2	80,8	98,5	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	112	106,7	93,7	65,1	104	115,7	82,8	99,9	961,7	22,4	31,8
4	4	7,2	113,2	107,7	95	66,2	105,7	119,3	85,1	101,4	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	114,2	108,6	96	67	107,1	121,3	86,1	102,1	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	114,7	109	97,1	67,8	108,6	123,6	86,8	102,6	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	115,2	109,4	97,7	68,3	109,4	125,9	87,7	103,2	961,7	22,4	31,8
4	4	7,2	115,7	109,9	98,2	68,6	110	126,8	88,2	103,6	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	116	110,2	98,8	69,1	110,2	126,9	88,7	104	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	116,2	110,4	98,9	69,4	110,9	127,3	89,1	104,3	961,7	22,4	31,8
4	4	7,2	116,4	110,6	99,1	69,6	111,3	127,8	89,3	104,5	961,7	22,4	31,8
4	4	7,2	116,7	110,9	99,4	70	111,5	127,8	89,6	104,8	961,7	22,4	31,8
4	4	7,2	116,9	111,1	99,7	70,2	112	128,8	90	105,1	961,8	22,4	31,8
4	4	7,2	117,1	111,2	99,9	70,3	112,3	129,1	90,1	105,2	961,7	22,5	31,8
4	4	7,2	117,2	111,4	100,1	70,4	112,5	129,9	90,2	105,3	961,7	22,4	31,8
4	4	7,2	117,3	111,5	100,3	70,5	112,9	131	90,5	105,5	961,7	22,4	31,8
6	6,3	10,8	120	113,4	102,4	72	117,6	138,6	92,7	106,5	961,7	22,4	31,8
6	6,3	10,8	120,9	114	103,4	73,2	120,4	142,8	94,7	107,2	961,7	22,4	31,9

6	6,3	10,8	121,4	114,4	104,1	73,8	121,5	144,2	95,7	107,6	961,8	22,4	31,9
6	6,3	10,8	122	114,7	104,7	74,4	122,5	144,7	96,3	107,8	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	122	114,7	104,8	74,5	122,7	143,5	96,9	107,9	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,9	114,6	104,9	74,5	122,5	143	96,9	107,8	961,8	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,9	114,6	104,9	74,6	122,7	143,6	97	107,7	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,7	114,4	104,8	74,5	122,9	144,3	96,9	107,5	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,5	114,3	104,8	74,5	122,9	146,1	96,9	107,4	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,5	114,3	104,7	74,5	123,1	148	96,9	107,3	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,4	114,2	104,7	74,4	122,6	145,7	96,8	107,1	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	121,2	114,2	104,6	74,4	122,7	146,8	96,6	106,9	961,8	22,3	31,9
6	6,3	10,8	121	114	104,6	74,3	122,8	147,9	96,6	106,8	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	120,9	113,8	104,1	74,2	122,5	148,6	96,5	106,6	961,8	22,4	31,9
6	6,3	10,8	120,7	113,7	103,9	74,1	122,1	146,3	96,4	106,4	961,7	22,4	31,9
6	6,3	10,8	120,6	113,5	103,7	74	121,9	145,9	96,3	106,3	961,7	22,4	31,9
8	8,2	14,4	122,8	114	104,4	74,2	132,3	152,2	96,7	106,2	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	123,3	114,1	104,9	74,4	133,9	152,7	97,3	106,5	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	124	114,2	105,3	74,6	135,2	155	97,6	106,6	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	124,5	114,3	105,8	74,9	135,7	154	97,9	106,8	961,6	22,3	31,8
8	8,2	14,4	124,8	114,4	105,9	75	135,9	153,3	98,1	106,9	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	125	114,5	106,2	75,2	136,6	152,9	98,2	107,1	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	125,4	114,8	106,7	75,4	137,1	154,8	98,4	107,3	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	125,7	115	107	75,7	137,2	156,5	98,7	107,5	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	125,8	115	107,1	75,8	137,8	155,4	98,8	107,6	961,6	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,1	115,2	107,1	76	138,4	155,3	98,9	107,8	961,6	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,3	115,3	107,1	76,1	138,6	158,6	99,2	108	961,6	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,4	115,4	107,2	76,2	138,3	157,3	99,3	108,1	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,5	115,5	107,4	76,3	138,7	158,9	99,4	108,2	961,6	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,5	115,5	107,4	76,3	138,3	160,7	99,5	108,3	961,6	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,6	115,6	107,4	76,4	138,7	159,8	99,6	108,4	961,7	22,3	31,8
8	8,2	14,4	126,7	115,6	107,4	76,4	139,2	159	99,7	108,4	961,7	22,3	31,8
10	9,6	17,4	129,6	116,4	109,5	77	144,1	166,7	99,8	109,6	961,7	22,3	31,8
10	9,6	17,4	130,4	116,5	110,1	77,3	143,9	167	100,2	110,2	961,6	22,3	31,8
10	9,6	17,4	130,9	116,6	111,2	77,5	144	167,5	100,3	110,4	961,7	22,3	31,8
10	9,6	17,4	131,3	116,6	111,5	77,7	144,6	166,7	100,4	110,5	961,6	22,3	31,8
10	9,6	17,4	131,4	116,6	111,7	77,7	144	167,1	100,6	110,7	961,7	22,3	31,8
10	9,6	17,4	131,5	116,6	112,1	77,8	143,7	163,7	100,2	110,7	961,6	22,3	31,7
10	9,6	17,4	131,7	116,7	112,7	77,9	144	163,5	99,8	110,7	961,6	22,3	31,7

10	9,6	17,4	131,9	116,9	113	78	143,9	163,2	100,1	111,1	961,7	22,3	31,7
10	9,6	17,4	132,3	117,1	113,4	78,2	143,4	162,4	100,1	111,2	961,6	22,3	31,7
10	9,6	17,4	132,6	117,4	113,8	78,3	144,2	165	100,3	111,4	961,6	22,3	31,7
10	9,6	17,4	132,9	117,5	113,7	78,3	144,1	164,7	100,8	111,7	961,6	22,3	31,7
10	9,6	17,4	133	117,8	114,1	78,6	143,5	163,1	100,6	112	961,7	22,3	31,7
10	9,6	17,4	133,4	117,9	114,4	78,7	144,3	162,6	100,7	112,1	961,6	22,3	31,7
10	9,6	17,4	133,5	118	114,2	78,8	144,8	164,7	101,3	112,3	961,7	22,3	31,7
10	9,6	17,4	133,7	118,2	114,3	79	145,1	163,2	101,3	112,5	961,6	22,3	31,7
12	12,1	21,6	137,7	119,6	114,1	82,1	143,7	175,2	117,4	114,1	961,7	22,2	31,7
12	12,1	21,6	138,7	119,8	116,3	82,2	142	173,5	116,7	114,9	961,7	22,2	31,7
12	12,1	21,6	139,5	120	118,5	81,7	140,9	177,6	121,8	115,3	961,7	22,2	31,7
12	12,1	21,6	139,8	120	118,8	81,2	142	186,2	124,2	115,5	961,6	22,3	31,7
12	12,1	21,6	140,1	120	119,1	80,9	142,5	189,4	129	115,8	961,7	22,3	31,7
12	12,1	21,6	140,6	120,3	120,8	80,5	143,8	190,7	129,1	116,1	961,7	22,2	31,7
12	12,1	21,6	140,8	120,4	122	80,1	143,7	190,2	128,3	116,4	961,7	22,2	31,8
12	12,1	21,6	140,9	120,5	122,8	79,9	142,9	188	126,1	116,5	961,6	22,3	31,8
12	12,1	21,6	140,9	120,5	123,9	79,7	143,4	187,2	124,1	116,6	961,6	22,3	31,8
12	12,1	21,6	140,9	120,4	123,6	79,6	143,2	190,9	127,8	116,5	961,7	22,2	31,8
12	12,1	21,6	140,9	120,4	123,8	79,6	143,7	192	128,2	116,6	961,7	22,2	31,8
12	12,1	21,6	140,8	120,3	122,7	79,2	143,4	190,5	127,5	116,5	961,7	22,2	31,8
12	12,1	21,6	140,8	120,4	123	79,1	143,3	185,7	123,4	116,5	961,6	22,2	31,8
12	12,1	21,6	140,8	120,3	123,8	79	143,5	188,6	125,7	116,5	961,6	22,2	31,8
14	14,2	25,2	142,7	120,8	135,6	81,5	142,5	188,3	125	117,5	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	143,6	121,2	136,5	82,7	141,9	191,7	129,7	118,2	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	144	121,5	138,5	83,3	142,3	197	136,4	118,5	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	144,3	121,7	143,1	83,8	142,5	199,4	137,9	118,9	961,6	22,2	31,8
14	14,2	25,2	144,5	122	144,9	84,5	142,8	204,2	142,5	119,2	961,7	22,1	31,8
14	14,2	25,2	144,5	122,1	146,5	84,9	143,1	205,8	141	119,5	961,7	22,1	31,8
14	14,2	25,2	144,3	122,2	149,3	85,2	143,5	206,3	142,1	119,5	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	144,1	122,3	148,9	85,3	143,2	205,1	135,7	119,5	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	144	122,5	150	86	143,5	208,6	142,5	119,4	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	143,7	122,7	151,4	86	143,5	206,9	138,2	119,4	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	143,5	122,7	152,2	86,3	142,3	205,4	138,6	119,2	961,8	22,2	31,8
14	14,2	25,2	143,4	122,9	154,1	86,7	141,8	202,2	138,6	119,2	961,7	22,2	31,8
14	14,2	25,2	143,4	123,3	156,3	86,6	141,1	201,3	137,2	119,3	961,7	22,1	31,8
14	14,2	25,2	143,4	123,4	155,6	86,6	140,7	203,7	141	119,2	961,8	22,2	31,8
14	14,2	25,2	143,3	123,6	156,3	86,6	140,2	201,5	140,2	119,1	961,8	22,2	31,8

14	14,2	25,2	143	123,7	156,1	86,3	140,1	199,8	137,4	119	961,7	22,2	31,8
16	16,4	27	145,5	125,1	166,5	90,4	145,8	216,9	153,9	121,1	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	145,5	125,2	165,7	89,3	144,7	217,2	154,9	121,4	961,6	22,2	31,7
16	16,4	27	145,6	125,2	163,1	88,5	143,4	216	156,2	121,8	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	145,9	125,6	162,6	88,4	143,4	217,6	157,8	122	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	146	125,8	164,2	88,6	145,2	222,2	157,6	122,2	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	146,3	126,1	164	89	144,9	218,1	156,4	122,7	961,6	22,2	31,7
16	16,4	27	146,4	126,2	165,2	88,9	143,7	216,1	158,2	123	961,6	22,2	31,7
16	16,4	27	146,7	126,5	164,6	89,1	144,2	218,5	157,9	123,4	961,6	22,2	31,7
16	16,4	27	147	126,7	162,8	88,9	143,9	220,4	159,7	123,8	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	147,2	126,8	164,9	88,9	141,4	213,2	152,8	123,8	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	147,4	127	163,9	88,9	141	216,9	153,7	124	961,7	22,2	31,7
16	16,4	27	147,7	127,2	163,1	88,6	140,4	213,3	150,4	124,2	961,8	22,2	31,7
16	16,4	27	148,1	127,6	165,2	89	140,7	218,3	154,7	124,5	961,7	22,1	31,7
16	16,4	27	148,3	127,8	166,3	89,6	141,9	217	148,3	124,6	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	153,4	129,5	182,5	105,2	148,9	226,1	160,7	127,4	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	153,7	129,6	179,9	104	149,2	228,1	154,9	127,6	961,7	22,1	31,7
18	18,5	29,8	153,7	129,5	183,3	104	149,4	231	159,6	127,7	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	153,9	129,7	183,6	105	149,4	230,5	160,2	127,8	961,7	22,1	31,7
18	18,5	29,8	153,9	129,7	183,1	105	150,3	232,7	161,1	127,9	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154	129,6	181,1	105,2	151	229,7	154,8	127,9	961,7	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,1	129,8	183,2	105,4	151,8	228	152,7	127,9	961,7	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,1	129,7	180,2	105,8	152,5	232,1	155	127,9	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,2	129,7	181,2	106,3	152,9	233,9	161,5	128	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,2	129,8	180,6	106,5	151,9	227,5	158,6	128,1	961,7	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,3	129,9	182,2	107,1	153,7	236,1	161,1	128,1	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,4	129,8	184,2	106,4	154,1	239,8	162,9	128,3	961,7	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,5	129,9	182,2	107,5	154	239,7	167,6	128,5	961,6	22,2	31,7
18	18,5	29,8	154,7	130	183	107,5	153,6	232,3	159,9	128,7	961,6	22,2	31,7
19	19,4	31,4	157	130,5	188,5	115,7	163,3	249,1	170,1	130,5	961,6	22,2	31,7
19	19,4	31,4	156,9	130,4	193	116,6	162,7	238,6	162,3	130,3	961,6	22,2	31,7
19	19,4	31,4	156,8	130,2	190,3	116,3	162,3	241,9	166,1	130,4	961,5	22,2	31,7
19	19,4	31,4	156,7	130,1	190,7	116,3	162,7	244,5	168,4	130,3	961,6	22,2	31,8
19	19,4	31,4	156,7	129,9	187,7	116,8	162,8	244,6	166	130,2	961,5	22,2	31,8
19	19,4	31,4	156,5	129,6	187,8	117,1	162,2	241,7	166,6	130,1	961,5	22,2	31,8
19	19,4	31,4	156,2	129,5	188,2	116,7	162,4	243,6	170,3	130	961,6	22,2	31,8
19	19,4	31,4	155,9	129,2	188,2	116	162,5	243,7	168,2	129,8	961,6	22,2	31,8

19	19,4	31,4	155,5	128,8	189,4	115,4	162	241,9	166,7	129,5	961,5	22,2	31,8
19	19,4	31,4	155,3	128,7	185,2	115,5	162	244,5	170	129,5	961,6	22,2	31,8
19	19,4	31,4	155,1	128,4	185,2	115,6	162	240,6	163,9	129,1	961,6	22,2	31,8
19	19,4	31,4	154,8	128	186,2	116	161,3	238,3	163,6	128,7	961,6	22,2	31,8
19	19,4	31,4	154,7	128	184,2	116,2	162	241,1	163,5	128,5	961,5	22,2	31,8
19	19,4	31,4	154,4	127,7	185,2	115,9	161,4	239	164,1	128,3	961,6	22,2	31,8

Požadovaná rychlost v [m/s]	Skutečná rychlost v [m/s]	Hustota tepelného toku q [W/m]							
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2	1,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		98,7	93,6	81,4	56,8	88,8	98,3	72,2	86,6
Směrodatná odchylka s [W/m]		5,17	4,86	5,04	3,29	6,67	4,60	4,34	7,78
Variační koeficient v [%]		5,24	5,19	6,19	5,79	7,51	4,68	6,01	8,99
4	3,9								
Průměr \bar{x} [W/m]		115,3	109,6	97,7	68,4	109,3	124,9	87,7	103,3
Směrodatná odchylka s [W/m]		2,02	1,82	2,58	1,69	2,69	5,47	2,25	2,09
Variační koeficient v [%]		1,75	1,66	2,64	2,47	2,46	4,38	2,56	2,02
6	6,2								
Průměr \bar{x} [W/m]		121,3	114,2	104,4	74,1	122,1	145,0	96,3	107,2
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,57	0,37	0,69	0,67	0,69	1,88	0,36	0,54
Variační koeficient v [%]		0,47	0,32	0,66	0,90	0,56	1,29	0,37	0,50
8	7,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		125,4	114,9	106,5	75,6	137,0	156,0	98,6	107,5
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,2	0,6	1,0	0,8	2,0	2,7	0,9	0,7
Variační koeficient v [%]		1,0	0,5	0,9	1,0	1,4	1,8	0,9	0,7
10	9,6								
Průměr \bar{x} [W/m]		132,0	117,1	112,7	78,1	144,1	164,7	100,4	111,1
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,2	0,6	1,6	0,6	0,5	1,8	0,5	0,8
Variační koeficient v [%]		0,9	0,5	1,4	0,7	0,3	1,1	0,5	0,8
12	11,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		140,2	120,2	120,9	80,3	143,0	186,1	125,0	116,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,5	0,3	3,1	1,1	0,9	6,1	4,0	0,8
Variační koeficient v [%]		0,3	0,2	2,6	1,4	0,6	3,3	3,2	0,7
14	13,7								
Průměr \bar{x} [W/m]		143,7	122,4	148,5	85,1	142,2	201,7	137,8	119,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,5	0,9	7,0	1,6	1,1	5,5	2,3	0,4
Variační koeficient v [%]		0,4	0,7	4,7	1,9	0,8	2,7	1,7	0,3
16	16,1								
Průměr \bar{x} [W/m]		146,7	126,3	164,4	89,0	143,2	217,3	155,2	123,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		1,0	0,9	1,3	0,5	1,8	2,4	3,2	1,2
Variační koeficient v [%]		0,6	0,7	0,8	0,6	1,2	1,1	2,1	1,0
18	18,5								
Průměr \bar{x} [W/m]		154,1	129,7	182,2	105,8	151,6	232,0	159,3	128,0
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,3	0,1	1,4	1,2	1,9	4,3	3,9	0,3
Variační koeficient v [%]		0,2	0,1	0,7	1,1	1,3	1,8	2,5	0,3
19	19,5								
Průměr \bar{x} [W/m]		155,9	129,2	187,8	116,2	162,3	242,4	166,4	129,7
Směrodatná odchylka s [W/m]		0,9	1,0	2,5	0,5	0,5	2,9	2,7	0,7
Variační koeficient v [%]		0,6	0,7	1,3	0,4	0,3	1,2	1,6	0,6

Příloha č.3: Přístroj TCI

Níže je uvedená tabulka naměřených hodnot tepelné vodivosti s příslušnou statistikou. Poté následuje tabulka, kde jsou uvedeny přepočítané průměrné hodnoty tepelného odporu.

	Tepelná vodivost k [W/m·K]			
	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
	0,109	0,044	0,075	0,045
	0,108	0,044	0,075	0,045
	0,110	0,044	0,075	0,045
	0,108	0,044	0,074	0,044
	0,108	0,044	0,075	0,045
	0,110	0,044	0,075	0,044
	0,107	0,044	0,075	0,044
průměr [W/m·K]	0,109	0,044	0,075	0,044
směrodatná odchylka [W/m·K]	0,001	0,000	0,000	0,000
rozptyl [(W/m·K)²]	0,000	0,000	0,000	0,000
variační koeficient [%]	1,069	0,447	0,493	0,768
interval spolehlivosti (is) [[W/m·K]	0,000	0,000	0,000	0,000
dolní IS [W/m·K]	0,108	0,044	0,075	0,044
horní IS [W/m·K]	0,110	0,044	0,075	0,045

	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
Tep. vodivost - průměr [W/m·K]	0,109	0,044	0,075	0,044
Tepelný odpor - průměr [m·K²/W]	0,004	0,070	0,005	0,034

Příloha č.4: Přístroj SGHP

Měření na zařízení SGHP bylo měřeno podle normy (80 0819) Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení).

Níže jsou uvedeny základní informace této normy.

Norma ČSN EN ISO 11092 (80 0819)

Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení).

Relativní vlhkost proudu vzduchu musí být během doby měření regulována s přesností ± 3 % relativní vlhkosti vzduchu.

Tento proud vzduchu je měřen při teplotě vzduchu 20 °C v bodě nad středem nezakryté měřící jednotky ve vzdálenosti 1,5 mm nad měřícím stolem. V tomto bodě naměřená rychlost proudění musí vykazovat střední hodnotu 1 m/s, přičemž odchylka během trvání zkoušky nesmí být větší než $\pm 0,0005$ m/s.

Měření tepelného odporu R_{ct}

Zkušební vzorky musí být umístěny tak, aby ležely rovně přes měřící jednotku se stranou, která v praxi pokrývá lidské tělo k měřící jednotce.

Musí se zabránit bublinám a pomačkání zkušebního vzorku nebo vzduchovým mezerám mezi vzorkem a měřící jednotkou nebo komponentami několika vrstev vzorku za předpokladu, že nejsou specifické pro profil povrchu vzorku. Vzorky jsou měřeny bez napínání či zatěžování.

Teplota povrchu měřící jednotky je 35 °C a teplota vzduchu 20 °C s relativní vlhkostí 65 %. Rychlost vzduchu se seřídí na 1 m/s. [49]

Uvedená tabulka níže obsahuje naměřené průměrné hodnoty tepelného odporu na přístroji SGHP a vypočítanou statistiku. Od každého vzorku byly měřeny tři vzorky. jednotlivé vzorky jsou v tabulce označeny pod písmeny A, B a C.

	Tepelný odpor Rct [m²K/W]			
	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
A	0,011	0,088	0,009	0,040
B	0,011	0,084	0,008	0,042
C	0,011	0,088	0,009	0,041
průměr [m²K/W]	0,011	0,087	0,009	0,041
směrodatná odchylka [m²K/W]	0,000	0,002	0,000	0,001
rozptyl [(m²K/W)²]	0,000	0,000	0,000	0,000
variační koeficient [%]	2,652	1,884	5,439	1,991
interval spolehlivosti (IS) [m²K/W]	0,000	0,000	0,000	0,000
dolní IS [m²K/W]	0,011	0,084	0,008	0,040
horní IS [m²K/W]	0,012	0,089	0,010	0,042

Příloha č.5: Přístroj FOX 314

V první tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty tepelné vodivosti. V další tabulce je poté zaznamenány přepočítané hodnoty tepelné vodivosti na tepelný odpor s vypočítanou statistikou. Od každého materiálu byly testovány tři vzorky oděvního materiálu.

	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
Tep. vodivost λ - průměr [W/m·K]	0,597	0,391	0,558	0,468

	Tepelný odpor R_{ct} [m ² K/W]			
	1-Bavlněná tkanina	2-Fleece	3-Membrána	4-Softshell
A	0,245	0,105	0,027	0,064
B	0,276	0,102	0,034	0,058
C	0,284	0,110	0,028	0,071
průměr [m²K/W]	0,268	0,106	0,030	0,064
směrodatná odchylka [m²K/W]	0,170	0,003	0,003	0,005
rozptyl [(m²K/W)²]	0,000	0,000	0,000	0,000
variační koeficient [%]	6,268	2,836	9,684	8,553
interval spolehlivosti (IS) [m²K/W]	0,001	0,000	0,000	0,000
dolní IS [m²K/W]	0,240	0,101	0,026	0,056
horní IS [m²K/W]	0,297	0,110	0,034	0,072