



# Vliv vlhkosti proudícího vzduchu na tepelně izolační vlastnosti textilií

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N3106 – Textilní inženýrství

*Studijní obor:*

3106T017 – Oděvní a textilní technologie

*Autor práce:*

**Bc. Ivana Céeová**

*Vedoucí práce:*

Ing. Petra Komárková, Ph.D.





# The influence of flowing air humidity on the thermal insulation properties of textiles

## Master thesis

*Study programme:*

N3106–TextileEngineering

*Study branch:*

3106T017–ClothingandTextileTechnology

*Author:*

**Bc. Ivana Céeová**

*Supervisor:*

Ing. Petra Komárková, Ph.D.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ivana Céeová**

Osobní číslo: **T16000052**

Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**

Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**

Název tématu: **Vliv vlhkosti proudícího vzduchu na tepelně izolační vlastnosti textilií**

Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

### Zásady pro vypracování:

1. Rešerše zaměřená na tepelně izolační vlastnosti oděvních materiálů v extrémních klimatických podmínkách 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 pro testování tepelně izolačních vlastností vybraných druhů oděvních materiálů v proudícím vzduchu se zaměřením na nastavení různé míry vlhkosti vzduchu během experimentu.
4. Vyhodnocení experimentu a analýza získaných výsledků.



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: 16. listopadu 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 4. května 2018

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 16. listopadu 2017

## 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 a za její cenné rady, vstřícný přístup a trpělivost.

## **ANOTACE**

V této diplomové práci je sledováno, jakým způsobem se projeví vliv vlhkosti vzduchu při měření tepelného toku při průchodu textilií v proudícím vzduchu. V první části práce jsou shrnuty teoretické aspekty studované problematiky, jako jsou například základní informace o termofyziologickém komfortu, způsobu hodnocení tepelně-izolačních vlastností, popis zařízení Aerodynamického tunelu a základní informace o vlhkosti vzduchu. V druhé části je navržen a popsán experiment, zkoumající vliv vlhkosti vzduchu na tepelně-izolační vlastnosti vybraných textilií při měření v Aerodynamickém tunelu. V závěrečné části této práce jsou dána doporučení pro další vývoj v této oblasti.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

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

## **ANNOTATION**

In this diploma thesis, the influence of air humidity is measured in the testing of the heat flow passing through of textiles in the flowing air. In the first part of the thesis summarizes the theoretical aspects of the studied topics, such as basic information on thermophysiological comfort, the method of evaluation of thermal insulation properties, description of aerodynamic tunnel equipment and basic information about humidity. In the second part the experiment is designed and described. This experiment deal with the effect of air humidity on the thermal insulation properties of selected textiles during measurement in the Aerodynamic Tunnel. In the final part of this thesis there are given recommendations for next development in this field.

### **KEY WORDS:**

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

# Obsah

<b>Obsah</b> .....	0
<b>Úvod</b> .....	6
<b>1 Termofyziologický komfort</b> .....	7
1.1 Hodnocení termofyziologického komfortu textilií .....	7
1.2 Parametry ovlivňující termofyziologický komfort .....	8
<b>2 Tepelně izolační vlastnosti</b> .....	8
2.1 Tepelná vodivost.....	8
2.2 Tepelný odpor.....	9
2.3 Teplotní vodivost .....	9
2.4 Tepelná jímavost.....	10
2.5 Tepelná kapacita .....	10
<b>3 Tepelně izolační vlastnosti textilií</b> .....	11
3.1 Faktory ovlivňující tepelně izolační vlastnosti textilií.....	11
3.1.1 Pórovitost textilie .....	11
3.1.2 Vliv vlhkosti textilií .....	12
3.1.3 Vliv stlačení textilií .....	12
3.1.4 Vliv zaplnění .....	12
<b>4 Metodiky měření tepelně izolačních vlastností</b> .....	13
4.1 Přístroje a metodiky.....	13
4.1.1 Aerodynamický tunel .....	13
4.1.2 Alambeta .....	14
4.1.3 Bioklimatické komory.....	14
4.1.4 Dynamická metoda stanovení tepelné vodivosti .....	15
4.1.5 FOX 314 Instrument.....	15
4.1.6 Hotplate .....	15
4.1.7 Infračervená kamera – termovizní systémy.....	16
4.1.8 Kovostav.....	16
4.1.9 Metoda podle Malčíka.....	17
4.1.10 Metoda podle Markese .....	17
4.1.11 Metoda s využitím součinitele teplotní vodivosti.....	17
4.1.12 Měření dle normy DIN 52616 .....	17
4.1.13 Měření podle norem ASTM .....	18



4.1.14	Měření podle normy GOST 6068 – 51.....	18
4.1.15	Optické metody .....	18
4.1.16	Potíací torzo .....	18
4.1.17	Přístroj PSM-2.....	19
4.1.18	Přístroje řady TLP .....	19
4.1.19	Přístroj Textocalor FF 16 .....	20
4.1.20	Stanovení tepelné vodivosti Bockovou metodou .....	20
4.1.21	Statická metoda .....	20
4.1.22	Tepelný manekýn .....	21
4.1.23	Thermal Conductivity Analyser - C-therm TCI.....	21
4.1.24	Togmeter .....	22
4.1.25	Válec s vodou .....	23
4.1.26	Weissův přístroj.....	23
<b>5</b>	<b>Aerodynamika</b> .....	<b>24</b>
5.1	Fyzikální zákony aerodynamiky.....	24
5.1.1	Zákon kontinuity .....	24
5.1.2	Zákon zachování energie hybnosti a pohybu .....	25
5.1.3	Bernoulliho rovnice.....	25
<b>6</b>	<b>Aerodynamické tunely</b> .....	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Proudění tekutin</b> .....	<b>29</b>
7.1	Druhy proudění skutečné tekutiny.....	30
7.1.1	Laminární proudění .....	30
7.1.2	Turbulentní proudění.....	30
<b>8</b>	<b>Vlhkost vzduchu</b> .....	<b>32</b>
8.1	Měření vlhkosti vzduchu .....	33
8.1.1	Sorpční metoda.....	33
8.1.2	Psychrometrická metoda .....	33
8.1.3	Coulometrická metoda .....	33
8.1.4	Difúzní metoda .....	33
8.1.5	Absorpce infračerveného záření.....	33
<b>9</b>	<b>Rozbor článků, zabývajících se daným tématem</b> .....	<b>34</b>
9.1	Working in Cold Environment: Clothing and Thermophysiological Comfort.....	34
9.2	Heat and mass transfer through outerwear clothing for protection from cold: influence of geometrical, structural and mass characteristics of the textile layers .....	35

9.3	Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres .....	35
9.4	Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures .....	36
9.5	Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An Overview .....	36
9.6	The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties.....	37
9.7	Influence of the Structure of Woven Fabrics on Their Thermal Insulation Properties	37
9.8	Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles .....	38
9.9	Shrnutí .....	38
<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>		<b>39</b>
<b>10</b>	<b>Materiály .....</b>	<b>39</b>
10.1	Charakteristika použitých materiálů .....	40
<b>11</b>	<b>Metodika a podmínky měření .....</b>	<b>43</b>
11.1	Příprava vzorků .....	44
11.2	Příprava zařízení .....	44
<b>12</b>	<b>Realizace experimentu .....</b>	<b>46</b>
12.1	Zkušební měření.....	46
12.1.1	Naměřená data, vyhodnocení .....	46
12.1.2	Vybrané podmínky pro další měření .....	50
12.2	Hodnocení materiálů bez vlhkosti.....	51
12.3	Testování vlhkosti.....	51
12.3.1	Vyvíječ páry .....	51
12.3.2	Zajištění zavlhčení tunelu.....	52
12.3.3	Snímání vlhkosti.....	53
12.3.4	Metody vyvíjení páry .....	54
12.3.5	Vyhodnocení .....	55
12.4	Hodnocení materiálů s vlhkostí .....	58
<b>13</b>	<b>Vyhodnocení experimentu .....</b>	<b>59</b>
13.1	Porovnání průměrných hodnot tepelného toku .....	60
13.2	Porovnání párových alfametrů u všech typů materiálů.....	63
13.3	Porovnání párových alfametrů, teploty tunelu a válečku.....	69
<b>14</b>	<b>Diskuze výsledků .....</b>	<b>73</b>
<b>Závěr.....</b>		<b>75</b>

<b>Citovaná literatura</b> .....	77
<b>Seznam obrázků</b> .....	82
<b>Seznam tabulek</b> .....	82
<b>Seznam grafů</b> .....	83
<b>Seznam příloh</b> .....	83
<b>Příloha A</b> .....	84
<b>Příloha B</b> .....	97
<b>Příloha C</b> .....	110
<b>Příloha D</b> .....	123

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

značka veličiny	jednotka	název veličiny
T	[°C]	teplota
v	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost proudění vzduchu
R	[K.J <sup>-1</sup> ]	tepelný odpor
h	[mm]	tloušťka materiálu
$\lambda$	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	součinitel tepelné vodivosti
d	[m]	charakteristický rozměr objektu
$\nu$	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	dynamická viskozita tekutiny
q	[W.m <sup>-2</sup> ]	hustota tepelného toku
Q	[J]	množství tepla
$\tau$	[s]	čas
A	[m <sup>2</sup> ]	plocha textilie
$\alpha_c$	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	koeficient přestupu tepla
c	[m/s]	rychlost šíření vlny
b	[W.s <sup>-1/2</sup> .m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	tepelná jímavost
c	[J.K <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita
$\alpha$	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	teplotní vodivost
P	[kW]	elektrický výkon
p	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	tlak vzduchu
k	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	koeficient tepelné vodivosti
$\Delta T$	[K]	teplotní spád neboli rozdíl teplot
$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	specifická hustota
C	[J.K <sup>-1</sup> ]	tepelná kapacita
m	[kg]	hmotnost látky
$n_j$	[-]	hmotnostní zlomek i-té komponenty
$c_i$	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita i-té komponenty
$\omega_m$	[%]	poměrná hmotnost vlhkosti
$m_v$	[kg]	hmotnost vlhké látky
$m_s$	[kg]	hmotnost suché látky
v	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost
S	[m <sup>2</sup> ]	plocha

$E_k$	[J]	kinetická energie
$E_p$	[J]	potencionální energie
$\Phi$	[g.m <sup>-3</sup> ]	absolutní vlhkost
$\varphi, RH$	[%]	relativní vlhkost
$\Phi'$	[g.m <sup>-3</sup> ]	absolutní vlhkost nasyceného vzduchu
dQ	[J]	přírůstek tepla
dT	[K]	přírůstek teploty

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

zkratka	význam
a 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7	alfametr 0 až 7
PC	počítač
PES	polyester
PAD	polyamid
CO	bavlna
č.	číslo
obr.	Obrázek
ISO	International Organization for Standardization
Standardní podmínky	podmínky běžně se vyskytující v laboratoři

## Úvod

Lidský organizmus představuje jakýsi samoregulační systém, ve kterém je zapotřebí, aby bylo dosaženo rovnováhy mezi množstvím vytvořeného tepla a tepla odevzdaného do okolního prostředí, tímto dochází k zachování stálé tělesné teploty a tedy k tepelné pohodě člověka. Pokud je ovšem lidský organizmus vystaven působení proudícího vzduchu, je značně ochlazován, což vede k odvodu velkého množství tepla z povrchu pokožky. Aby nedošlo vlivem ochlazování organismu k jeho poškození, je potřeba ho izolovat a chránit od okolního prostředí, k tomu slouží oděv. Každý oděv má schopnost více či méně tepelně izolovat, některé materiály jsou využívány při extrémních podmínkách právě pro své dobré tepelně-izolační vlastnosti.

Tepelně-izolační vlastnosti textilií jsou ovlivněny celou řadou vnějších i vnitřních vlivů, jedním z nich je právě vlhkost. Se zvyšující se vlhkostí roste tepelná vodivost textilie, která udává schopnost nějaké látky vést teplo. Materiály mající vyšší tepelnou vodivost jsou tedy dobrými vodiči tepla, to je ovšem z hlediska tepelné izolace nepříznivé.

Tato diplomová práce si dala za cíl zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkosti vzduchu na měření tepelného toku při průchodu textilií v proudícím vzduchu. Vzorky vybraných materiálů jsou hodnoceny v zařízení umístěném v Aerodynamickém tunelu, kde je sledováno, do jaké míry jsou textilie schopny tepelně izolovat. Vliv vlhkosti nebyl zatím v zařízení Aerodynamického tunelu sledován, cílem práce je tedy navrhnout a posoudit možnosti testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu.

V rešeršní části této práce jsou shrnuty teoretické aspekty studované problematiky, jako jsou například základní informace o termofyziologickém komfortu, způsobu hodnocení tepelně-izolačních vlastností, popis zařízení Aerodynamického tunelu a základní informace o vlhkosti vzduchu. V experimentální části této práce je navržen a popsán experiment, zkoumající vliv vlhkosti vzduchu na tepelně-izolační vlastnosti vybraných textilií při měření v Aerodynamickém tunelu. V závěrečné části této práce jsou dána doporučení pro další vývoj v této oblasti.

# 1 Termofyziologický komfort

Komfort je jedním z důležitých aspektů pro výrobce oděvů a jejich uživatele, vyjadřující stav tepelné pohody, při němž člověk vydrží pracovat neomezeně dlouho, tedy stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie. [24]

**Termofyziologický komfort zajišťují tyto optimální podmínky:**

- teplota pokožky je 32 - 35 °C,
- relativní vlhkost vzduchu je  $50 \pm 10$  %,
- rychlost proudění vzduchu je  $25 \pm 10$  cm.s<sup>-1</sup>,
- obsah CO<sub>2</sub> je 0,07 %,
- nepřítomnost vody na pokožce.

Ovšem podmínky termofyziologického komfortu jsou individuální a závislé na pohlaví, stáří, fyzické a psychické kondici člověka.

Termofyziologický komfort ovlivňuje několik aspektů, jakými jsou například vlhkost vzduchu pod oděvem, vlhkost pokožky, teplota vzduchu pod oděvem a teplota pokožky.

Fyzikální vlastnosti textilií, ovlivňující termofyziologický komfort, zahrnují kombinaci přenosu tepla a hmoty. Jedná se o kombinaci závislou na čase a okolních podmínkách. Pro základní charakteristiku termofyziologického komfortu se využívá parametrů výparného a tepelného odporu. [63]

- Výparný odpor vypovídá o teplených účincích v důsledku odparu potu. Jeho velikost závisí na vlhkostním gradientu, tedy rozdílu parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a ve vnější vrstvě, dále pak na paropropustnosti oděvu pro vodní páry. Takto rozlišujeme celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor přilehlé mezní vrstvy vzduchu. Na velikosti těchto parametrů závisí míra ochlazování pomocí odparu.
- Tepelný odpor je výsledkem kombinace kondukčního (vedení), konvekčního (proudění) a radiačního (záření) tepla. Jeho velikost závisí na tom, do jaké míry každá ze složek přispívá k celkovému přenosu tepla. Rozlišuje se tepelný odpor oděvu a tepelný odpor přilehlé mezní vrstvy. Velikost naměřeného tepelného odporu se může měnit v závislosti na podmínkách při zkoušce. [29] [63]

## 1.1 Hodnocení termofyziologického komfortu textilií

Termofyziologický komfort je možné hodnotit pomocí přístrojů, které charakterizují příslušný děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka - oděv - prostředí, anebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému

režimu lidského těla. Druhý způsob hodnocení je v současné době častější, a to pro jeho věrnější vyhodnocení termofyziologického komfortu.

Přístroje a metody, používané při hodnocení termofyziologického komfortu textilií jsou detailně popsány v kapitole 4. Metodiky měření tepelně izolačních vlastností. [29]

## 1.2 Parametry ovlivňující termofyziologický komfort

Vnímání termofyziologického komfortu je ovlivňováno mnoha aspekty.

Aby byl člověk v tepelné pohodě, je zapotřebí, dosažení optima v jeho okolí, mezi vrstvami oděvu i v jeho metabolismu. Okolí člověka ovlivňuje teplotou, vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu. Dále závisí na vybraném oděvu a jeho počtu vrstev. Důležitý je i věk a pohlaví člověka, jeho tělesná postava, množství podkožního tuku a podobně. [29]

## 2 Tepelně izolační vlastnosti

Materiály s dobrou tepelně izolační schopností se využívají nejen v oděvním, ale i v celém technickém průmyslu jako izolanty. Je tedy důležité zabývat se tepelně izolačními vlastnostmi textilií. Faktory ovlivňující tepelně izolační vlastnosti textilií s sebou nesou řadu vnějších i vnitřních vlivů, materiálových konstant, součinitelů prostupu a přestupu tepla a mnoho dalších hodnot a veličin. Hodnocení tepelně izolačních vlastností vyžaduje používání spolehlivých testovacích prostředků a metod zkoumání.

V dalších kapitolách jsou uvedeny nejdůležitější veličiny popisující tepelně izolační vlastnosti materiálů. [29]

### 2.1 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je vyjádřena součinitelem tepelné vodivosti, jenž udává schopnost nějaké látky vést teplo. Představuje množství tepla, které projde stěnou krychle, jež má velikost jedné strany jeden metr, za jednu sekundu.

Rychlost odvodu tepla vrstvou je dána vztahem: [12]

$$\frac{Q}{t} = \lambda \frac{A \Delta T}{h}$$

Kde: Q ... množství převedeného tepla [J]

t ... čas [s]

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

A ... plocha textilie [ $\text{m}^2$ ]

h ... tloušťka textilie [m]

$\Delta T$  ... teplotní spád neboli rozdíl teplot [K]



Látky mající vysoký součinitel tepelné vodivosti jsou dobrými vodiči tepla. Hlavními zástupci jsou kovy, u nich je vedení tepla uskutečněno zejména volnými elektrony. Nejmenších hodnot tepelné vodivosti dosahují plyny, proto pevné látky s velkým množstvím malých mezer nebo dutin obsahujících vzduch vedou teplo velmi špatně a používají se jako dobré tepelné izolanty. Tepelná vodivost takovýchto materiálů závisí na jejich vlhkosti, struktuře, objemové hmotnosti, jemnosti vláken a podobně. [13]

## 2.2 Tepelný odpor

Jedná se o odpor, který je kladen nějakým tělesem proti šíření tepla. Plošný tepelný odpor udává množství tepla, které projde za jednotku času vrstvou materiálu o jednotkové ploše při jednotkovém teplotním spádu. Z následujícího vzorce tepelného odporu je patrná jeho závislost na tepelné vodivosti a tloušťce textilie. [15]

Tepelný odpor je dán vztahem: [14]

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{h}{\lambda}$$

kde:  $R$  ... tepelný rozdíl [ $\text{K}\cdot\text{J}^{-1}$ ]

$\Delta T$  ... teplotní spád [ $\text{K}$ ]

$Q$  ... množství převedeného tepla [ $\text{J}$ ]

$h$  ... tloušťka textilie [ $\text{m}$ ]

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

## 2.3 Teplotní vodivost

Teplotní vodivost udává rychlost šíření tepla materiálem. Teplotní vodivost roste s rostoucí rychlostí změny teploty v materiálu.

Teplotní vodivost je dána vztahem: [16]

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

kde:  $\alpha$  ... teplotní vodivost [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]

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

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

$\rho$  ... specifická hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

## 2.4 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost, někdy označována také jako jímavý puls, charakterizuje dynamiku tepelného děje při kontaktu s okolím. Udává pocit chladu a tepla. Platí závislost, že čím je menší tepelná jímavost, tím větší je hřejivost textilie. Tepelná jímavost závisí na složení, struktuře a povrchu daného materiálu.

Tepelná jímavost je dána vztahem: [17]

$$b = \frac{\lambda}{\alpha^{1/2}}$$

kde:  $b$  ... tepelná jímavost [ $\text{W}\cdot\text{s}^{-1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

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

$\alpha$  ... teplotní vodivost [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]

## 2.5 Tepelná kapacita

Jestliže jinak izolované těleso, v termodynamické soustavě, přijme element tepla  $dQ$  a zvýší-li se tím jeho teplota o  $dT$ , uvádí se, že soustava má tepelnou kapacitu. [12]

Tepelná kapacita je dána vztahem: [18]

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

kde:  $C$  ... tepelná kapacita [ $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$dQ$  ... přírůstek tepla [ $\text{J}$ ]

$dT$  ... přírůstek teploty [ $\text{K}$ ]

Vztáhneme-li tuto kapacitu na jednotku hmotnosti, získáme měrnou tepelnou kapacitu, která je dána vztahem: [19]

$$c = \frac{C}{m}$$

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

$C$  ... tepelná kapacita [ $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$m$  ... hmotnost látky [ $\text{kg}$ ]

Měrné teplo směsi je dáno vztahem: [19]

$$c = \sum_{j=1}^n n_j \cdot c_i$$

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

$n_j$  ... hmotnostní zlomek  $i$ -té komponenty [-]

$c_i$  ... měrná tepelná kapacita  $i$ -té komponenty [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

### **3 Tepelně izolační vlastnosti textilií**

Každý textilní materiál má schopnost více či méně tepelně izolovat. Schopnost udržet teplo a chránit tak nositele proti chladu, je nezbytnou vlastností oděvních výrobků. Z praxe je známo, že například vlněné oděvy zachovávají teplo velmi dobře a proto se využívají v zimních obdobích, oproti tomu výrobky ze lnu zachovávají teplo mnohem hůře, a proto se využívají v letních obdobích. [14]

Tepelné vlastnosti textilií patří k těm nejdůležitějším v textilním průmyslu, neboť určují základní funkci oděvů, v technické literatuře je proto hodnocení těchto vlastností stále diskutované téma.

Tepelnou vodivost vláken nelze přímo zjišťovat, je ovšem možnost pomocí různých měření vodivosti dané výsledky srovnávat. Hodnoty udávající tepelně izolačních vlastností materiálů jsou výrazně ovlivňovány přítomností vzduchu ve vláknech i v hotové textilii. Množství a také rozložení vzduchu v textilním materiálu je hlavní podmínkou pro jejich izolační vlastnosti. Při větším stěsnání vláken je tepelná vodivost dané textilie vyšší a tepelný odpor nižší než by tomu bylo naopak. [14]

#### **3.1 Faktory ovlivňující tepelně izolační vlastnosti textilií**

Tepelně izolační vlastnosti textilií jsou ovlivněny celou řadou vnějších i vnitřních vlivů, jedná se například o jednotlivé parametry vláken, použitou technologii zpracování, strukturu dané textilie, zaplnění, stlačitelnost, součinitele přestupu a prostupu tepla a mnoho dalších faktorů.

**V následujících podkapitolách budou popsány vybrané faktory ovlivňující tepelně izolační vlastnosti textilií.**

##### **3.1.1 Pórovitost textilie**

Materiály z velmi jemných vláken se prokazují malou tepelnou vodivostí a velkým tepelným odporem, je tomu proto, že se jejich použitím v textiliích získá veliký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem. Při použití hrubých vláken, která zajišťují dostatečnou odolnost vůči stlačení, se snižuje tepelný odpor. Použitím hrubých vláken jsou nepříznivě ovlivněny izolační vlastnosti textilie tak, že se v materiálu nevytvoří dostatečné množství uzavřených pórů. [16]

Je tedy vždy nutné zajistit optimální složení vlákenné směsi tak, aby hotový výrobek vyhovoval z hlediska vlastností, které jsou důležité při namáhání během stlačování a zároveň, aby plnil svoji tepelně izolační funkci. [16]

### 3.1.2 Vliv vlhkosti textilií

Tepelná vodivost textilie roste s její zvyšující se vlhkostí. Důvodem je ztráta vzduchových pórů. Bere-li se v úvahu, že  $\lambda_{\text{vzduchu}} = 0,0217 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a  $\lambda_{\text{vody}} = 0,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , pak má voda 23x větší tepelnou vodivost než vzduch v klidném stavu. Vodou nasycený pór v praxi představuje tepelný můstek, kterému nic nebrání v přenosu tepla, ke kterému nejčastěji dochází vedením. [17]

K dalšímu zvýšení vodivosti textilie dochází v případě přenosu výparného tepla, kdy dochází k odpařování kapaliny na jedné straně a její kondenzace na straně druhé.

Obsah vlhkosti je závislý na prostředí, ve kterém se materiál používá, je známo několik zdrojů vlhkosti (technologický, provozní, sorpční, srážkový zemní a zkondenzovaný). Obsah vlhkosti materiálu je udáván jako poměrná hmotnost vlhkosti a je dán rovnicí: [19]

$$\omega_m = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} \cdot 100$$

kde:  $\omega_m$  ... poměrná hmotnost vlhkosti [%]

$m_v$  ... hmotnost vlhké látky [kg]

$m_s$  ... hmotnost suché látky [kg]

### 3.1.3 Vliv stlačení textilií

Na tepelně izolační vlastnosti má podstatný vliv i stlačitelnost textilií. Tloušťka vrstvy, struktura materiálu, objemová hmotnost, tvar a velikost mezivláknenných prostor - stlačení textilie tyto veličiny výrazně ovlivňuje a tím i její tepelně izolační vlastnosti. Zatěžováním textilie klesá její tloušťka a s ní i tepelný odpor, možným řešením je použití hrubých vláken, ty zajišťují dostatečnou odolnost vůči stlačení, ovšem použití hrubých vláken nepříznivě působí na izolační vlastnosti textilií, to je dáno tím, že se v materiálu nevytvoří dostatečné množství uzavřených pórů. [17]

### 3.1.4 Vliv zaplnění

Podíl textilie připadající na mezivláknenné prostory závisí na zaplnění, který přímo ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti textilií. Schopnost izolovat závisí na počtu, tvaru a parametrech vláken a také na technologii zpracování. K velkému počtu uzavřených pórů vyplněných vzduchem vede použití krátkých, jemných a zkadeřených vláken a volbou technologie při výrobě rouna lze ovlivnit rozložení vláken v prostoru. [17]

## 4 Metodiky měření tepelně izolačních vlastností

Metodiky měření tepelně izolačních vlastností se zakládají převážně na měření termofyzikálních parametrů materiálů, kterými jsou například tepelná vodivost, teplotní vodivost nebo tepelný odpor. Všechny tyto metodiky spočívají na principu přivedení tepla k textilií a následném přechodu tepla zkoumaným materiálem. Izolační schopnost textilie se dá stanovit z tepelné vodivosti a tepelného odporu.

Pro měření tepelně izolačních vlastností se využívá mnoho různých metod a přístrojů, jež se odlišují principem a aplikovatelností. V následujících odstavcích je uveden přehled běžně využívaných přístrojů, starších typů přístrojů a nových nebo nekonvenčních metod hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií.

Měření tepelně izolačních vlastností lze provádět dvěma základními způsoby:

- Ve stacionárním stavu – zde se v závislosti na čase nemění teplota.
- V nestacionárním stavu – Teplota se v závislosti na čase mění.

Metody využívající měření ve stacionárním stavu jsou spolehlivější a přesnější. Jejich nevýhodou je dlouhá doba, potřebná k ustálení, tento čas může dosahovat i několika hodin.

Níže jsou uvedeny možnosti jiného rozdělení metodik měření tepelně izolačních vlastností:

- Metoda ochlazením – při této metodě je měřeno ochlazování oblečeného modelu těla, jehož vnější povrch je vystaven okolnímu vzduchu.
- Deskové metody - při této metodě je měřena hodnota tepelného toku vzorkem mezi dvěma deskami o různých teplotách.
- Metody konstantní teploty – při této metodě je měřena energie vyžadovaná k udržení kůže na konstantní teplotě, model těla je obalen hodnocenou textilií.

### 4.1 Přístroje a metodiky

V této kapitole jsou uvedena různá zařízení a metodiky, zabývající se hodnocením tepelně izolačních vlastností textilních materiálů.

#### 4.1.1 Aerodynamický tunel

Toto zařízení je blíže popsáno v kapitole Aerodynamické tunely a v Experimentální části této diplomové práce.

### 4.1.2 Alambeta

Tento přístroj, který byl vyvinut profesorem Hesem a docentem Doležalem, měří termofyzikální parametry textilií, a to jak stacionární tepelně izolační vlastnosti, jako jsou například tepelný odpor, tepelná vodivost, tak i vlastnosti dynamické, kterými jsou například tepelná jímavost a tepelný tok.

Jedná se o poloautomatický počítačem řízený přístroj, který je zároveň s měřením schopen vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů, a který také obsahuje autodiagnostický program zabraňující chybným operacím přístroje. Celá měřicí procedura, včetně měření tepelné vodivosti  $\lambda$ , tepelného odporu  $R$ , tepelného toku  $q_{\max}$ , tloušťky vzorku a statistického zpracování výsledků trvá zhruba 3 až 5 min.

Měřicí hlavice přístroje Alambeta je vyhřívána na teplotu  $35^{\circ}\text{C}$ , což je odpovídající konstantní teplota lidské pokožky, která si i po kontaktu s textilií díky průtoku krve tuto teplotu zachová. Jedná se o zařízení, které je nedestruktivní, minimální velikost vzorku je  $10 \times 10$  cm, maximální hranice není omezena.

Je důležité vkládat vzorky bez přehybů, zvlnění či nečistot a to pro dosažení přesného měření a nejlepšího tepelného kontaktu mezi vzorkem a měřicí hlavicí. Před vlastním měřením je důležité nechat nejprve klesnout měřicí hlavici bez vložení vzorku, kdy si přístroj nastaví tloušťku  $h_0$ [29]

### 4.1.3 Bioklimatické komory

V těchto komorách je umožněna simulace klimatických podmínek. Pro snímání hodnot teploty a vlhkosti se využívají speciální čidla, která jsou napojena na výpočetní systém. Svým principem jde o uzavřené komory, které mají regulovatelné vyhřívání plášťových stěn a přívod vzduchu dané teploty a vlhkosti včetně jeho výměny. Průchodkami ve stěnách jsou vedeny kabely tepelných a vlhkostních čidel. Jednotlivé hodnoty jsou registrovány. Teploty v komorách mohou být udržovány v intervalu  $-50^{\circ}\text{C}$  až  $+60^{\circ}\text{C}$ .

V komorách lze provádět testy jak na zkušebních osobách, tak na tepelných manekýnech. Při testování na živých osobách, které se individuálně liší, je zapotřebí velkého množství zkoušených osob proto, aby hodnoty byly reprodukovatelné. Na tomto zařízení lze testovat paropropustnost nebo pocitové vnímání lidí, a to v různých typech oděvů s nastavením příslušných klimatických podmínek. [29]

#### 4.1.4 Dynamická metoda stanovení tepelné vodivosti

Při této metodě je hodnocena tepelná vodivost v nestacionárním stavu.

Tento přístroj se skládá ze dvou měřících desek, které mají pokojovou teplotu. Mezi tyto desky je vkládán vzorek o teplotě 125 °C a dále je zaznamenáván pokles středové teploty a následně zjištěn tepelný rozptyl.

Tento způsob má řadu nevýhod, jako je například velmi obtížné stanovení času a teploty při počátku chladnutí, dále není známý tlak působící na materiál, na kterém je tepelný přenos závislý, a také ohřátí materiálu na vysokou teplotu, může vést ke změnám ve struktuře materiálu.

Zkušební přístroj se skládá z nádoby, která je vyhřívána vodou. Dno nádoby, jehož teplota je řízena termostatem slouží jako zářič tepla. [30]

#### 4.1.5 FOX 314 Instrument

Přístroj FOX 314 je mikroprocesorově ovládaný přístroj na měření součinitele tepelné vodivosti v rozmezí 0,005 – 0,35 [W.m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>] a to dle norem ASTM C 518, ČN EN 12667 a ISO 8301.

Na tomto zařízení je možné zkoumat vzorky o rozměrech 305 x 305 mm a tloušťce až 100 mm. Testovaný vzorek se vkládá mezi dvě desky, jež jsou podle potřeby termoelektricky ohřívány nebo ochlazovány na teplotu od -20 °C až do +95 °C.

Toto zařízení je složeno z komory a základny, kde je umístěna klávesnice a displej pro ovládání. Všechna elektronika je umístěna v základně. V přední části vzorkové komory jsou umístěna dvířka pro vkládání vzorků mezi dvě desky. Horní deska je pevná a spodní se může pohybovat směrem nahoru a dolů čtyřmi nezávislými krokovými motory.

Před samotným zapnutím přístroje je vždy důležité ujistit se, že je přístroj připojen k vodě, jinak by mohlo dojít k vážnému poškození přístroje. [31] [32] [33]

#### 4.1.6 Hotplate

Na přístroji EY50 Sweating Guarded Hot Plate je prováděno testování tepelného odporu a paropropustnosti za ustálených podmínek. Testovaným materiálem mohou být tkaniny, nátěry, pěny a kůže. Testovat lze i vícevrstvé materiály.

Na tomto zařízení lze testovat tepelný odpor až do 2000 [m<sup>2</sup>K.W<sup>-1</sup>] s rozlišením 0,001 [m<sup>2</sup>K.W<sup>-1</sup>]. Odpařovací rozsah odporu je 0 - 1000 [m<sup>2</sup>Pa.W<sup>-1</sup>] s přesností 1 [m<sup>2</sup>Pa.W<sup>-1</sup>]. Vzduch v komoře se pohybuje s rychlostí do 1,2 m.s<sup>-1</sup>. Teplotu zkušební desky je možné

nastavit na teplotu od 20° C do 50° C. Velikost desky je 304 × 304 mm a materiál může mít tloušťku až 50 mm. Přístroj má automatický přívod a odvod vody.

Toto zařízení může měřit podle několika standardů ASTM D 1518, ASTM F 1868 a ISO 11092, ty popisují různé metody a možnosti měření, kdy se mohou stanovovat například jednotky, klimatické podmínky při měření, rychlost proudění vzduchu, název měřené veličiny a podobně. Výhodou standardů je, že je možné naměřené hodnoty prezentovat i porovnávat s jinými laboratořemi. [34] [35] [36] [37]

#### **4.1.7 Infračervená kamera – termovizní systémy**

Infračervená kamera je zařízení používané k termografické analýze. Svou velikostí je srovnatelná s videokamerou, avšak zatímco videokamera je citlivá na viditelné světlo, které vydává objekt v zorném poli, termografická zařízení jsou citlivá na infračervenou radiaci.

Jedná se o velmi rychlou metodu umožňující přímé sledování změn povrchových teplot. Rozložení teploty na měřeném povrchu je na obrazovce zobrazeno termogramem. Termokamerou lze pozorovat, filmovat, popřípadě zaznamenávat různá paměťová digitální média.

Výhodou této metody je, že termogram v sobě nese informace nejen o vnitřním stavu a struktuře zkoumaného vzorku, ale i o jeho povrchových vlastnostech. Na základě vyhodnocování teplotních polí, lze získat řadu informací o nejrůznějších jevech a jejich průběhu, které nějakým způsobem souvisejí i se změnou teploty. Výhodou je také možnost zobrazit vývoj teplotních dat jako funkci času. [38] [39] [40]

#### **4.1.8 Kovostav**

Základem této metody je mosazná nádobka válcovitého tvaru s tepelně izolovaným dnem a víkem, která stojí na dřevěné desce s plstěnou podložkou, ta částečně omezuje tepelné ztráty dnem mosazného válce. V nádobce je zalisován rtuťový teploměr. Víko nádoby má otvor pro nalévání vody a zabroušenou zátku z tepelně izolačních materiálů. Testovaný vzorek je upnut kolem válce. Do válce se nalije voda a ohřeje se za stálého míchání na takovou teplotu, aby zchlazení na teplotu, při které se zkouší, trvalo nejméně 5 minut. [41]



#### **4.1.9 Metoda podle Malčíka**

Přístroj Teromex je jeden z prvních přístrojů pracujících na principu měření množství energie potřebné k udržení konstantní teploty čidla.

U tohoto zařízení je proudění kolem volného povrchu textilie vyvozeno rotací vytápěného válce, na jehož plášti je upevněn měřený vzorek. Čidlo tohoto zařízení je válcové a rotuje v klimatizovaném prostoru přístroje.

Výhodou válcového čidla je, že dokáže reagovat na rozdílnou strukturu textilií. Ovšem v praxi se tento přístroj neosvědčil, protože pouhou rotací nebyl zajištěn stabilní teplotní gradient v mezní vrstvě v okolí vzorku. [9] [53]

#### **4.1.10 Metoda podle Markese**

Tato metoda spočívá v tom, že textilie je položena na nekovovou desku, která současně se spodním povrchem testovaného vzorku textilie, je vytápěna niklovým drátem. Horní povrch vzorku je ochlazován proudícím vzduchem, rychlosti  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , známé teploty a vlhkosti. Měřená tepelná propustnost je úměrná příkonu, který je potřebný k tomu, aby se teplota ohřívací desky udržela na požadované teplotě. [9]

#### **4.1.11 Metoda s využitím součinitele teplotní vodivosti**

Tato metoda byla využita během studia působení vlákných strukturálních parametrů na tepelnou vodivost textilií.

Během testování byl zkušební vzorek složen ze 4 až 6 vrstev stejného materiálu a následně byl přiveden do kontaktu s vyhřívanou plochou. Teplotní čidlo bylo umístěno mezi vrstvami, a to nejčastěji pod první z nich, následně byla zaznamenávána závislost teploty na čase a z této závislosti v oblasti největšího teplotního vzestupu byla odvozována teplotní vodivost. Jedná se o metodu velmi jednoduchou, vyžadující minimum zařízení. [9]

#### **4.1.12 Měření dle normy DIN 52616**

Tato norma se využívá pro stanovení tepelné vodivosti. Materiálem pro vyhřívanou desku může být použit kov s velkou tepelnou vodivostí, jako je například měď. Testování se provádí přes dva oddělené vyhřevné okruhy. Při vyšších teplotách lze desky elektricky vyhřívat.

Tepelná vodivost je určena pomocí hustoty tepelného toku, přes měřič tepelného toku a teplotním rozdílu ve stacionárním stavu.

Povrchy desek musí být rovné. Mezi uloženými vzorky nesmí být přítomnost vzduchu. Teplotní rozdíl mezi povrchy vzorku bývá volen vyšší než 10 K. [9]

#### **4.1.13 Měření podle norem ASTM**

Tyto normy jsou definovány Americkou společností pro testování a materiály.

Pro zjištění tepelné propustnosti podle normy ASTM D1518 - 85 (2003) - Standardní zkušební metoda pro tepelné přenosy textilních materiálů, je používáno zařízení skládající se z testovací desky, vodícího kroužku a spodní desky a vše je elektricky vyhříváno na přibližnou teplotu lidské pokožky 33,3 – 36,5 °C.

Principem měření je umístění testovaného materiálu na desku s následným vložením do klimatické komory, ve které je možno nastavit a udržovat teplotu vzduchu v rozmezí 4,5 – 21,1 °C. Při relativní vlhkosti 20- 80 %.

Metoda se používá pro rozsah tepelné vodivosti 0,7 – 14 W.m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a tloušťku materiálu do 50 mm. [9]

#### **4.1.14 Měření podle normy GOST 6068 – 51**

Podle normy GOST 6068 – 51 se testují tepelné propustnosti za stacionárních podmínek. Princip měření spočívá v tom, že v tepelně odizolované krabici jsou umístěna dvě zařízení, a to ohříváč a chladič. Testovaný vzorek se vloží mezi desky ohříváče a chladiče. [9]

#### **4.1.15 Optické metody**

Shlenskii, Goncharuk a Gal'tsov vyvinuly měřící techniku analogickou optickým metodám měření hustoty a indexu lomu.

Princip této metody spočívá v ponoření testované textilie, popřípadě svazku vláken do tekutiny o známé tepelné vodivosti. K následnému určení tepelného odporu textilie se využije změna koeficientu tepelné vodivosti soustavy. [9]

#### **4.1.16 Potící torzo**

Jedná se o válec velikosti lidského trupu, který slouží k měření tepelného odporu a paropropustnosti. Tento přístroj byl vyvinut ve výzkumné laboratoři EMPA ve Švýcarsku.

Toto zařízení je složeno z jednotlivých vrstev materiálů, které jsou modelovány podobně jako lidské tělo, to znamená, že se skládá z pokožky, podkožní, tukové vrstvy a jádra. Jednotlivé vrstvy jsou vyrobeny z kompaktního teflonu, polyetylenu, polyamidu a alumina, s tím, že tyto materiály dosahují podobné tepelné kapacity a tepelné vodivosti jako příslušné vrstvy lidského těla. Je možné naplnit válec vodou, a to z toho důvodu, aby byla zajištěna přibližně stejná tepelná kapacita, jako je u lidského těla. Torzo obsahuje 36 potních trysek.

Válec je ohříván na teplotu lidského těla pomocí topných fólií. Pro určení teplot v jednotlivých vrstvách je na celém torzu umístěno 20 čidel. Ke snížení tepelných ztrát se torzo

obklopí tepelnými kryty. Torzo může být provozováno za konstantní teploty nebo při konstantním příkonu a je umístěno na přesných váhách pro stanovení odpařeného a kondenzovaného množství vody. [29]

#### Uspořádání testu:

Torzo se vloží vertikálně do klimatické komory a je vystaveno proudu vzduchu o rychlosti  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na jeho povrch se přiloží zkoušené vzorky a systém se uzavře vnějším pláštěm. Vodní nádrž pro simulaci potu je umístěna na váze mimo klimatickou komoru. Měření při příkonu  $500 \text{ W}$  trvá 4 hodiny a je rozděleno do pěti fází. [29]

#### **4.1.17 Přístroj PSM-2**

Na tomto zařízení lze testovat nejen tepelné odolnosti, ale také odolnosti vůči vodním parám pro různé textilie za podmínek simulujících lidskou pokožku.

Testování je řízeno pomocí počítačového softwaru a je prováděno v klimatizované laboratoři. Testovaná plošná textilie je během testování upevněná pomocí dvou rámečků na měřicí podložce a zakrytá víkem. V přístroji je udržovaná přesná teplota testovací podložky, a to  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po zahájení testu prochází vodní pára podložkou a hodnocenou textilií do vzduchového kanálu s kontaktním prouděním vzduchu o rychlosti  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Celý proces trvá přibližně 15 minut a je vyhodnocen za pomoci počítače a instalovaného softwaru. Výsledkem je tepelná odolnost a odolnost vůči vodním parám. [43]

#### **4.1.18 Přístroje řady TLP**

Jedná se o sérii měřících přístrojů německé společnosti Taurus Instruments GmbH, která slouží k měření součinitele tepelné vodivosti a tepelného odporu textilních materiálů.

Jednotlivá zařízení jsou složena z několika hliníkových desek. Jedna deska je elektricky vyhřívána a další chlazené desky ji obklopují shora a zdola.

V závislosti na konkrétním typu měří koeficient tepelné vodivosti v rozsahu  $0,015 - 1,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Teplotní spád je nastavitelný v rozsahu  $10 - 20 \text{ K}$ . Snímacím elementem jsou čtyři fólie osazené pěti až sedmi termočlánky, které jsou umístěny vždy mezi desku a vložený vzorek. Tloušťka vzorků je přípustná v rozsahu  $10 - 360 \text{ mm}$ .

Měření na přístroji je řízeno počítačem a je plně automatické. Nevýhodou tohoto měření je jeho zdlouhavost. [9]

#### **4.1.19 Přístroj Textocalor FF 16**

Výzkumným ústavem textilního průmyslu v Maďarsku byl vyráběn přístroj Textocalor FF 16.

U tohoto zařízení je testovaná plošná textilie napnuta kolem válcového termostatového tělesa, jehož průměr je 50 mm a délka 125 mm. Těleso je vyhříváno nastavitelným příkonem a je umístěno ve vzduchotechnickém kanálku. V tomto kanálku proudí vzduch rychlostí až  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a to ve směru kolmém na osu kalorimetrického válce. U tohoto zařízení je možné regulovat teplotu proudícího vzduchu v rozmezí  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Během testování je hodnocena spotřeba elektrického proudu, jenž je potřebný pro udržení stavu, kdy teplota po dobu 10 minut kolísá maximálně v rozmezí  $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ovšem z praktických zkušeností vyplynulo, že se jedná o málo spolehlivý přístroj. [9]

#### **4.1.20 Stanovení tepelné vodivosti Bockovou metodou**

Podstatou zkoušky je zjištění tepelné vodivosti rovného vzorku výpočtem hodnot z jeho tloušťky, množství tepla předaného mezi povrchy a rozdílu jejich teplot, a to v ustáleném stavu za definovaných podmínek.

Zařízení je složeno ze dvou vodorovných dutých desek zavlhčených vodou, popřípadě jinou tepelně nosnou látkou s termostatem. Do horní teplejší desky je vsazené elektricky vyhřívané tělísko deskového tvaru, její teplota je udržována automatickým regulačním systémem. Elektrický příkon tělíska se seřídí podle předpokládané tepelné vodivosti a tloušťky materiálu. Měřidlem pro tepelný tok je jeho velikost, která je určena elektrickým počítadlem. Teplota látky, procházející deskami, je měřena na vstupu a výstupu z desky.

Při měření se vzorky vloží mezi desky přístroje, zapne se elektrický proud a seřídí se teplota výhřevného tělíska. Po dosažení ustáleného stavu, tedy stavu kdy se minimálně tři měření po tři minuty neliší o víc jak 5 %, se měření ukončí. Dále se odpočítávají hodnoty potřebné pro výpočet tepelné vodivosti. [9]

#### **4.1.21 Statická metoda**

Při této metodě je hodnocena tepelná vodivost, kdy dodávané teplo prochází měřeným vzorkem v ustáleném stavu.

Měřicí zařízení je složeno ze dvou kovových tlakových nádob, kdy horní nádoba je ohřívána termostatem s konstantně cirkulující vodou o průtokové rychlosti  $5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Ve spodní nádobě cirkuluje voda o teplotě  $20,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Stálou teplotu zajišťuje termostat. Vzorek je vložen do izolačního mezikruží, zabraňujícímu úniku tepla do okolí.

Vzdálenost mezi oběma plochami lze měnit stavěcími šrouby podložní desky s přesností desetin milimetru. Při nastavení vzdálenosti se zároveň nastavuje tlak působící na zkoušený vzorek. Tepelný tok měří senzor na povrchu spodní nádoby. Rozdíl teplot mezi povrchy vzorku se zjišťuje pomocí diferenciálního termočlánu.

Pro zjištění skutečného rozdílu teplot mezi horním a dolním povrchem vzorku se využívá dvou termočlánu. Kdy jeden termočlánek je umístěn pod povrchem senzoru, který se nachází na dně spodní tlakové nádoby. Druhý termočlánek je umístěn nad horním povrchem testovaného vzorku. [44] [45] [30]

#### **4.1.22 Tepelný manekýn**

Stejně jako u vyhřívaného torza, je tepelný manekýn, jakousi náhradou lidského těla tím, že splňuje ty nezákladnější termoregulační funkce. Na rozdíl od torza je tepelný manekýn v některých případech schopen i neomezeného pohybu.

Jedná se o tepelné zařízení, které je rozděleno až na 17 nezávislých tepelných segmentů. Tyto segmenty udržují své povrchové teploty na průměrné hladině 33 °C a umožňují přesné měření elektrického příkonu  $P$  [W], ten je potřebný pro věrnou simulaci rozdělení tepla v lidském těle. Z těchto hodnot jsou získány úrovně tepelného toku odváděného do okolí.

Nejprve jsou změřeny tepelné toky pro neoblečeného manekýna. Ty jsou následně použity pro výpočet vnějšího odporu těla bez vlivu oděvních vrstev. V dalším kroku je testován manekýn oblečený. A nakonec je vypočten celkový tepelný odpor. [29]

#### **4.1.23 Thermal Conductivity Analyser - C-therm TCI**

C-Therm, zkráceně TCI je zařízení, které vyrábí firma C-therm technologies LTD. Na tomto zařízení se měří tepelná vodivost a tepelná jímavost textilních struktur, lze ho využívat i pro hodnocení vrstvených materiálů. Toto zařízení dosahuje širokého teplotního rozsahu testovaných látek od -50 °C až do +200 °C.

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

Analyzátor tepelné vodivosti TCI slouží ke zjišťování součinitele tepelné vodivosti textilních struktur převážně plošných textilií a jejich tepelné jímavosti. Tato metoda je časově nenáročná a zobrazení výsledků je okamžité. Přístroj není potřeba složitě kalibrovat a ani není nutná speciální příprava vzorků.

Toto zařízení využívá jednostranný kontaktní teplotně odrazivý snímač, jenž se skládá z měřicího čidla, řídicí elektroniky a PC softwaru. Ve snímači se nalézá topné těleso, čidlo, ve

tvaru spirály, který je obemknutý ochranným kroužkem. Teplo proudí v průběhu testu směrem od senzoru do materiálu. Přesně definovaný proud je aplikovaný na čidlo topného tělesa, které následně produkuje malé množství tepla. Výsledkem je pak nárůst teploty na rozhraní mezi senzorem a vzorkem. Tento nárůst teploty na rozhraní snímače vyvolá změnu, úbytek napětí čidla. Tempo růstu napětí ve snímači se používá k určení tepelně fyzikálních vlastností materiálu vzorku. Tepelná vodivost vzorku je nepřímo úměrná tempu růstu napětí na snímači. Nárůst napětí je strmější, pokud je materiál více tepelně izolační. Přenos tepla mohou ovlivňovat další parametry, jakými jsou druh materiálu, povrch materiálu, sočivost, a podobně.

Tento přístroj využívá více metod testování. Používá se vždy taková zkušební metoda, která odpovídá úrovni testovaného materiálu. [46] [47] [48] [49]

#### **4.1.24 Togmeter**

Přístroj Togmeter byl vyvinut britskou společností Shirley Technologies Ltd. A slouží k měření tepelného odporu v jednotkách TOG. Pracuje v souladu s normou ISO 5085 A BS 4745. Je pojmenován podle jednotky TOG definované rovněž Shirley institutem jako vedlejší jednotka tepelného odporu.

Toto zařízení by mělo být používáno za standardních laboratorních podmínek podle definice v normě ISO 139, relativní vlhkost je  $65\% \pm 2\%$  a teplota  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zkušební vzorky jsou kruhové o průměru 330 mm, bez pomačkání a záhybů. Před zkouškou musí být uloženy na minimálně 24 hodin v klimatizované komoře.

Toto zařízení umožňuje určovat tepelný odpor, a to u tkanin, vrstvených materiálů, netkaných textilií, roun a podobně, v ustáleném stavu. Přístroj je vybaven teplotními senzory a vyhřívané těleso je ovládané digitálním ovladačem teploty pro stanovení tepelného odporu a tepelné vodivosti textilií. Přístroj je uložený ve skříni s řízeným prouděním vzduchu.

Na tomto zařízení lze testovat dvě metody měření. První metoda je se dvěma deskami a druhá metoda je s jednou deskou. [43] [50] [51]

##### **Metoda se dvěma deskami**

Tato metoda se běžně využívá u materiálů, které jsou při použití chráněné před okolním vzduchem, to znamená materiály, které jsou zakryté. U této metody se vzorek textilie pokládá na vyhřívanou desku a na něj je položena studená deska pod tlakem 6,9 Pa. Následně je spuštěno vyhřívání a po dosažení ustáleného stavu se odpočítávají teploty v každém z třech termoelektrických bodů CH1, CH2, CH3. Termoelektrický bod CH3 se používá k měření teploty vzduchu. Tato zkouška se zopakuje bez vzorku. [43] [50] [51]

## **Metoda s jednou deskou**

Při této metodě se vzorek položí na vyhřívanou desku, přičemž vnější strana je nezakrytá a strany vzorku je potřeba olepit lepicí páskou. Po dosažení ustáleného stavu je způsob stejný jako u první metody. [43] [50] [51]

### **4.1.25 Válec s vodou**

Tato metoda se řadí mezi nestacionární metody. Jedná se o srovnávací metodu, která je používána při porovnání úbytku tepla různých druhů plošných textilií.

Princip této metody je založen na postupném ochlazování povrchu měřeného tělesa. Zkoumaný vzorek textilie je navlečen na válcové nádobě, následně je do nádoby nalita voda při počáteční teplotě 80 °C a válec je usazen na tepelně izolační podložku. Zaznamenává se pokles teploty, dále se měří časová diference potřebná k ochlazení válce z 50 °C na 40 °C a konstanta rychlosti ochlazování. [52]

### **4.1.26 Weissův přístroj**

Toto zařízení patří mezi jedny z nejstarších zařízení zabývajících se hodnocením tepelně izolačních vlastností textilií.

Principem měření je, že tepelný tok prochází z horní desky přes vložený vzorek směrem k desce dolní. Tloušťku mezery mezi deskami lze volně nastavovat. Teplotu vyhřívané desky lze regulovat pomocí takzvaného padáčkového regulátoru, s tím, že se uvádí, že kolísání teploty je nejmenší tehdy, je-li během jednoho měření doba, kdy byl přívod proudu vypnut, přibližně rovna době jeho zapnutí. Tedy se jedná o dvoustavovou nejakostní regulaci, která je neschopna zjistit regulační odchylku blízkou nule. [9]

## 5 Aerodynamika

Tato diplomová práce se zabývá testováním tepelně izolačních vlastností v proudícím vzduchu, je tedy nezbytné zmínit zde definici a základní fyzikální zákonitosti aerodynamiky.

Odborná definice aerodynamiky zní: „*Aerodynamika se zabývá prouděním tekutin kolem těles v tekutině ponořených a silami, které toto proudění na tělesech vyvolávají.*“ [1]

Aerodynamika se ve fyzice zařazuje do části mechaniky, přesněji do takzvané mechaniky tekutin, kdy se bere zřetel na proudění plynů kolem těles. Plyny a kapaliny jsou souhrnně nazývány tekutinami, jelikož některé zákony a vlastnosti, kterými se řídí pohyb plynů, lze se značnou mírou přesnosti použít také na kapaliny a to zejména u nižších rychlostí proudění. [2]

Aeromechanice se někdy říká mechanika vzdušin, kdy pojem vzdušina představuje tekutiny, které mohou měnit svůj objem podle příslušného tlaku popřípadě teploty. Jedná se o takové tekutiny, které přizpůsobují svůj objem prostoru, ve kterém se nachází, a tudíž netvoří volnou hladinu, jedná se o plyny a páry. Aerodynamika tedy řeší pohyb těles ve vzdušině. [3]

### 5.1 Fyzikální zákony aerodynamiky

Aerodynamika se řídí příslušnými fyzikálními zákony, které vycházejí ze zákonů hydrostatiky a hydromechaniky. Jedná se o zákon spojitosti průtoku, jinými slovy zákon kontinuity, a zákon zachování energie, známý jako Bernoulliho zákon. [4]

#### 5.1.1 Zákon kontinuity

Jedná se v podstatě o zákon o zachování hmotnosti. Z toho vyplývá, že v průběhu mechanického procesu hmota nemůže ani vzniknout ani zaniknout, což znamená, že hmota na začátku mechanického jevu je rovna velikosti hmoty na konci tohoto mechanického jevu. [2]

Ideální kapalina a plyn jsou nestlačitelné, tudíž nemůže dojít například ke změně hustoty. Víme tedy, že změny, které nastávají, jsou vyváženy rychlostí kapaliny, a to například v potrubí. Pro zjednodušení předpokládáme, že kapalina a plyn jsou nestlačitelné. [1]

Rovnice kontinuity je dána vztahem: [5]

$$\rho \cdot S \cdot v = konst.$$

kde:  $\rho$  ... hustota proudu [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$S$  ... plocha kolmá na vektor rychlosti (průřez potrubím, kterým kapalina proudí)[ $\text{m}^2$ ]

$v$  ... rychlost proudu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Ideální kapalina v reálném světě samozřejmě neexistuje, avšak pro zjednodušení výpočtů lze uvažovat o tom, že v kapalině nedochází k vnitřnímu tření, a že je nestlačitelná v celém svém objemu. [5][6]

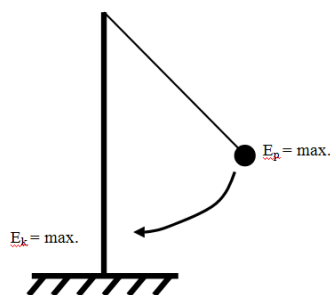


Pokud zmenšíme průměr trubice, musí zákonitě stoupnout rychlost, kterou se kapalina v trubici šíří a opačně. [5][6]

### 5.1.2 Zákon zachování energie hybnosti a pohybu

Další důležitý zákon je zákon zachování energie hybnosti a pohybu. Jedná se o obdobu zákona zachování hmotnosti. Kupříkladu v trubici nemůže energie ani hybnost samovolně vznikat nebo zanikat, může dojít pouze, ke změně forem z energie potenciální na kinetickou nebo naopak, čímž se mění hybnost kapaliny. Ovšem zde platí, že množství energie, které se přetransformovalo na jiný druh energie, musí být ve stejném množství jako energie v prvotním impulzu. [1]

Prakticky to lze předvést na matematickém kyvadle, kdy při vychýlení kyvadla do krajní polohy, je potenciální energie nejvyšší a v momentě, kdy je kulička uvolněna, se energie potenciální přeměňuje na energii kinetickou, přičemž v nejnižším bodě má kinetická energie největší hodnotu. V okamžiku, kdy kulička dojde do opačného bodu, než je bod, kde byla uvolněna, se na moment zastaví a v tomto momentu se přeměňuje zbytek množství kinetické energie v energii potenciální. V popisu tohoto děje je zanedbán jakýkoliv vliv prostředí a ostatních nežádoucích vlivů, které by ovlivnily tuto soustavu. [1]



Obrázek 1 - matematické kyvadlo

### 5.1.3 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice vzniká pomocí výše uvedených zákonů a je pojmenovaná podle svého objevitele Daniela Bernoulliho (1700-1780).

V potrubí, kde ve všech místech není stejný průřez, není zákonitě ani stejný tlak a rychlost. V závislosti na tomto tvrzení je zapotřebí určit kinetickou energii kapaliny, která zní po úpravě na jednotkový objem následovně: [7]

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

kde:  $E_k$  ... kinetická energie [J]

$\rho$  ... hustota kapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

v ... rychlost kapaliny [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Pokud dojde ke zvýšení podílu kinetické energie, musí se podle zákona o zachování energie zmenšit podíl tlakové potenciální energie, která vztažená na jednotkový objem zní následovně:[7]

$$E_p = p$$

kde:  $E_p$  ... potenciální energie [J]

$p$  ... tlak [Pa]

Jelikož se nemůže mechanická energie měnit na jiné formy energie, tak součet kinetické a potenciální tlakové síly musí být pro různé průřezy trubice stejný, z čehož vyplývá, že: [7]

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = \textit{konst.}$$

V Bernoulliho rovnici se vyskytují dva tlaky a to tlak dynamický [ $1/2 \cdot \rho \cdot v^2$ ] a tlak statický [ $p$ ], tyto tlaky jsou dále v aerodynamice využívány.

Tlak dynamický se vyskytuje v reálných tekutinách, kdy kapalina působí na těleso anebo v opačném případě, kdy je kapalina v klidu a těleso se v ní pohybuje. Díky tomuto tlaku působí proti tělesu takzvaný dynamický odpor v kapalinách, a také dává za vznik dalšímu velice důležitému jevu, kterým vztlak, ten se hojně využívá například v letectví. Dynamický tlak můžeme vypočítat z rozdílu celkového tlaku a statického tlaku. Pokud sledujeme plyn, hovoříme o tlaku aerodynamickém, pokud však kapalinu, nazýváme tento tlak jako tlak hydrodynamický. [7] [8]

Tlak statický je důsledkem tíhy kapaliny. U kapalin je nazýván tlakem hydrostatickým a u plynů tlakem aerostatickým. V praxi se tento tlak využívá především u balónů čili při velkých sloupcích nebo u velkých tlaků vzduchu pro jejich malou hustou. [7] [8]

## 6 Aerodynamické tunely

Základem každého aerodynamického tunelu je proud vzduchu, vytvářený obvykle pomocí ventilátoru, v některých aerodynamických tunelech se využívají vysokotlaké nádoby. Vzhledem k tomu, že hustota vzduchu je téměř konstantní, je nejvyšší rychlost dosažena v nejmenším průřezu, který je používán jako zkušební úsek pro umístění testovaných materiálů. Hlavní rozdíly aerodynamických tunelů jsou v otevřeném nebo uzavřeném proudění vzduchu a v různých tvarech testovacích úseků. [10]

### Aerodynamické tunely s otevřeným okruhem

Nejjednodušším tunelem s otevřeným okruhem je takzvaný Eiffelův typ. Tento typ tunelu má nižší náklady na výstavbu, je vhodnější pro použití látek, jako je kouř nebo výfukové plyny z běžícího motoru. Nevýhody tohoto typu tunelu jsou zejména větší energetická náročnost, než u tunelu uzavřeného typu a vliv okolních podmínek na proudění, což znamená, že je-li tunel umístěn venku, pak vítr může mít velký vliv na kvalitu a rychlost průtoku vzduchu ve zkušební části. Mimo to hluk ventilátoru a jeho pohonné jednotky jde přímo ven a v případě většího aerodynamického tunelu to může vést až k porušení hlukových limitů. [10]

### Aerodynamické tunely s uzavřeným okruhem

Většina velkých aerodynamických tunelů je konstruována na základě tunelu s uzavřeným okruhem a to zejména díky jejich menší energetické náročnosti a nezávislosti na okolních podmínkách jako vítr. Tyto aerodynamické tunely mohou mít horizontální nebo vertikální konstrukci. Tyto typy tunelů jsou méně hlučné a podmínky proudění vzduchu lze jednoduše ovládat. Nevýhody této konstrukce jsou relativně vyšší náklady na výstavbu, hromadění kouře, pokud vzniká při testování nebo hromadění teploty, k čemuž dochází v důsledku tření vzduchu o stěny tunelu během dlouhého testování. Z tohoto důvodu bývají tyto typy tunelů vybaveny vzduchovými výměníky. Tyto vzduchové výměníky jsou trvale otevřené a tak probíhá neustálá výměna vnitřního vzduchu s okolním vzduchem. [10]

### Aerodynamický tunel na katedře oděvnictví

Na katedře oděvnictví fakulty textilní Technické univerzity v Liberci byl v letech 2001 až 2002 sestaven aerodynamický tunel pro hodnocení prodyšnosti a tepelně izolačních vlastností oděvních textilií za podmínek proudícího vzduchu. [11]

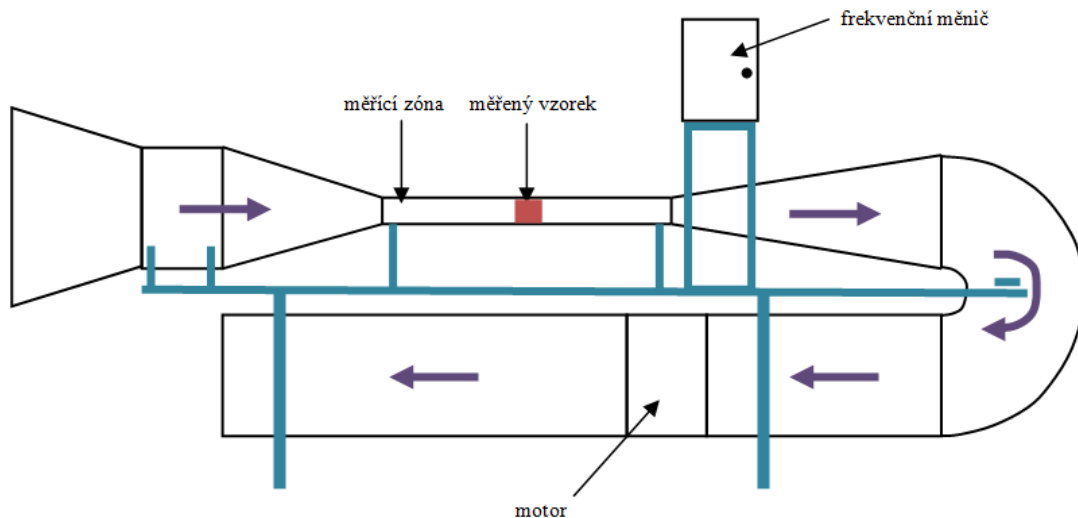
Ve větrném tunelu probíhá simulace působení vnějších podmínek na různé oděvní součásti a materiály. Je zde možnost simulovat reálné prostředí s proudícím vzduchem s různými rychlostmi proudění, tyto rychlosti mohou přesahovat až  $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Tento tunel využívá moderní asynchronní regulovaný pohon, který je řízen výkonným a velice přesným frekvenčním měničem s vektorovým řízením. Měření a sběr dat je zaznamenáván stavebnicovým měřicím systémem ALMEMO. Tento systém je schopen snímat desítky fyzikálních, chemických a elektrických veličin ve stejném okamžiku. [9]

Celková délka větrné trati je 5 metrů a má jednu měřicí zónu s parametry 0,1 x 0,4 x 1,2 metrů. Měřicí zóna, vstupní konfuzor a výstupní difuzor jsou vyrobeny z organického skla, pro detailní pozorování zkoumaných textilií. [11]

Rychlost proudění vzduchu ve větrném tunelu lze nastavit v rozmezí 0 až 20 m.s<sup>-1</sup>. Proudění vzduchu je zajišťováno pomocí radiálního ventilátoru napojeného na třífázový asynchronní motor s výkonem 1,5 kW a maximálními otáčkami 1420 ot.min<sup>-1</sup>. [11]

Získané parametry jsou zaznamenávány do výstupního souboru. [11]



Obrázek 2 - Aerodynamický tunel na katedře oděvnictví [9] [11]

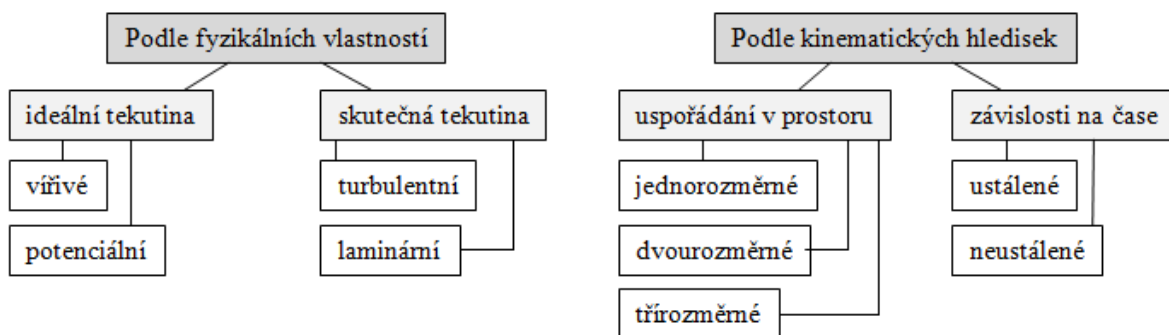
## 7 Proudění tekutin

Prouděním nebo také pohybem tekutin se zabývá hydrodynamika, u kapalin a aerodynamika u plynů.

Proudění se hodnotí v prostoru, rovině nebo po křivce a to buď sledováním pohybu určité částice tekutiny jako hmotného bodu, nebo se sleduje celý proud v určitém časovém okamžiku. Dráha neboli trajektorie je obecně čarou, kterou probíhá částice tekutiny. Za ustáleného proudění se dráhy částic nemění s časem, zatím co u neustáleného proudění mohou být v každém časovém okamžiku odlišné. [25] [26] [27] [28]

### Rozdělení proudění

Proudění tekutin lze rozdělit podle několika hledisek.



Obrázek 3 - rozdělení proudění tekutin

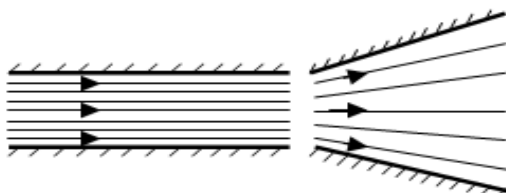
V mechanice tekutin se nejčastěji zavádí pojmy skutečná a ideální tekutina. Skutečné tekutiny se projevují stlačitelností a viskozitou, kdežto tekutiny ideální jsou nestlačitelné a bez vnitřního tření, tedy viskozity. [26] [27] [28]

Ideální tekutiny jsou užívány pro jednodušší způsob odvozování různých zákonitostí, které pomáhají i při zkoumání tekutin skutečných. [26] [27] [28]

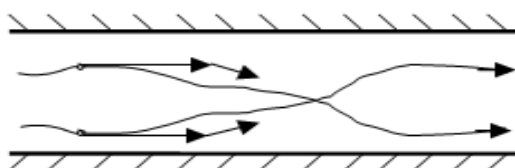
Tato práce se bude zabývat pouze prouděním tekutin skutečných, a to prouděním laminárním a turbulentním. A to z důvodu výskytu těchto typů proudění v Aerodynamickém tunelu, na kterém bude probíhat experimentální část této diplomové práce.

## 7.1 Druhy proudění skutečné tekutiny

U skutečných tekutin rozlišujeme dva typy proudění a to proudění laminární, kdy se částice pohybují ve vrstvách (deskách), aniž by se přemísťovali po průřezu a proudění turbulentní, kde částice mají mimo postupné rychlosti rychlost turbulentní (flukтуаční), pomocí které se přemísťují po průřezu, viz Obrázek 2 a Obrázek 3. [26] [27] [28]



Obrázek 4 - pohyb částic při laminárním proudění [26] [27] [28]



Obrázek 5 - pohyb částic při turbulentním proudění [26] [27] [28]

### 7.1.1 Laminární proudění

Laminární proudění je podstatně jednodušší než proudění turbulentní, v technické praxi se vyskytuje tam, kde jsou malé průtočné kanály, větší viskozita kapaliny a menší průtokové rychlosti. Při řešení laminárního proudění se uplatňuje Newtonův vztah. Newton formuloval zákon, podle něhož je tangenciální napětí v tekutině při laminárním proudění úměrné dynamické vazkosti a gradientu rychlosti. [26] [27] [28]

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr} = \eta j$$

Tekutiny, jež se řídí tímto zákonem, jsou nazývány newtonské tekutiny. Tekutiny, pro které nelze závislost  $\tau = f(j)$  vyjádřit touto rovnicí se nazývají nenewtonovské. Takové srovnání ovšem platí pouze v laminární oblasti proudění, jelikož při proudění turbulentním roste odpor a tedy i teční napětí a to v důsledku flukтуаčních rychlostí. [26] [27] [28]

### 7.1.2 Turbulentní proudění

Podle kinetické teorie se molekula tekutiny pohybuje náhodnou rychlostí v čase i prostoru, tyto molekuly se navzájem srážejí, nebo narážejí na stěnu nádoby, což se projevuje jako statický tlak. Jako důsledek tohoto náhodného pohybu vzniká vnitřní tření v proudící

tekutině. U laminárního proudění se částice tekutiny pohybují uspořádaně. Tyto částice tekutiny se ale skládají z molekul, které se pohybují náhodným neuspořádaným pohybem. Pohyb těchto molekul můžeme považovat za složený z uspořádaného makroskopického pohybu a náhodných fluktuací. Vlivem fluktuací se může dostat molekula z oblasti větší makroskopické rychlosti do oblasti menší makroskopické rychlosti a při nárazu na jinou molekulu se zpomalí, přičemž molekula na níž narazila se zrychlí a odevzdá jí část své hybnosti. Opačně je tomu, přechází-li molekula z oblasti menší rychlosti do oblasti větší rychlosti, kdy se její hybnost při nárazu zvětší. Tak dochází ke sdílení hybnosti mezi oblastmi tekutiny s rozličnou rychlostí, což se projevuje jako vnitřní tření tekutiny. [25] [26] [27] [28]

Turbulentní proudění si lze představit jako náhodný pohyb částic tekutiny, tedy objemů, které obsahují větší množství molekul, přičemž pohyb částic se skládá z uspořádaného středního pohybu a z náhodných fluktuací, z toho vyplývá podobnost mezi chováním molekuly a chováním částice tekutiny. Ovšem pohyb turbulentní je pohyb kontinua, naopak u molekul se jedná o pohyb diskrétních částic, jejichž volná dráha je menší než střední měřítko turbulentního pohybu. U turbulentního proudění vzniká tečné napětí, které není určeno pouze vnitřním třením v tekutině a rychlostním gradientem jako u laminárního proudění, ale také změnou hybnosti makroskopických částic následkem jejich pronikání mezi sousední vrstvy. Tento neuspořádaný pohyb vyvolá takzvaná přídavná turbulentní napětí, také nazývaná napětí Reynoldsova. [25] [26] [27] [28]

### **Charakteristiky turbulentního proudění**

Pro turbulentní proudění jsou charakteristické určité vlastnosti. Těmito vlastnostmi jsou:

1. Náhodný charakter rychlosti i ostatních parametrů turbulentního proudění.
2. Turbulentní proudění je vířivé.
3. Kaskádovitý přenos energie. Kdy turbulentní proudění obsahuje víry, tedy prostorové struktury, různých velikostí. Veliké víry se rozpadají na menší, a nejmenší víry se disipací energie přeměňují na teplo, tomuto jevu se říká kaskádovitý proces.
4. Disipativnost turbulentního proudění. [25] [26] [27] [28]

## 8 Vlhkost vzduchu

Experimentální část této diplomové práce se bude věnovat vlivu vlhkosti vzduchu na tepelně izolační vlastnosti vybraných materiálů, proto je nezbytné zmínit se o vlhkosti vzduchu, jejích základních vlastnostech a způsobech měření.

Vlhkost vzduchu je jednou ze sledovaných parametrů, který stanovuje určité množství vodních par obsažených v daném množství vzduchu. Množství vodní páry ve vzduchu může nabývat pouze určité maximální hodnoty, které se říká stav nasycení, po tomto stavu dochází ke kondenzaci. Vlhkost vzduchu udávají níže uvedené základní vlastnosti: [20]

### Absolutní vlhkost – $\Phi$ ... [g.m<sup>-3</sup>]

Absolutní vlhkost udává hmotnost vodní páry v určité jednotce objemu. Absolutní vlhkost vzduchu je určena vztahem: [20]

$$\Phi = \frac{m}{V}$$

### Relativní vlhkost - $\varphi$ ... [%]

Relativní vlhkost vzduchu je poměr mezi aktuálním množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by obsahoval vzduch při plném nasycení o stejné teplotě a tlaku. Relativní vlhkost je určena vztahem: [20]

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi'}$$

kde:  $\Phi'$  ... absolutní vlhkost nasyceného vzduchu [g.m<sup>-3</sup>]

### Rosný bod

Rosný bod je teplota, při které se vzduch následkem izobarického ochlazování stane nasyceným bez dodání vodní páry zvnějšku. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu dochází ke kondenzaci vodní páry obsažené ve vzduchu a dochází například k tvorbě se rosy či mlhy. [20]

### Sytostní doplněk

Sytostní doplněk je rozdíl tlaku nasycené vodní páry při určité teplotě vzduchu a skutečného tlaku vodní páry při stejné teplotě. [20]

### Směšovací poměr

Směšovací poměr je vyjádřen jako podíl hmotnosti vodní páry k hmotnosti suchého vzduchu v daném objemu vzduchu. [20]

### Deficit teploty rosného bodu

Deficit teploty rosného bodu je rozdíl teploty vzduchu a teploty rosného bodu. Čím menší je relativní vlhkost tím jsou jeho hodnoty větší. [20]



## 8.1 Měření vlhkosti vzduchu

Pro měření vlhkosti vzduchu se využívají různé metody, které jsou uvedeny v této podkapitole.

### 8.1.1 Sorpční metoda

Nebo také hygrometrická metoda, která využívá vhodných tuhých materiálů, jež vlivem sorpční vlhkosti mění svůj elektrický odpor, dielektrické vlastnosti, délku a podobně. Jedná se o velmi jednoduchou a spolehlivou metodu. [23]

### 8.1.2 Psychrometrická metoda

Při této metodě se využívá dvou teploměrů, suchého a mokrého a relativní vlhkost vzduchu je dána psychrometrickým rozdílem, tedy vztahem: [23]

$$\varphi = \frac{p_m''}{p_1} - \frac{p_s''}{p_1} A(v_1 - v_m)$$

### 8.1.3 Coulometrická metoda

Tato metoda se používá pro měření velmi malých vlhkostí. Kdy tenká vrstvička oxidu fosforečného pohlcuje z měřeného plynu vlhkost, která se ihned elektrolyzuje proudem dodávaným vnějším zdrojem a tento potřebný proud je přímo úměrný vlhkosti plynu. [23]

### 8.1.4 Difúzní metoda

Při této metodě se využívá nestejně rychlosti difúze vzduchu a vodní páry pórovitou přepážkou. Tato metoda má velkou odezvu a není příliš citlivá. [23]

### 8.1.5 Absorpce infračerveného záření

Při použití záření o vlnové délce odpovídající vibracím molekuly vody je jeho absorpce přímo úměrná vlhkosti plynu. [23]

## **9 Rozbor článků, zabývajících se daným tématem**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou hodnocení tepelně izolačních vlastností v proudícím vzduchu, tedy na aerodynamickém tunelu a to se zaměřením vlivu vlhkosti.

Pro správně provedenou diplomovou práci je nezbytné provést průzkum prací zabývajících se stejnými a podobnými tématy. Co se týče hodnocení tepelných vlastností na aerodynamickém tunelu, žádná jiná publikace se nezabývá tímto tématem. Ovšem je mnoho prací zabývajících se tepelně izolačními vlastnostmi materiálů, způsoby jakými jsou tyto vlastnosti ovlivňovány, například vlivem vlhkosti a podobně.

V následující kapitole jsou uvedeny vědecké články a publikace, které se zabývají hodnocením tepelně izolačních vlastností a mají přímou souvislost s tématem této diplomové práce.

### **9.1 Working in Cold Environment: Clothing and Thermophysiological Comfort**

#### **(Práce v chladném prostředí: oděvní a termofyziologický komfort)**

Termofyziologickým komfortem se zabývá mnoho studií, v knize Ochrana zdraví při práci, Radostina A. Angelova vyšetřuje rozdíly mezi prací v přírodním a umělém chladném prostředí. Jsou zde uvedeny případy, jakými práce v chladném prostředí působí na organismus člověka.

Termofyziologický komfort je jedním z aspektů pohodlí člověka uvnitř i venku, je předurčen fungováním termoregulačního systému těla a jeho reakcemi na teplotu okolního vzduchu, vykonávanou činností a použitou izolací oděvu. O oděvu se zde hovoří jako o pasivní izolační vrstvě, která je jedinou ochranou lidského organismu před působením povětrnostních vlivů.

Snížení tělesné teploty má nepříznivý vliv na funkci těla a může vést k těžké poruše organismu a dokonce i ke smrti. Nízká teplota prostředí způsobuje zpoždění reakční doby, únavu a zvýšenou ospalost jednotlivce což může vést ke zvýšenému počtu subjektivních chyb v porovnání s pracovními aktivitami v prostředí s teplotním komfortem.

Závěrem autorka uvádí, že textilie mají zásadní význam pro zdravou práci lidí v chladném prostředí, protože jsou jedinou bariérou mezi lidským tělem a chladem. Hlavním cílem oděvu používaného ve studeném prostředí je zachytit co nejvíce vzduchu mezi textilními vrstvami, zároveň musí být oblečení co nejlehčí, aby bylo zajištěno správné

fungování a neomezené pohyby. Ideální je nosit nejméně tři vrstvy volného oblečení, kdy prostřední vrstva je nejvíce izolační. [42]

## **9.2 Heat and mass transfer through outerwear clothing for protection from cold: influence of geometrical, structural and mass characteristics of the textile layers**

**(Přenos tepla a hmoty přes oblečení z vrchního oblečení pro ochranu před chladem: vliv geometrických, konstrukčních a hmotnostních charakteristik textilních vrstev)**

Tento článek, který publikovala Radostina A. Angelova se zabývá experimentální studií provedenou na sérii vzorků z tkaných a netkaných textilií z různých materiálů (bavlna, polyester a polyamid) a 14 třívrstevných systémů z textilních materiálů, které se používají k výrobě svrchních oděvů pro ochranu před chladem.

Materiály byly hodnoceny na přístroji Permetest, který simuluje lidskou pokožku, toto zařízení bylo použito pro stanovení tepelné odolnosti, odolnosti proti působení vodních par a relativní propustnosti vodních par. Propustnost vzduchu byla měřena na přístroji Metrimpex.

Všechny výsledky týkající se funkčních vlastností jedné vrstvy byly prezentovány jako závislé na tloušťce, plošné hmotnosti a pórovitosti tkaných makrostruktur.

Tato práce ukazuje tendenci zvyšování tepelné izolace se zvětšením tloušťky testovaného materiálu a se zvýšením plošné měrné hmotnosti. [54]

## **9.3 Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres**

**(Srovnávací analýza vlastností tepelné izolace tkanin vyrobených z přírodních a umělých celulózových vláken)**

V současné době se běžně používají textilie z celulózových vláken. Je zřejmé, že druh surovin a textilní struktura výrazně ovlivňují vlastnosti konečného výrobku. Proto bylo cílem této práce představit srovnávací analýzu tepelně izolačních vlastností tkanin vyrobených z bavlny a materiálu Tencel, což jsou lyocelová vlákna vyrobená zpracováním surové dužiny Eukalyptu. A dále posuzovat vliv typu tkaní a konečné úpravy na tepelné vlastnosti hotového výrobku.

Bylo vyrobeno 6 vzorků z bavlny a 9 vzorků z příze Tencel, vše o jemnosti 20 tex. Samotné měření bylo prováděno na hotových tkaninách s použitím zařízení ALAMBETA.

Hotové látky z příze Tencel vykazovaly nižší hodnoty tepelné vodivosti a tepelné absorpce než tkaniny vyrobené z bavlněných přízí a vyšší hodnoty tepelné difúze a odolnosti.

U všech vzorků byl pozorován vliv tkaniny na tepelné vlastnosti, také byl prokázán patrný vliv konečné úpravy na bavlněné a tencelovské tkaniny.

Závěrem studie lze poznamenat, že existuje mnoho možností pro vytvoření vlastností tkanin, které ovlivňují jejich pohodlí při použití. Tenké bavlněné a tencelovské látky používané pro letní oblečení, které byly předmětem výzkumu, by měly zajistit přiměřený přenos tepla mezi lidským tělem a prostředím. Toho lze dosáhnout nejen výběrem tloušťky nebo faktoru pokrytí tkaniny, ale také použitím vhodných vazeb a vhodných dokončovacích procesů. Dále bylo zjištěno, že druh surovin ovlivňuje některé vlastnosti tkanin, které charakterizují jejich tepelný a užitkový komfort. [55]

## **9.4 Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures**

### **(Tepelně komfortní vlastnosti některých pletených struktur)**

Nida Oğlakcioğlu a Arzu Marmarali se v tomto článku zabývali tepelnými vlastnostmi bavlněných a polyesterových žerzejových, žebrových a interlokových pletenin. Jednotlivé vzorky byly měřeny za použití zařízení Alambeta a Permetest.

Výsledky ukazují, že každá pletená struktura má tendenci přinášet poměrně odlišné tepelné pohodlí. Interlokové a žebrové vzorky vykazovaly mimořádně vysokou tepelnou vodivost a tepelnou odolnost. Na druhé straně jednovrstvé žerzejové tkaniny dosahovaly vyšší relativní hodnoty propustnosti vodní páry a poskytují teplejší pocit s nižšími hodnotami tepelné absorpce.

Bylo prokázáno, že různé pletací struktury mají různé komfortní vlastnosti. Aby bylo dosaženo ideálního komfortu oblečení, je třeba zvážit vhodný výběr struktury pleteného výrobku.

Z výsledku této práce lze konstatovat, že mohou být dvojité žerzejové konstrukce vzhledem ke svým vysokým hodnotám tepelné izolace upřednostňovány pro zimní oděvy za účelem ochrany před chladem. Žebrové pleteniny jsou vhodné jako první vrstva oděvu, pro jejich příjemný omak a tepelný komfort. Žerzejové struktury jsou vhodnější pro sportovní a letní oděvy a to pro jejich lepší vlastnosti při odvodu vlhkosti. [56]

## **9.5 Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An Overview**

### **(Termofyziologický komfort oděvů: Přehled)**

Jedná se o obecný článek zabývající se termofyziologickým komfortem. Jsou zde uvedeny procesy zapojené do přenosu tepla a vlhkosti přes oděv, dále jsou zde uváděny

základní parametry tepelného komfortu a některá zařízení, která jsou pro hodnocení tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů používány. [57]

## **9.6 The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties**

### **(Vliv struktury pletených tkanin na vlastnosti tepelného a vlhkého zpracování)**

Elena Onofrei, Ana Maria Rocha a André Catarino se v tomto článku zabývají studii různých vlastností souvisejících s tepelným komfortem, tato studie je prováděna na různých pletených strukturách obsahujících příze Outlast® a Coolmax®. Hlavním cílem této práce byl výběr nejvhodnější tkaniny pro sportovní aplikace.

Testy byly provedeny podle normy ISO 9237 pomocí testeru pro průchodnost vzduchu Textest FX-3300. Tepelné vlastnosti byly hodnoceny pomocí přístroje Alambeta.

Ze závěru práce vyplývá, že výrobky z materiálů Outlast® jsou vhodné pro výrobu podzimních sportovních oděvů a to zejména pro jejich nižší tepelné odolnosti, vyšší tepelnou vodivost a vyšší sorpční schopnosti. Pro sportovní oděvy využívané v chladnějším počasí jsou vhodnější struktury založené na technologii Coolmax®. [58]

## **9.7 Influence of the Structure of Woven Fabrics on Their Thermal Insulation Properties**

### **(Vliv struktury tkaných látek na jejich tepelně izolační vlastnosti)**

Małgorzata Matusiak a Krzysztof Sikorski se v tomto článku zabývaly hodnocením tepelně izolačních vlastností bavlněných tkanin.

Bylo použito 19 vzorků různých vazeb, jemnosti útku a hustoty útku při stejné jemnosti osnovní příze a to 50 tex. Měření tepelně izolačních vlastností vybraných vzorků bylo prováděno pomocí přístroje Alambeta.

Ze závěrů práce vyplývá, že tepelně izolační vlastnosti tkanin, jsou výrazně ovlivněny použitou vazbou. Dále je prokázán patrný vliv jemnosti použité útkové příze, na tepelnou vodivost, absorpci a odolnost konečného výrobku, a to při pravděpodobnostní úrovni 0,05.

Z textu dále vyplývá, že existuje silná a statisticky významná korelace mezi tloušťkou tkanin a jejich tepelnou odolností, stejně jako mezi hmotností na čtvereční metr tkanin a jejich tepelnou vodivostí. [59]

## **9.8 Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles**

### **(Hodnocení tepelně izolačních vlastností vícevrstevných textilií)**

V tomto článku byl hodnocen vliv oblečení na výměnu tepla mezi člověkem a okolím. Tento vliv na tepelný komfort oděvu je závislý na mnoha faktorech, jako například teplotě vzduchu, na jeho pohybu a vlhkosti. Cílem této práce bylo zjistit tepelně izolační vlastnosti jednovrstevných a vícevrstevných textilních materiálů.

Byly zkoumány různé druhy textilních materiálů používaných pro zimní outdoorové oblečení a obuv. Tepelné vlastnosti byly měřeny pomocí zařízení Alambeta. [60]

## **9.9 Shrnutí**

I v dnešní době vývoje a pokroku je oděv jedinou spolehlivou ochranou lidského organismu před působením povětrnostních vlivů. Při nepříznivých podmínkách je zapotřebí umět odhadnout, který druh oděvu a které jeho vlastnosti nám pomohou ochránit organismus. Pokud se vyskytujeme v chladném prostředí, oblékáme tři vrstvy oděvu, kdy druhá vrstva je ta, která slouží jako tepelně izolační.

Z výše uvedených prací vyplývá, že existuje silná a statisticky významná korelace mezi tepelnou odolností oděvních materiálů a jejich tloušťkou a plošnou hmotností. Tedy čím je materiál tlustší a má vyšší plošnou hmotnost tím lepší má tepelně izolační vlastnosti.

Také je patrné, že volba vhodné vazby tkaniny, pleteniny, anebo speciální povrchové úpravy oděvních materiálů umožňuje různá využití oděvů.

Také se v současné době běžně vyskytují speciální typy vláken, které umožňují využití textilních výrobků za různých podmínek, jako jsou například speciální ochranné oděvy do chladných povětrnostních podmínek.

# EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem této práce je zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkosti vzduchu na měření tepelného toku při průchodu textilií v proudícím vzduchu a následně celý tento proces experimentálně ověřit. Experiment je tedy zapotřebí naplánovat procesně a fyzicky ho sestavit.

Experimentální část je rozdělena do několika dílčích částí. V první části této práce jsou testovány vybrané materiály za standardních podmínek, které se běžně vyskytují v laboratoři, v Aerodynamickém tunelu, kde se měří tepelně izolační vlastnosti textilií při působení proudícího vzduchu. V druhé části této práce je hodnocen vliv vlhkosti vzduchu v tunelu na tepelně izolační vlastnosti textilií. Tento proces zahrnuje navrhnout experiment, pro zvýšení vlhkosti vzduchu v Aerodynamickém tunelu a provést testování vybraných textilií za těchto podmínek. Výsledné hodnoty získané při testování tepelně izolačních vlastností za standardních podmínek a za podmínek s navýšenou vlhkostí jsou na konci této práce vyhodnoceny a vzájemně porovnány. Standardní podmínky jsou podmínky běžně se vyskytující v laboratoři.

V závěru jsou výsledky těchto experimentů diskutovány a vzájemně porovnány. Všechna měření byla provedena v laboratořích Technické univerzity v Liberci na katedře oděvnictví.

## 10 Materiály

Pro diplomovou práci byly vybrány materiály reprezentující pracovní a sportovní oděvy a to z důvodu, že se tyto oděvy běžně vyskytují při podmínkách proudícího vzduchu.

Byly testovány čtyři vzorky materiálů, a to bavlněná tkanina, fleece úplet, membránový materiál Neoshell® a Softshell materiál Power Shield®.

Bavlněná tkanina byla pro experiment poskytnuta z šicí dílny Katedry oděvnictví. Dále byl zvolen fleece materiál neboli zátažná pletenina s upraveným povrchem od firmy Moraviatex pletárna s.r.o. Membránová tkanina Neoshell® a Softshell textilie Power Shield® jsou vyráběny firmou Polartec. [61] [62]

Pro tuto práci není důležité porovnání jednotlivých materiálů mezi sebou, ale zjistit jakým způsobem se budou chovat při experimentu.

## 10.1 Charakteristika použitých materiálů

V následujícím textu níže budou popsány jednotlivé parametry materiálů. Jedná se o plošnou hmotnost, druh plošné textilie a tloušťku. Měření bylo provedeno za normovaných teplotních podmínek:

- Teplota vzduchu  $20 \pm 2^\circ\text{C}$
- vlhkost vzduchu  $65 \pm 2\%$ .

Tato práce navazuje na experiment z diplomových prací Terezy Szepesiové a Radky Lamkové, je tedy použita charakteristika materiálů z těchto prací. [61] [62]

### Měření plošné měrné hmotnosti

Zjištění plošné měrné hmotnosti bylo měřeno na analytických vahách. Hodnocení probíhalo dle stanovených norem. [61] [62]

### Měření tloušťky

Pro zjištění tloušťky bylo použito zařízení Tloušťkoměr SDL M034A. Testování probíhalo podle stanovené normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie-Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků. [61] [62]

### System NIS – Elements

Jedná se programový systém, který byl vyvinut pro pořizování a vyhodnocení obrazu ke konkrétnější identifikaci objektů, k interaktivnímu měření geometrických vlastností, kterými jsou například rozměry objektu, obvodů a ploch, u vláken, přízí a plošných textilií či jiných netextilních materiálů.

Systém umožňuje archivovat rozsáhlé obrazové sekvence spolu s jejich zpracováním. Pro měření analýzy obrazu byla použita obrazová analýza z KOD. [61] [62]


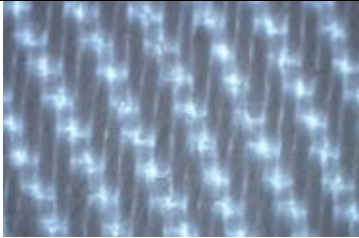
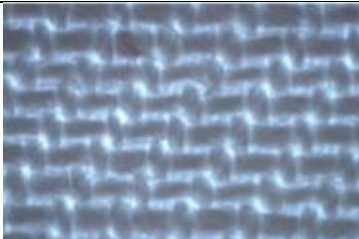
Níže jsou zobrazeny obrázky jednotlivých materiálů a tabulka s jejich charakteristikou.

Tabulka 1 - charakteristika použitých materiálů




	Bavlněná tkanina	Fleece úplet	Membrána	Softshell
druh plošné textilie	keprová tkanina	zátažná pletenina s povrchovou úpravou	plátňová tkanina (líc), osnovní pletenina trikot (rub)	plátňová tkanina (líc), izolační vrstva (rub)
materiálové složení	100% CO	100% PES	100% PAD (líc), 100% PES (rub)	50% PES, 38% PAD, 2% SPANDEX (líc) 100% PES (rub)
plošná hmotnost [g.m <sup>-2</sup> ]	240	300	129	292
tloušťka [mm]	0,475	3,065	0,403	1,508
dostava osnovy [nití.10cm <sup>-1</sup> ]	400	-	400	400
dostava útku [nití.10cm <sup>-1</sup> ]	300	-	400	400



**Tabulka 2 - Bavlněná tkanina [61]**

<b>Ukázka materiálu</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z líce</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z rubu</b>	

**Tabulka 3 - Fleece úplet [61]**

<b>Ukázka materiálu</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z líce</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z rubu</b>	

**Tabulka 4 - Membránový materiál [61]**

<b>Ukázka materiálu</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z líce</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z rubu</b>	

**Tabulka 5 - Softshellový materiál [61]**

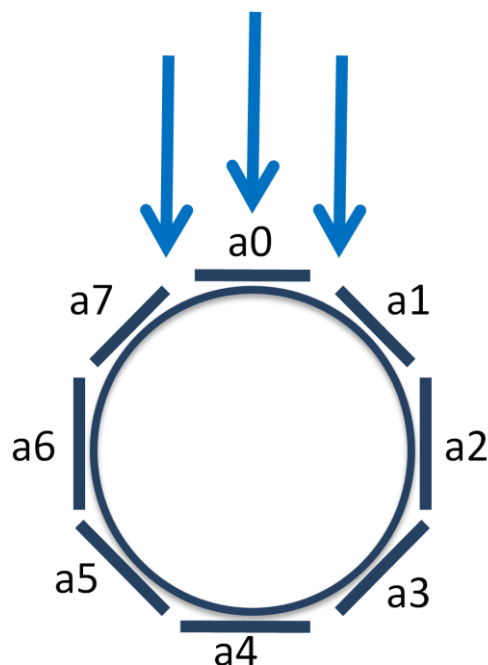
<b>Ukázka materiálu</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z líce</b>	
<b>Zvětšený materiál – pohled z rubu</b>	

## 11 Metodika a podmínky měření

Experimentální část této diplomové práce bude probíhat v Aerodynamickém tunelu, ve kterém je umístěn vyhřívaný váleček, který představuje model lidské paže. Měřením na zařízení v Aerodynamickém tunelu je sledováno, do jaké míry jsou textilie schopny tepelně izolovat, což se projevuje na množství tepla, které je zapotřebí vyvinout k udržení teploty válečku na 32° C. Testování v Aerodynamickém tunelu tedy funguje na principu měření přenosu tepla z vyhřívaného válečku přes textilií do okolí. Vyhřívaný váleček je obtékán proudem vzduchu s možností volby rychlosti proudění tohoto vzduchu. Výstupem tohoto testování je konkrétní veličina a to hustota tepelného toku.

Model lidské paže neboli vyhřívaný váleček, je vyhříván na teplotu 32° C. Jedná se o průměrnou teplotu lidské pokožky. Na tomto válečku je umístěno 8 alfametrů snímajících tepelný tok. Pro tuto práci je důležité sledování párových alfametrů 1-7, 2-6, 3-5, dále pak alfametry 0, který je na návětrné straně a alfametry 4, který je na závětrné straně. Je zde předpoklad stejného průběhu párových alfametrů.

Na níže uvedeném schématu je zobrazen model lidské paže s jednotlivými alfametry, na který působí proud vzduchu, jež je znázorněn modrými šipkami.



Obrázek 6 - schéma modelu lidské paže

## 11.1 Příprava vzorků

Na vyhřívaný váleček o průměru 0,08 m a výšce 0,1 m je během testování navlečen zkoušený vzorek textilie. Jedná se o pruh vzorku o šířce 0,11 m, který je přeložen na délku 0,15 m a sešit zvoleným švem a stehem. Byl zvolen hřbetový šev a steh ruční. Pro tuto práci není podstatné sledovat vliv použitého švu a stehu u vzorků.

Pro zajištění maximální reprodukovatelnosti, je vhodné, aby byly vzorky po dobu alespoň 5 hodin klimatizovány ve standardní atmosféře, tedy při teplotě  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $\text{RH} = 65 \pm 2\%$ . Tyto požadavky nejsou z technického hlediska dodrženy. Experiment tedy probíhal za běžných podmínek laboratoře, při které byla zjištěna teplota  $t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost  $\text{RH} = 30 \pm 2\%$ . V této práci jsou uváděné standardní podmínky myšleny jako podmínky běžně se vyskytující v laboratoři.

Pro zajištění správnosti měření je zapotřebí zajistit u měřených vzorků přesnou velikost a vždy stálé umístění švu na válečku. Testované vzorky je zapotřebí umístit na váleček v těsném kontaktu, aby nedocházelo ke vzniku nežádoucích vzduchových mezer, jelikož by mohlo dojít k negativnímu ovlivnění měření.

## 11.2 Příprava zařízení

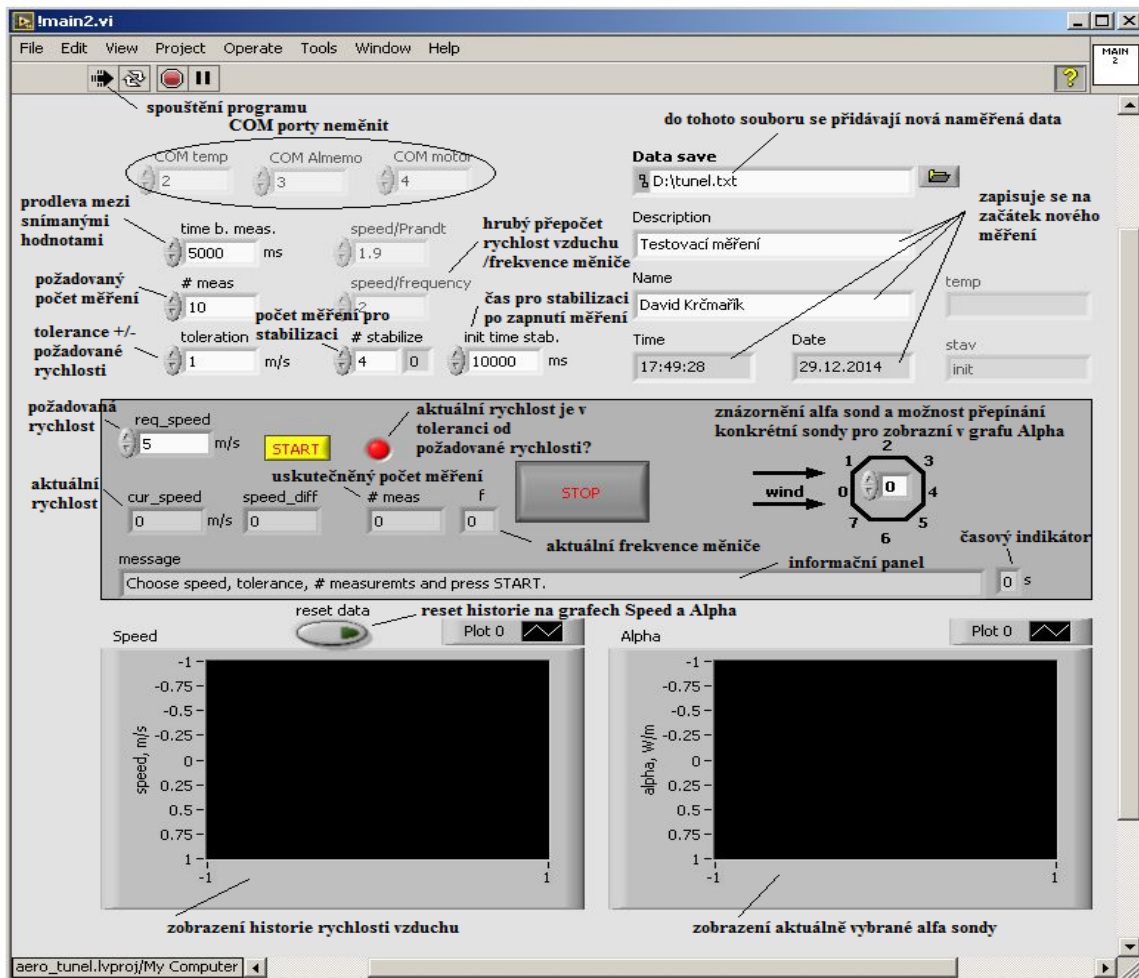
Než může být proveden experiment je zapotřebí zajistit chod tunelu, tedy zapojit větrnou trať s motorem do sítě a spustit počítač. Následně je potřeba ustálit podmínky modelu lidské paže. Doba ustálení podmínek činí 15 minut. To se provádí z důvodu měřeného tepelného toku, jenž je závislý na čase.

Posléze je zapotřebí v počítači spustit DHCP server, který přiřadí čtyři IP adresy převodníkům, Midam 020, a nastaví komunikaci s počítačem. Ten je nutné mít spuštěn přes celé měření. Následně je provedena kalibrace, která je spuštěna pomocí programu v počítači. 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 hlavního řídicího programu je uvedena na obrázku 2.

Při měření je nutné nastavit určité parametry, kterými jsou:

- `time b. meas` = prodleva mezi snímanými hodnotami,
- `#meas` = počet požadovaných měření,
- `toleration` = tolerance +/- požadované rychlosti,
- `int. time stab.` = čas pro stabilizaci po zapnutí měření
- `req_speed` = požadovaná rychlost proudění.

Následně je nastaven výstup naměřených dat v řádku Data save (D:/tunel.txt) jedná se soubor, kam se ukládají nová naměřená data. Ostatní parametry jsou buďto již fixně nastaveny, nebo se automaticky nastaví.



Obrázek 7 - hlavní řídicí program

Aerodynamický tunel je zařízení, které je stále ve vývoji je tedy nutné si uvědomit, že nejen samotná část přípravy, ale i měření jsou časově náročná a stále náchylná k výskytu náhlých chyb spojených s jednotlivými měřeními.

## 12 Realizace experimentu

Po výběru a stanovení materiálu určeného pro experiment a přípravě zařízení následuje již samotná realizace měření.

V následujícím textu níže jsou popsána jednotlivá měření, která byla v rámci této diplomové práce provedena.

- zkušební měření, které sloužilo pro správné nastavení výstupů experimentu a pro nastavení vhodné formy prezentace naměřených hodnot,
- hodnocení tepelně izolačních vlastností vybraných materiálů za standardních podmínek při působení proudícího vzduchu,
- způsob jakým bylo docíleno navýšení vlhkosti v tunelu,
- hodnocení tepelně izolačních vlastností vybraných materiálů za podmínek navýšené vlhkosti při působení proudícího vzduchu.

### 12.1 Zkušební měření

Toto zkušební testování sloužilo pro správné nastavení výstupů experimentu a pro nastavení vhodné formy prezentace naměřených hodnot.

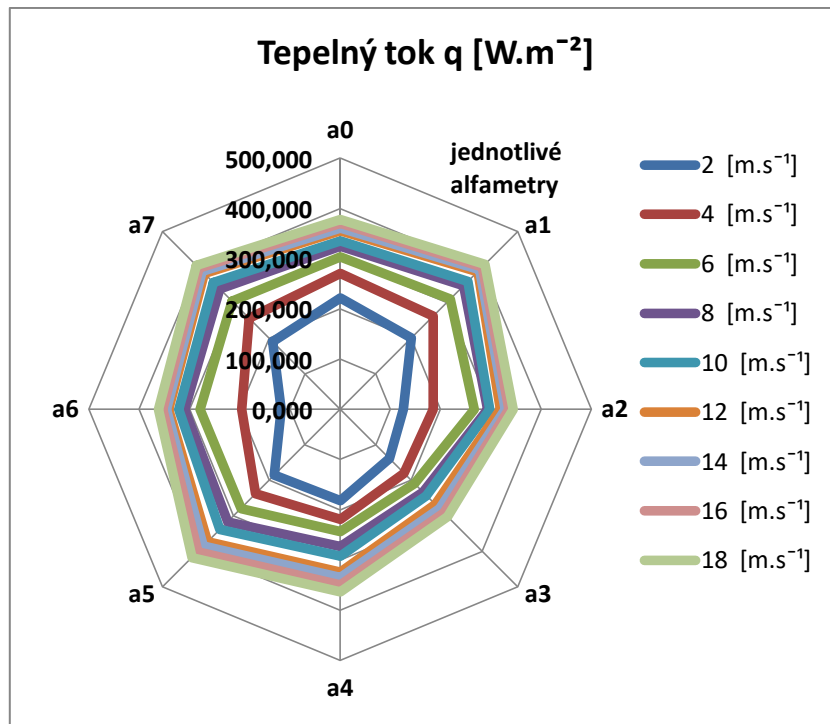
První zkušební měření na zařízení byla provedena na všech vzorcích a bez vzorku. Jednotlivé parametry testu měření byly nastaveny v rychlostech proudění na 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 a 18  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  s tolerancí rychlosti proudění na 1  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . U každé rychlosti bylo provedeno 30 snímků, jednotlivé snímky jsou zaznamenávány vždy po 3 sekundách. Testování všech vzorků trvalo zhruba 3 hodiny.

Bylo zjištěno, že během testování dochází ke snížení teploty válečku až o 1° C a snížení teploty v tunelu až 0,5° C. Byla tedy položena otázka, zda by se teplota válečku a teplota tunelu sjednotila s vyšším počtem provedených měření. Dále byla zjištěna nestejnomyšlnost párových alfametrů 3 a 5, tato nestejnomyšlnost je pravděpodobně dána umístěním anemometrického čidla, nebo jiným alfametrem. Ostatní párové alfametry mají dle výsledků shodný průběh, bez výrazného odlišení.

#### 12.1.1 Naměřená data, vyhodnocení

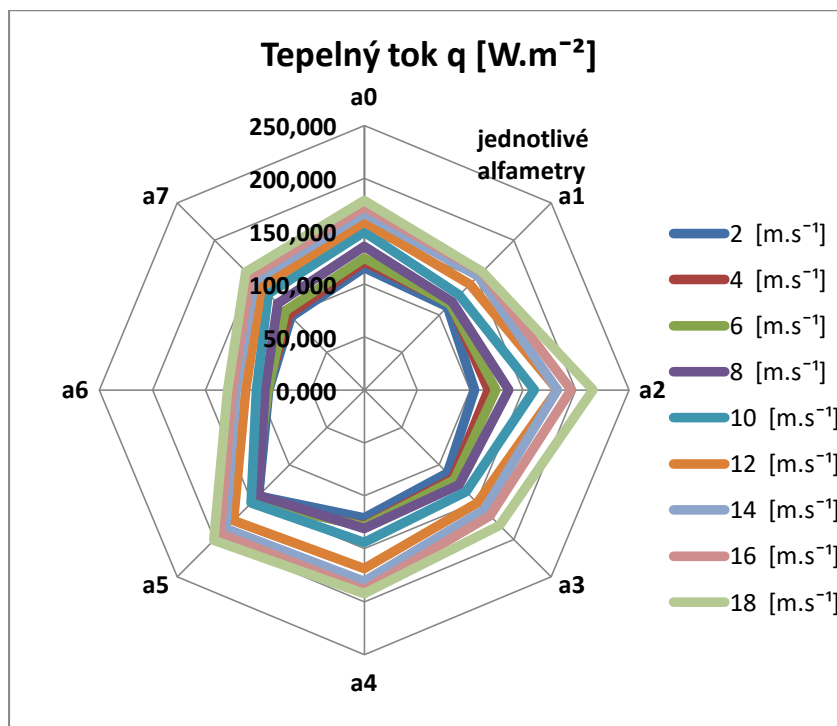
V této podkapitole jsou uvedeny výsledky dosažené při výše uvedeném zkušebním měření. Pro prezentaci výsledků byly zvoleny paprskové grafy, které znázorňují průměrné hodnoty tepelného toku jednotlivých alfametrů, při působení různých rychlostí proudícího vzduchu.

Pro porovnání zde budou uvedeny výsledné hodnoty získané z testování na zařízení v Aerodynamickém tunelu bez použití textilního vzorku a s použitím materiálu Softshell.



**Graf 1 - paprskový graf testování bez vzorku**

Na výše uvedeném grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku jednotlivých alfastrů měřené na aerodynamickém tunelu bez použití textilního vzorku.

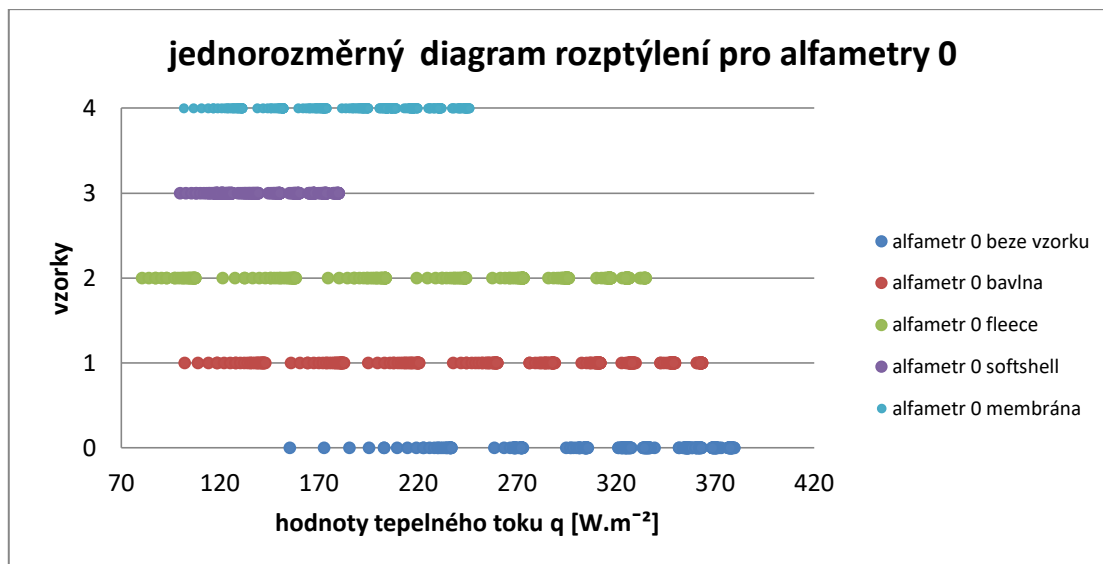


**Graf 2 - paprskový graf Softshell**

Na výše uvedeném grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku jednotlivých alfastrů měřené na aerodynamickém tunelu při použití materiálu Softshell.

Pro další prezentaci výsledků byl zvolen jednorozměrný diagram rozptýlení po jednotlivé alfametry, na tomto grafu je zobrazeno porovnání alfametry pro všechny testované vzorky. Jednotlivé úseky představují měření při různých rychlostech proudění. Také je možné na tomto grafu porovnávat, které materiály projevují lepší tepelně izolační vlastnosti.

Na níže uvedeném grafu jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku všech testovaných vzorků snímané na alfametry 0, který se vyskytuje na návětrné straně tunelu.

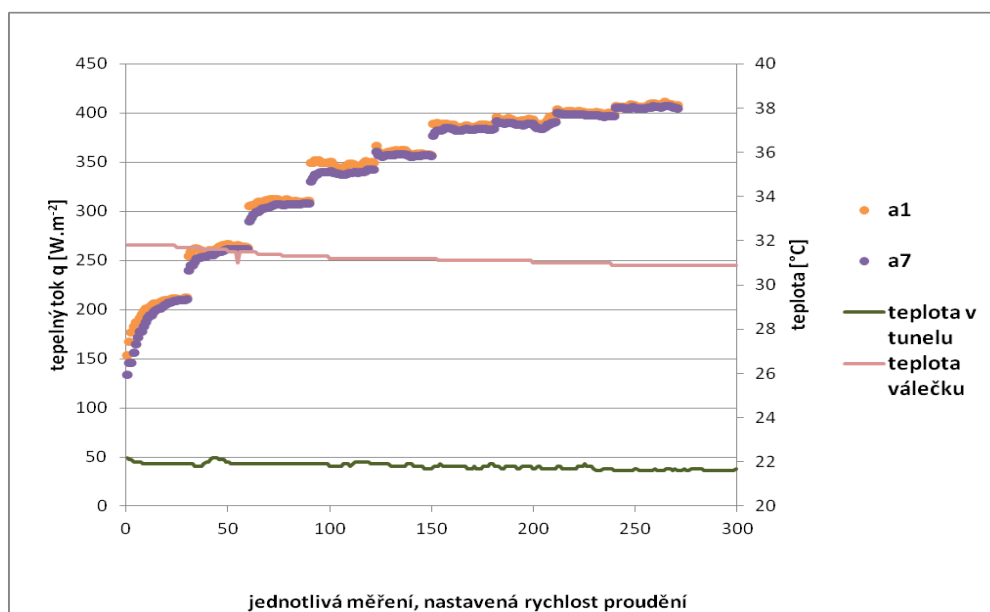


Graf 3 - alfametr 0 získaný u všech vzorků

U Softshellového materiálu je sledována nejmenší spotřeba tepla, která je vyvíjena pro udržení teploty válečku na 32° C. Z toho vyplývá, že tento materiál má lepší tepelně izolační vlastnosti než ostatní testované materiály.



V konečné řadě byl pro prezentaci výsledků zvolen bodový graf, na kterém lze sledovat, zda mají párové alfametry shodný průběh. Také je zde sledována teplotní linka vyhřívaného válečku, neboli modelu lidské paže a teplotní linka teploty v tunelu. Jednotlivé úseky pak reprezentují vybranou rychlost proudění, v tomto případě 2 až 18 m.s<sup>-1</sup>.



**Graf 4 - porovnání párových alfametrů 1 a 7**

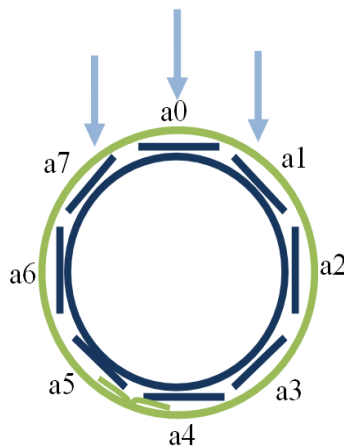
Na tomto grafu jsou zobrazeny párové alfametry 1 a 7. Data v tomto grafu jsou získána ze snímání tepelného toku při testování, které probíhalo bez použití textilního vzorku. Na tomto grafu je také zobrazen vývoj teploty v tunelu a teploty válečku během celé doby testování. Na grafu je sledován shodný průběh párových alfametrů 1 a 7 a také pokles teploty tunelu a teploty válečku.

### 12.1.2 Vybrané podmínky pro další měření

Pro další postup práce bylo zvoleno testování vybraných materiálů za podmínek rychlosti proudění 5, 10 a 15 m.s<sup>-1</sup>, a to vždy pro čas měření jedné rychlosti na 10, 15 a 20 minut. Dále byla zvolena tolerance rychlosti na 1 m.s<sup>-1</sup>. Sběr dat byl nastaven po 3 s.

Test vždy jednoho z vybraných materiálů trval celkem 40, 55 a 70 minut. V rámci jednoho měření bylo z každého měřicího snímače hustoty tepelného toku sejmuto více než 170, 250 a 340 hodnot. Získaná data byla vždy po konci testu uložena do textového souboru v PC.

Také bylo důležité, aby byl šev testovaného vzorku umístěn při každém měření na stejném místě, a to nejlépe takovém, při kterém by nedocházelo k ovlivnění výsledných hodnot. Na následujícím schéma je zobrazeno zvolné umístění švu testovaného vzorku.



Obrázek 8 - schéma umístění švu

Na výše uvedeném schéma, je testovaný vzorek vyznačen zeleně, vyhřívaný váleček s alfametry je zobrazen tmavě modrou barvou a světle modré šipky znázorňují směr proudícího vzduchu.

Vhodné umístění švu testovaných vzorků, bylo zvoleno mezi alfametrem 4 a alfametrem 5. Toto umístění bylo vybráno z důvodu, že ke snímání tepelného toku dochází na alfametru, tedy ne mezi dvěma alfametry a také z důvodu, že jsou tyto alfametry na závětrné straně, tudíž nedochází k výraznému ovlivnění výsledných hodnot.

## 12.2 Hodnocení materiálů bez vlhkosti

Nejprve bylo přistoupeno k testování výše zmíněných materiálů za námi vybraných podmínek bez ovlivnění vlhkosti v tunelu a jeho okolí. Podmínky měření byly:

- rychlost proudění = 5, 10 a 15 m.s<sup>-1</sup>,
- čas měření jedné rychlosti = 10, 15 a 20 minut,
- tolerance rychlosti = 1 m.s<sup>-1</sup>,
- sběr dat byl nastaven po 3 s.

Test jednoho z vybraných materiálů trval celkem 40, 55 a 70 minut.

## 12.3 Testování vlhkosti

Jak již bylo zmíněno cílem této práce je zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkost vzduchu při měření na zařízení v Aerodynamickém tunelu. Bylo tedy zapotřebí navrhnout experiment, během kterého by byla v Aerodynamickém tunelu navýšena vlhkost.

### 12.3.1 Vyvíječ páry

Ve spolupráci s vedoucí mé práce Ing. Petrou Komárkovou, Ph.D. byl vybrán vhodný zvlhčovač, který je odpovídající pro účely testování z hlediska objemu vyvíjení páry a z hlediska možnosti využití nastavné hadice a rozšířeného vyústění. Zvolený zvlhčovač je uveden na obrázku 8.

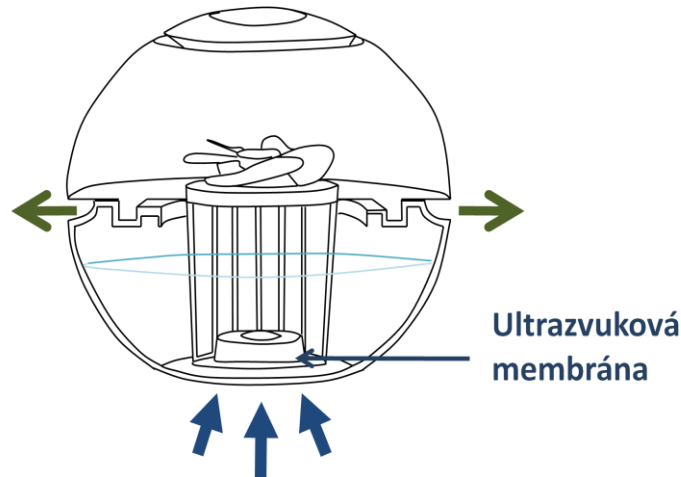
Při výběru vhodného zvlhčovače bylo podmínkou zajištění zavlhčení prostoru studenou parou, a to z toho důvodu, že je během experimentu nežádoucí výrazně ovlivňovat teplotu v tunelu.



Obrázek 9 - Super Fog II - mlhovač [64]

Tento vyvíječ pracuje na principu ultrazvukového zvlhčování, kdy se povrch kapaliny pohybuje díky ultrazvukové vlně, k té dochází při rozechvění ultrazvukové membrány, což vede k rozprášení kapky vody o velikosti 1-5 $\mu$ m.

Na níže uvedeném schématu je zobrazen princip zavlhčování vzduchu pomocí běžného ultrazvukového vyvíječe páry. [65]



Obrázek 10 - schéma běžného ultrazvukového vyvíječe páry [65]

### 12.3.2 Zajištění zavlhčení tunelu

Aby mohlo být pokračováno v experimentu, bylo potřeba zajistit vhodné umístění vyvíječe páry u nasávací trubice aerodynamického tunelu.

U prvních měření bylo zjištěno, že je zapotřebí umístit vyvíječ na horní stěnu nasávací hlavičky tunelu. A to z důvodu vyšší hmotnosti páry oproti okolnímu vzduchu. Původní umístění vyvíječe, na spodní stěně nasávací hlavičky tunelu vedlo k odchodu páry pod tunel a ne do tunelu.

Dále bylo žádoucí rozmístit vzniklou páru po celé šíři tunelu, na což bylo použito rozšířené vyústění na obrázku 10. [66]



Obrázek 11 - rozšířené vyústění pro vyvíječ páry [66]

### 12.3.3 Snímání vlhkosti

Změny vlhkosti a teploty byly zaznamenány pomocí dataloggeru AHLBORN ALMEMO 2590-4AS viz Obrázek 11.



Obrázek 12 - datalogger ALMEMO [67]

Datalogger je zařízení, které slouží pro sběr a ukládání analogových a binárních informací.

K tomuto zařízení byl připojen snímač vlhkosti a teploty ALMEMO FHAD462 viz Obrázek 12.



Obrázek 13 - snímač vlhkosti ALMEMO [67]

Jedná se o kapacitní senzor vlhkosti, kde sledovanou veličinou je změna kapacity kondenzátoru, v němž je dielektrikem polymer. Jedna z elektrod je děrovaná což usnadňuje okolnímu vzduchu kontakt s polymerním dielektrikem.

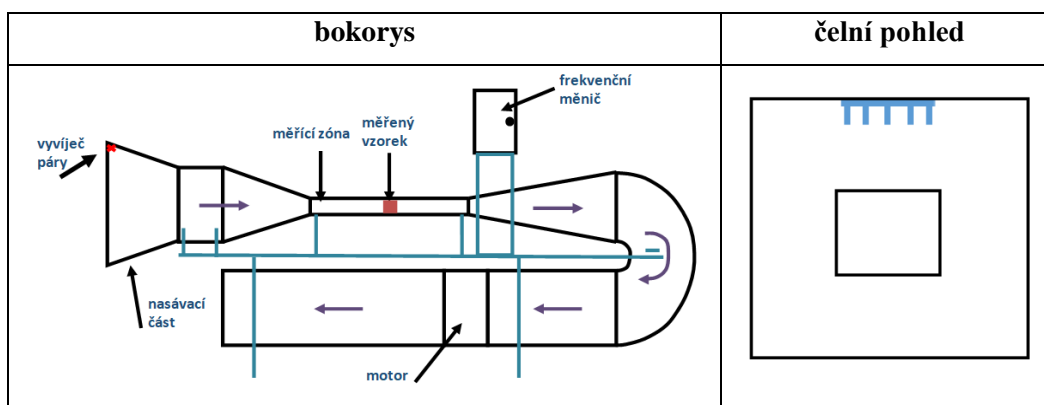
### 12.3.4 Metody vyvíjení páry

Následně bylo přistoupeno k testování vhodného způsobu umístění vyvíječe vlhkosti. Ideální by bylo co nejvyšší navýšení páry v celé šíři aerodynamického tunelu bez porušení linearity proudícího vzduchu.

Níže jsou uvedeny čtyři způsoby umístění vyvíječe vlhkosti, které byly během této práce testovány. U každého způsobu je uvedeno schématické znázornění umístění vyvíječe páry, je zde vždy zobrazen pohled zleva, kde je patrné schéma celého aerodynamického tunelu s vhodným umístěním vyvíječe páry na nasávací části tunelu.

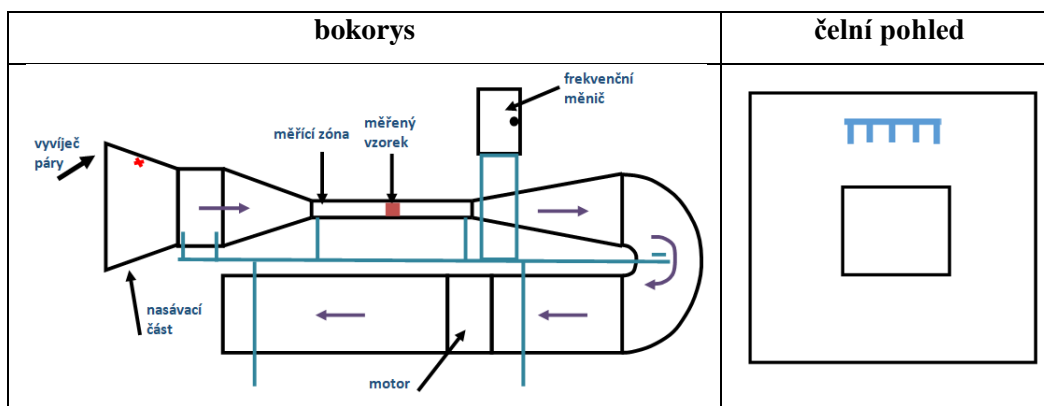
#### Možnosti umístění vyvíječe vlhkosti:

- 1) Rozšířené vyústění na okraji horní stěny nasávací části tunelu.



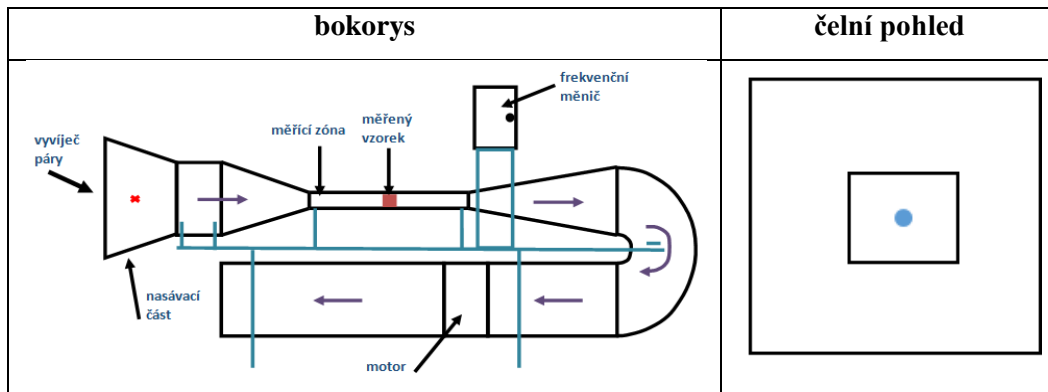
Obrázek 14 - rozšířené vyústění na okraji horní stěny nasávací hlavy tunelu

- 2) Rozšířené vyústění uvnitř na horní stěně nasávací části tunelu.



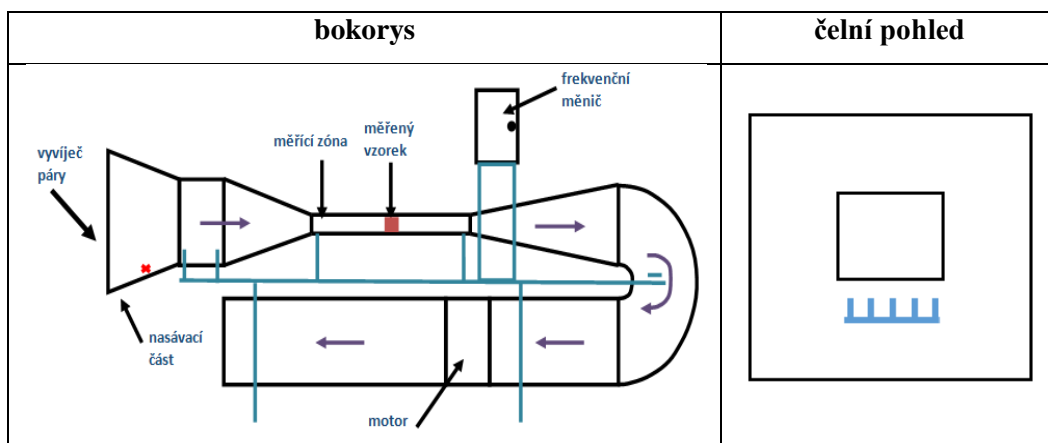
Obrázek 15 - rozšířené vyústění uvnitř na horní stěně nasávací hlavy tunelu

### 3) Hadice bez rozšíření uprostřed nasávací části tunelu.



Obrázek 16 - hadice bez rozšíření uprostřed nasávací hlavy tunelu

### 4) Rozšířené vyústění uvnitř na spodní stěně nasávací části tunelu.



Obrázek 17 - rozšířené vyústění uvnitř na spodní stěně nasávací hlavy tunelu

Před začátkem měření jednotlivých metodik byla zjištěna teplota a relativní vlhkost v tunelu i jeho okolí, tedy v místě nasávací hlavy tunelu.

Následně byl zapojen vyvíječ páry a aerodynamický tunel. Pro jednotlivé metodiky bylo zvoleno testování bez materiálu za podmínek rychlosti proudění  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Po spuštění tunelu byly každých 10 minut snímány hodnoty teploty a relativní vlhkosti v tunelu i jeho okolí. Test každé z vybraných metodik trval celkem 120 minut.

## 12.3.5 Vyhodnocení

V této podkapitole budou popsány výhody a nevýhody jednotlivých metodik a jejich vyhodnocení. V příloze D jsou uvedeny fotografie jednotlivých umístění.

### Umístění 1

Rozšířené vyústění bylo umístěno na okraji horní stěny nasávací hlavy tunelu. U tohoto umístění dosahovalo maximální navýšení vlhkosti tunelu 9,7 %, průměrné navýšení vlhkosti v tunelu bylo 7,42 %.

Vzhledem k velmi nízkému nárůstu vlhkosti byl tento způsob zavlhčování zamítnut.

**Výhody:** nedochází k narušení linearitě proudění.

**Nevýhody:** kondenzace páry v úzkých místech rozšířeného vyústění (má za následek zacpávání otvorů, což neumožňuje dostatečný odvod páry), nízký nárůst vlhkosti tunelu.

### Umístění 2

Rozšířené vyústění bylo umístěno uvnitř na horní stěně nasávací hlavičky tunelu. U tohoto umístění dosahovalo maximální navýšení vlhkosti tunelu 15,1 %, průměrné navýšení vlhkosti v tunelu bylo 8,75 %.

Zde již bylo dosaženo vyššího nárůstu vlhkosti oproti první variantě, ovšem pro efektivitu dalších měření bylo toto navýšení nedostačující.

**Výhody:** nedochází k výraznému narušení linearitě proudění.

**Nevýhody:** kondenzace páry v úzkých místech rozšířeného vyústění, nedostačující navýšení vlhkosti tunelu.

### Umístění 3

U tohoto umístění nebylo použito rozšířené vyústění. Byla použita pouze prodlužovací hadice, která byla umístěna uprostřed nasávací hlavičky tunelu. U tohoto umístění dosahovalo maximální navýšení vlhkosti tunelu 34,4 %, průměrné navýšení vlhkosti v tunelu bylo 25,98 %.

Vzhledem k nejvyššímu nárůstu vlhkosti byl tento způsob vybrán jako vhodný pro další pokračování v experimentu.

**Výhody:** vysoké navýšení vlhkosti tunelu, nedochází ke kondenzaci páry v úzkých místech rozšířeného vyústění.

**Nevýhody:** negativně ovlivňuje linearitu proudění tunelu, což má za následek výrazné rozdíly vlhkosti v různých místech tunelu.

### Umístění 4

Rozšířené vyústění bylo umístěno uvnitř na spodní stěně nasávací hlavičky tunelu. U tohoto umístění dosahovalo maximální navýšení vlhkosti tunelu 14,9 %, průměrné navýšení vlhkosti v tunelu bylo 4,41 %.

**Výhody:** nedochází k výraznému narušení linearitě proudění.

**Nevýhody:** kondenzace páry v úzkých místech rozšířeného vyústění (u této metody je tento efekt nejvýraznější), nedostačující navýšení vlhkosti tunelu.

Níže je uvedena tabulka 2, ve které je zobrazeno základní statistické vyhodnocení jednotlivých metodik navýšování vlhkosti v Aerodynamickém tunelu.

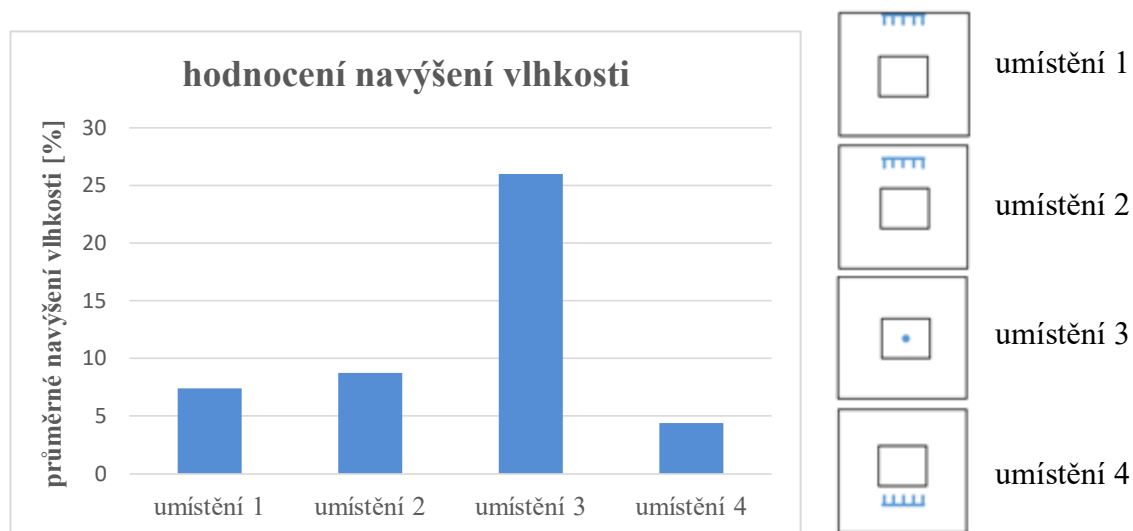


**Tabulka 6 - vyhodnocení testování vlhkosti**

x	umístění 1				umístění 2			
	okolí		tunel		okolí		tunel	
	vlhkost [%]	teplota [°C]	vlhkost [%]	teplota [°C]	vlhkost [%]	teplota [°C]	vlhkost [%]	teplota [°C]
původní teplota [°C]	26	22	24	22,2	31,8	22,1	30,9	22,16
1	28	21,5	31,3	21,4	33	21,7	41	19,9
2	28	21,7	31,2	21,5	33	21,6	37	20,6
3	29	21,4	33,7	20	34	21,7	41,5	20,3
4	27	21,8	32	20,5	33,3	21,7	43	19,6
5	28	21,6	30	21,2	33	21,7	46	19,4
6	27,6	21,9	33	21,5	33	21,7	37	20,6
7	30	21,6	32	21,8	32,5	21,7	38	20
8	28	21,8	30	21,7	32	21,7	37	20,9
9	27,1	21,7	31	20,9	32	21,7	37	20,7
10	28,8	22,8	30	21	32	21,7	39	19,8
suma	281,5	217,8	314,2	211,5	327,8	216,9	396,5	201,8
průměr	28,15	21,78	31,42	21,15	32,78	21,69	39,65	20,18
rozptyl	0,821	0,151	1,628	0,318	0,428	0,001	9,781	0,262
směrodatná odchylka	0,906	0,388	1,276	0,564	0,655	0,032	3,127	0,512
variační koeficient [%]	3,22	1,78	4,06	2,67	2,00	0,15	7,89	2,54
95% IS dolní	28,04	21,73	31,27	21,08	32,70	21,69	39,28	20,12
95% IS horní	28,26	21,83	31,57	21,22	32,86	21,69	40,02	20,24
x	umístění 3				umístění 4			
	okolí		tunel		okolí		tunel	
	vlhkost [%]	teplota [°C]	vlhkost [%]	teplota [°C]	vlhkost [%]	teplota [°C]	vlhkost [%]	teplota [°C]
původní teplota [°C]	30,6	21,9	28,6	21,8	30	21,8	31	20,9
1	31	21,8	43	19,5	30	21,7	34	20,5
2	30,5	21,7	45,8	18,6	29,3	21,5	40	19,9
3	30	21,8	44,2	17,9	28,9	21,6	33	19,9
4	29,3	21,7	58	16,5	28,9	21,8	31	21,1
5	28,9	21,7	55	15,8	28,7	21,7	31	21,1
6	29	21,6	60,8	16	29,2	21,8	30	21,2
7	28,5	21,7	63	15,8	29,4	21,7	38,2	19,5
8	29	21,7	55	15,9	29,5	21,7	45,9	19,2
9	28,9	21,7	60	15,5	28,9	21,7	36	20,7
10	29	21,7	61	15,4	28,8	21,7	35	20,9
suma	294,1	217,1	545,8	166,9	291,6	216,9	354,1	204
průměr	29,41	21,71	54,58	16,69	29,16	21,69	35,41	20,4
rozptyl	0,659	0,003	56,795	2,090	0,160	0,008	23,930	0,524
směrodatná odchylka	0,812	0,057	7,536	1,446	0,401	0,088	4,892	0,724
variační koeficient [%]	2,76	0,26	13,81	8,66	1,37	0,40	13,81	3,55
95% IS dolní	29,31	21,70	53,68	16,52	29,11	21,68	34,83	20,31
95% IS horní	29,51	21,72	55,48	16,86	29,21	21,70	35,99	20,49

Z této tabulky vyplývá, že k nejvyššímu nárůstu vlhkosti došlo u metody 3, u této metody byl také zaznamenán výrazný pokles teploty v tunelu. Při měření bylo zjištěno, že s vyšším nárůstem vlhkosti se výrazně snižuje teplota tunelu.

Níže bude uveden graf znázorňující průměrné hodnoty navýšení vlhkosti v tunelu, získané u všech výše uvedených metodik.



**Graf 5- průměrné navýšení vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty navýšení vlhkosti v Aerodynamickém tunelu, které byly získány u jednotlivých umístění zvlhčovacího zařízení.

Je patrné, že k nevyššímu nárůstu vlhkosti v tunelu došlo během třetí možnosti umístění zvlhčovacího zařízení, kde byla hadice bez rozšíření umístěna uprostřed nasávací části tunelu. Vzhledem k nejvyššímu nárůstu vlhkosti, jež činil 25,98 %, byl tento způsob vybrán jako vhodný pro další pokračování v experimentu.

## 12.4 Hodnocení materiálů s vlhkostí

Po zvolení vhodné metody pro navýšení vlhkosti v tunelu bylo přistoupeno k testování vybraných materiálů za stejných podmínek jako u testování bez navýšení vlhkosti vzduchu.

Podmínky měření byly:

- rychlost proudění = 5, 10 a 15 m.s<sup>-1</sup>,
- čas měření jedné rychlosti = 10, 15 a 20 minut,
- tolerance rychlosti = 1 m.s<sup>-1</sup>,
- sběr dat byl nastaven po 3 s.

Test jednoho z vybraných materiálů i s navyšováním vlhkosti trval celkem 50, 65 a 80 minut.

### 13 Vyhodnocení experimentu

Celý experiment byl prováděn na zařízení v Aerodynamickém tunelu. Po naměření všech vzorků, byla provedena základní statistická analýza. Parametry daných měření jsou zaznamenány v již výše zmíněných grafech.

Tento experiment si neklade za cíl vzájemné porovnání parametrů jednotlivých testovaných materiálů, ale cílem bylo posoudit možnosti testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu.

I přestože nebylo cílem porovnávat mezi sebou jednotlivé materiály, ukázalo se, že během experimentu dosahoval materiál Softshell nejlepších tepelně izolačních vlastností, oproti tomu nejméně izolačním materiálem byla bavlněná tkanina. Tyto hodnoty odpovídají realitě, kdy oděvy z materiálu Softshell se využívají pro chladné a větrné prostředí. Proto byl pro podrobný popis vybrán právě materiál Softshell, kde bude zajímavé sledovat, jakým způsobem byla tato jeho vlastnost změněna při působení vlhkosti. S ohledem k rozsahu diplomové práce jsou vyhodnocení ostatních materiálů uvedeny v přílohách A, B a C.

V této práci je také uvedeno podrobné porovnání párových alfametrů 1 a 7. Tyto alfametry jsou důležité, jelikož jsou na straně návětrné, tudíž je zde vyšší potřeba výdeje tepla pro udržení teploty modelu lidské paže na 32° C. Také je u těchto alfametrů jasně viditelný stejný průběh při hodnocení, bude tedy zajímavé sledovat, zda se stejnoměrnost změny vlivem působení vlhkosti. S ohledem k rozsahu diplomové práce je porovnání ostatních alfametrů uvedeno v příloze C.

Měření na zařízení v Aerodynamickém tunelu byla rozdělena časově, kdy pro jednotlivou rychlost byla určena doba času 10, 15 a 20 minut, během každého časového úseku byl naměřen určitý počet hodnot. Proto budou následná vyhodnocení rozdělena dle časových úseků.

Tato časová rozdělení byla zvolena z důvodu, aby bylo vidět jak dlouhá doba je potřebná k ustálení hodnot tepelného toku, což by pomohlo v dalších pracích probíhajících v Aerodynamickém tunelu. Současně bylo sledováno, zda u hodnot teploty v tunelu a teploty válečku dojde během delší doby měření k nějakým změnám.

### 13.1 Porovnání průměrných hodnot tepelného toku

V této podkapitole jsou porovnávány výsledné průměrné hodnoty tepelného toku jednotlivých alfametrů, při působení různých rychlostí proudícího vzduchu, získané na materiálu Softshell.

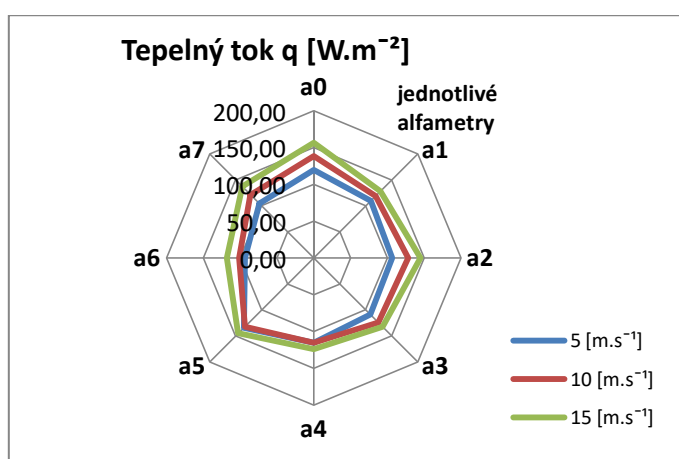
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 26 %,  
teplota v tunelu = 22,5° C.

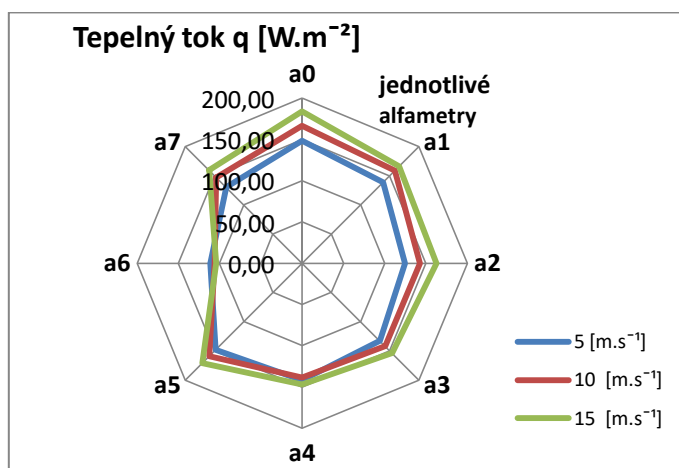
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 55,1 %,  
teplota v tunelu = 20,7° C.



Graf 6 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za standardních podmínek

Na výše uvedeném grafu 6 jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku získané při měření za standardních podmínek v laboratoři.



Graf 7 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za navýšené vlhkosti

Na výše uvedeném grafu 7 jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku získané při měření za podmínek při navýšené vlhkosti v laboratoři.

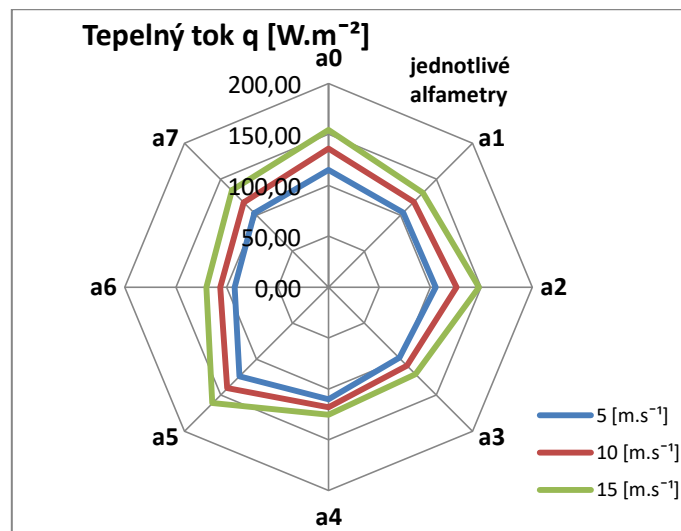
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 27 %,  
teplota v tunelu = 22,9° C.

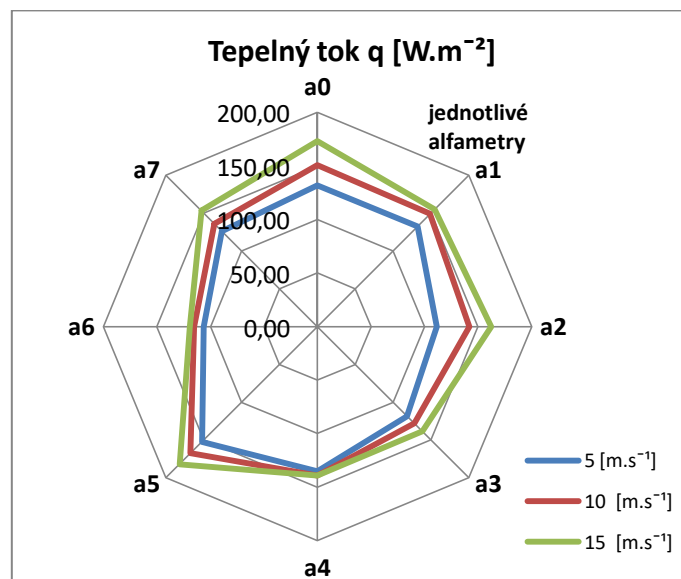
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 46,8 %,  
teplota v tunelu = 21,6° C.



**Graf 8 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za standardních podmínek**

Na výše uvedeném grafu 8 jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku získané při měření za standardních podmínek v laboratoři.



**Graf 9 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 9 jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku získané při měření za podmínek při navýšené vlhkosti v laboratoři.

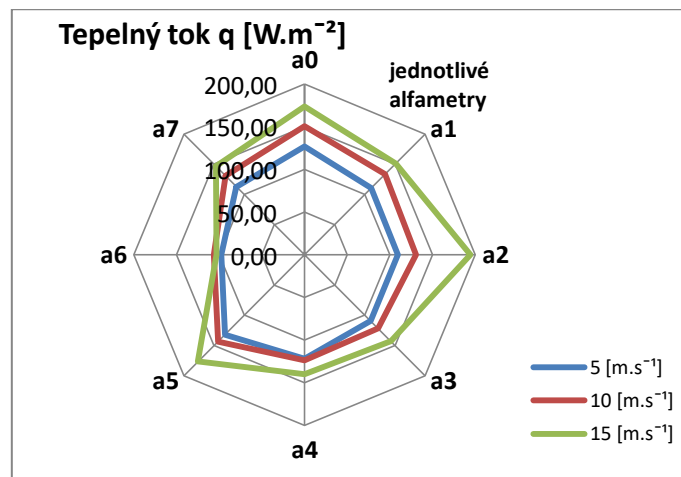
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 26 %,  
teplota v tunelu = 21,9° C.

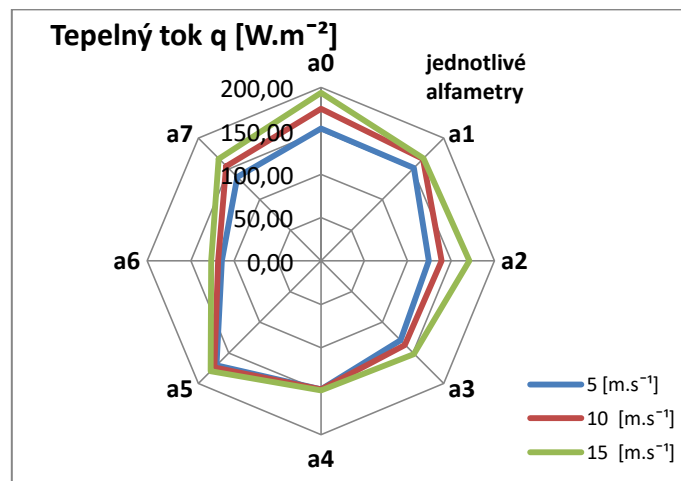
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 64 %,  
teplota v tunelu = 20,2° C.



**Graf 10 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za standardních podmínek**

Na výše uvedeném grafu 10 jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku získané při měření za standardních podmínek v laboratoři.



**Graf 11 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 11 jsou zobrazeny průměrné hodnoty tepelného toku získané při měření za podmínek při navýšené vlhkosti v laboratoři.

Z jednotlivých grafů vyplývá, že při navýšení vlhkosti v tunelu dochází ke zvýšení průměrných hodnot tepelného toku. Prvním předpokladem důvodu navýšení tepelného toku je snížená teplota v tunelu, ta by mohla být způsobena dodáním studené páry, jejíž hodnota dosahovala, podle provedeného měření, až o 4° menší teplotu než byla teplota v tunelu.

Druhým předpokladem je ulpění vzdušné vlhkosti na testované textilii, čímž může docházet k vyšší tepelné vodivosti, která je způsobena vodní parou, a tím dochází k rychlejšímu ochlazování textilie a tím pádem ke zvýšené produkci tepelného toku.

Hodnoty teploty vody, používané k vyvíjení vodní páry, se pohybovaly v rozmezí 25,5° C až 26,5° C. Průměrná hodnota teploty vyvíjené páry byla 19,37° C a to za standardních, tedy běžných podmínek laboratoře, kdy byla teplota  $t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$ .

### 13.2 Porovnání párových alfametrů u všech typů materiálů

Následuje porovnání párových alfametrů 1 a 7 pro všechny testované vzorky. Na následujících grafech lze posuzovat, který materiál má lepší tepelně izolační vlastnosti. Samozřejmě nelze mezi sebou porovnávat materiály jako je bavlněná tkanina a Softshell, jelikož se nepředpokládá, že by bavlněná tkanina dosahovala lepších tepelně izolačních vlastností.

Je zde ovšem možné sledovat, zda mají jednotlivé alfametry shodný průběh. A také lze porovnat mezi jednotlivými rychlostmi jak dlouhá je doba potřebná k ustálení tepelného toku.

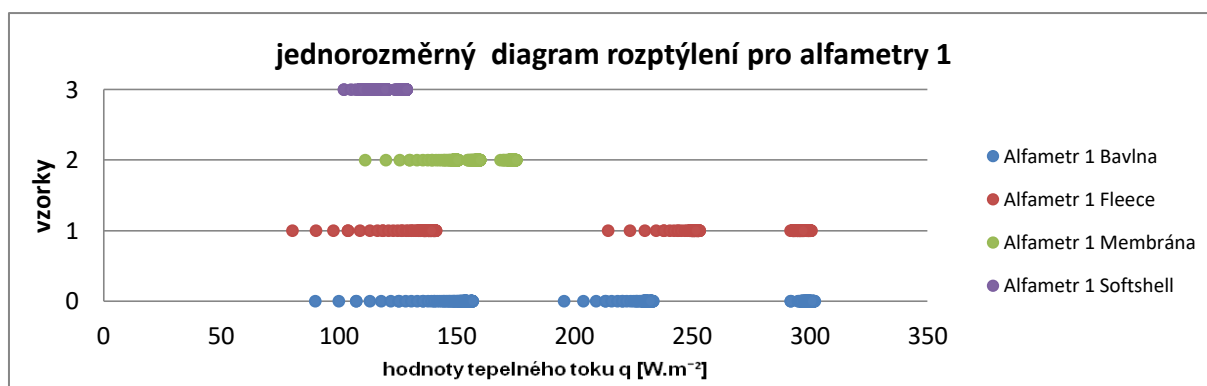
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 26 %,  
teplota v tunelu = 22,5° C.

Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 55,1 %,  
teplota v tunelu = 20,7° C.



Graf 12 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 1 za standardních podmínek

Na výše uvedeném grafu 12 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 1, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.





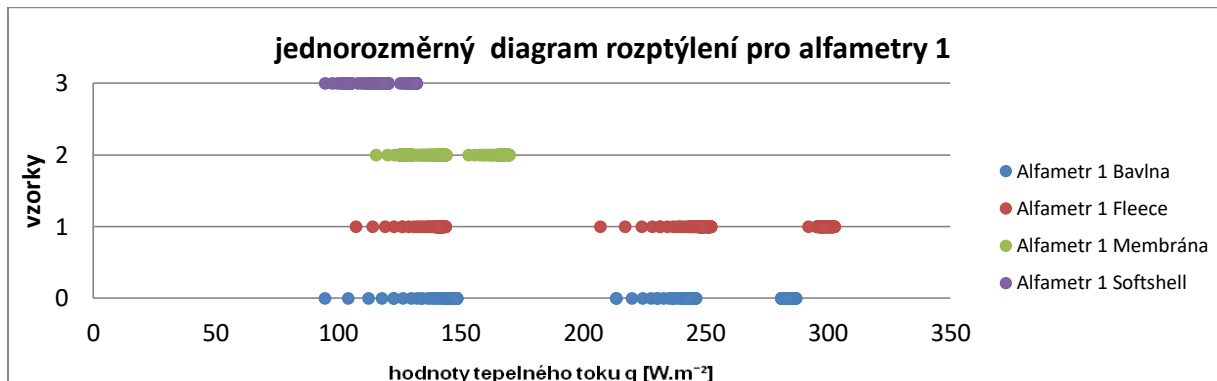
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 27 %,  
teplota v tunelu = 22,9° C.

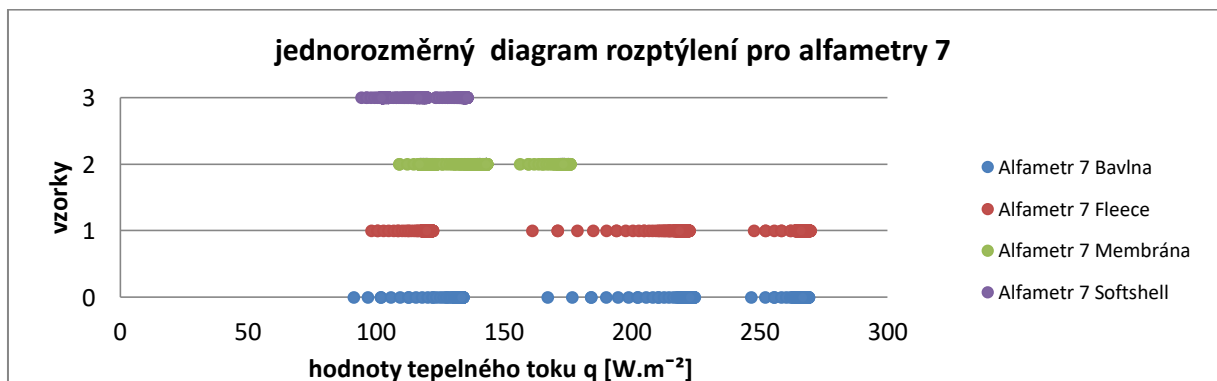
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 46,8 %,  
teplota v tunelu = 21,6° C.



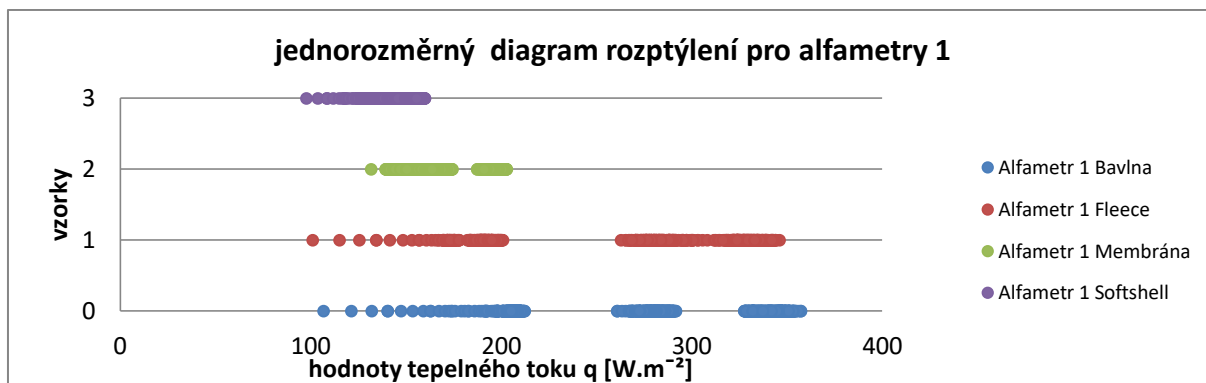
**Graf 16 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 1 za standardních podmínek**

Na výše uvedeném grafu 16 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 1, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



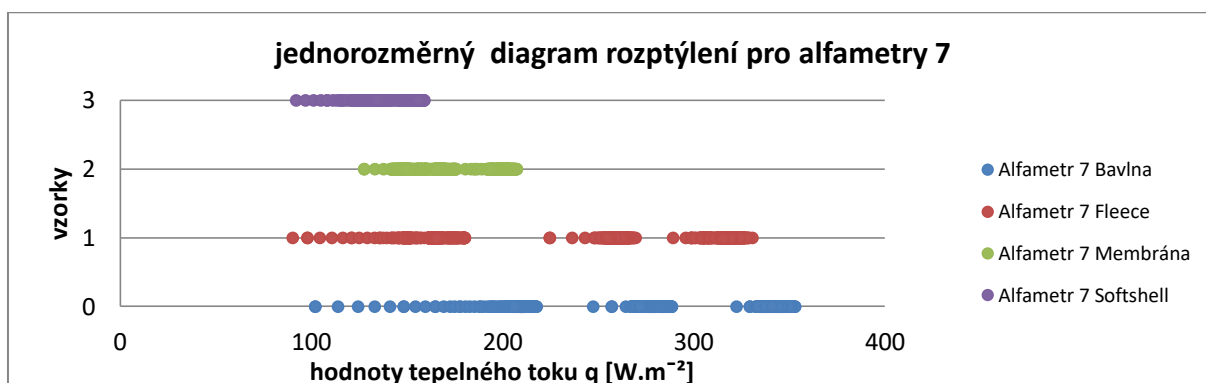
**Graf 17 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 7 za standardních podmínek**

Na výše uvedeném grafu 17 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 7, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



**Graf 18 - hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 1 při navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 18 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 1, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za podmínek při navýšené vlhkosti.



**Graf 19 - hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 7 při navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 19 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 7, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za podmínek při navýšené vlhkosti.

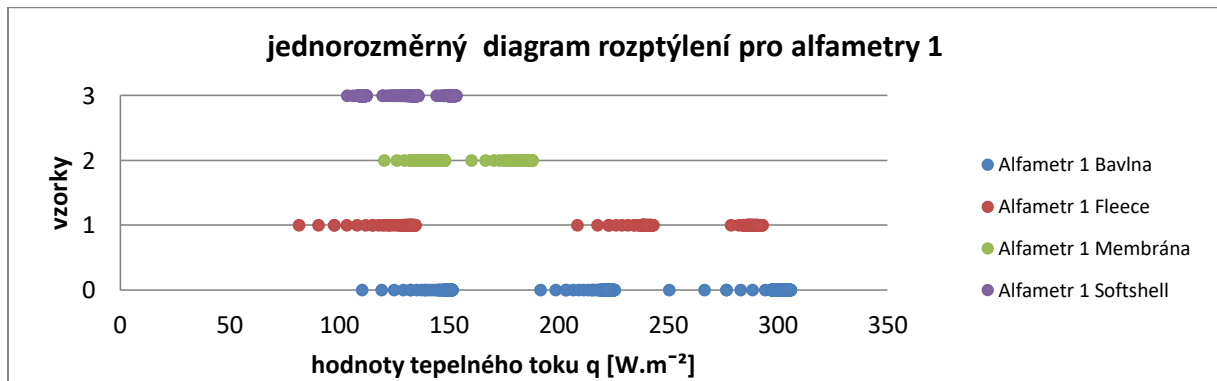
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 26 %,  
teplota v tunelu = 21,9° C.

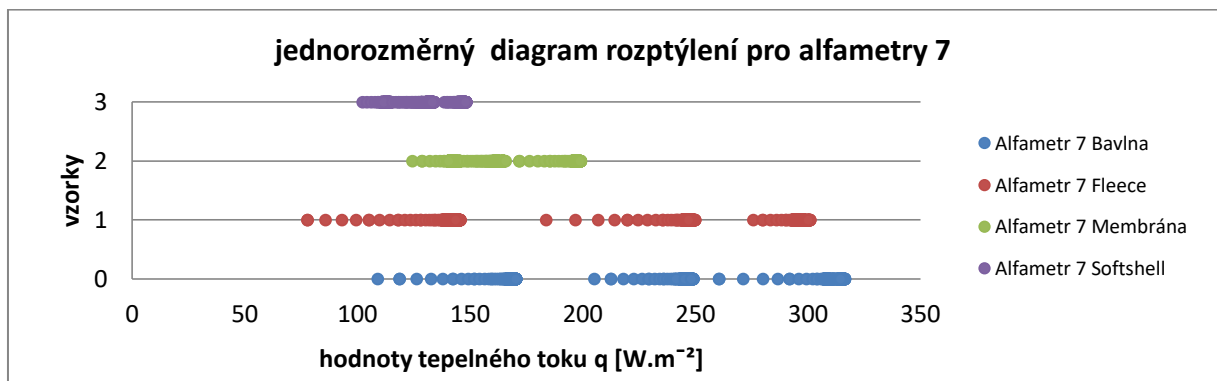
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 64 %,  
teplota v tunelu = 20,2° C.



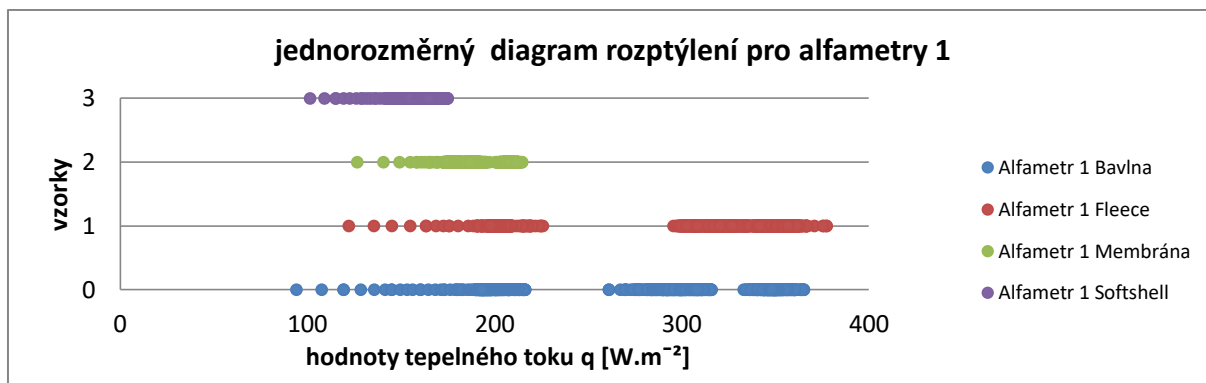
**Graf 20 - hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 1 za standardních podmínek**

Na výše uvedeném grafu 20 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 1, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



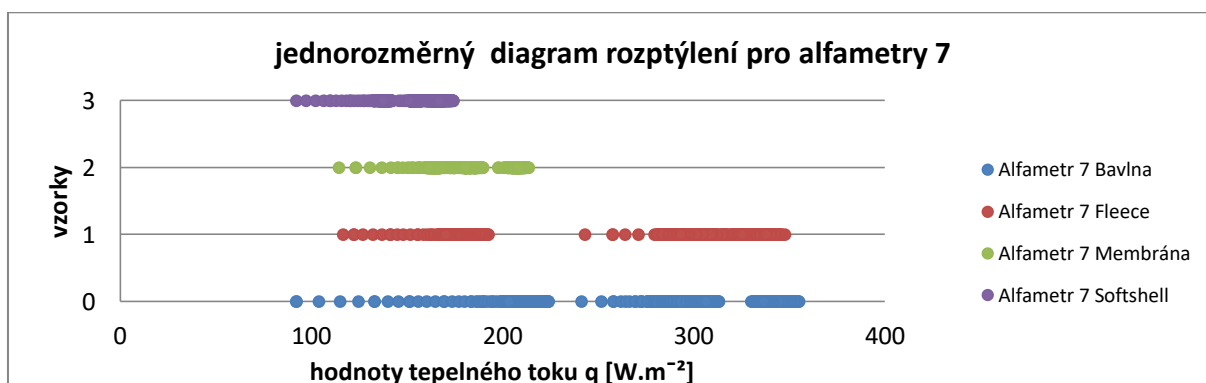
**Graf 21 - hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 7 za standardní vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 21 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfamtru 7, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



**Graf 22 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 1 při navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 22 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 1, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za podmínek při navýšené vlhkosti.



**Graf 23 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 7 při navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 23 jsou zobrazeny hodnoty tepelného toku snímané na alfametry 7, které byly získány při měření všech materiálů. Měření bylo provedeno za podmínek při navýšené vlhkosti.

Porovnáním nejen uvedených grafů, ale i grafů ostatních alfametrů, lze zpozorovat, že u materiálů s vyšší porositou je ustalování tepelného toku při všech testovaných rychlostech proudícího vzduchu zpravidla podobně dlouhé, nejvíce je to viditelné u bavlněné tkaniny. U membránových materiálů je ustalování tepelného toku s navyšující se rychlostí proudícího vzduchu kratší.

### 13.3 Porovnání párových alfametrů, teploty tunelu a válečku

Jako poslední hodnocení výsledků je použit bodový graf, na kterém lze sledovat, zda mají párové alfametry shodný průběh. Také je zde sledována teplotní linka vyhřívaného válečku, neboli modelu lidské paže a teplotní linka teploty v tunelu. Jednotlivé úseky pak reprezentují vybranou rychlost proudění, v tomto případě 5, 10 a 15 m.s<sup>-1</sup>.

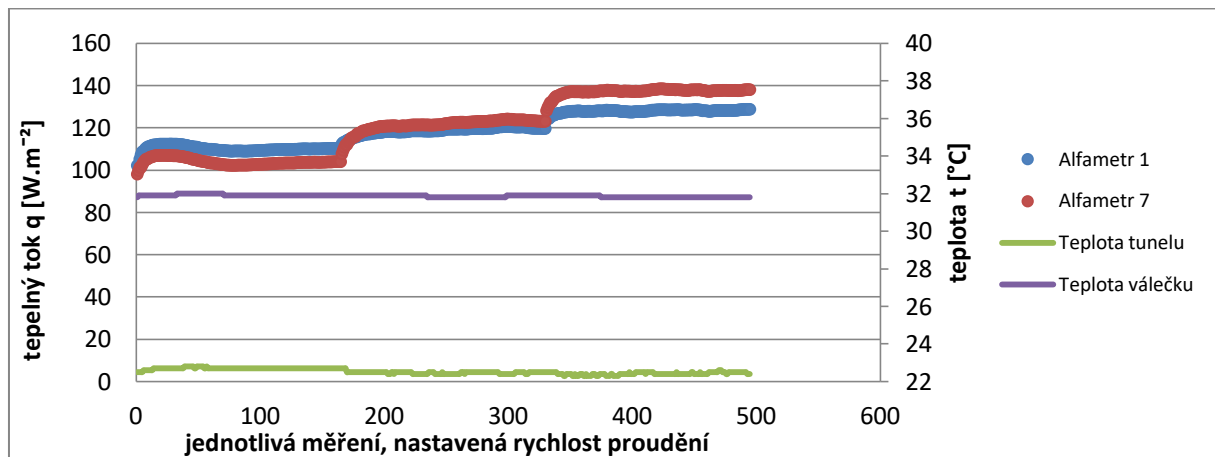
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 26 %,  
teplota v tunelu = 22,5° C.

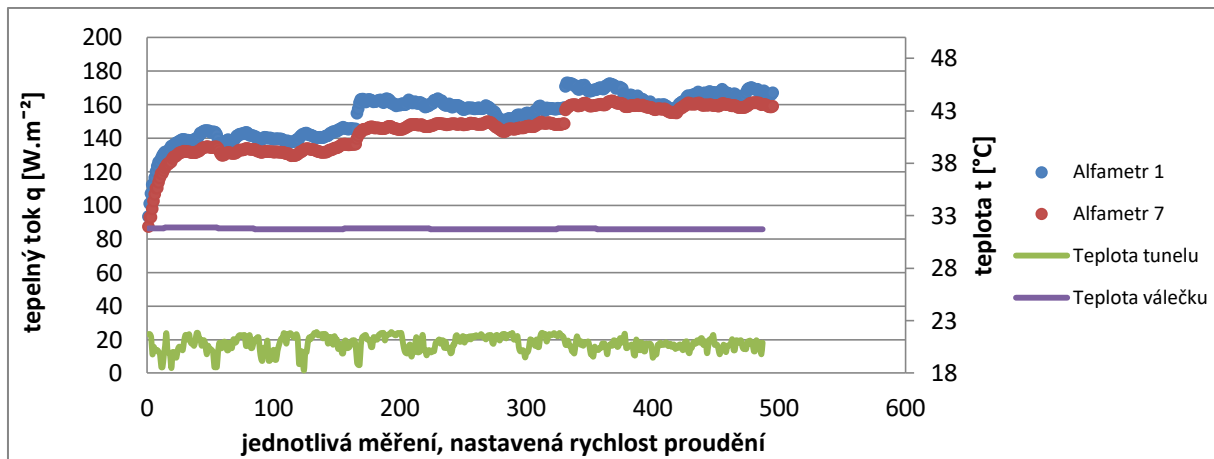
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 55,1 %,  
teplota v tunelu = 20,7° C.



Graf 24 - porovnání alfametrů 1 a 7 při standardních podmínkách v laboratoři

Na výše uvedeném grafu 24 je zobrazen průběh měření tepelného toku párových alfametrů 1 a 7. Dále jsou zde uvedeny hodnoty teploty tunelu a teploty válečku, které byly během testování zaznamenány. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



**Graf 25 - porovnání alfametrů 1 a 7 při navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 25 je zobrazen průběh měření tepelného toku párových alfametrů 1 a 7. Dále jsou zde uvedeny hodnoty teploty tunelu a teploty válečku, které byly během testování zaznamenány. Měření bylo provedeno za podmínek navýšení vlhkosti v tunelu.

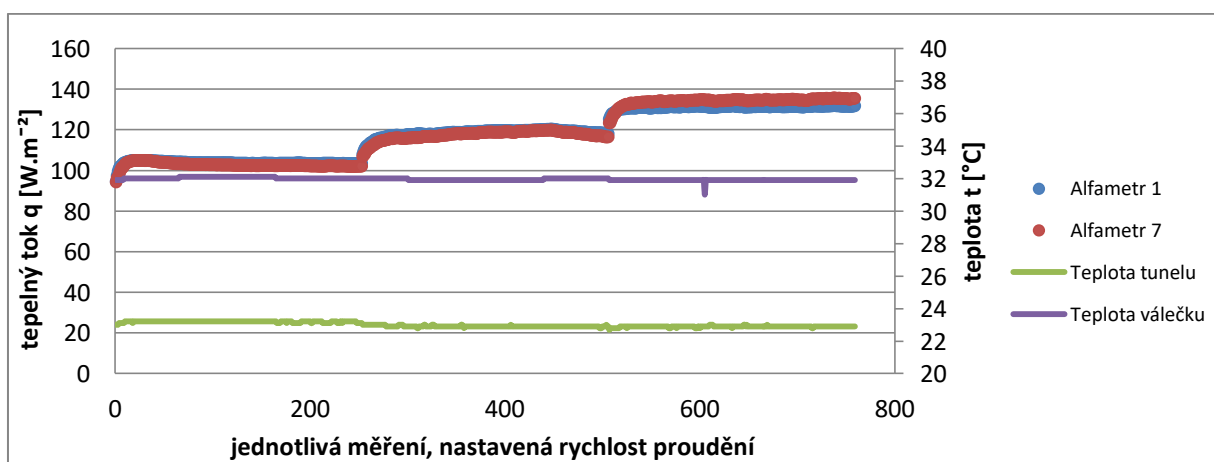
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 27 %,  
teplota v tunelu = 22,9° C.

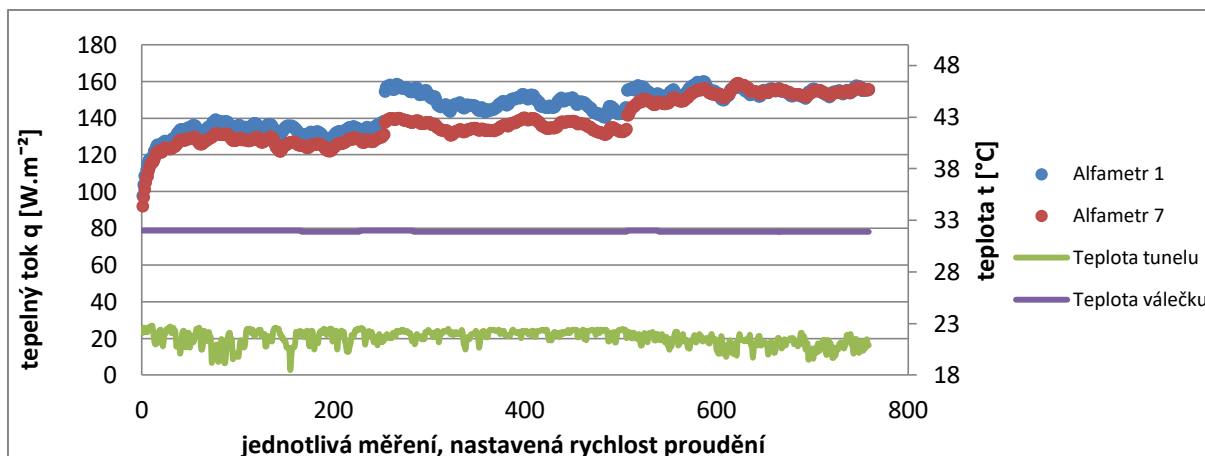
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 46,8 %,  
teplota v tunelu = 21,6° C.



**Graf 26 - porovnání alfametrů 1 a 7 při standardních podmínkách v laboratoři**

Na výše uvedeném grafu 26 je zobrazen průběh měření tepelného toku párových alfametrů 1 a 7. Dále jsou zde uvedeny hodnoty teploty tunelu a teploty válečku, které byly během testování zaznamenány. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



Graf 27 - porovnání alfametrů 1 a 7 při navýšené vlhkosti

Na výše uvedeném grafu 27 je zobrazen průběh měření tepelného toku párových alfametrů 1 a 7. Dále jsou zde uvedeny hodnoty teploty tunelu a teploty válečku, které byly během testování zaznamenány. Měření bylo provedeno za podmínek navýšení vlhkosti v tunelu.

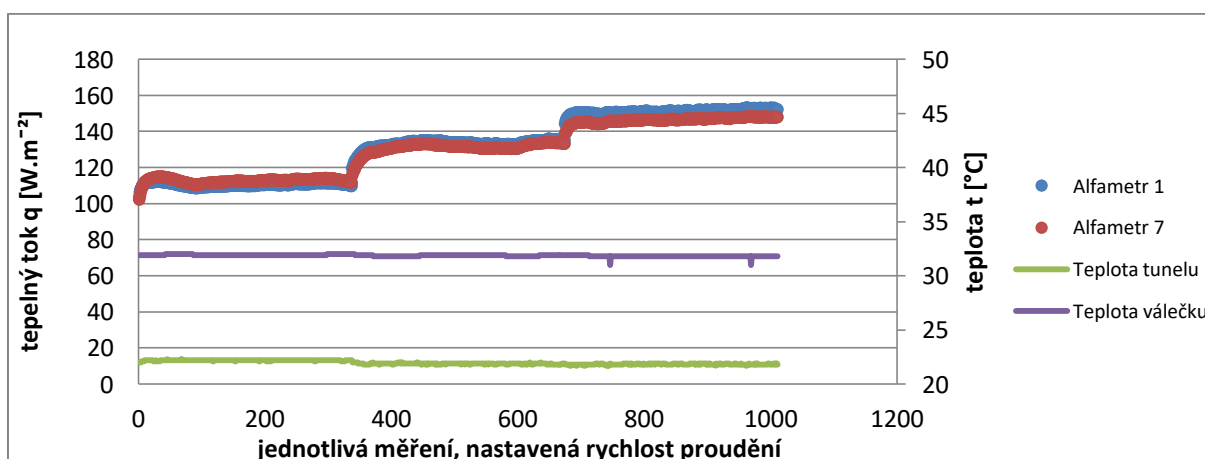
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

vlhkost v tunelu = 26 %,  
teplota v tunelu = 21,9° C.

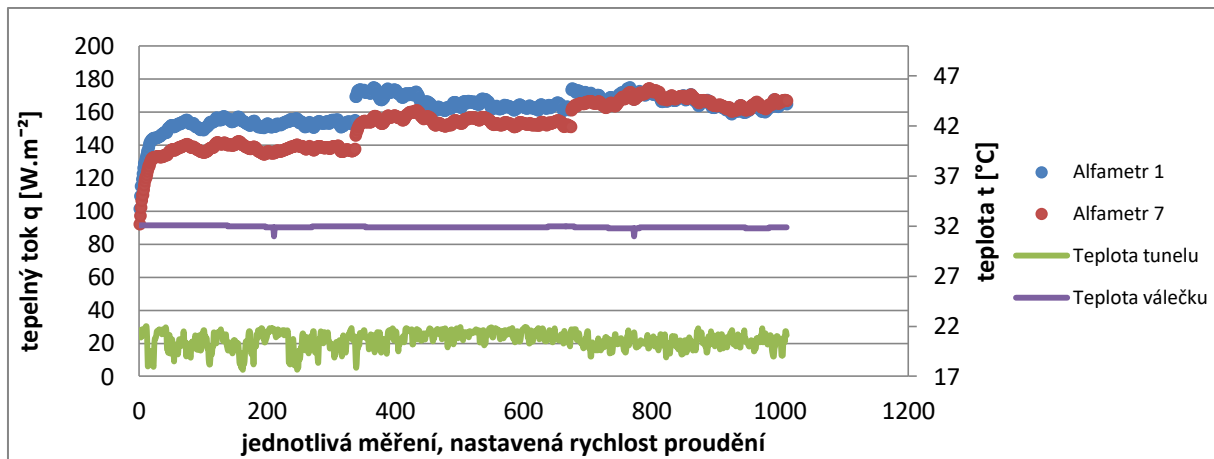
Podmínky při navýšení vlhkosti:

vlhkost v tunelu = 64 %,  
teplota v tunelu = 20,2° C.



Graf 28 - porovnání alfametrů 1 a 7 při standardních podmínkách v laboratoři

Na výše uvedeném grafu 28 je zobrazen průběh měření tepelného toku párových alfametrů 1 a 7. Dále jsou zde uvedeny hodnoty teploty tunelu a teploty válečku, které byly během testování zaznamenány. Měření bylo provedeno za standardních podmínek v laboratoři.



**Graf 29 - porovnání alfametrů 1 a 7 při navýšené vlhkosti**

Na výše uvedeném grafu 29 je zobrazen průběh měření tepelného toku párových alfametrů 1 a 7. Dále jsou zde uvedeny hodnoty teploty tunelu a teploty válečku, které byly během testování zaznamenány. Měření bylo provedeno za podmínek navýšení vlhkosti v tunelu.

Nerovnoměrností zvýšené vlhkosti vzduchu v rámci celého průřezu tunelu dochází k výraznému kolísání teploty v tunelu. Bylo zpozorováno, že v úsecích, kde byla zaznamenána vyšší vlhkost, dosahuje teplota tunelu nižších hodnot.

Vlivem navýšené vlhkosti vzduchu v tunelu je patrné, že průběh vývoje navýšení tepelného toku u obou párových alfametrů je shodný, liší se pouze při rychlostech proudění vzduchu 5 a 10 m.s<sup>-1</sup>, kdy dochází k navýšení hodnoty tepelného toku u alfametrů 1 o v průměru 20 W.m<sup>-2</sup>. Při rychlosti proudícího vzduchu 15 m.s<sup>-1</sup> jsou hodnoty tepelného toku u obou párových alfametrů 1 a 7 shodné.

Teplota vyhřívaného válečku nebyla působením vlhkosti ovlivněna. Bylo ovšem zjištěno, že během testování, ať již za standardních podmínek tak i za podmínek s navýšenou vlhkostí, dochází v ne předem odhadnutelných úsecích ke skokům snímání. V těchto úsecích byla vždy zaznamenána teplota válečku 31° C.

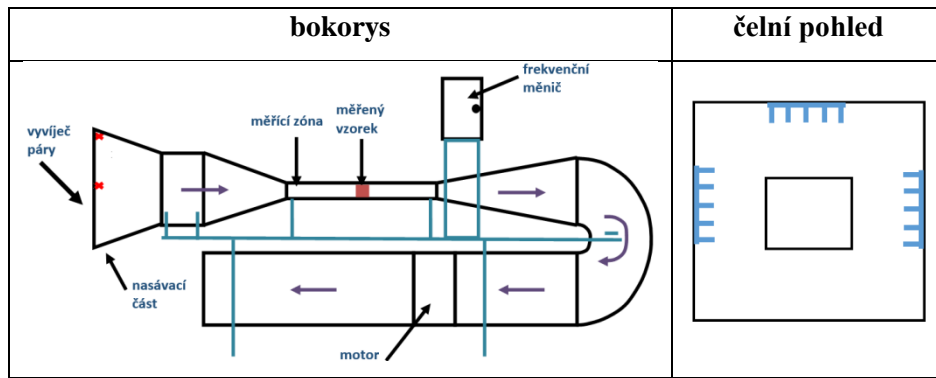


## 14 Diskuze výsledků

Celková diskuze výsledků vychází z výše uvedených vyhodnocení výsledků, která jsou uvedena vždy pod dílčím měřením. V této kapitole bude tedy celkové shrnutí všech dosažených výsledků.

Po provedení zkušební testování jednotlivých materiálů bylo zjištěno, že během tohoto měření trvajících zhruba 3 hodiny, při všech rychlostech proudění dochází ke snižování teploty válečku v průměru o  $1^{\circ}\text{C}$  a také ke snížení teploty v tunelu až o  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Bylo tedy přistoupeno k otestování, zda během různých časových intervalů dojde k ustálení teplot tunelu a válečku. Z vyhodnocení jednotlivých měření bylo zjištěno, že delší časová doba testování jednoho vzorku nemá výrazný vliv na hodnoty teploty v tunelu a teploty válečku. Bylo ale zpozorováno, že během testování, ať již za standardních podmínek tak i za podmínek s navýšenou vlhkostí, dochází v ne předem odhadnutelných úsecích ke skokům snímání teploty válečku. Na hodnotě jednoho snímku byla vždy zaznamenána teplota válečku  $31^{\circ}\text{C}$  i když u ostatních snímků byla jiná. Bylo by zajímavé v rámci jiných prací sledovat, za jakých podmínek k tomuto jevu dochází a čím je způsoben.

Dále bylo sledováno, kdy dojde k ustálení hodnot tepelného toku, což by pomohlo v dalších pracích probíhajících v Aerodynamickém tunelu. Proto byla jednotlivá měření prováděna při různých časových intervalech. Porovnáním všech výsledných hodnot, lze zpozorovat, že u materiálů s vyšší porositou je ustalování tepelného toku při všech testovaných rychlostech proudícího vzduchu zpravidla podobně dlouhé, nejvíce je to viditelné u bavlněné tkaniny. U membránových materiálů je ustalování tepelného toku s navyšující se rychlostí proudícího vzduchu kratší. Po průzkumu jednotlivých dat, z jednotlivých alfa metrů lze říci, že u každé rychlosti proudu vzduchu dochází k ustalování tepelného toku po zhruba 45 snímcích, což odpovídá zhruba 3 minutám měření jednoho vzorku, to ale platí, pouze pokud nedošlo k navýšení vlhkosti v tunelu, tedy za standardních podmínek v laboratoři. Pokud byla vlhkost vzduchu v tunelu navýšena nelze s jistotou říci, kdy dochází k ustálení hodnot tepelného toku, to je způsobeno nerovnoměrností zvýšené vlhkosti vzduchu v rámci celého průřezu tunelu, a tím kolísáním teploty v tunelu. Bylo by vhodné v rámci dalších měření zajistit lepší rozložení vlhkosti v tunelu a to bez ovlivnění linearitu proudění. Doporučuji pořídit další dva zvlhčovače vzduchu a umístit je dle následujícího schématu.



Obrázek 18 - doporučení umístění zvlhčovačů

Z dalších vyhodnocení byl potvrzen předpoklad, že materiál Softshell dosahuje nejlepších tepelně izolačních vlastností, jelikož u něho byla sledována nejmenší spotřeba tepla, která je vyvíjena pro udržení teploty válečku na 32° C. Během hodnocení bylo tedy posuzováno, zda působení vlhkosti ovlivní nějak tuto skutečnost. Z celkového vyhodnocení výsledků lze s jistotou říci, že působením vlhkosti nedochází k výraznému ovlivnění tepelně izolačních vlastností materiálů.

Dále bylo zjištěno, že v rámci působení vlhkosti (navýšení o zhruba 30 % RH z původních 25 % RH na 55 % RH) v tunelu dochází ke zvýšení průměrných hodnot tepelného toku, nelze přesně určit, čím je tento jev způsoben, nabízejí se dvě následující příčiny, popřípadě jejich kombinace:

- dodání studené páry, která způsobuje snížení teploty v tunelu, což vede k rychlejšímu ochlazení textilie a tím pádem ke zvýšené produkci tepelného toku.
- ulpění vzdušné vlhkosti na testované textilii, čímž může docházet k vyšší tepelné vodivosti, která je způsobena vodní parou, a tím dochází k rychlejšímu ochlazení textilie a tím pádem ke zvýšené produkci tepelného toku.

Bylo by zajímavé v rámci jiných prací sledovat, hmotnostní přírůstek textilních vzorků po působení vlhkého proudu vzduchu.

## Závěr

Tato diplomová práce si dala za cíl zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkosti vzduchu na měření tepelného toku při průchodu textilií v proudícím vzduchu. Cílem předložené práce bylo tedy navrhnout a posoudit možnosti testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu. Měření navýšené vlhkosti vzduchu v laboratorním Aerodynamickém tunelu mělo přiblížit podmínky měření k podmínkám vyskytujícím se při reálném nošení oděvů za podmínek vlhkého a větrného podnebí.

V rešeršní části této práce jsou shrnuty teoretické aspekty studované problematiky, jako jsou například základní informace o termofyziologickém komfortu, způsobu hodnocení tepelně-izolačních vlastností, popis zařízení Aerodynamického tunelu a základní informace o vlhkosti vzduchu. V experimentální části této práce je navržen a popsán experiment, zkoumající vliv vlhkosti vzduchu na tepelně-izolační vlastnosti vybraných textilií při měření v Aerodynamickém tunelu.

Testovací zařízení, tedy Aerodynamický tunel na katedře oděvnictví, vyhovuje požadavkům měření tepelně-izolačních vlastností za podmínek proudícího vzduchu. Avšak na tomto zařízení nebyla prozatím vyvíjena a hodnocena metodika zabývající se testováním vlivu vlhkosti na tepelně izolační vlastnosti materiálů, bylo tedy zapotřebí vyvinout takový experiment, a následně hodnotit vliv proudícího vzduchu na tepelně-izolační vlastnosti textilií.

Závěry laboratorního měření experimentu prokázaly, že lze simulovat změny tepelně-izolačních vlastností materiálů v důsledku působení nejen proudění vzduchu, ale i zvýšené vlhkosti vzduchu.

Na závěr této práce je vhodné zmínit doporučení pro optimalizaci zařízení Aerodynamického tunelu, jelikož má tento experiment potenciál ke zlepšení:

- regulace teploty u vyhřívaného válečku, čímž by byly dosaženy konstantní a stejné podmínky u všech měření.
- doplnění válečku o zaznamenání údajů o spotřebované energii, která byla použita pro vyrovnání teploty.
- přidání senzoru pro změření teploty mezi válečkem a vzorkem.

Dále je zapotřebí zmínit doporučení pro další vývoj v rámci testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu:

- sledovat, za jakých podmínek dochází ke skokovému poklesu teploty vyhřívaného válečku a čím je způsoben.
- sledovat, hmotnostní přírůstek textilních vzorků po působení vlhkého proudu vzduchu.
- pořízení dalších vyvíječů páry a sledovat vhodné umístění, které by neovlivnilo linearitu proudícího vzduchu v tunelu.
- sledování vzduchové mezery mezi vyhřívaným válečkem a testovaným vzorkem.
- sledování vlivu anemometrického čidla na vznik turbulentního proudění v tunelu.
- sledování vlivu nově použitého alfametru 3.

Aerodynamický tunel je unikátní zařízení neustále se vyvíjející. Hlavním cílem této diplomové práce bylo přispět k optimalizaci tohoto zařízení a prokázat zda lze simulovat změny tepelně-izolačních vlastností materiálů v důsledku působení nejen proudění vzduchu, ale také zvýšené vlhkosti vzduchu. Doufám, že tato práce napomohla k dalšímu rozvoji na zařízení Aerodynamický tunel.

## Citovaná literatura

- [1] BROŽ, Václav. DANĚK, Vladimír. FILAKOVSKÝ, Karol. Základy aerodynamiky, *Brno: Akademické nakladatelství Cerm s.r.o.*, 2004, ISBN 80-7204-316-1.
- [2] BROŽ, Václav. Aerodynamika nízkých rychlostí, *Praha: Vydavatelství ČVUT*, 2001, ISBN 80-01-02347-8.
- [3] HOFÍREK, Mojmír. Mechanika tekutin hydromechanika a základy aerodynamik, *Havlíčkův brod: nakladatelství FRAGMENT*, 1998, ISBN 807200-260-0.
- [4] PÍCHA, Bohumil. Aerodynamika nízkých a vysokých rychlostí, *Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci*, 1987, 55-805-87.
- [5] SLYŠKO, Anton. Aeromechanika, *Bratislava: Vydavatelství ALFA*, 1991, ISBN 80-05-00711-6
- [6] JAŇOUR, Zbyněk. PODZIMEK, Josef. HACURA, Vincenc, Základy aerodynamiky a mechaniky letu, *Praha: Vydavatelství čs. Branné moci*, 1953, publikace číslo 1074/263.
- [7] TECHMANIA. *Edutorium* [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: WWW: [http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=276](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=276)
- [8] ODBORNÉ ČASOPISY. *Repetitorium* [online]. [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36236.pdf>
- [9] ŠUBERT, Radim. *Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu*. Liberec, 2006. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Školitel Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs.
- [10] KATZ, Joseph. Race car aerodynamics: designing for speed (Engineering and Performance). *Bentley Publishers*, 1996. ISBN 0-8376-0142-8.
- [11] HALASOVÁ, Andrea. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu*. Liberec, 2006. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Školitel Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs.
- [12] KMONÍČEK, Vladimír.: Termomechanika, ČVÚT, Praha 1979
- [13] LEVINSKÝ, Otto.: Technický slovník, SNTL, Praha 1985
- [14] HLADÍK, Vladimír.: Textilní vlákna, SNTL, Praha 1970
- [15] HORÁK, Zdeněk, KRUPKA, František.: Fyzika, SNTL, Praha 1970
- [16] DOSEDLOVÁ, Ivana. *Tepelně izolační vlastnosti kolmo kladených textilií s obsahem bavlny*. Liberec, 1998. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.

- [17] ŽALUD, Vladimír. *Hodnocení tepelně izolačních vlastností objemných textilií*. Liberec, 1997. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [18] TUZAROVÁ, Monika. *Tepelně izolační vlastnosti objemných textilií s obsahem bavlny*. Liberec, 2000. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [19] KOVOLOVÁ, Gabriela. *Měření tepelně izolačních vlastností 3D textilií*. Liberec, 2000. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [20] *Meteocentrum: Vlhkost vzduchu* [online]. Meteocentrum.cz [cit. 15.5.2016]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vlhkost-vzduchu.php>
- [21] KLÍMA M., Nový systém pohlcování nadměrné vlhkosti. [cit.10.5.2016]. Dostupné z: <http://www.stavimedum.cz/article.jsp?art=456&catId=2>
- [22] ZVĚŘINA, Jiří, *Konstrukce přípravku pro testování čidel vlhkosti vzduchu*. Liberec, 2009. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií. Školitel Ing. Jiří Jelínek PhD.
- [23] FEXA, Josef, ŠIROKÝ, Karel. Měření vlhkosti. 1. Vydavatelství Praha Bratislava: *Státní nakladatelství technické literatury Alfa*, 1983. 262 s.
- [24] JORDEVA, Sonja, KJORTOSEVA Sonja, KALOJANOV Nikola. Research of thermophysiological comfort of single jersey knitted structures with method of thermovision. *ResearchGate*, 2012, (59),1-14.
- [25] JANALÍK, Jaroslav. *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje* [online]. 1. Ostrava: VŠB –TU Ostrava, 2008 [cit. 2017-09-19]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchi/ped/hydroteplo/materialy/skripta.Janalik.pdf>
- [26] PROCHÁZKA, Arnold. *Proudění tekutin potrubím a kanály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [27] NOSKIEVIČ, Jaromír. *Mechanika tekutin*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [28] STEIDL, Hanuš. *Úvod do proudění tekutin a sdílení tepla*. Praha: Academia, 1975.
- [29] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [30] Jirsák, O., Got, T., Pann, N.: *A dynamic and a static methods for measurement of conductivity properties of textiles*: In young textile science 96, Liberec 1996.
- [31] LASERCOMP, Inc. ©. Manuál k přístrojům FOX200, FOX300, FOX304 a FOX314. 1999-2011, 28 s.
- [32] Manuál k přístroji FOX 314, Laser Comp, Inc. 1999-2011, TUL, Liberec 2013

- [33] Fox 314. In: [online]. [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: [http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM\\_prednaska2\\_2013.pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska2_2013.pdf)
- [34] EY50 Sweating Guarded Hotplate. EYTEST [online]. 2011 [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <http://www.eytest.com/ey50.html>
- [35] EY50 Sweating Guarded Hotplate. EYTEST [online]. 2011 [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: <http://www.eytest.com/ey50.html>
- [36] TUL Ustav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. (2011). Získáno březem 2014, z Laboratoře pro výrobu vzorků a prototype výrobku: <http://cxi.tul.cz/laborator-pro-vyrobu-vzorku-a-prototypu-vyrobku-doc-ing-antonihavelka-csc.html>
- [37] McCullough EA., Huang J., Kim, CS., An explanation and comparison of sweating hot plate standards, *Journal of ASTM International*, Volume 1, Issue 7 (July 2004), 13 pp., ISSN: 1546-962X
- [38] Termokamera - obrázek [online]. [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/f/cadinfo/o/Info/termovize01.png>
- [39] ZPRAVODAJ 01 Bezdotykové měření teploty [cit. 26. Října 2017]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.newport.cz/dowland/zpravodaje/zpravodaj-01.html>
- [40] Termovize: Termovizní měření - teorie [online]. [cit. 2017-10-27]. Dostupné z: <http://www.termovize.com/termovizni-mereni-teorie>
- [41] Pecháček, F., Jankovský, J. Zkoušení textilií pro 4. Ročník střenic průmyslových škol textilních. 2. vydání Praha 1976.
- [42] ANGELOVÁ, Radostina A., Working in Cold Environment: Clothing and Thermophysiological Comfort. In: KORHAN, Orhan. *Occupational Health*. Turkey: InTech, 2017, 223-236. ISBN 978-953-51-2890-8.
- [43] Přístroj pro měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám: SKIN MODEL PSM-2, KOD, TU Liberec.
- [44] TUZAROVÁ, Monika. Tepelně izolační vlastnosti objemných textilií s obsahem bavlny. Liberec, 2000. Diplomová. Technická univerzita v Liberci.
- [45] Zařízení pro měření tepelně izolačních vlastností Statickou metodou: KNT, TU Liberec.
- [46] C-therm technologies. [online]. [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.ctherm.com/company/>
- [47] C-therm Technologies: C-therm [online]. [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: [http://www.ctherm.com/resource/samples/sample\\_homepage\\_photo.jpg](http://www.ctherm.com/resource/samples/sample_homepage_photo.jpg)
- [48] Měření tepelné vodivosti. Chempoint [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dok/vnieEqqy5p8VVVof>

- [49] Manuál k přístroji Thermal conductivity analyzer TCi – Model C-therm TCi, TUL, Liberec 2013
- [50] TOGMETER SDL M 259: Návod k obsluze přístroje.”
- [51] Togmetr obrázek [online]. [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: [http://www.kod.tul.cz/info\\_predmety/Om/frvs2025/en/Togmeter/Togmeter\\_photo.jpg](http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Om/frvs2025/en/Togmeter/Togmeter_photo.jpg)
- [52] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. Oděvní materiály. první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-682-2.
- [53] KRMÁŠKOVÁ, Petra. *Objektivní hodnocení fyziologického komfortu spacích pytlů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1996.
- [54] ANGELOVÁ, Radostina, REINERS, Priscila, GEORGIEVA, Elena, PLAMENOVÁ KONOVÁ, Hristina, PRUSS, Bianca, KYOSEV, Yordan. Heat and mass transfer through outerwear clothing for protection from cold: influence of geometrical, structural and mass characteristics of the textile layers. *SAGE Journals*. 2016, 87, 9, 1060-1070, ISBN 0040-5175.
- [55] FRYDRYCH, Ivo, DZIWORSKÁ, Gabriela, BILSKÁ, Jadwiga. Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Poland, 2002, 40-44, ISSN: 1230-3666.
- [56] OGLAKCIOGLU, Nida, MARMARALI, Arzu. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Turkey, 2007, 15, 64-65, ISSN: 1230-3666.
- [57] BHATIA, Dinesh, MALHOTRA, Urvashi. Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An Overview. *Journal of Textile Science & Engineering*. India, 2016, 1-8, ISSN: 2165-8064.
- [58] ONFREI, Elena, ROCHA, Ana Maria, CATARINO, André. The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Portugal, 2011, 10-22.
- [59] MATUSIAK, Małgorzata, SIKORSKI, Krzysztof. Influence of the Structure of Woven Fabrics on Their Thermal Insulation Properties. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Poland, 2011, 46-53, ISSN: 1230-3666.
- [60] MATUSIAK, Małgorzata. Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Poland, 2006, 98-102, ISSN: 1230-3666.



- [61] LAMKOVÁ, Radka. *Měření tepelně izolačních vlastností oděvních materiálů v proudícím vzduchu: Measurement of the thermal insulation properties of clothing materials in steaming air*. Liberec: Technická univerzita, 2016.
- [62] SZEPESIOVÁ, Tereza. *Srovnávací analýza metod pro zjišťování tepelně izolačních vlastností: Comparative analysis methods for detecting thermal insulation properties* [CD-ROM]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015.
- [63] ČSN EN 31092 (800819): Textilie - Zjišťování fyziologických vlastností - Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou) (ISO 11092: 1993). Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [64] *Farmapython* [online]. Nošovice: Farma Python, 2016 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://eshop.farmapython.cz/produkt/lucky-reptile-super-fog-ii-mlhovac>
- [65] BURZA, Marek. Topná sezona v paneláku nedělá dobře sliznicím. Pomůže zvlhčovač. *IDNES: HOBBY* [online]. Praha: MAFRA, 2018, 30.1.2018, 2018 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [https://hobby.idnes.cz/zvlhcovani-vzduchu-v-panelovem-dome-dvc-/hobby-domov.aspx?c=A180129\\_124219\\_hobby-domov\\_bma](https://hobby.idnes.cz/zvlhcovani-vzduchu-v-panelovem-dome-dvc-/hobby-domov.aspx?c=A180129_124219_hobby-domov_bma)
- [66] *Aquaristic.net: aquarium shop* [online]. Bayern: aquaristic.net, 2018 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://fish.aquaristic.net/Lucky-Reptile-Super-Fog-Multi-Outlet-aquaristic.net.html>
- [67] *AHLBORN* [online]. Praha: AHLBORN, 2018 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - matematické kyvadlo.....	25
Obrázek 2 - Aerodynamický tunel na katedře oděvnictví [9] [11].....	28
Obrázek 3 - rozdělení proudění tekutin.....	29
Obrázek 4 - pohyb částic při laminárním proudění [26] [27] [28].....	30
Obrázek 5 - pohyb částic při turbulentním proudění [26] [27] [28].....	30
Obrázek 6 - schéma modelu lidské paže .....	43
Obrázek 7 - hlavní řídicí program .....	45
Obrázek 8 - schéma umístění švu.....	50
Obrázek 9 - Super Fog II - mlhovač [64] .....	51
Obrázek 10 - schéma běžného ultrazvukového vyvíječ páry [65] .....	52
Obrázek 11 - rozšířené vyústění pro vyvíječ páry [66] .....	52
Obrázek 12 - datalogger ALMEMO [67] .....	53
Obrázek 13 - snímač vlhkosti ALMEMO [67] .....	53
Obrázek 14 - rozšířené vyústění na okraji horní stěny nasávací hlavice tunelu.....	54
Obrázek 15 - rozšířené vyústění uvnitř na horní stěně nasávací hlavice tunelu.....	54
Obrázek 16 - hadice bez rozšíření uprostřed nasávací hlavice tunelu.....	55
Obrázek 17 - rozšířené vyústění uvnitř na spodní stěně nasávací hlavice tunelu .....	55
Obrázek 18 - doporučení umístění zvlhčovačů .....	74

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - charakteristika použitých materiálů .....	40
Tabulka 2 - Bavlněná tkanina [61] .....	41
Tabulka 3 - Fleece úplet [61] .....	41
Tabulka 4 - Membránový materiál [61] .....	42
Tabulka 5 - Softshellový materiál [61].....	42
Tabulka 6 - vyhodnocení testování vlhkosti.....	57

## Seznam grafů

Graf 1- paprskový graf testování bez vzorku .....	47
Graf 2 - paprskový graf Softshell .....	47
Graf 3 - alfametr 0 získaný u všech vzorků.....	48
Graf 4 - porovnání párových alfametrů 1 a 7 .....	49
Graf 5- průměrné navýšení vlhkosti .....	58
Graf 6 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za standardních podmínek .....	60
Graf 7 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za navýšené vlhkosti .....	60
Graf 8 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za standardních podmínek .....	61
Graf 9 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za navýšené vlhkosti .....	61
Graf 10 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za standardních podmínek .....	62
Graf 11 - hodnoty tepelného toku materiálu Softshell za navýšené vlhkosti.....	62
Graf 12 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 1 za standardních podmínek .....	63
Graf 13 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 7 za standardních podmínek .....	64
Graf 14 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 1 při navýšené vlhkosti.....	64
Graf 15 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 7 při navýšené vlhkosti .....	64
Graf 16 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 1 za standardních podmínek .....	65
Graf 17 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 7 za standardních podmínek .....	65
Graf 18 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 1 při navýšené vlhkosti.....	66
Graf 19 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 7 při navýšené vlhkosti.....	66
Graf 20 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 1 za standardních podmínek .....	67
Graf 21 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 7 za standardní vlhkosti .....	67
Graf 22 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 1 při navýšené vlhkosti.....	68
Graf 23 - hodnoty tepelného toku snímané na alfametru 7 při navýšené vlhkosti.....	68
Graf 24 - porovnání alfametrů 1 a 7 při standardních podmínkách v laboratoři.....	69
Graf 25 - porovnání alfametrů 1 a 7 při navýšené vlhkosti.....	70
Graf 26 - porovnání alfametrů 1 a 7 při standardních podmínkách v laboratoři.....	70
Graf 27 - porovnání alfametrů 1 a 7 při navýšené vlhkosti.....	71
Graf 28 - porovnání alfametrů 1 a 7 při standardních podmínkách v laboratoři.....	71
Graf 29 - porovnání alfametrů 1 a 7 při navýšené vlhkosti.....	72

## Seznam příloh

Příloha č. A - Průměrné hodnoty tepelného toku

Příloha č. B - Jednorozměrné diagramy rozptýlení pro všechny alfametry

Příloha č. C - Porovnání párových alfametrů u všech vzorků

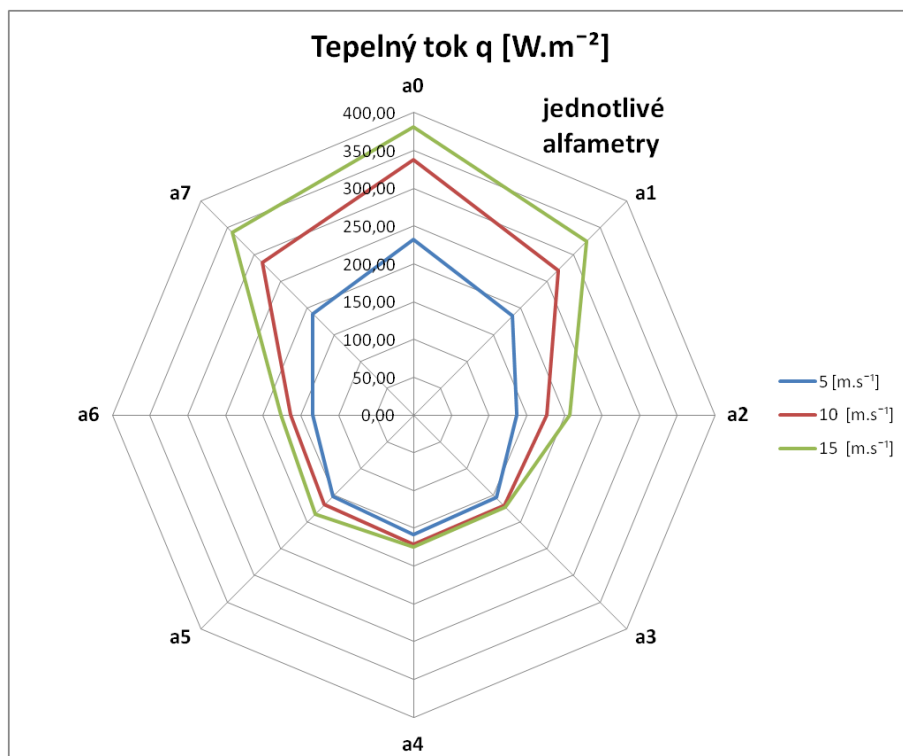
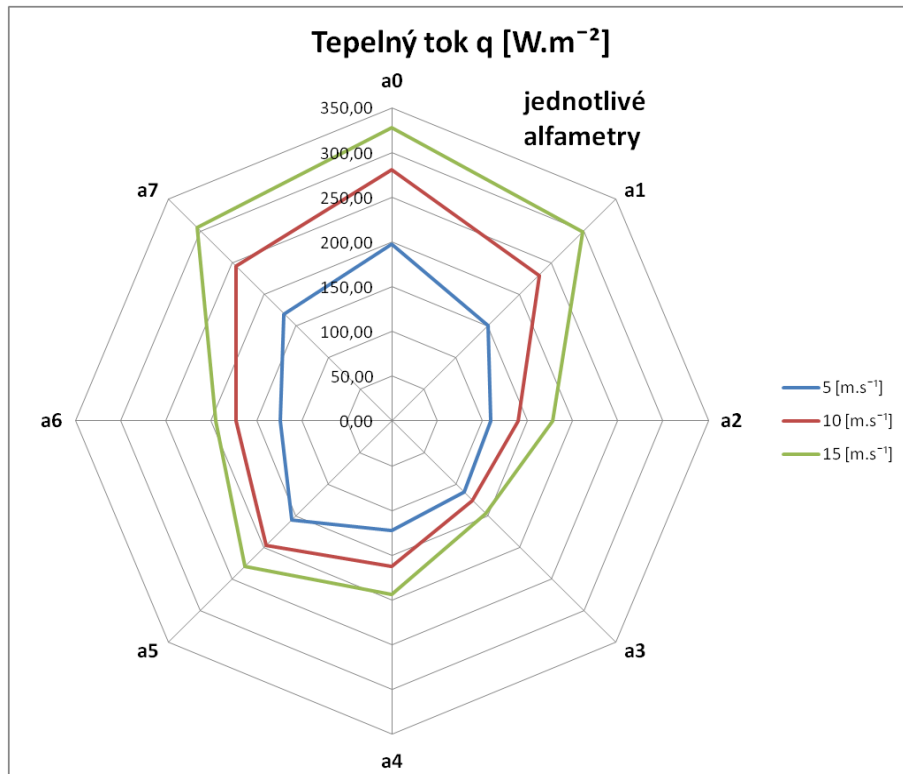
Příloha č. D - Fotografie pořízené při výběru umístění zvlhčovače

# **Příloha A**

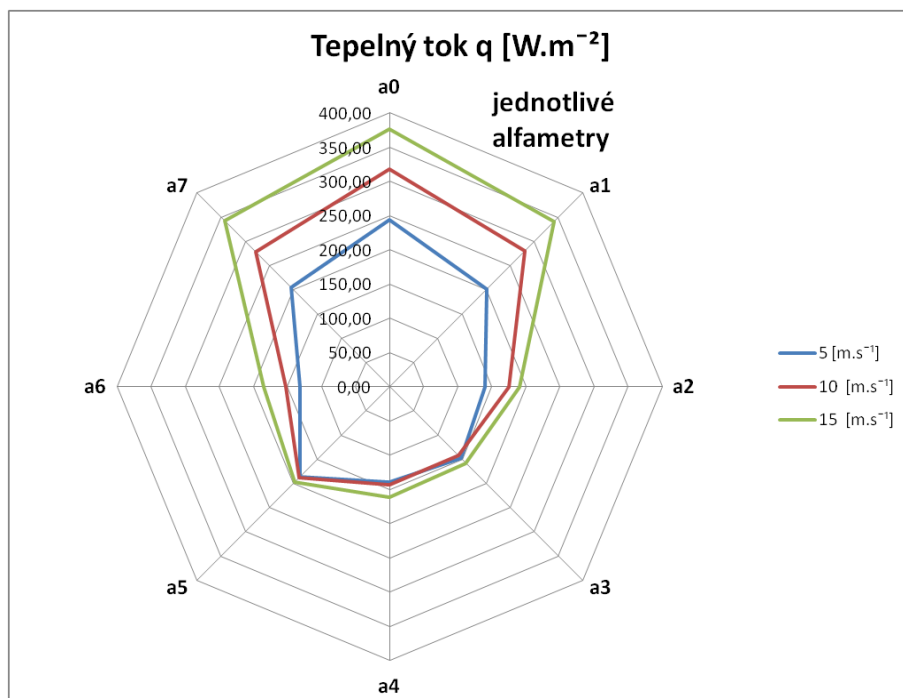
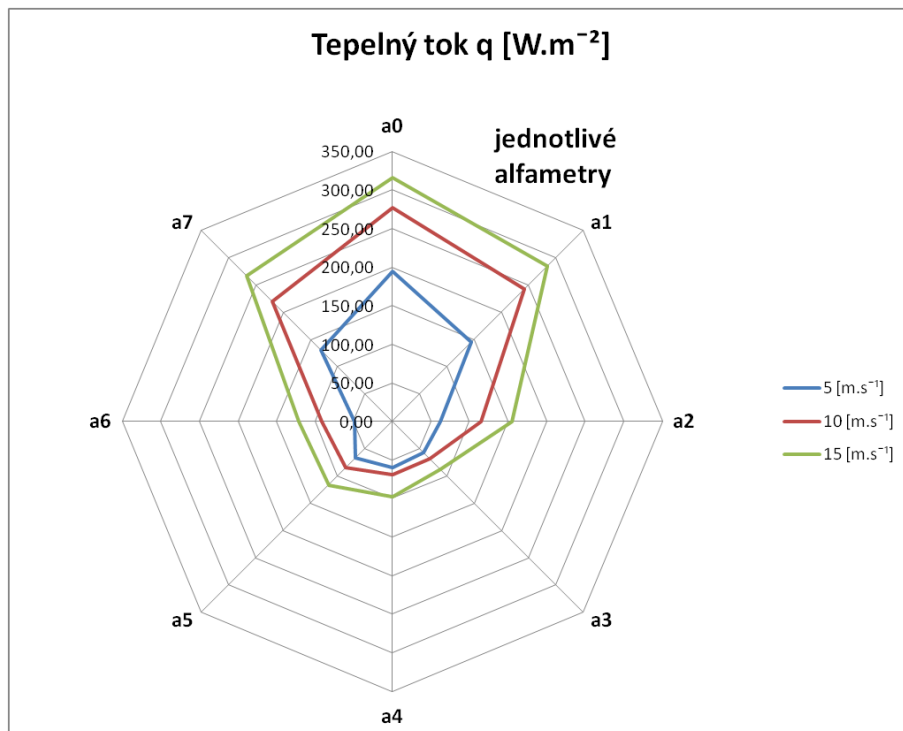
## **Průměrné hodnoty tepelného toku**

## Bavlněná tkanina

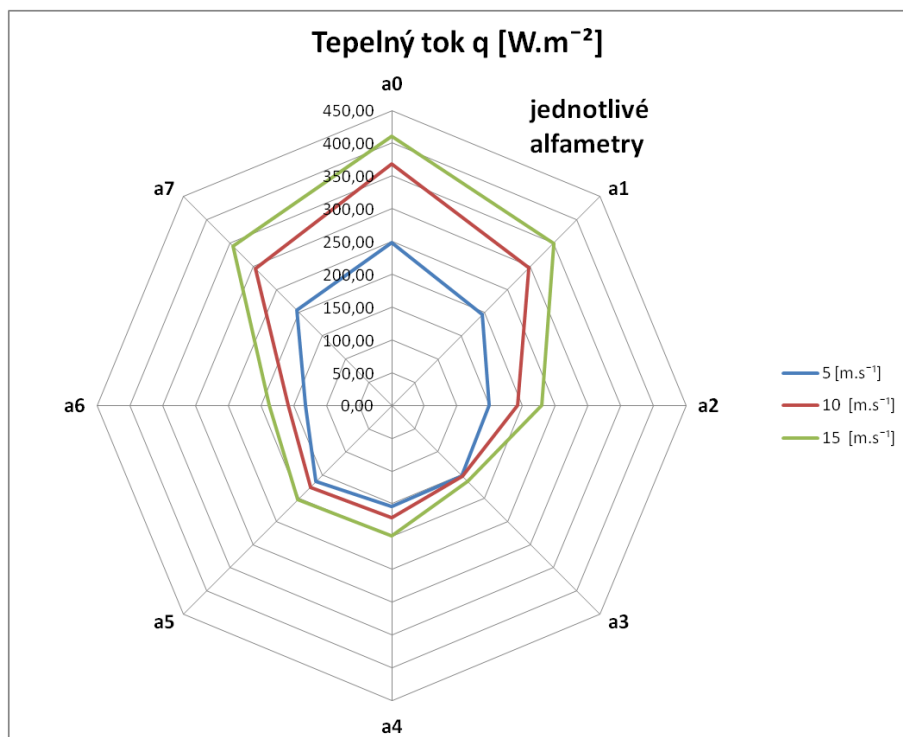
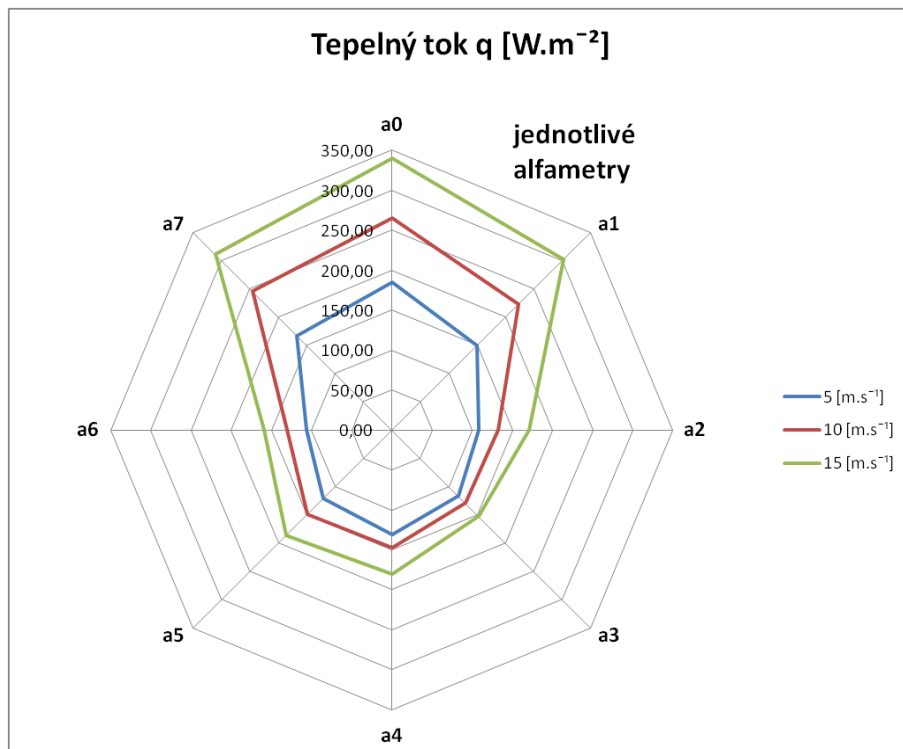
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

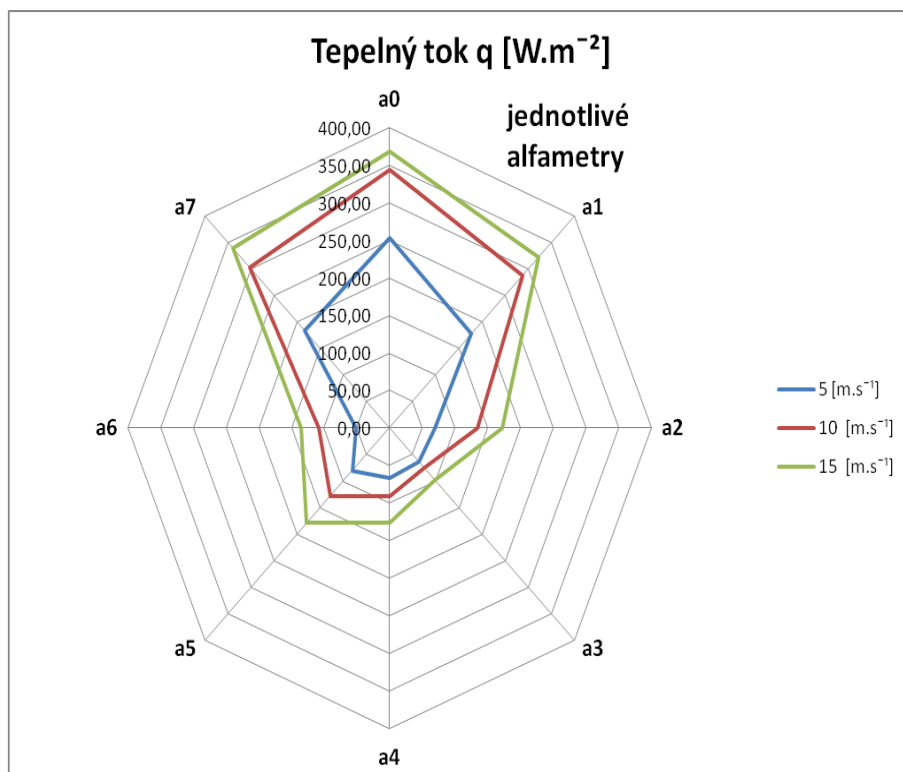
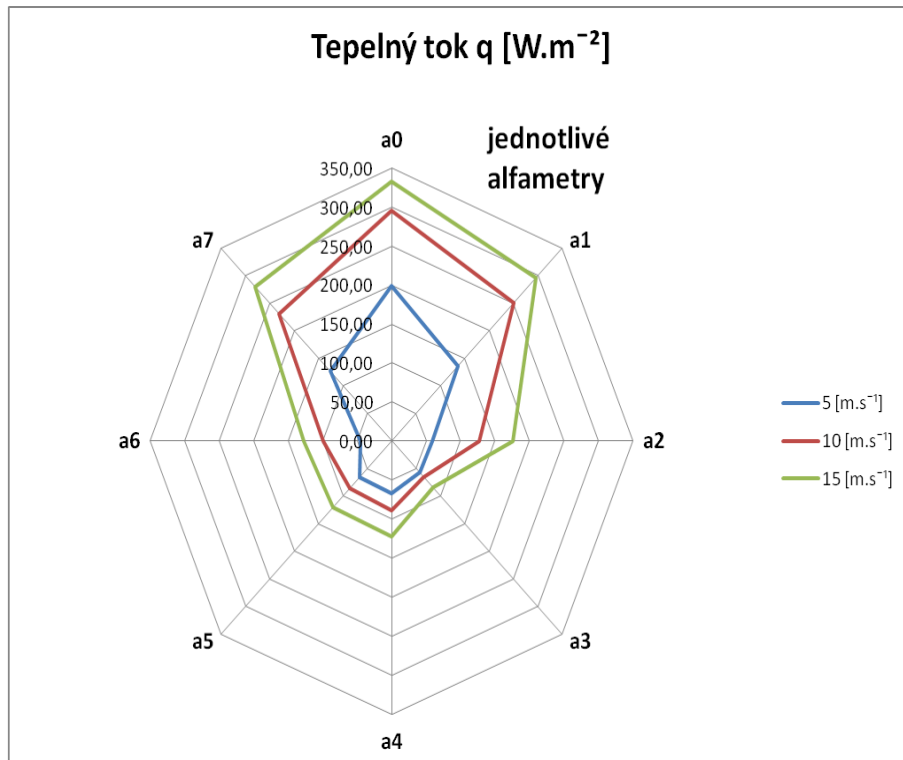


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1014, tedy 338 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



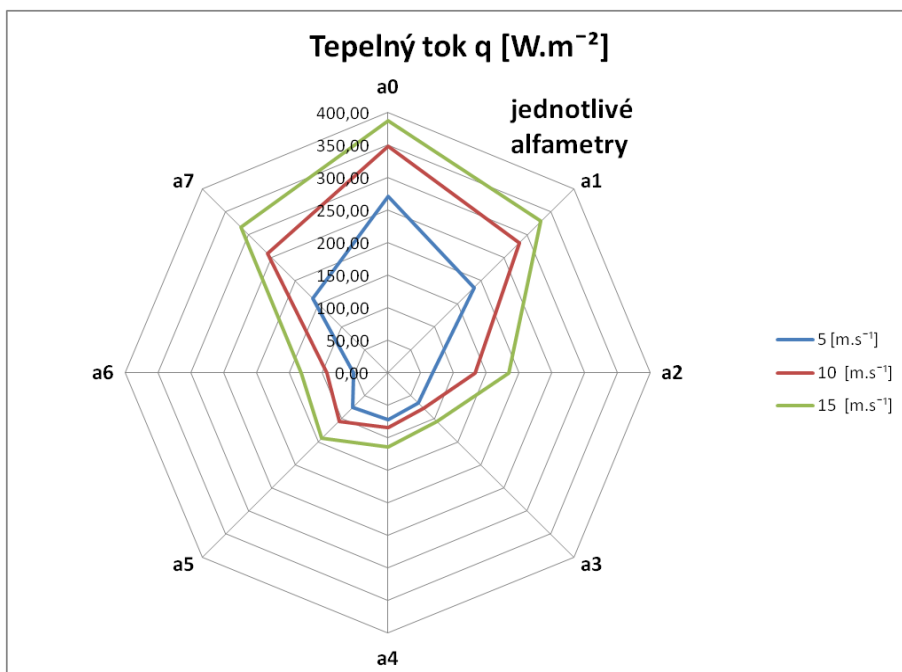
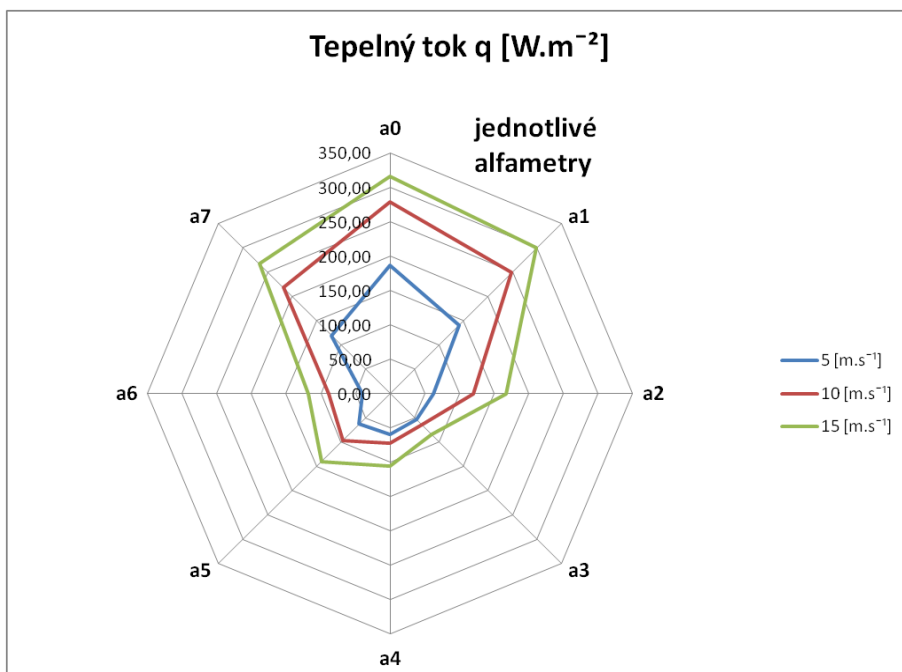
## Fleece

- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

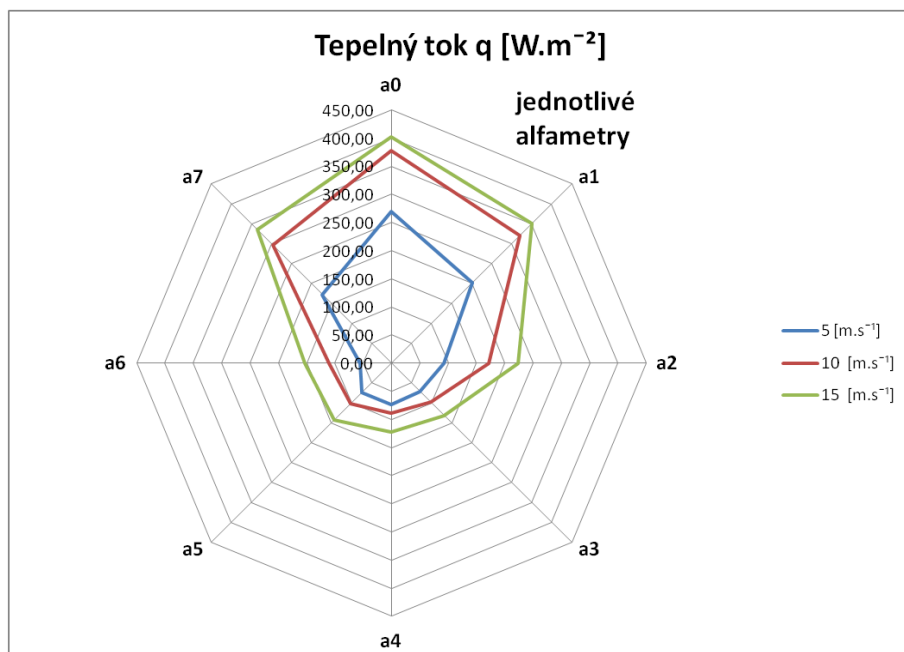
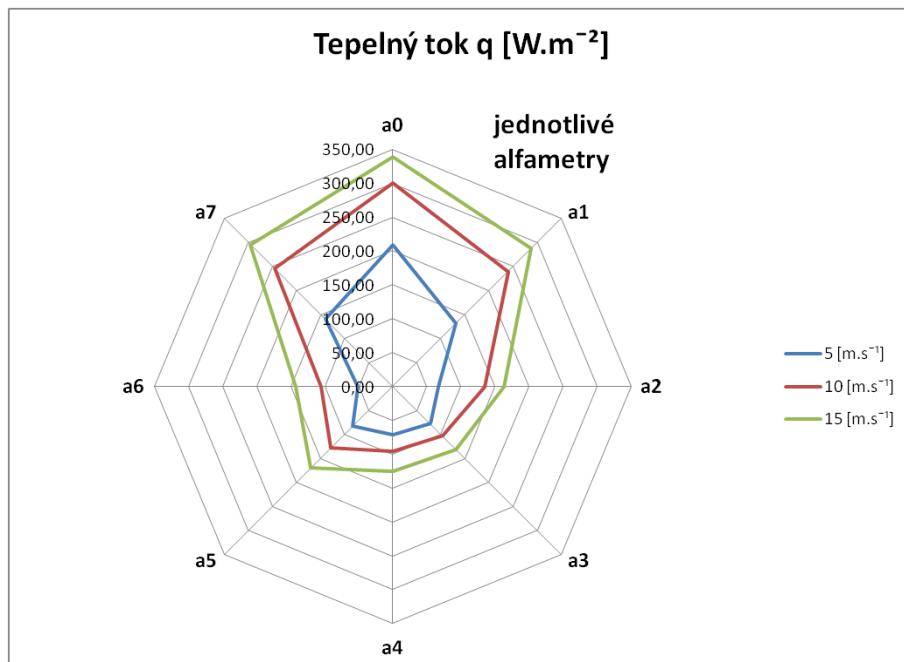




- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 756, tedy 252 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

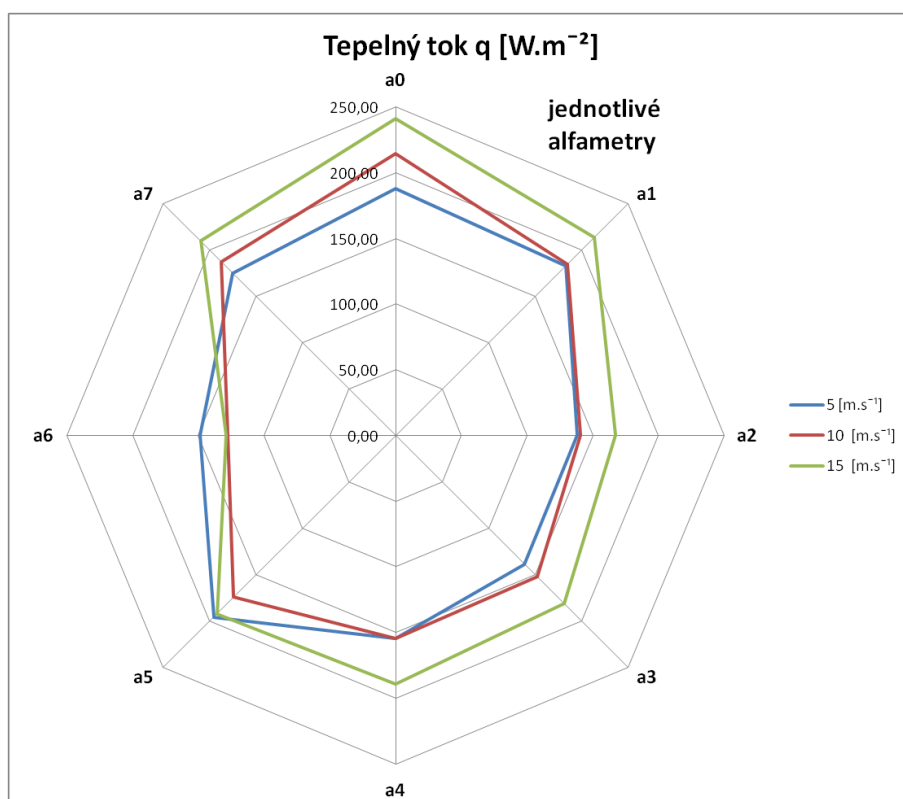
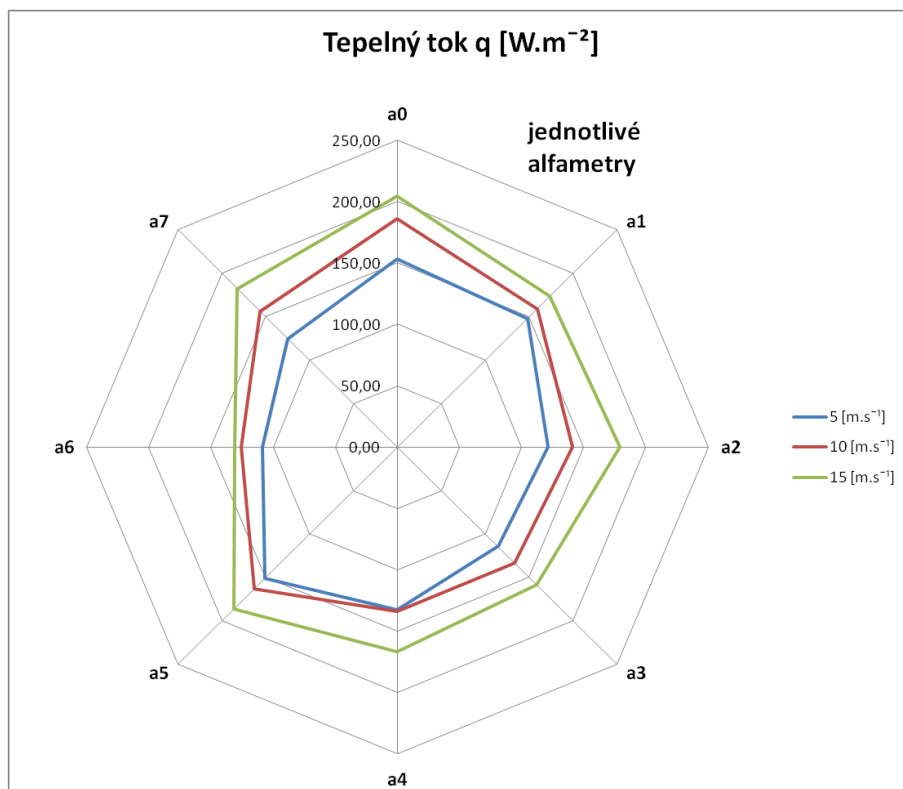


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1008, tedy 336 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

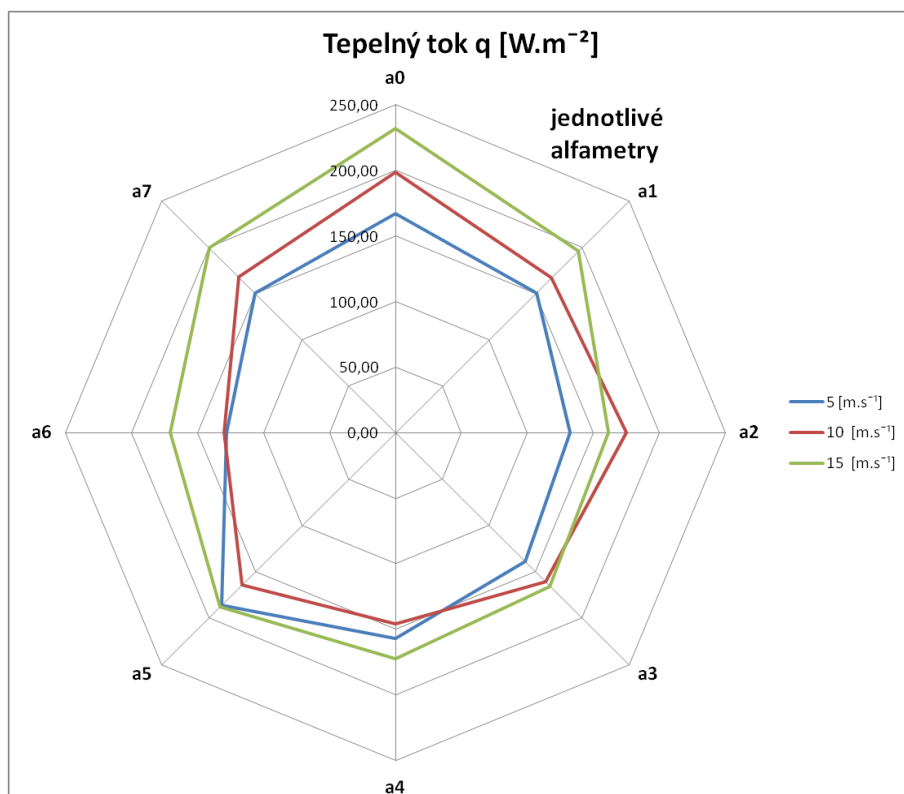
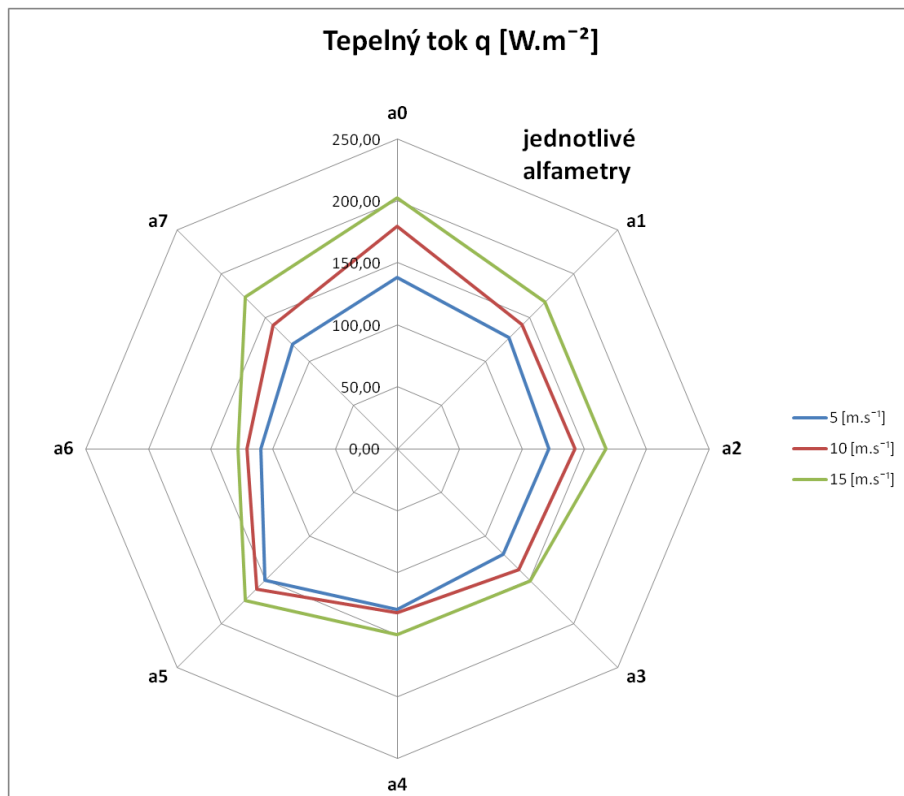


## Membrána

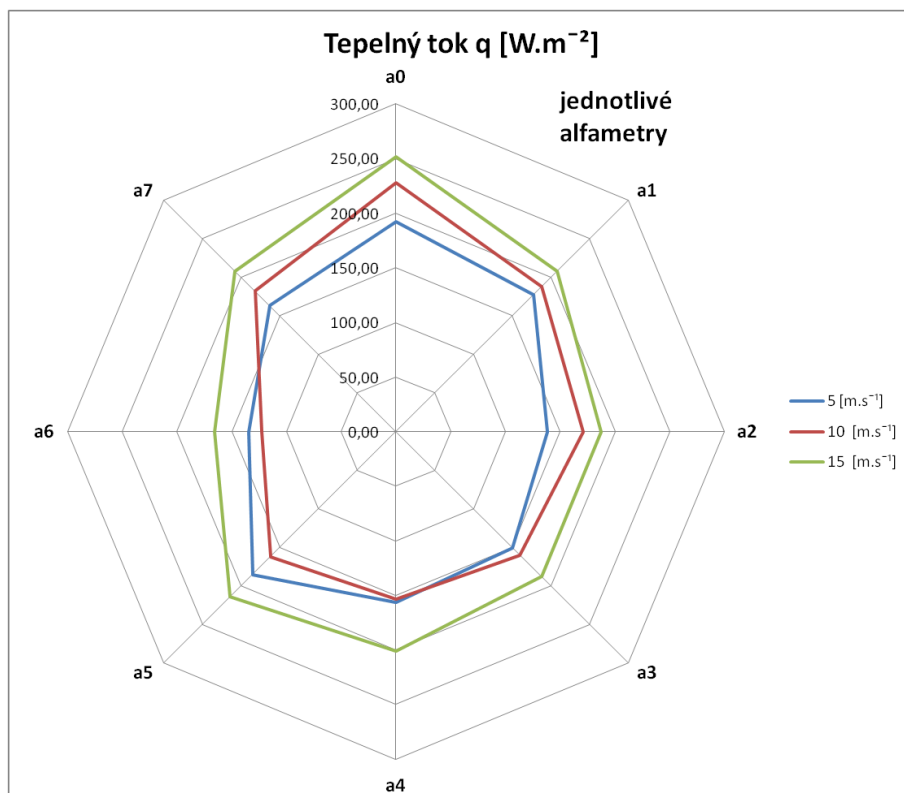
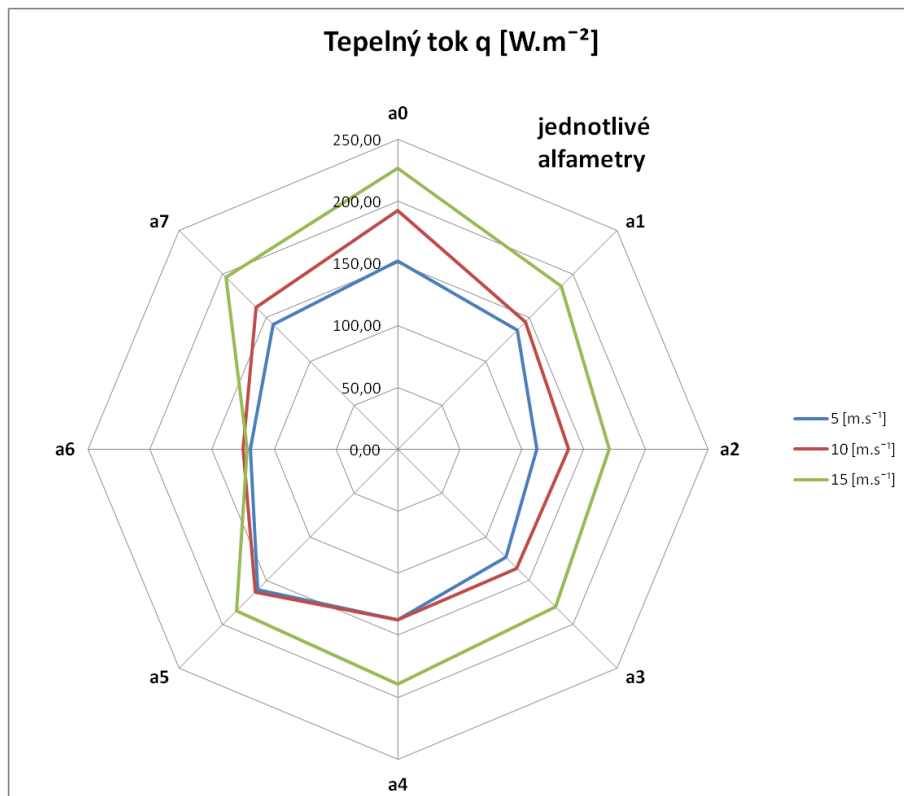
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 762, tedy 254 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

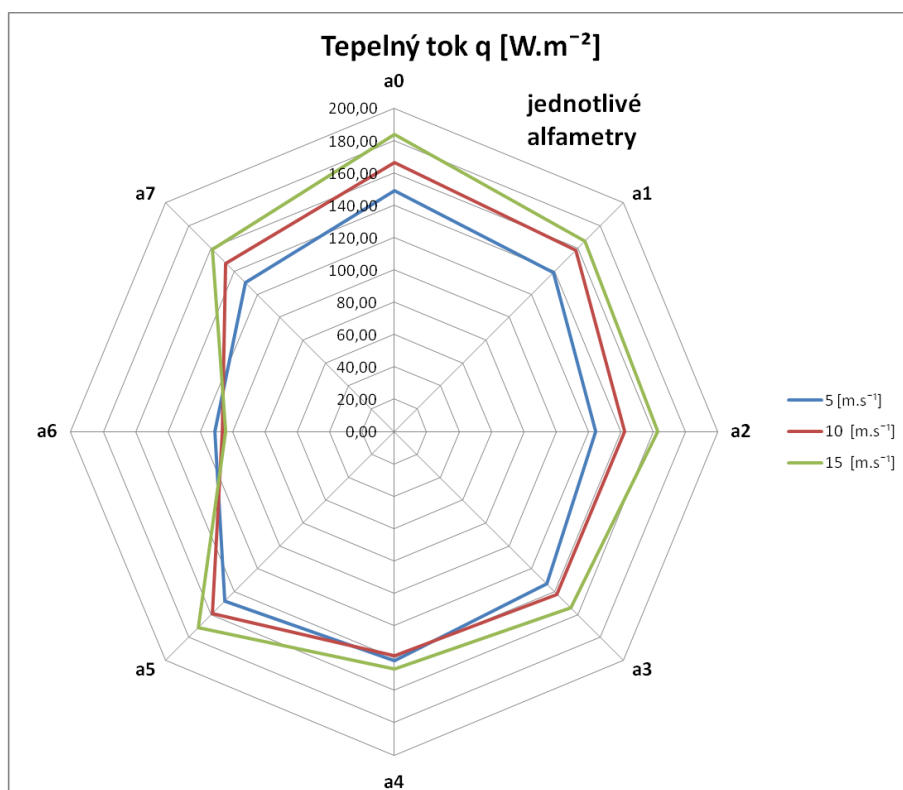
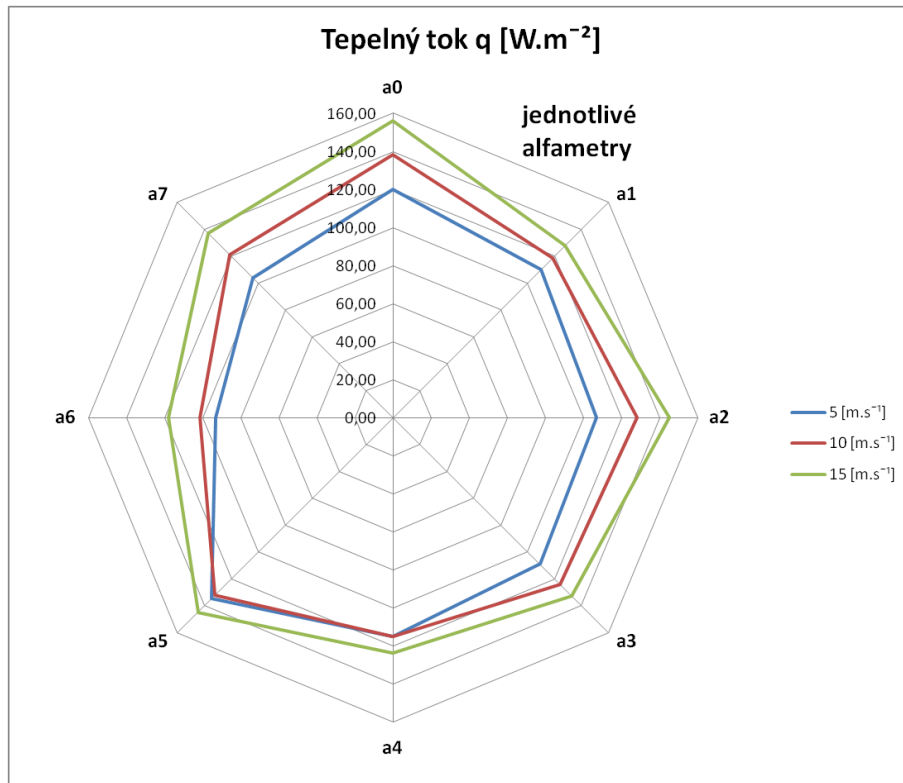


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1014, tedy 338 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

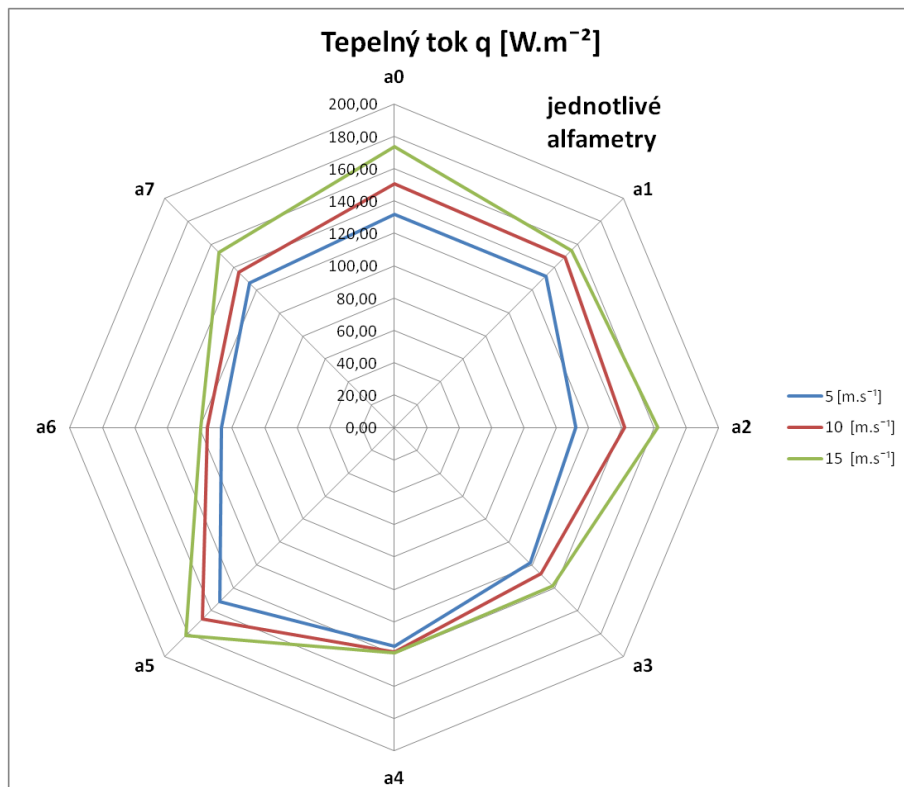
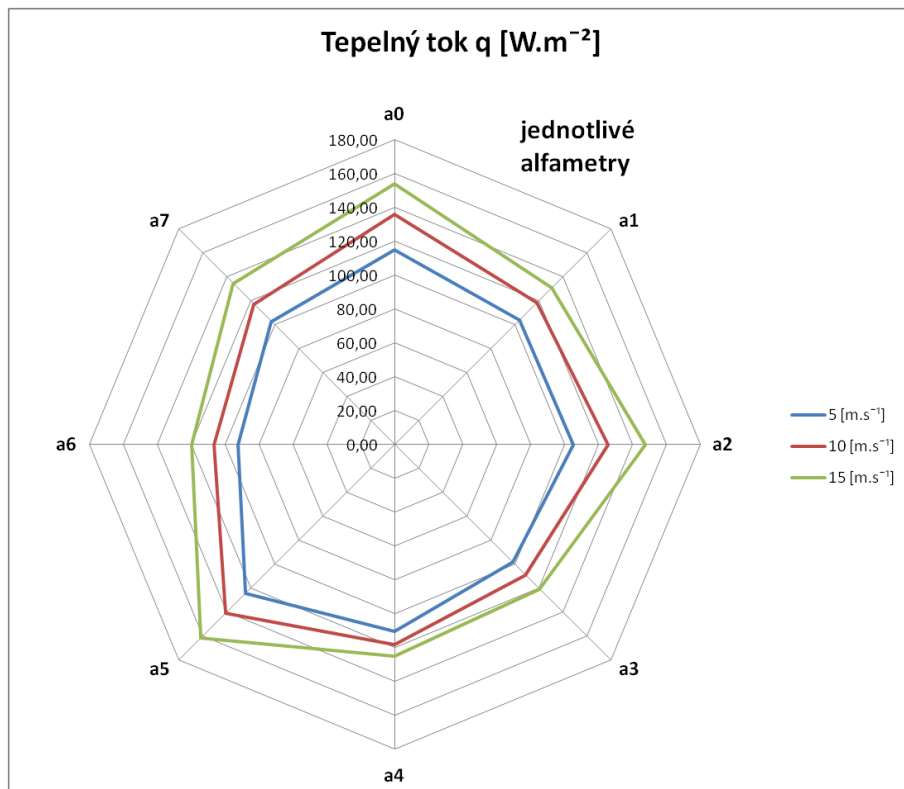


## Softshell

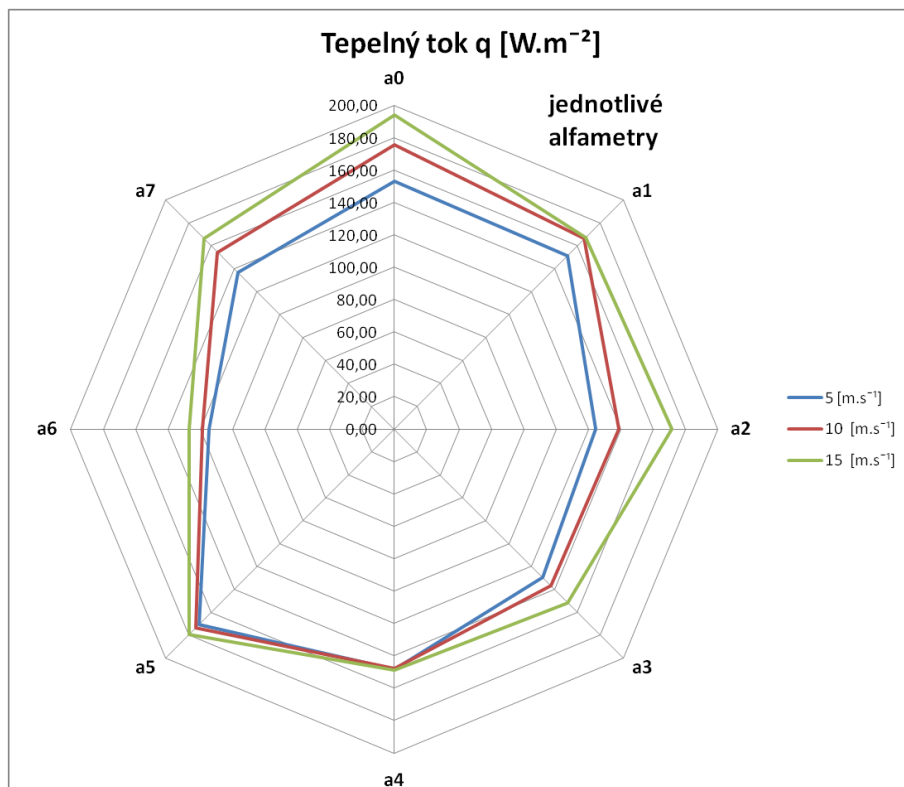
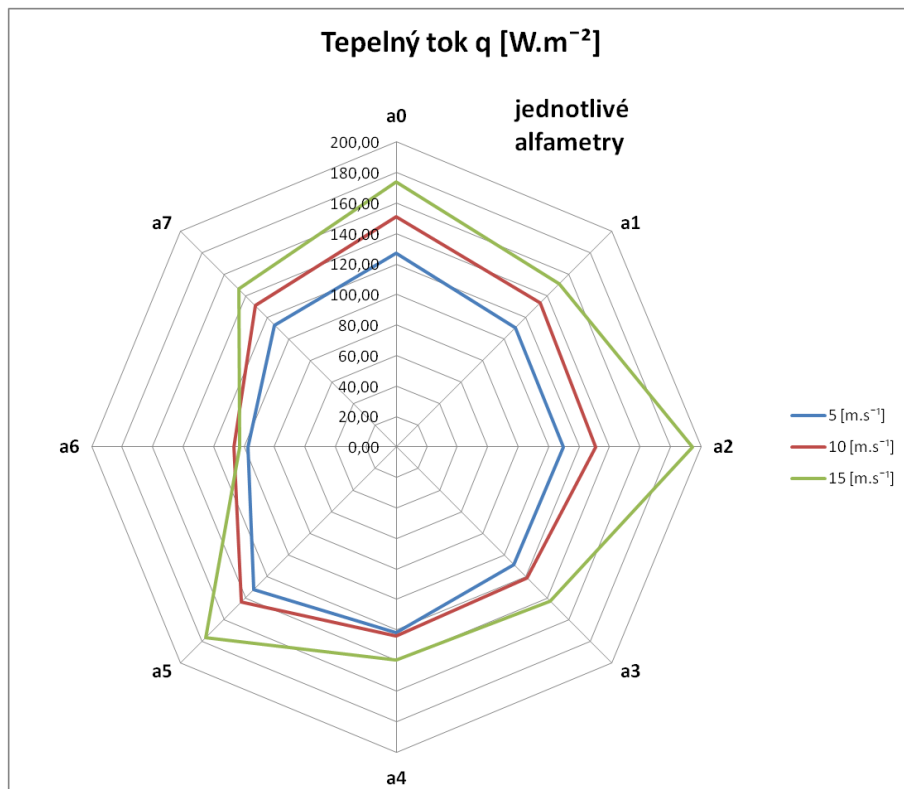
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

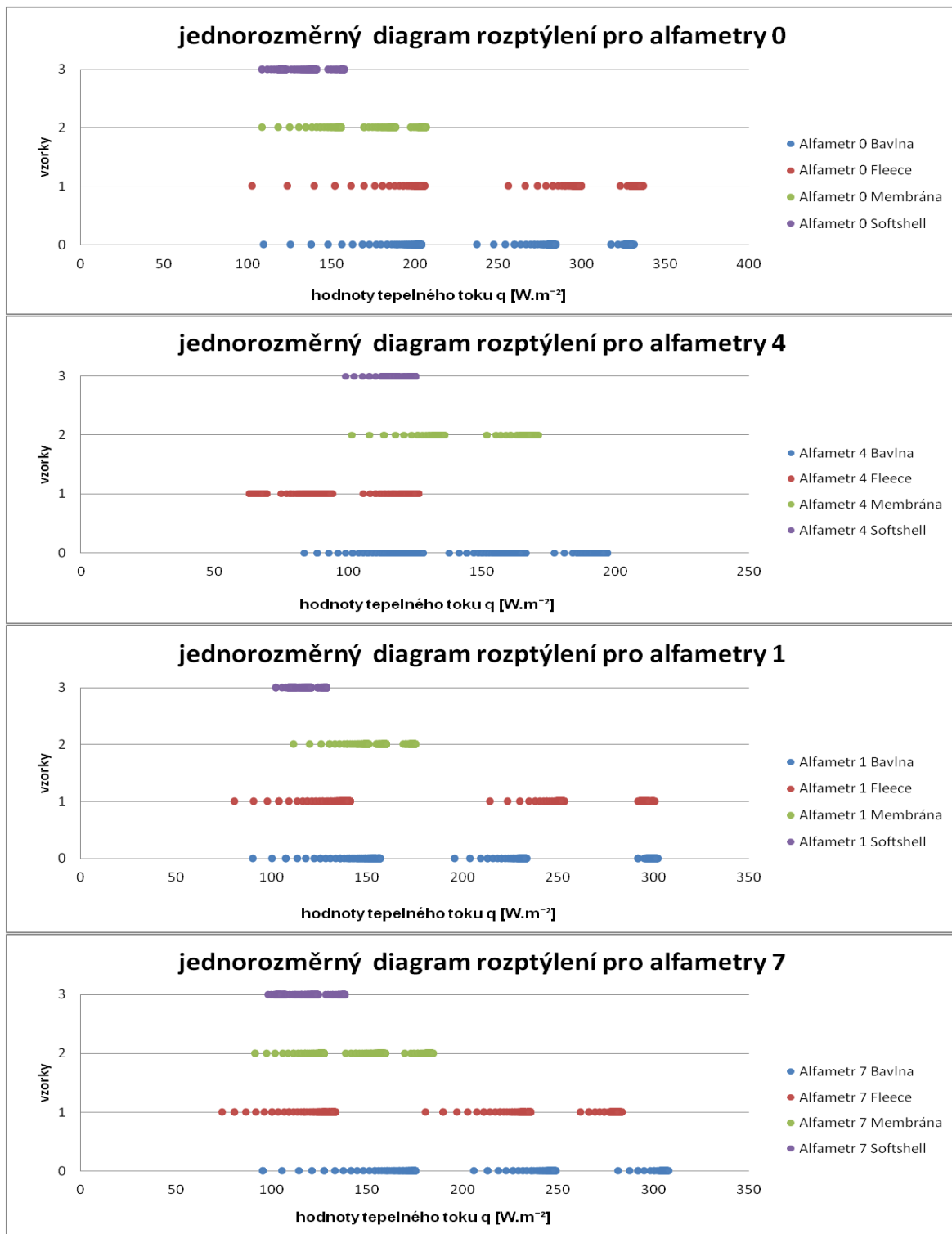


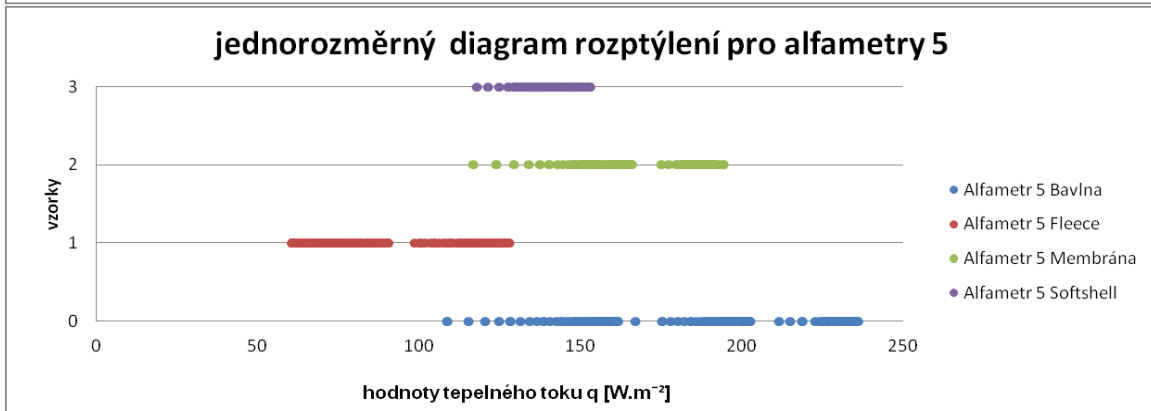
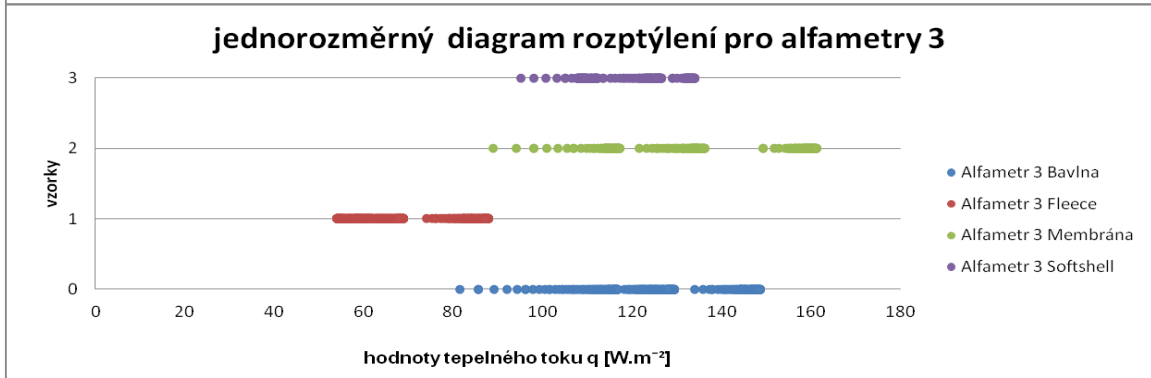
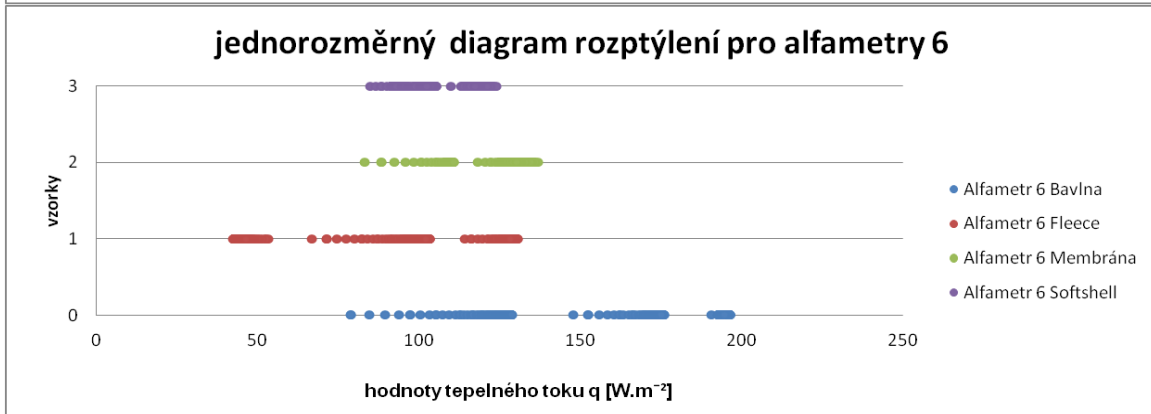
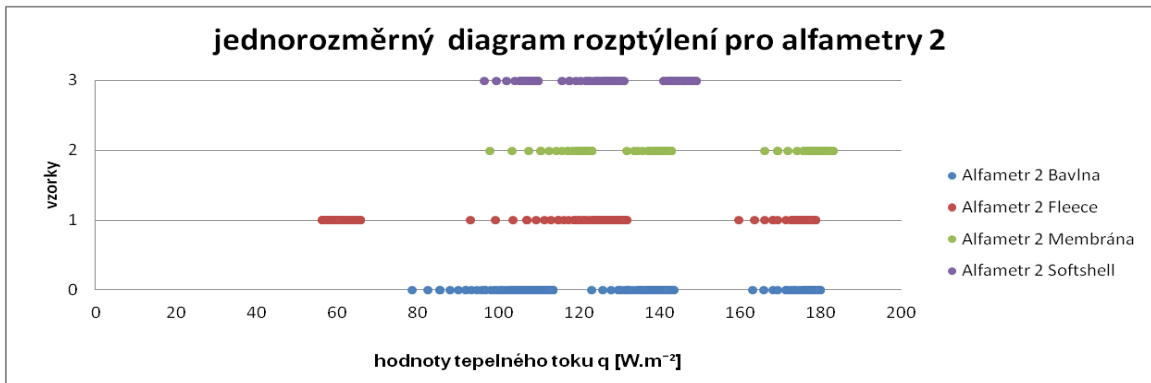


## **Příloha B**

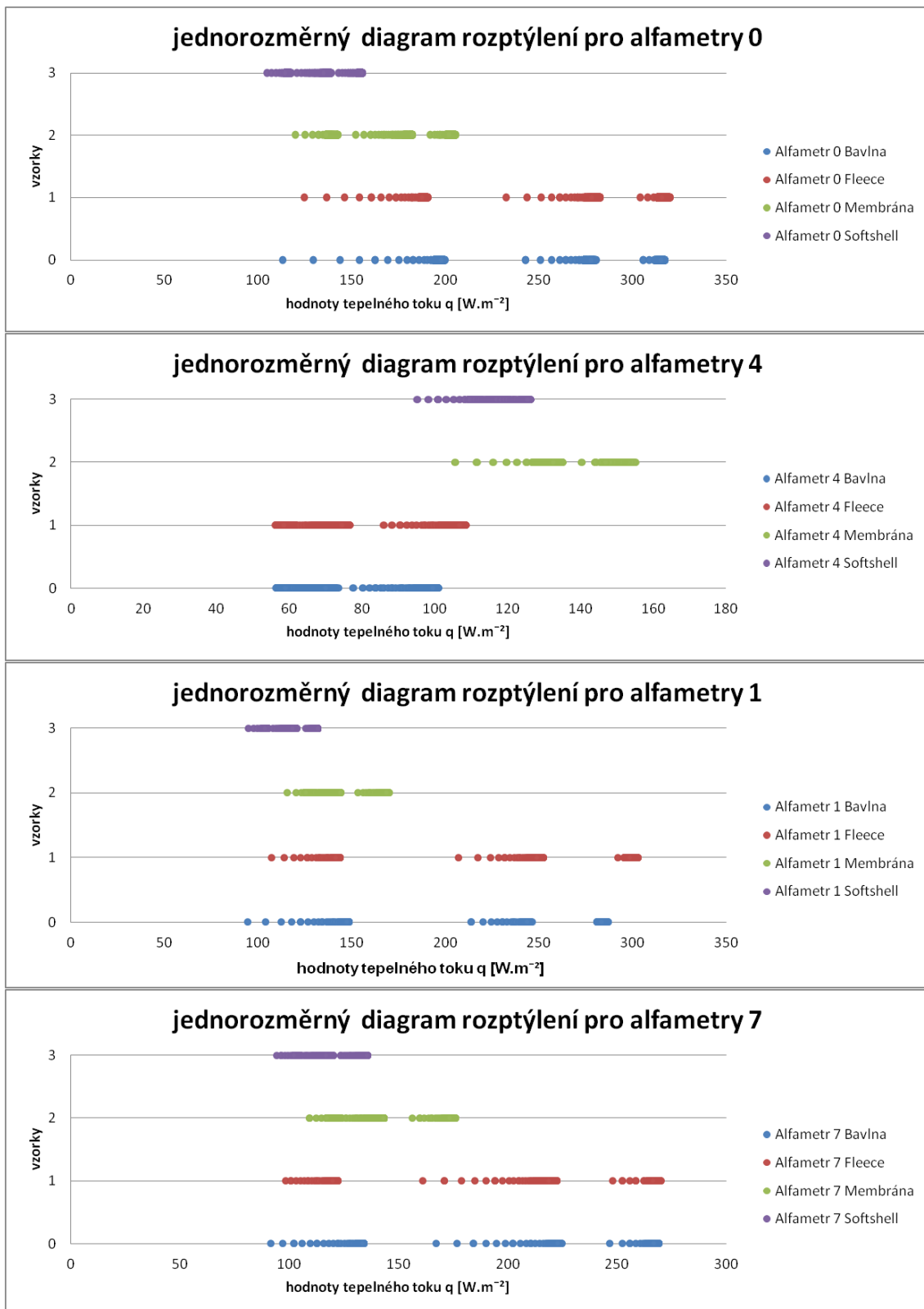
**Jednorozměrné diagramy rozptýlení pro všechny  
alfametry**

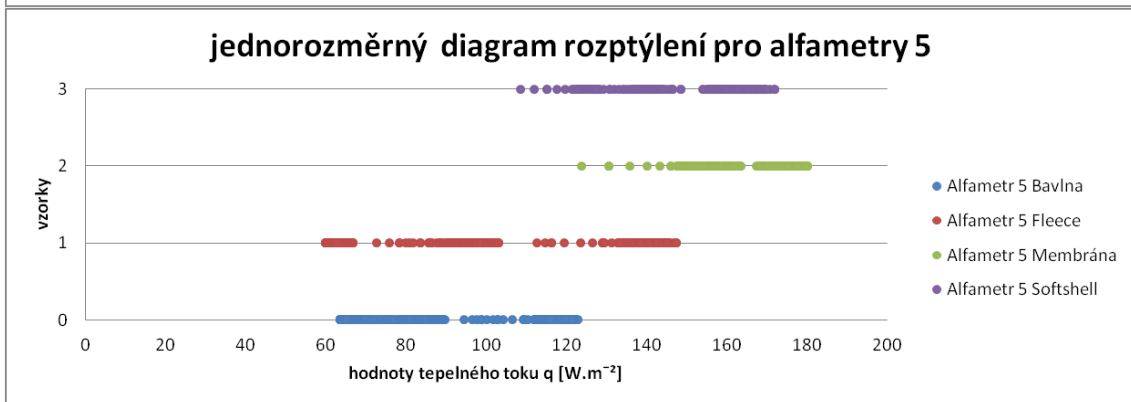
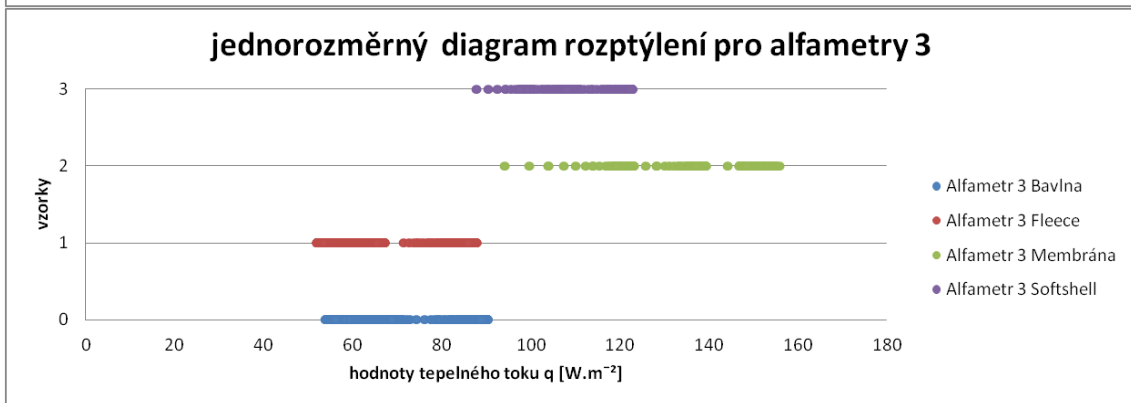
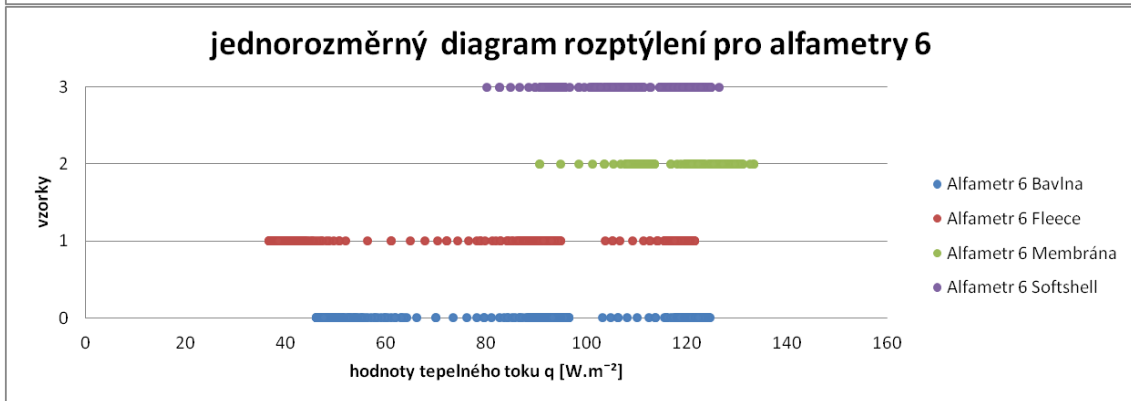
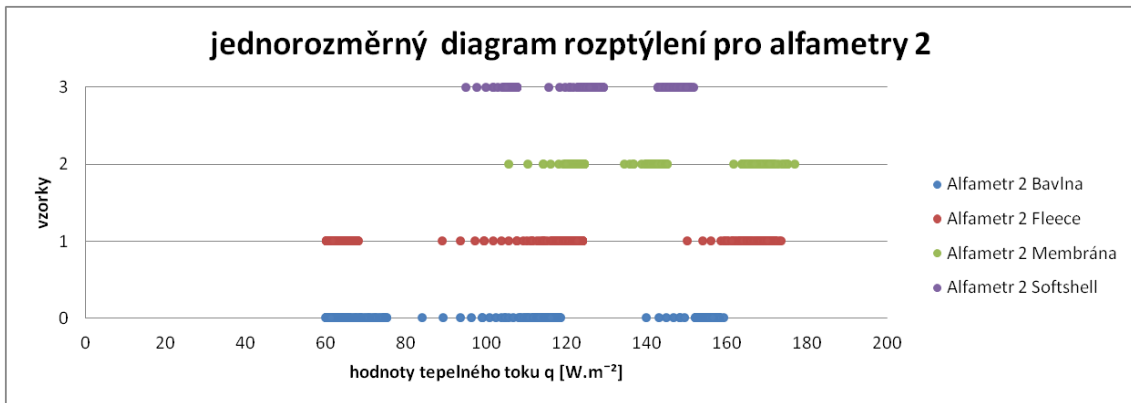
Standardní podmínky – čas 10 minut



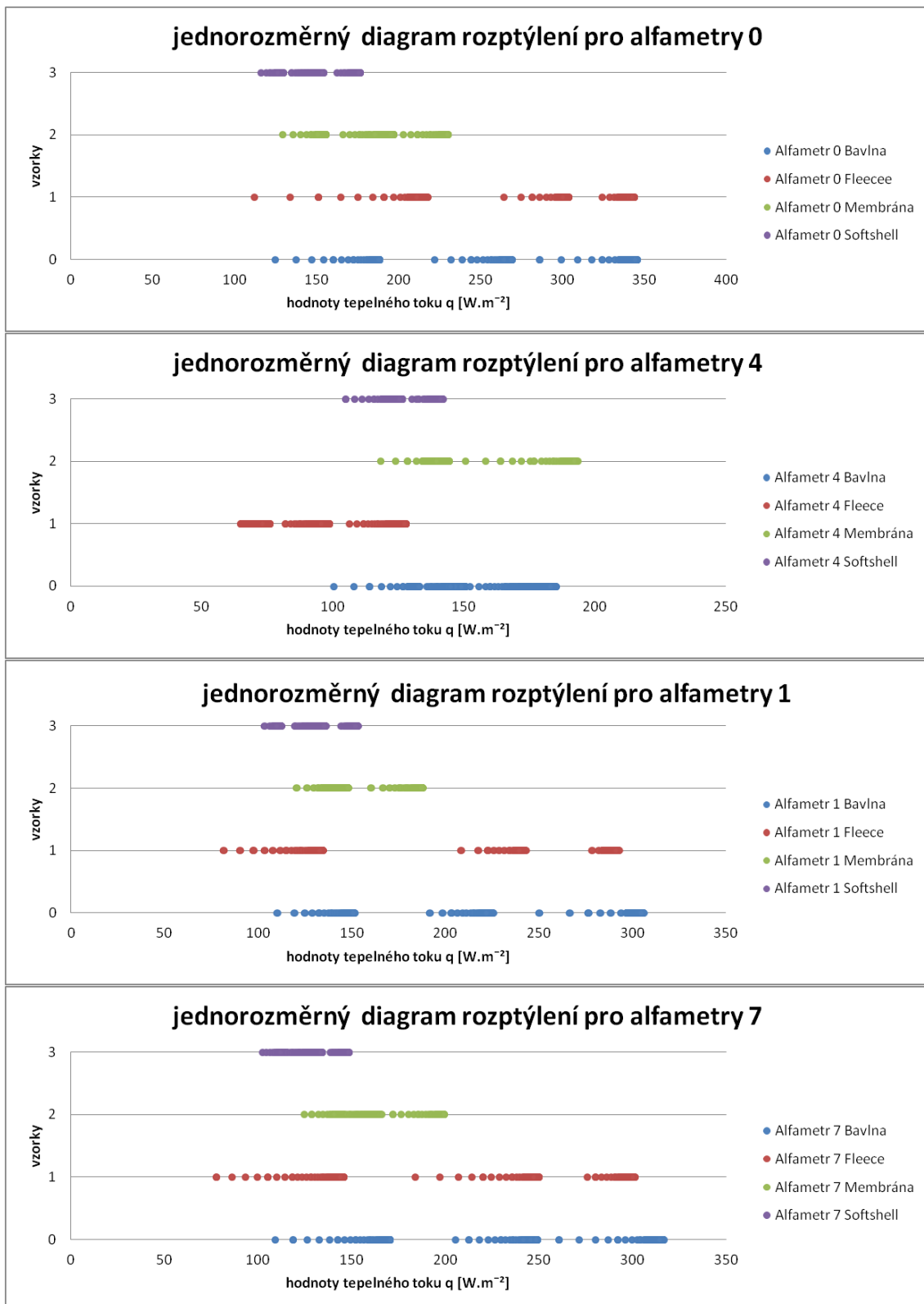


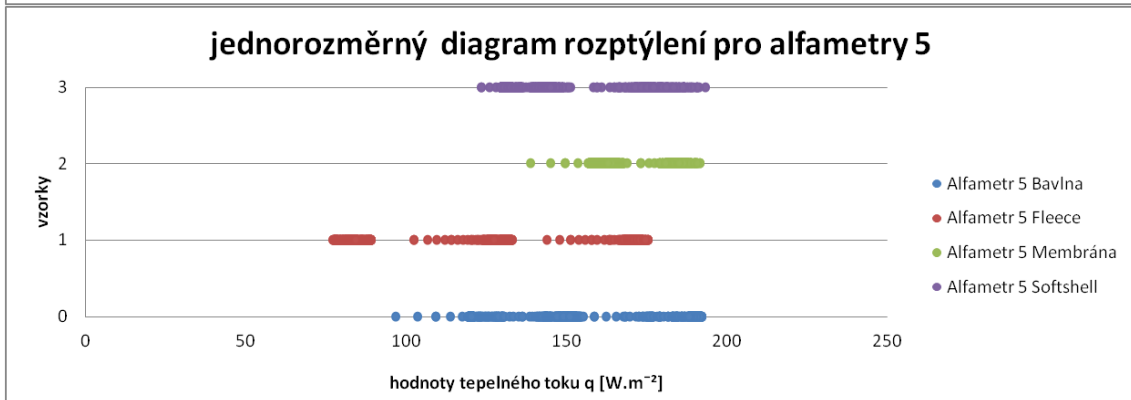
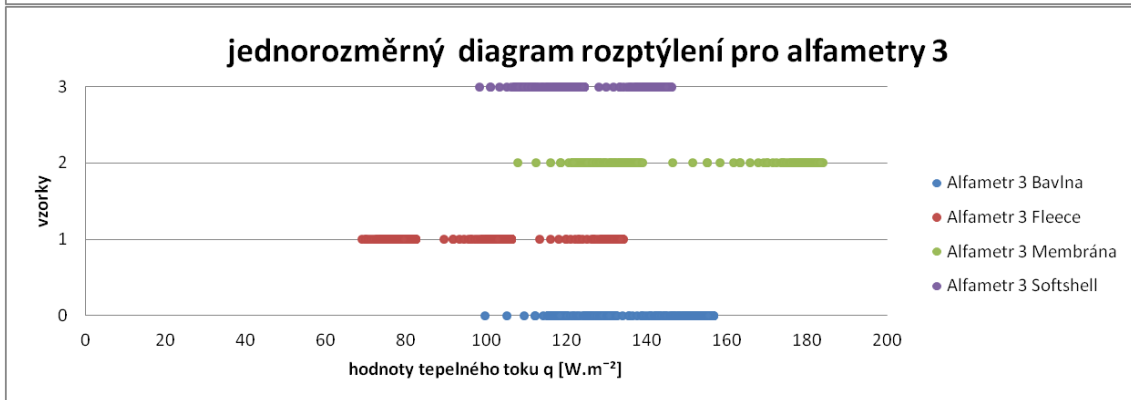
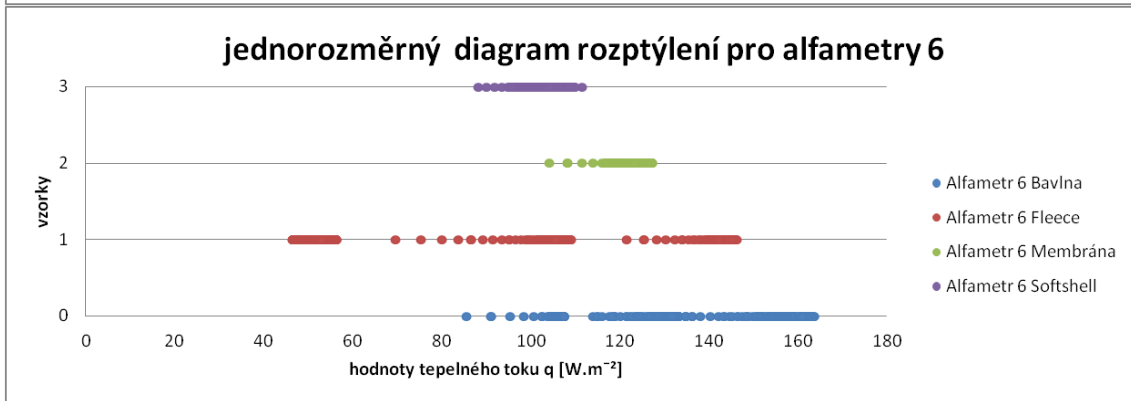
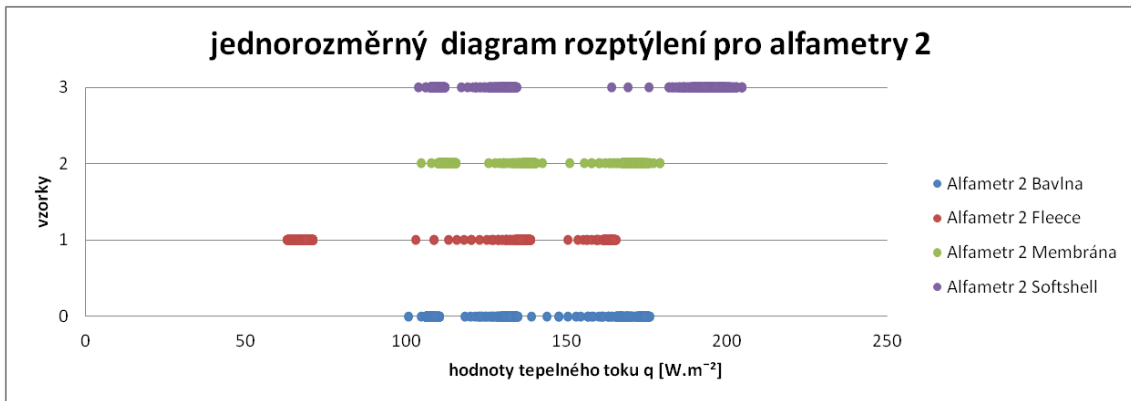
Standardní podmínky – čas 15 minut



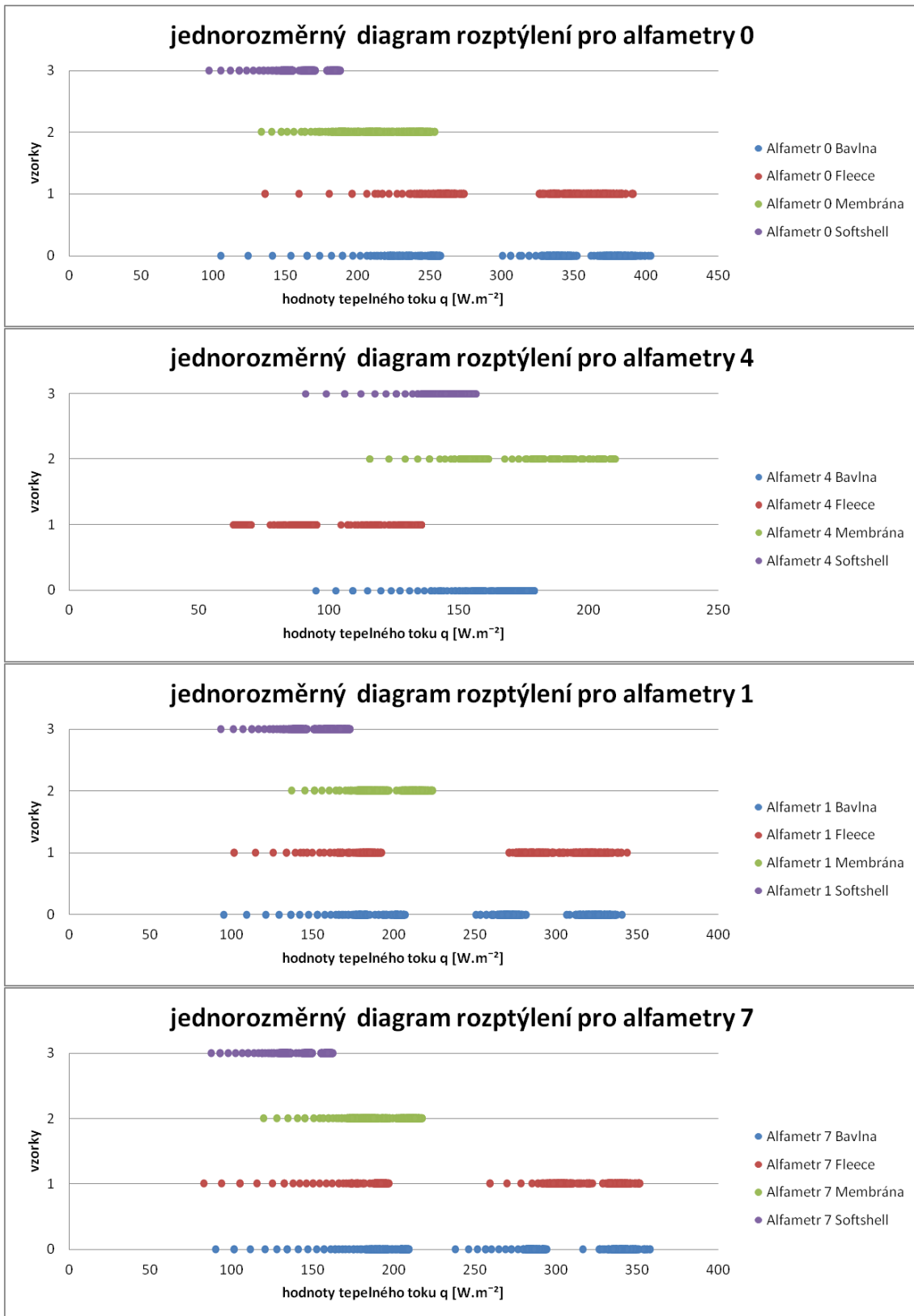


Standardní podmínky – čas 20 minut

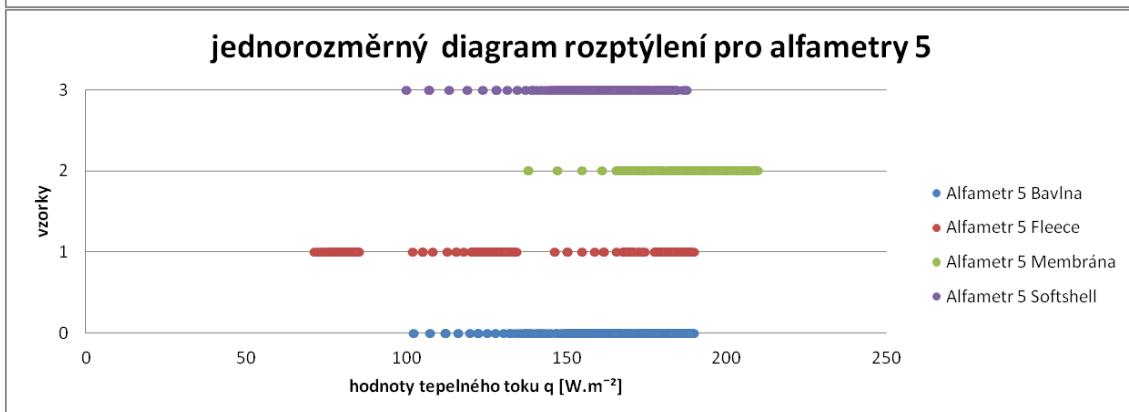
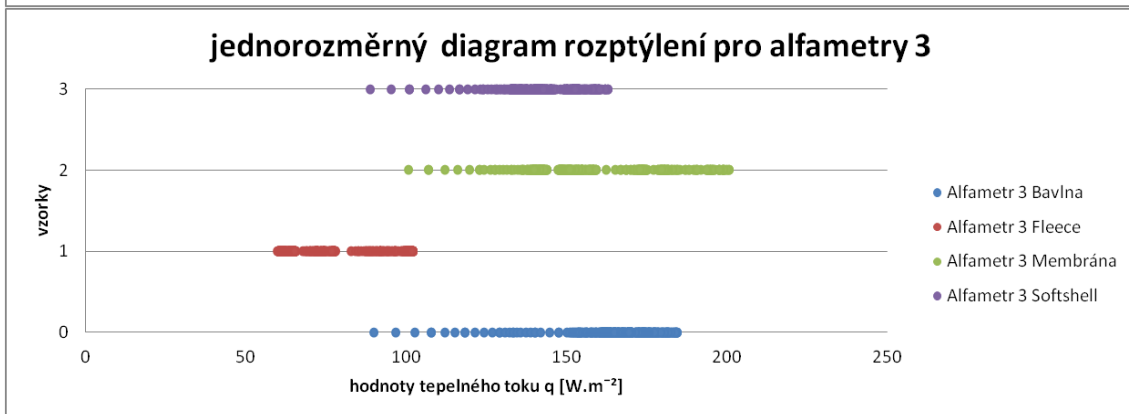
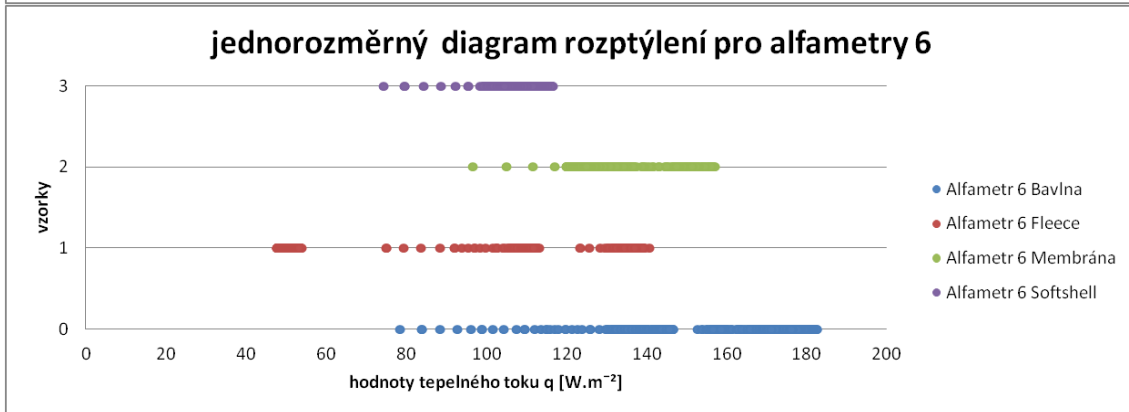
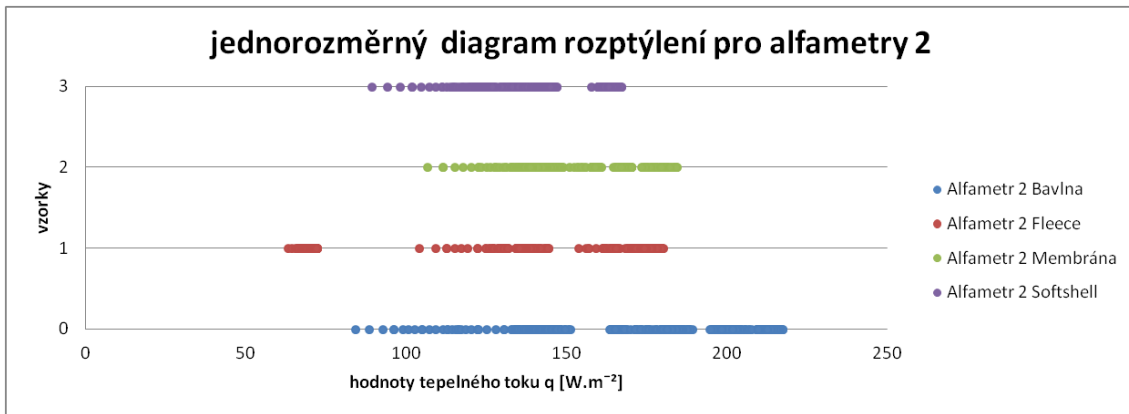




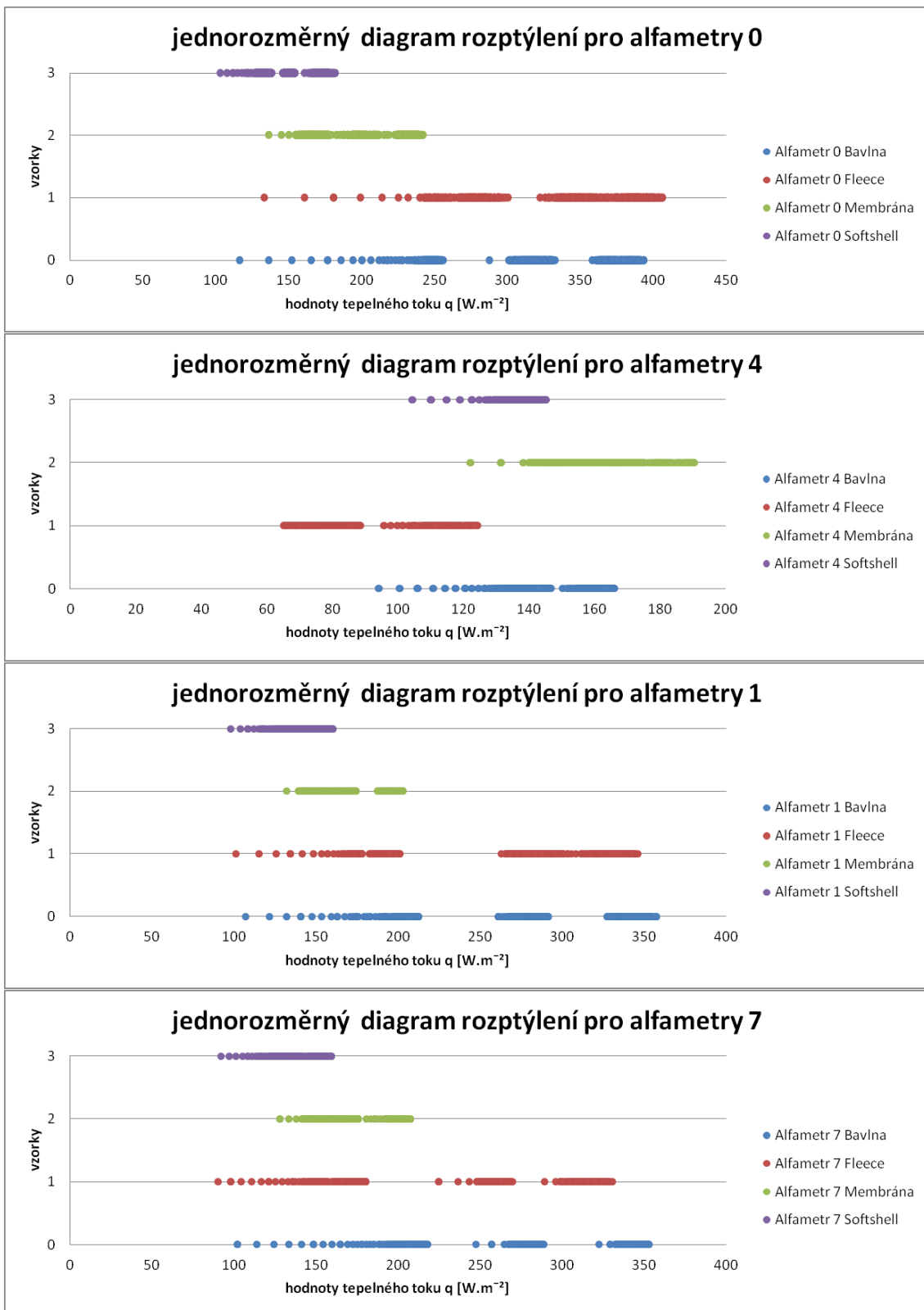
Podmínky zvýšené vlhkosti – čas 10 minut

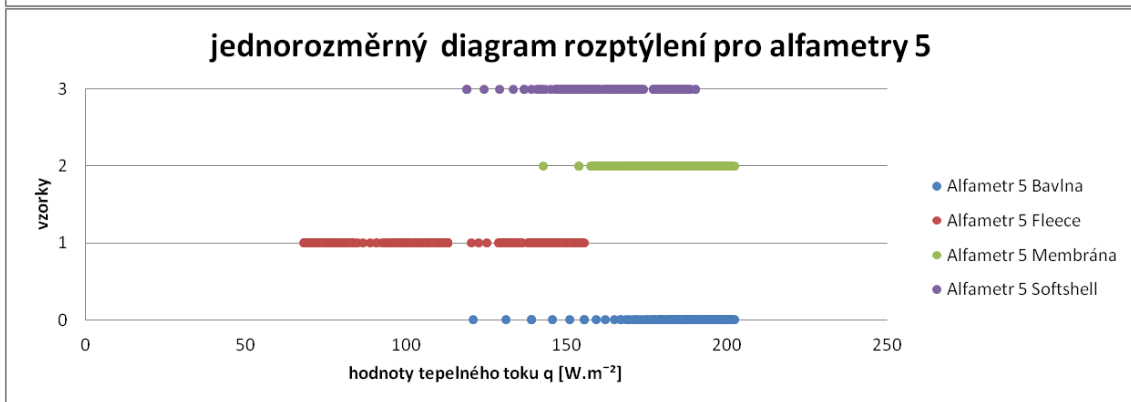
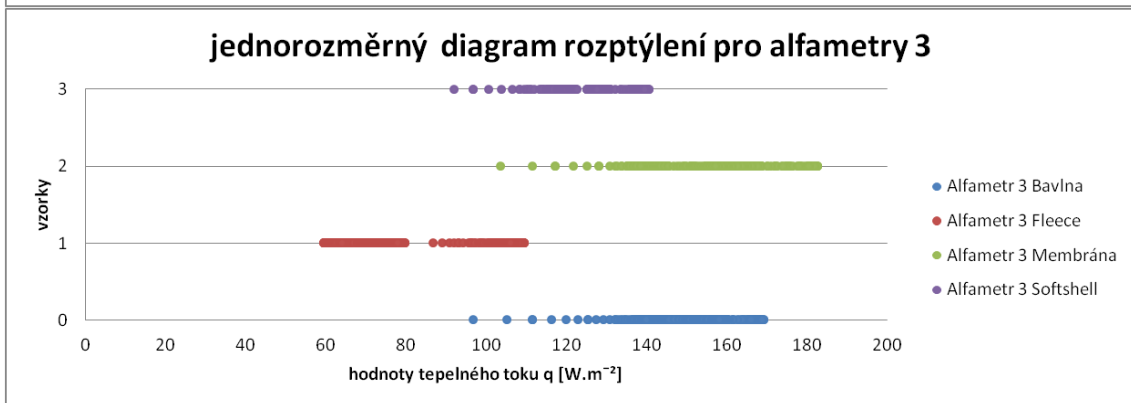
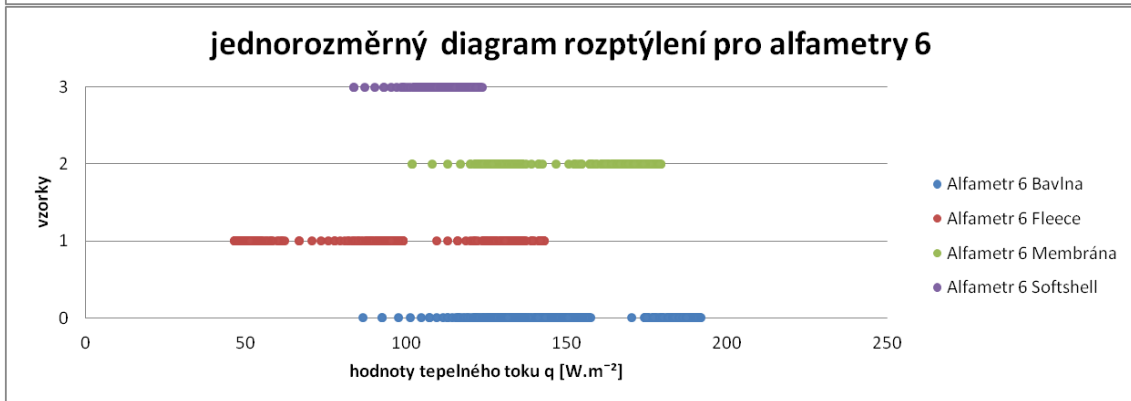
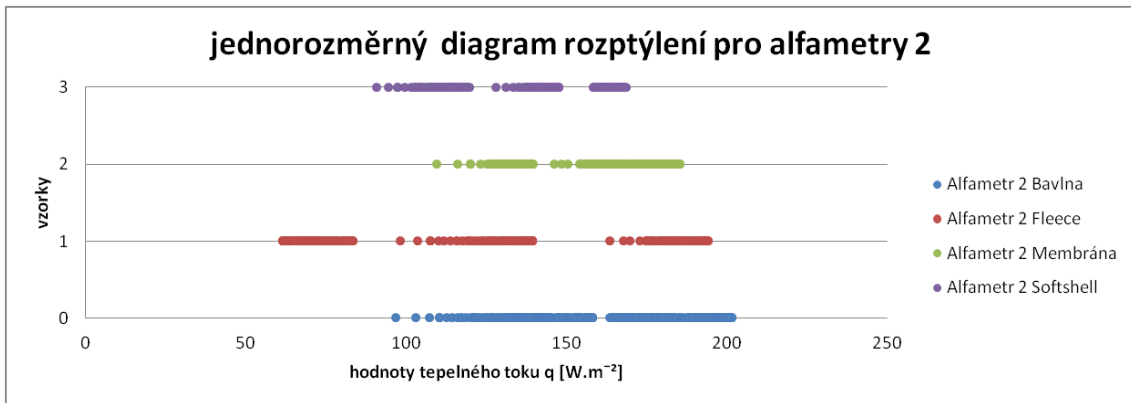




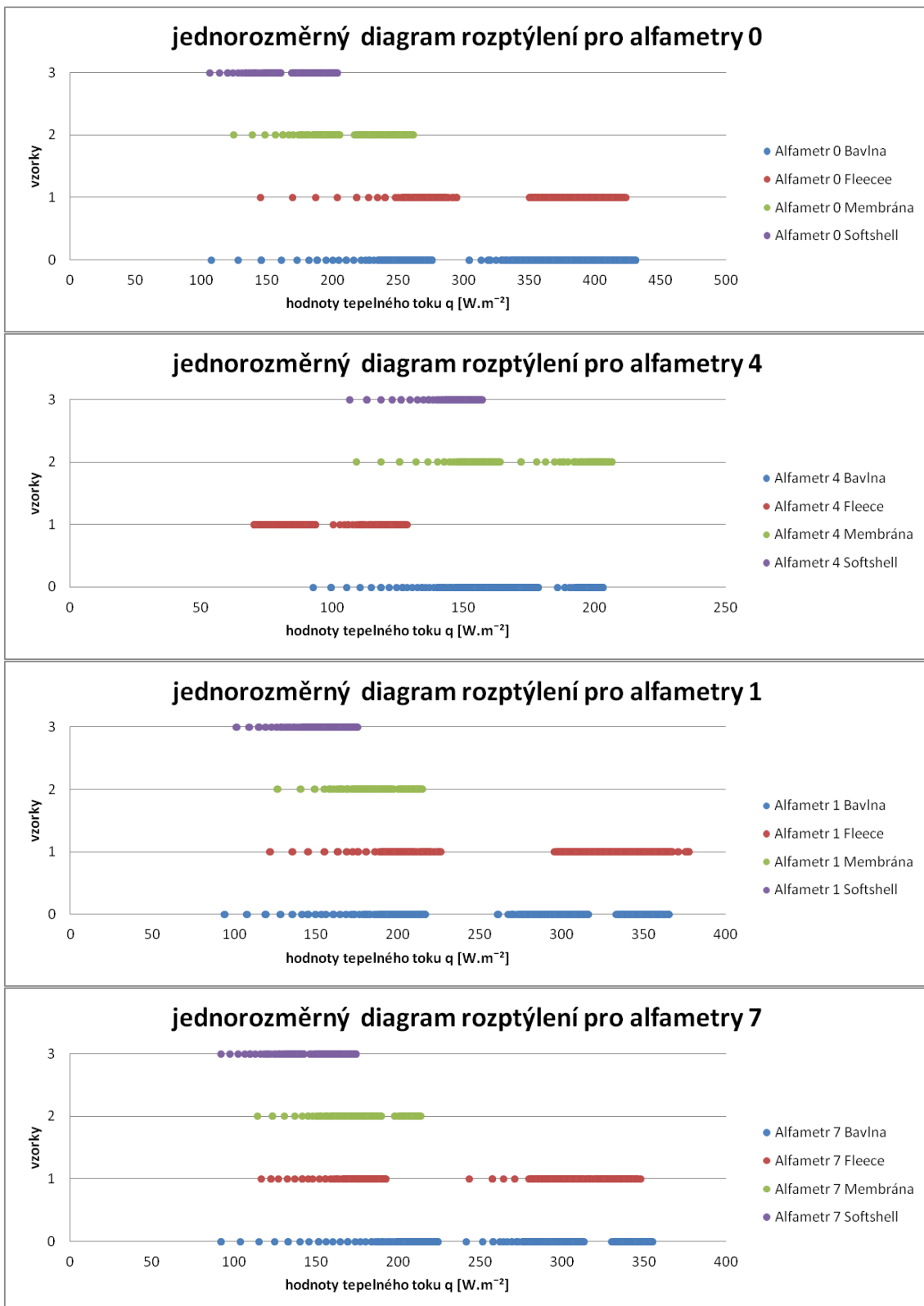


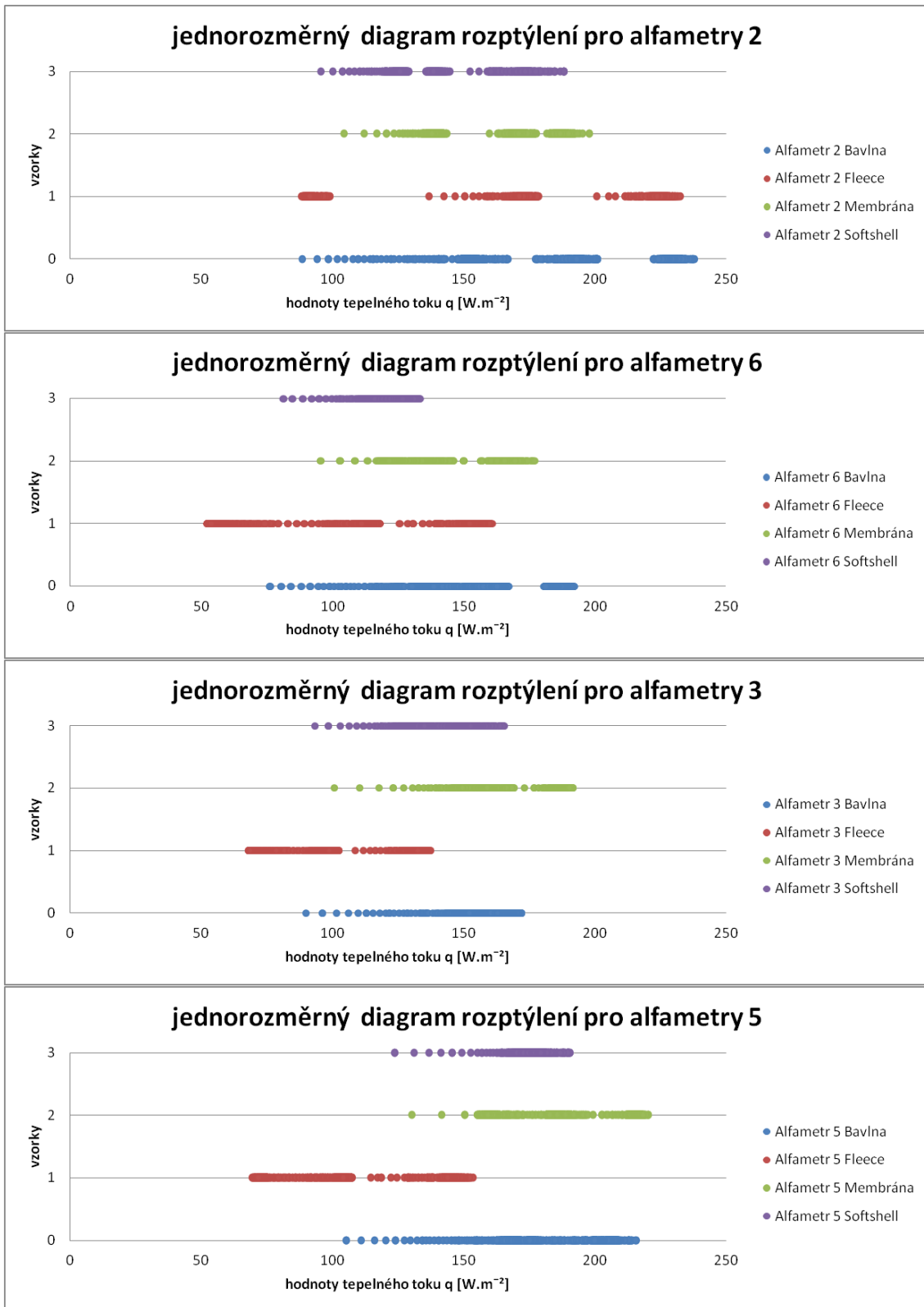
Podmínky zvýšené vlhkosti – čas 15 minut





Podmínky zvýšené vlhkosti – čas 20 minut



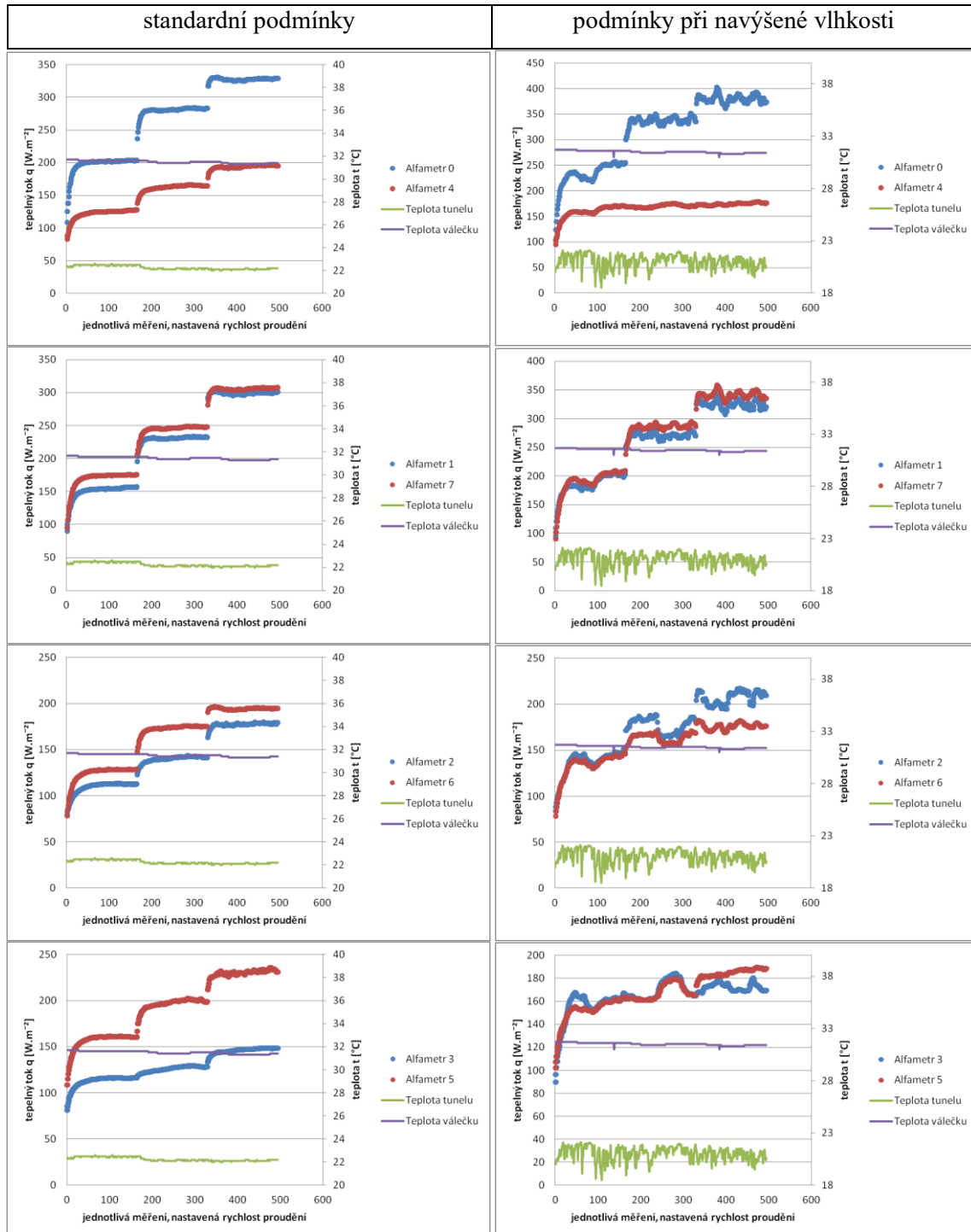


## **Příloha C**

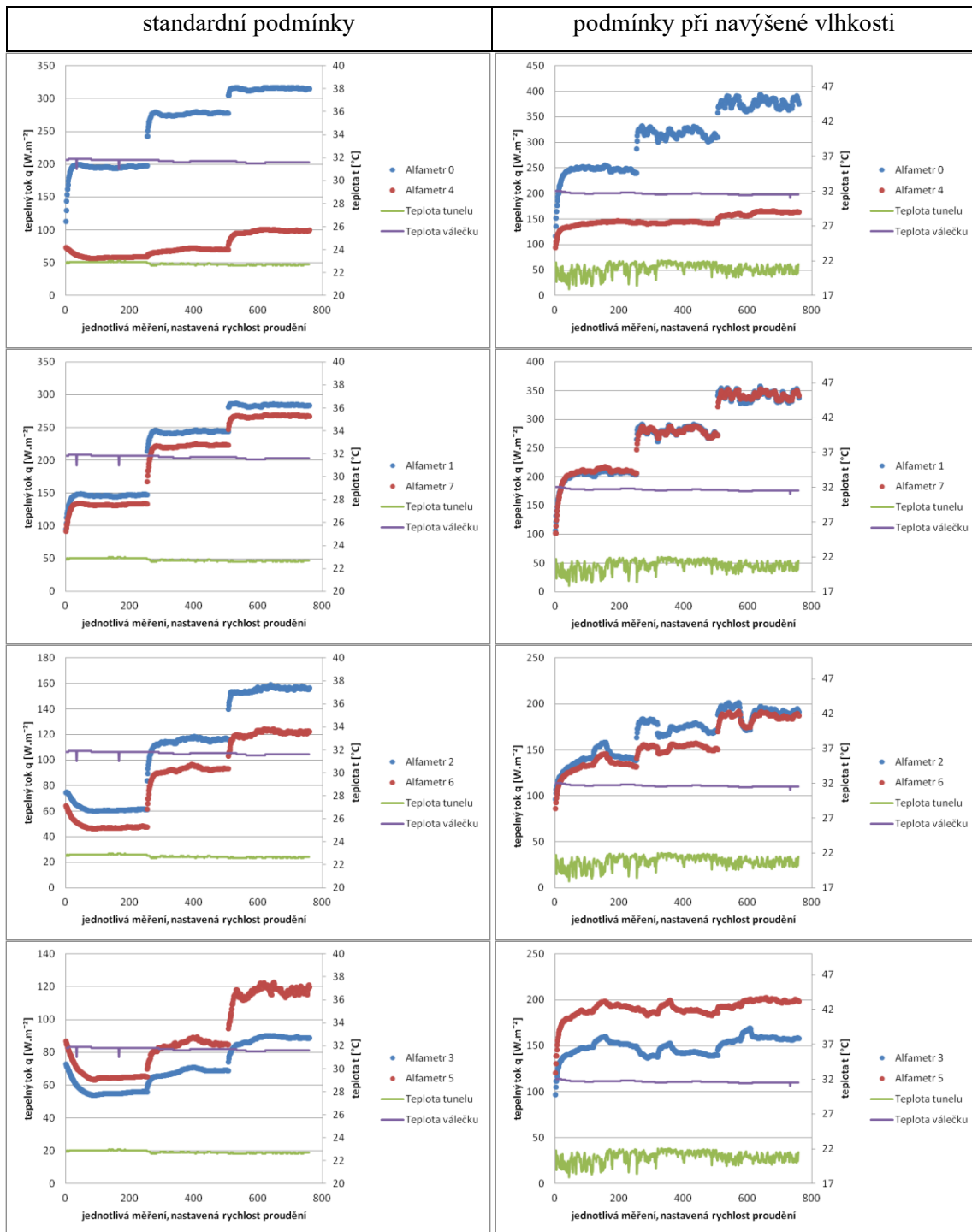
### **Porovnání párových alfametrů u všech vzorků**

## Bavlněná tkanina

- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

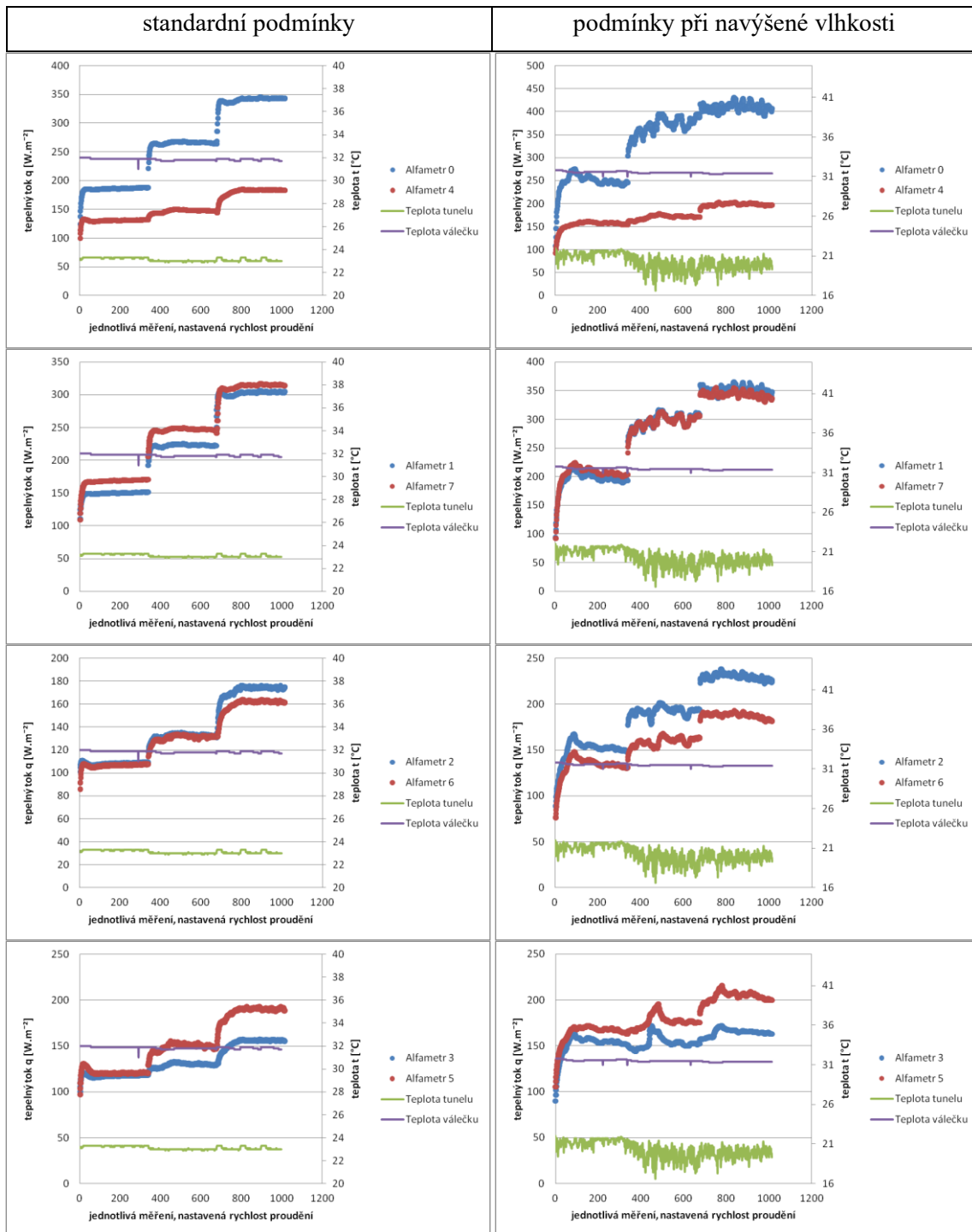


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



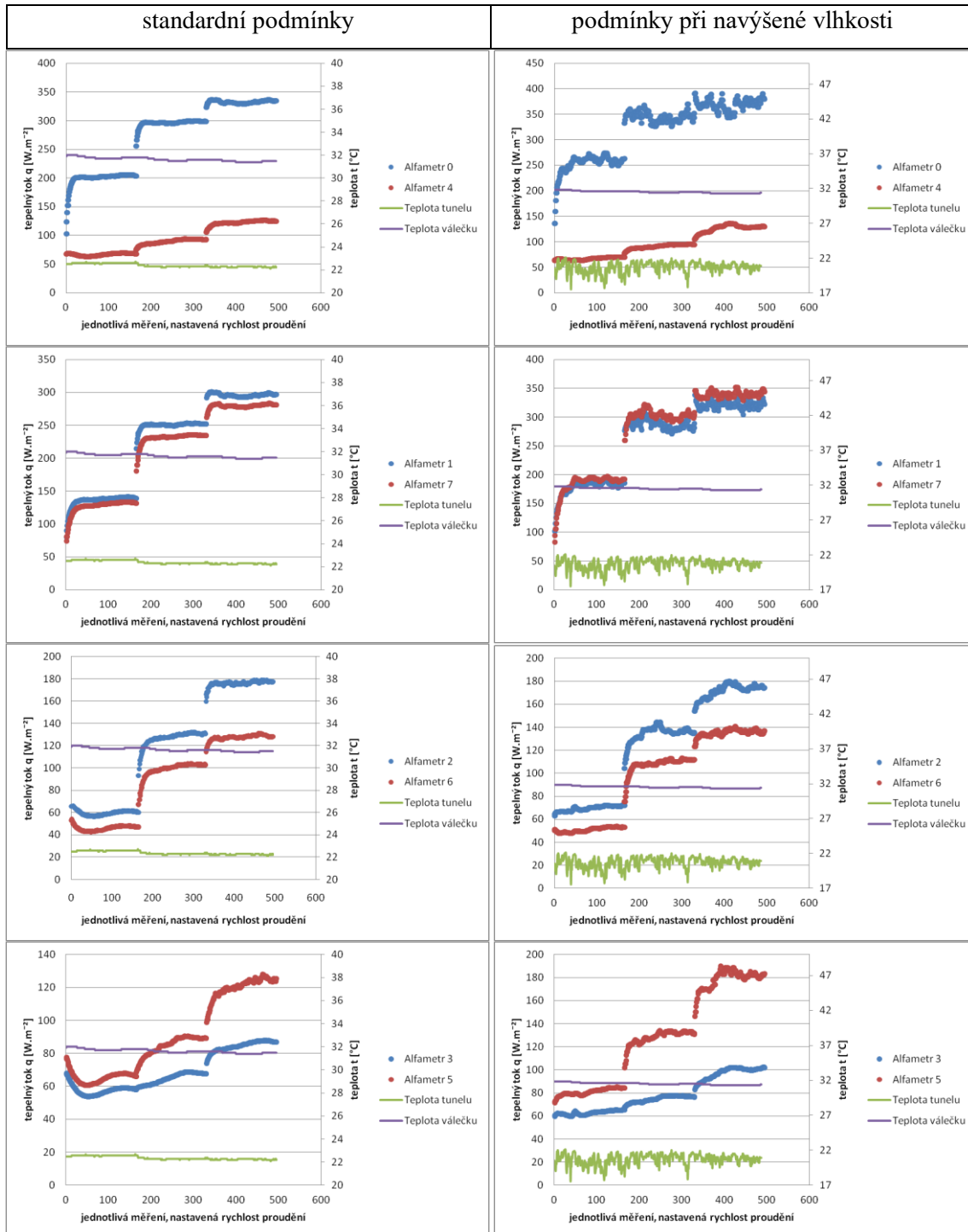


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1014, tedy 338 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

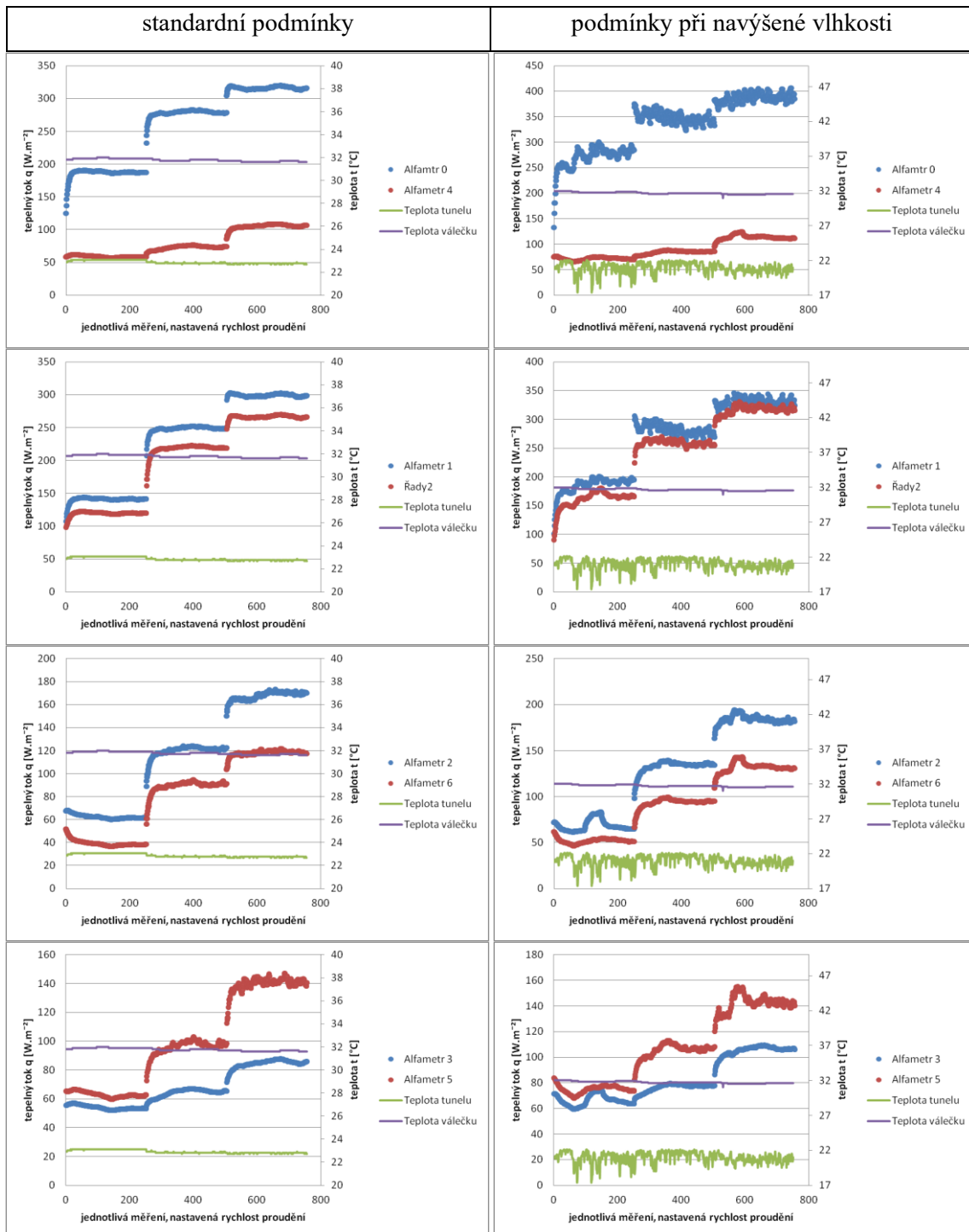


## Fleece

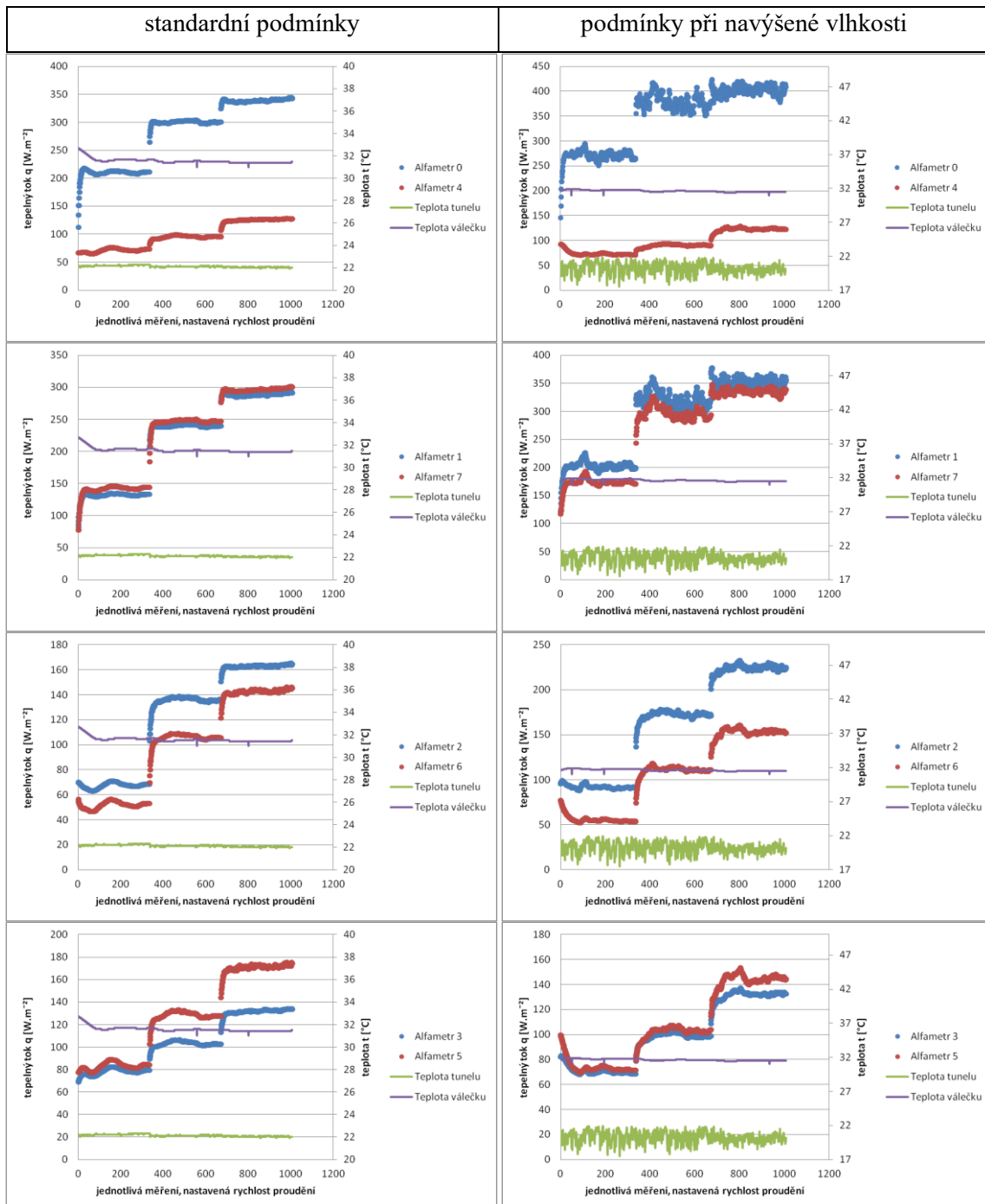
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 756, tedy 252 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

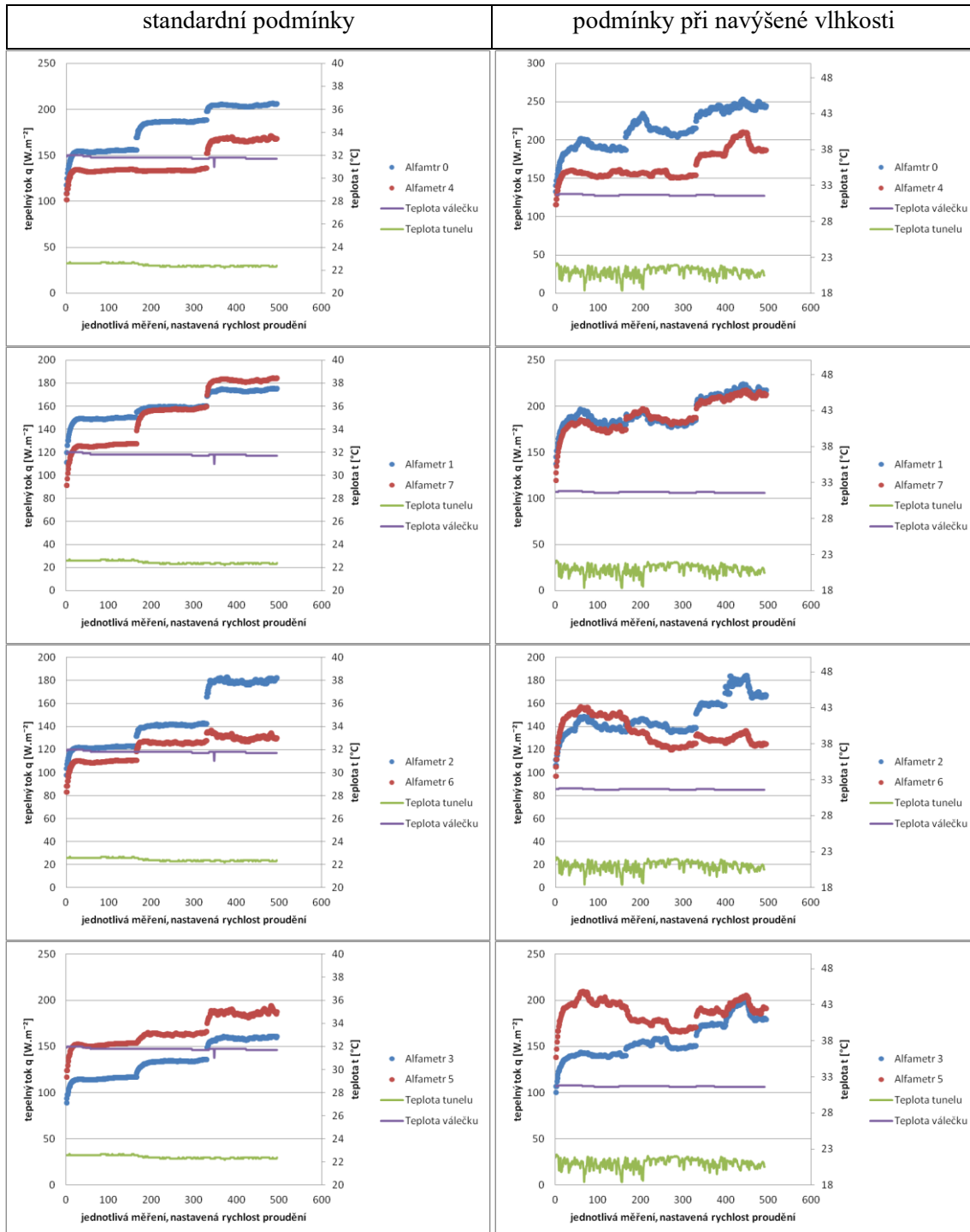


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1008, tedy 336 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

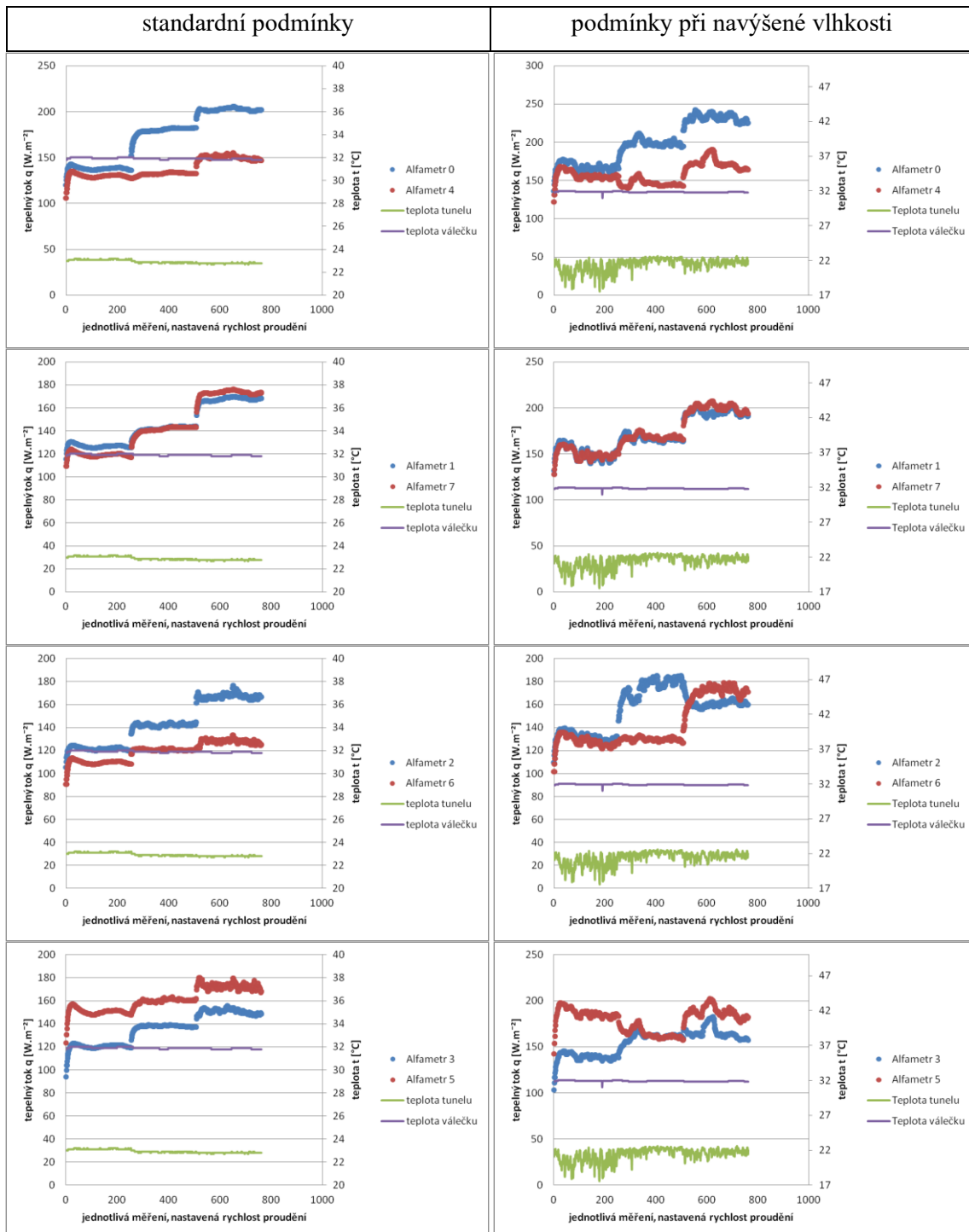


## Membrána

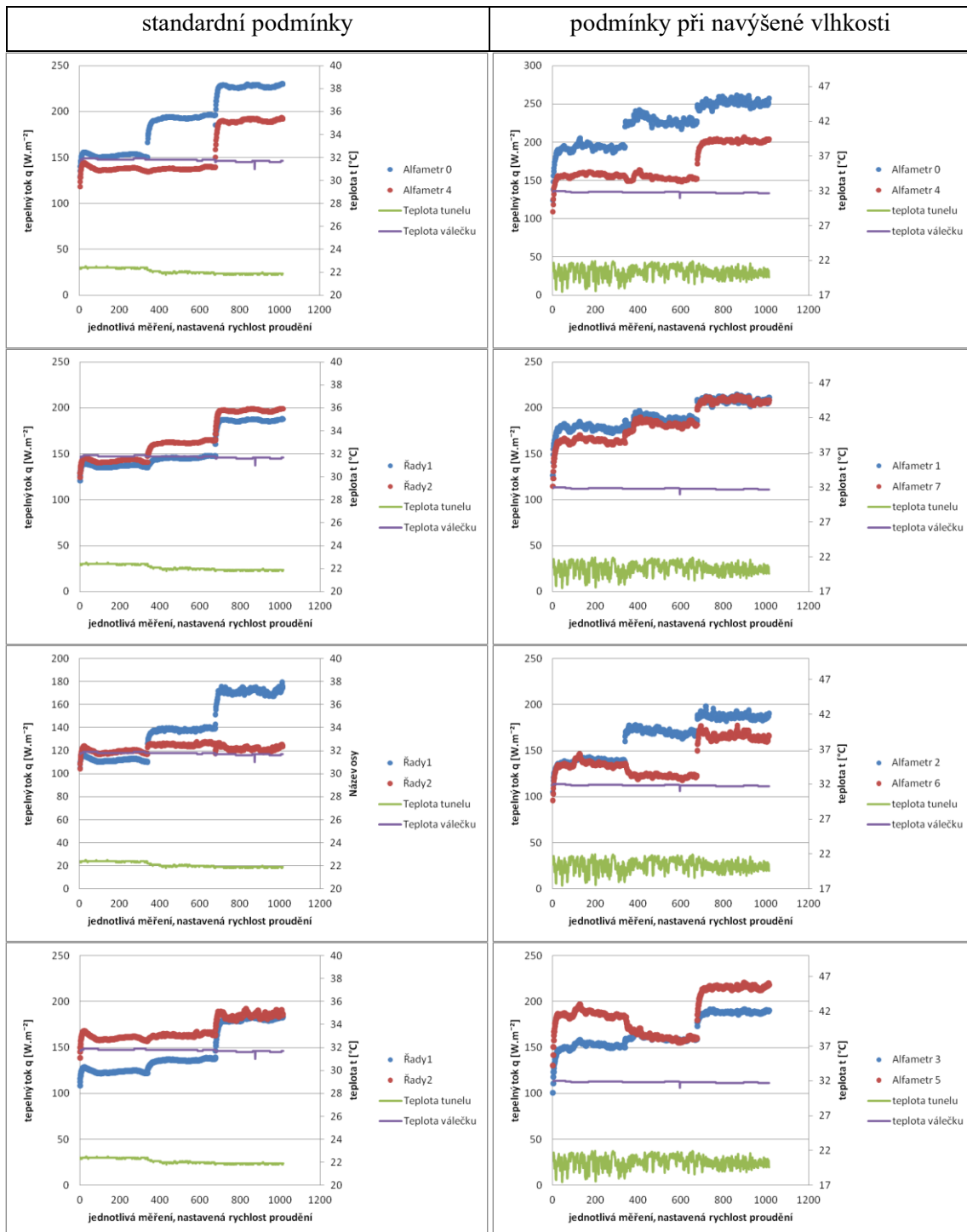
- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 762, tedy 254 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

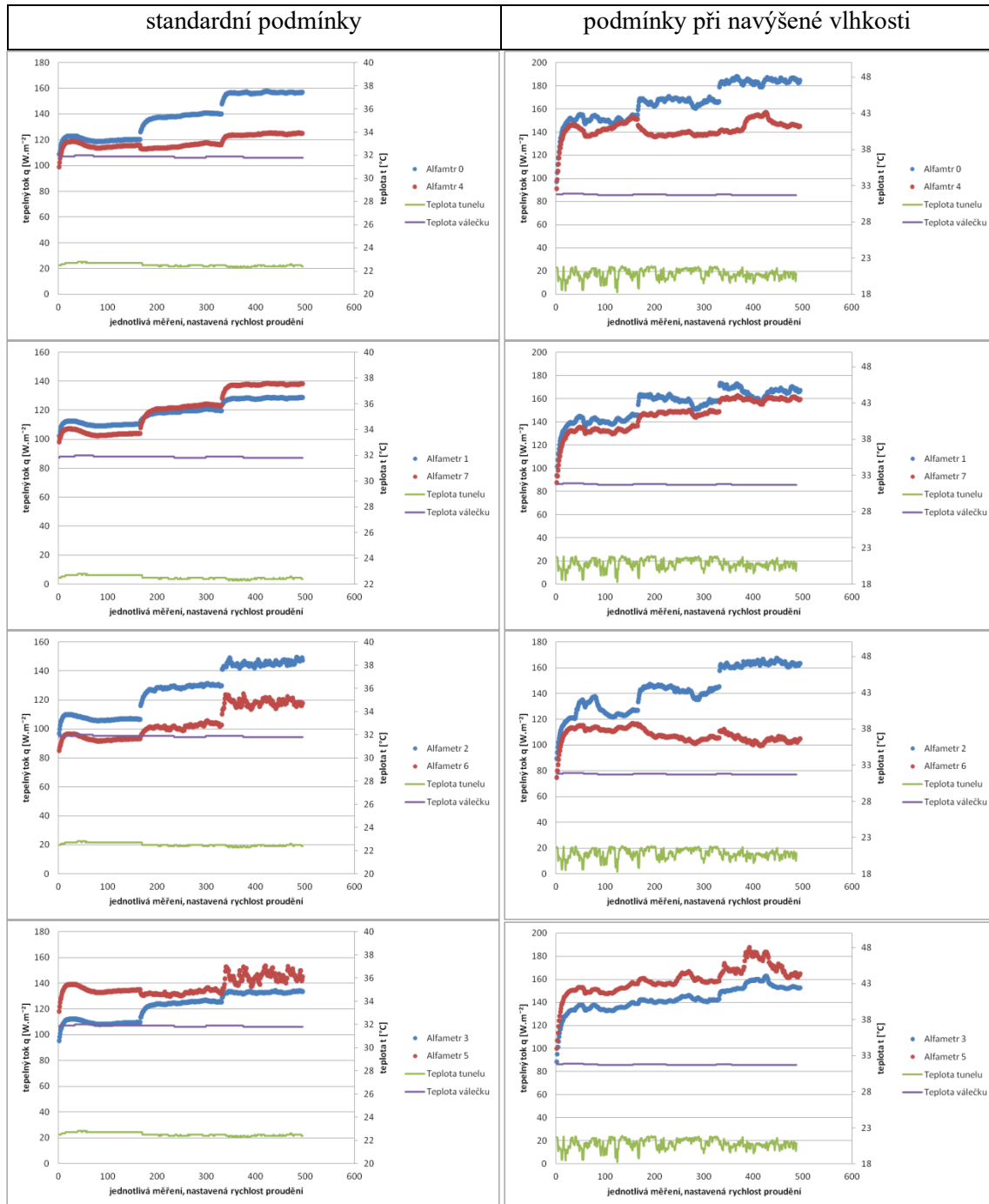


- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1014, tedy 338 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



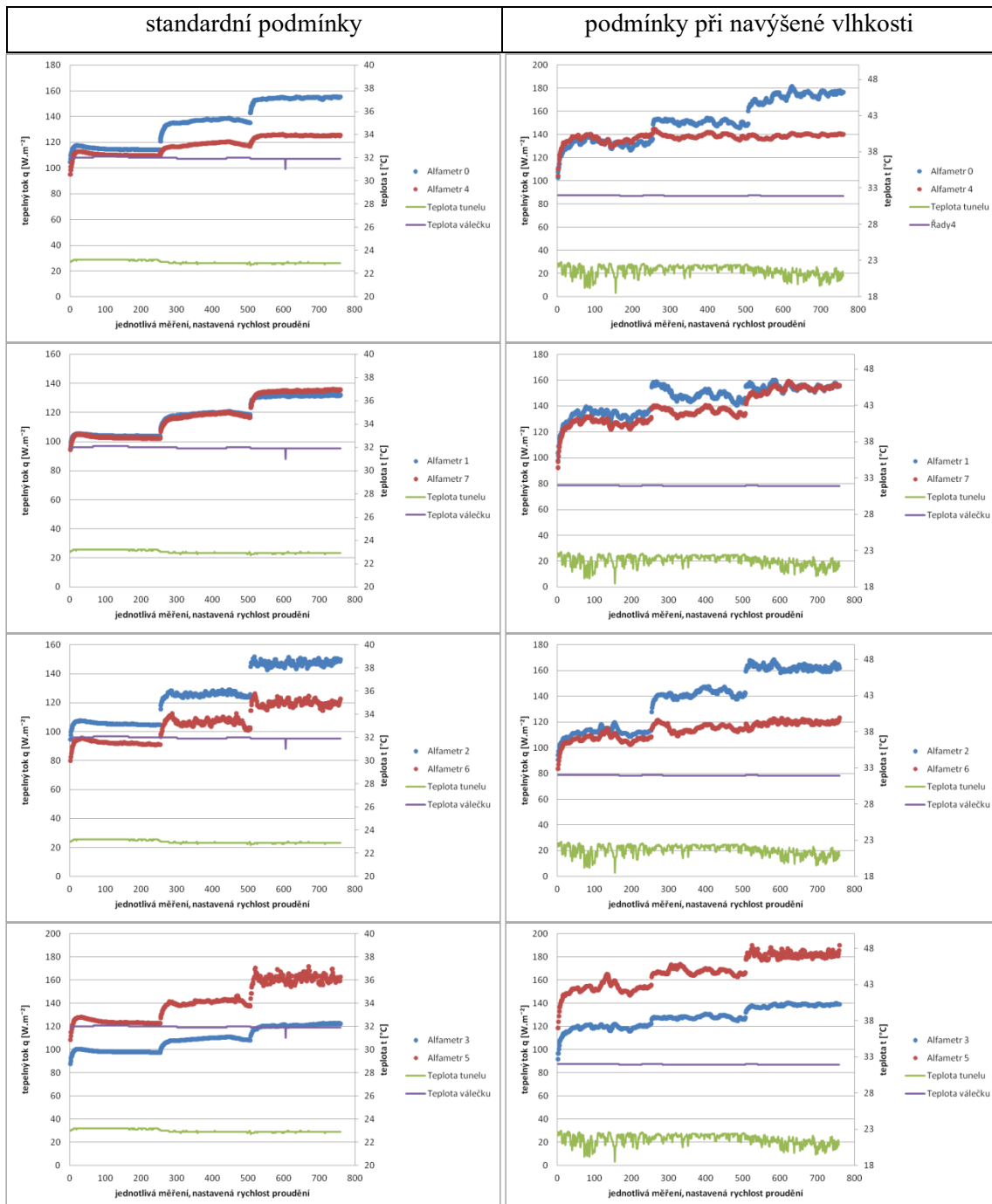
## Softshell

- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 495, tedy 165 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

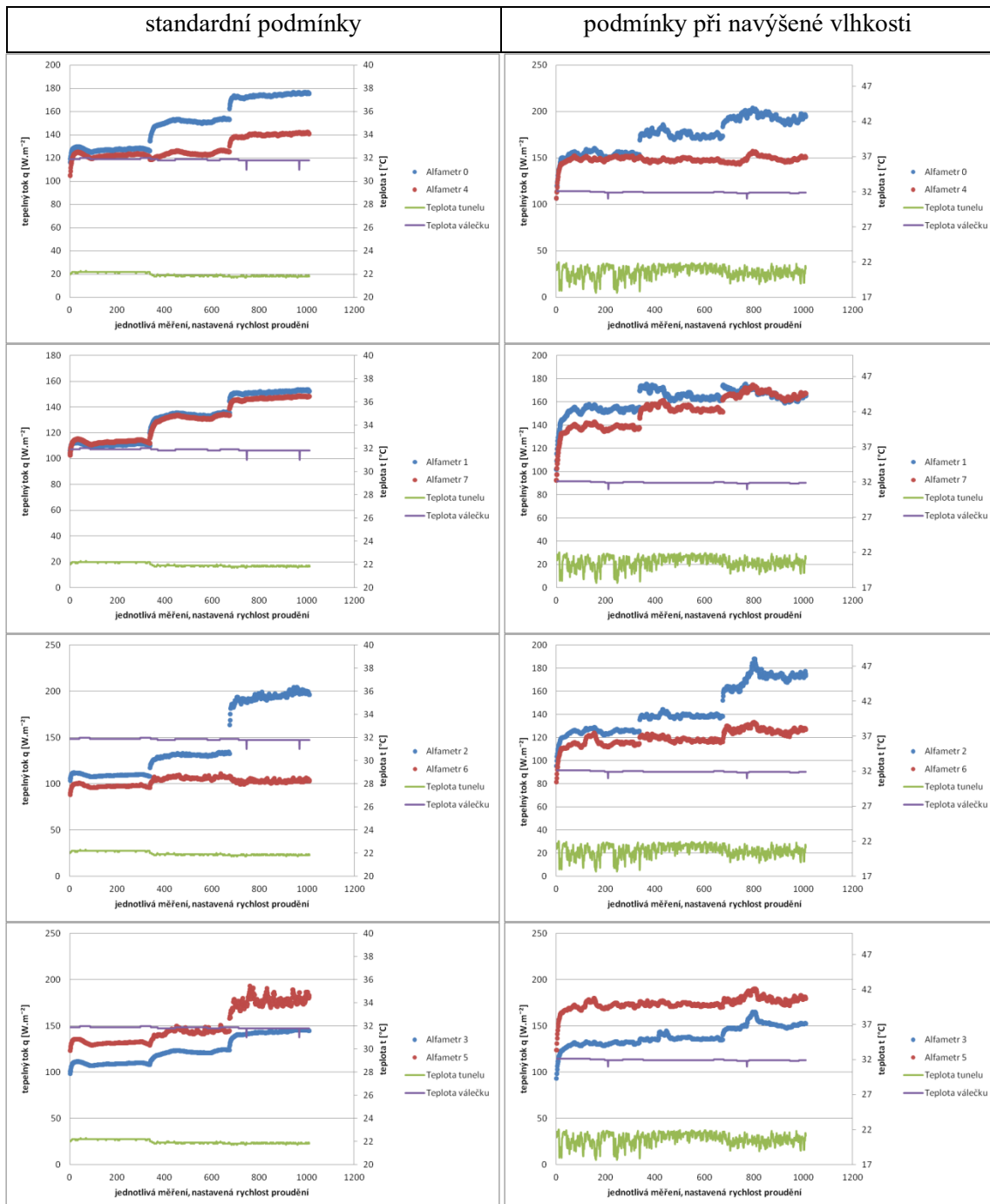




- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 759, tedy 253 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



- Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.



## **Příloha D**

**Fotografie pořízené při výběru umístění zvlhčovače**

## Umístění 1

Rozšířené vyústění na okraji horní stěny nasávací části tunelu.



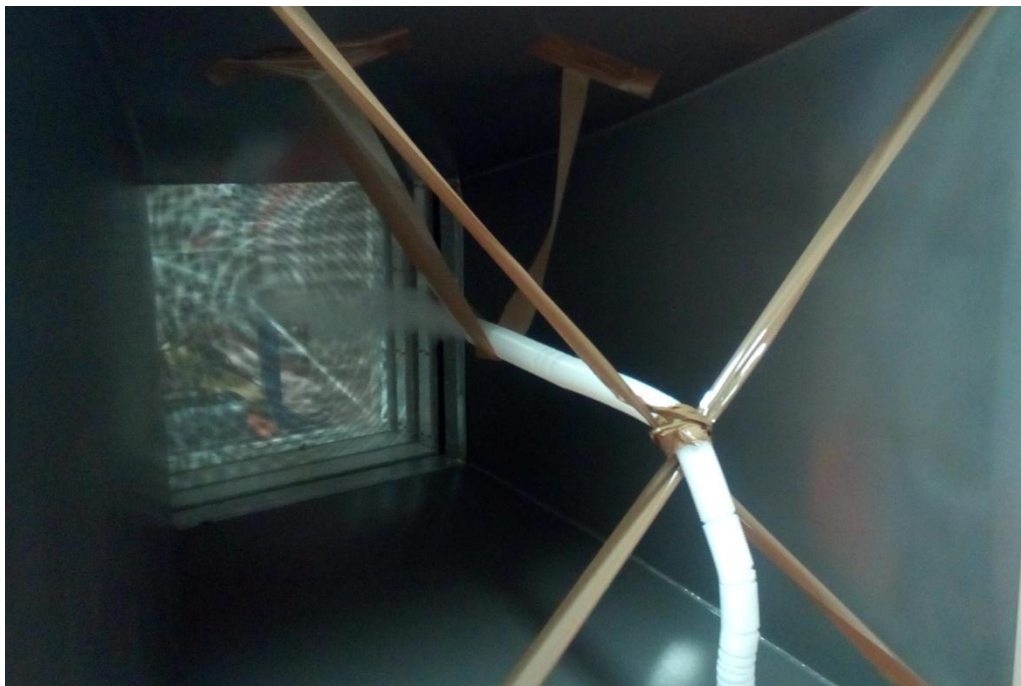
## Umístění 2

Rozšířené vyústění uvnitř na horní stěně nasávací části tunelu.



### Umístění 3

Hadice bez rozšíření uprostřed nasávací části tunelu.



### Umístění 4

Rozšířené vyústění uvnitř na spodní stěně nasávací části tunelu.

