



# ZÁVISLOST PROUDĚNÍ VZDUCHU NA KOMFORTNÍCH VLASTNOSTECH SVRCHNÍCH ODĚVŮ

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3108 – Průmyslový management  
*Studijní obor:* 3106T014 – Produktový management - Textil  
*Autor práce:* **Bc. Lenka Tomková**  
*Vedoucí práce:* Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Textile Engineering ■

# DEPENDENCE OF AIRFLOW ON COMFORTABLE PROPERTIES OF OUTERWEAR

## Diploma thesis

*Study programme:* N3108 – Industrial Management  
*Study branch:* 3106T014 – Product Management - Textile  
*Author:* **Bc. Lenka Tomková**  
*Supervisor:* Ing. Pavla Těšínová, Ph.D.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka Tomková**  
Osobní číslo: **T11000139**  
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**  
Studijní obor: **Produktový management - Textil**  
Název tématu: **Závislost proudění vzduchu na komfortních vlastnostech svrchních oděvů**  
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

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

1. Proveďte literární rešerši na téma komfortních vlastností se zaměřením na změnu vlastností v různých povětrnostních podmínkách.
2. Proveďte měření paropropustnosti a tepelného odporu na materiálech pro svrchní oděvy při dvou rychlostech proudění vzduchu.
3. Proveďte vyhodnocení experimentu jako závislost na geometrických vlastnostech a také na proudění vzduchu.
4. Diskutujte výsledky experimentu. Zhodnoťte, jak se liší jednotlivé materiály.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

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

Seznam odborné literatury:

ČSN EN ISO 31092 (80 0819) : Textilie zjišťování fyziologických vlastností měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek.

Praha : Český normalizační institut, 1996. 16 s.

Shishoo, R.: Textiles in sport. 1.vyd. Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2005. 201 s. ISBN-13: 978-1-85573-922-2.

IN 23-304-01/01 Stanovení termofyziologických vlastností textilií. Výzkumné centrum Textil LN00B090 a TUL: Liberec, 2004.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavla Těšínová, Ph.D.**

Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: **17. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **8. ledna 2015**

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



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

V Liberci dne 10. listopadu 2014

## 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**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Pavle Těšínové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a trpělivost, které mi během zpracování diplomové práce poskytla. Děkuji také katedře hodnocení textilií za možnost využití laboratorní techniky.

Tímto bych chtěla poděkovat především rodině a přátelům, kteří mi byli po celou dobu studia psychickou a materiální oporou.

## **ANOTACE**

Diplomová práce je zaměřena na zkoumání komfortních vlastností svrchních oděvů po změně rychlosti proudění vzduchu. Teoretická část se zabývá vlivem povětrnostních podmínek na komfortní vlastnosti textilií. V experimentální části práce je měřena paropropustnost a tepelný odpor materiálů používaných pro svrchní oděvy při dvou rychlostech proudění vzduchu.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

tepelný odpor, paropropustnost, rychlost proudění vzduchu, multifunkční materiály

## **ANNOTATION**

The diploma thesis is focused on the research of comfort properties of outerwear after changing air velocity. The theoretical part deals with effect of environmental conditions on comfort properties of textiles. In the experimental part vapour permeability and thermal resistance of materials used for outerwear are measured at two levels of air velocity.

### **KEY WORDS:**

thermal resistance, vapour permeability, air velocity, multifunction materials

## Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN .....	5
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	6
Úvod .....	7
1 Oděvní komfort .....	8
1.1 Termofyziologický oděvní komfort.....	8
2 Termoregulace.....	9
3 Přenos tepla .....	9
3.1 Vedením (kondukce) .....	9
3.2 Prouděním (konvekce).....	10
3.3 Zářením (radiace) .....	10
4 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla .....	11
5 Hodnocení komfortních vlastností .....	12
5.1 Zkouška pocení vyhřívanou destičkou .....	12
5.2 Zkouška pomocí přístroje PERMETEST .....	14
6 Hodnocení termofyziologických vlastností s důrazem na změnu v povětrnostních podmínkách .....	16
6.1 <i>Faktory ovlivňující měření přestupu tepla a vlhkosti v rovnovážném stavu skrz oděvní materiály .....</i>	16
6.2 <i>Vliv větru, pohybu a úprav oděvu na efektivní tepelný odpor izolační vrstvy oděvu s nízkou a vysokou prodyšností druhé a třetí vrstvy. ....</i>	17
6.3 <i>Vliv rychlosti větru a otvorů oděvu pro hlavu, končetiny a trup na lokální rychlost ventilace a tepelnou izolaci oděvu.....</i>	19
6.4 <i>Popis přestupu tepla a hmoty skrz model tvořený jednovrstvým textilním systémem. Část druhá: tepelný a výparný odpor. ....</i>	21
6.5 <i>Zjednodušený model pro přestup tepla prodyšnou textilií za použití pohyblivého válce</i>	23
7 Multifunkční textilie.....	24
7.1 Zátěry.....	24
7.2 Membrány.....	25
7.3 Typy membrán dle konstrukce .....	26
<hr/>	
Závislost proudění vzduchu na komfortních vlastnostech svrchních oděvů	3



8	Popis experimentu .....	27
9	Popis vzorků tkanin s membránou .....	28
10	Výsledky testování tkanin s membránou.....	31
10.1	Relativní paropropustnost.....	31
10.2	Výparný odpor.....	33
10.3	Tepelný odpor.....	35
11	Popis vzorků pletenin s membránou.....	37
12	Výsledky testování pletenin s membránou.....	40
12.1	Relativní paropropustnost.....	40
12.2	Výparný odpor.....	41
12.3	Tepelný odpor.....	43
13	Popis vzorků tkanin se zátěrem .....	45
14	Výsledky testování tkanin se zátěrem .....	48
14.1	Relativní paropropustnost.....	48
14.2	Výparný odpor.....	50
14.3	Tepelný odpor.....	52
15	Vyhodnocení závislosti dvou rychlostí proudění vzduchu.....	54
15.1	Tkaniny s membránou závislost dvou rychlostí proudění vzduchu .....	55
15.2	Pleteniny s membránou závislost dvou rychlostí proudění vzduchu.....	56
15.3	Tkaniny se zátěrem závislost dvou rychlostí proudění vzduchu .....	57
16	Vyhodnocení závislosti měřených parametrů na geometrických vlastnostech .....	58
17	Diskuze výsledků.....	59
18	Závěr.....	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	66
	SEZNAM TABULEK .....	67
	SEZNAM PŘÍLOH .....	67

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Symbol	Jednotka	Název veličiny
A	[m <sup>2</sup> ]	plocha měřící jednotky
h	[m]	tloušťka
H	[W]	výhřevnost
$\Delta H_c$	[-]	korekce výhřevnosti
$\Delta H_e$	[-]	korekce výhřevnosti pro odolnost vůči vodním parám
p	[%]	relativní propustnost pro vodní páry
p <sub>a</sub>	[Pa]	parciální tlak vodní páry
p <sub>m</sub>	[Pa]	nasycený parciální tlak vodní páry
P <sub>a</sub>	[Pa]	parciální tlak vodní páry ve vzduchu zkušebního prostoru
P <sub>m</sub>	[Pa]	nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící hlavičky
q	[W/m <sup>2</sup> ]	tepelný tok
q <sub>o</sub>	[W/m <sup>2</sup> ]	tepelný tok procházející měřící hlavičkou bez vzorku
q <sub>v</sub>	[W/m <sup>2</sup> ]	tepelný tok procházející měřící hlavičkou s měřeným vzorkem
R <sub>tc</sub>	[m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	tepelná odolnost
R <sub>tc0</sub>	[m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	tepelná odolnost nezakryté destičky
R <sub>et</sub>	[m <sup>2</sup> .Pa.W <sup>-1</sup> ]	odolnost vůči vodním parám
T <sub>a</sub>	[°C]	teplota vzduchu
T <sub>m</sub>	[°C]	teplota povrchu měřící jednotky
t <sub>a</sub>	[°C]	teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřící hlavičky
t <sub>m</sub>	[°C]	teplota povrchu měřící hlavičky
$\lambda$	[W/m.k]	tepelná vodivost

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ASTM	American Society for Testing and Materials
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
ČSN	česká státní norma
DM	dolní mez
EN	evropská norma
HM	horní mez
IS	interval spolehlivosti
IPD	Individual Protection Directorate
např.	například
NCTRF	U.S. Navy Clothing and Textile Research Facility
str.	strana
PU	polyuretan
USARIEM	U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine
TPU	termoplastický polyuretan
tzv.	tak zvaný

## Úvod

Oděvy slouží především k ochraně člověka před nepříznivými vlivy okolí. Vzhledem k aktuálnímu počasí je důležité zvolit vhodný oděv. V podmínkách nepříznivého počasí jako je prudký déšť, silný vítr, chlad se spoléháme na oděv, který nás ochrání. Vzhledem k tomu se provádí výzkumy a inovace textilií ke zlepšení jejich vlastností. Největším trendem v oblasti textilu je zlepšování odolnosti textilií proti nepříznivým vlivům a zároveň zachování komfortních vlastností.

Tato diplomová práce se zabývá měřením komfortních vlastností svrchních oděvů při dvou rychlostech proudění vzduchu. Práce je rozdělena na dvě části teoretickou a experimentální. V teoretické části jsou shrnuty studie zabývající se vlivem povětrnostních podmínek na komfortní vlastnosti oděvu. Především sledují vliv tepelného odporu na změnu rychlosti proudění vzduchu. Ve studiích jsou použity k měření různé přístroje zjišťující komfortní vlastnosti a různé testované textilie. Dále je popsán oděvní komfort a jeho rozdělení, podrobněji je rozebrán termofyziologický oděvní komfort.

V experimentální části je měřen tepelný odpor, výparný odpor, paropropustnost při dvou rychlostech proudění vzduchu. Testované vzorky jsou určeny pro svrchní ošacení, k účelu sportovnímu a pracovnímu, ke zvýšení komfortních vlastností jsou vzorky opatřeny membránou a zátěrem. Materiály membránové jsou laminovány na tkaninu a pleteninu a zátěrové materiály jsou nanášeny na tkaninu. Polovina membránových materiálů je laminována na textilií z vnější strany a z vnitřní je opatřena ochranným nánosem, ke zlepšení tepelných vlastností. Měření proběhlo na přístroji PERMETEST, z důvodu možnosti regulace rychlosti proudu vzduchu.

Vyhodnocení měření je popsáno v diskuzi, porovnávány jsou jednotlivé vzorky. Sledována je závislost měřených parametrů na geometrických vlastnostech měřených vzorků a závislost měřených parametrů při změně rychlosti proudu vzduchu.

## *Teoretická část*

### **1 Oděvní komfort**

Oděvní komfort je důležitým kritériem při určování kvality oděvního systému. Neovlivňuje pouze pohodlí oděvu poskytované nositeli, ale i jeho výkonnost a efektivitu. To je důležité především pro sportovní oděvy, které jsou konstruovány za účelem zlepšení podmínek nositele i při zvýšené fyzické zátěži. Dle časopisu World sports activewear je komfort důležitým ukazatelem kvality oděvu. A 94 % zákazníků si přeje, aby jejich oblečení bylo komfortní [1].

Definujeme-li pojem komfort jako subjektivně vnímaný pocit pohodlí, při kterém je organismus chráněn před vnějšími vlivy, větrem, deštěm a změnou vnějších teplot, lze tento složitý jev obecně rozdělit podle čtyř různých hledisek psychologický oděvní komfort, sensorický oděvní komfort, patofyziologický oděvní komfort, termofyziologický oděvní komfort [2].

#### **1.1 Termofyziologický oděvní komfort**

Termofyziologický oděvní komfort přímo ovlivňuje termoregulaci organismu závislou na vnitřním a vnějším prostředí člověka. Mechanismy k udržení stálé vnitřní teploty v měnících se vnějších podmínkách jsou realizovány pomocí přenosu tepla a vlhkosti skrz oděvní vrstvu do okolního prostředí.

Stav termofyziologického komfortu nastává tehdy, když je fyziologická, psychická a fyzikální složka v harmonii mezi člověkem a okolím. Organismus je dostatečně prokrven, nedochází k pocení ani nenastává pocit chladu [1], [2].

Ideální podmínky nastávají při teplotě pokožky 33- 35 °C, relativní vlhkost vzduchu 50±10%, rychlost proudění vzduchu 25±10 cm.s<sup>-1</sup>, obsah CO<sub>2</sub> 0,07%, nepřítomnost vody na pokožce [2].

## 2 Termoregulace

Termoregulace organismu je děj, který udržuje stálou teplotu organismu. Organismy mohou žít jen v určitém teplotním rozmezí, čím jsou složitější, tím je toto rozmezí užší. Teplota je významná pro aktivitu bílkovin a tekutost plazmatických membrán. Vyšší organismy vynakládají velké úsilí, aby si udrželi optimální teplotu [3].

Lidské tělo si udržuje stálou teplotu jádra 37 °C, tato teplota za normálních okolností zůstává konstantní. Kolísání teploty je realizováno na povrchu (kůže) a v okrajových částech těla. Nejvyšší teploty jsou v dobře prokrvených částech 34- 36 °C a klesají v okrajových částech, jako jsou nohy a ruce na teplotu 29- 31 °C [2].

K udržení stálé tělesné teploty jsou používány dva mechanismy kontroly vasodilatace a vasokonstrikce. Funkce vasodilatace je snižování teploty jádra, nastává při přehřívání organismu. Vasokonstrikce nastává při podchlazení, zvyšuje teplotu jádra [2].

Izolaci těla zajišťuje kůže a zejména podkožní vrstvy s velkým obsahem tukové tkáně. Jedná se o účinnou izolaci bránící ztrátám tepla do okolí. Dobrou tepelnou ochranu poskytují, i oděvy zabraňují až polovině tepelných ztrát [3].

## 3 Přenos tepla

Přenos tepla nastává třemi způsoby:

- vedením
- prouděním
- zářením

### 3.1 Vedením (kondukce)

Představuje sdílení tepla z oblasti o vyšší teplotě do oblasti s nižší teplotou. Dochází k němu v hmotném prostředí, nejčastěji mezi pevnými tělesy, které se vzájemně dotýkají. Vedením ztrácí lidské tělo teplotu nejčastěji chodidly a zadní částí těla, při sezení nebo spánku. Také je hlavním mechanismem při šíření tepla mezi tenkými oděvními vrstvami [2], [4].

Tepelný odpor  $R$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ] deskových materiálů je velmi důležitým kritériem při hodnocení tepelného komfortu. Příkladem deskových materiálů mohou být plošné textilie, tenké vzduchové vrstvy a jiné plošné materiály o tloušťce  $h$  [m] [2].

Vztah pro tepelný odpor [2]:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (1)$$

Vztah tepelného odporu deskových materiálů vychází z Fourierova zákona, který vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla  $q$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ], tepelnou vodivostí  $\lambda$  [ $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ], a teplotním gradientem  $\Delta t/\Delta x$  [2]:

$$q = -\lambda \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

### 3.2 Prouděním (konvekce)

Přenos tepla prouděním nastává při sdílení tepla např. mezi tekutinou a tuhou látkou. K výměně tepla dochází proudící tekutinou, která předává nebo odebírá teplo z povrchu okolních těles. Mezi tuhým tělesem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva o určité tloušťce, ve které se realizuje teplotní spád. Tepelná mezní vrstva je laminární nebo turbulentní. Při laminárním proudění tekutiny je tloušťka mezní vrstvy vyšší, v případě turbulentního proudění klesá [2], [4].

Proudění lze rozdělit na přirozené a nucené. Přirozené proudění je způsobeno gravitačním polem působícím na nerovnoměrně zahřátou tekutinu. Nucené proudění nastává, jestliže je tekutina ke svému pohybu přinucena např. ventilátorem [2], [4].

### 3.3 Zářením (radiace)

Energie vyzařovaná předměty je přenášena elektromagnetickým vlněním o různé délce vlny. Vzhledem k tomu se dělí na záření rentgenové, ultrafialové, světelné, infračervené, elektromagnetické vlny. Významné pro šíření tepelné energie je infračervené záření, protože se při pohlcování předměty mění v tepelnou energii. K šíření této energie není zapotřebí zprostředkující látky, čímž se liší od způsobu šíření tepla vedením a prouděním. Při dopadu záření na jiné těleso se energie zčásti odrazí, zčásti tělesem prochází a zčásti je jím pohlceno. Energie, která tělesem projde je pohlcena jiným tělesem, pohlcená energie těleso zahřívá [5].

## 4 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Kapalná vlhkost se tvoří na povrchu lidského těla v důsledku termoregulace. Pokud se organismus zahřívá, nejčastěji fyzickou aktivitou, lidské tělo produkuje vodu ve formě potu. Ochlazovací efekt nastane v případě odpaření potu z pokožky. Ve volném prostoru stačí k odpařování rozdíl parciálních tlaků. U oblečeného člověka se transport vlhkosti řídí následujícími principy [2]:

- **Difuze**

Přestup vodní páry skrz textilii pomocí difuze je uskutečňován póry. Vlhkost je odváděna ve směru nízkého parciálního tlaku. Difuzní odpor kladou jednotlivé oděvní vrstvy, které se sčítají a vzduchové mezery oděvního systému. Například pleteniny mají lepší propustnost pro vodní páry než tkaniny, jelikož je jejich porosita větší [2].

- **Kapilární odvod**

Kapilární odvod nastává, je-li kůže pokryta potem, v kontaktu s první vrstvou textilie. Tekutý pot vzlíná kapilárními cestami do její plochy všemi směry. Jedná se o knotový efekt, kterým je tekutina z povrchu lidského těla transportována do textilie. Pro zlepšení knotových vlastností a zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů se vlákna upravují např. laserovou úpravou, aby zvýšily svou drsnost a tím i kapilární tlak.

K přestupu vlhkosti z pokožky do textilie vyrobené z hydrofobních vláken, musí působit vhodná dynamická síla vytvořená vibracemi oděvu při tělesném pohybu. Nebo vhodně zvolenou povrchovou úpravou textilie [2].

- **Sorpce**

Sorpční proces nastane, když je textilie v kontaktu s vlhkostí. Vlhkost se nejprve dostane do neuspořádaných molekulárních oblastí ve struktuře vlákna, poté se naváže na volné hydrofilní skupiny. Vlákna s dobrou sorpční schopností jsou např. bavlněná nebo viskózní vlákna [2].



## 5 Hodnocení komfortních vlastností

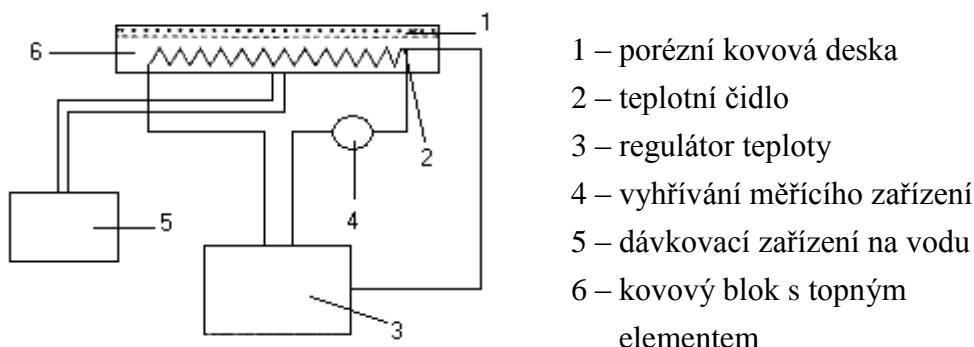
Obecně je komfort považován za něco individuálního a špatně měřitelného. Ve skutečnosti přímo souvisí s fyziologickými procesy lidského těla. Veškerá energie produkovaná lidským tělem musí být ve stejné míře tělem vydána. Proto lze termofyziologický komfort kvantitativně vyjádřit. Nejlepším způsobem měření se jeví testování na lidských subjektech. Provádí se v běžných podmínkách nebo kontrolovaných podmínkách klimatické komory. Avšak testování je velmi časově i finančně nákladné. Proto jsou upřednostňovány laboratorní metody měření. Nicméně testování na lidských subjektech je potřebné ke kalibraci měřících přístrojů. Korelace dat mezi testováním na lidských subjektech a laboratorním měření zajišťuje platnost laboratorních testů a výsledků jimi interpretovaných. Metoda splňující toto kritérium se nazývá skin model, je založena na napodobení lidské pokožky. Model je mezinárodně standardizovaný a to normou EN 31092 [1]. Termofyziologický komfort charakterizují dva parametry výparný odpor  $R_{et}$  [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ ] a tepelný odpor  $R_{tc}$  [ $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ].

### 5.1 Zkouška pocení vyhřívanou destičkou

Normou ČSN EN 31092 popsaná metoda zkouška pocení vyhřívanou destičkou je označována skin model. Měření probíhá elektricky vyhřívanou destičkou, na kterou se připevní zkušební vzorek obtékaný vzduchem proudícím paralelně s jeho povrchem. Zjišťovány jsou dva parametry tepelná odolnost a odolnost vůči vodním parám [6].

Zkušebním zařízením je měřící jednotka s regulací teploty a přívodem vody, schéma znázorňuje obrázek 1. Skládá se z kovové destičky o tloušťce 3 mm a minimální plochou  $0,04 \text{ m}^2$ , připevněné ke kovovému bloku s elektrickým ohřívacím elementem. Destička pro měření odolnosti vůči vodním parám musí být pórovitá. Sálavé vyzařování povrchu destičky musí překročit koeficient 0,35 měřený při  $20^\circ\text{C}$  vlnové délky v rozmezí 8-  $14\mu\text{m}$  dopadající kolmo na povrch destičky. Povrchová teplota je udržována konstantní mezi  $\pm 0,1 \text{ K}$ . K tomu slouží regulátor teploty obsahující teplotní čidlo měřící jednotky [6].

Z důvodu zachování konstantní rychlosti odpařování vody je spínací jednotka vybavena spínačem hladiny. Poklesne-li hladina vody v destičce o 1mm pod povrch destičky, je zařízení automaticky aktivováno. Před přivedením k měřící jednotce musí být voda přehřátá na teplotu měřící jednotky [6].



Obrázek 1- Měřicí jednotka s regulací teploty a přívodem vody [6].

K přístroji náleží i tepelný chránič s regulací teploty. Funkce chrániče spočívá v zabránění úniku tepla po stranách a ze spodní části měřicí jednotky. Tloušťka chrániče je 15 mm a mezera mezi vrchní stranou tepelného chrániče a kovovou destičkou měřicí jednotky nepřesahuje 1,5 mm. Teplota chrániče a měřicí jednotky musí být udržována na stejné teplotě  $\pm 0,1$  K pomocí regulátoru [6].

Pro zjišťování tepelné odolnosti  $R_{tc}$  [ $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ] materiálu je měřená vzduchová vrstva nad povrchem zkušebního zařízení odečtena od odporu zkušebního vzorku a vzduchové mezery. Odolnost nezakryté destičky se v normě nazývá konstanta přístroje  $R_{tc0}$  [ $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ]. Oba údaje se stanovují za stejných podmínek měření. Podmínky měření jsou teplota povrchu měřicí jednotky  $T_m$   $35^\circ\text{C}$ , teplota vzduchu ve zkušebním prostoru  $T_a$   $20^\circ\text{C}$ , relativní vlhkost 65 % a rychlost vzduchu  $v_a$  1 m/s. Tok tepla zkušebním vzorkem se měří po dosažení ustálených podmínek [6].

Rovnice odolnosti nezakryté destičky  $R_{tc0}$  [6]:

$$R_{tc0} = \frac{(T_m - T_a) \cdot A}{H - \Delta H_c} \quad (5)$$

Kde  $A$  [ $\text{m}^2$ ] je plocha měřicí jednotky.

Rovnice tepelné odolnosti  $R_{tc}$  [6]:

$$R_{tc} = \frac{(T_m - T_a)}{H - \Delta H_c} - R_{tc0} \quad (6)$$

Kde  $H$  [W] je výhřevnost dodávaná měřicí jednotkou,  $\Delta H_c$  [-] stanovuje korekci pro výhřevnost při měření tepelné odolnosti.

Odolnost vůči vodním parám  $R_{et}$  [m<sup>2</sup>.Pa/W] je měřena vyhřívanou porézní destičkou, která je vybavena hladkou porézní membránou propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. Voda přiváděná k vyhřívané destičce musí být destilovaná. Při kontaktu s vyhřívanou destičkou se voda odpařuje a prochází membránou ve formě páry. Zkušební vzorek není v kontaktu s vodou. Tepelný tok udržující stálou teplotu destičky je mírou propustnosti textilie pro páru. Podmínky měření jsou stanoveny následovně: teplota měřicí jednotky  $T_m$  a vzduchu  $T_a$  je 35°C, relativní vlhkost 40 %, rychlost vzduchu  $v_a$  1m/s [6].

Rovnice odolnosti vůči vodním parám  $R_{et}$  [6]:

$$R_{et} = \frac{(p_m - p_a) \cdot A}{H - \Delta H_e} \quad (7)$$

Kde  $p_a$  [Pa] značí parciální tlak vodní páry ve vzduchu zkušebního prostoru při teplotě  $T_a$ ,  $p_m$  [Pa] označuje nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí jednotky při teplotě  $T_m$ ,  $\Delta H_e$  je korekce pro výhřevnost při měření odolnosti vůči vodním parám.

## 5.2 Zkouška pomocí přístroje PERMETEST

Přístroj je založen na přímém měření tepelného toku procházejícího povrchem tepelného modelu lidské pokožky (skin modelu). Povrch modelu je porézní a zvlhčován, čímž simuluje ochlazování lidské pokožky pocením. Na tento povrch se přiloží vzorek, který je z vrchní strany ofukován. Pomocí přístroje je stanoven výparný odpor, relativní propustnost textilií pro páru, tepelný odpor [7].

Relativní paropropustnost  $p$  [%] pro vodní páry je nenormalizovaný parametr, představující schopnost textilie propouštět vodní páry, který je přímo úměrný hodnotě příslušného výparného tepelného toku. Měřeného jako tepelný tok  $q_o$  pro 100 % propustnost a tepelný tok  $q_v$  snížený o propustnost měřené textilie. Vzorec paropropustnosti [7]:

$$p = 100 \cdot \frac{q_v}{q_o} \quad (8)$$

Výparný odpor  $R_{et}$  [Pa.m<sup>2</sup>/W] je normovaný parametr, stanovuje odpor kladený textilií k prostupu vodní páry. Jestliže je paropropustnost přímo úměrná hodnotě výparného tepelného toku, bude výparný odpor nepřímo úměrný. Vzorec výparného odporu [7]:

$$R_{et} = (P_m - P_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad (9)$$

Kde  $P_a$  je parciální tlak vodní páry ve vzduchu, přítomen v prostoru měřícího přístroje,  $P_m$  je nasycený parciální tlak na povrchu měřící hlavice přístroje.

Tepelný odpor  $R_{tc}$  [m<sup>2</sup>.K/W] je normalizovaný parametr, charakterizující odpor kladený textilií, vůči prostupu tepla. Testování probíhá v suchém režimu, při definované teplotě  $t_m$  vnější strany textilie, která přenáší teplo pomocí konvekce skrz textilii do vzduchu o teplotě  $t_a$ . Vzorec tepelné odolnosti [7]:

$$R_{tc} = (t_m - t_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad (10)$$

## **6 Hodnocení termofyziologických vlastností s důrazem na změnu v povětrnostních podmínkách**

### **6.1 Faktory ovlivňující měření přestupu tepla a vlhkosti v rovnovážném stavu skrz oděvní materiály**

Gibson [8] ve své práci shrnul tři studie, které ilustrují důležitost faktorů ovlivňujících přestup tepla skrz textilií. Každá studie hodnotí jeden konkrétní problém související s měřením výparného a tepelného odporu. Existuje mnoho zařízení měřících výparný a tepelný odpor simulujících skin model. Teoreticky všechny testy měří stejné vlastnosti, ale naměřené hodnoty málokdy souhlasí. Důvodem mohou být rozdílné podmínky měření.

Podstatná část studie pro tuto práci se nazývá: *Porovnání odolnosti vůči vodním parám a tepelné odolnosti třemi různými laboratořemi*. Studie se zabývá měřením komfortní vlastnosti oděvů pro armádu spojených států. Testování se účastnily tři různé laboratoře spolupracující s armádou Individual Protection Directorate (IPD), U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM), U.S. Navy Clothing and Textile Research Facility (NCTRF) [8].

Testované materiály se skládají z tkaniny potištěné kamuflážovým vzorem se složením 50 % nylon/ 50 % bavlna používané pro vojenské uniformy. A pleteniny trikotové vazby ze 100 % nylonu laminovanou polyuretanovou pěnou s částicemi aktivního uhlíku, která je požívána jako bojový oděv [8].

Zkušební zařízení použité v této práci Sweating Guarded Hotplate umožňuje hodnotit odolnost vůči vodním parám, tepelný odpor. Zařízení simuluje zkoušku pocení vyhřívanou destičkou. Rozdíl mezi měřeními byl v rychlosti vzduchu. Laboratoř NCTRF testovala vzorky v souladu s normou ASTM D-1518, laboratoře USARIEM a IPD měří při mnohem vyšší rychlosti vzduchu, než uvádí norma. IPD navíc testuje při nulové rychlosti vzduchu [8].

Každá laboratoř měřila při různých podmínkách rychlosti vzduchu. Zvyšující se rychlost vzduchu způsobila, že rychlost odpařování se zvyšuje a tím se zvyšuje i výparný odpor, dokud rychlost vzduchu nepřesáhne 1 m/s. Změna výparného odporu při změně rychlosti vzduchu nastala v důsledku přenosu tepla zářením, který je realizován při nízkých rychlostech vzduchu, což zvyšuje tepelný a výparný odpor v mezní vzduchové vrstvě. Vhodná rychlost vzduchu při měření výparného a tepelného odporu bude 1- 2 m/s, kdy již nenastává přenos tepla zářením v mezní vzduchové vrstvě. K největšímu nárůstu výparného a tepelného odporu došlo při změně teploty z 0 k 1 m/s. Mezi rychlostmi vzduchu 1 a 2 m/s nebyl výrazný rozdíl [8].

## **6.2 *Vliv větru, pohybu a úprav oděvu na efektivní tepelný odpor izolační vrstvy oděvu s nízkou a vysokou prodyšností druhé a třetí vrstvy.***

Napsáno Morrissey a Rossim [9] popisuje měření tepelného odporu při chůzi za různých povětrnostních podmínek. Práce se zaměřuje na změnu tepelného odporu použitím vysoce prodyšné druhé a třetí vrstvy v oděvním systému. Testovacím zařízením byl tepelný manekýn. Testován byl třívrstvý oděvní systém, kde první vrstva je tričko, druhá vrstva mikina a třetí vrstva bunda. Podmínky měření zahrnovaly tři simulace rychlosti chůze 0 km/h, 1 km/h, 2,5 km/h a vzduchu 0,1 m/s, 1 m/s, 2,5 m/s.

Materiály použité při měření se skládaly ze dvou oděvních systémů. Z vysoce prodyšného systém a méně prodyšného. Třetí vrstva oděvu byla pro oba systémy stejná, neprodyšná vrstva vyrobená z třívrstvého laminátu složením PU mikroporezní membrána laminována na tkaninu a pleteninu trikotové vazby. Druhá vrstva v práci popisovaná jako izolační je rozdělena na vysoce prodyšnou distanční pleteninu a méně prodyšný flíz. První vrstva byla vysoce prodyšná pletenina mesh Brynje<sup>TM</sup> ze 100 % polypropylenu a méně prodyšná zátažná pletenina ze 100 % polyesteru. Všechny vrstvy byly vyrobeny stejnou společností, ve stejné velikosti (L), druhá vrstva byla šita na zakázku z důvodu identické konstrukce. Tím pádem byly omezeny tepelné ztráty v důsledku padnutí oděvu [9].

Měření probíhalo ve třech různých režimech, active, semi-active, inactive. Cílem bylo vyšetřit vliv nuceného větrání rozepnutím třetí vrstvy oděvu (bunda) a druhé vrstvy (mikina) na změnu tepelného odporu. V režimu active dochází k extrémnímu větrání rozepnutím třetí a druhé vrstvy oděvu. Kapuce a zápěstní větrání byly otevřeny. Semi-active třetí vrstva rozepnuta, ale druhá zapnuta, kapuce a zápěstní větrání nepoužito. V režimu inactive byly všechny otvory uzavřeny, třetí a druhá vrstva zapnuta, kapuce nasazena a zápěstní větrání uzavřeno [9].

V režimu inactive oba oděvní systémy vykazují stejné chování, při zvýšení rychlosti vzduchu se tepelný odpor snižoval. Za stacionárních podmínek (0 km/h) tepelný odpor oděvního systému vysoce prodyšného proti méně prodyšnému činil při rychlosti větru 0,1 m/s 91 % proti 84 %, 1 m/s 70 % ku 68 %, 2,5 m/s 56 % proti 54 %. Porovnáním se změnou při simulaci chůze 1 km/h se tepelný odpor změnil při rychlosti vzduchu 0,1 m/s na 77 % proti 73 %, a rychlosti vzduchu 2,5 m/s na 54 % proti 51 %. Výsledky měření tepelného odporu při simulaci chůze 2,5 km/h a rychlosti vzduchu 0,1 m/s byly 78 % proti 80 %, a 1 m/s 66 % proti 66 %, 2,5 m/s 50 % proti 52 %. Porovnáním oděvního systému vysoce prodyšného a méně prodyšného se tepelný odpor mění v průměru o 2 %. Vezmeme-li v úvahu odchylky měření, nebyly tyto rozdíly statisticky významné.

Při nulové rychlosti chůze nebyly pozorovány velké rozdíly, v důsledku snížení primárního větrání mezní vrstvou. Při dalších dvou rychlostech chůze se stacionární vzduchová vrstva mezi jednotlivými vrstvami oděvu naruší, tím dochází k výměně vzduchu s okolím. Tyto tepelné ztráty minimalizuje zapnutí oděvu a uzavření všech otvorů. V případě oděvního systému s vysokou prodyšností se tepelný odpor snižuje stejně jako u oděvního systému s menší prodyšností.

Při režimu semi-active byly rozepnuty třetí vrstvy oděvních systémů, rozdíl prodyšností mezi nimi je 8,90 proti 88,01  $\text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . Nejvíce se projevoval při simulaci chůze 1 a 2,5 km/h. Zdá se, že při rychlosti větru 0,1 m/s nebyla vysoce prodyšná druhá vrstva profouknuta. Z výsledků vyplývá, že tepelný odpor druhé oděvní vrstvy byl úměrný velikosti její prodyšnosti [9].

V režimu active bylo zjištěno, že vysoce prodyšná první vrstva reaguje na proud vzduchu více citlivě než méně prodyšná první vrstva. Při zvyšující se rychlosti větru se rozdíl hodnot tepelného odporu mezi méně a vysoce prodyšnou vrstvou snižoval až k nejnižšímu při 2,5 m/s [9].

Výsledky této studie demonstrují, že pokud byl oděv zapnut, není rozdíl mezi méně a vysoce prodyšnou první a druhou vrstvou. Vysoce prodyšná první a druhá vrstva by mohla kompenzovat ztráty v důsledku změny padnutí oděvu a zmenšovat tepelné ztráty konvekcí a radiací při vhodné konečné úpravě oděvu. Třetí vrstva oděvu musí být neprodyšná, ale ostatní vrstvy mohou být vysoce prodyšné, čímž umožní flexibilitu při výběru první a druhé oděvní vrstvy [9].

### ***6.3 Vliv rychlosti větru a otvorů oděvu pro hlavu, končetiny a trup na lokální rychlost ventilace a tepelnou izolaci oděvu***

Práce napsaná Ke a Havenith et. al. [10] zkoumá vliv vzduchu o rychlosti 0, 0,3 a 1,1 m/s a rozepnutí nebo zapnutí dolního okraje bundy, lemu průramku a límce na lokální tepelnou izolaci a na lokální rychlost ventilace oděvu. Lokální tepelná izolace a rychlost ventilace oděvu byla měřena na třech místech pravá/levá paže, hrudník, záda. Porovnávalo bylo devět pracovních bund se stejnou konstrukcí, ale rozlišnou velikostí a prodyšností oděvu. Rychlost ventilace oděvu byla měřena na bázi metody LH steady-state systém, při měření tepelné izolace byl využit tepelný manekýn. Cílem studie bylo navrhnout optimálně řešené otvory oděvu (dolního okraje bundy, lemu průramku a límce) a hodnocení tepelné izolace pro oděvní návrháře a konečné zákazníky.

Materiály použité při testování se skládaly ze třech bavlněných tkanin v keprové vazbě s různou prodyšností, rozdělenou na PM prodyšnou, PS polo-prodyšnou a IM neprodyšnou tkaninou. Tkaniny byly upraveny bělením. Na tkaninu Polo- prodyšnou a neprodyšnou byl nanesen tenký zátěr. Velikostní sortiment pracovních bund se sestával ze třech velikostí 170, 175, 180 charakterizující výšku v centimetrech [10].



Z výsledků studie vyplývá, že lokální tepelná izolace byla snížena vlivem rychlosti větru. Nejvyšší lokální tepelná izolace byla naměřena pro velikost bundy 170, menší při velikosti 180 a nejmenší pro velikost 175 s výjimkou oděvů neprodyšných. Pro naměřené hodnoty při rychlosti vzduchu 0,3 m/s byla nejvyšší lokální tepelná izolace zjištěna u velikostí 170 a 175 neprodyšných bund následované bundami prodyšnými. Nejmenší lokální tepelná izolace byla naměřena pro velikost 180 neprodyšné bundy. Pro rychlost vzduchu 1,1 m/s vykazovala největší lokální tepelnou izolaci prodyšná bunda, následovaná polo- prodyšnou a neprodyšnou bundou. Pozitivní korelaci mezi sebou vykazovaly vlastnosti velikost a prodyšnost. To potvrzuje, že při výběru bundy nerozhoduje pouze její velikost, ale i prodyšnost materiálu a to hlavně u bund s větší velikostí [10].

Vliv zapnutých nebo rozepnutých oděvních otvorů (dolní okraj bundy, lem průramku a límec) na lokální tepelnou izolaci. V případě prodyšných bund tepelná izolace prvé paže klesla, pokud byl lem průramku zapnut. V případě, že byly zapnuty i lem dolního okraje a límec tepelná izolace vzrostla. U polo- prodyšných bund se zapnutými oděvními otvory tepelná izolace vzrostla. Důvodem zvýšení tepelné izolace může být snížený průtok vzduchu následkem uzavření oděvních otvorů. Pro neprodyšné bundy byl celkový výsledek stanovit obtížnější, protože velikost oděvu ovlivnila lokální tepelný odpor více než u ostatních prodyšností. Tepelná izolace měřená na pravé paži u poloviny vzorků klesla, u poloviny vzrostla. Měřeno na hrudi tepelná izolace prodyšné a polo- prodyšné klesla, v případě neprodyšné byla stejná nebo klesla [10].

Uzavření oděvních otvorů, ovlivňuje lokální tepelnou izolaci, která byla také ovlivněna prodyšností a velikostí oděvu. V práci byl vypočítán průměr lokální tepelné izolace různých velikostí oděvu. Z výsledků vyplývá, že velikost s největší lokální tepelnou izolací byla 180 [10].

Čelní nárazy větru mohou změnit lokální mikroklima oděvu (hlavně na hrudi) a mechanismus lokálního větrání oděvu. Při výběru pracovní bundy by měl být kladen důraz na vlastnosti oděvu, převážně pak na prodyšnost a splývavost. Velikost oděvu není určující vzhledem k lokální tepelné izolaci. Nicméně povětrnostní podmínky na pracovišti by měly být zohledněny při výběru oděvu [10].

#### 6.4 Popis přestupu tepla a hmoty skrz model tvořený jednovrstvým textilním systémem.

##### Část druhá: tepelný a výparný odpor.

V první části studie byl vymyšlen model počítající tepelný a výparný odpor. V této studii napsané Ding et al [11] bude sledován vliv vlastností materiálu a vzduchové mezery na vypočítaný tepelný a výparný odpor. Vzduchová mezera přispívá ke zlepšení tepelného a výparného odporu. Proto bude důležité zjištění optimální tloušťky vzduchové mezery. Práce poskytuje základ pro optimalizaci textilních vlastností za účelem zlepšení funkcí oděvu. Model napodobuje přenos tepla a hmoty skrz systém složený z lidské kůže, vzduchové mezery, jedné vrstvy textilie, který reaguje na měnící se vnější podmínky teploty vzduchu, vlhkosti, rychlosti vzduchu. Cílem bylo uplatnit výsledky získané ze studie k navržení vysoce funkčního oděvního systému.

Parametry textilie k výpočtu tepelného a výparného odporu [11]:

Teplota okolí, [°C] - (-50°C – 100°C)- suché prostředí, (0°C - 100°C)- mokré prostředí

Rychlost vzduchu okolí, [m/s] - (1 m/s - 30 m/s )

Relativní vlhkost okolí, [100%] - (0%- 100%)

Tloušťka vzduchové mezery mezi textilií a pokožkou, [mm] - (0,001 mm- 30 mm)

Tloušťka textilie, [mm] - (0,001 mm - 6 mm)

Tepelná vodivost vlákna, [W/m.K] - (0,01 W/m.K - 1 W/m.K)

Porozita textilie, [-] - (0,1- 0,99)

Emisivita textilie, [-] - (0,1- 0,99)

Vodivost povrchu textilie, [m<sup>2</sup>/s] - (10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s - 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s)

Ve studii bylo počítáno s nucenou konvekcí, kde mezní vrstva vzduchu vede teplo, kterou může zvýšit vzrůstající rychlost vzduchu, zvláště pokud by se změnilo laminární proudění na turbulentní. Při závislosti tepelného odporu na rychlosti vzduchu, pro textilie se vzduchovou mezerou 6 mm,  $R_{tc}$  klesá nejvýznamněji při rychlosti vzduchu 5 m/s, pokles nastane už při 1 m/s. Při 26,5 m/s nastane zlom a proudění přechází do turbulentního přes povrch textilie. Celkově se tepelný odpor změnil zvýšením rychlosti vzduchu z 1 m/s na 30 m/s o 7, 73 %. Snížení nastává v důsledku ochlazení lidské kůže, což bylo potvrzeno experimentálně v jiných studiích [11].

Působením změny rychlosti vzduchu současně se změnou teploty na textiliích s různou tloušťkou vzduchové vrstvy, obecně platí: se vzrůstající vzduchovou vrstvou se tepelná izolace zlepšuje. Avšak při nízkých teplotách např. teplota  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  oděvní systém se vzduchovou vrstvou o tloušťce 12 mm vykazuje horší tepelnou izolaci než při tloušťce 6 mm, pokud rychlost vzduchu převyšuje 6 m/s [11].

Výparný odpor využívá k výpočtu stejné parametry jako tepelný. Vliv rychlosti vzduchu na výparný odpor při různé tloušťce vzduchové vrstvy. Obecně platí, s rostoucí rychlostí vzduchu klesá výparný odpor pro všechny tloušťky vzduchové vrstvy. K relativně velkému poklesu došlo mezi rychlostmi vzduchu 0 až 5 m/s [11].

Výsledky shrnující celou studii uvádí že, tloušťka vzduchové vrstvy výrazně ovlivňuje tepelný a výparný odpor. Zvyšující se vzduchová vrstva může vést k rychlému nárůstu tepelného a výparného odporu. Tento účinek omezuje přirozená konvekce, která nastává v případě překročení kritické tloušťky vzduchové vrstvy a pokud teplota okolního prostředí byla nižší než teplota lidské kůže [11].

Vodivost povrchu textilie projevila vliv na výparný odpor, se zvyšující se vodivostí povrchu byl výparný odpor snížen o 20 %. Tato data nebyla experimentálně podložena.

Při zvyšující se rychlosti vzduchu platí, že v podmínkách laminárního proudění výparný a tepelný odpor rychle klesá do rychlosti vzduchu 5 m/s. Přechodem k turbulentnímu proudění, zapříčiněného vyšší rychlostí vzduchu, pokles hodnot pokračuje [11].

V závislosti na podmínkách okolního prostředí by měla být věnována pozornost oděvním vlastnostem. Při studeném počasí budou výhodné vlastnosti větší tloušťka vzduchové vrstvy než textilie, nízká vodivost vláken, vysoká porozita a nízká emise textilie. Nicméně tloušťka vzduchové vrstvy nesmí překročit kritickou hodnotu uvedenou v práci. K oděvnímu komfortu přispívá funkce textilie odvádět pot, vhodná vlastnost podporující tuto funkci byla shledána vysoká porozita, která poskytuje vysokou tepelnou odolnost a schopnost rozptýlit vlhkost [11].

### **6.5 Zjednodušený model pro přestup tepla prodyšnou textilií za použití pohyblivého válce**

Studie byla napsána Ghali [12] experimentálně zkoumá platnost zjednodušených modelů přenosu tepla dle Ghaddar a Lotens. Ghaddar studoval účinek ventilace vyvolané houpavými pohyby při rovnoměrné rychlosti větru. Model vychází z transportu tepla a vlhkosti člověka při pěší chůzi. Lidská chůze se vyznačuje periodickým chováním spojeným s ventilací při opakování stejných pohybů. Ghaddar vytvořil jednoduchý model, který vychází z pohybu člověka při chůzi, vzduchové mezery oblečeného člověka (přiléhavé nebo volné oblečení), prodyšnosti, rychlosti chůze (počet kroků za min.), rychlosti vzduchu vnějšího prostředí. Lotens model byl empiricky odvozen z rychlosti ventilace skrz oděvní otvory jako funkce prodyšnosti textilie a rychlosti vzduchu vnějšího prostředí [12].

Experiment probíhal za řízených podmínek v klimatické komoře při teplotě vzduchu 25°C, relativní vlhkosti 50 %, rychlosti proudění vzduchu menší než 0,05 m/s, nízkých otáčkách v aerodynamickém tunelu s rychlostí vzduchu mezi 2 a 4 m/s a frekvenci pohybu válce mezi 40 a 80 rpm [12].

Válec použitý v experimentu byl sestaven z vnějšího a vnitřního válce na jedné straně otevřený. Vnitřní válec simuluje lidskou končetinu. Na válci byla umístěna testovaná textilie ze 100 % bavlněného materiálu, neupravovaná o tloušťce 1 mm a prodyšnosti 0,05 m<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup> [12].

Výsledky práce uvádí tepelnou ztrátu v suchém prostředí, za frekvence houpání 40, 60, 80 rpm ve dvou režimech otevřený a uzavřený. Chyba přístroje při otevřeném režimu činila 14 %, při uzavřeném 8 %. Tepelná ztráta při frekvenci pohybu 80 rpm a uzavřeném režimu vzrostla o 72,5 % při rychlosti vzduchu 0 m/s, 236 %- 2 m/s, 261,2- 4m/s, srovnáním při měření přístroje v klidném stavu bez simulace větru. Pokud byla frekvence pohybu 40 rpm tepelná ztráta se zvýšila v porovnání s měřením v klidovém stavu bez simulace větru o 37,5 %- 0 m/s, 206 %- 2 m/s, 232 %- 4 m/s. V klidovém stavu přístroje se tepelná ztráta zvýšila o 80 %- 2 m/s, 203 %- 4 m/s srovnáním s měřením bez simulace větru. Porovnáním uzavřeného a otevřeného režimu byla tepelná ztráta při otevřeném režimu vyšší a to mezi 11 a 13 % v závislosti na frekvenci pohybu při nulové rychlosti vzduchu a 21 a 23 % při 4 m/s [12].

Měřicí zařízení lze také použít ve vlhkém prostředí, podmínky měření zůstávají stejné jako u prostředí suchého. Testováním ve vlhkém prostředí byly tepelné ztráty 2,5 při nulové rychlosti vzduchu a vzrostly na 2,9 při rychlosti 4 m/s. Rozdíl mezi otevřeným a uzavřeným režimem se pohyboval v rozmezí 20 a 40 % [12].

Testovací zařízení bylo shledáno jako vhodné k měření tepelných ztrát v důsledku zvyšující se rychlosti větru. Tepelné ztráty zapříčiněné zvyšující se rychlostí vzduchu a frekvencí pohybu byly dvakrát až třikrát větší ve srovnání s klidovým stavem [12].

## 7 Multifunkční textilie

Textilie charakterizována více funkcemi, kterými jsou voděodolnost, paropropustnost, tepelná izolace, větru odolnost, používaná hlavně k výrobě vnější vrstvy sportovního oblečení. Materiály používané k těmto účelům jsou membránové a zátěrové materiály [1].

### 7.1 Zátěry

Materiály na bázi polyuretanu, akrylu nebo polyvinylchloridu. Aplikace spočívá v nanesení přímo na vhodnou textilií (tzv. trvalá impregnace). Zátěry se vyznačují větší tloušťkou než membrány a horší prodyšností, lze je dělit na prodyšné a neprodyšné. Prodyšné zátěry se dále dělí na hydrofobní, hydrofilní, mikroporézní [13].

Hydrofobní jsou vyráběné pomocí nánosu na bázi polysiloxanů, vyznačují se univerzálním použitím na všechny typy vláken a příjemným silikonovým omakem. Hydrofóbnost zajišťuje orientace methylových skupin v chemickém řetězci [13].

Hydrofilní zátěry na bázi modifikovaného polyuretanu, polyvinilalkoholu nebo polyoxidu umožňující difuzi vodní páry skrz amorfní oblasti. Komponenty hydrofilní a hydrofobní musí být v rovnováze, z důvodu zajištění dostatečné propustnosti pro vodní páry [13].

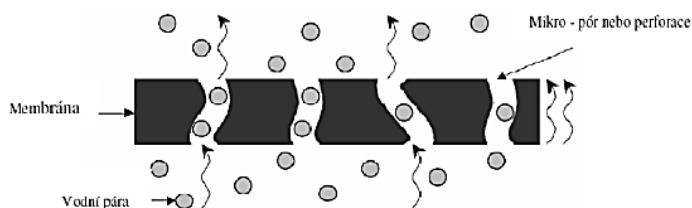
Mikroporézní zhotovené pomocí polyuretanové pěny nebo aminokyselinových polymeru, která je nanášena přímo na textilií o tloušťce 25- 50  $\mu\text{m}$ . Při nanášení je uvolňován oxid uhličitý, který vytváří pórovitou strukturu pěny s póry o velikosti 0,2- 0,3  $\mu\text{m}$ . Takto velké póry propouštějí vodní páru, ale nepropouští tekutou vodu [13].

Neprodyšné zátěry kompaktní povrstvení pružným pevným filmem, většinou vyráběné pro technické účely. V oděvnictví především využity jako kolení chrániče a loketní [13].

## 7.2 Membrány

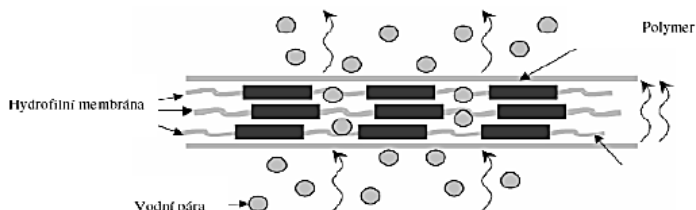
Membrány na rozdíl od zátěru se nenanášejí na textilii, ale je vytvářen velmi tenký film (fólie) polymerního materiálu, který je odolný proti pronikání tekuté vody, avšak propouští vodní páru. Lze je rozdělit na mikroporézní a neporézní membránu.

Mikroporézní membrána vyvinutá firmou Gore-tex, obsahuje póry, které jsou 20 000 krát menší než kapka vody a přitom 700 krát větší než molekula páry. Zatímco kapka vody nemůže membránou proniknout, vodní pára proniká snadno. Tím je zajištěna paropropustnost, chaotickým rozmístěním pórů vyobrazených na obrázku 2 s lomenými drahami, z důvodu větru odolnosti [13].



Obrázek 2- Princip funkce mikroporézní membrány [13].

Neporézní membrána odvádí vlhkost za pomoci chemicko- fyzikálních principů ukázaných na obrázku 3. Kondenzovaná voda ulpívající na membráně je rozváděna do vlastního materiálu, chemicky je voda vstřebána do materiálu a dále transportována na povrch [13].



Obrázek 3- Princip funkce neporézní membrány [13].

### 7.3 Typy membrán dle konstrukce

Membrána je tenký film asi okolo 10  $\mu\text{m}$ , musí tedy být vhodně včleněna do oděvního systému, aby nedošlo k poškození, proto se laminuje na vhodný materiál. Druhy konstrukce membrán jsou čtyři, dvouvrstvý laminát, dvou a půl vrstvý, třívrstvý laminát a z-liner zobrazeny na obrázku 4.

Z-liner materiál není laminát, jelikož je membrána volně vložena mezi vrchový díl a podšívku. Vhodný pro městské použití oděvu, dobrá splývavost, vyšší prodyšnost, příjemný omak.

Dvouvrstvý laminát je membrána laminovaná zpravidla na vrchový materiál a volně překrytá podšívkou.

Dvou a půl vrstvý laminát je odlehčená verze třívrstvého laminátu. Membrána je laminována na vrchový materiál a z druhé strany je chráněna nánosem, který supluje podšívku.

Třívrstvý laminát membrána laminovaná na vrchový materiál i podšívku. Nejedolnější typ membrány, s větší tuhostí než u dvouvrstvého laminátu [13].



Obrázek 4- Z-liner

Dvouvrstvý laminát

Třívrstvý laminát [13]

## *Experimentální část*

### **8 Popis experimentu**

Experimentální část byla zaměřena na stanovení termofyzikálních vlastností svrchních materiálů, používaných pro sportovní účely. Zjišťována byla relativní paropropustnost, výparný odpor, tepelný odpor při dvou rychlostech proudění vzduchu 1 m/s a 2 m/s. Standardně se měření provádí při rychlosti 1 m/s, odpovídající normě ČSN EN 31092. Sledována byla závislost na dvou rychlostech vzduchu a geometrických vlastnostech vzorků.

Měření probíhalo na přístroji PERMETEST, který byl popsán výše. Při stanovených podmínkách vlhkosti 20,3 % a teploty 35°C vzduchu. Vzorky byly klimatizovány po 24 hod před začátkem měření. Pro vyhodnocení výparného odporu se udávají hodnoty [2]:

Ret	< 6	- velmi dobrá
Ret	6 - 13	- dobrá
Ret	13 - 20	- uspokojivá
Ret	> 20	- neuspokojivá

Testovaný soubor vzorků byl dodán firmou Sunshinetex sídlící v Číně. Společnost se zabývá výrobou funkčních textilií, používaných jako pracovní, volnočasové a sportovní oděvy. Pro experiment byly použity membránové a zátěrové materiály. Membrána byla laminována na tkaninu a pleteninu. Zátěrový materiál byl nanesen na tkaninu. Testované vzorky lze rozdělit do tří skupin:

- Tkaniny s membránou
- Pleteniny s membránou
- Tkaniny se zátěrem

Každý ze vzorků prošel třemi měřeními a z výsledků byl stanoven aritmetický průměr, směrodatná odchylka (dále jen směr. odch.), 95% interval spolehlivosti dolní a horní mez, procentuální rozdíl mezi rychlostí vzduchu 1 a 2 m/s. Výsledky testovaných parametrů se základní statistikou jsou uvedeny v tabulkách a grafech.



## 9 Popis vzorků tkanin s membránou

### VZOREK- 210D

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v plátnové vazbě, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 149,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,21 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 340 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 230 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

### VZOREK- 500D

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v plátnové vazbě, rubní str. PU membrána

**plošná hmotnost:** 247,7 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,31 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 220 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 180 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

### VZOREK- 75D

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina tvořená kombinací plátnové a keprové vazby, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 82,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,13 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 430 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 350 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 20D

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, tkanina ripstop v plátňové vazbě, rubní str. potištěná membrána

**plošná hmotnost:** 73,6 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,13 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 570 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 450 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 300T

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, tkanina tvořená kombinací keprové a plátňové vazby, rubní str. TPU membrána potištěná

**plošná hmotnost:** 92,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,14 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 480 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 380 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 260T

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v keprové vazbě K 2/2 Z, rubní str. PU membrána

**plošná hmotnost:** 92,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,27 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 480 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 340 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 150D

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v keprové vazbě K 2/2 S, rubní str. TPU

**plošná hmotnost:** 228,1 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,27 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 300 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 230 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2L- 1698

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v keprové vazbě K 1/2 Z, rubní str. membrána

**plošná hmotnost:** 242,6 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,42 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 320 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 250 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H3L- 1695

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v keprové vazbě K 1/2 Z, rubní str. membrána

**plošná hmotnost:** 245,3 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,43 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 320 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 25 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2I- 0502

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina v odvozené atlasové vazbě, rubní str. PU membrána

**plošná hmotnost:** 128, 2 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,24 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 630 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 350 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 15D

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, tkanina ripstop v plátnové vazbě, rubní str. potištěná membrána

**plošná hmotnost:** 43,6 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,05 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 480 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 420 nití/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2.5L- 3689

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, tkanina ripstop v plátnové vazbě, rubní str. potištěná membrána

**plošná hmotnost:** 64,1 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,09 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 450 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 370 nití/10 cm

**konečná úprava:** krepová

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 338T

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvouvrstvý laminát, tkanina ripstop v plátnové vazbě, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 83,3 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,09 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 400 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 390 nití/10 cm

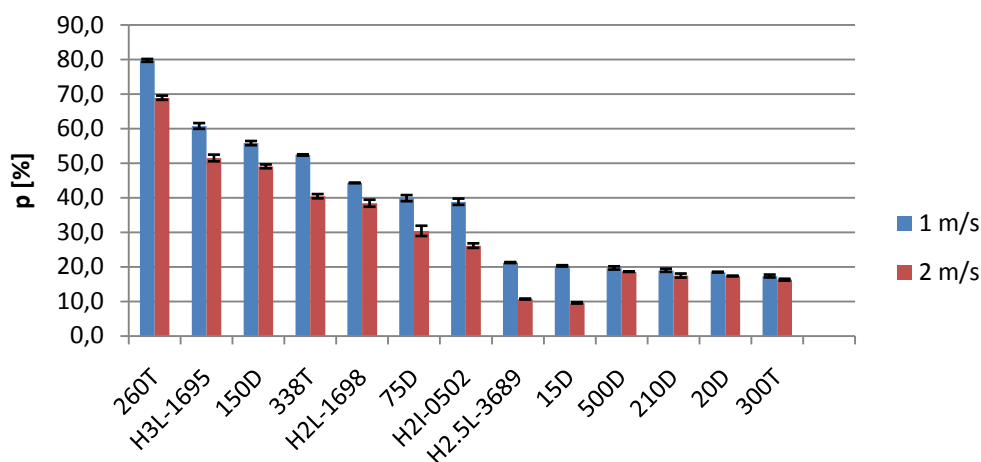
**použití:** sportovní oděvy

## 10 Výsledky testování tkanin s membránou

### 10.1 Relativní paropropustnost

Relativní paropropustnost byla měřena při dvou rychlostech proudění vzduchu. Výsledky měření zobrazené na obrázku 5 vykazují jednotný trend u všech vzorků. Při zvýšení rychlosti vzduchu na 2 m/s se relativní paropropustnost snižuje. Snížení není stejné pro všechny vzorky, průměrně se pohybuje okolo 20 %. Největší rozdíl mezi rychlostmi vzduchu je 53 % u vzorku 15 D a nejmenší 6 % pro vzorek 500D.

## Relativní paropropustnost tkanin s membránou



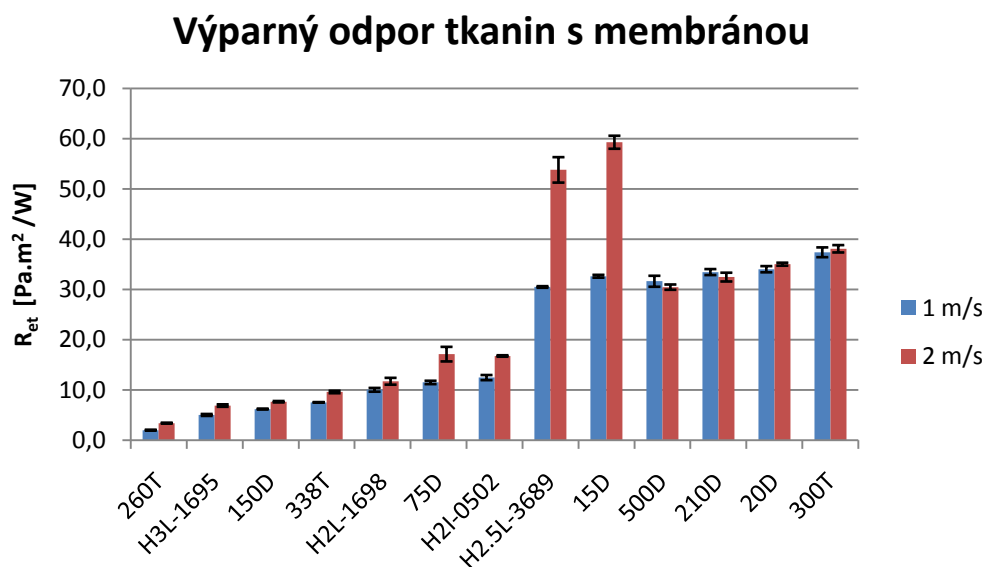
Obrázek 5- Relativní paropropustnost tkanin s membránou

Tab. 1 Relativní paropropustnost tkanin s membránou

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	Průměr	Směr. odch.	IS 95%		Průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
210D	19	0,408	18,5	19,5	17,5	0,519	16,9	18,1	8
500D	19,7	0,419	19,2	20,1	18,6	0,047	18,5	18,6	6
75D	39,9	0,785	39	40,8	30,4	1,314	28,9	31,9	24
20D	18,5	0,094	18,4	18,6	17,3	0,094	17,2	17,4	6
300T	17,3	0,368	16,9	17,7	16,3	0,249	16	16,5	6
260T	79,7	0,368	79,3	80,1	68,9	0,544	68,3	69,5	14
150D	55,8	0,535	55,2	56,4	49,1	0,492	48,5	49,6	12
H2L-1698	44,3	0,047	44,2	44,3	38,4	0,898	37,4	39,4	13
H3L-1695	60,8	0,732	59,9	61,6	51,5	0,852	50,5	52,5	15
H2I-0502	38,8	0,806	37,9	39,7	26,1	0,579	25,5	26,8	33
15D	20,3	0,170	20,1	20,5	9,6	0,170	9,4	9,8	53
H2.5L-3689	21,2	0,125	21,1	21,4	10,7	0,125	10,5	10,8	50
338T	52,4	0,170	52,2	52,6	40,4	0,544	39,8	41	23

## 10.2 Výparný odpor

Výsledky měření výparného odporu jsou zobrazeny na obrázku 6. Ukazují dobré hodnoty  $R_{et}$  při rychlosti vzduchu 1 m/s zhruba pro polovinu vzorků. Nejlepší naměřené hodnoty prokazují dvouvrstvé lamináty v keprové vazbě. Po změně rychlosti vzduchu na 2 m/s se výparný odpor zvyšuje. Výrazný rozdíl okolo 80 % zaznamenaly vzorky 15D, H2.5L-3689. Oba vzorky jsou totožné, co se týče materiálového složení, typu membrány, vazby. Mírné snížení výparného odporu kolem 4 % po zvýšení rychlosti vzduchu zaznamenaly vzorky 210D, 500D.



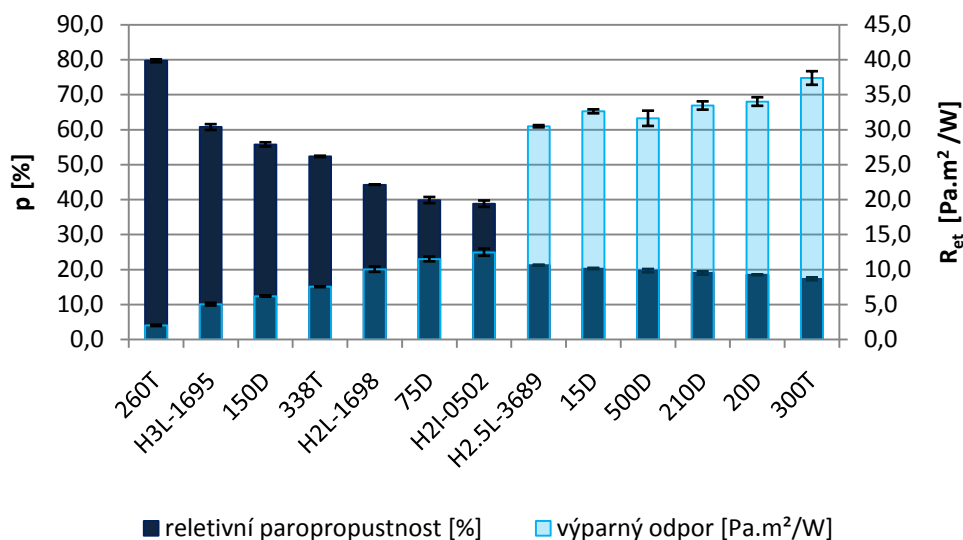
Obrázek 6- Výparný odpor tkanin s membránou

Tab. 2 Výparný odpor tkanin s membránou

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	95% IS		průměr	Směr. odch.	95% IS		
			DM	HM			DM	HM	
210D	33,5	0,525	32,9	34,1	32,5	0,772	31,7	33,3	3
500D	31,6	0,967	30,5	32,7	30,5	0,464	30	31	4
75D	11,5	0,294	11,2	11,8	17,1	1,281	15,9	18,6	45
20D	34	0,544	33,4	34,6	35	0,262	34,8	35,3	3
300T	37,4	0,860	36,4	38,4	38,1	0,648	37,5	38,8	2
260T	2	0,082	1,9	2,1	3,4	0,082	3,3	3,5	70
150D	6,2	0,082	6,1	6,3	7,7	0,125	7,5	7,8	24
H2L-1698	10	0,330	9,7	10,4	11,7	0,602	11,1	12,4	17
H3L-1695	5	0,170	4,8	5,2	6,9	0,216	6,7	7,1	37
H2I-0502	12,5	0,450	12	13	16,8	0,125	16,6	16,9	35
15D	32,6	0,249	32,4	32,9	59,3	1,143	58,2	60,6	82
H2.5L-3689	30,5	0,141	30,3	30,7	53,8	2,238	51,6	56,3	76
338T	7,5	0,047	7,5	7,6	9,6	0,216	9,4	9,8	27

Relativní paropropustnost a výparný odpor jsou parametry opačné, jak je popsáno výše. Tato vlastnost je deklarována výrobcem. Z výsledků relativní paropropustnosti a výparného odporu měřených na tkaninách se zátěrem je tato vlastnost experimentálně potvrzena. Obrázek 7 zobrazuje příslušné data.

### Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu tkanin s membránou



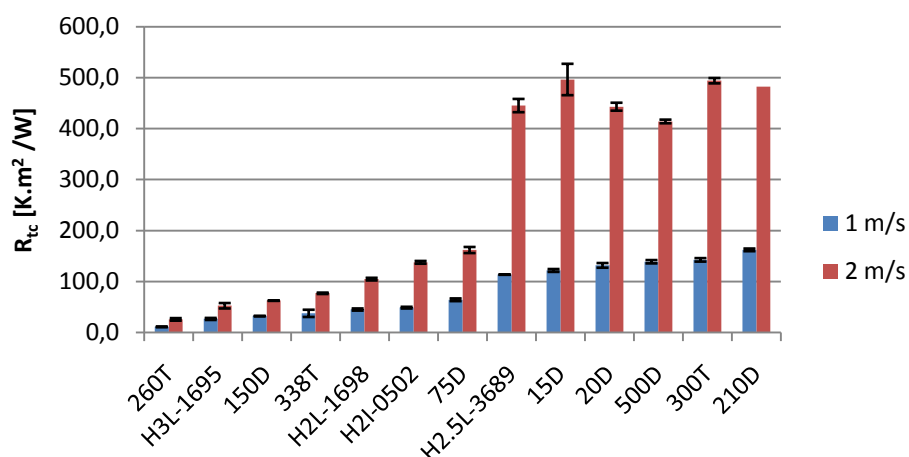
Obrázek 7- Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu tkanina s membránou

### 10.3 Tepelný odpor

Tepelný odpor naměřený pro dvě rychlosti vzduchu popisuje obrázek 8. Při zvýšení rychlosti na 2 m/s hodnota tepelného odporu vzrostla. Dobrý tepelný odpor při rychlosti vzduchu 1 m/s vykazují vzorky 210D, 500D, 20D, 300T, 15D, H2.5L- 3689. Nárůst při změně rychlosti vzduchu je u těchto vzorků značný až 300 %.



## Tepelný odpor tkaniny s membránou



Obrázek 8- Tepelný odpor tkanin s membránou

Tab. 3 Tepelný odpor tkanin s membránou

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	IS 95%		průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
210D	162,3	2,29	159,7	164,9	482,6	3,41	478,7	486,4	197
500D	139	2,86	135,8	142,2	414,3	3,14	410,8	417,9	198
75D	64,3	2,33	61,7	67	162	5,27	156	168	152
20D	131,9	4,04	127,3	136,4	443,2	6,90	435,4	451	236
300T	142,7	2,99	139,3	146,1	494,3	4,63	489	499,5	247
260T	11,2	0,62	10,5	11,9	25,9	2,18	23,4	28,3	132
150D	32,4	0,37	32	32,8	62,5	0,29	62,2	62,9	93
H2L-1698	45,2	1,85	43,1	47,3	104,8	2,28	102,3	107,4	132
H3L-1695	26,7	1,76	24,7	28,7	52,6	4,68	47,3	57,9	97
H2I-0502	48,9	1,45	47,3	50,5	137,8	2,40	135,1	140,6	182
15D	121,9	2,46	119,1	124,6	496,6	27,21	465,9	527,4	308
H2.5L-3689	113,7	0,26	113,4	114	445,5	11,51	432,4	458,5	292
338T	37,7	6,29	30,6	44,8	77	1,18	75,7	78,4	104

## 11 Popis vzorků pletenin s membránou

### VZOREK- 40G

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 97,5 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,17 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 280 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 450 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

### VZOREK- H2L- 1349

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. membrána

**plošná hmotnost:** 86,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,28 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 210 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 500 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

### VZOREK- H2L- 1259

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 130 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,21 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 280 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 490 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

### VZOREK- 30D

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 87,7 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,25 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 250 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 480 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 20 D

**složení:** 100% polyester

**druh:** dva a půl vrstvý laminát, zátažná pletenina oboulícni hladká, rubní str. potištěná membrána

**plošná hmotnost:** 94,7 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,25 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 240 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 460 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 30D1

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, zátažná pletenina oboulícni hladká, rubní str. membrána

**plošná hmotnost:** 92,8 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,27 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 240 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 440 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2L- 1942

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina oboulícni hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 99 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,18 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 280 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 470 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2.5L- 3677

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, zátažná pletenina oboulícni hladká, rubní str. potištěná membrána

**plošná hmotnost:** 101,6 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,26 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 320 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 460 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 30D40G

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 69,4 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,19 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 280 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 450 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 30D40G1

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 97,3 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,19 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 280 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 450 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- 30D40G2

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. TPU membrána

**plošná hmotnost:** 95,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,19 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 280 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 500 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2L- 1669

**složení:** 100% polyamid

**druh:** dvouvrstvý laminát, zátažná pletenina obouliční hladká, rubní str. membrána

**plošná hmotnost:** 159,1 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,3 mm

**hustota:** H<sub>ř</sub> 250 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 410 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

VZOREK- H2.5L- 3685

**složení:** 100% polyester

**druh:** dvou a půl vrstvý laminát, zátažná pletenina oboustranně hladká, rubní str. potištěná membrána

**plošná hmotnost:** 89,3 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,27 mm

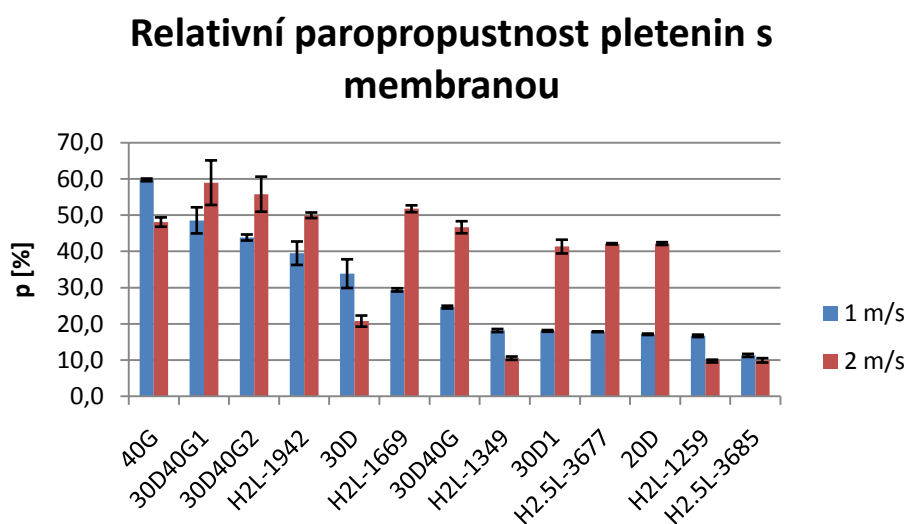
**hustota:** H<sub>ř</sub> 250 ř/10 cm, H<sub>s</sub> 440 sl/10 cm

**použití:** sportovní oděvy

## 12 Výsledky testování pletenin s membránou

### 12.1 Relativní paropropustnost

Naměřená byla relativní paropropustnost pletenin s membránou zobrazená na obrázku 9. Rozdíl mezi dvěma rychlostmi vzduchu nevykazuje snížení jako pro tkaniny s membránou. U většiny vzorků je trend zvyšující se relativní paropropustnosti při rychlosti vzduchu 2 m/s. Výjimku tvoří vzorky 40G, H2L- 1349, H2L-1259, 30D, u kterých paropropustnost klesla.



Obrázek 9- Relativní paropropustnost pletenin s membránou

Tab. 4 Relativní paropropustnost pletenin s membránou

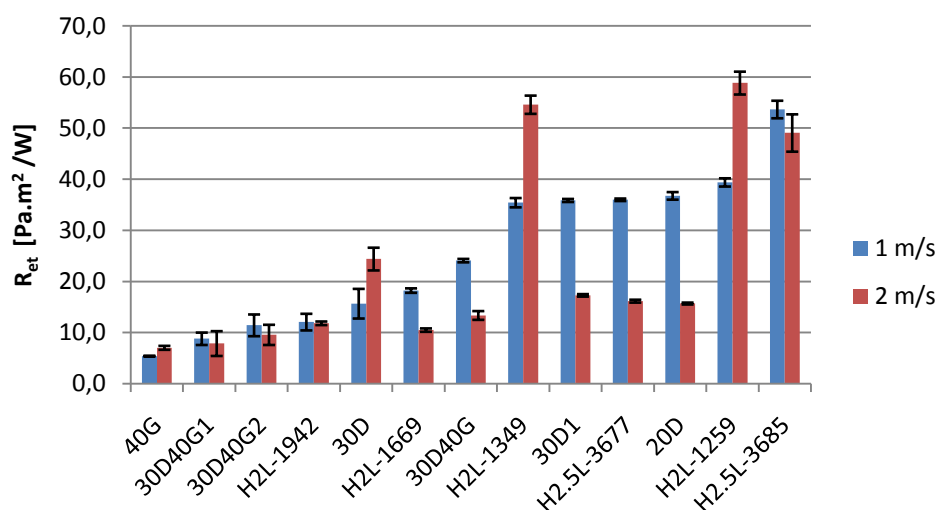
Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	IS 95%		průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
40G	59,7	0,330	59,4	60,1	48,1	1,143	46,8	49,4	20
H2L-1349	18,2	0,377	17,7	18,6	10,5	0,403	10,1	11	42
H2L-1259	16,7	0,294	16,4	17	9,7	0,340	9,3	10,1	42
30D	33,9	3,499	29,9	37,8	20,8	1,357	19,2	22,3	39
20D	17,1	0,170	16,9	17,3	42,2	0,340	41,8	42,6	146
30D1	18,1	0,205	17,8	18,3	41,3	1,678	39,4	43,2	129
H2L-1942	39,5	2,860	36,3	42,7	50	0,680	49,2	50,7	27
H2.5L-3677	17,8	0,094	17,7	17,9	42,1	0,163	41,9	42,3	136
30D40G	24,6	0,340	24,2	25	46,7	1,470	45	48,3	90
30D40G1	48,6	3,184	45	52,2	59	5,437	52,8	65,1	21
30D40G2	43,8	0,741	43	44,7	55,8	4,271	51	60,6	27
H2L-1669	29,4	0,386	28,9	29,8	51,8	0,834	50,8	52,7	76
H2.5L-3685	11,3	0,374	11,7	11,9	9,9	0,531	9,3	10,5	12

## 12.2 Výparný odpor

Z obrázku 10 lze vyčíst, že při rychlosti vzduchu 1 m/s je výparný odpor u poloviny vzorků vyhovující. Při změně rychlosti vzduchu se  $R_{et}$  zlepšuje u většiny vzorků, kromě čtyř. Zlepšení hodnoty  $R_{et}$  je nejvýraznější u vzorků 20D, 30D1, H2.5L- 3677 okolo 50 %. Všechny tři vzorky jsou opatřeny dvou a půl vrstvou membránou.

Vzorky 40G, H2L- 1349, H2L-1259, 30D vykazují zhoršení  $R_{et}$  při rychlosti vzduchu 2 m/s. Výrazně se zhoršily vzorky H2L- 1349, H2L-1259 okolo 50 %.

### Výparný odpor pletenin s membránou

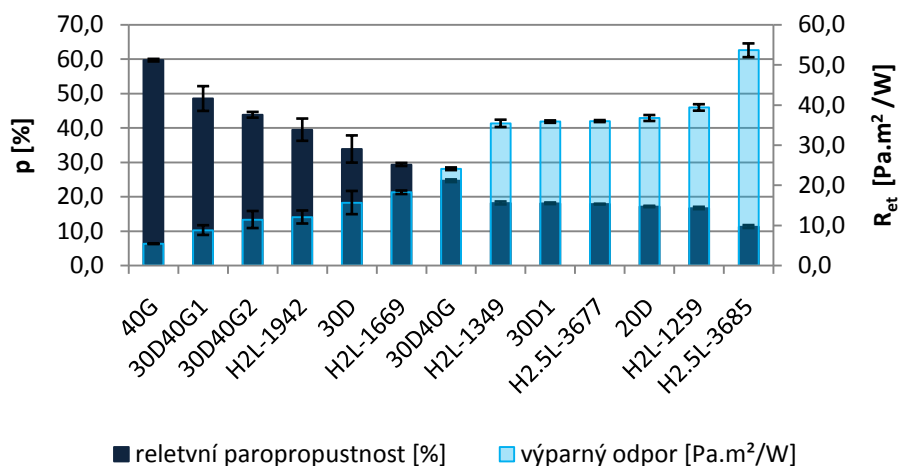


Obrázek 10- Výparný odpor pletenin s membránou

Tab. 5 Výparný odpor pletenin s membránou

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	IS 95%		průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
40G	5,4	0,082	5,3	5,5	7	0,340	6,6	7,4	30
H2L-1349	35,4	0,806	34,5	36,3	54,6	1,577	52,8	56,4	54
H2L-1259	39,4	0,712	38,6	40,2	58,8	1,975	56,6	61,1	49
30D	15,7	2,563	12,8	18,6	24,4	1,965	22,2	26,6	56
20D	36,8	0,655	36	37,5	15,7	0,163	15,5	15,9	57
30D1	35,9	0,262	35,6	36,2	17,3	0,216	17,1	17,5	52
H2L-1942	12,1	1,438	10,4	13,7	11,8	0,309	11,5	12,2	2
H2.5L-3677	36	0,216	35,8	36,2	16,2	0,249	15,9	16,4	55
30D40G	24,1	0,294	23,8	24,4	13,4	0,759	12,5	14,2	45
30D40G1	8,8	1,071	7,6	10	7,9	2,145	5,4	10,3	11
30D40G2	11,4	1,879	9,3	13,6	9,6	1,744	7,6	11,5	16
H2L-1669	18,2	0,386	17,8	18,7	10,5	0,294	10,2	10,8	42
H2.5L-3685	53,7	1,517	51,9	55,4	49,1	3,227	45,4	52,7	9

### Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu pletenin s membránou



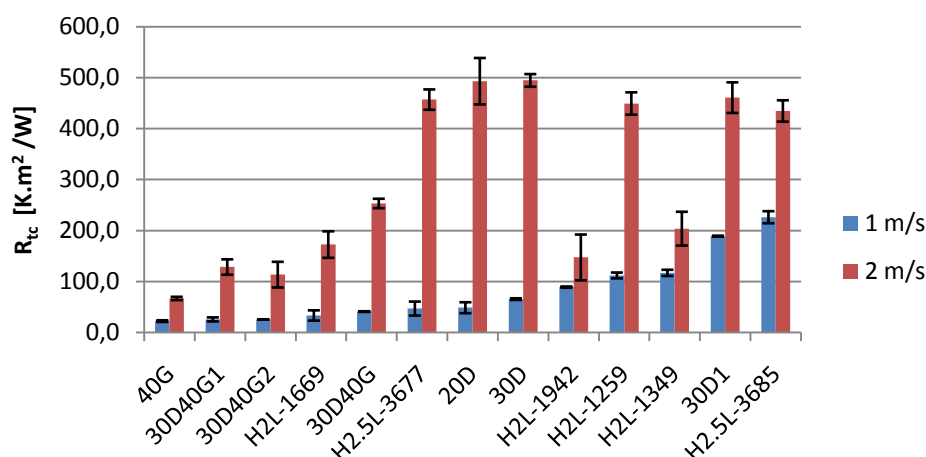
Obrázek 11- Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu pletenin s membránou

### 12.3 Tepelný odpor

Tepelný odpor pletenin s membránou je zobrazen na obrázku 12. Hodnota  $R_{et}$  při rychlosti vzduchu 2 m/s narůstá stejně jako pro tkaniny s membránou. Zvýšení je oproti tkaninám s membránou větší a průměrně se pohybuje okolo 380 %. Největší zvýšení zaznamenaly vzorky H2.5L- 3677, 20D okolo 900 %.



### Tepelný odpor pletenin s membránou



Obrázek 12- Tepelný odpor pletenin s membránou

Tab. 6 Tepelný odpor pletenin s membránou

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	IS 95%		průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
40G	22,5	1,44	20,9	24,1	66,9	2,88	63,7	70,2	198
H2L-1349	117,1	3,49	113,2	121,1	203,9	13,36	188,8	219	74
H2L-1259	112,1	0,22	111,9	112,3	449,5	22,28	424,3	474,7	301
30D	65,6	8,92	55,5	75,7	494,8	22,97	468,9	520,8	654
20D	48,8	0,54	48,2	49,4	493,3	8,18	484,1	502,6	912
30D1	189,2	12,12	175,5	202,9	461	17,64	441,1	481	144
H2L-1942	89,2	9,48	78,4	99,9	147,5	40,25	101,9	193	65
H2.5L-3677	47,1	1,44	45,4	48,7	457,2	10,96	444,8	469,6	871
30D40G	41,2	1,05	40	42,4	253,4	39,72	208,4	298,3	516
30D40G1	25,8	5,05	20,1	31,5	128,6	19,36	106,7	150,5	399
30D40G2	25,8	5,36	19,7	31,8	113,6	29,36	80,5	146,8	341
H2L-1669	33,5	0,83	32,6	34,5	172,7	26,53	142,7	202,7	415
H2.5L-3685	226,4	10,46	214,5	238,2	434,8	18,53	413,9	455,8	92,1

### 13 Popis vzorků tkanin se zátěrem

#### VZOREK- 300D

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. TPU zátěr

**plošná hmotnost:** 187,6 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,21 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 220 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 220 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

#### VZOREK- 300D1

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. prodyšný PU zátěr

**plošná hmotnost:** 193,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,27 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 220 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 220 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

#### VZOREK- 300D2

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. prodyšný PU zátěr

**plošná hmotnost:** 203,4 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,33 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 220 nití /10 cm, D<sub>u</sub> 220 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- H2L- 1389

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v keprové vazbě K 2/2 S, rubní str. zátěr

**plošná hmotnost:** 272,8 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,26 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 320 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 270 nití/10 cm

**konečná úprava:** antistatická

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- H2L- 1232

**složení:** 100% polyamid

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. prodyšný PU zátěr

**plošná hmotnost:** 140,5 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,15 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 250 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 200 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- 245T

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. prodyšný PU zátěr

**plošná hmotnost:** 145,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,14 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 430 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 350 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- H2L- 3274

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. PU zátěr

**plošná hmotnost:** 185,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,2 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 230 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 210 nití/10 cm

**konečná úprava:** potisk oxford

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- 270T

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. prodyšný zátěr

**plošná hmotnost:** 115,7 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,15 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 480 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 360 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- 150D

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. prodyšný zátěr

**plošná hmotnost:** 156 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,22 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 340 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 260 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- 150D\*300D

**složení:** 98% polyester, 2% uhlík

**druh:** tkanina v keprové vazbě K 2/2 S, rubní str. zátěr

**plošná hmotnost:** 252,4 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,25 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 400 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 230 nití/10 cm

**konečná úprava:** antistatická

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- P0F0002

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátňové vazbě, rubní str. zátěr

**plošná hmotnost:** 192,6 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,19 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 330 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 270 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- P0F0007

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátové vazbě, rubní str. zátěr

**plošná hmotnost:** 180,1 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,24 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 220 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 200 nití/10 cm

**použití:** pracovní oděvy

VZOREK- 300D3

**složení:** 100% polyester

**druh:** tkanina v plátové vazbě, rubní str. PU zátěr

**plošná hmotnost:** 185,9 g/m<sup>2</sup>

**tloušťka:** 0,2 mm

**dostava:** D<sub>o</sub> 220 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 200 nití/10 cm

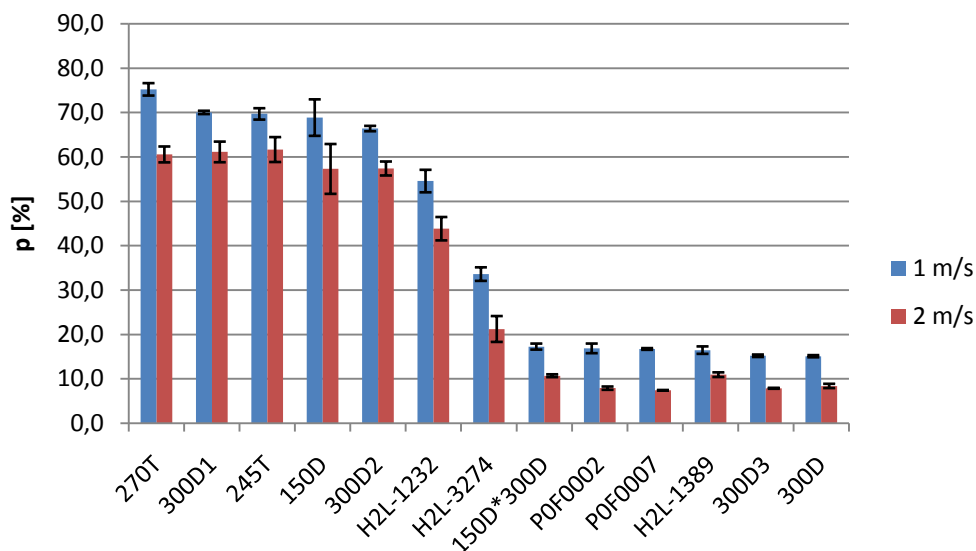
**použití:** pracovní oděvy

## 14 Výsledky testování tkanin se zátěrem

### 14.1 Relativní paropropustnost

Obrázek 13 ukazuje výsledky měření paropropustnosti tkanin se zátěrem při dvou rychlostech proudění vzduchu. Z obrázku je patrné, že zvýšením rychlosti vzduchu na 2 m/s se paropropustnost snižuje u všech vzorků. Tento trend je stejný jako u tkanin s membránou. Průměrně se snížení pohybuje okolo 30 %, největší snížení zaznamenaly vzorky 300D, P0F0002, P070007, 300D3.

### Relativní paropropustnost tkanin se zátěrem



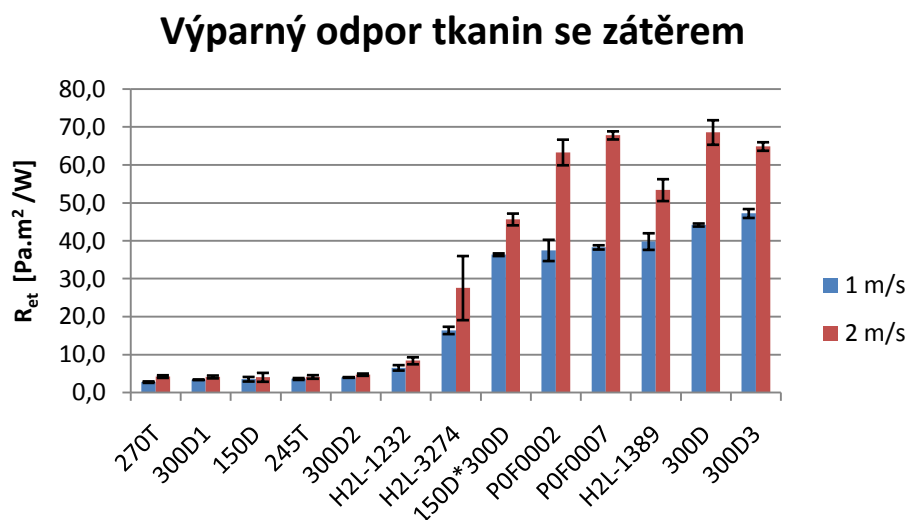
Obrázek 13- Relativní paropropustnost tkanin se zátěrem

Tab. 7 Relativní paropropustnost tkanin se zátěrem

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	IS 95%		průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
300D	15,1	0,216	14,9	15,3	8,4	0,424	7,9	8,9	44
300D1	70	0,330	69,7	70,4	61,1	2,055	58,8	63,5	13
300D2	66,4	0,535	65,8	67	57,4	1,393	55,8	59	14
H2L-1389	16,5	0,741	15,6	17,3	10,9	0,464	10,4	11,5	34
H2L-1232	54,6	2,243	52	57,1	43,8	2,327	41,2	46,5	20
245T	69,7	1,134	68,4	71	61,7	2,480	58,9	64,5	12
H2L-3274	33,6	1,349	32,1	35,1	21,2	2,575	18,3	24,1	37
270T	75,2	1,239	73,8	76,6	60,6	1,584	58,8	62,4	20
150D	68,9	3,633	64,8	73	57,3	4,962	51,7	62,9	17
150D*300D	17,3	0,602	16,6	17,9	10,7	0,283	10,4	11	38
POF0002	16,9	0,957	15,8	17,9	7,9	0,327	7,5	8,3	53
POF0007	16,7	0,170	16,5	16,9	7,4	0,047	7,4	7,5	56
300D3	15,2	0,245	14,9	15,5	7,9	0,094	7,8	8	48

## 14.2 Výparný odpor

Hodnoty výparného odporu tkanin se zátěrem zobrazené na obrázku 14, vykazují dobré výsledky u poloviny vzorků při standardní rychlosti proudění vzduchu. Vzorky s velmi dobrým výparným odporem 300D1, 300D2, H2L-1232, 245T, 270T, 150T jsou opatřeny prodyšným zátěrem. Po zvýšení rychlosti vzduchu se hodnota výparného odporu také zvýšila. Největší zvýšení při rychlosti vzduchu 2 m/s zaznamenaly vzorky s nevyhovujícím výparným odporem.

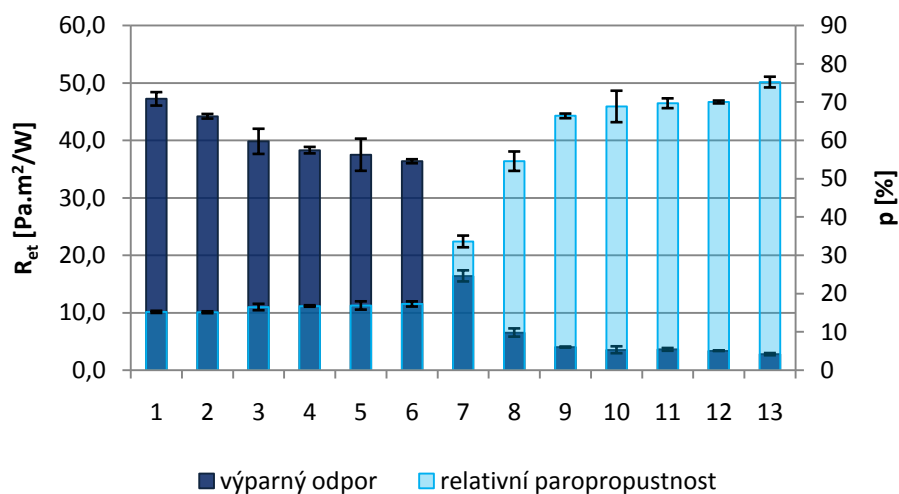


Obrázek 14- Výparný odpor tkanin se zátěrem

Tab. 8 Výparný odpor tkanin se zátěrem

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	95% IS		průměr	Směr. odch.	95% IS		
			DM	HM			DM	HM	
300D	44,2	0,356	43,8	44,6	68,6	2,858	65,4	71,8	55
300D1	3,4	0,047	3,3	3,4	4,1	0,330	3,8	4,5	23
300D2	4	0,082	3,9	4,1	4,7	0,262	4,4	5	18
H2L-1389	39,8	1,936	37,6	42	53,4	2,547	50,5	56,3	34
H2L-1232	6,5	0,634	5,8	7,3	8,4	0,816	7,5	9,3	29
245T	3,6	0,216	3,4	3,8	4,1	0,419	3,7	4,6	15
H2L-3274	16,4	0,852	15,4	17,4	27,6	7,472	19,1	36	68
270T	2,8	0,170	2,6	3	4,2	0,309	3,9	4,6	53
150D	3,5	0,531	2,9	4,1	4	1,034	2,9	5,2	14
150D*300D	36,4	0,309	36	36,7	45,7	1,370	44,1	47,2	26
POF0002	37,5	2,475	34,7-	40,3	63,3	2,983	60	66,7	69
POF0007	38,3	0,497	37,7	38,9	67,8	0,946	66,8	68,9	77
300D3	47,2	1,034	46,1	48,4	64,9	0,993	63,8	66	37

### Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu tkanin se zátěrem

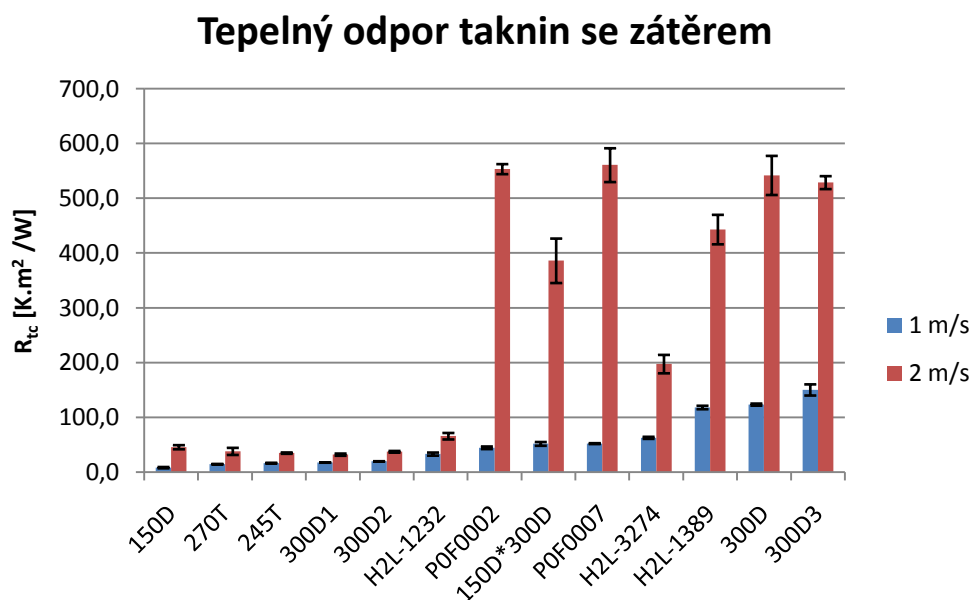


Obrázek 15- Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu tkanina se zátěrem



### 14.3 Tepelný odpor

Obrázek 16 zobrazuje hodnoty tepelného odporu tkanin se zátěrem. Tkaniny se zátěrem vykazují stejný průběh jako tkaniny s membránou a pleteniny s membránou, výparný odpor se zvyšuje po změně rychlosti vzduchu na 2 m/s. Výrazné zvýšení prokázaly vzorky s dobrým tepelným odporem 300D, H2L-1389, H2L-3274, 150D\*300D, POF0002, POF0007, 300D3. U těchto vzorků byl naměřen nevyhovující výparný odpor.



Obrázek 16- Tepelný odpor tkanin se zátěrem

Tab. 9 Tepelný odpor tkanin se zátěrem

Název vzorku	1 m/s				2 m/s				Rozdíl [%]
	průměr	Směr. odch.	IS 95%		průměr	Směr. odch.	IS 95%		
			DM	HM			DM	HM	
300D	123,5	1,678	121,6	125,4	541,9	31,55	506,2	577,6	339
300D1	17,6	0,141	17,4	17,8	32,1	1,78	30,1	34,1	82
300D2	19,8	0,249	19,6	20,1	37,3	1,36	35,8	38,9	88
H2L-1389	118,2	2,780	115,1	121,3	443,1	23,77	416,2	470	275
H2L-1232	33,1	2,493	30,3	36	65,8	5,22	59,9	71,7	99
245T	16,5	0,624	15,8	17,2	34,9	1,06	33,7	36,1	111
H2L-3274	62,8	1,651	60,9	64,7	197,4	14,85	180,6	214,2	214
270T	14,6	0,450	14,1	15,1	38	5,73	31,6	44,5	160
150D	8,4	1,066	7,2	9,6	45,7	3,31	42	49,5	446
150D*300D	51,7	3,030	48,3	55,2	386	35,86	345,5	426,6	646
POF0002	44,6	2,101	42,3	47	553,4	8,09	544,3	562,6	1140
POF0007	52,2	0,713	51,4	53	560,7	27,29	529,8	591,6	973
300D3	150,3	8,990	140,1	160,4	528,8	10,44	517	540,6	252

## 15 Vyhodnocení závislosti dvou rychlostí proudění vzduchu

Měření termofyziologických vlastností bylo prováděno při dvou rychlostech vzduchu. Sledována byla závislost rychlosti vzduchu 1 m/s na 2 m/s, přičemž rychlost vzduchu 1 m/s byla uvedena jako výchozí. Vyhodnocení závislosti jedné proměnné na druhé bylo provedeno pomocí korelačního koeficientu, kde hodnoty nezávisle proměnné X, řídí hodnoty závisle proměnné Y. Vyhodnocení bylo provedeno v programu excel, který zjišťuje Pearsonův korelační koeficient  $r_p$ , vypočítávan přímo z naměřených hodnot X a Y.

Míra závislosti koeficientu korelace [14]:

$|r| = 1$  naprostá závislost (funkční závislost)

$1,00 \geq |r| > 0,90$  velmi vysoká závislost

$0,90 \geq |r| > 0,70$  vysoká závislost

$0,70 \geq |r| > 0,40$  střední závislost

$0,40 \geq |r| > 0,20$  nízká závislost

$0,20 \geq |r| > 0,00$  slabá (nepoužitelná) závislost

$|r| = 0$  naprostá nezávislost

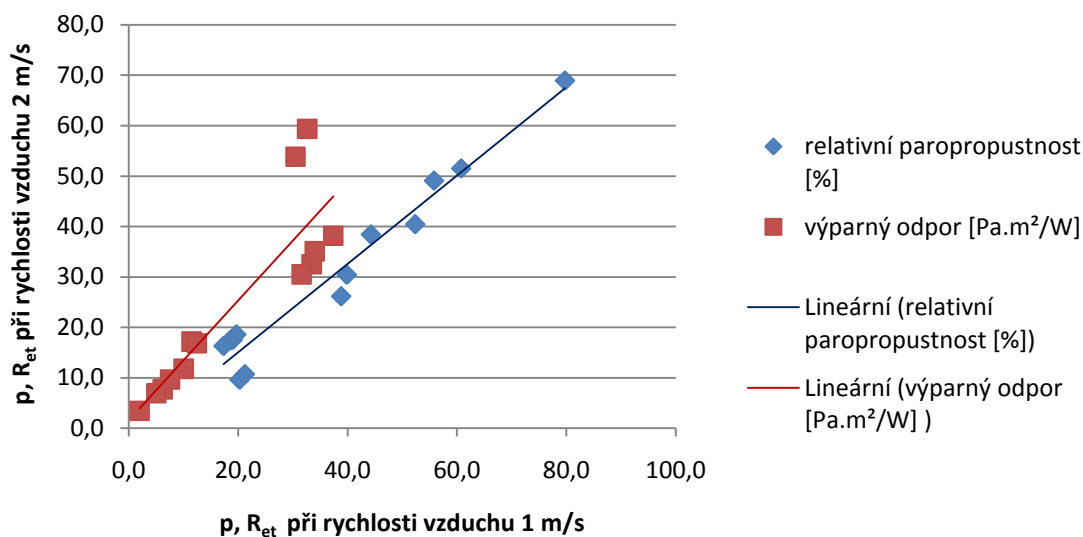
V tabulce 10 jsou ukázány výsledky závislosti mezi rychlostí vzduchu 1 m/s a 2 m/s. Z výsledků je patrné, že měřené parametry při rychlosti vzduchu 2 m/s mají pozitivní závislost na měřených parametrech při rychlosti vzduchu 1 m/s.

*Tab. 10 Závislost měřených parametrů při rychlosti vzduchu 1 m/s na 2 m/s pro všechny měřené vzorky*

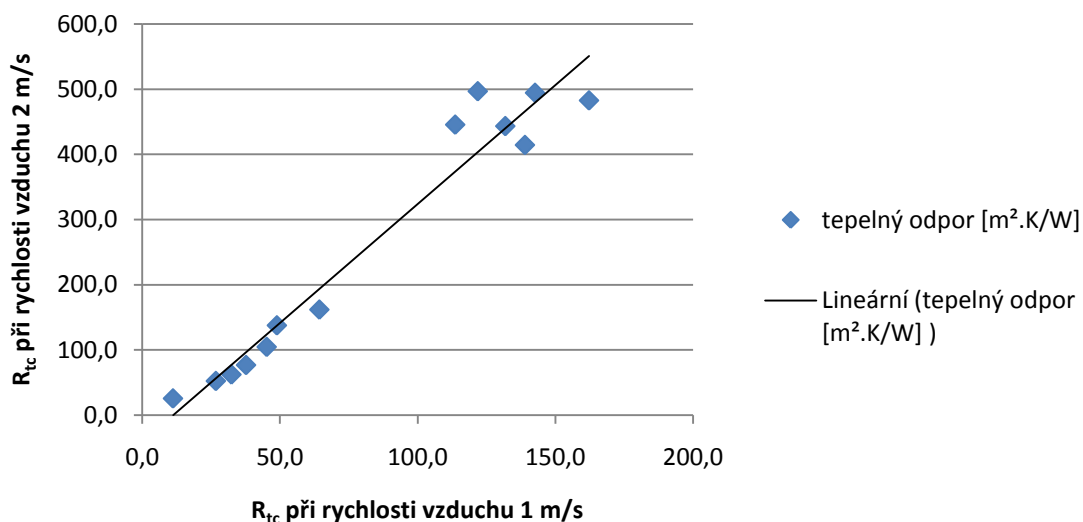
Koeficient korelace $r_p$	Tkanina s membránou			Pletenina s membránou			Tkanina s membránou		
	p	$R_{et}$	$R_{ct}$	p	$R_{et}$	$R_{ct}$	p	$R_{et}$	$R_{ct}$
	0,978	0,881	0,974	0,618	0,707	0,487	0,996	0,983	0,754

### 15.1 Tkaniny s membránou závislost dvou rychlostí proudění vzduchu

Na obrázcích 17 a 18 je zobrazena závislost rychlosti vzduchu 2 m/s na rychlosti vzduchu 1 m/s, měřena na tkaninách s membránou. Data zobrazena na obrázcích jsou proložena přímkou. Mezi rychlostí vzduchu 2 m/s a 1 m/s je patrná vysoká lineární závislost.



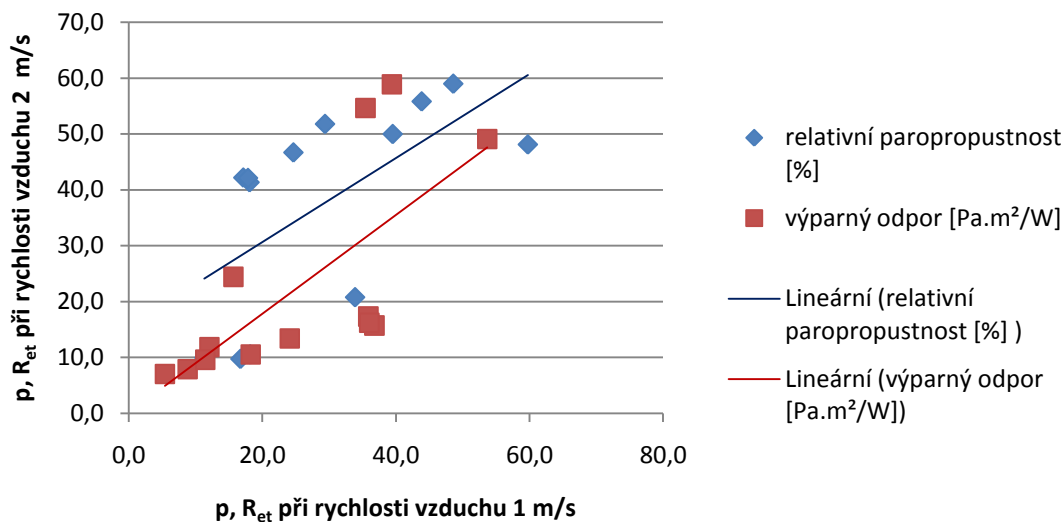
Obrázek 17- Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin s membránou



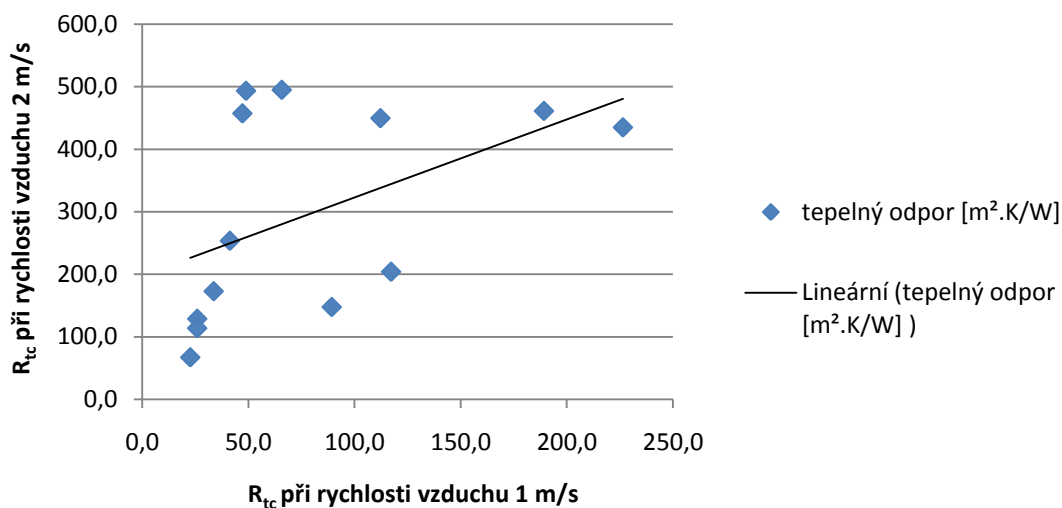
Obrázek 18- Závislost tepelného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin s membránou

## 15.2 Pleteniny s membránou závislost dvou rychlostí proudění vzduchu

Vlastnosti relativní paropropustnost, výparný odpor, tepelný odpor pletenin s membránou měřeny při dvou rychlostech vzduchu jsou zobrazeny na obrázcích 19, 20. Relativní paropropustnost a výparný odpor a tepelný odpor vykazují střední závislost na rychlosti vzduchu 1 m/s a 2 m/s.



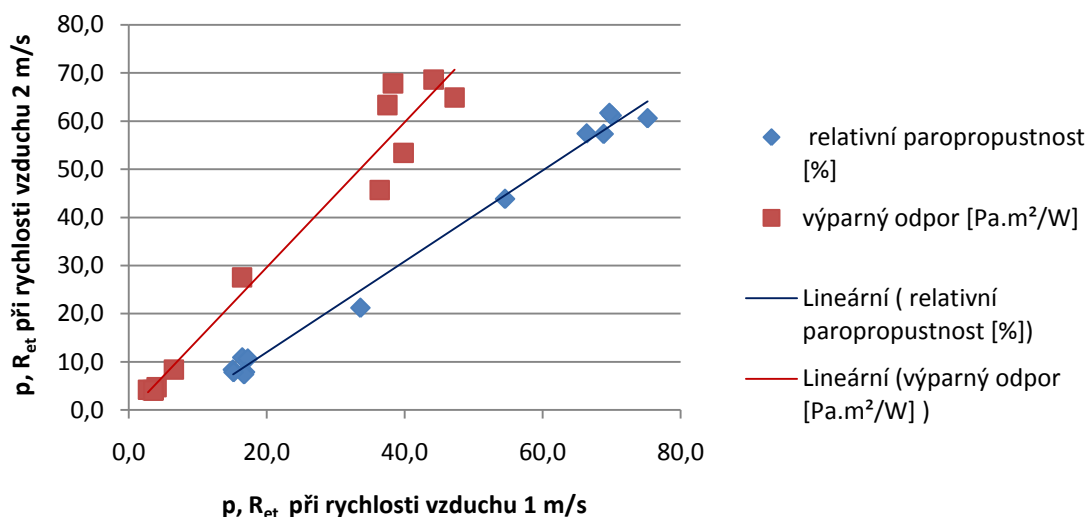
Obrázek 19- Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s pletenin s membránou



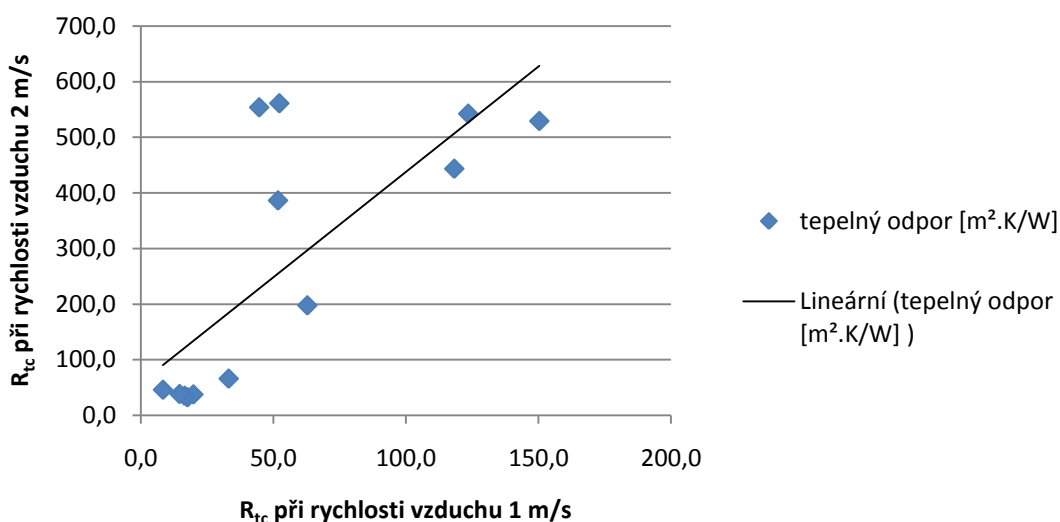
Obrázek 20- Závislost tepelného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s pletenin s membránou

### 15.3 Tkaniny se zátěrem závislost dvou rychlostí proudění vzduchu

Termofyzikální vlastnosti tkanin ze zátěrem měřeny při dvou rychlostech proudění vzduchu zobrazeny na obrázcích 21, 22. Vykazují vysokou závislost měřených vlastností při rychlosti vzduchu 2 m/s na rychlosti vzduchu 1 m/s.



Obrázek 21- Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin se zátěrem



Obrázek 22- Závislost tepelného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin se zátěrem

## 16 Vyhodnocení závislosti měřených parametrů na geometrických vlastnostech

Zjišťována byla závislost relativní paropropustnost, výparného odporu, tepelného odporu na tloušťce a plošné hmotnosti měřených vzorků. K vyhodnocení byl použit stejný statistický prostředek, jako pro závislost dvou rychlostí vzduchu koeficient korelace  $r_p$ . Výsledky závislosti měřených parametrů na tloušťce jsou zobrazeny v tabulce 11. Koeficient korelace tkanin s membránou vykazuje střední závislost pozitivní pro parametr relativní paropropustnosti a negativní pro výparný odpor a tepelný odpor. Pleteniny s membránou vykazují střední závislost měřených parametrů při rychlosti vzduchu 1 m/s a nízkou až slabou závislost při rychlosti vzduchu 2 m/s. Tkaniny se zátěrem mají slabou závislost měřených parametrů na tloušťce. Ukázka grafického zobrazení závislosti měřených parametrů na geometrických vlastnostech je na obrázku 23.

V tabulce 12 jsou zobrazeny závislosti měřených parametrů na plošné hmotnosti, z uvedených hodnot koeficientu korelace lze usuzovat, že měřené parametry mají střední až slabou závislost na plošné hmotnosti pro tkaniny s membránou. Pleteniny s membránou vykazují slabou až žádnou závislost měřených parametrů na plošné hmotnosti. Tkaniny se zátěrem mají střední závislost měřených parametrů na plošné hmotnosti.

Graficky zobrazená závislost všech typů vzorků je přiložena v příloze 1.

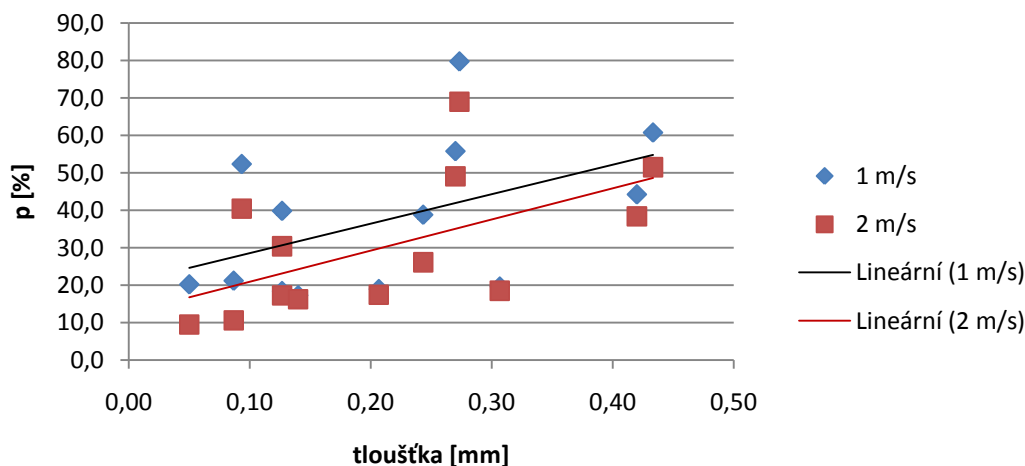
Tab. 11 Závislost měřených parametrů na tloušťce

Koeficient korelace $r_p$	Tkaniny s membránou			Pleteniny s membránou			Tkaniny se zátěrem		
	p	$R_{et}$	$R_{ct}$	p	$R_{et}$	$R_{ct}$	p	$R_{et}$	$R_{ct}$
1 m/s	0,484	-0,500	-0,449	-0,678	0,605	0,439	-0,105	0,111	0,043
2 m/s	0,568	-0,637	-0,537	-0,398	0,337	-0,068	-0,329	0,076	0,078

Tab. 12 Závislost měřených parametrů na plošné hmotnosti

Koeficient korelace $r_p$	Tkaniny s membránou			Pleteniny s membránou			Tkaniny se zátěrem		
	p	$R_{et}$	$R_{ct}$	p	$R_{et}$	$R_{ct}$	p	$R_{et}$	$R_{ct}$
1 m/s	0,365	-0,410	-0,331	-0,006	0,074	-0,151	-0,610	0,561	0,468
2 m/s	0,453	-0,551	-0,442	0,074	-0,058	-0,092	-0,570	0,481	0,482

### Závislost relativní paropropustnosti na tloušťce tkanin s membránou



Obrázek 23- Závislost relativní paropropustnosti na tloušťce tkanin s membránou

## 17 Diskuze výsledků

Experimentální část práce se zabývá měřením relativní paropropustnosti, výparného odporu a tepelného odporu při dvou rychlostech proudění vzduchu na materiálech používaných pro svrchní oděvy. Materiály byly rozděleny na tkaniny s membránou, pleteniny s membránou, tkaniny se zátěrem.

### Tkaniny s membránou výparný odpor

Tkaniny s membránou určeny pro sportovní oděvy vykazují dobré hodnoty výparného odporu pro polovinu vzorků. Vzorky s dobrým výparným odporem jsou opatřeny stejným typem konstrukce membrány dvouvrstevným laminátem. Hodnoty  $R_{et}$  velmi dobré do 6 [Pa.m<sup>2</sup>/W] mají vzorky 260T, 150D, H3L- 1695 v keprové vazbě. Dobrých hodnot  $R_{et}$  do 13 [Pa.m<sup>2</sup>/W] dosahují vzorky 338T, 75D, H21-0502. Neuspokojivé hodnoty  $R_{et}$  do 40 [Pa.m<sup>2</sup>/W] vykazují vzorky H2.5L- 3689, 15D, 20D, 300T. Vzorky vykazují neuspokojivé hodnoty  $R_{et}$  v důsledku změny typu konstrukce membrány na dvou a půl vrstevný laminát tvořený potištěním. Vzorky 210D, 500D také mají neuspokojivé hodnoty  $R_{et}$ , přestože je typ konstrukce dvouvrstevný laminát. Špatné výsledky jsou z důvodu jiného typu membrány.



Po změně rychlosti proudění vzduchu na 2 m/s se výparný odpor zhoršoval. Rozdíl nebyl výrazný, u většiny vzorků se pohyboval absolutní rozdíl okolo 1 [Pa.m<sup>2</sup>/W], to potvrzuje Gibson [8] ve své práci. Výraznou změnu hodnot  $R_{et}$  zaznamenaly vzorky 75D z 11,5 na 17,1 [Pa.m<sup>2</sup>/W], H2L-0502 z 12,5 na 16,8 [Pa.m<sup>2</sup>/W] a vzorky 15D z 32,6 na 59,8 [Pa.m<sup>2</sup>/W], H2.5L-3689 z 30,5 na 53,8 [Pa.m<sup>2</sup>/W]. Vzorky jsou opatřeny stejným typem membrány, ale jiným typem konstrukce.

#### Tkaniny s membránou tepelný odpor

Tepelný odpor měřený na přístroji PERMETEST z důvodu porovnání hodnot při rychlosti vzduchu 1 m/s a 2 m/s. Dobré hodnoty  $R_{tc}$  měly vzorky s typem konstrukce dvou a půl vrstvý laminát. Vzorky se špatným výparným odporem měly dobrý tepelný odpor. Nebyla rozhodující tloušťka ani plošná hmotnost. Změna rychlosti proudění vzduchu měla výrazný vliv na všechny vzorky okolo 100 %. Největší vliv však měla na vzorky s dobrým tepelným odporem H2.5L- 3689, 15D, 20D, 300T, 210D, 500D absolutní rozdíl se pohyboval kolem 300 [Pa.m<sup>2</sup>/W].

#### Pleteniny s membránou výparný odpor

Pleteniny s membránou lze také rozdělit na dvě skupiny s uspokojivým a neuspokojivým výparným odporem. Vzorky s uspokojivým výparným odporem mají typ konstrukce dvouvrstvý laminát a neuspokojivým je typ konstrukce dvou a půl vrstvý laminát. Velmi dobrý výparný odpor zaznamenal vzorek 40G, dobrý vzorky 30D40G1, 30D40G2, H2L.1942, uspokojivý vzorky 30D, H2L-1669, 30D40G.

Při změně rychlosti proudu vzduchu na 2 m/s tkaniny s membránou zlepšily výparný odpor. Významný rozdíl zaznamenaly vzorky se špatným  $R_{et}$ . Vzorek H2L-1669, 30D40G zlepšily  $R_{et}$  na dobrý, vzorky 20D, H2.5L-3677, 30D1 na uspokojivý. Čtyři vzorky výparný odpor zhoršily po změně rychlosti vzduchu. Vzorek H2L-1259, H2L-1349, 40G, 30D.

#### Pleteniny s membránou tepelný odpor

Tepelný odpor tkanin s membránou vykazoval lepší hodnoty  $R_{tc}$  u vzorků se špatným výparným odporem. Po zvýšení rychlosti proudu vzduchu na 2 m/s se tepelný odpor výrazně zvyšoval. Zvýšení tepelného odporu při zvyšující se rychlosti vzduchu zaznamenal i Ghali [12] ve své studii.

Nejmenší procentuální rozdíl 65% zaznamenal vzorek H2L-1942. Procentuální rozdíl okolo 300 % vzorky H2L-1259, 30D40G2, okolo 400 % vzorky 30D40G1, H2L-1669, okolo 500 % vzorek 30D40G, okolo 900% vzorky 20D, H2.5L-3677, H2.5L-3685. Největší procentuální rozdíl mají vzorky s dvou a půl vrstevným laminátem.

#### Tkaniny se zátěrem výparný odpor

Tkaniny se zátěrem určeny pro pracovní oděvy vykazují taktéž velmi dobré hodnoty výparného odporu u poloviny měřených vzorků. Vzorky s velmi dobrou hodnotou  $R_{et}$  do 6 [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ ] jsou 270T, 300D1, 150D, 245T, 300D2, H2L-1232 a uspokojivou hodnotou  $R_{et}$  H2L-3274. Vzorky s dobrou hodnotou výparného odporu jsou opatřeny prodyšným zátěrem.

Po změně rychlosti proudu vzduchu na 2 m/s se výparný odpor zhoršil u všech vzorků. Zhoršení není výrazné, většinou se pohybuje kolem 20 %. Vzorky s neuspokojivým výparným odporem mají procentuální rozdíl kolem 30 % a vzorky POF0002, POF0007 kolem 70 %.

#### Tkaniny se zátěrem tepelný odpor

Tepelný odpor vykazuje podobný trend jako u tkanin s membránou. Vzorky se špatným výparným odporem mají lepší tepelný odpor. Tepelný odpor se zvyšuje při změně rychlosti vzduchu nejméně okolo 100 %. Vzorky s největším procentuálním rozdílem jsou 150D\*300D- 646 %, POF0007- 973 %, POF0002- 1140 %.

Ding [11] ve své práci zjistil, že výparný odpor klesá s rostoucí rychlostí vzduchu. V této práci to bylo potvrzeno pro pleteniny s membránou. Výsledky měření tkaniny s membránou a zátěrem tento výsledek nepotvrzují.

Zjišťována byla závislost měřených parametrů na plošné hmotnosti a tloušťce. Parametry se ukázaly středně závislé na tloušťce tkanin s membránou a pletenin s membránou. Tkaniny se zátěrem vykazovaly slabou závislost na tloušťce. Závislost plošné hmotnosti na měřených parametrech byla střední pro tkaniny s membránou a tkaniny se zátěrem. Pleteniny s membránou měly slabou až žádnou závislost na plošné hmotnosti.

Sledovaná závislost rychlosti vzduchu 2 m/s na rychlosti vzduchu 1 m/s byla prokázána.

## 18 Závěr

Cílem práce bylo zjistit paropropustnost a tepelný odpor materiálu používaných pro svrchní oděvy při dvou rychlostech proudění vzduchu.

V rešeršní části práce byly zkoumány komfortní vlastnosti s důrazem na změnu v povětrnostních podmínkách. V experimentální části byl měřen výparný odpor, relativní paropropustnost, tepelný odpor na přístroji PERMETEST. Testovány byly tři typy materiálů tkaniny s membránou, pleteniny s membránou, tkaniny se zátěrem. Sledována byla závislost dvou rychlostí proudění vzduchu a závislost geometrických vlastností na měřených parametrech.

Testované vzorky byly rozděleny na dvě poloviny s dobrým výparným odporem a dobrým tepelným odporem. Dvouvrstvé lamináty dosahovaly dobrého výparného odporu a to pokud byl druh nosného materiálu tkanina i pletenina. Dvou a půl vrstvé lamináty zaznamenaly neuspokojivý výparný odpor, zato měly lepší tepelný odpor. Tkaniny s prodyšným zátěrem se vyznačovaly velmi dobrým výparným odporem, ale horším tepelným odporem.

Měřené parametry tkanin s membránou, pletenin s membránou a tkanin se zátěrem byly středně až slabě závislé na jejich geometrických vlastnostech.

Výsledky měření prokázaly pozitivní závislost komfortních vlastností na změně rychlosti proudění vzduchu. Relativní paropropustnost tkanin s membránou a tkanin se zátěrem se při zvýšení rychlosti vzduchu snižovala. Pro pleteniny s membránou se relativní paropropustnost zvyšovala. Výparný odpor tkanin s membránou a tkanin se zátěrem se zvyšoval, u pletenin s membránou se snižoval. Tepelný odpor se zvyšoval pro všechny typy měřených vzorků. Rozdíl hodnot výparného odporu po zvýšení rychlosti vzduchu nebyl významný u tkanin s membránou, tkanin s prodyšným zátěrem, ale pro pleteniny s membránou a tkaniny s neprodyšným zátěrem byl významný. Pleteniny s membránou snížily hodnotu výparného odporu přibližně o 55 %. Tkaniny s neprodyšným zátěrem zvýšily hodnotu výparného odporu až o 77 %. Tepelný odpor se významně zvyšoval u všech typů měřených vzorků po změně rychlosti proudění vzduchu. Průměrně se zvyšoval kolem 200 % u všech typů měřených vzorků, největší rozdíl zaznamenal vzorek P0F0002 typu tkanina se zátěrem.

U testovaných vzorků by bylo dále vhodné provést další měření týkající se prodyšnosti, jelikož tato vlastnost patří mezi významné ukazatele komfortu při změně povětrnostních podmínek. Dále by bylo vhodné ověřit výsledky tepelného odporu dvou vrstvého laminátu, protože vykazoval výrazně lepší hodnoty než ostatní měřené vzorky.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SHISHOO, R.: *Textiles in sport*. 1.vyd. Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2005. 201 s. ISBN-13: 978-1-85573-922-2
- [2] HES, L., SLUKA, P. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.
- [3] LAGMEIER, M a kol. *Základy lékařské fyziologie*. Vyd. 1. Praha: Granada publishing a. s., 2009, ISBN 978-80-247-2526-0.
- [4] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění* [online]. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2015-02-08]. ISBN 978-80-248-2576-2. Dostupné z:  
[http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP\\_FINAL\\_LAST.pdf](http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP_FINAL_LAST.pdf)
- [5] POKORNÝ, Marek. *Sálání tepla* [online]. Praha: ČVUT, 2006 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4\\_Salani\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf)
- [6] ČSN EN 31 092. *Textilie- Zjišťování fyziologických vlastností- měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)*. Dvůr Králové nad Labem: Český normalizační institut, 1996.
- [7] Interní norma 23-304-01/01. *Stanovení termofyziologických vlastností textilií*. Liberec: TUL, 2004.
- [8] GIBSON, P. W. Factors Influencing Steady-State Heat and Water Vapor Transfer Measurements for Clothing Materials. *Textile Research Journal* [online]. 1993, vol. 63, no. 12 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: doi: 10.1177/004051759306301208
- [9] MORRISEY, Mathew a René ROSSI. The effect of wind, body movement and garment adjustments on the effective thermal resistance of clothing with low and high air permeability insulation. *Textile Research Journal* [online]. 2014, vol. 84, no. 6, s. 583-592 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517513499431

- [10] KE, Ying a George HAVENITH et. al. Effects of wind and clothing apertures on local clothing ventilation rates and thermal insulation. *Textile Research Journal* [online]. 2014, vol. 84, no. 9, s. 941-952 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517513512399
- [11] DING, Dan et.al. Characterizing the performance of a single-layer fabric system through a heat and mass transfer model – Part II: Thermal and evaporative resistances. *Textile Research Journal* [online]. 2011, vol. 81, no. 9, s. 945-958 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517510395994
- [12] GHALI, K et. al. Simplified Heat Transport Model of a Wind-permeable Clothed Cylinder Subject to Swinging Motion. *Textile Research Journal* [online]. 2009, vol. 79, no. 11, s. 1043-1055 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517508101460
- [13] GOMBÍKOVÁ, Viera. KOD-FT-TUL. Oděvní komfort II.: *Fyziologické vlastnosti oděvních materiálů* [pdf přednáška]. 2012 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: [http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM\\_prednaska7\\_2012.pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska7_2012.pdf)
- [14] FAKULTA TĚLESNÉ KULTURY, *Základy statistiky* [pdf přednáška]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://ftk.upol.cz/fileadmin/user\\_upload/FTK-katedry/institut-akt-ziv-stylu/Statistika/ZAKLADYstatistikySKRIPTA2.pdf](http://ftk.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTK-katedry/institut-akt-ziv-stylu/Statistika/ZAKLADYstatistikySKRIPTA2.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1- Měřicí jednotka s regulací teploty a přívodem vody [6].</i>	13
<i>Obrázek 2- Princip funkce mikroporézní membrány [13].</i>	25
<i>Obrázek 3- Princip funkce neporézní membrány [13].</i>	25
<i>Obrázek 4- Z-liner Dvouvrstvý laminát Třívrstvý laminát [13]</i>	26
<i>Obrázek 5- Relativní paropropustnost tkanin s membránou</i>	32
<i>Obrázek 6- Výparný odpor tkanin s membránou</i>	33
<i>Obrázek 7- Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu tkanina s membránou</i>	35
<i>Obrázek 8- Tepelný odpor tkanin s membránou</i>	36
<i>Obrázek 9- Relativní paropropustnost pletenin s membránou</i>	40
<i>Obrázek 10- Výparný odpor pletenin s membránou</i>	42
<i>Obrázek 11- Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu pletenin s membránou</i>	43
<i>Obrázek 12- Tepelný odpor pletenin s membránou</i>	44
<i>Obrázek 13- Relativní paropropustnost tkanin se zátěrem</i>	49
<i>Obrázek 14- Výparný odpor tkanin se zátěrem</i>	50
<i>Obrázek 15- Hodnoty relativní paropropustnosti a výparného odporu tkanina se zátěrem</i>	51
<i>Obrázek 16- Tepelný odpor tkanin se zátěrem</i>	52
<i>Obrázek 17- Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin s membránou</i>	55
<i>Obrázek 18- Závislost tepelného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin s membránou</i>	55
<i>Obrázek 19- Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s pletenin s membránou</i>	56
<i>Obrázek 20- Závislost tepelného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s pletenin s membránou</i>	56
<i>Obrázek 21- Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin se zátěrem</i>	57
<i>Obrázek 22- Závislost tepelného odporu při rychlosti vzduchu 2 m/s na 1 m/s tkanin se zátěrem</i>	57
<i>Obrázek 23- Závislost relativní paropropustnosti na tloušťce tkanin s membránou</i>	59

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Relativní paropropustnost tkanin s membránou .....</i>	32
<i>Tab. 2 Výparný odpor tkanin s membránou .....</i>	34
<i>Tab. 3 Tepelný odpor tkanin s membránou .....</i>	36
<i>Tab. 4 Relativní paropropustnost pletenin s membránou .....</i>	41
<i>Tab. 5 Výparný odpor pletenin s membránou .....</i>	42
<i>Tab. 6 Tepelný odpor pletenin s membránou .....</i>	44
<i>Tab. 7 Relativní paropropustnost tkanin se zátěrem .....</i>	49
<i>Tab. 8 Výparný odpor tkanin se zátěrem .....</i>	51
<i>Tab. 9 Tepelný odpor tkanin se zátěrem .....</i>	53
<i>Tab. 10 Závislost měřených parametrů při rychlosti vzduchu 1 m/s na 2 m/s pro všechny měřené vzorky .....</i>	54
<i>Tab. 11 Závislost měřených parametrů na tloušťce .....</i>	58
<i>Tab. 12 Závislost měřených parametrů na plošné hmotnosti .....</i>	58

## SEZNAM PŘÍLOH

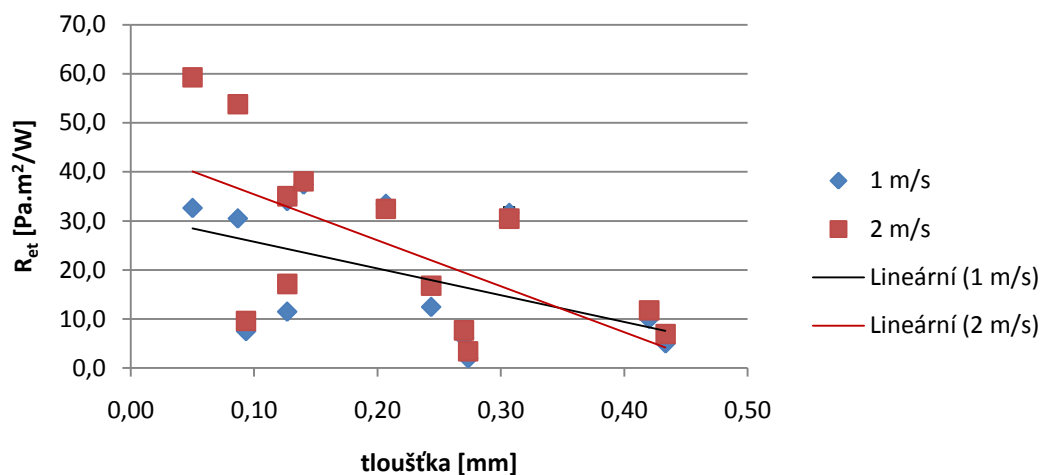
příloha 1



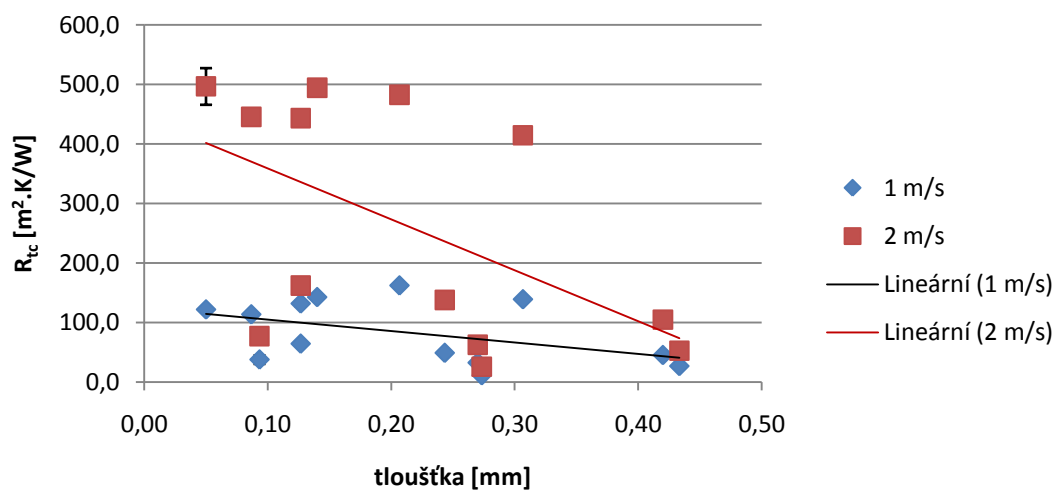
## PŘÍLOHY

### Příloha 1

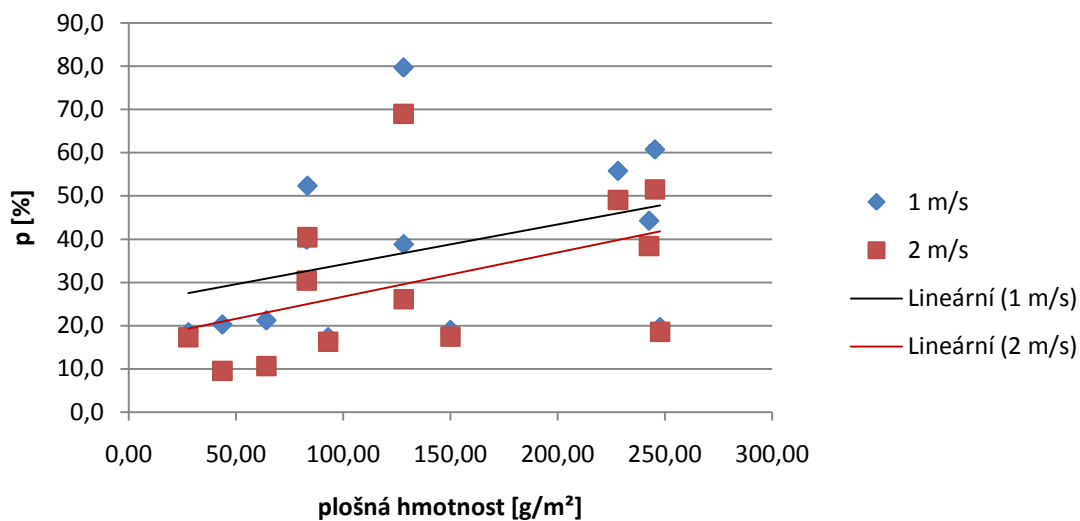
#### Závislost výparného odporu na tloušťce tkanin s membránou



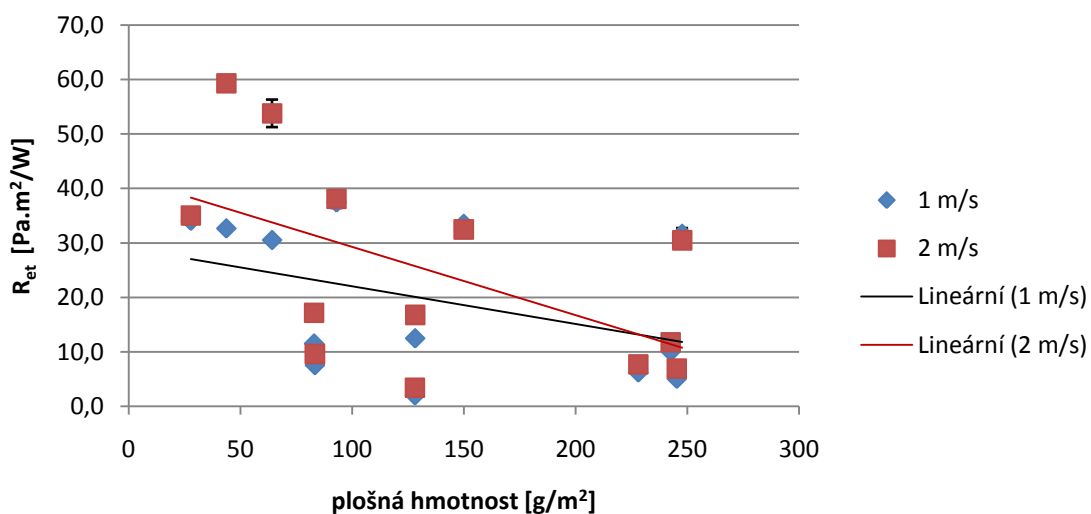
#### Závislost tepelného odporu na tloušťce tkanin s membránou



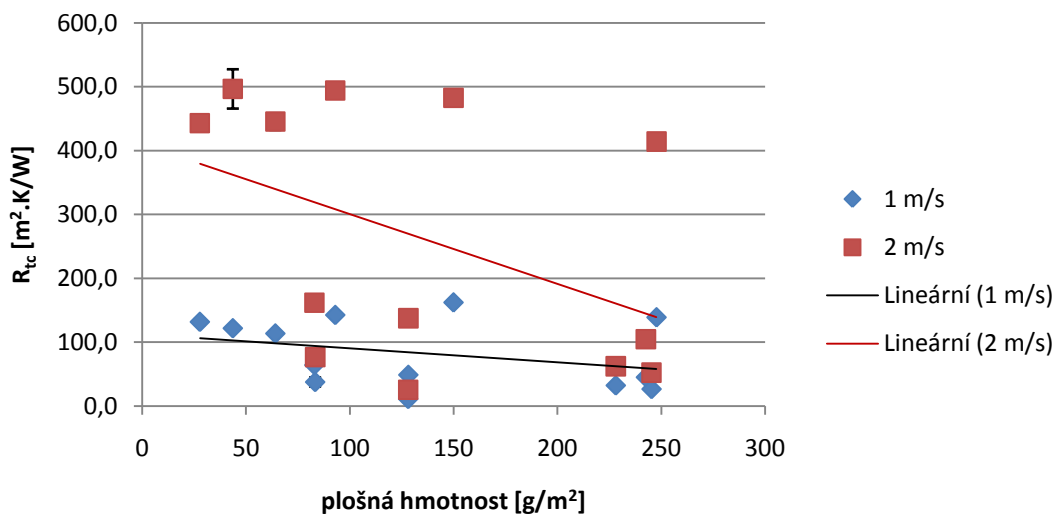
### Závislost relativní paropropustnosti na plošné hmotnosti tkanin s membránou



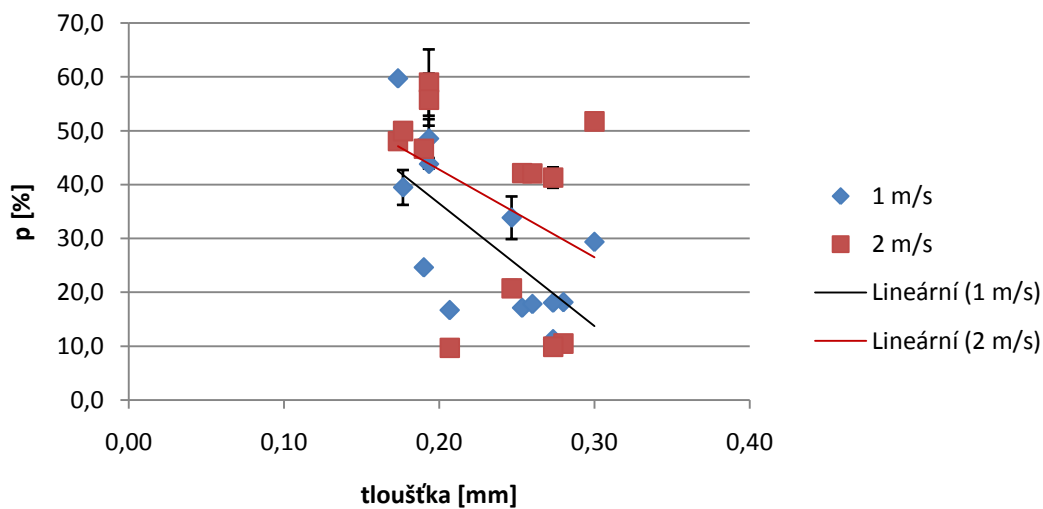
### Závislost výparného odporu na plošné hmotnosti tkanin s membránou



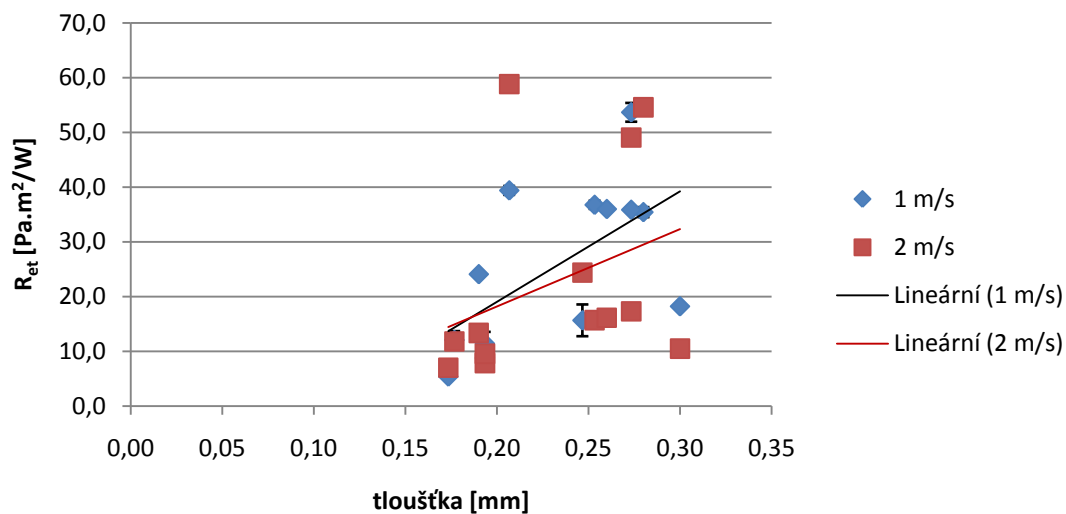
### Závislost tepelného odporu na plošné hmotnosti tkanin s membánou



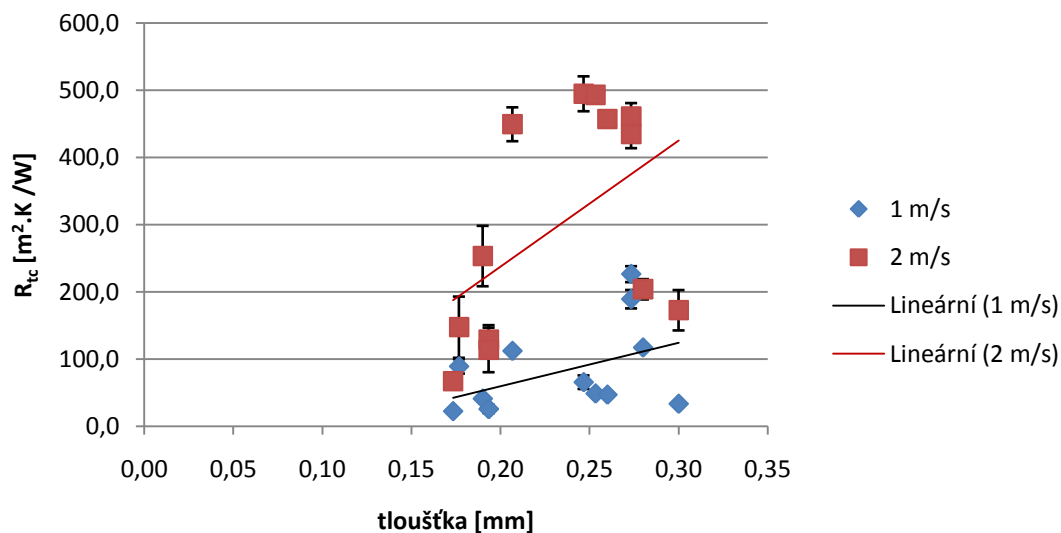
### Závislost relativní paropropustnosti na tloušťce pletenin s membránou



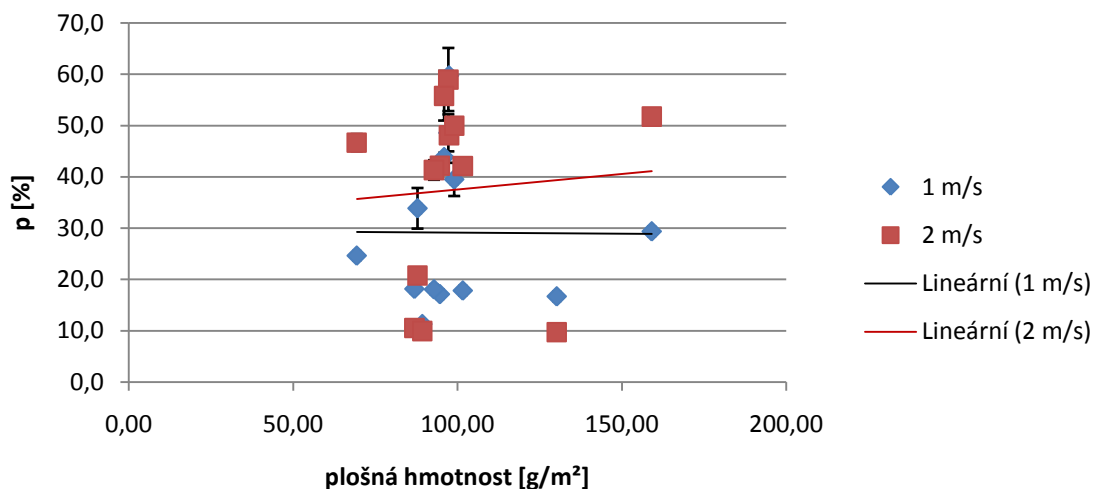
### Závislost výparného odporu na tloušťce pletenin s membránou



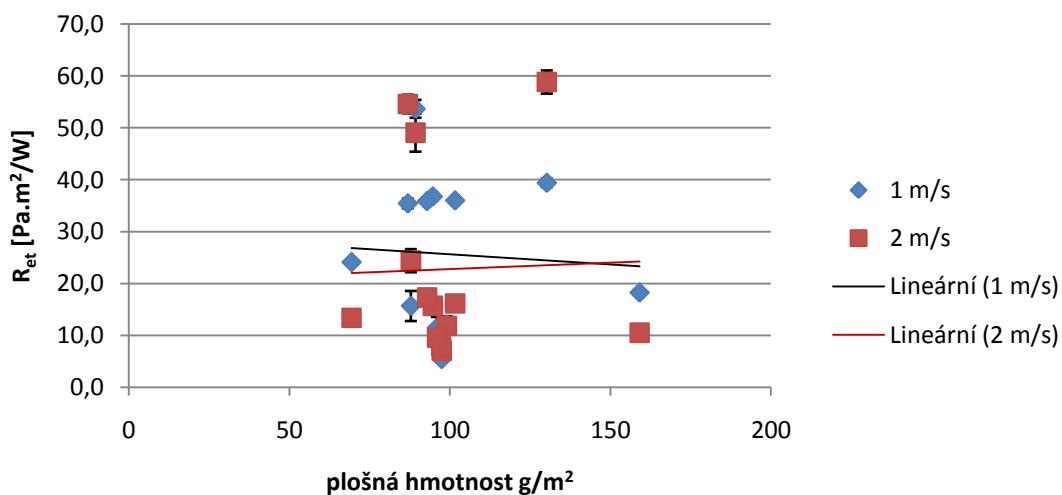
### Závislost tepelného odporu na tloušťce pletenin s membránou



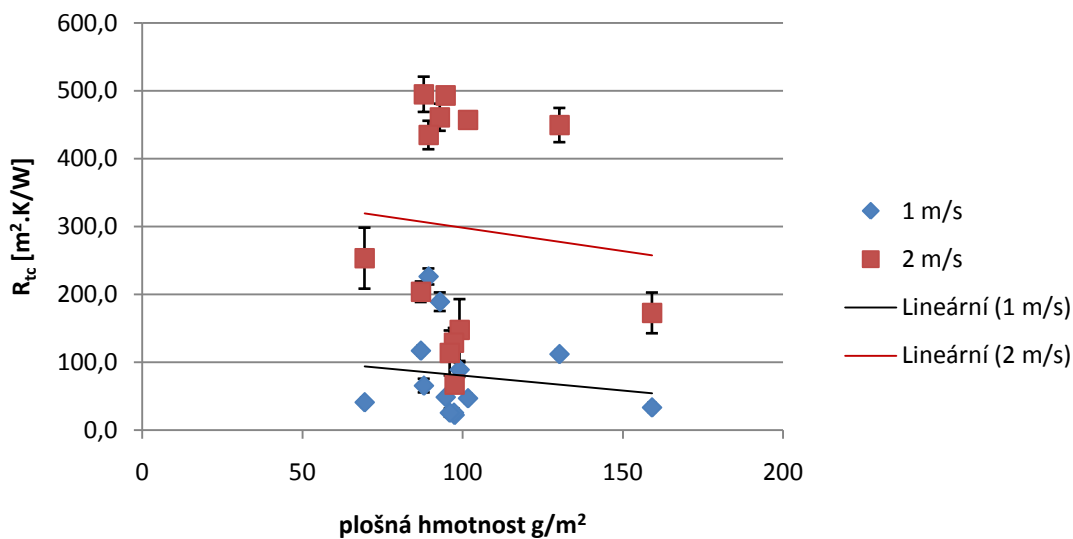
### Závislost relativní paropropustnosti na plošné hmotnosti pletenin s membránou



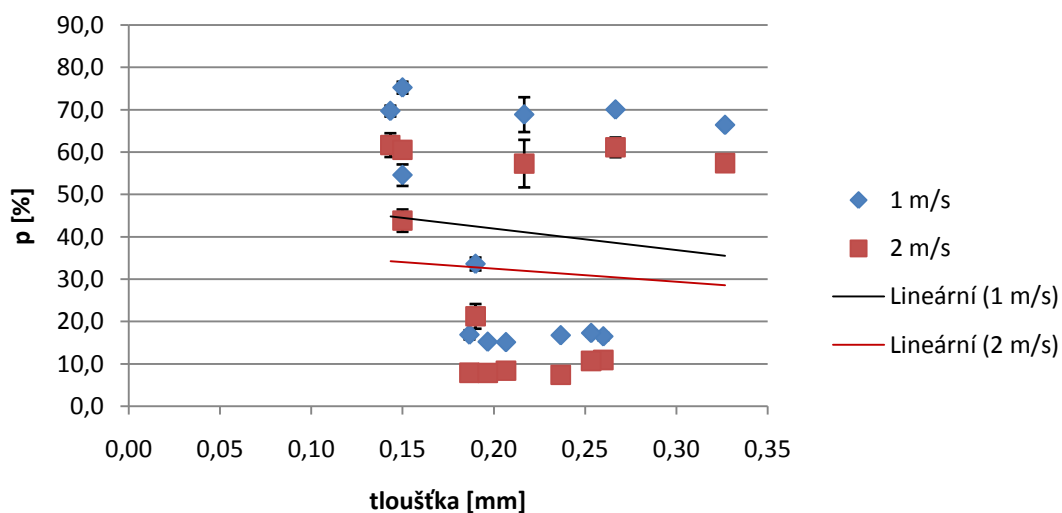
### Závislost výparného odporu na plošné hmotnosti pletenin s membránou



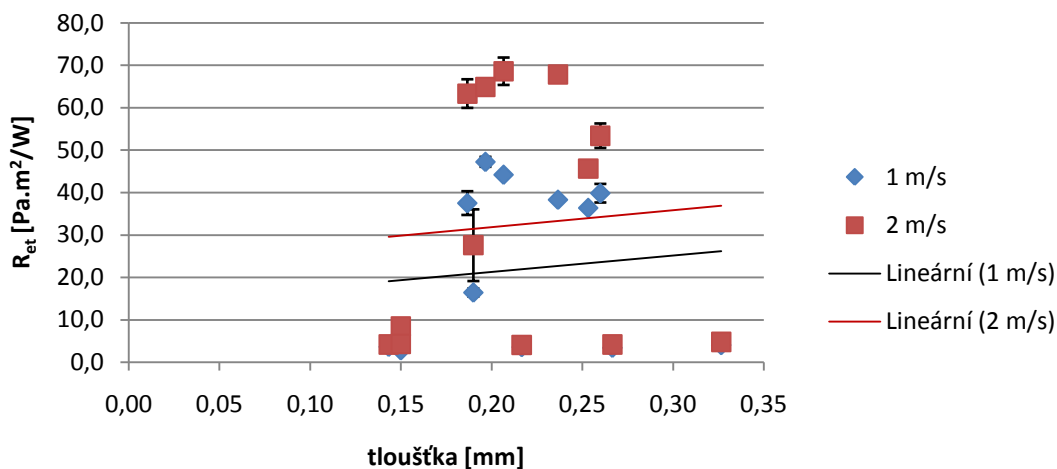
### Závislost výparného odporu na plošné hmotnosti pleteniny s membránou



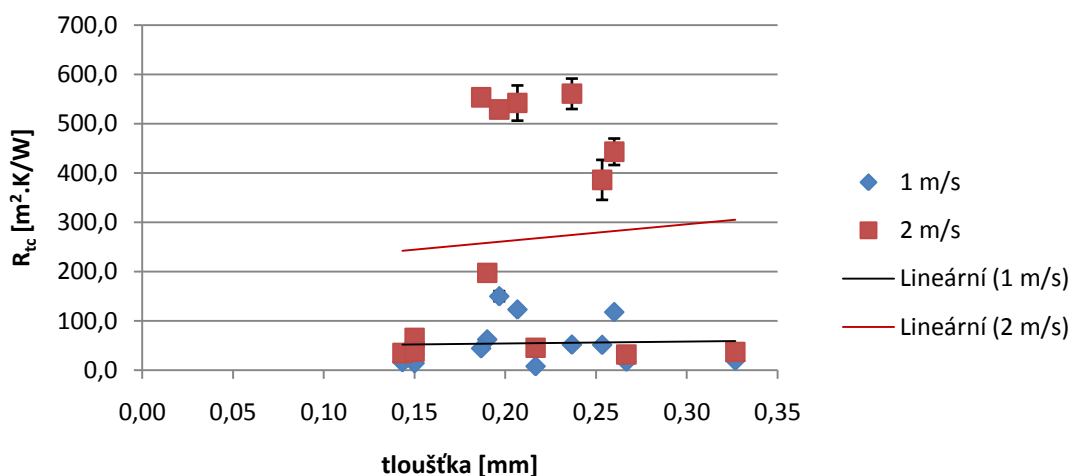
### Závislost relativní paropropustnosti na tloušťce tkanin se zátěrem



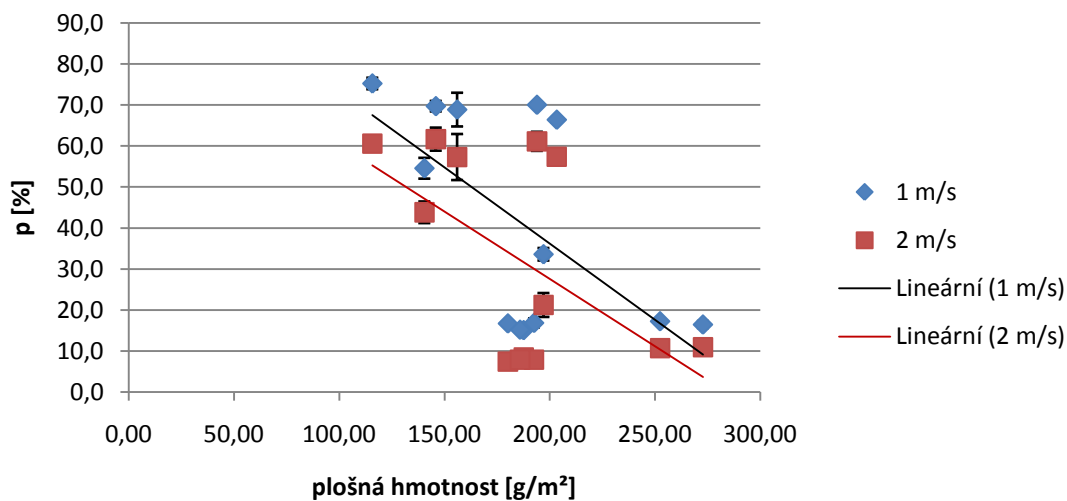
### Závislost výparného odporu na tloušťce tkanin se zátěrem



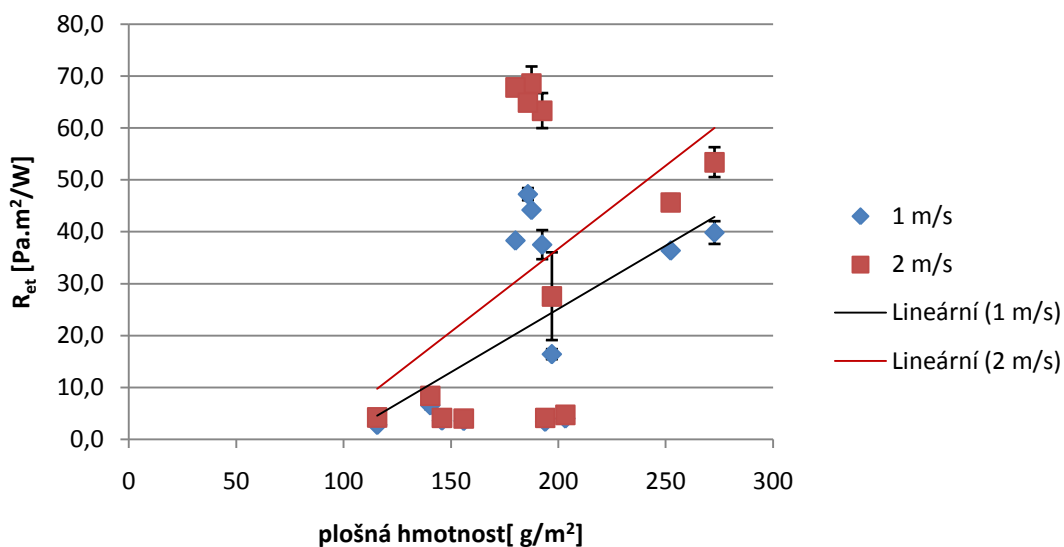
### Závislost tepelného odporu na tloušťce tkanin se zátěrem



### Závislost relativní paropropustnosti na plošné hmotnosti tkanin se zátěrem



### Závislost výparného odporu na plošné hmotnosti tkanin se zátěrem





## Závislost tepelného odporu na plošné hmotnosti tkanin se zátěrem

