



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta textilní



# VÝVOJ LAMINÁTU S NANOVLÁKENNOU MEMBRÁNOU PRO OCHRANNÉ ODĚVY PRO HASIČE

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3957 – Průmyslové inženýrství

*Studijní obor:* 3911T023 – Řízení jakosti

*Autor práce:* **Bc. Ekaterina Rybnikova**

*Vedoucí práce:* Ing. Roman Knížek





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Textile Engineering ■

# THE DEVELOPMENT OF LAMINATE WITH NANOFIBER MEMBRANE FOR FIREFIGHTERS PROTECTIVE CLOTHING

## Diploma thesis

*Study programme:* N3957 – Industrial Engineering

*Study branch:* 3911T023 – Quality Control

*Author:* **Bc. Ekaterina Rybnikova**

*Supervisor:* Ing. Roman Knížek



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## FAKULTA TEXTILNÍ

Akademický rok: 2015/2016

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

#### ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Vytvořte rešerši na téma: výroba nanovláknenné membrány, komfort textilií a oblečení pro hasiče využívající membránu
- 2) Navrhněte a vytvořte vhodný laminát s nanovláknennou membránou pro hasiče
- 3) Na vytvořeném laminátu změřte: paropropustnost, prodyšnost, hydrostatickou odolnost, nehořlavost atd.
- 4) Porovnejte Vámi vytvořený laminát s konkurencí
- 5) Diskuze výsledků a závěr

#### SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

- [1] R.Knizek, Oblečení pro sportovní a outdoorové účely, Liberec 2013
- [2] L. Hes, Sluka, Komfort textilií
- [3] [www.gore-tex.com](http://www.gore-tex.com)

VEDOUCÍ PRÁCE:     Ing. Roman Knížek – KHT     .....

## Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Romanovi Knížkovi za odborné vedení, vstřícnost, trpělivost a pomoc při zpracování diplomové práce, za poskytnutí možnosti pracovat na tak zajímavém a moderním tématu nanomembrán. Také děkuji za konzultaci při statistickém vyhodnocování dat Ing. Vladimírovi Bajzíkovi, Ph.D a Ing. Denise Karhánkové za pomoc při využití měřicí přístroje. Poděkování patří samozřejmě i mé rodině, za to že mi byli oporou a umožnili mi studovat na Technické univerzitě v Liberci.

## ANOTACE

Cílem této práce je studie problematiky v oblasti ochranných oděvů a vzájemné porovnání vybraných vlastností mezi různými materiály. První část práce se zabývá obecnými zákonitostmi ochranných oděvů, základními informacemi o membránách a komfortu. V této části jsou také uvedeni významní výrobci membrán a materiálů, používané na ochranné oděvy hasiče. Ve druhé části bylo provedeno experimentální ověření parametrů vybraných materiálů. V závěru práce byly zpracovány naměřené výsledky a zhodnoceny z hlediska „komfortnosti“.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** nanovláknenná membrána, ochranný oděv, paropropustnost, prodyšnost, vodní sloupec

## ANNOTATION

The aim of this work is to study the issue of protective clothing and mutual comparison of selected properties between different materials. The first part deals with general patterns of protective clothing, basic information on the membrane and comfort. This section also provides for major manufacturers of membranes and materials used for firefighters protective clothing. In the second part was carried out experimental verification of the parameters selected materials. In conclusion the results obtained were processed and evaluated in terms of "ease when".

**KEY WORDS:** nanofibrous membrane, protective clothing, water vapor permeability, permeability, water column

## OBSAH

<b>ZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....	<b>9</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OCHRANNÝ ODĚVY</b> .....	<b>11</b>
2.1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA OCHRANNÉ ODĚVY HASIČE.....	11
2.2 TYPY A POŽADAVKY NA VLASTNOSTI OCHRANNÝ ODĚVY PRO HASIČE.....	13
<b>3. VÝROBCI OCHRANNÝCH ODĚVŮ PRO HASIČE</b> .....	<b>16</b>
3.1 SPOLEČNOST GORE-TEX .....	16
3.2 SPOLEČNOST NANOMEMBRANE.....	16
3.3 SPOLEČNOST DUPONT .....	17
<b>4. MEMBRÁNY</b> .....	<b>18</b>
4.1 HYDROFOBNI MIKROPORÉZNI MEMBRÁNY .....	18
4.2 HYDROFILNI MEMBRÁNY .....	18
4.3 NANOVLÁKENNÁ MEMBRÁNA .....	19
<b>5. PŘÍPRAVA NANOVLÁKEN</b> .....	<b>20</b>
5.1 ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ NANOVLÁKEN .....	20
5.2 METODA NANOSPIDER.....	20
<b>6. ZPŮSOBY LAMINOVÁNÍ</b> .....	<b>22</b>
<b>7. KOMFORT</b> .....	<b>24</b>
7.1 TERMOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT .....	24
7.2 PROČ ZVÝŠENÍ KOMFORTNÍCH VLASTNOSTÍ JE DŮLEŽITÉ PRO OBLEČENÍ HASIČE.....	25
<b>8. NÁVRH EXPERIMENTU</b> .....	<b>26</b>
<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>27</b>
<b>9. LAMINACE</b> .....	<b>27</b>
<b>10. POPIS PŘÍSTROJŮ</b> .....	<b>28</b>
10.1 PŘÍSTROJ PERMETEST.....	28
10.2 PŘÍSTROJ FX3300 .....	29
10.3 PŘÍSTROJ M018 HYDROSTATIC HEAD TESTER.....	29
10.4 PŘÍSTROJ ALAMBETA .....	30
10.5 PŘÍSTROJ MARTINDALE .....	31
10.6 PŘÍSTROJ TESTOMETRIC.....	32
10.7 PŘÍSTROJ SDL ATLAS M223B .....	33
<b>11. POPIS POUŽITÝCH VZORKŮ MATERIÁLU A LAMINÁTŮ</b> .....	<b>34</b>
11.1 PLOŠNÁ HMOTNOST .....	35
11.2 TLOUŠŤKA JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ.....	36
<b>12. VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ</b> .....	<b>37</b>
12.1 ZJIŠŤOVÁNÍ PAROPRUPUSTNOSTI.....	37
12.2 ZJIŠŤOVÁNÍ PRODYŠNOSTI .....	38
12.3 ZJIŠŤOVÁNÍ HYDROSTATICKÉ ODOLNOSTI.....	40
12.4 ZJIŠŤOVÁNÍ TEPELNÉ VODIVOSTI A TEPELNÉHO ODPORU.....	42
12.5 ZJIŠŤOVÁNÍ HOŘLAVOSTÍ MATERIÁLŮ.....	43
12.6 ZJIŠŤOVÁNÍ STÁLOSTI PROTI ODĚRU.....	44

12.7 ZJIŠŤOVÁNÍ ODOLNOSTI TEXTILIE V TAHU.....	45
<b>13. POPIS POUŽITÝCH KONKURENČNÍCH VZORKŮ .....</b>	<b>47</b>
<b>14. VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ KONKURENČNÍCH VZORKŮ .....</b>	<b>49</b>
14.1 TLOUŠŤKA JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ.....	49
14.2 ZJIŠŤOVÁNÍ PAROPRUPUSTNOSTI.....	49
14.3 ZJIŠŤOVÁNÍ PRODYŠNOSTI .....	51
14.4 ZJIŠŤOVÁNÍ HYDROSTATICKE ODOLNOSTI.....	52
14.5 ZJIŠŤOVÁNÍ TEPELNÉ VODIVOSTI A TEPELNÉHO ODPORU.....	53
<b>15. POROVNÁNÍ KOMFORTNÍCH VLASTNOSTÍ KONKURENČNÍCH LAMINÁTŮ</b> .....	<b>55</b>
15.1 VYHODNOCENÍ VÝPARNÉHO ODPORU.....	55
15.2 VYHODNOCENÍ TEPELNÉHO ODPORU .....	56
15.3 VYHODNOCENÍ PRODYŠNOSTI .....	58
15.4 VYHODNOCENÍ HYDROSTATICKE ODOLNOSTI .....	58
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>66</b>



## ZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ANOVA	Analysis of variance (analýza rozptylu)
apod.	a podobně
Atd	a tak dále
cm	Centimetr
cm <sup>2</sup>	centimetr čtvereční
cm·s <sup>-1</sup>	centimetr za sekundu
ČSN	České technické normy
EN	Evropské normy
g/m <sup>2</sup>	gram na metr čtvereční
H	tloušťka materiálu [mm]
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní normy)
l/m <sup>2</sup> /s	litr na metr čtvereční za sekundu
LOI	Limiting Oxygen Index (Limitní kyslíkové číslo)
M	plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]
M	hmotnost zkušebního vzorku [g]
mm <sup>2</sup>	milimetr čtvereční
MS	průměrný čtverec
MTM	Made to measure
nm	Nanometr
P	relativní propustnost pro vodní páry [%]
PA	Polyamid
Pa·m <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	pascal na metr čtvereční lomeno watt
PL	Polyester
PTFE	Polytetrafluoroetylén
PU	Polyuretan
q <sub>o</sub>	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem[W/m <sup>2</sup> ]
q <sub>v</sub>	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem[W/m <sup>2</sup> ]
R	plošný odpor vedení tepla[m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> ]
Ret	výparný odpor
S	směrodatná odchylka
s <sup>2</sup>	Rozptyl
SS	Součet čtverců
TÚPO	Technické ústav požární ochrany
V	variační koeficient
µm	Mikrometr
°C	stupeň Celsia
%	Procento
95% IS	95%-ní interval spolehlivosti

## 1. ÚVOD

Oblečení je používáno jako ochrana před nepříznivým počasím. Dnes je samostatný druh oblečení - ochranný oděv. Ochranný oděv musí obhajovat lidský organismus před okolními nepříznivými podmínkami.

Název této diplomové práce je vývoj laminátu s nanovláknennou membránou pro ochranné oděvy pro hasiče, zde jsou vysvětleny pojmy týkající se komfortu a problematiky ochranného oděvu, popsány druhy membrán a vysvětlena operace laminace.

Hlavním cílem diplomové práce je vývoj laminátu pro ochranné oděvy pro hasiče, laminace nanovláknenného materiálu na nehořlavý materiál, porovnávat komfortní vlastnosti laminátu s mikroporezní membrány firmy Gore-tex a laminátu s nanovláknenné membrány firmy NANOMEMBRANE.

Je nutné nezapomínat na to, že oděv proti teplu je pro hasiče důležitým ochranným prostředkem. Poskytuje mu totiž vyšší stupeň ochrany, čímž posouvá hranice jeho možností. Oděvy musí splňovat mnohé zásady, které určují dané normy. Na správně vybraném ochranném oděvu závisí celý chod výroby. Pokud nebudou vhodně voleny ochranné oděvy, může na nich záviset dokonce život pracovníka, který oděv nosí. Proto je opravdu nutné dbát na normy a tyto předpisy dodržovat. Má velké množství kritérií pro oděv hasiče, jeden je o tom, že materiál musí být prodyšný a komfortní při nošení po delší dobu. Z tohoto důvodu v této práci je potřeba odhadnout zvýšení komfortních vlastností pro oblečení hasiče. Tyto vlastnosti jsou pro ochranné oděvy velice důležité nejen z hlediska komfortu, ale především bezpečnosti osob, které oděvy nosí.

## 2. OCHRANNÝ ODĚVY

Ochranné oděvy chrání člověka před nepříznivými vlivy, se kterými přichází do styku. V další části jsou popsány materiály, používané na ochranné oděvy hasiče, obecné zákonitosti těchto oděvů a související normy.

### 2.1 Materiály používané na ochranné oděvy hasiče

Použitý materiál omezuje šíření plamene po povrchu oděvu, nesmí se tavit, vznítit či odkapávat. Oděvy jsou pro dosažení co nejlepších vlastností vrstvené. Musí vykazovat pevnost v tahu a odolnost proti roztržení.

Nebezpečí při hašení požárů [2]:

- Bezprostřední kontakt s ohněm
- Vysoké teploty
- Velmi intenzivní sálavé teplo
- Možnost působení chemických látek, které jsou pro organismus nebezpečné
- Úraz od elektrického proudu
- Působení ozónu nebo UV záření
- Penetrace vody a vodní páry
- Úraz pořezání či popíchnání ostrými předměty
- Nedostatek kyslíku a kontaminace vzduchu nebezpečnými látkami
- Na základě účinku vody a vodní páry může dojít ke snížení izolační schopnosti oděvu
- Nedostatku O<sub>2</sub> nebo kontaminaci nebezpečnými chemickými látkami

Oblasti působení tepla a plamene [2]:

- „BĚŽNÁ“ - jedná se o podmínky, ve kterých pouze jeden a nebo dva objekty v místnosti hoří. Může se jednat např. o odpadkový koš a nebo postel. Oběv hasičů velmi dobře zvládne toto tepelné zatížení.
- „STANDARDNÍ“ – jedná se o hlášení požárů, které jsou vážnější a nebo které následují po „Flash-overu“, kdy dojde k náhlému vzplanutí v místnosti. (60°C do 300°C)
- „NOUZOVÁ“ - k „Flash-overu“ došlo uvnitř místnosti a nebo došlo k přímému působení ohně. (Norma ASTM E 176 definuje „Flash-over“ takto: „Jedná se o rychlý

přechod do stavu, kdy všechny povrchy hořlavých materiálů uvnitř uzavřeného prostoru zachvátí oheň“)

Materiály nesmí být překážkou při zásahu, nesmí ohrožovat nositele. Pro výrobu oděvu pro hasiče se používají vlákna odolná proti teple. [2]

V aplikacích vyžadujících tepelné odolná vlákna s minimální hořlavostí jsou používána vlákna:

- M-aramidy (meta-aramidy),  
dobrá tepelná odolnost, LOI = 30, pevnost, nevzněcují se, ani netaví, při zvýšených teplotách udržují po delší dobu mechanickou pevnost, elektrické izolační schopnosti, zástupcem je Nomex (DuPont).
- P-aramidy (para-aramidová vlákna),  
vysoká pevnost a tepelná odolnost, LOI = 28, vysoká pevnost v tahu, nízká chemická odolnost a oděruvzdornost, používají se pro směsi s jinými vlákny, jedná se např. o KEVLAR (DuPont), Technora (Teijin).
- PTFE (polytetrafluorethylén),  
chemická odolnost, nehořlavá, LOI = 95, nízký součinitel tření, poměrně výrazná trvalá deformace za vyšších teplot, z toho důvodu směšována s p-aramidy, TEFLON (DuPont), Toyoflon (Toray).
- PS (polyfenylénsulfid),  
díky vysokému LOI=34 dobrá odolnost vůči plamenům, vynikající chemická odolnost, málo navlhavá, nízká odolnost vůči světelnému a UV záření, nekomfortní, což omezuje aplikaci na oděv, Ryton (Amaco), Procon (Toyobo).
- PBO (polyfenylenbenzobioxazol),  
vynikající tepelné vlastnosti, LOI = 68, vysoká pevnost v tahu, nízká hodnota srážení při extrémně vysokých teplotách, velmi dobrá odolnost vůči oděru, creepu a chemikáliím, odolnost vůči organickým rozpouštědlům, nízká odolnost vůči UV záření, nízká pevnost v tlaku, ZYLON ( Toyobo).
- PBI (polybenzimidazol),  
neobyčejná chemická a tepelná stabilita, vysoká hodnota LOI=45, dobře se míchá s jinými druhy vláken, nízké stálost vůči UV záření.

- Melaminoformaldehyd,  
vysoká hodnota LOI=32, vysoká pracovní teplota, nízká pevnost, vynikající odolnost vůči zásadám a organickým rozpouštědlům, průměrná odolnost vůči kyselinám, obtížnost ve zpracování, z toho důvodu se nepoužívá samostatně, ale ve směsi jinými vlákny, BASOFIL (BASF).
- PI (polyarimid),  
vyjímečná chemická odolnost, vyjímečná odolnost proti ohni, LOI=38, vysoká pracovní teplota, P-84 (Inspec).
- C-P (uhlíkový prekurzor),  
dobrá odolnost proti ohni, relativně nízká pevnost v tahu, z toho důvodu se míchá s jinými vlákny např. s para-amidovými, LASTAN (Asahi).
- HDPE (vysokohustotní polyetylen)  
lehké, řezu odolné, vysoká pevnost, Spectra (Honeywell).

Pro účely této práce se budeme dále zabývat pouze materiálem NOMEX. Nomex je aramidové vlákno skupiny meta – aromatických polyamidů firmy DuPont. Toto vlákno má především termickou odolnost a elektrické izolační schopnosti. Nomex odolává dlouhou dobu teplotám až 300°C, jeho hustota je 1400 kg/m<sup>3</sup>. Nomex je levnější, méně tuhý i méně pevný, lehce barvitelný oproti kevlaru a je odolný vůči chemikáliím a taky nehořlavost, tomu odpovídá LOI=26 %. [18]

## 2.2 Typy a požadavky na vlastnosti ochranný oděvy pro hasiče

V této kapitole se budeme zabývat tím, jaké vlastnosti by měly ochranné oděvy splňovat. Na ochranné oděvy jsou kladeny vysoké nároky týkající se bezpečí člověka, který oděv nosí a komfortu, který je také velmi nezbytný pro jeho pohodlí. Ochranné oděvy musí pracovníkovi poskytovat ochranu proti řadě potenciálních rizik, se kterými přichází do styku.

Oděv se nosí pouze po krátkou dobu k tomu, aby umožnil hasiči provést specifické vysoce rizikové hašení a záchranné práce při požárech vyžadujících použití dýchacích přístrojů a ochranu hlavy, paží a nohou.

Vývoj v oblasti materiálů vede ke zlepšení klimatu pracovních oděvů a ke větší volnosti pohybu. Některé oděvy proti teplu jsou vybaveny vlhkostní bariérou, která brání průniku kapalin dovnitř a propouští vodní páry ven z oděvu. Díky využití vláken vyrobených nejnovějšími technologiemi se dosahuje snížení hmotnosti a pohodlnějšího nošení.

Oděv musí mít takové vlastnosti, že dokáže ochránit trup, paže a nohy. Musí být ušit z jednoho kusu, popř. mohou mít dva díly, které se dostatečně překrývají.

Základními vlastnostmi oděvů proti teplu chránících zasahujícího hasiče proti teplu a ohni (okolní teplota – rovnovážná teplota v okolí, styk s plameny) je ochrana:



- proti plameni a intenzivnímu sálavému teplu,
- proti prostupu tepla sáláním, prouděním a vedením.

Kriteria pro oděvu [2]:

- materiály, které jsou využity k výrobě těchto oděvů, musí být odolné, a to jak proti roztržení a oděru, tak také proti fyzikálnímu prostředí,
- materiály musí být schopny odolat popálení a kontaktu s plamenem,
- ve chvíli, kdy působí tepelné proudění a nebo sálání, musí tyto materiály odolat přestupu teplot a vedení tepla, čímž by mohlo dojít k popálení kůže,
- oděv musí být velmi dobře viditelný i v noci,
- oděv musí být velmi dobře prodyšný a pro nošení komfortní,
- i při opakovaném vyprání musí tyto oděvy zachovat původní velikosti.

Hlavní požadavky na oděvy do konkrétních prostředí jsou udávány normami ČSN EN, ISO. Každá součástka osobní výstroje musí odpovídat přesně stanovené normě a pro použití v České republice musí mít atestaci od Technického ústavu požární ochrany (TÚPO). Dnešní výstroj pro hasiče musí být otestován na odolnost proti teplu, šíření plamene a přestup tepla. Materiál oděvu při styku s plamenem nebo s malými hořícími částicemi pouze zuhelnatí, ale oheň se dále nešíří, a tím se zabrání úrazům vznikajícím kontaktem s hořícím oděvem. [2]

**Tabulka 1:** Testování oděvu

Testování podle EN ISO 15614:2007 	Šíření plamene Přestup tepla –sálavé teplo Odolnost proti teplu při 180°C Odolnost šicí nitě proti teplu při 260°C
Testování podle EN 11612:2008 	Odolnost proti teplu při 180°C Omezené šíření plamene Konvekční teplo

Typy:

- JEDNOVRSTVÉ (nehořlavý materiál)
- VÍCEVRSTVÉ
  - vrchový materiál (NOMEX, X-FIPER ARAMID, CarbonX, EUROPROTECT KEVLAR TWIN a atd.)
  - membrána
  - podšívka

Požadavky na vlastnosti jednotlivých vrstev [2]:

- vnější vrstva musí být tepelně odolná, ořevzdorná, trvale antistatická, a současně ohebná, lehká, musí si zachovávat pružnost i za extrémních teplot a stálobarevnost,
- vlhkostní bariéra musí zabraňovat pronikání vody a kapalných chemikálií k tělu hasiče, zároveň by měla být prodyšná a umožňovat odpaření potu od těla hasiče, současně má být lehká, ohebná a zachovávat všechny tyto vlastnosti i za extrémních teplot
- tepelná vložka musí být trvanlivá, ohebná a zachovávat si pružnost i za extrémních teplot, musí poskytovat rovnováhu mezi potřebnou tepelnou ochranou a účinky tepelného stresu.

### 3. VÝROBCI OCHRANNÝCH ODĚVŮ PRO HASIČE

Ve Světě existuje několik výrobců membrán, avšak pro ukázkou byli vybráni dva. Prvním zmíněným výrobcem je velmi známá zahraniční společnost GORE-TEX, která funguje již od roku 1976. Druhým výrobcem je česká firma NANOMEMBRANE. Také bylo popsáno pro velmi známá zahraniční společnost DuPont, která vyrábí nehořlavý materiál NOMEX.

#### 3.1 Společnost GORE-TEX

V roce 1959 Wilbert L. a Genevieve Goreovi založil v suterénu svého domu v Newarku ve státě Delaware společnost W. L. Gore & Associates. Pak v roce 1969 syn Bob Gore vytváří PTFE neboli expandovaný polytetrafluoroetylén tím, že za určitých podmínek rychle roztáhne polytetrafluoroetylén. Výsledkem je neuvěřitelně silný, mikroporézní materiál s mimořádnými vlastnostmi včetně nízké absorpce vody a dobré odolnosti vůči povětrnostním vlivům. V roce 1976 Gore dosáhl poprvé komerční objednávku na materiál GORE-TEX® – prodyšnou, nepromokavou a větruvzdornou textilii. [18]

GORE-TEX je výrobní společnost působící v řadě oblastí po celém světě. Poskytuje svým odběratelům licenci na výrobu outdoorového oblečení a ochranné oděvy z laminátů společnosti GORE-TEX. Lamináty od GORE-TEX jsou světovým lídrem v oblasti bezpečnostních a osobních ochranných pracovních prostředků.

Membrány od společnosti GORE-TEX je velmi drahý, vysoká cena membrány je pro odběratele kompenzována vysokou mírou kvality samotné membrány, špičkovým zázemím pro odběratele a obrovskou marketingovou podporou. [1]

Popis membrány GORE-TEX: druh – mikroporézní, materiál – PTFE, propustnost vodních par -  $< 3; < 5; < 6$  Ret [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ ], vodní sloupec - až 60 m.

#### 3.2 Společnost NANOMEMBRANE

Firma vznikla v roce 2016. Jedná se o jediného výrobce porézní membrány v Čechách, membrána od společnosti NANOMEMBRANE je vyrobena z nanovláken a stává se tak jediným výrobcem nanovláčkových membrán na světě. [1]



Výrobní činnost firmy je zaměřena především na zakázkovou výrobu laminátu pro outdoorové oblečení a ochranné oděvy. Firma je zároveň výrobcem laminátu s nanovláknennou membránou pro různé oděvy. Výrobní činnost je zaměřena především na:

- lamináty pro sportovní a outdoorové účely,
  - lamináty pro fashion účely,
  - speciální řadu laminátů s nanovláknennou membránou pro obuv,
  - lamináty do rukavic pro sportovní a outdoorové aplikace,
  - produktovou řadu nanovláknenných membrán pro armádu, policii, civilní složky atd.
- [19]

Popis membrány NANOMEMBRANE: druh – nanovláknenná, materiál – PA 6, propustnost vodních par -  $< 1,5; < 5,5 \text{ Ret [Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}]$ , vodní sloupec – 10-15m.

### 3.3 Společnost DuPont

Velmi známá zahraniční společnost DuPont je výrobcem materiál NOMEX. Americká společnost E. I. du Pont de Nemours and Company je také známá jako DuPont. Jedná se o jednu z největších světových firem, která se zabývá chemickou výrobou, zejména výrobou a zpracováním polymerů. Firmu založil v roce 1802 Irénée du Pont jako malou továrnu zabývající se výrobou trhavin. V současnosti tvoří širokou paletu produktů firmy potraviny, elektronika, barvy, plasty a mnoho dalších. Světovou proslulost získaly firmě patenty na materiály jako Nylon, Teflon, Lycra, Kevlar, Nomex.

Sílo firmy DuPont je ve Wilmingtonu, který se nalézá ve státě Delaware. Tento koncern měl v roce 2006 obrát 29 miliard dolarů za rok. Na celém světě zaměstnával cca 60 000 pracovníků.

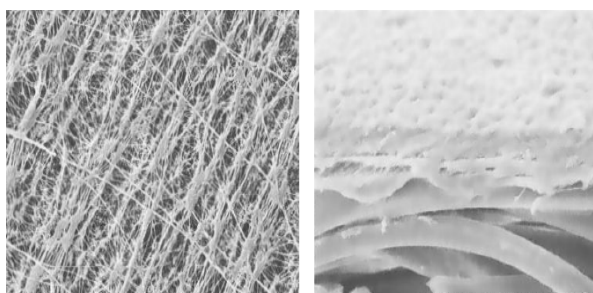
Firma už více než 30 let stojí na špici ve vývoji účinných ochranných oděvů proti ohni, žáru a plamenům. Velká část vývoje vláken NOMEX® se uskutečňuje ve Španělsku, ve výrobním závodě ve městě Asturias. [20]

#### 4. MEMBRÁNY

Membrány jsou velice tenké filmy, které se vyrábí z polymerních materiálů. Konstruuji se tak, že mají vysokou odolnost proti průniku vody, ale nedovolují, aby pronikla vodní pára. Typická membrána je okolo 10  $\mu\text{m}$  silná a z toho důvodu je nalaminována na vhodný textilní materiál. Je možné rozlišit dva základní typy membrán: hydrofobní mikroporézní a hydrofilní neporézní. Odlišnost je možné nalézt hlavně v tom, jaký mají mechanismus propustnosti vodní páry. [1]

##### 4.1 Hydrofobní mikroporézní membrány

Hydrofobní mikroporézní membrány jsou vyrobeny z rozpínavého PRFE. Je to tenký film, který obsahuje 1,4 miliard pórů/ $\text{cm}^2$ . Jednotlivý pór je 700 větší než molekula vodní páry a zároveň 20 000 krát menší než kapka vody. Samotný má velikost póru 2-3  $\mu\text{m}$ . Na základě toho se zajišťuje vysoká propustnost vodních par a nepromokavost výrobku. [1]



**Obrázek 1:** Povrch hydrofobní mikroporézní membrány a příčný řez membránou

##### 4.2 Hydrofilní membrány

Hydrofilní membrány mají charakteristiku tenkého filmu vyrobeného z chemicky modifikovaného polyesteru a nebo také polyuretanu. PL a nebo PU se modifikují polyeylenoxidem. Tyto filmy jsou prosty jakýchkoliv pórů, a proto se také označují jaké neporézní. Jejich struktura je velice pevná a kompaktní. Umožňují tak přenášení velkého množství vodní páry na základě molekulárního mechanismu (absorpce – difúze – desorpce). Amorfní oblasti polymeru jsou součástí hydrofilní části membrány. [1]

Na obr. 2.1 jsou popsány amorfní části jako činnosti mezimolekulárních „pórů“ dovolující molekulám vodní páry prostoupit, ale zabraňují pronikání kapek vody, obr. 2.2 znázorňuje schéma prostupu vodní páry neporézní PU membránou. [1]



## 5. PŘÍPRAVA NANOVLÁKEN

Nanovlákná lze vyrobit několika postupy, níže je uveden postup elektrostatického zvlákňování, který se jako jediný zdá být schopen masové výroby jednotlivých kontinuálních nanovláken různých polymerů a tedy komerčně využitelným.

### 5.1 Elektrostatické zvlákňování nanovláken

Elektrostatické zvlákňování je způsob přípravy ultra jemných vláken z polymerního roztoku nebo polymerní taveniny pomocí elektrostatických sil. Častěji jsou ale zvlákňovány polymery ve formě roztoku, protože vyšší viskozita polymerních tavenin nedovoluje utváření jemných vláken. Touto metodou byly již zvlákňovány různé druhy polymerů přírodních i syntetických.

Nanovlákná jsou vlákna, jejichž průměr se pohybuje v submikronovém rozsahu. Elektrostaticky zvlákňovaná nanovlákná mají řadu významných vlastností, které je činí výbornými kandidáty pro širokou škálu aplikací jako vysoce účinné filtry, separační membrány, výztuhy pro kompozitní materiály, biologické aplikace, tkáňové inženýrství, ale i jako nanoelektrická zařízení a vodíkové nádrže pro palivové články. Je možné tvrdit, že nanovlákná patří mezi materiály budoucnosti.

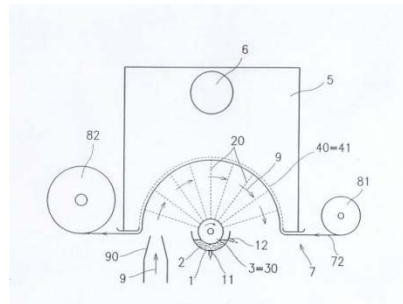
Velmi jemná vlákna s průměrem vláken řádově v nanometrech se vyznačují několika výjimečnými vlastnostmi jako je velký měrný povrch vláken, což je poměr povrchu vláken k jejich objemu, velká pórovitost vlákenné vrstvy a malý rozměr pórů.

### 5.2 Metoda Nanospider

Tento způsob přípravy nanovláken byl vyvinut na Katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci. Princip Nanospideru<sup>TM</sup> je založen na objevu, že je možné vytvořit Tayloruv proud také z tenké vrstvy roztoku polymeru. Na rozdíl od ostatních metod Nanospider nepoužívá žádný trysky ani kapilár pro tvorbu vláken, ale používá válec. Válec je částečně ponořený v roztoku polymeru a jak se otáčí, nanáší na sebe určité množství roztoku polymeru, to je přinášeno na vrchní část válce, kde se tvoří Tayloruv kužel – počátek tvorby nanovláken. Taylorovy proudy jsou vytvářeny blízko vedle sebe po celé délce válce, čímž je dosaženo vysoké výrobní kapacity zvlákňování hlavy Nanospideru<sup>TM</sup>. Proudů roztoku polymeru jsou poté odpařením rozpouštědla přejmenovány a stávají se pevnými nanovláknými před tím, než dosáhnou protější sběrné elektrody. [3]

Její produktivita je podstatně vyšší než produktivita ostatních metod. Vzhledem k časté toxicitě rozpouštědel je metoda určena pro zpracování vodorozpustných systémů, což ale nevylučuje možnost vytvořit nanovlákná i z jiných polymerů než těch rozpustných ve vodě. Jak již bylo řečeno, vlákna jsou formována pomocí elektrostatického pole z tenké vrstvy polymerního roztoku a jsou sebrána na kolektoru ve formě netkané textilie. Průměr vláken se pohybuje v rozsahu 100-300 nm a plošná hmotnost nanovláknenných vrstev připravených touto cestou je 0,1-20 g·m<sup>-2</sup>. [16]

Tato technologie je velmi mnohostranná a splňuje všechny náročné požadavky, jako jsou snadná přizpůsobitelnost výrobních parametrů a flexibilita nastavení dle individuálních představ výroby nanovláken.



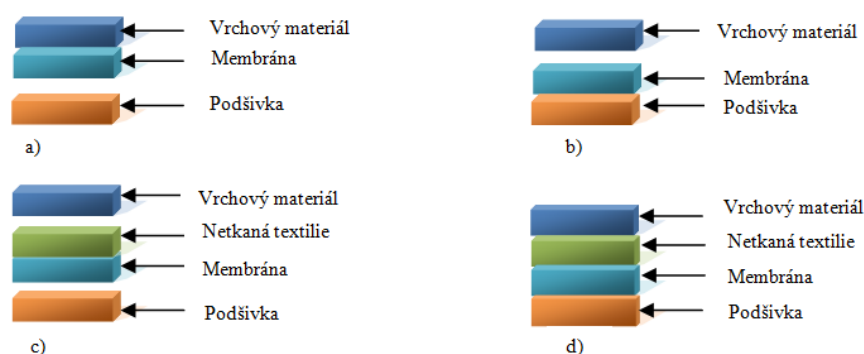
**Obrázek 4:** Schéma Nanospideru – zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním [17]

## 6. ZPŮSOBY LAMINOVÁNÍ

Hlavním důvodem nanášení membrán na textilní materiály je ochrana od vnějších vlivů. Laminováním na textilní materiály nesmí dojít ke zhoršení klasických textilních vlastností a zároveň musí být dosaženo zlepšení funkčních činností. Způsob laminování je závislý na ceně, funkčních požadavcích a postupu výroby. [1,4,5]

Konstrukční provedení membrán [1,4,5]:

- membrána laminovaná na vrchový materiál, nebo podšívku (dvouvrstvý laminát). Na obr. 5 a) je membrána přichycena na rubní stranu vrchového materiálu laminováním, nebo na obr. 5 b) je připevněna na lící stranu podšívky. Jako nezávislá vrstva se v prvním případě používá podšívky, ve druhém vrchový materiál. Tím se vytvoří dvouvrstvý systém. Nezávislá vrstva má za úkol chránit membránu před poškozením. Používá se k výrobě ochranného a sportovního oblečení
- konstrukce volně vložené vrstvy (Z-liner). Obr. 5 c) znázorňuje laminování membrány na lehký textilní materiál, jako je pletenina nebo netkaná textilie. Toto uspořádání je pak volně vloženo mezi vrchní materiál a podšívku. Výhodou této metody je měkký omak a dobrá splývavost. Používá se na oděvy s městským charakterem, není vhodný pro použití v extrémních klimatických podmínkách.
- laminování membrány na vrchový materiál a podšívku (třívrstvý laminát). Obr. 5 d) ukazuje spojení vrchového materiálu, membrány a podšívky v jeden kompaktní systém.



**Obrázek 5:** Dvouvrstvý laminát a), b), Z – liner c), třívrstvý laminát d)

Způsoby laminování [4]:

- prostřednictvím bodového nánosu pasty a šablony na kalandru.
- za pomoci polyuretanového lepidla střední viskozity mezi dvěma válci a sušení relativně nízkou teplotou 75 – 130<sup>0</sup> C. Válce jsou dvojího typu, horní je ocelový a spodní válec je potažený gumou.
- kašírováním (provádí se prostřednictvím plamene)
- ultrazvukem

Nánosování:

Pro vznik laminátu je třeba nanést a upevnit na textilní materiál pojivo. Tomuto procesu se říká nánosování a může být prováděno více postupy. Pro nánosování musí být sladěna struktura a hmotnost nosné textilie s množstvím a velikostí bodů pojiva. Pojivová vrstva, kterou nanášíme, může být spojitá, nebo nespojitá. Pro vytvoření laminátu s nízkou tuhostí, měkkým omakem a dobrou propustností pro vodní páry a vzduch se většinou používá technologie nespojitě vrstvy nánosování. [6]

Nespojitě vrstvy docílíme [6,7]:

- nánosování posypem – rozmístění pojiva je nepravidelné
- nánosování tiskem a posypem – bikomponentní bod
- nánosování z taveniny (Hot Melt)
- nánosování tiskem - rozmístění pojiva je pravidelné

Pro účely této práce se budeme dále zabývat pouze nánosováním tiskem. Pro nánosování tiskem se užívají dva technologické postupy, a sice práškový bodový způsob a pastový způsob. Na základní textili se v bodech nanášejí aglomerované útvary pojiva (velikost a tvar aglomerovaných útvarů není závislý na velikosti částic prášku).

Rozeznáváme dva druhy práškového bodového nánosování – sítotiskový způsob a hlubotiskový. Pro hlubotiskový způsob nánosování se používají dvouválcové, nebo tříválcové kalandry. Nánosovací válec má na povrchu gravuru, která odpovídá požadovanému vzoru nánosu. Ostatní válce jsou hladké a jsou přizpůsobeny pro vytápění kapalným médiem. Násypka přilehlá k nanášecímu válci obsahuje polymerní práškové pojivo a plní gravuru na nánosovacím válci, jehož přesné množství je zajištěno funkcí stěrky. [6,7,8]

## 7. KOMFORT

Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat. Komfort je vnímán všemi lidskými smysly kromě chuti, v následujícím pořadí důležitosti: hmat, zrak, sluch, čich. Komfort lze jednoduše definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů. Komfort dělíme na psychologický, sensorický, termofyziologický a patofyziologický.

### 7.1 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla. Pohodlně a příjemně se člověk cítí pouze v malém rozsahu teplot, relativní vlhkosti a proudění vzduchu. Je to dáno stavem termofyziologického komfortu při teplotě pokožky 33-35<sup>0</sup>C, při nepřítomnosti vlhkosti na pokožce, a kdy se relativní vlhkost vzduchu pohybuje v rozmezí 50 ± 10 % a rychlost proudění vzduchu je 25 ± 10 cm/s. Oděv proto musíme volit podle klimatických podmínek tak, aby se člověk cítil pohodlně a příjemně. [9]

K docílení úplného komfortu by uživatel měl oděv správně vrstvit. Komfort se dělí na psychologický, termofyziologický, sensorický a patofyziologický. Pro účely této práce se budeme dále zabývat pouze termofyziologickým komfortem. Pokud jsou termofyziologické funkce v optimální hladině vnímá ho lidský organismus jako stav pohodlí. Tento stav je charakterizován dvěma parametry, a sice tepelným a výparným odporem. Výparný odpor hraje důležitou roli při ochlazování těla – odpařování potu z povrchu pokožky. Paropropustnost (výparný odpor) je charakterizována tepelnými účinky vnímanými pokožkou v důsledku odparu potu. Záleží na vlhkostním gradientu, při zvýšené námaze tělo zvyšuje odvod tekutin, tedy pocení. [9]

Paropropustnost je to schopnost textilie propouštět vodní páru (pot) produkované nositelem do okolního prostředí. Lidské tělo produkuje pot při jakékoliv činnosti, při vyšší aktivitě dochází i k výraznější produkci vodních par. Oděv v různých vrstvách by měl být paropropustný, aby byl zajištěn komfort pro nositele. Měření paropropustnosti může být



prováděno na přístroji Permetest. Jeho výhodou je poměrně rychlé měření a malé rozměry přístroje. Čím je výparný odpor menší, tím je materiál paropropustnější. Nejlepší materiály udávají hodnotu Ret nižší, než  $6 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ . Prodyšnost je vlastnost oděvu propouštět vzduch skrz textilii z vnějšího prostředí k nositeli a dále odvádět teplo od těla. Což je umožněno pomocí ventilace, pokud je oděv dostatečně prodyšný a venkovní vzduch je chladnější. [5]

Prodyšnost – propustnost textilie pro vzduch se měří na přístroji FX 3300 firmy TEXTTEST AG. Jde o rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo zkušebním vzorkem při stanoveném tlaku a době. Tlakový spád udává rozdílné hodnoty tlaků před a za textilií, kdy tlak za textilií je menší. Výhodou vrstveného oděvu je uzavření více vzduchu v mezivrstvách, a tím přispívá ke zvýšení tepelného odporu oděvu. [9]

Hydrostatická odolnost se udává v metrech vertikálního vodního sloupce, kdy tkanina propustí první kapky vody. Nepromokavost je schopnost tkaniny zabránit průniku vody zvenčí. Nepromokavost je tím vyšší, čím vyšší je vodní sloupec. Existuje několik způsobů měření hydrostatické odolnosti. Nepromokavost udává hodnoty vlastního materiálu, nikoliv výrobku jako takového. Test nehodnotí výrobek v pohybu, kdy namáhání a tření ovlivňují tlaky, které jsou při aktivní činnosti vyšší, než při statickém hodnocení. Nepromokavost může být negativně ovlivněna i konstrukčními prvky výrobku, prošívání, zipy. [5,9]

## **7.2 Proč zvýšení komfortních vlastností je důležité pro oblečení hasiče**

Paropropustnost není jen komfort při nošení. Vzhledem k tomu, že se požárníci při své těžké práci velmi potí, je důležité zajistit jim dostatečné snížení tělesné teploty. Při hašení požáru, jehož teplota se pohybuje okolo  $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , stoupne tělesná teplota hasiče během jedné minuty o  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . V případě, že tělesná teplota stoupne o  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , může tento teplotní skok způsobit ztrátu paměti a orientace. Při zvýšení tělesné teploty o  $7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  mohou nastat fatální následky, může vést až ke smrti. Za stejnou dobu a za stejných podmínek různých požárů, hasič ztrácí  $1,5 \text{ kg}$  tělesné hmotnosti nebo  $1,4 \text{ l}$  potu. To je množství potu, které průměrně člověk ztrácí v průběhu celého dne. Tělesná teplota je vyšší než obvykle, již při běžném nošení oblečení a předepsané požární výzbroje. Proto je paropropustnost životně důležitou vlastností oblečení pro hasiče. Hydrostatická odolnost má také vliv na práci hasiče. Průměrná hmotnost kompletu oblečení a požární výzbroje je  $30 \text{ kg}$ , zvýšení hmotnosti oděvu z důvodu namáčení není jenom nepohodlí, ale může také hasiče omezovat při jeho práci. [15]

Z těchto důvodů můžeme říct, že zvýšení komfortních vlastností je důležité pro ochranné oděvy pro hasiče.

## 8. NÁVRH EXPERIMENTU

Experimentální část diplomové práce bude zaměřena na vytvoření třívrstvého laminátu. Vybrané textilie nechám slaminovat s nanovláknennou membránou a získané lamináty podrobím podobným zkouškám, jako samotné textilie. Laboratorní zkoušky budou probíhat v klimatizované laboratoři na Katedře hodnocení textilií a na Katedře oděvnictví Technické univerzity v Liberci.

V první řadě změřím plošnou hmotnost, která je směrodatným ukazatelem. Cílem je stanovení maximální a minimální hmotnostní hranice jednotlivých vrstev a laminátů. Plošná hmotnost samotné membrány je v průměru  $5 \text{ g}\cdot\text{m}^2$ , po připočtení laminačního lepidla uvažuji dalších  $10 \text{ g}\cdot\text{m}^2$  nezbytné hmotnosti. Následujícím krokem je zjištění termofyziologických vlastností. U dostupných textilií a laminátů zjistím paropropustnost, prodyšnost a vodní sloupec. Výparný odpor nižší, než  $6 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$  je označován, jako "velmi dobrý". Nízká prodyšnost textilie je žádoucí, měla by eliminovat prodyšnost celého laminátu. V tomto případě však není rozhodujícím parametrem, protože většinu přicházejícího vzduchu by měla zastavit membrána samotná. Dále přistoupím k měření vodního sloupce, všechny vrstvy otestuji na hydrostatickou odolnost, přestože samotné textilie bez membrány dosahují nízkých vodních sloupců. Dalším kritériem je odolnost vůči oděru, tedy počtu otáček do porušení vazného bodu. Ostatní vlastnosti doplňují kompletní údaje o textilií a případně vychýlené hodnoty je třeba zvážit při výběru laminátu. Paropropustnost odhaduji na  $4\text{-}6 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ , prodyšnost na  $6\text{-}8 \text{ l}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ . V závislosti na výsledných hodnotách je možné změnit textilie a na základe nových zkušeností vytvořit jiný laminát, lépe splňující požadavky. Z naměřených hodnot můžeme vyhodnotit rozdíly mezi membránami používaných u různých značek.

Pro každý typ vlastnosti byl spočten výběrový aritmetický průměr naměřených hodnot ( $\bar{x}$ ), jejich výběrová směrodatná odchylka ( $s$ ), variační koeficient ( $var$ ), dolní a horní mez 95% intervalu spolehlivosti pro průměr ( $ISd.$ ,  $ISh.$  95%) a rozptyl ( $s^2$ ) podle následujících vzorců:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.2)$$

$$ISd., ISh. 95\% = \bar{x} \pm \frac{s \cdot t_{\alpha}(n-1)}{\sqrt{n}} \quad (1.3)$$

$$var = \frac{s}{\bar{x}} \quad (1.4)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1.5)$$

kde  $n$  je počet měření,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  jsou naměřené hodnoty a  $t_{\alpha} \cdot (n - 1)$  je kritická hodnota Studentova t-rozdělení s  $n-1$  stupni volnosti a hladinou  $\alpha$ .

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 9. LAMINACE

Na začátku samotného experimentu byli vytvořeny vzorky, nánosování bylo provedeno hlubotiskovým způsobem. Stroje Lacomé na místě výroby společnosti NANOMEMBRANE působilo tlakem 3 barů, rychlostí 2 m/min a při teplotě 120°C. Díky těmto parametrům došlo k roztavení laminačních bodů k polyamidového pojiva k vrchovému materiálu a podšívce a tím vznikly třívrstvé lamináty. Teplota 120°C je firmou NANOPROTEX ověřená teplota, při které dojde k ideálnímu roztavení laminačních bodů, a při které u sebe jednotlivé vrstvy laminátu nejlépe drží.

Vznikly lamináty označené jako čísla 1 a 2 z textilií označených A a B (jejich popis je uveden další v této práci).



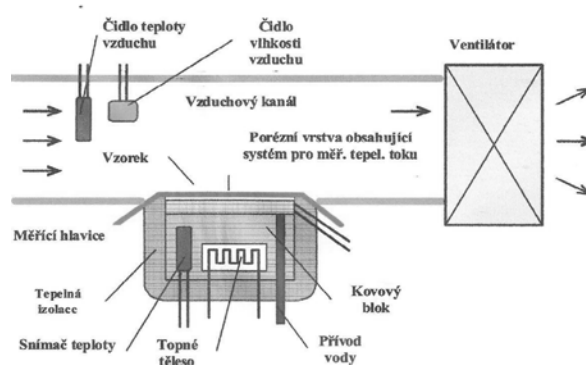
**Obrázek 6:** Stroje Lacomé

## 10. POPIS PŘÍSTROJŮ

Zde je uveden seznam jednotlivých přístrojů, na kterých bylo prováděno měření: PERMETEST, FX 3300, M018 Hydrostatic Head Tester,

### 10.1 Přístroj Permetest

Přístroj PERMETEST je speciální přenosný přístroj umožňující rychlé a zároveň neničivé měření paropropustnosti a tepelného odporu. Přístroj je svou podstatnou tzv. SKIN MODELu, který je malých rozměrů. Je založen na přímém měření tepelného toku, který prochází povrchem tohoto modelu pokožky člověka. Povrch modelu má porézní strukturu a je zavlažován, na základě čehož dochází ke stimulaci funkce ochlazování pocením. Na tento povrch se přiloží přes separační folii měřen vzorek, dochází u vnější strany vzorku k ofukování. [9]



**Obrázek 7:** Schéma přístroje PERMETEST

Při měření je hlavice (skin model) udržována na teplotě okolního vzduchu a tím jsou zajištěny izotermické podmínky měření. Vlhkost, která se nachází v porézní vrstvě, se mění v páru, která dokáže projít přes separační fólii vzorku. Výparný odpor se měří pomocí speciálního snímače a jeho hodnota je přímo úměrná polopropustnosti textlie. Je také možné říci, že je nepřímou úměrná tomu, jaký je její výparný odpor. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté znovu se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky. [9]

Permetest měří propustnost vodních par a tepelný odpor. [5,9]

Pro měření propustnosti vodních par  $p[\%]$  platí vzorec dle [9]:

$$p = 100 (q_v/q_0) [\%] \quad (2.1)$$

Pro představu 100 % propustnost znamená, že tepelný tok  $q_0$  vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru jako měřený vzorek. Zakrytím hladiny měřeným vzorkem se tepelný tok sníží na hodnotu  $q_v$ . [9]

Pro měření výparného odporu [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ ] platí vztah dle [9]:

$$\text{Ret} = (P_m - P_a) (q_v^{-1}/q_0^{-1}) \quad (2.2)$$

Měřicí hlavice musí být suchá a udržována na teplotě 10-20°C. Tepelný tok odváděný ze vzorku konvencí do okolního proudícího vzduchu je registrován.

### 10.2 Přístroj FX3300

Přístroj FX3300 slouží k měření prodyšnosti textilií pro vzduch a je výrobkem švýcarské firmy TEXTEST AG. Princip spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy testované textilie a měření takto vyvolaného průtoku vzduchu. Měřená textilie se vkládá do přístroje vcelku a tak není třeba vystříhnout vzorek o speciálních rozměrech. Měření se provádí při klimatických podmínkách a vlhkosti vzduchu, rovnajíc  $t=22^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=45\%$ . Plocha materiálu je upnuta v měřicí hlavici o rozměru  $20\text{ cm}^2$  a tlakovém spádu 100 Pa. Přes upnutou textilií je nasáván vzduch a za pomoci čidel je zaznamenávána hodnota tlaků před a za textilií.[9]



**Obrázek 8:** Přístroj FX 3300

### 10.3 Přístroj M018 Hydrostatic Head Tester

Zjišťování hydrostatické odolnosti bylo prováděno na měřicím zařízení M018 Hydrostatic Head Tester, jak je možné vidět na obrázku 11.



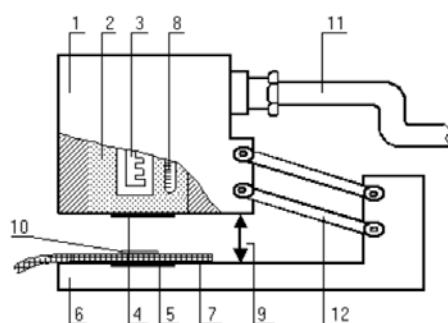
**Obrázek 9:** M018 Hydrostatic Head Tester

Vyjadřuje odolnost plošné textilie proti stále se zvyšujícímu tlaku vody do okamžiku, kdy se na povrchu objeví na třech místech vzorku známky proniknutí vody v podobě kapek. Tlak vody na vzorek při měření působil zespoda. Výsledek zkoušky vyjadřuje odolnost výrobků z plošných textilií proti krátkodobému či střednědobému působení tlaku vody. Zkušební vzorek by měl být vodorovný, bez ostrých ohybů. [10]

#### 10.4 Přístroj Alambeta

Přístroj ALAMBETA, který byl použit, je počítač, který je řízen pomocí komerčního poloautomatu, který dokáže vypočítat statistické parametry měření. Obsahuje také autodiagnostický program, který umí zabránit chybným operacím. [11]

Jedná se o nedestruktivní metodu, kdy je minimální velikost vzorku 10·10 cm, a maximální hranice není omezena. Aby mohlo být dosaženo přesného měření a také nejlepšího tepelného kontaktu mezi vzorkem a měřicí hlavicí, je nutné, aby byly vzorky vkládány bez přehybů, zvlnění nebo nečistot. Místa, která jsou proměřována, je nutné na vzorku rozmístit tím způsobem, aby nedocházelo k opětovnému měření míst, které již byly zahráté. A nebo je nutné počkat, až vzorek úplně vychladne. [11]



**Obrázek 10:** Schéma přístroje ALAMBETA

Vzorek, který je měřen, se položí lícem na spodní část – tedy základnu přístroje, která se udržuje na teplotně okolí. Tento vzorek je pak nutné položit na materiál, který dokáže stimulovat vlhkou lidskou pokožku 10 tak, že se měřicí bod uprostřed plochy, která je navlhčená, se nachází pod středem snímače tepelného toku. Potom dojde ke spuštění hlavice 1, která je o 1 K teplejší než okolí (právě to odpovídá většinou teplotě lidské pokožky). Potom přístroj začne měřit, a to na základě práce snímačů tepelného toku 4, 7. Signály se tak zpracovávají na základě elektroniky přístroje. [11]

Data, která jsou měřena, jsou zpracovávána počítačem. Při statistických měřeních se zpracovává minimálně 3 a maximálně 20. [11]

Součinitel měrné tepelné vodivosti  $\lambda$  je takové množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá; hodnota udávaná přístrojem ALAMBETA se musí dělit 103. [11]

Plošný odpor vedení tepla  $r$  je dán poměrem tloušťky materiálu ( $h$ ) a měrné tepelné vodivosti ( $\lambda$ ). Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor, hodnotu udávaná přístrojem ALAMBETA je nutno dělit 103. [11]

$$r = \frac{h}{\lambda} [\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}] \quad (3)$$

### 10.5 Přístroj Martindale

Obecně je přístroj Martindale složen ze základní desky, na které jsou umístěny oděrací stoly a pohonný mechanismus. Pohonný mechanismus je složen ze dvou vnějších pohonů a jednoho vnitřního pohonu, které způsobují, že vodící deska držáků sleduje Lissajousův 2 obrazec. [12]

Zkoumaný vzorek textilie kruhovitěho tvaru se v oděracím zkušebním přístroji Martindale odírá při stanoveném zatížení o oděrací prostředek (tj. Normovanou vlnařskou textilií) postupným pohybem, který sleduje Lissajousův obrazec. Držák vzorku, ve kterém je uložen vzorek je dále volně otočný kolem své osy, která je kolmá k horizontální ploše vzorku. [13]



**Obrázek 11:** Přístroj Martindale

Na základě dosaženého poškození vzorku se určuje zkušební interval otáček. Při měření zkoumaného vzorku se zaznamenává počet otáček, při kterých ještě nedošlo k poškození vzorku. Horní hranicí je doba, která uplynula před poškozením vzorku a je spodní hranicí intervalu, při kterém k poškození došlo.[13]

### 10.6 Přístroj Testometric

Důležitý ukazatelem plošných textilií je jejich pevnost. Zkoušení odolnosti textilie v tahu spočívá v plynulém zatěžování vzorku textilie do jeho porušení tj. ve zjištění maximální tahové síly a jí odpovídajícího prodloužení. [14]



**Obrázek 12:** Přístroj Testometric

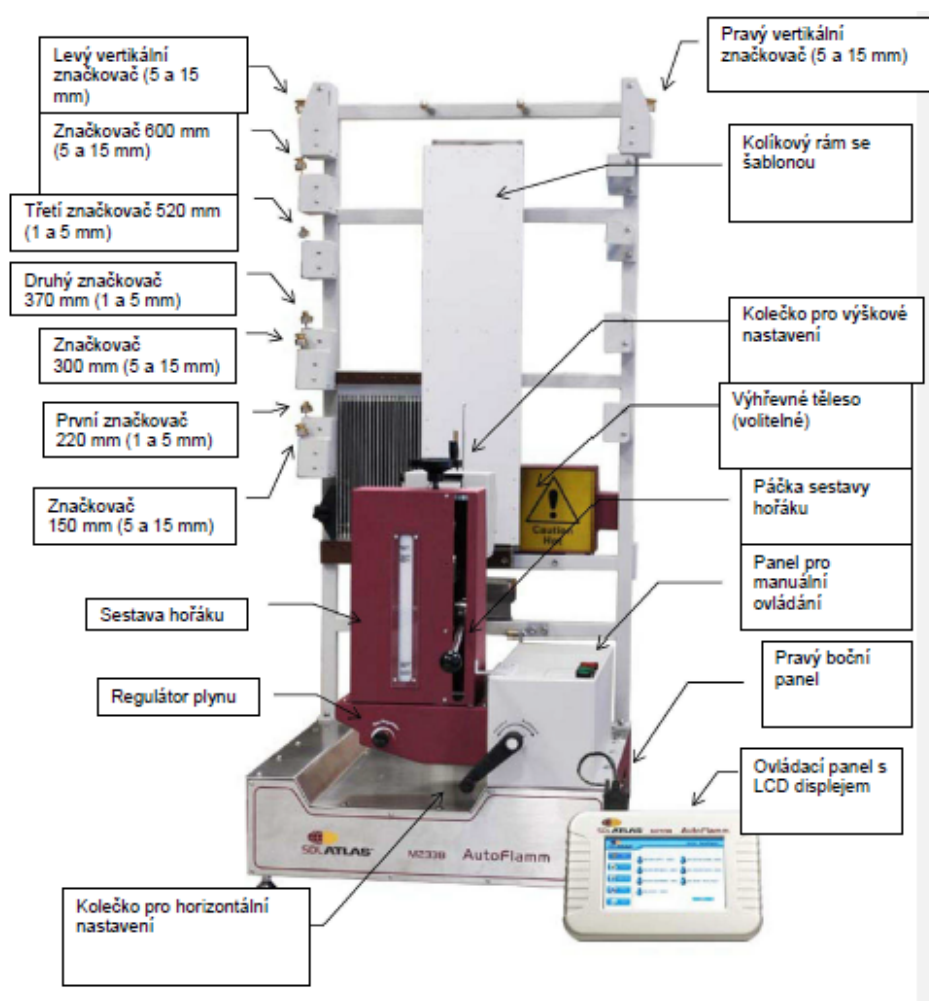
Odolnost v tahu se u tkanin měří na přístroji Testometric (trhačka). Zjišťuje se ve směru osnovy a útku, u pletenin ve směru sloupeků a řádků. Vytvoří se vzorky o rozměrech 30·6 cm, které jsou následně upárány z obou stran na rozměry 305 cm. Upínací délka stroje je 20 cm. Textilie se upevní do čelistí, které jsou od sebe odtahovány až do přetrhu.



### 10.7 Přístroj SDL Atlas M223B

Automatické zařízení pro zkoušky hořlavosti SDL Atlas M223B stanovuje odolnost vůči hořlavosti vertikálně umístěných tkanin a hraček z měkkých látek, měří dobu šíření plamene na vzorcích tkanin, které hoří vertikálně za řízených podmínek vlivu plamene.

Toto automatické zařízení je vybaveno elektromagnetickým plynovým hořákem a nitěmi ovládanými mikrosplínači. Je dodáváno s barevným dotykovým LCD displejem a interaktivním rozhraním. Výsledky testů lze ukládat přímo na USB flash disk bez nutnosti připojení k počítači

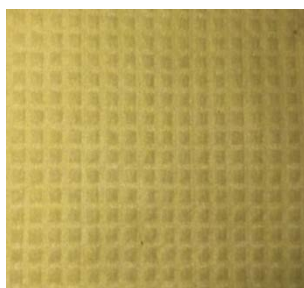


**Obrázek 13:** Přístroj SDL Atlas M223B

Šest sad kolíkových rámců s šablonami lze použít k provedení různých norem. Je nutno, aby se při výběru šablony uživatel seznámil s danou zkušební normou. Ujistěte se, že jste při značení a vyřezávání otvorů pro kolíky tyto otvory vyznačili na vzorku.

## 11. POPIS POUŽITÝCH VZORKŮ MATERIÁLU A LAMINÁTŮ

Tato kapitola obsahuje popis materiálů, použitých pro výrobu laminátů a přímý popis laminátů. U každého ze vzorků je uvedena základní charakteristika, do které byly zařazeny tyto údaje: struktura, materiálové složení, barva. Pojmem struktura textilie je myšleno, zda se jedná o textilií nebo laminát. Materiálové složení bylo stanoveno dle zadaného popisu. Textilie A je nehořlavý materiál NOMEX. Textilie je popsána v tabulce 2.



**Obrázek 14:** Textilie A

**Tabulka 2:** Popis textilie A

Charakteristika	Popis
Struktura	Netkaná textilie
Materiálové složení	Aramidové vlákno skupiny meta – aromatických polyamidů
Barva	Žlutý
Tloušťka [mm]	0,8
Plošná hmotnost laminátu [g/m <sup>2</sup> ]	71

Textilie B je nehořlavý materiál NOMEX. Textilie je popsána v tabulce 3.

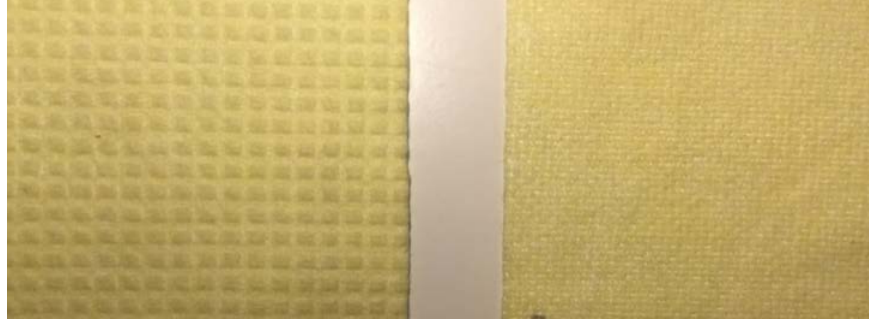


**Obrázek 15:** Textilie B

**Tabulka 3:** Popis textilie B

Charakteristika	Popis
Struktura	Netkaná textilie
Materiálové složení	Aramidové vlákno skupiny meta – aromatických polyamidů
Barva	Žlutý
Tloušťka [mm]	0,6
Plošná hmotnost laminátu [g/m <sup>2</sup> ]	43

Laminát 1 vznikl spojením textilie A, nanovláknenné membrány NANOMEMBRANE a ještě jedné vrstvy textilie A. Laminát 2 vznikl také spojením textilie B, nanovláknenné membrány NANOMEMBRANE a ještě jedné vrstvy textilie B, rozdíl mezi nimi je pouze v tloušťce textilie NOMEX.



**Obrázek 16:** Laminát č. 1 a č. 2

### 11.1 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost byla stanovena dle normy ČSN EN 12127 (80 0849). Jedná se o hmotnost známé plochy plošné textilie, vztažené k této ploše a vyjádřené v gramech na čtvereční metr. Před zkouškou byly všechny textilie uvedeny do stavu bez napětí a 24 h klimatizovány. Od každého materiálu bylo připraveno pět zkušebních vzorků o velikosti 10·10 cm (dle normy, každý o ploše cca 100 cm<sup>2</sup>). Plošná hmotnost každého vzorků (M) v g/m<sup>2</sup> se vypočítá podle vzorce.

$$M = \frac{m \times 10000}{A} \text{ [g/m}^2\text{]} \quad (4)$$

m [g] je hmotnost zkušebního vzorku v klimatizovaném nebo suchém stavu, A [cm<sup>2</sup>] je plocha stejného zkušebního vzorku.

Plošná hmotnost laminátů je uvedena v tabulce 4. Zaměříme-li se na průměrné hodnoty, nejvyšší plošnou hmotnost má laminát č. 1, nejnižší naopak laminát č. 2. Intervalový odhad středních hodnot základních souborů jednotlivých laminátů pomocí popisné statistiky je s pravděpodobností 95% v mezích uvedených v tabulce.

**Tabulka 4:** Plošná hmotnost laminátu

Počet měření	Označení vzorku	
	1	2
	M	M
	[g/m <sup>2</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]
1	165	114
2	172	111
3	158	110
4	161	104
5	169	109
Průměr	165,00	109,60
Sm.odch	5,70	3,65
Rozptyl	32,50	13,30
Isdol.m.	161,47	107,34
Ishor.m.	168,53	111,86
Var.koef	3,09	2,98

## 11.2 Tloušťka jednotlivých vzorků

**Tabulka 5:** Tloušťka jednotlivých vzorků laminátů

Počet měření	Označení vzorku	
	1	2
	h	H
	[mm]	[mm]
1	1,82	1,2
2	1,87	1,24
3	1,97	1,29
4	1,88	1,27
5	1,88	1,31
6	1,99	1,29
7	1,82	1,22
8	1,9	1,31
9	1,9	1,33
10	1,87	1,32
Průměr	1,89	1,28
Sm.odch	0,06	0,04
Rozptyl	0,00	0,00
Isdol.m.	1,86	1,25
Ishor.m.	1,92	1,31
Var.koef	2,77	3,30

V tabulce č. 5 jsou k vidění hodnoty tloušťky laminátů. Nejnižší tloušťku má vzorek 2.

## 12. VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ

### 12.1 Zjišťování paropropustnosti

Propustnost textilií pro vodní páry  $R_{et}$  byla měřena dle normy ISO 11092 na Permetestu. Vzorky byly klimatizovány po dobu 24 h na normální ovzduší. Od každého materiálu bylo změřeno 5 vzorků. Podmínky v laboratoři byly následující: teplota vzduchu 25°C, relativní vlhkost vzduchu 23 %.

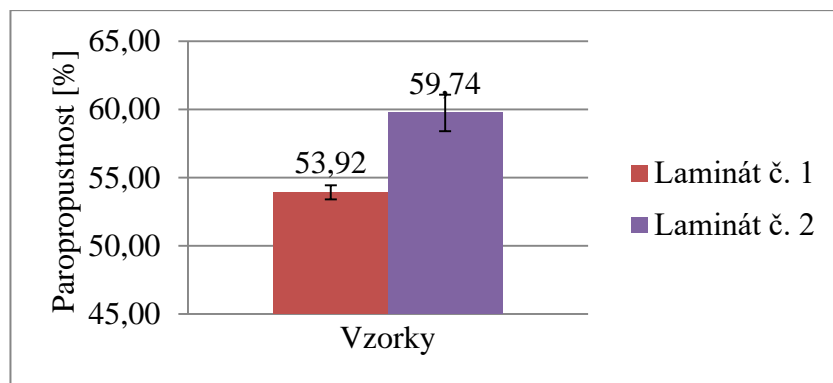
Čím menší je hodnota výparného odporu  $R_{et}$ , tím větší je paropropustnost. Požadavkem je dosáhnout co nejlepší paropropustnosti.

**Tabulka 6:** Výsledky propustnosti vodních par a výparného odporu

Počet měření	Označení vzorku			
	1		2	
	Paropropustnost	Výparný odpor	Paropropustnost	Výparný odpor
	[%]	[m <sup>2</sup> ·Pa/W]	[%]	[m <sup>2</sup> ·Pa/W]
1	54	5,4	62	3,9
2	55,3	5,1	59,5	4,3
3	53,7	5,3	61,9	3,8
4	53,4	5,4	57,8	4,5
5	53,2	5,5	57,5	4,6
Průměr	53,92	5,34	59,74	4,22
Sm.odch	0,83	0,15	2,16	0,36
Rozptyl	0,69	0,02	4,65	0,13
Isdol.m.	53,41	5,25	58,40	4,00
Ishor.m.	54,43	5,43	61,08	4,44
Var.koef	1,37	2,54	3,23	7,55

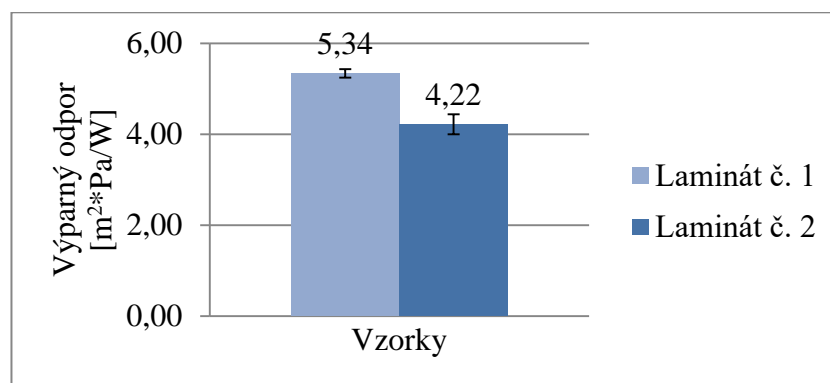
Vyhodnocení propustnosti vodních par pro textilní materiály podle stávajících norem je velmi dobrá (nad 20 000 g/m<sup>2</sup>·24 hod), kdy  $R_{et} < 6$ . Pro hasičské zásahové uniformy tato klasifikace neodpovídá. Zásahové obleky musí být odolné vůči dalším vlivům, jako jsou chemikálie, protržení, teplo. Proto hodnoty  $R_{et}$  do 30 m<sup>2</sup>Pa/W jsou brány jako dobré, kritická hodnota je 40 m<sup>2</sup>·Pa/W.

Z tabulky č. 6 byl zpracován graf, který přehledně ukazuje naměřené hodnoty propustnosti vodních par.



**Obrázek 17:** Graf propustnosti vodních par

Nejnižší průměrná hodnota byla naměřena na laminátů č. 2, nejvyšší na laminátů č. 1. Popisná statistika v tabulce 6 ukazuje rozdíly mezi jednotlivými laminátů.



**Obrázek 18:** Graf výparného odporu

Na přístroji Permetest během měření, získáme jak hodnotu propustnosti vodních par, tak hodnotu výparného odporu daného vzorku. Z tabulky výše a následně i grafu je dobře patrné, že nejlepší hodnoty výparného odporu má vzorek 2. U všech vzorky byla naměřena hodnota  $R_{et}$  [Pa·m<sup>2</sup>/W] nižší jak 6, tak možné říct, že oni mají velmi dobrou paropropustnost.

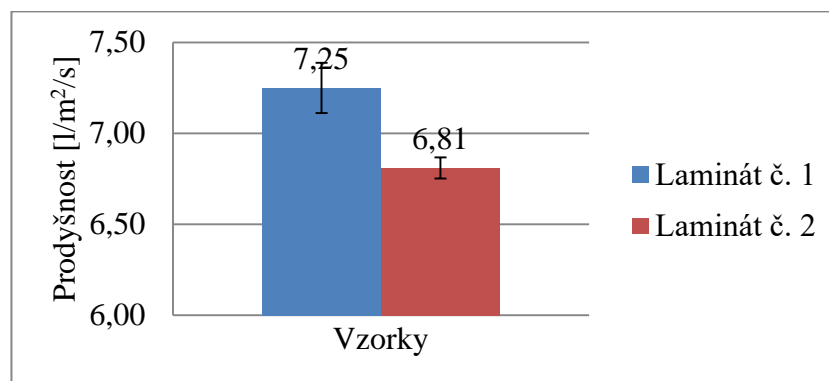
## 12.2 Zjišťování prodyšnosti

Vzorek byl před samotným měřením uložen na 24 hodin do klimatizační komory dle normy ISO 9237 a následně bylo provedeno měření při klimatických podmínkách v laboratoři  $t=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi=45\%$ .

**Tabulka 7:** Výsledky propustnosti pro vzduch

Počet měření	Označení vzorku	
	1	2
	Prodyšnost	Prodyšnost
	[l/m <sup>2</sup> /s]	[l/m <sup>2</sup> /s]
1	7,02	6,72
2	7,29	6,97
3	7,38	6,78
4	7,03	6,78
5	7,53	6,8
Průměr	7,25	6,81
Sm.odch	0,22	0,09
Rozptyl	0,05	0,01
Isdol.m.	7,11	6,75
Ishor.m.	7,39	6,87
Var.koef	2,75	1,24

Pro měření byly zvoleny jednotky propustnosti v l/m<sup>2</sup>/s. U každého testovaného vzorku bylo opět zajištěno pět hodnot pro následné statistické zpracování.

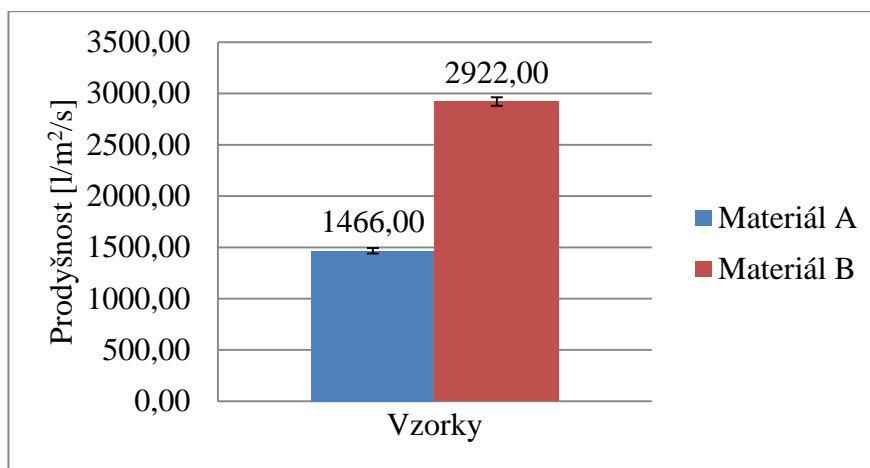
**Obrázek 19:** Graf propustnosti pro vzduch

Při hodnocení prodyšnosti je nutné rozlišovat materiál podle druhu použití, v našem případě jsou žádoucí vyšší hodnoty prodyšnosti. U tohoto měření dopadl nejlépe vzorek 1.

Taký bylo provedeno měření samotného materiálu. Nejvyšší průměrná hodnota byla naměřena na materiálu A, nejnižší na materiálu B.

**Tabulka 8:** Výsledky propustnosti pro vzduch

Počet měření	Označení vzorku	
	A	B
	Prodyšnost	Prodyšnost
	[l/m <sup>2</sup> /s]	[l/m <sup>2</sup> /s]
1	1470	2930
2	1490	2830
3	1410	2990
4	1520	2980
5	1440	2880
Průměr	1466,00	2922,00
Sm.odch	42,78	67,60
Rozptyl	1830,00	4570,0
Isdol.m.	1439,49	2880,10
Ishor.m.	1492,51	2963,90
Var.koef	2,61	2,07

**Obrázek 20:** Graf propustnosti pro vzduch

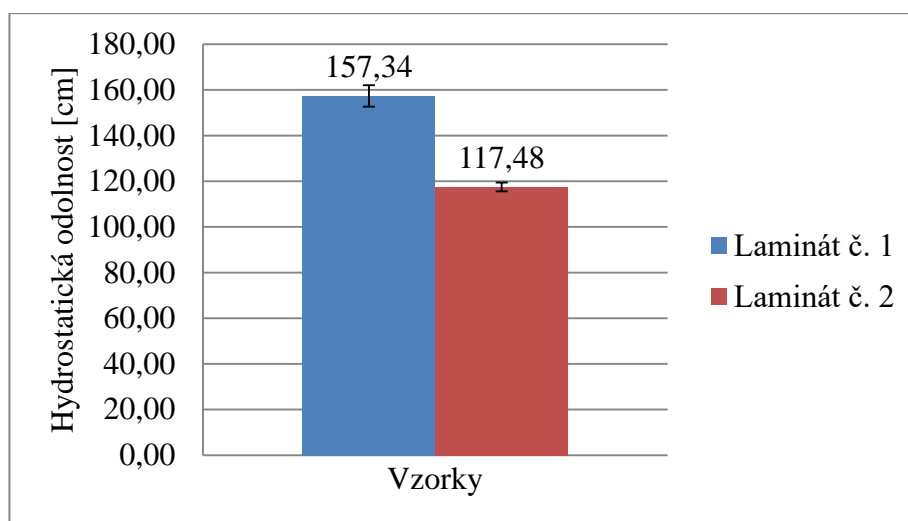
### 12.3 Zjišťování hydrostatické odolnosti

Pro kvalitu výrobku je důležitým faktorem jeho hydrostatická odolnost (výška vodního sloupce). Udává odolnost materiálu vůči hydrostatickému tlaku, čím vyšší hodnoty vodního sloupce jsou udávány, tím se výrobek stává odolnější vůči průniku vody. Plocha vzorku, na kterou působí tlak vody, je velikosti 100 mm<sup>2</sup>. Pro potřeby zkoušky je použita destilovaná voda o teplotě 20 ± 2°C. Při zkoušce byla zvolena rychlost zvyšování tlaku 60 ± 3 cm vodního sloupce za minutu. Způsob měření je upravován podle normy ISO 8011.



**Tabulka 9:** Výsledky hydrostatické odolnosti

Počet měření	Označení vzorku	
	1	2
	Hydrostatická odolnost	Hydrostatická odolnost
	[cm]	[cm]
1	158	113
2	159,6	116,7
3	146,4	117,8
4	167,4	118,3
5	155,3	121,6
Průměr	157,34	117,48
Sm.odch	7,59	3,10
Rozptyl	57,65	9,61
Isdol.m.	152,63	115,56
Ishor.m.	162,05	119,40
Var.koef	4,32	2,36

**Obrázek 21:** Graf hydrostatické odolnosti

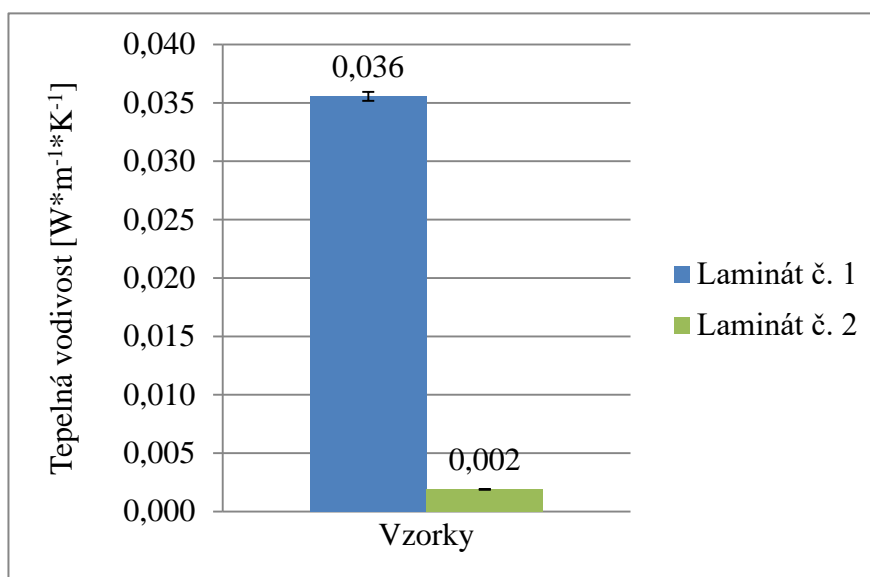
Za nepromokavý je možné označit materiál s odolností 1300 mm (130 cm) výšky vodního sloupce. Z testovaných vzorků můžeme označit první vzorek za nepromokavé.

## 12.4 Zjišťování tepelné vodivosti a tepelného odporu

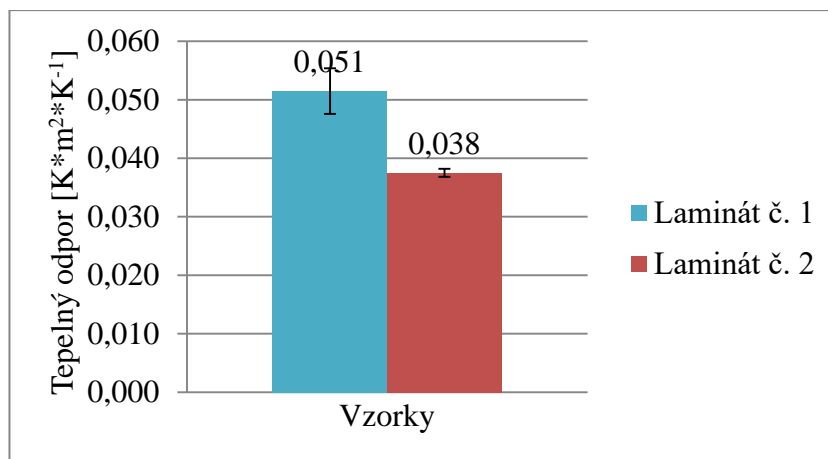
Tabulka 10: Výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu

Počet měření	Označení vzorku			
	1		2	
	$\lambda$	r	$\lambda$	r
	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	$[\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}]$	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	$[\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}]$
1	0,0359	0,0338	0,00182	0,0354
2	0,0352	0,0531	0,00187	0,0362
3	0,0358	0,055	0,00197	0,038
4	0,0349	0,054	0,00188	0,0373
5	0,0351	0,0537	0,00188	0,038
6	0,0363	0,0549	0,00199	0,0382
7	0,0344	0,053	0,00182	0,0367
8	0,036	0,0527	0,0019	0,039
9	0,036	0,0527	0,0019	0,0378
10	0,036	0,0519	0,00187	0,0385
Průměr	0,0356	0,0515	0,0019	0,0375
Sm.odch	0,0006	0,0063	0,0001	0,0011
Rozptyl	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Isdol.m.	0,0352	0,0476	0,0019	0,0368
Ishor.m.	0,0359	0,0554	0,0019	0,0382
Var.koef	1,65	11,59	2,89	2,81

Přesněji se jedná o měření termofyzikálních parametrů jako jsou tepelný odpor, tepelná vodivost nebo tepelná jímavost.



Obrázek 22: Graf tepelné vodivosti



Obrázek 23: Graf tepelného odporu

Nejlepších výsledků dosáhl vzorek 1, u kterého byly naměřeny nejlepší výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu.

### 12.5 Zjišťování hořlavosti materiálů

Automatické zařízení pro zkoušky hořlavosti SDL Atlas M223B splňuje následující požadavky pro splnění normy BS EN ISO 15025 : 2002. Pro tuto normu je vyžadováno šest vzorků.



Obrázek 24: Zkoušky hořlavosti

Tabulka 11: Výsledky zkoušky hořlavosti

Označení vzorku	1	2
Počet měření	6	6
Doba působení plamene	10 s	10 s
Doba dohořívání plamenem	0 s	0 s
Dohořívání žhnutím	Ne	Ne
Doba dohořívání žhnutím	0 s	0 s
Zuhelnatělý zbytek	Ne	Ne
Odpadlá částice	Ne	Ne
Plamenně hořící částice	Ne	Ne
Otvor, díra	Ne	Ne



**Obrázek 25:** Výsledky zkoušky hořlavosti laminát č. 1



**Obrázek 26:** Výsledky zkoušky hořlavosti laminát č. 2

Během 10 s působení plamene z hořáku, dochází k vyhořívání nanovláknenné vrstvy v místě kontaktu s plamenem a nedochází k dalšímu vyhořívání nomexové vrstvy ani k žhnutí. Po zhasnutí hořáku na materiál dále nedochází k dalšímu vyhořívání ani k žhnutí. Testované vzorky můžeme označit za nehořlavé.

## 12.6 Zjišťování stálosti proti oděru

Odběr vzorků bylo prováděno dle statistických pravidel (viz ISO 2859-1). Bylo velice důležité, aby při odběru a samotné přípravě vzorků nedošlo k poškození materiálu (nesprávné roztažení textilie, vystavování napětí vzorků v tahu atd.).

**Tabulka 12:** Výsledky stálosti proti oděru

Počet oděrů	Označení vzorku	
	1	2
	Stav posouzení	
125	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Mírně zvlákňování (NOMEX)
250	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Mírně zvlákňování (NOMEX)
500	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Mírně zvlákňování (NOMEX)
1000	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Mírně zvlákňování (NOMEX)
2500	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Mírně zvlákňování (NOMEX)
5000	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Začaly se projevovat díry v NOMEX, membrána beze změny
10000	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Začaly se projevovat díry v NOMEX, membrána beze změny
20000	Mírně zvlákňování (NOMEX)	Začaly se projevovat díry v NOMEX a membráně



**Obrázek 27:** Výsledky zkoušky na oděr laminát č. 1



**Obrázek 28:** Výsledky zkoušky na oděr laminát č. 2

Z tabulky č. 12 vidím po 2000 otáčkách nedochází vzorek č.2 k dírák, naopak vzorek 1 dochází k dírák už po 5000 otáčkách. Nejlepších výsledků dosáhl vzorek 2.

### 12.7 Zjišťování odolnosti textilie v tahu

Od každého materiálu byly změřeny tři vzorky pro každý směr. Vzorky měly rozměr 30·5 cm. Před měřením byly vzorky klimatizovány po dobu 24 hodin na normální ovzduší. Podmínky měření byly následující: rychlost 100 mm/min, upínací délka 20 cm, hlavy DBBMTCL – 500 kg. Hodnoty zachycují největší pevnost každého vzorku.

Hodnoty popisné statistiky výše uvedené jsou spíše informativní. Je to způsobeno malým počtem měření. Z materiálů dokazuje nejvyšší průměrnou pevnost materiál A.

**Tabulka 13:** Výsledky stálosti proti oděru

Počet měření	Označení vzorku					
	A			B		
	Nejvyšší pevnost	Prodloužení při nejv. pevnosti	Tažnost při nejvyšší pevnosti	Nejvyšší pevnost	Prodloužení při nejv. pevnosti	Tažnost při nejvyšší pevnosti
	[N]	[mm]	[%]	[N]	[mm]	[%]
1	333,190	80,440	39,883	157,440	91,661	45,216
2	298,280	87,071	43,046	150,370	89,734	44,105
3	339,230	85,471	42,323	145,350	85,953	42,375
4	332,080	83,704	41,459	160,970	92,325	45,379
5	332,690	79,504	39,468	138,520	88,559	43,484
Průměr	327,094	83,238	41,236	150,530	89,646	44,112
Sm.odch	16,362	3,227	1,538	9,053	2,553	1,248
Var.koef	5,002	3,877	3,730	6,014	2,848	2,830
Isdol.m.	306,778	79,231	39,326	139,289	86,477	42,562
Ishor.m.	347,410	87,245	43,145	161,771	92,816	45,662

### 13. POPIS POUŽITÝCH KONKURENČNÍCH VZORKŮ

U každého ze vzorků je uvedena základní charakteristika, do které byly zařazeny tyto údaje: určení, druh, materiálové složení, barva.



Obrázek 29: Vzorek K1

Tabulka 14: Popis vzorku K1

Charakteristika	Popis
Struktura	Více vrstvy laminát
Materiálové složení	Membrána PTFE GORE-TEX Izolační vrstva - Nomexová pletenina
Barva	Bílá
Plošná hmotnost laminátu [g/m <sup>2</sup> ]	78



Obrázek 30: Vzorek K2

Tabulka 15: Popis vzorku K2

Charakteristika	Popis
Struktura	Více vrstvy laminát
Materiálové složení	Membrána PTFE GORE-TEX Izolační vrstva - textilie Nomex
Barva	Černá a bílá
Plošná hmotnost laminátu [g/m <sup>2</sup> ]	88



Obrázek 31: Vzorek K3

**Tabulka 16:** Popis vzorku K3

Charakteristika	Popis
Struktura	Více vrstvy laminát
Materiálové složení	Membrána GORE-TEX Nosná textilie - netkaná textilie Nomex
Barva	Žlutá a bílá
Plošná hmotnost laminátu [g/m <sup>2</sup> ]	74



## 14. VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ KONKURENČNÍCH VZORKŮ

## 14.1 Tloušťka jednotlivých vzorků

Tabulka 17: Tloušťka jednotlivých vzorků laminátů

Počet měření	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
	h	h	h
	[mm]	[mm]	[mm]
1	0,36	0,29	0,81
2	0,36	0,31	0,81
3	0,37	0,3	0,82
4	0,38	0,3	0,81
5	0,38	0,33	0,82
6	0,37	0,28	0,77
7	0,38	0,27	0,81
8	0,42	0,28	0,82
9	0,43	0,28	0,83
10	0,4	0,32	0,81
Průměr	0,39	0,30	0,81
Sm.odch	0,02	0,02	0,02
Rozptyl	0,00	0,00	0,00
Isdol.m.	0,37	0,28	0,80
Ishor.m.	0,40	0,31	0,82
Var.koef	5,95	6,27	1,87

V tabulce č. 17 jsou k vidění hodnoty tloušťky konkurenčních laminátů.

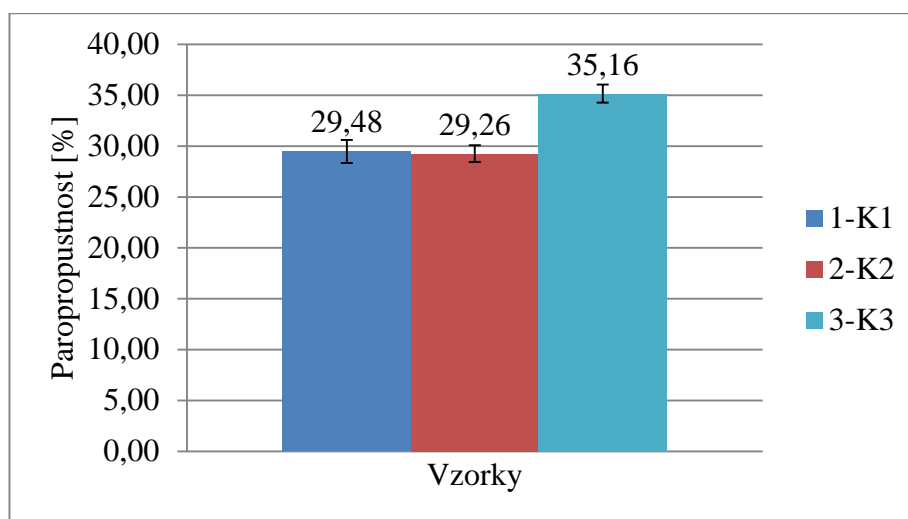
## 14.2 Zjišťování paropropustnosti

Tabulka 18: Výsledky propustnosti vodních par

Počet měření	Paropropustnost		
	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
	[%]	[%]	[%]
1	29,9	30	32,7
2	27,5	27	35,1
3	28,1	30,2	36,1
4	32,2	29,1	35,9
5	29,7	30	36
Průměr	29,48	29,26	35,16
Sm.odch	1,83	1,33	1,43
Rozptyl	3,36	1,78	2,05
Isdol.m.	27,87	28,09	33,91
Ishor.m.	31,09	30,43	36,41
Var.koef	5,56	4,08	3,64

Propustnost textilií pro vodní páry Ret byla měřena dle normy ISO 11092 na Permetestu. Podmínky v laboratoři byly následující: teplota vzduchu 25°C, relativní vlhkost vzduchu 23 %. Požadavkem je dosáhnout co nejlepší paropropustnosti.

Z tabulky č. 18 byl zpracován graf, který přehledně ukazuje naměřené hodnoty propustnosti vodních par.

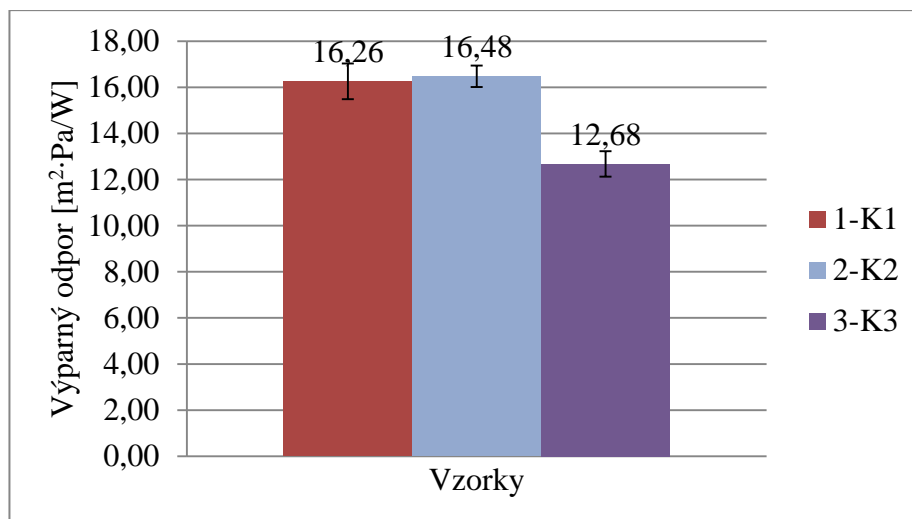


**Obrázek 32:** Graf propustnosti vodních par

Nejnižší průměrná hodnota byla naměřena na laminátů K2, nejvyšší na laminátů K3. Popisná statistika v tabulce 18 ukazuje rozdíly mezi jednotlivými laminátů.

**Tabulka 19:** Výsledky výparného odporu

Počet měření	Výparný odpor		
	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
	[m <sup>2</sup> ·Pa/W]	[m <sup>2</sup> ·Pa/W]	[m <sup>2</sup> ·Pa/W]
1	15,8	15,9	14,2
2	17,6	17,6	12,7
3	17,3	16,1	12
4	14,5	16,9	12,2
5	16,1	15,9	12,3
Průměr	16,26	16,48	12,68
Sm.odch	1,25	0,75	0,89
Rozptyl	1,55	0,56	0,79
Isdol.m.	15,17	15,82	11,90
Ishor.m.	17,35	17,14	13,46
Var.koef	6,86	4,07	6,26



Obrázek 33: Graf výparného odporu

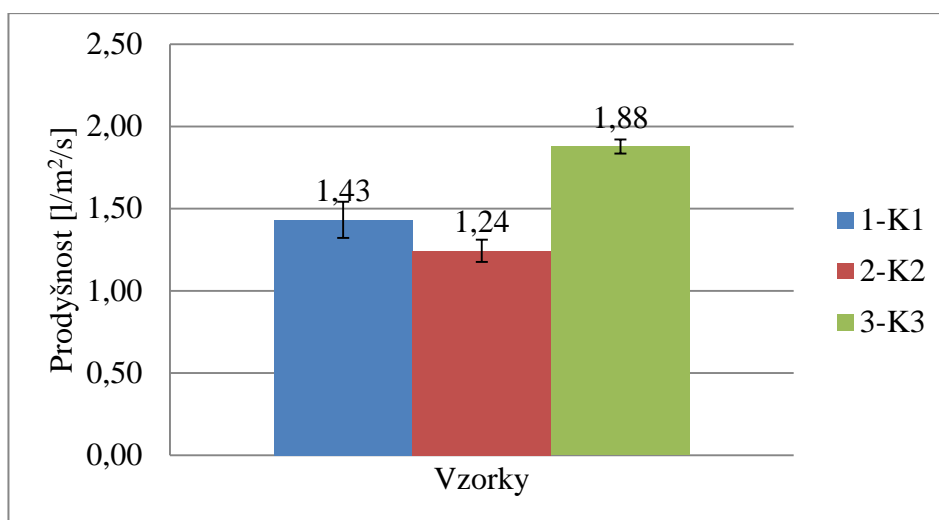
Na přístroji Permetest během měření, získáme jak hodnotu propustnosti vodních par, tak hodnotu výparného odporu daného vzorku. Z tabulky výše a následně i grafu je dobře patrné, že nejlepší hodnoty výparného odporu má vzorek 3.

### 14.3 Zjišťování prodyšnosti

Pro měření byly zvoleny jednotky propustnosti v  $l/m^2/s$ . U každého testovaného vzorku bylo opět zajištěno pět hodnot pro následné statistické zpracování.

**Tabulka 20:** Výsledky propustnosti pro vzduch

Počet měření	Prodyšnost		
	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
	[ $l/m^2/s$ ]	[ $l/m^2/s$ ]	[ $l/m^2/s$ ]
1	1,56	1,2	1,98
2	1,56	1,4	1,9
3	1,2	1,25	1,86
4	1,56	1,27	1,86
5	1,28	1,1	1,79
Průměr	1,43	1,24	1,88
Sm.odch	0,18	0,11	0,07
Rozptyl	0,03	0,01	0,00
Isdol.m.	1,28	1,15	1,82
Ishor.m.	1,59	1,34	1,94
Var.koef	11,09	7,85	3,31



**Obrázek 34:** Graf propustnosti pro vzduch

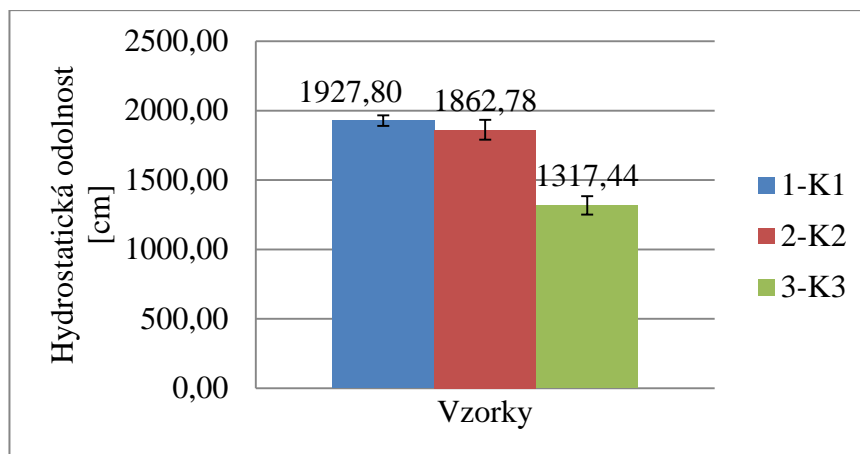
Při hodnocení prodyšnosti je nutné rozlišovat materiál podle druhu použití, v našem případě jsou žádoucí vyšší hodnoty prodyšnosti. U tohoto měření dopadl nejlépe vzorek 3.

#### 14.4 Zjišťování hydrostatické odolnosti

Udává odolnost materiálu vůči hydrostatickému tlaku, čím vyšší hodnoty vodního sloupce jsou udávány, tím se výrobek stává odolnější vůči průniku vody. Při zkoušce byla zvolena rychlost zvyšování tlaku  $60 \pm 3$  cm vodního sloupce za minutu. Způsob měření je upravován podle normy ISO 8011.

**Tabulka 21:** Výsledky hydrostatické odolnosti

Počet měření	Hydrostatická odolnost		
	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
	[cm]	[cm]	[cm]
1	1968	1796,9	1300
2	1965	1950	1289
3	1899	1765	1220,6
4	1867	1868	1423,6
5	1940	1934	1354
Průměr	1927,80	1862,78	1317,44
Sm.odch	43,80	81,56	75,99
Rozptyl	1918,7	6652,0	5774,4
Isdol.m.	1889,41	1791,29	1250,83
Ishor.m.	1966,19	1934,27	1384,05
Var.koef	2,03	3,92	5,16



Obrázek 35: Graf hydrostatické odolnosti

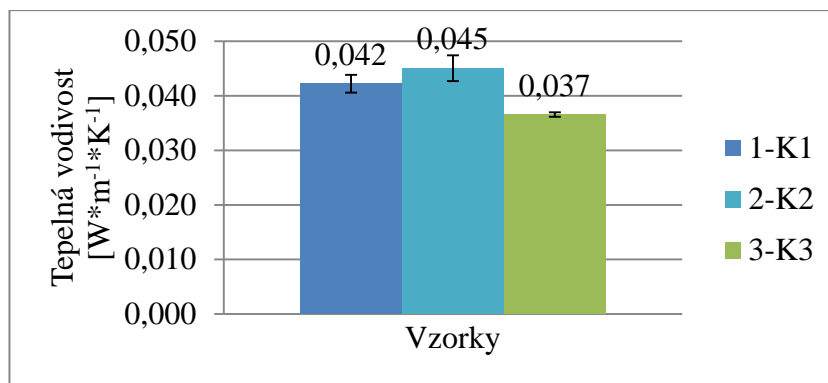
Za nepromokavý je možné označit materiál s odolností 1300 mm (130 cm) výšky vodního sloupce. Z testovaných vzorků můžeme označit všechny vzory za nepromokavé. Nejlépe dopadl vzorek 1.

#### 14.5 Zjišťování tepelné vodivosti a tepelného odporu

Přesněji se jedná o měření termofyzikálních parametrů jako jsou tepelný odpor, tepelná vodivost nebo tepelná jímavost.

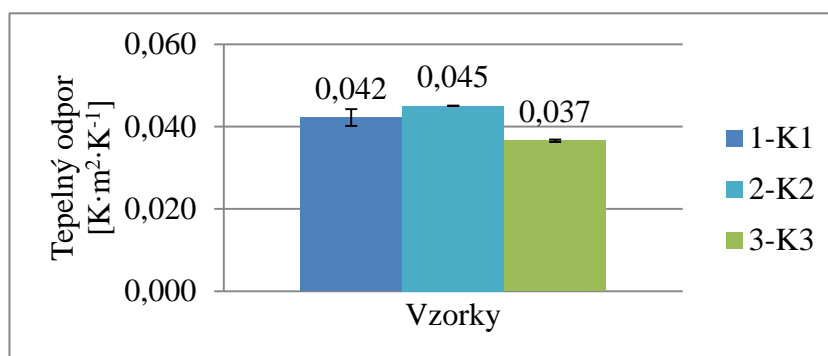
Tabulka 22: Výsledky tepelné vodivosti

Počet měření	Tepelná vodivost		
	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		
1	0,0399	0,0482	0,0368
2	0,0405	0,0462	0,0368
3	0,04	0,0447	0,0363
4	0,0402	0,0462	0,0361
5	0,0419	0,0518	0,0361
6	0,0406	0,0414	0,0363
7	0,0414	0,0399	0,0363
8	0,046	0,0421	0,0375
9	0,0464	0,0417	0,0378
10	0,0453	0,0484	0,0357
Průměr	0,042	0,045	0,037
Sm.odch	0,003	0,004	0,001
Rozptyl	0,000	0,000	0,000
Isdol.m.	0,041	0,043	0,036
Ishor.m.	0,044	0,047	0,037
Var.koef	5,90	8,06	1,71


**Obrázek 36:** Graf tepelné vodivosti

**Tabulka 23:** Výsledky tepelného odporu

Počet měření	Tepelný odpor [K·m <sup>2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		
	Označení vzorku		
	K1	K2	K3
1	0,0482	0,006	0,0219
2	0,0462	0,0067	0,0221
3	0,0447	0,0066	0,0226
4	0,0462	0,0064	0,0224
5	0,0518	0,0064	0,0227
6	0,0414	0,0067	0,0213
7	0,0399	0,0067	0,0222
8	0,0421	0,0066	0,0219
9	0,0417	0,0068	0,0219
10	0,0484	0,0067	0,0226
Průměr	0,045	0,007	0,022
Sm.odch	0,004	0,000	0,000
Rozptyl	0,000	0,000	0,000
Isdol.m.	0,043	0,006	0,022
Ishor.m.	0,047	0,007	0,022
Var.koef	7,98	3,42	1,85


**Obrázek 37:** Graf tepelného odporu

Nejllepší výsledků dosáhl vzorek K2, u kterého byly naměřeny nejlepší výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu.

## 15. POROVNÁNÍ KOMFORTNÍCH VLASTNOSTÍ KONKURENČNÍCH LAMINÁTŮ

Tato část práce porovnává lamináty s nanovláknennou membránou s konkurenčními výrobky. Konkurenční lamináty bude označovány jako K1, K2 a K3, lamináty s nanovláknennou membránou bude označovány jako 1 a 2.

**Cíl:** porovnání komfortních vlastností konkurenčních laminátů

**Odezva:** výparný odpor, tepelný odpor, prodyšnost, hydrostatická odolnost

**Faktory:** lamináty

**H0:** výparný odpor, tepelný odpor, prodyšnost a hydrostatická odolnost nezávisí na hodnocené laminátů

**HA:** výparný odpor, tepelný odpor, prodyšnost a hydrostatická odolnost je závislá na hodnocené laminátů

Použitý software: MS Excel – Jednofaktorová ANOVA

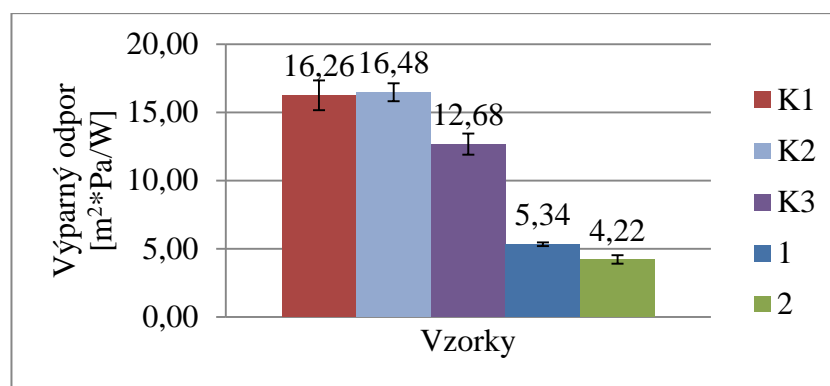
### 15.1 Vyhodnocení výparného odporu

Zkouška paropropustnosti byla měřena na pěti výše popsaných laminátů. Všechna naměřená data jsou výše uvedeny v práci a pocházejí z normálního rozdělení. Statisticky jsou vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA).

**Tabulka 24:** Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu výparného odporu

Zdroj variability	SS	Stupně volnost	MS	F	Hodnota P	$F_{krit}$
Mezi výběry	692,6216	4	173,1554	283,67	2,6309E-17	2,8660
Reziduální	12,208	20	0,6104			
Celkem	704,8296	24				

Na základě jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 24, je zamítnuta nulová hypotéza a zároveň přijata alternativní, to znamená, že paropropustnost je závislá na hodnocené laminátů. Měřen byl výparný odpor, potřebujeme, aby byl materiál co nejvíce propustný pro páry, musí mít výparný odpor co nejmenší hodnoty. Z grafu 7 je patrné, že laminát č.1 a č.2 s nanovláknennou membránou dosahuje nejmenších hodnot výparného odporu. Avšak nelze vybrat jeden z nich, neboť jejich meze intervalu spolehlivosti se překrývají a proto není statisticky významný rozdíl v naměřených datech. V jednoduchosti lze říci, že laminát č.1 a č.2 mají stejné hodnoty paropropustnosti. Naopak konkurenční laminát K2 dosahuje největších hodnot výparného odporu.



Obrázek 38: Graf výparného odporu

A jelikož mají nejnižší hodnoty výparného odporu laminát č.1 a č.2, jsou nejvhodnější pro ochranné oděvy pro hasiče.

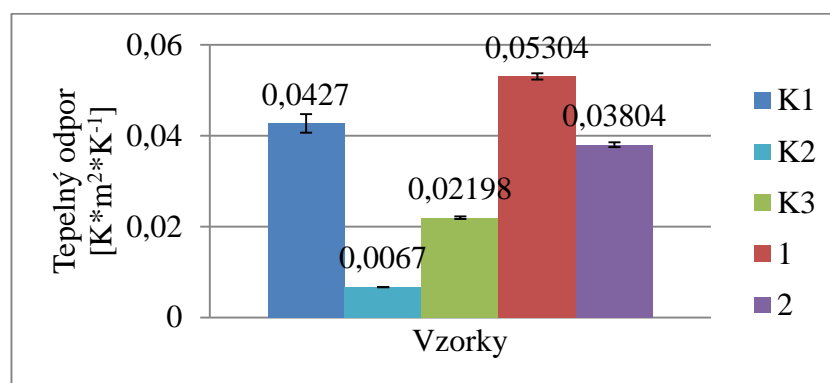
### 15.2 Vyhodnocení tepelného odporu

Měřen byl plošný odpor vedení tepla. Všechny měřené hodnoty jsou výše uvedeny v kapitolách „Zjišťování tepelné vodivosti a tepelného odporu“ a pocházejí z normálního rozdělení. Statisticky jsou zhodnocené jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA).

**Tabulka 25:** Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu tepelného odporu

Zdroj variability	SS	Stupně volnost	MS	F	Hodnota P	F <sub>krit</sub>
Mezi výběry	0,013229	4	0,003307	298,4972	9,09832E-32	2,5787
Reziduální	0,000499	45	1,11E-05			
Celkem	0,013727	49				

Na základě jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 25, je zamítnuta nulová hypotéza a přijata alternativní. Tepelný odpor je tedy závislý na hodnocené laminátů.

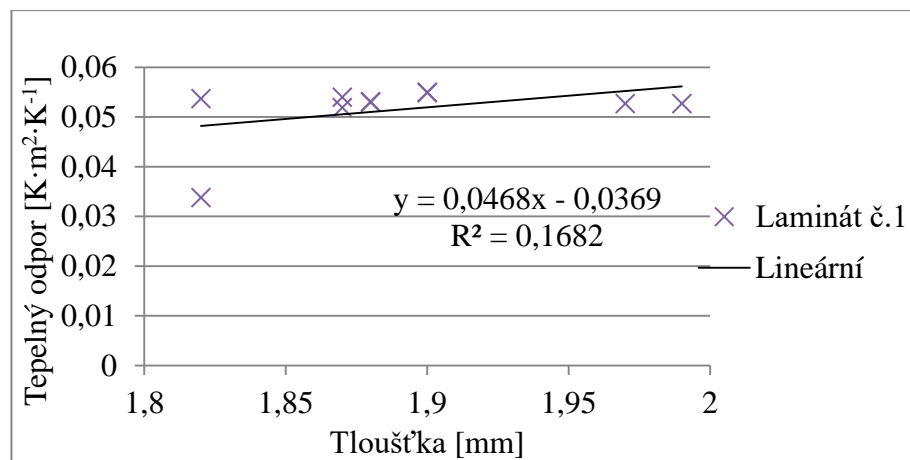


Obrázek 39: Graf tepelného odporu

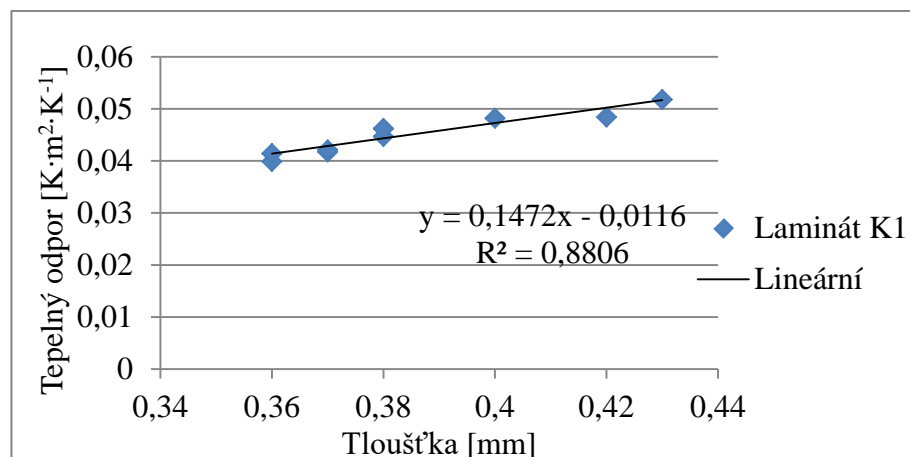


Z grafu 38 je patrné, že laminát s nanovláknennou membránou č. 1 vycházejí nejlépe z naměřených hodnot.

Pro zjišťování vlivu tloušťky na tepelný odpor byla provedena regresní analýza, sestavením lineárního regresního modelu. Získaná závislost byla proložena regresní funkcí a doplněna o korelační koeficient. Regresní koeficient a regresní rovnice byly vypočteny pomocí softwaru MS Excel. Pro vizuální představu byly nakresleny bodové grafy. Nejlépe z naměřených hodnot tepelného odporu vychází laminát s nanovláknennou membránou č. 1 a konkurenční laminát K1, v hlavní části práce jsou uvedeny grafy výsledků těchto laminátů. Ostatní grafy se nachází v příloze.



**Obrázek 40:** Graf závislosti tepelného odporu na tloušťky laminátu č.1



**Obrázek 41:** Graf závislosti tepelného odporu na tloušťky laminátu K1

Zde se potvrdil předpoklad, že když je hodnota tloušťky nižší, hodnota tepelného odporu se snižuje. Lze říci, že závislost je přibližně lineární.

### 15.3 Vyhodnocení prodyšnosti

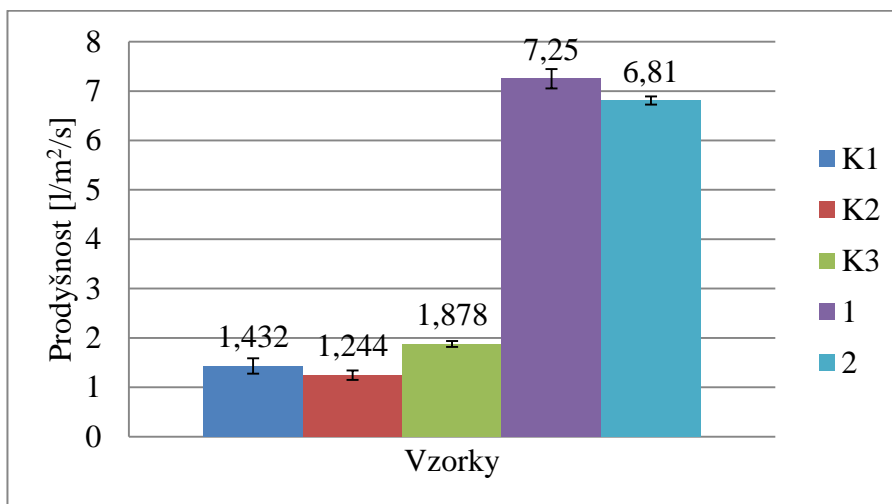
Všechna naměřená data jsou výše uvedena v práci a pocházejí z normálního rozdělení. Jsou statisticky vyhodnocena pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA).

**Tabulka 26:** Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu prodyšnosti

Zdroj variability	SS	Stupně volnost	MS	F	Hodnota P	$F_{krit}$
Mezi výběry	183,8372	4	45,9593	2153,266	4,88796E-26	2,86608
Reziduální	0,42688	20	0,02134			
Celkem	184,2641	24				

Nulová hypotéza je zamítnuta dle jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 26. Přijata je alternativní hypotéza, ze které vyplývá, že prodyšnost je závislá na hodnocené laminátů.

Graf 42 ukazuje nejnižší hodnoty u konkurenční lamináty K2. Naopak laminát s nanovláknennou membránou č. 1 má hodnoty nejvyšší pro své použití a ve srovnání s hodnocenými konkurenčními výrobky, v našem případě jsou žádoucí vyšší hodnoty prodyšnosti, a proto zůstávají vybrány laminát s nanovláknennou membránou č. 1.



**Obrázek 42:** Graf propustnosti pro vzduch

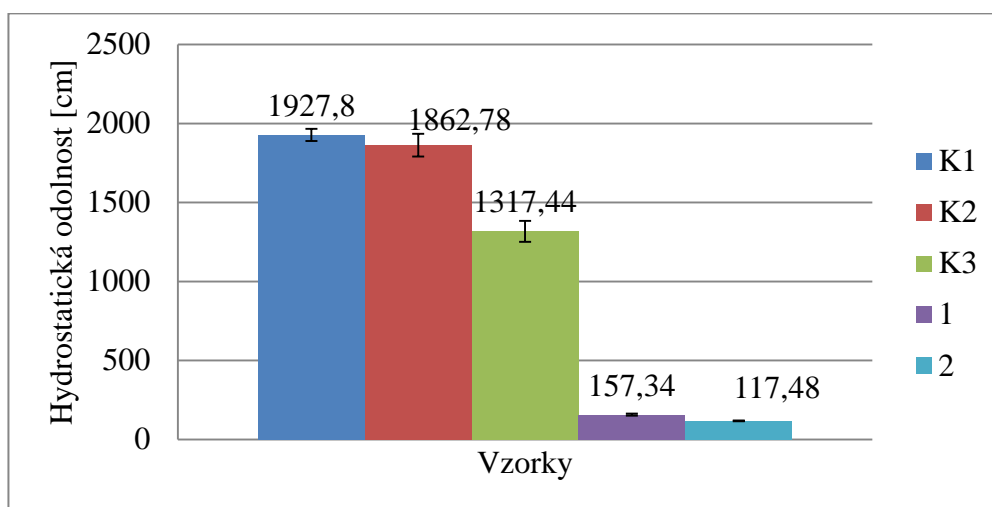
### 15.4 Vyhodnocení hydrostatické odolnosti

Všechna naměřená data jsou výše uvedena v práci a pocházejí z normálního rozdělení. Jsou statisticky vyhodnocena pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA).

**Tabulka 27:** Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu hydrostatické odolnosti

Zdroj variability	SS	Stupně volnost	MS	F	Hodnota P	F <sub>krit</sub>
Mezi výběry	15827872,27	4	3956968,069	1372,771	4,34396E-24	2,866
Reziduální	57649,34	20	2882,467			
Celkem	15885521,61	24				

Nulová hypotéza je zamítnuta dle jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 27. Přijata je alternativní hypotéza, to znamená, že hydrostatická odolnost je závislá na hodnocené laminátů.

**Obrázek 43:** Graf hydrostatické odolnosti

Nejlepších výsledků dosáhli konkurenční lamináty K1 a K2, u kterého byly naměřeny nejlepší výsledky hydrostatické odolnosti. V grafu je názorně vidět, že při hodnocení hydrostatické odolnosti zkoušených laminátů nemají dva vybrané lamináty z předchozích zkoušek nejvyšší hodnoty.

## ZÁVĚR

Diplomová práce si kladla za cíl vytvořit třívrstvý laminát pro ochranné oděvy pro hasiče.

Práce se dělí na dvě části. První, teoretická část, se zaměřuje na přiblížení pojmu ochranné oděvy, následně se zabývá popisem druhů membrán, kde jsou uvedeni i někteří výrobci. Vlhkostní bariéru oděvu nám zajišťují membrány. Musí odvádět vodní páry z povrchu pokožky do okolního prostředí a zároveň musí být větruodolné s vysokým vodním sloupcem. Zvyšují tím funkčnost daného oděvu a jeho komfort při nošení. Dále práce obsahuje kapitolu s vysvětlením pojmu laminace a jejích technologií. Vzhledem k práci s nanovláknennou membránou bylo vhodné do teoretické části vložit kapitolu zabývající se touto problematikou. Komfortu je věnována další kapitola teoretické části a také otázce, proč je zvýšení komfortních vlastností důležité pro oblečení hasiče.

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na samotnou tvorbu třívrstvých laminátů při různých vstupních parametrech. Již vytvořené laminátové kompozity byly dále podrobeny laboratorním zkouškám a následnému statistickému vyhodnocení naměřených dat. Celkem byly vyrobeny dva vzorky, které se lišily hydrostatickou odolností.

Nejlepší hodnoty výparného odporu má vzorek č. 2. U všech vzorků byla naměřena hodnota RET [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ ] nižší než 6, proto je možné říct, že mají velmi dobrou paropropustnost. U měření prodyšností dopadl nejlépe vzorek č. 1. Při měření přístrojem Alambeta dosáhl nejlepších výsledků vzorek č. 1, u kterého byly naměřeny nejlepší výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu. Po 20 tisících otáčkách nedochází u vzorku č.1 ke vzniku děr, naopak u vzorku č. 2 ke vzniku děr dochází už po 5 tisících otáčkách. Testovaných vzorky můžeme označit za vzorky nehořlavé. Po 10 s působení plamene z hořáku, nedochází k dalšímu hoření nomexové vrstvy, samotná membrána je hořlavá, ale při pomoci nomexové vrstvy dochází k vyhořívání jenom v místě kontaktu s plamenem. Podle normy je možné označit první laminát za nepromokavý, protože výška vodního sloupce je vyšší 130 cm, ale nám tato hodnota nevyhovuje, protože musí být 5 krát vyšší, z toho důvodu jsme otestovali pevnost, která ukazuje, že nejvyšší průměrnou pevnost má materiál označený jako A, proto laminát č. 1 má vyšší hydrostatickou odolnost. Nomex má nízkou tažnost deformuje a poškozují membránu při zkoušce na hydrostatickou odolnost.

	Označení vzorku				
	K1	K2	K3	1	2
	Průměr				
Tloušťka [mm]	0,385	0,296	0,811	1,89	1,278
Plošná hmotnost laminátu [g/m <sup>2</sup> ]	78	88	74	165	109,6
Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa/W]	16,26	16,48	12,68	5,34	4,22
Tepelný odpor [K·m <sup>2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	0,0427	0,0067	0,02198	0,05304	0,03804
Prodyšnost [l/m <sup>2</sup> /s]	1,432	1,244	1,878	7,25	6,81
Hydrostatická odolnost [cm]	1927,8	1862,78	1317,44	157,34	117,48

Následně byly podrobeny laboratorním zkouškám a následnému statistickému vyhodnocení naměřených dat konkurenční vzorky. Nejlepší hodnoty výparného odporu má vzorek K3. U všech vzorků byla naměřena hodnota RET [Pa·m<sup>2</sup>/W] vyšší než 6, proto je možné říct, že nemají velmi dobrou paropropustnost. U měření prodyšností dopadl nejlépe vzorek K3. U testů přístrojem Alambeta dosáhl nejlepších výsledků vzorek K2, u kterého byly naměřeny nejlepší výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu. Podle normy je možné označit všechny lamináty za nepromokavé, protože výška vodního sloupce je vyšší než 130 cm. Naměřená data byla statisticky vyhodnocena metodou jednofaktorové analýzy rozptylu. Na základě provedených zkoušek můžeme říct, že konkurenční lamináty mají lepší výsledky hydrostatické odolností, dále byly naměřeny přibližně stejné výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu. Naproti tomu nejlepších výsledků výparného odporu, paropropustnosti a prodyšností dosáhl laminát s nanovláknennou membránou.

Vyrobený vzorek nesplňuje podmínky zadání diplomové práce, a v závěru můžeme doporučit laminovat nanovláknenné membrány s pevnějším nehořlavým materiálem, který nebude rušit vysoké výsledky hydrostatické odolnosti membrány.

## SEZNAM LITERATURY

- [1] KNÍŽEK, Roman. Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity. Vyd.1. Liberec: Technická univerzita, 2013, 39 s. ISBN 978-80-7494-012-5
- [2] Ochranné oděvy / bariérové textilie, 2014. Ing. Jana Drašarová, Ph.D. *Ft.tul.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-1-13]. Dostupné z WWW: [http://www.kmi.tul.cz/studijni\\_materialy/data/2014-01-13/10-12-57.pdf](http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2014-01-13/10-12-57.pdf)
- [3] Charakteristika nanovláken, Elmarco.cz [online]. 2004 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z WWW: <http://www.elmarco.cz/technologie/nanovlakna/>
- [4] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. Oděvní materiály. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, Textilní fakulta, 2003. ISBN 80-708-3682-2.
- [5] Víte co si oblékáte I, 2007. MACHÁČEK, Petr. HOTMAR, Jan. *Svetoutdooru.cz* [online]. 2007 [cit. 2013-03-10] Dostupné z WWW: <http://www.svetoutdooru.cz/rady/vite-co-si-oblekate-i/>
- [6] REC, Vlastimil, Jiří SMUTNÝ a Miroslav HAMPL. Podlepování součástí svrchních oděvů. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1991, 128 s. Technika a technologie spotřebního průmyslu. ISBN 80-030-0242-7.
- [7] FUNG, Walter. Coated and laminated textiles. Cambridge, England: Woodhead Pub., 2002, xiv, 402 p. ISBN 18-557-3576-8.
- [8] Vyztužování – podlepování, 2012. ZELOVÁ, Katarína. Výroba oděvů: (ODE) [online]. 2012 [vid. 2012 – 11-18]. Dostupné z WWW: [http://www.kod.tul.cz/predmety/ODE/prednasky/ODE\\_6\\_LS\\_2015\\_Podlepovani\\_student.pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/ODE/prednasky/ODE_6_LS_2015_Podlepovani_student.pdf)
- [9] HES, Luboš a Petr SLUKA. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.
- [10] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. Oděvní materiály. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, Textilní fakulta, 2003. ISBN 80-708-3682-2.
- [11] Zjišťování stupně vlhkostní jímavosti textilií, 2003. HES, Luboš a Věra BALCAŘÍKOVÁ, Interní norma č. 23-303-01/01 [online]. 2003 [vid. 2003 – 12-16]. Dostupné z WWW: [http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-303-01\\_01.pdf](http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-303-01_01.pdf)
- [12] ČSN EN ISO 12947-1 Textilie – Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 1: Přístroj Matindale, Praha, Český normalizační institut, 1999, 20 s.
- [13] ČSN EN ISO 12947-2 Textilie – Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 2: Zjišťování poškození vzorku, Praha, Český normalizační institut, 1999, 16 s.
- [14] ČSN EN ISO 15025 (832750) Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Metoda zkoušení pro omezené šíření plamene, Praha, Český normalizační institut, 2006, 20 s.

- [15] First to Last, Episode 2 of 4. Inside the Human Body. MOSLEY, Michael. THE BBC ONE [online]. 2001 [vid. 2001-06-07]. Dostupné z WWW: <http://www.bbc.co.uk/programmes/b01167zf>
- [16] Růžičková, J.: Elektrostatické zvlákňování nanovláken, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004, 54 s.
- [17] Košťáková Eva: Úvod do nanomateriálů a nanotechnologie, úvod do textilních nanomateriálů [online]. [vid. 2012-2-18]. Dostupné z WWW: [http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/predn%C3%A1%C5%A1ka%20uvod\\_do\\_nanomaterialu\\_na%20web.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/predn%C3%A1%C5%A1ka%20uvod_do_nanomaterialu_na%20web.pdf).
- [18] Naše historie, 2016. *Gore-tex.cz* [online]. [vid. 2015-3-8] Dostupné z WWW: <http://www.gore-tex.cz/cs-cz/zkusenosti/nase-historie>
- [19] Naše řešení, 2016. *Nanomembrane.cz* [online]. [vid. 2015-2-10] Dostupné z WWW: <http://www.nanomembrane.cz/cs#categoriesId>
- [20] Nomex, 2016. *Dupont.cz* [online]. [vid. 2015-4-11] Dostupné z WWW: [http://www2.dupont.com/Czech\\_Republic\\_Country\\_Site/cs\\_CZ/Products\\_and\\_Services/Products/nomex.html](http://www2.dupont.com/Czech_Republic_Country_Site/cs_CZ/Products_and_Services/Products/nomex.html)
- [21] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., Praha: Vydavatelství VŠCHT v Praze, 2006, 278 s. ISBN 8070806176.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1:</b> Povrch hydrofobní mikroporézní membrány a příčný řez membránou .....	18
<b>Obrázek 2.1, 2.2:</b> Amorfnní oblast, schéma prostupu vodní páry neporézní membránou.....	19
<b>Obrázek 3:</b> Nanovláknámembrány z PA6 od firmy NANOMEMBRANE.....	19
<b>Obrázek 4:</b> Schéma Nanospideru – zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním .....	21
<b>Obrázek 5:</b> Dvouvrstvý laminát a), b), Z – liner c), třívrstvý laminát d) .....	22
<b>Obrázek 6:</b> Stroje Lacome .....	27
<b>Obrázek 7:</b> Schéma přístroje PERMETEST .....	28
<b>Obrázek 8:</b> Přístroj FX 3300 .....	29
<b>Obrázek 9:</b> M018 Hydrostatic Head Tester.....	30
<b>Obrázek 10:</b> Schéma přístroje ALAMBETA .....	30
<b>Obrázek 11:</b> Přístroj Martindale .....	32
<b>Obrázek 12:</b> Přístroj Testometric .....	32
<b>Obrázek 13:</b> Přístroj SDL Atlas M223B .....	33
<b>Obrázek 14:</b> Textilie A .....	34
<b>Obrázek 15:</b> Textilie B .....	34
<b>Obrázek 16:</b> Laminát č. 1 a č. 2.....	35
<b>Obrázek 17:</b> Graf propustnosti vodních par .....	38
<b>Obrázek 18:</b> Graf výparného odporu.....	38
<b>Obrázek 19:</b> Graf propustnosti pro vzduch .....	39
<b>Obrázek 20:</b> Graf propustnosti pro vzduch .....	40
<b>Obrázek 21:</b> Graf hydrostatické odolnosti .....	41
<b>Obrázek 22:</b> Graf tepelné vodivosti .....	42
<b>Obrázek 23:</b> Graf tepelného odporu .....	43
<b>Obrázek 24:</b> Zkoušky hořlavosti .....	43
<b>Obrázek 25:</b> Výsledky zkoušky hořlavosti laminát č. 1 .....	44
<b>Obrázek 26:</b> Výsledky zkoušky hořlavosti laminát č. 2.....	44
<b>Obrázek 27:</b> Výsledky zkoušky na oděr laminát č. 1 .....	45
<b>Obrázek 28:</b> Výsledky zkoušky na oděr laminát č. 2.....	45
<b>Obrázek 29:</b> Vzorek K1 .....	47
<b>Obrázek 30:</b> Vzorek K2.....	47
<b>Obrázek 31:</b> Vzorek K3.....	47



<b>Obrázek 32:</b> Graf propustnosti vodních par .....	50
<b>Obrázek 33:</b> Graf výparného odporu.....	51
<b>Obrázek 34:</b> Graf propustnosti pro vzduch .....	52
<b>Obrázek 35:</b> Graf hydrostatické odolnosti .....	53
<b>Obrázek 36:</b> Graf tepelné vodivosti .....	54
<b>Obrázek 37:</b> Graf tepelného odporu .....	54
<b>Obrázek 38:</b> Graf výparného odporu.....	56
<b>Obrázek 39:</b> Graf tepelného odporu .....	56
<b>Obrázek 40:</b> Graf závislostí tepelného odporu na tloušťky laminátu č.1 .....	57
<b>Obrázek 41:</b> Graf závislostí tepelného odporu na tloušťky laminátu K1 .....	57
<b>Obrázek 42:</b> Graf propustnosti pro vzduch .....	58
<b>Obrázek 43:</b> Graf hydrostatické odolnosti .....	59

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1:</b> Testování oděvu .....	14
<b>Tabulka 2:</b> Popis textilie A.....	34
<b>Tabulka 3:</b> Popis textilie B .....	34
<b>Tabulka 4:</b> Plošná hmotnost laminátu .....	36
<b>Tabulka 5:</b> Tloušťka jednotlivých vzorků laminátů .....	36
<b>Tabulka 6:</b> Výsledky propustnosti vodních par a výparného odporu.....	37
<b>Tabulka 7:</b> Výsledky propustnosti pro vzduch.....	39
<b>Tabulka 8:</b> Výsledky propustnosti pro vzduch.....	40
<b>Tabulka 9:</b> Výsledky hydrostatické odolnosti .....	41
<b>Tabulka 10:</b> Výsledky tepelné vodivosti a tepelného odporu .....	42
<b>Tabulka 11:</b> Výsledky zkoušky hořlavosti .....	43
<b>Tabulka 12:</b> Výsledky stálosti proti oděru .....	44
<b>Tabulka 13:</b> Výsledky stálosti proti oděru .....	46
<b>Tabulka 14:</b> Popis vzorku K1 .....	47
<b>Tabulka 15:</b> Popis vzorku K2.....	47
<b>Tabulka 16:</b> Popis vzorku K3.....	48
<b>Tabulka 17:</b> Tloušťka jednotlivých vzorků laminátů .....	49
<b>Tabulka 18:</b> Výsledky propustnosti vodních par.....	49
<b>Tabulka 19:</b> Výsledky výparného odporu .....	50
<b>Tabulka 20:</b> Výsledky propustnosti pro vzduch.....	51
<b>Tabulka 21:</b> Výsledky hydrostatické odolnosti .....	52
<b>Tabulka 22:</b> Výsledky tepelné vodivosti .....	53
<b>Tabulka 23:</b> Výsledky tepelného odporu .....	54
<b>Tabulka 24:</b> Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu výparného odporu .....	55
<b>Tabulka 25:</b> Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu tepelného odporu .....	56
<b>Tabulka 26:</b> Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu prodyšnosti.....	58
<b>Tabulka 27:</b> Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu hydrostatické odolnosti.....	59

## SEZNAM PŘÍLOH

**PŘÍLOHA A:** Seznam grafů závislostí tepelného odporu na tloušťky laminátů.

**PŘÍLOHA A:** Seznam grafů závislostí tepelného odporu na tloušťky laminátů.

