

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**LIBEREC 2012**

**ZLATA SVÁDOVÁ**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: 3106T013 Management jakosti

**JEDNORÁZOVÝ OCHRANNÝ ODĚV**  
**Z POLYMERNÍCH NANOVLÁKEN**  
**ONE PROTECTIVE CLOTHING OF POLYMER**  
**NANOFIBERS**

Zlata Svádová

KHT-157

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Roman Knížek

**Rozsah práce:**

Počet stran textu....51

Počet obrázků.....23

Počet tabulek.....7

Počet grafů.....8

Počet stran příloh..5

Zadání bakalářské práce

(vložit originál)

### **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 diplomové práce a konzultantem.

Datum: 6. 5. 2012

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Romanovi Knížkovi za poskytnuté konzultace při vypracování mé diplomové práce. Zároveň také děkuji Ing. Jakobovi Hřůzovi, PhD a Ing. Monice Vyšanské za pomoc při uskutečnění vybraných experimentů.

## 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 nanovlákních a komfortu, ve kterém jsou rozebrány jednotlivé vlastnosti materiálů jako např. paropropustnost, prodyšnost, vodní sloupec atd. V této části jsou také uvedeni dva významní výrobci ochranných oděvů.

Ve druhé části bylo provedeno experimentální ověřování parametrů vybraných materiálů.

V závěru práce byly zpracovány naměřené výsledky a zhodnoceny z hlediska „komfortnosti“.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** nanovlákně, 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 nanofibers and comfort, which is focused on different material properties such as water vapor, permeability, water column, etc. This section also provides for two major manufacturers of 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:** nanofibers, protective clothing, water vapor permeability, permeability, water column

## Obsah

I.	ÚVOD.....	8
II.	TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1	Ochranné oděvy.....	9
1.1	Obsah	
1.1	Obecné zákonitosti ochranných oděvů.....	9
1.2	Výrobci ochranných oděvů.....	10
1.2.1	Společnost 3M.....	10
1.2.2	Společnost Štych.....	13
2	Nanovlákná.....	14
2.1	Charakteristika nanovláken.....	14
2.2	Vlastnosti netkaných nanovláken.....	14
2.3	Příprava nanovláken.....	14
2.3.1	Elektrostatické zvlákňování nanovláken.....	15
2.3.2	Metoda nazvaná Nanospider.....	16
2.3.3	Technologie spunbond.....	18
2.3.4	Metoda nazvaná melt-blown.....	20
3	Komfort.....	21
3.1	Termofyziologický komfort textilií.....	21
3.2	Paropropustnost.....	22
3.3	Prodyšnost – propustnost textilií pro vzduch.....	24
3.4	Hydrostatická odolnost – výška vodního sloupce.....	25
3.5	Efektivita záchytu a tlakového spádu.....	26
3.6	Obrazová analýza.....	29
4	Filtrace.....	31
5	Porózita.....	32
5.1	Velikost maximálního póru.....	32
III.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
1	Příprava vzorků.....	36
2	Vlastní měření.....	36
2.1	Paropropustnost.....	37
2.2	Prodyšnost.....	39
2.3	Hydrostatická odolnost.....	41
2.4	Maximální pór.....	43
2.5	Metoda měření pomocí aerosolu NaCl.....	44
2.6	Obrazová analýza.....	46
IV.	ZÁVĚR.....	48

## Seznam použitých symbolů

tj.	to jest
atd.	a tak dále
apod.	a podobně
resp.	respektive
tzn.	to znamená
např.	například
obr.	obrázek
m	metr
g	gram
nm	nanometr
$\mu\text{m}$	mikrometr
$\text{CO}_2$	oxid uhličitý
$\text{H}_2\text{O}$	voda
$\text{NaCl}$	chlorid sodný
$p[\%]$	propustnost textilií pro vodní páry
$q[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	tepelný tok
$\text{Ret}[\text{Pam}^2\text{W}^{-1}]$	výparný odpor
$P_m [\text{Pa}]$	nasycený parciální tlak vodní páry
$P_a [\text{Pa}]$	parciální tlak vodní páry ve vzduchu
Tab.	Tabulka
$\bar{x}$	průměr
$s^2$	rozptyl
$s$	směrodatná odchylka
$L_D$	95% interval spolehlivosti dolní hranice
$L_H$	95% interval spolehlivosti horní hranice
$P[\%]$	hodnota průniku částic
$U [\text{mV}]$	napětí
Min	minimum
Max	maximum
$S_v$	plocha průřezu vlákna
$O_v$	obvod průřezu vlákna
$D_{\text{ekv}}$	ekvivalentní průměr průřezu vlákna
$q$	stupeň rozvinutosti tvaru podle Malinowské
$F[\text{N}]$	síla
$S[\text{m}^2]$	plocha
$E[\%]$	efektivita



## I. ÚVOD

V dnešní době, kdy je technika na tak vysoké úrovni, je kladen velký důraz na kvalitu materiálů se kterou souvisí řada dalších vlastností. Oděvy musí splňovat mnohé zásady, které určují dané normy. Na správně vybraném ochranném oděvu závisí celý chod výroby. Důležitý je nejen komfort při nošení, což z určité části ovlivňuje pracovníka, ale především je důležitá jeho bezpečnost. Existují ochranné oděvy nehořlavé, oděvy zabraňující vniku radioaktivních vln na pokožku apod. 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.

Odběratel má dnes možnost vybrat si z řady výrobců ochranných oděvů. Tito výrobci nabízejí mnoho produktů, ze kterých je možné vybrat ten vhodný. Pro odběratele ochranných oděvů je důležitá nejen cena, ale především kvalita. Z tohoto důvodu se tato diplomová práce zabývá jednorázovými ochrannými oděvy a společně s nimi danými zkouškami jako je paropropustnost, prodyšnost, vodní sloupec atd. Tyto vlastnosti jsou pro ochranné oděvy velice důležité nejen z hlediska komfortu, ale především bezpečnosti osob, které oděvy nosí.

V práci jsou uvedeny obecné zákonitosti ochranných oděvů, pozornost je věnována také nanovláknům, komfortu a v neposlední řadě samotnému měření vlastností vybraných nanovlákněných vrstev. V závěru jsou porovnány a zhodnoceny výsledky těchto měření.

## **II. TEORETICKÁ ČÁST**

### **1 OCHRANNÉ ODĚVY**

Ochranné oděvy bývají nezbytnou součástí pracovníka zejména v průmyslovém odvětví, a proto je třeba jim věnovat nemalou pozornost. Chrání člověka před nepříznivými vlivy, se kterými přichází do styku. V další části jsou popsány obecné zákonitosti těchto oděvů a související normy.

#### **1.1 Obecné zákonitosti ochranných oděvů**

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. Při výrobě jednorázových ochranných oděvů by se mělo dbát na správnou prodyšnost a paropropustnost pro lepší komfort při nošení, zvýšenou odolnost proti oděru či olejovým kapalinám a na další vlastnosti, které jsou popsány v daných normách. Příklady těchto norem jsou uvedeny níže.

##### **ČSN EN 340 – Ochranné oděvy – Všeobecné požadavky**

###### **Předmět normy:**

Tato evropská norma specifikuje všeobecné požadavky na provedení ochranných oděvů z hlediska ergonomie, nezávadnosti, označení velikostí, stárnutí, kompatibility a značení ochranných oděvů a na informace, které jsou dodávány výrobcem s ochrannými oděvy.[1]

##### **ČSN EN 510 – Požadavky na ochranné oděvy používané při riziku zachycení pohyblivými částmi**

###### **Předmět normy:**

Tato norma specifikuje vlastnosti ochranných oděvů minimalizujících riziko zachycení nebo vtažení pracovníka pohyblivými částmi, pokud osoba pracuje u nebo blízko nebezpečných pohyblivých částí strojů nebo zařízení. Tato norma nezahrnuje ochranné oděvy proti poranění speciálními pohyblivými strojními součástmi, pro které existují zvláštní normy např. ochranné oděvy pro uživatele řetězových pil. [2]

## **ČSN EN 343+A1 – Ochranné oděvy – Ochrana proti dešti**

### **Předmět normy**

Tato evropská norma specifikuje požadavky a metody zkoušení na materiály a švy ochranných oděvů proti nepříznivému počasí (např. dešti, sněžení), mlze a zemní vlhkosti.

Zkoušení odolnosti hotových oděvů proti dešti je nyní z této normy vyřazeno, protože je připravována samostatná metoda zkoušení pro tuto vlastnost.[3]

## **1.2 Výrobci ochranných oděvů**

Ve Světě existuje několik výrobců ochranných oděvů, avšak pro ukázkou byli vybráni dva. Prvním zmíněným výrobcem je velmi známá zahraniční společnost 3M (obr. č. 1), působící již 20 let také v České republice. Druhým výrobcem je česká firma Štych (obr. č. 3), která funguje již od roku 1993.

### **I.2.1 Společnost 3M**



*Obr. č. 1: Logo firmy 3M. [4]*

### **Historie společnosti**

Společnost 3M byla založena v roce 1902 v městě Two Harbors u Lake Superior v americkém státě Minnesota. Tehdy se pět podnikatelů rozhodlo těžít surovinu na výrobu Jednorázový ochranný oděv z polymerních nanovláken.

brusných materiálů pro brusné kotouče. Zanedlouho se však ukázalo, že zásoby suroviny jsou slabé a nová společnost nesoucí název Minnesota Mining and Manufacturing Company se v roce 1905 přestěhovala do nedalekého Duluthu, kde se zaměřila na výrobu produktů z brusného papíru.

Uplynula řada let naplněných tvrdou prací a firmě se podařilo etablovat jako kvalitní výrobce. Přilákala nové investory a v roce 1910 se přestěhovala do St. Paul. Počáteční technické a marketingové inovace začaly přinášet své ovoce a v roce 1916 vyplatila společnost své první dividendy v hodnotě 6 centů za akcii.

### **O společnosti**

3M je výrobní společnost působící v řadě oblastí po celém světě: za použití jejích špičkových technologií vzniká na 50 000 různých produktů a výrobků pro kancelář, komerční grafiku, elektro a telekomunikace, zdravotnictví, automobilový průmysl či bezpečnost a ochranu. 3M je nadnárodní společnost, jejíž divize vzájemně spolupracují na vývoji, výrobě a marketingové podpoře všech produktů.

3M je světový lídr v oblasti bezpečnostních a osobních ochranných pracovních prostředků mezi které patří jednorázové ochranné prostředky, produkty na ochranu sluchu, zraku, obličeje, hlavy atd. Na obr. č. 2 je ukázka jednorázového ochranného oděvu firmy 3M.

### **3M v České republice**

V České republice má firma 100 zaměstnanců. Sídlo obchodního zastoupení je v Praze.

### **Úspěchy společnosti**

Během svého působení získala společnost již řadu ocenění, mezi které patří:

AON Hewitt Best Employers 2008 - 1. místo

AON Hewitt Best Employers 2009 - 8. místo

AON Hewitt Best Employers 2010 - 6. místo

AON Hewitt Best Employers 2011 - 7. místo

Českých 100 nejlepších 2010 - 70. místo

Českých 100 Nejlepších 2011 - 60. místo

AAA-excelentní hodnocení agentury ČEKIA – oceňuje finančně nejstabilnější podniky ČR za rok 2010

Dun & Bradstreet TOP Rating



*Obr. č. 2: Ukázka jednorázového ochranného oděvu firmy 3M. [4]*

### **Jednorázové ochranné oděvy společnosti**

3M uvádí na trh nový a rozšířený sortiment ochranných oděvů a dalšího příslušenství (pokrývky hlavy, rukávy, návleky na boty apod.). Tyto produkty byly navrženy tak, aby poskytovaly ochranu proti řadě potenciálních rizik pro pokožku pracovníka.

Oděvy nabízejí řadu funkcí. Prodyšné panely pro větší komfort, pletené manžety, textilie se zvýšenou odolností proti oděru či olejovým kapalinám. Většina modelů má tří panelovou kapuci určenou pro lepší kompatibilitu s dalšími OOPP a také dvoucestný zip s těsnící klopou pro větší pohodlí při převlékání a zvýšenou ochranu. [4]

## 1.2.2 Společnost Štych



Obr. č. 3: Logo firmy Štych. [5]

### O společnosti

Firma vznikla v roce 1993 provozem v bývalé hospodářské budově výrobou kožených „capáčků“ pro kojence, rukaviček a bezpečnostních popruhů do kočárků. Postupně se výrobní činnost rozšířila o výrobu kožených, textilních a kombinovaných rukavic, včetně potřeb pro svářeče, v posledních letech o zakázkovou výrobu pracovních oděvů a o prodej osobních ochranných prostředků. V průběhu činnosti probíhala rozsáhlá přestavba areálu. V současné době pracuje v těchto moderních prostorách 15 zaměstnanců a firma je oprávněna poskytovat náhradní plnění ve smyslu zákona č. 435/2004 Sb.

Firma je výrobcem OOPP pro svářeče a pracovních oděvů, především:

- svářečské zástěry, haleny, rukávy, kamaše, kukly
- rukavice svářečské, antivibrační, palcové...
- zakázkové šití – pracovní oděvy [5]

## 2 NANOVLÁKNA

Zprvu bychom si měli upřesnit, co to vlastně nanovlákná jsou. Jde o vlákna, jejichž průměr se pohybuje v rozsahu nanometrů. Jsou to tzv. submikronová vlákna.

### 2.1 Charakteristika nanovláken

Nanovlákná jsou speciálně vyráběná vlákna o průměru menším než 500 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).

Můžeme je porovnat s mikrovlákněným MB (meltblown) a SB (spunbond), které se pohybují v řádu od 0.9  $\mu\text{m}$ . Vlákno vlny Merino měří 12 - 24  $\mu\text{m}$  a lidský vlas má průměr cca 80  $\mu\text{m}$ , je tedy zhruba 200krát větší než průměrné nanovlákná.

Díky své velikosti, která zaručuje jedinečné vlastnosti nanovláken, vykazují nanomateriály skokové vylepšení kvality konečných produktů (například v porovnání s mikromateriály).

### 2.2 Vlastnosti netkaných nanovláken

- Nízká hustota
- Velký specifický měrný povrch
- Malá velikost pórů – dobrá prodyšnost
- Vysoký objem pórů
- Vysoká porozita
- Výborné mechanické vlastnosti v poměru ke hmotnosti
- Možnost aditivovat nanovlákněný materiál [6]

### 2.3 Příprava nanovláken

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

### **2.3.1 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 zvlákňeny 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.

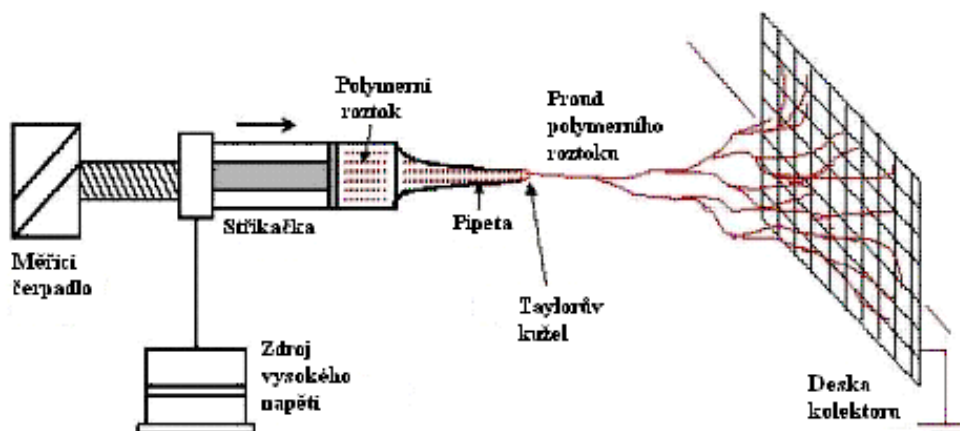
Velmi jemná vlákna s průměrem vláken řádově v nanometrech se vyznačují několika výjimečnými vlastnostmi jako je velký měrný povrch vláken, což je poměr povrchu vláken k jejich objemu, velká pórovitost vlákněné vrstvy a malý rozměr pórů.

#### **Podstata procesu**

V procesu elektrostatického zvlákňování (obr. č. 4) je využito vysoké napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerního roztoku nebo taveniny. Elektroda vysokého napětí je spojena přímo s polymerním roztokem. Roztok je následně zvlákňován kapilárou (zvlákňovací tryskou). Díky vysokému elektrickému napětí mezi špičkou kapiláry a uzemněným kolektorem vzniká tzv. Taylorův kužel na špičce kapiláry, z kterého jsou produkována submikronová vlákna. Taylorův kužel je následkem relaxace indukovaného náboje k volnému povrchu kapaliny na výstupu ze zvlákňovací trysky. Následuje vytlačování nabitě kapaliny. Vlákna ztuhnou po odpaření rozpouštědla a vytvoří vlákněnou vrstvu na povrchu kolektoru. Nabitý proud se zrychluje a ztenčuje v elektrickém poli, nakonec narazí na uzemněnou protielektrodu kolektoru, na které se usadí. Za jistých podmínek se kapalinový proud stává nestabilním před dosažením kolektoru. U kapalin nízké molekulární hmotnosti má počátek nestability za následek spršku malých, nabitých



kapiček, v procesu známém jako elektrostatické rozprašování. Polymerní kapaliny jsou viskóznější a viskoelastické síly stabilizují proud, což dovoluje formaci nabitých vláken malého průměru, které ztuhnou a uloží se na kolektoru ve formě netkané textilie.



Obr. č. 4: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – horizontální kapilára. [7]

Jednotlivé vědecké týmy pracující na metodě elektrostatického zvlákňování pracují s různými roztoky a různým výrobním zařízením. Někteří vědci dávají přednost svisle umístěné kapiláře a pod ní umístěným kolektorem, nechávají kapalinu odkapávat z kapiláry vlivem gravitace a získaná vlákna se ukládají na kolektoru.

### 2.3.2 Metoda nazvaná Nanospider

Tento způsob přípravy nanovláken byl vyvinut na Katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci. Jeho hlavní princip spočívá v poznatku, že Taylorovy kužely je možné vytvořit i na tenké vrstvě polymerního roztoku. Metoda tedy nevyužívá k formování vláken žádné trysky a kapiláry a její produktivita je podstatně vyšší než produktivita ostatních zmiňovaných 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 100-300nm a plošná hmotnost nanovláknenných vrstev připravených touto cestou je 0,1-20g.m<sup>-2</sup>. [7] Schéma Nanospideru je znázorněno na obr. č. 5.

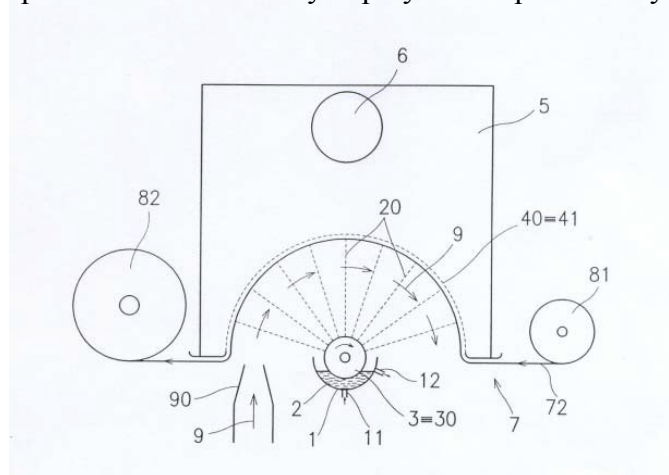
Tato technologie je velmi mnohostranná a splňuje všechny náročné požadavky, jako jsou snadná přizpůsobitelnost výrobních parametrů a flexibilita nastavení dle individuálních představ výroby nanovláken.

#### **Technologie Nanospider splňuje:**

- **jednoduchost** – Nanospider využívá jednoduše tvarovaných elektrod, které jsou mechanicky prosté a neobsahují žádné části, které by se mohly snadno zablokovat
- **vysokou produktivitu a kvalitu** – čím vyšší je počet Taylorových kuželů, tím vyšší je nejen produktivita, ale i homogenita a konzistentnější morfologie nanovláknenné vrstvy.
- **flexibilitu** – technologie nanospider je velmi flexibilní a umožňuje takové nanovláknenné vrstvy, která nejlépe vyhovuje požadavkům na konečný produkt.
- **jedinečnost** - U technologie Nanospider lze stanovit všechny výsledky při výrobě nanovláken pomocí přesného nastavení celé řady výrobních parametrů, které jsou pro konečný výrobek rozhodující.

#### **Technologie Nanospider umožňuje:**

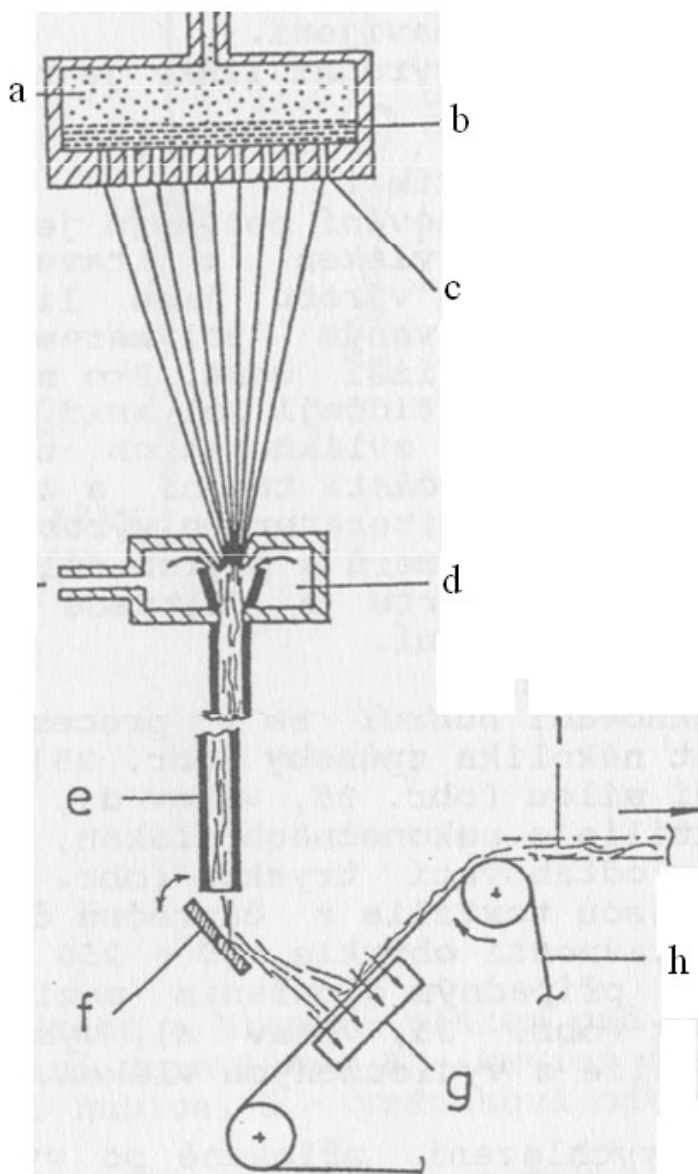
- Vysokou výrobní kapacitu a rozšiřitelnost
- Vysokou rovnoměrnost průměru vláken a nanosené nanovláknenné vrstvy
- Hospodárný provoz a snadnou údržbu
- Flexibilitu v používání mnoha různých polymerů a podkladových materiálů [4]



*Obr. č. 5: Schéma Nanospideru – zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním. [8]*

### 2.3.3 Technologie spunbond

Název technologie je odvozen z anglických výrazů zvlákňování a pojení. Do češtiny se tento název většinou nepřekládá. Někdy se používá označení "výroba pod hubicí". Na obr. č. 6 je znázorněno schéma výroby vlákenné vrstvy.



Obr. č. 6: Schéma výroby vlákenné vrstvy pod tryskou: a) tavenina polymeru, b) filtrační sítko, c) tryska zvlákňovací hubice, d) odtahová vzduchová tryska, e) šachta, f) výkyvná rozmítací destička, g) odsávání pod síťovým dopravníkem, h) síťový dopravník, i) vyrobená vlákenná vrstva. [9]

**Proces výroby textilií postupem spunbond lze členit do následujících fází:**

- tavení polymeru, který je předkládán ve formě granulátu
- zvlákňování pomocí zvlákňovacích trysek
- odtah od hubice, případně dloužení
- rozkládání filamentů na plochu pohybujícího se síťového dopravníku
- zpevnění vlákenné vrstvy
- ořezávání okrajů a navíjení.

**Pod zvlákňovací hubicí se v procesu spunbond vlákna mohou odtahovat několika způsoby:**

- gravitační silou - výsledkem jsou málo pevné textilie z nekonečných vláken,
- vzduchovou odtahovací tryskou - výsledkem jsou textilie z částečně dloužených vláken se zbytkovou tažností obvykle 100 - 250 %,
- galetami s případným dloužením mezi jedním nebo více páry galet - výsledkem jsou vysoce pevné textilie z vydloužených vláken.

Vlákna po vychlazení, případně po vydloužení, je nutno rozložit rovnoměrně na plochu pohybujícího se dopravníku, na němž tak vzniká vlákenná vrstva. **To se může uskutečnit několika způsoby:**

- přímým ukládáním vláken z dostatečně široké zvlákňovací trysky,
- elektrickým nabitím vláken ve vzduchové odtahovací trysce, která způsobuje vzájemné odtahování jednotlivých fibril,
- rozmítáním svazku vláken pod odtahovací vzduchovou tryskou výkyvnou destičkou,
- výkyvným pohybem odtahovací vzduchové trysky,
- šanžírováním odváděcího dopravníku,
- odtahem a ukládáním v celé šíři. [9]

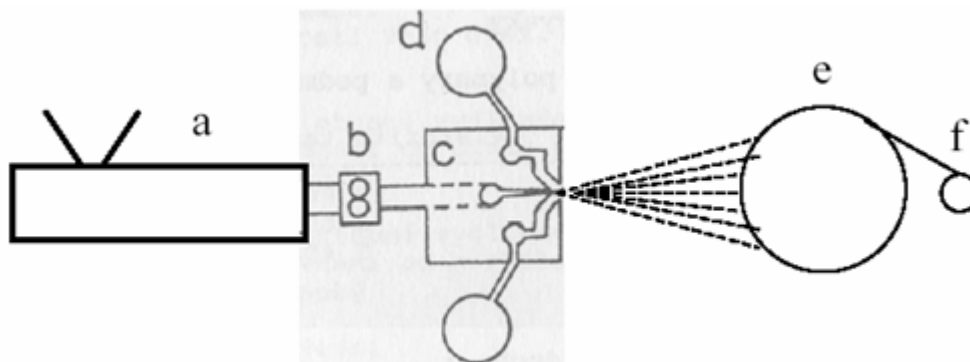
### 2.3.4 Metoda nazvaná melt-blown

Název metody je složen z anglických slov melt – tavit, tavenina a blown – foukat. Do češtiny se tento název nepřekládá, avšak někdy se použije výraz „textilie vyrobené rozfukováním taveniny (polymeru)“.

Výrobky melt-blown se skládají z vláken volitelných průměrů. Typická jsou mikrovlákná o průměru 2 - 4 mikrony vyznačující se velkým měrným povrchem. Procesem lze však vyrobit i textilie z mnohem jemnějších vláken (0,1 mikronu) nebo naopak z vláken běžných textilních jemností (10 - 15 mikronů).

**Proces výroby se skládá z následujících základních operací (obr. č. 7):**

- a) Tavení polymeru a doprava taveniny k hubici.
- b) Formování vláken.
- c) Strhávání taveniny proudem vzduchu, formování vláken a jejich chlazení.
- d) Formování vlákněné vrstvy na porézním sběrném bubnu nebo pásu.
- e) Pojení.
- f) Navíjení.[9]



Obr. č. 7: Schéma zařízení melt-blown: a) tavící extrudér, b) dávkovací zubové čerpadlo, c) zvláknování hubice, d) rozvod horkého vzduchu, e) síťový buben – kolektor, f) navíjení. [9]

### 3 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.

Při diskomfortu mohou nastat pocity tepla nebo chladu. Pocity tepla se dostavují při větším pracovním zatížení nebo při působení teplého a vlhkého klimatu. Pocity chladu se dostavují především jako reakce na nízkou teplotu klimatu nebo nízké pracovní zatížení.

Komfort lze jednoduše definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů.

Komfort dělíme na psychologický, sensorický, termofyziologický a patofyziologický.

#### 3.1 Termofyziologický komfort textilií

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.

Termofyziologický komfort oděvů resp. textilií lze pak zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu.

Výparný odpor má mimořádně důležitou úlohu při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky. Úroveň ochlazování závisí především na rozdílu parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a ve vnějším prostředí, a dále pak na propustnosti oděvní soustavy pro vodní páry.

Místo paropropustnosti zde můžeme použít parametr výparný odpor, který u měření simulujících reálné přenosové jevy při nošení oděvu přímo charakterizuje tepelné účinky

vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu. Zde je pak nutno rozlišovat celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu, tzv. mezní vrstvy.

Termofyziologický komfort nastává za těchto optimálních podmínek:

- teplota pokožky 33 – 35°C
- relativní vlhkost vzduchu 50+-10%
- rychlost proudění vzduchu 25+-10cm.s<sup>-1</sup>
- obsah CO<sup>2</sup> 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce [10]

## 3.2 Paropropustnost

Neboli propustnost textilií pro vodní páry  $p$ [%], kde 100% propustnost představuje tepelný tok  $q_0$  vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru jako měřený vzorek. Zakrytím této hladiny měřeným vzorkem se tepelný tok sníží na hodnotu  $q_v$ .

Platí:

$$p = 100 (q_v / q_0) [\%] \quad (1)$$

Stanovení výparného odporu:

$$Ret = (P_m - P_a) (q_v^{-1} / q_0^{-1}) \quad (2)$$

Kde:  $P_m$ .....nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící hlavice [Pa]

$P_a$ .....parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]. [10]

Tab. 1: Klasifikace prodyšnosti materiálů dle stávajících ISO norem. [11]

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

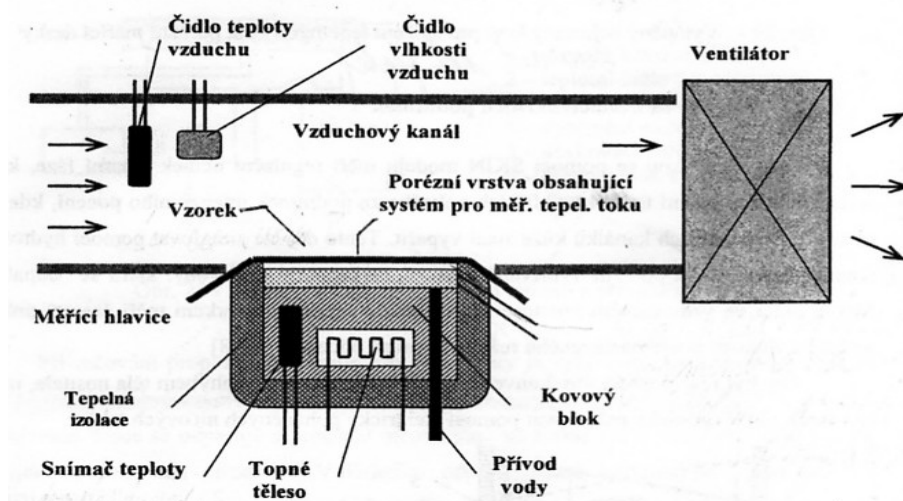
### **Měření paropropustnosti – přístroj Permetest**

Přístroj, jehož schéma je vidět na obr. č. 8, je založený na přímém měření tepelného toku  $q$  procházejícího povrchem tohoto tepelného modelu lidské pokožky. Povrch modelu je porézní a je zavlhčován, čímž se simuluje funkce ochlazování pocením. Na tento povrch je přiložen přes separační folii měřený vzorek. Vnější strana vzorku je ofukována.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržován na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20 -23°C), který je do přístroje nasáván. Tím jsou zajištěny izotermické podmínky měření. Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační fólii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté znovu se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky  $q_0$  a  $q_v$ .

Výhodou Permetestu je krátká doba měření a možnost provádět měření v jakýchkoliv běžných klimatických podmínkách [10].





Obr. č. 8: Schéma přístroje Permetest.[10]

### 3.3 Prodyšnost – propustnost textilií pro vzduch

Při vysokém fyzickém zatížení vzniká teplo a jeho značnou část je nutné odvést z oděvního systému ventilací. To je možné, když je vnější vzduch chladnější a oděv dostatečně propustný pro vzduch neboli prodyšný. U některých zejména sportovních oděvů např. dresů je vysoká prodyšnost oděvu žádoucí. U zimního oblečení nebo oblečení pro vysokohorskou turistiku, které je vystaveno chladícímu účinku vzduchu, je naopak vysoká prodyšnost zakázána. [10]

#### Měření prodyšnosti – přístroj TEXTEST AG

Tento přístroj viz obr. č. 9 je určen pro měření propustnosti textilií pro vzduch neboli prodyšnost. Je to výrobek švýcarské firmy TEXTEST AG a jeho princip spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy testované textilie (nejčastěji 100 Pa) a měření takto vyvolaného průtoku vzduchu. Testovaná plocha činí 5 cm<sup>2</sup> nebo v poslední době 20 cm<sup>2</sup>. Propustnost se vyjadřuje v m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.s, po zkrácení v m/s. Textilie či oděv se vkládají do přístroje vcelku, není tedy třeba vystříhovat vzorek o speciálních rozměrech.



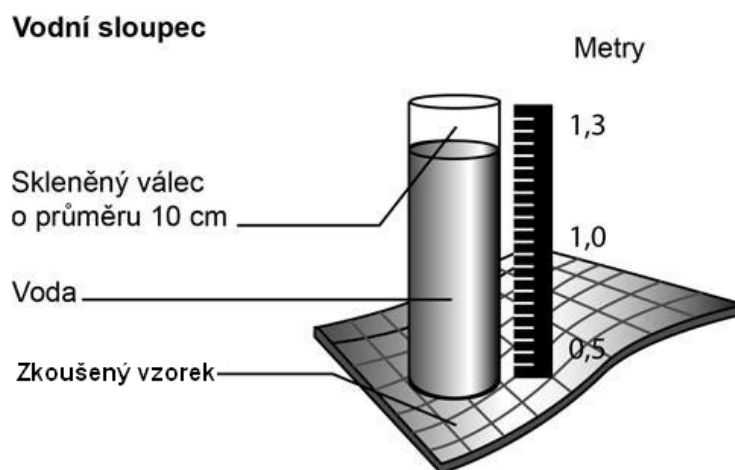
Obr. č. 9: Příklad přístroje FX 3300 pro měření propustnosti textilií pro vzduch firmy TEXTEST AG.

[10]

### 3.4 Hydrostatická odolnost – výška vodního sloupce

Hydrostatická odolnost vyjadřuje schopnost materiálu odolávat tlaku vody. Nejčastěji se udává v mm. Platí: čím vyšší je naměřená hodnota (výška vodního sloupce), tím je materiál odolnější vůči promoknutí.[12]

Hydrostatickou odolnost lze změřit jednoduše tak, jak je uvedeno na obr. č. 10. Na materiál se přiloží skleněný válec o průměru 10cm, který je opatřen ryskou pro přesné určení výšky vodního sloupce. Válec se naplní vodou. Voda působí na materiál a po průniku prvních tří kapek je stanovena hodnota hydrostatické odolnosti.



Obr. č. 10: Zjednodušený obrázek měření vodního sloupce. [13]

### **Měření hydrostatické odolnosti textilií – Hydrostatic – Head – Tester**

Tento přístroj, který je na obr. č. 11, vyrobila společnost SDL Atlas a slouží k měření hydrostatické odolnosti textilií neboli výšce vodního sloupce. Společnost má sídlo ve Velké Británii, USA a dvakrát v Číně. Zabývá se výrobou a distribucí testovacích přístrojů pro měření specifických vlastností textilních materiálů.

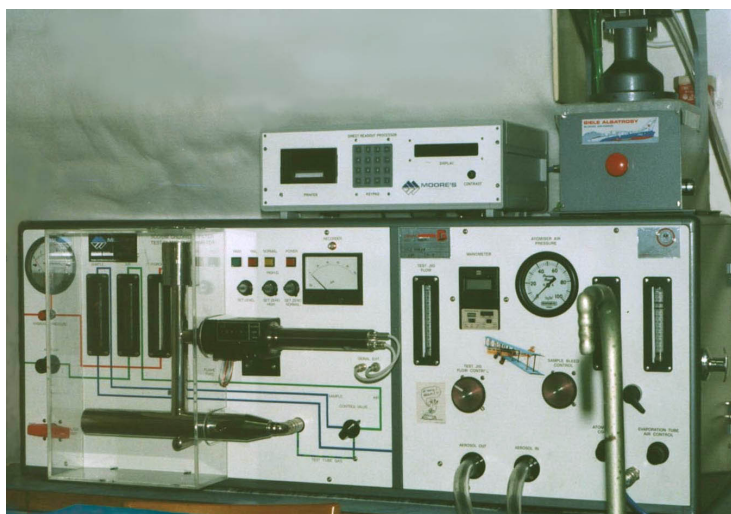
Testovací hlavice má rozměry 100 cm<sup>2</sup>, rychlost nárůstu tlaku je možno nastavit v rozmezí od 1cmH<sub>2</sub>O/min do 500 cmH<sub>2</sub>O s krokem 1cmH<sub>2</sub>O/min a od 100 cmH<sub>2</sub>O do 500 cmH<sub>2</sub>O s krokem 50 cmH<sub>2</sub>O. Detekce kapek se provádí zrakem. Přístroj ukazuje míru vodního sloupce v jednotkách cm H<sub>2</sub>O/min, který se spolu s rychlostí a časem měření zobrazuje na displeji.[14]



*Obr. č. 11: Přístroj pro měření vodního sloupce. [14]*

### **3.5 Efektivita záchytu a tlakového spádu**

Zařízení na měření efektivy záchytu a tlakového spádu, který je na obr. č. 12, měří odlučivost polydisperzních částic o velikosti od 0,02 do 2 μm (medián 0,65 μm) a tlakový spád při náletové rychlosti od 1,5 do 9,5 m/min. Koncentrace částic 13 mg/m<sup>3</sup>. Přístroj je určen zejména pro jemné a vysoce účinné filtry a respirátory. [15]



Obr. č. 12: Zařízení pro testování aerosolem NaCl. [16]

**Tento přístroj měří v souladu se standardy:**

- o BS 4400: „Method for Sodium Chloride Particulate Test for Respirator Filters“,
- o EN 143: „Ochranné prostředky dýchacích orgánů-Filtry proti částicím“,
- o EN 149: „Ochranné prostředky dýchacích orgánů-Filtrační polomasky k ochraně proti částicím“.
- o EN 779, EN 1822, ASHRE 52,2

**Princip měření:**

Roztok 10% NaCl je rozprášen a zbaven vody ve vypařovací trubici. Výsledkem jsou částice soli definované velikosti. Tyto částice nalétávají definovanou rychlostí na testovaný vzorek (zároveň je snímán tlakový spád vzorku). V hořáku hoří modrý plamen směsi vodíku a vzduchu. Projdou-li testovanou membránou částice NaCl, obarví se plamen do žluta. Čím více částic, tím větší intenzita žluté barvy plamene. Intenzitu žluté barvy plamene snímá spektrofotometr. Výstupem je hodnota napětí v mV, hodnota průniku částic testovaným vzorkem je určena vzorcem:

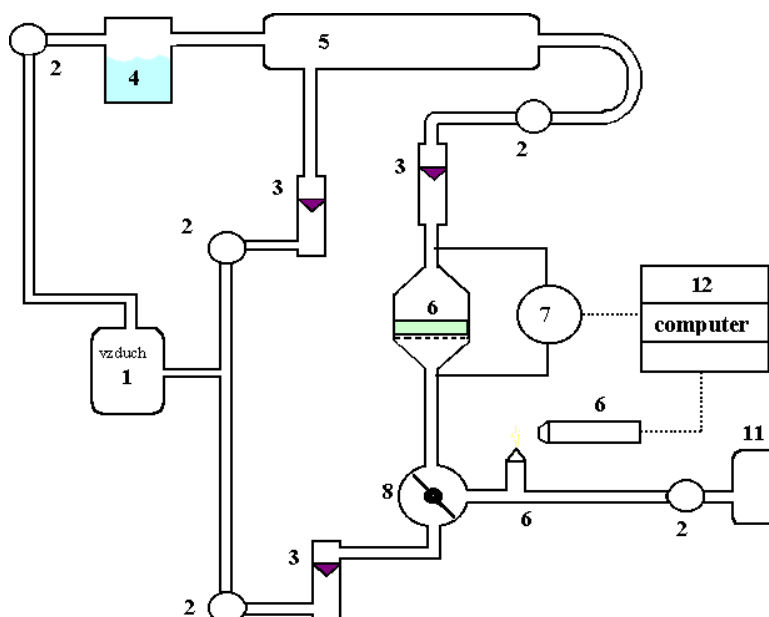
$$P=U1/U2 [\%], \quad (3)$$

kde U1 je napětí naměřené na testovaném vzorku, U2 je maximální napětí naměřené na tzv. 100% vzorku, tedy za situace, kdy v měřící cele není upnut žádný vzorek. Pro přesné měření je nutné určit nulový stav přístroje, kdy v hořáku hoří pouze vodík a vzduch přicházející cestou I.

**Vzduch může v přístroji procházet 3 cestami:**

- I. Cesta je pro určení nulového stavu přístroje a pro výměnu testovaného filtru – vzduch neprochází filtrem.
- II. Cesta je pro určení tlakového spádu filtru a vyčištění přístroje – vzduch prochází filtrem, ale neobsahuje částice soli.
- III. Cesta pro měření průniku částic filtrem.[15]

Na obr. č. 13 je zobrazeno schéma principu přístroje pro testování NaCl.

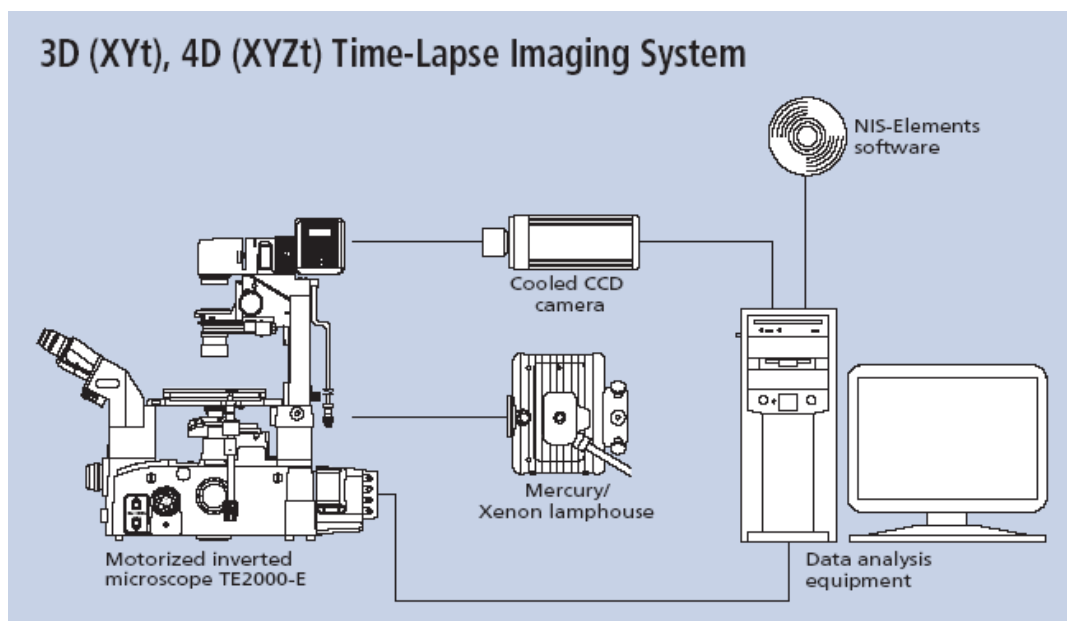


*Obr. č. 13: Schéma principu přístroje pro testování NaCl: 1. přívod stlačeného vzduchu, 2. regulační ventil, 3. průtokoměr; 4. rozprašovač, 5. vypařovací trubice, 6. měřící cela se vzorkem filtru, 7. měření tlakového spádu, 8. přepínací ventil, 9. hořák, 10. spektrofotometr snímající intenzitu žlutého světla, 11. láhev se stlačeným vodíkem, 12. počítač. [16]*

### 3.6 Obrazová analýza

Obrazová analýza je systém vyvinutý pro získávání a ukládání obrazů, interaktivní měření a možnosti archivace rozsáhlých obrazových sekvencí a jejich zpracování. V případě textilního inženýrství se jedná například o zjišťování geometrických vlastností vláken, přízí a plošných textilií.

Zobrazovací systém je složen z PC se softwarem obrazové analýzy, kamery nebo jiného zařízení pro získání obrazu z mikroskopu nebo makroskopu (viz obr. č. 14). Každá sestava je individuálně řešena podle daného problému.[17]



Obr. č. 14: Nejčastěji užívaný způsob propojení zobrazovacího systému. [17]

#### Obecný postup obrazové analýzy:

Obrazová analýza umožňuje nahrazení subjektivního posuzování obrazů pomocí objektivních charakteristik. Obecně lze postup obrazové analýzy rozdělit do tří etap:

1. tvorba obrazu (náhrada klasické fotografie),
2. počítačem podporovaná analýza obrazu,
3. analýza vybraných charakteristických rysů obrazu. [18]

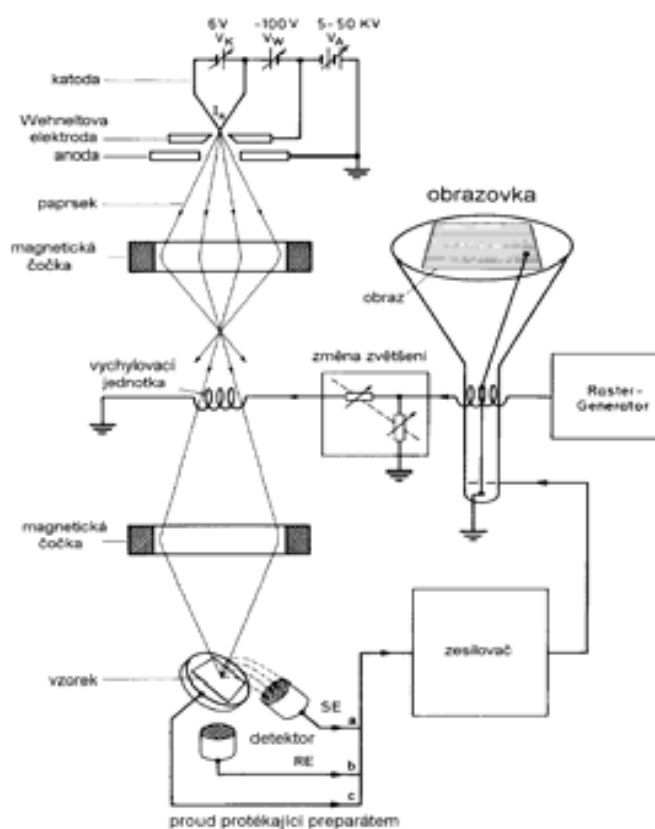
## Rastrovací elektronový mikroskop

Tento mikroskop, jehož schéma je znázorněno na obr. č. 15, slouží k pozorování povrchů textilních materiálů při velkém zvětšení. Zvětšené obrazy lze uložit a použít pro další měření a získávání dalších údajů o materiálech jako jsou např. počet pórů na  $\text{cm}^2$ , průměr vláken, min a max feret atd.

### Princip rastrovacího elektronového mikroskopu:

Primární paprsek elektronů produkovaných žhavenou katodou (elektroda se záporným napětím) se pohybuje po řádcích po preparátu (rastruje) a vyráží sekundární elektrony. Ty jsou snímány sondou, převáděny na videosignál a zobrazeny na monitoru.

**Výhody:** velká hloubka ostrosti, „plastické“ zobrazení, velká rozlišovací schopnost.[19]



Obr. č. 15: Schéma rastrovacího elektronového mikroskopu. [19]

## 4 FILTRACE

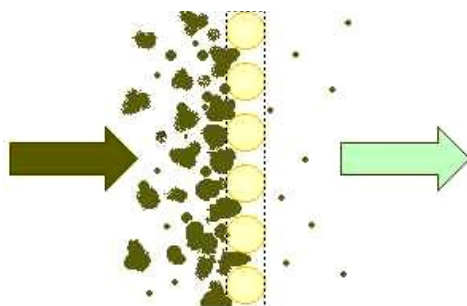
Je metoda dělení pevné látky od kapaliny či plynu na porézní přepážce - filtru. Suspenze filtrem protéká, zatímco pevné částice filtr zachytí.

### *Dělení filtrace dle prostředí:*

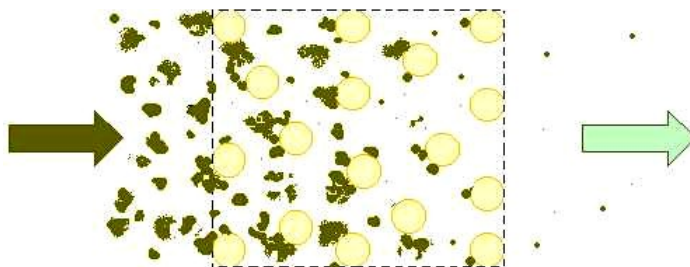
- kapalinová – čištění pitné vody, čištění odpadních vod, automobilové filtry (olejové filtry, filtry pohonných hmot)
- vzduchová – respirátory, systémy ventilace vzduchu (klimatizace), filtry do vysavačů, automobilové filtry (kabinové, motorové, výfukové filtry).

### *Dělení filtrace dle mechanismů:*

- povrchová filtrace - částice se zachycují na povrchu filtru, kde vytvářejí vrstvu zvanou filtrační koláč. Tato filtrace je znázorněna na obr. č. 16.
- hloubková filtrace - částice procházejí porézním prostředím filtru a zachycují se v něm. Tloušťka filtru bývá mnohem větší než u povrchové filtrace. Hloubková filtrace je vidět na obr. č. 17. [21]



*Obr. č. 16: Povrchová filtrace.[21]*



*Obr. č. 17: Hloubková filtrace. [21]*



## 5 PORÓZITA

Neboli velikost mezivláknenných pórů má úzký vztah zejména k prodyšnosti.

Vlákna a vlákenné útvary mají tu vlastnost, že nejsou zcela zaplněné. Existují totiž mezivláknenné póry, které vyplňují místo mezi vlákny. Různé útvary mají různou porózu. Zpravidla se dá říci, že nejmenší pravidelnost struktury a největší porózu vykazuje netkaná textilie oproti tkanině či pletenině. Velikost pórů u tkanin závisí na dostavě, na vazbě tkaniny, na typu použitých přízí, a také na konečné úpravě tkaniny. Velikost pórů u pletenin závisí tak jako u tkaniny na vazbě a typu použitých přízí. Netkané textilie jsou textilním útvarem, kde pórovitost závisí na použitých vláknech, způsobu získání vlákenné vrstvy a zpevnění vlákenné vrstvy. [22]

### Zjišťování velikosti pórů

Protože póry nejsou určitých tvarů, zavádíme zde určité tvarové zjednodušení.

Ekvivalentní průměr mezivláknenného póru (rovnice 4):

$$d_{ekv} = \frac{S_V}{S_{kruhu}} = \frac{S_V * 4 * \pi}{O_V^2} = \frac{1}{(q+1)^2}, \quad (4)$$

kde  $S_V$ ...plocha průřezu vlákna

$O_V$ ...obvod průřezu vlákna

$d_{ekv}$ ...ekvivalentní průměr průřezu vlákna

$q$ ...stupeň rozvinutosti tvaru podle Malinowské

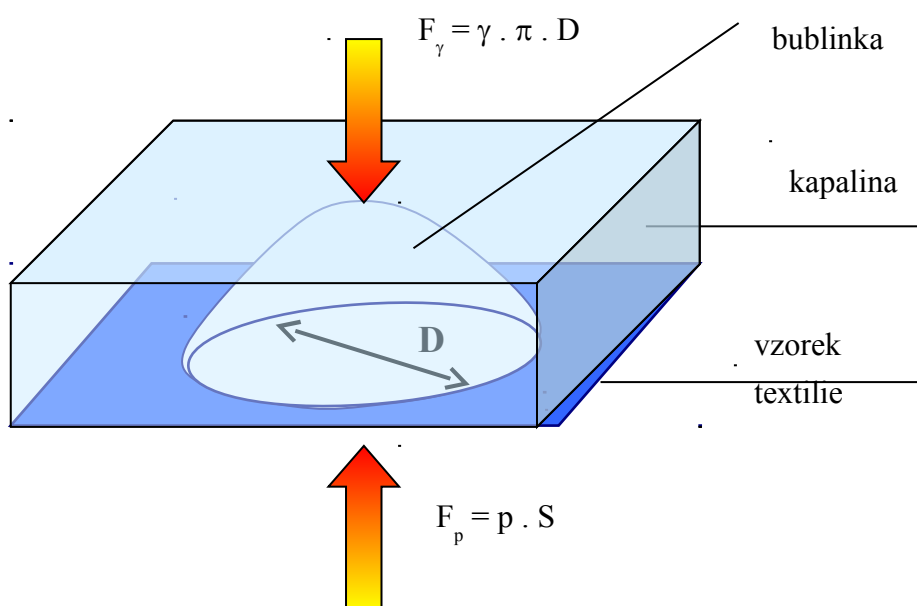
### 5.1 Velikost maximálního póru

Poróza neboli velikost pórů v textilií je důležitá charakteristika transportních vlastností textilních materiálů. Má úzký vztah zejména k prodyšnosti a filtračním vlastnostem. Porózu je možné měřit:

- přímo pomocí obrazové analýzy,
- nepřímo, kdy se využívá prosévání definovaných částic skrz textilií, nebo povrchového napětí kapaliny, kterou je textilie smočena.

### Zjišťování velikosti maximálního póru bublinkovou metodou

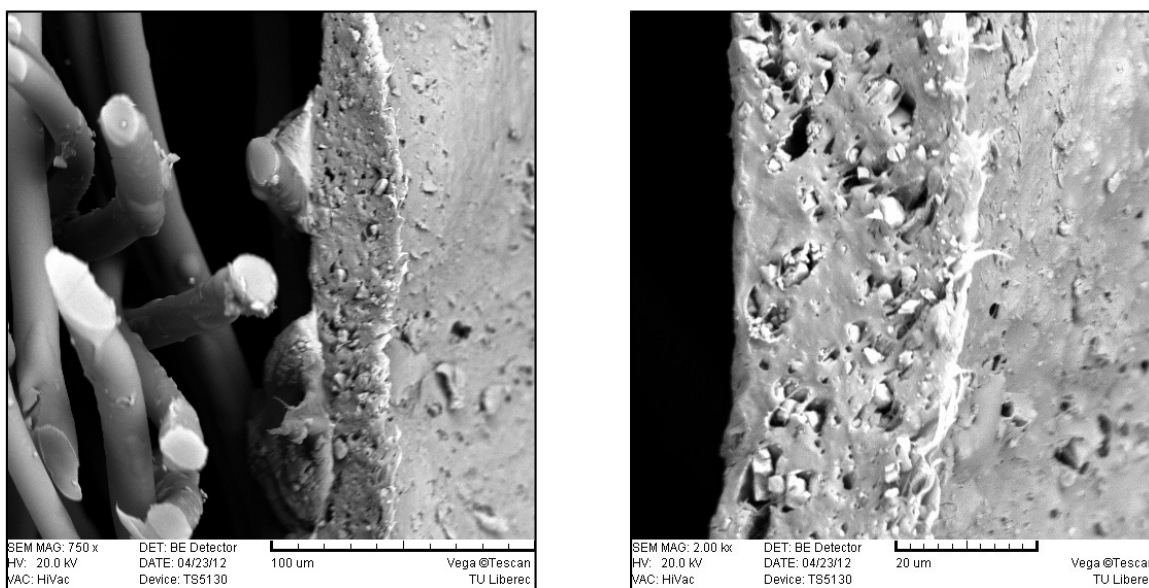
Bublinková metoda (bubble point test) je jednou z nepřímých metod, s jejíž pomocí lze zjišťovat velikost největšího póru v textilií. Podstatu metody lze pozorovat na obr. č. 18. Z rovnováhy síly dané povrchovým napětím a síly dané tlakem vytlačující kapalinu z póru lze vypočítat jeho velikost. Z praktického hlediska je nejjednodušší zjistit velikost největšího póru v textilií, neboť to je místo, kde při postupném zvyšování tlaku dojde nejdříve k vytlačení kapaliny z póru – objeví se první bublinka vzduchu. [20]



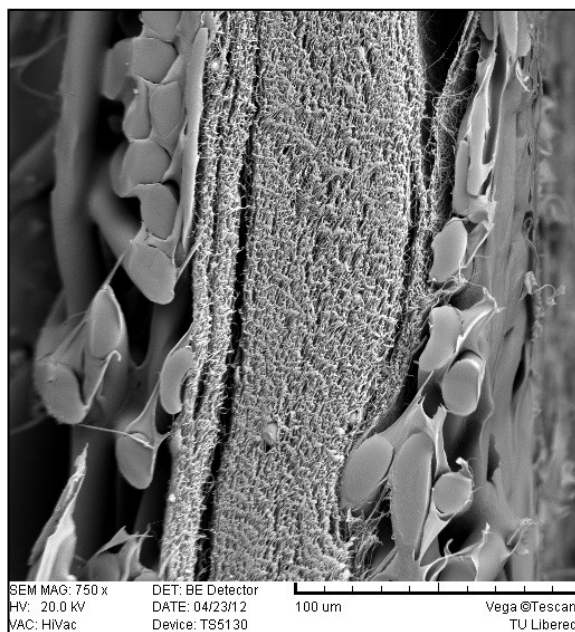
Obr. č. 18: Podstata bublinkové metody. Síla  $F_\gamma$  je daná povrchovým napětím kapaliny působící po obvodu póru  $\pi \cdot D$ . Síla  $F_p$  je daná vnějším tlakem vytěsňující kapalinu z póru a působící na ploše póru  $S$ . [20]

### III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

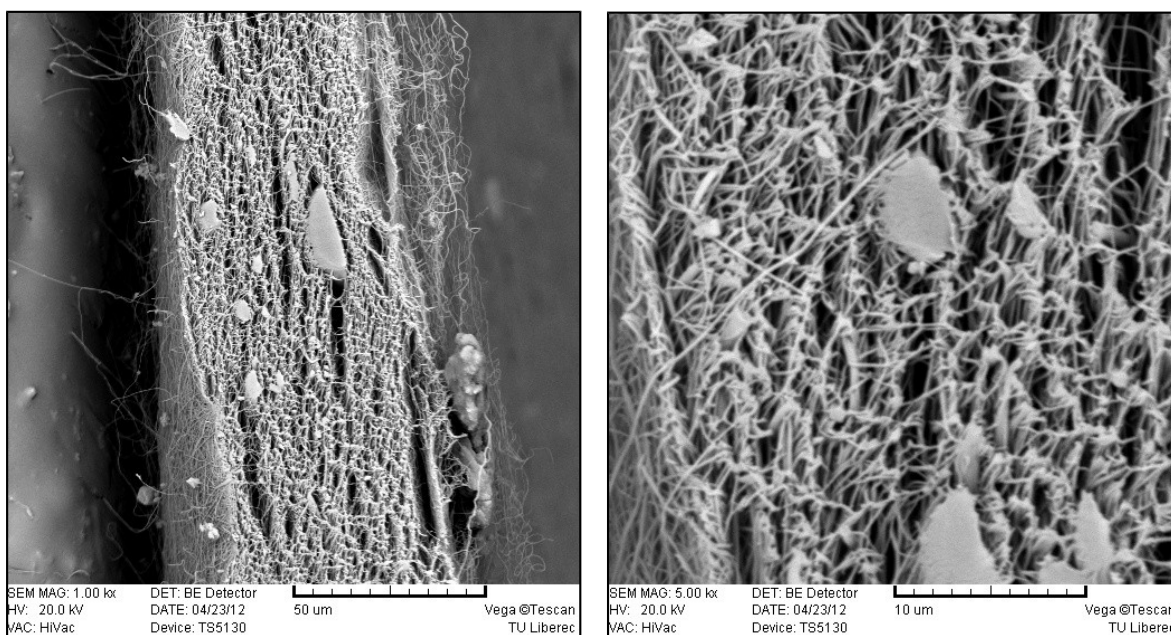
V experimentální části byly porovnávány vlastnosti (paropropustnost, větruodolnost, hydrostatická odolnost, maximální pór, efektivita záchyty a tlakový spád, počet pórů na  $\text{cm}^2$ , průměr vláken, min a max feret, ekvivalentní průměr póru) tří druhů vzorků (viz vzorník v příloze č. 1). V prvním případě byly použity vzorky vystřižené z ochranného oděvu vyrobeného firmou 3M. Vrchní vrstva tohoto oděvu byla vyrobena technologií melt-blown. Technologie melt-blown je popsána v části teoretické. Druhým vzorkem byla samostatná nanovláknenná vrstva vyrobena firmou Elmarco, kterou poskytla firma Viola Nanotechnology a jako třetí vzorek byl použit stejný druh nanovláknenné vrstvy jako u vzorku č. 2 s tím rozdílem, že vrstva byla slaminována s bikomponentním spunbondem. Příprava tohoto laminátu je popsána dále. Vzorky č. 2 a č. 3, byly vyrobeny z polymerních nanovláken (PA6). Na obr. č. 19 - 21 je pohled na řezy těmito materiály z rastrovacího mikroskopu, který byl popsán již v části teoretické.



Obr. č. 19: Snímek řezu 2vrstvou nanovláknennou vrstvou ochranného oděvu 3M z rastrovacího mikroskopu



Obr. č. 20: Snímek řezu 3vrstvým laminátem vytvořeným na TUL



Obr. č. 21: Snímek řezu samostatnou nanovláknennou vrstvou z rastrovacího mikroskopu

## 1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Na každé měření byly připraveny vzorky o rozměrech 20x20cm. Měření probíhalo pro 3 různé vzorky. Ze vzorku č. 3 bylo potřeba vytvořit třívrstvý laminát. Jeho vytvoření probíhalo následovně:

Byly použity vzorky nanovlákněné vrstvy rozměrů 20x20cm. Stejně rozměry měl také bikomponentní spunbond (popsaný v části teoretické), mezi který byla nanovlákněná vrstva vložena. Laminace probíhala na podlepovacím lisu značky Meyer, který vlastní TUL. Na zařízení bylo potřeba nastavit tlak  $1\text{kg/cm}^2$ , který na vzorek působil, teplotu  $130^\circ\text{C}$  a rychlost  $1\text{m/min}$ . Díky nastaveným parametrům na přístroji došlo ke spojení vrstev a vznikl tak třívrstvý laminát.

## 2 VLASTNÍ MĚŘENÍ

**Použité vzorce:**

### Aritmetický průměr

Aritmetický průměr (rovnice 5) je součet hodnot znaku zjištěných u všech jednotek souboru, dělený počtem všech jednotek souboru.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

### Rozptyl

Rozptyl (rovnice 8) je střední kvadratická odchylka náhodné veličiny od její střední hodnoty.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$$

### Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka (rovnice 6) je druhá odmocnina z rozptylu. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Udává, jak daleko jsou čísla v souboru vzdálena od průměru, resp. hodnoty náhodné veličiny vzdálené od střední hodnoty.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{s^2} \quad (7)$$

### 95% interval spolehlivosti

95% interval spolehlivosti (rovnice 8) udává rozmezí, ve kterém s 95%ní jistotou bude požadovaný parametr.

$$L_{d,h} = \bar{x} \mp t^{(n-1)} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

## 2.1 Paropropustnost

Význam paropropustnosti a přístroj permetest, na kterém probíhalo měření, byly popsány již v části teoretické. Nyní se budeme zabývat samotným měřením.

Paropropustnosti ochranných oděvů je věnována velká pozornost hlavně z hlediska komfortu pracovníka (přístroj pro měření paropropustnost simuluje vnitřní pocení).

### Měření na permetestu probíhalo v tomto pořadí:

1. kalibrace samotného přístroje
2. změření referenčního vzorku (musíme dosáhnout hodnoty Ret 5,0 Pa.m<sup>2</sup>.W<sup>-1</sup>)
3. samotné měření vzorků

Měření probíhá tak, že se vzorek položí na měřící hlavici, která je na povrchu pokryta porézní vrstvou obsahující systém pro měření tepelného toku (membránou). Tuto vrstvu nesmíme během měření porušit, jinak by došlo ke zkreslení výsledků. Vzorek se upíná mezi hlavu a tělo přístroje a je nutné zde pohlídat, aby povrch vzorku nebyl zvrásněný, což by nám z určité části ovlivnilo výsledné hodnoty měření. Po spuštění přístroje se po relativně krátké době objeví na monitoru počítače dvě hodnoty:

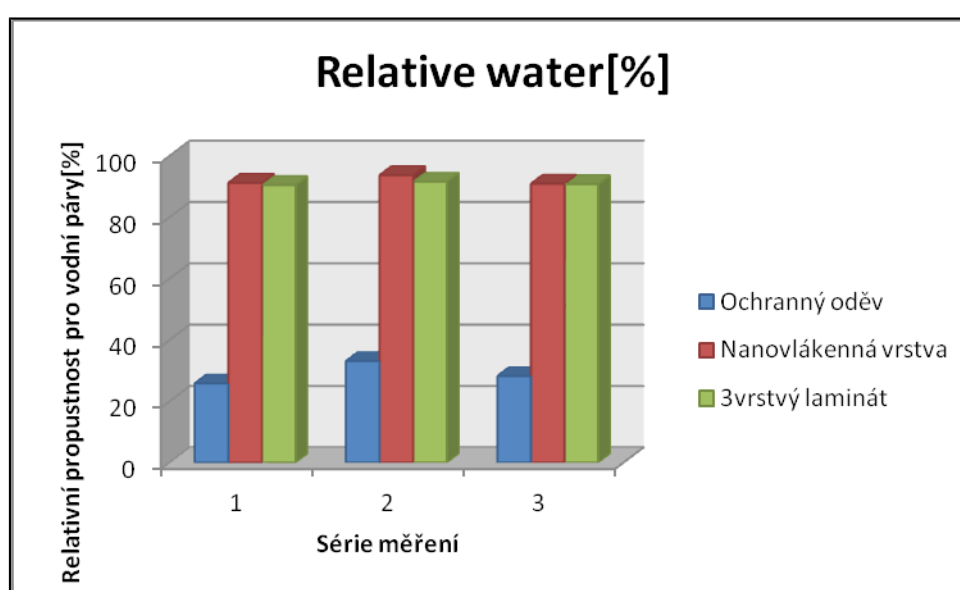
- relativní propustnost pro vodní páry [%] – Relative water

- výparný odpor pro vodní páry Ret [ $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ] – Absolut water

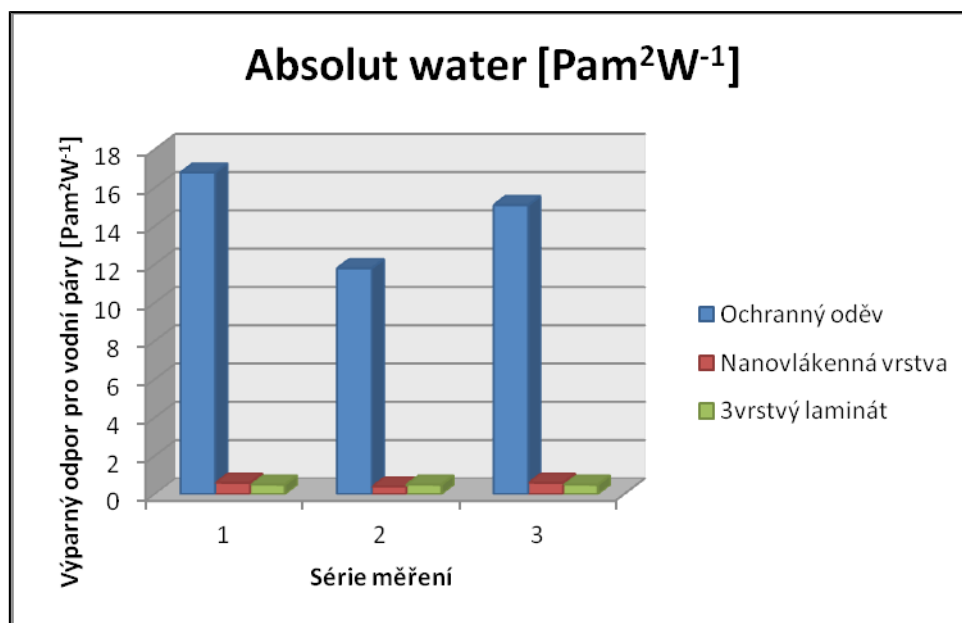
Na permetestu byly pro každý ze 3 vzorků provedeny tři série měření (v každé sérii 3 měření). První měření na vzorku vystříženém z ochranného oděvu, druhé měření na samostatné nanovlákně Elmarco a třetí na třívrstevném laminátu (nanovlákně vrstvy s bikomponentním spunbondem). Úkolem měření bylo porovnat vzorky mezi sebou a nalézt nejvhodnější variantu materiálu s nejlepší paropropustností. Průměrné výsledky tohoto měření jsou uvedeny v následující tabulce. Průběžné výsledky měření paropropustnosti jsou uvedeny v příloze č. 2.

Tab. 2: Výsledky měření paropropustnosti.

	Ochranný oděv	Nanovlákněná vrstva	3vrstvý laminát
Relative water[%]	25,8	91,2	90,5
	33,1	93,7	91,6
	28,2	90,9	90,8
Průměr	<b>29,0</b>	<b>91,9</b>	<b>91,0</b>
Absolut water [ $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ]	16,8	0,6	0,5
	11,8	0,4	0,5
	15,1	0,6	0,5
Průměr	<b>14,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>



Graf č. 1: Relativní propustnost pro vodní páry.



Graf č. 2: Výparný odpor pro vodní páry.

**Zhodnocení měření paropropustnosti:**

Z grafů a tabulky č. 2 je patrné, že vzorek č. 1 tj. ochranný oděv firmy 3M vykazoval „uspokojivou paropropustnost“ (dle Tab. č. 1 uvedené v části teoretické). Oproti tomu vzorek č. 2 měl v průměru stejnou hodnotu paropropustnosti jako vzorek č. 3, a to „velmi dobrou“ (dle Tab. č. 1). Lze tedy konstatovat, že laminací nanovláknenné vrstvy (vzorek č. 3), došlo k jejímu ztenčení a tato změna má určitý vliv na paropropustnost.

**2.2 Prodyšnost**

Tak jako paropropustnost také prodyšnost byla popsána již v části teoretické a nyní se budeme zabývat samotným měřením. Prodyšnost je mimo jiné také velice důležitým parametrem z hlediska komfortu, a tak je třeba mu věnovat nemalou pozornost.

Měření prodyšnosti neboli propustnosti textilií pro vzduch probíhalo na přístroji švýcarské firmy TEXTEST AG s názvem FX3300.



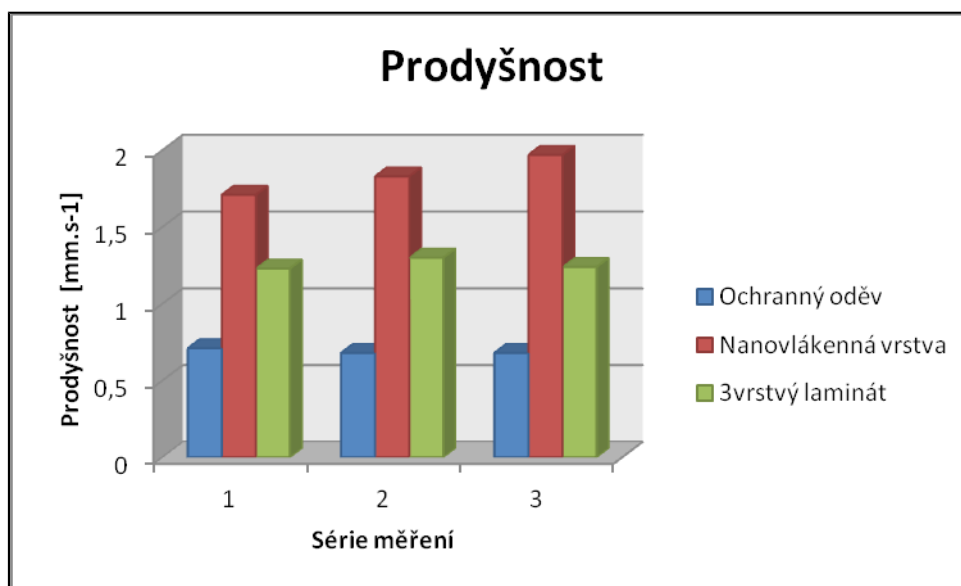
**Postup měření:**

Pod upínací rameno přístroje se vloží vzorek. Stlačení ramene se přístroj spustí a během několika vteřin se na digitálním displeji zobrazí výsledek ve vybrané měrné jednotce.

Vzorek byl měřen v jednotkách  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro každý vzorek byly provedeny 3 série měření (v každé sérii 5 měření) pro co nejpřesnější měření. Průměrné výsledky tohoto měření jsou uvedeny v následující tabulce a v příloze č. 2 je přehled všech průběžných výsledků z měření prodyšnosti.

Tab. 3: Výsledky měření prodyšnosti.

	Ochranný oděv	Nanovlákná vrstva	3vrstvý laminát
<b>Prodyšnost</b> [ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	0,71	1,71	1,23
	0,68	1,83	1,30
	0,68	1,97	1,24
<b>Průměr</b>	<b>0,69</b>	<b>1,84</b>	<b>1,26</b>



Graf č. 3: Výsledky měření prodyšnosti.

### **Zhodnocení měření prodyšnosti:**

Nejlepší výsledné hodnoty z hlediska prodyšnosti vykazoval vzorek č. 2, tj. samostatná nanovlákná vrstva. Naopak nejnižší prodyšnost byla naměřena u vzorku č. 1 (ochranný oděv 3M). Z grafu je zřejmé, že změna tloušťky materiálu způsobená laminací nanovlákné vrstvy má vliv také na prodyšnost. Lepší prodyšnost měla samostatná nanovlákná vrstva, která je ovšem bez dalšího zpevnění (např. laminací) pro výrobu ochranného oděvu příliš jemná a náchylná k poškození.

## **2.3 Hydrostatická odolnost**

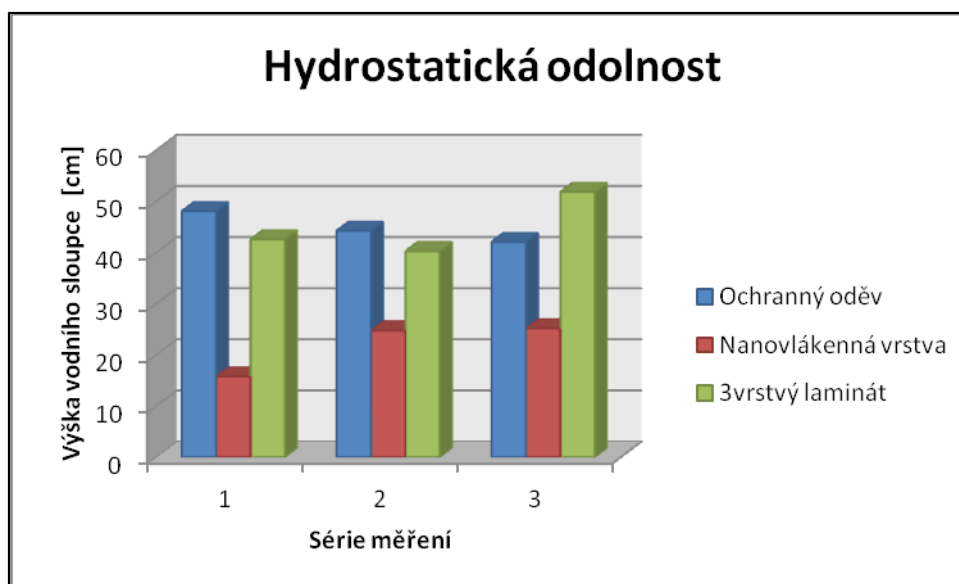
Hydrostatická odolnost a přístroj, na kterém se tento parametr měří, byly popsány v části teoretické. Tato část se zabývá samotným měřením hydrostatické odolnosti tj. výšce vodního sloupce.

### **Podstata zkoušky:**

Podstata spočívá v tom, jakému tlakovému působení vody jsou předložené vzorky schopné odolat. Měření bylo prováděno dle normy ČSN EN 20811 v podmínkách podle ISO 139. Před měřením byly vzorky klimatizovány po dobu 24hod při relativní vlhkosti  $65 \pm 2\%$  a teplotě  $19^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Vzorek se zkušební plochou  $170\text{ cm}^2$  byl upnut mezi testovací hlavici a přístroj byl spuštěn tlačítkem start. Na vzorek působil tlak vody zespod až do doby, kdy se na povrchu testované textilie objevily první 3 kapky vody. Poté byl přístroj zastaven tlačítkem stop a na displeji se zobrazila míra vodního sloupce v jednotkách  $\text{cm H}_2\text{O}/\text{min}$  spolu s rychlostí a časem samotného měření. Rychlost zvyšování tlaku vody byla  $10\text{ cmH}_2\text{O}$  za minutu. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4: Výsledky měření výšky vodního sloupce.

	Ochranný oděv	Nanovláknenná vrstva	3vrstvý laminát
Výška vodního sloupce [cm]	48,1	15,8	42,6
	44,3	24,8	40,3
	42,1	25,2	51,9
Průměr	<b>44,8</b>	<b>21,9</b>	<b>43,6</b>



Graf č. 4: Výsledky měření vodního sloupce.

**Zhodnocení hydrostatické odolnosti:**

V průměru nejvyšší naměřenou výšku vodního sloupce měl vzorek č. 1 (ochranný oděv 3M). Nejnižší výška byla naměřena u samostatné nanovláknenné vrstvy. Z výsledků vyplývá, že vytvořením třívrstvého laminátu ze samostatné nanovláknenné vrstvy došlo k výraznému zvýšení schopnosti materiálu odolávat tlaku vody, tj. tato schopnost se zvýšila o 99% oproti jednovrstvé nanovláknenné vrstvě bez laminátu.

## 2.4 Maximální pór

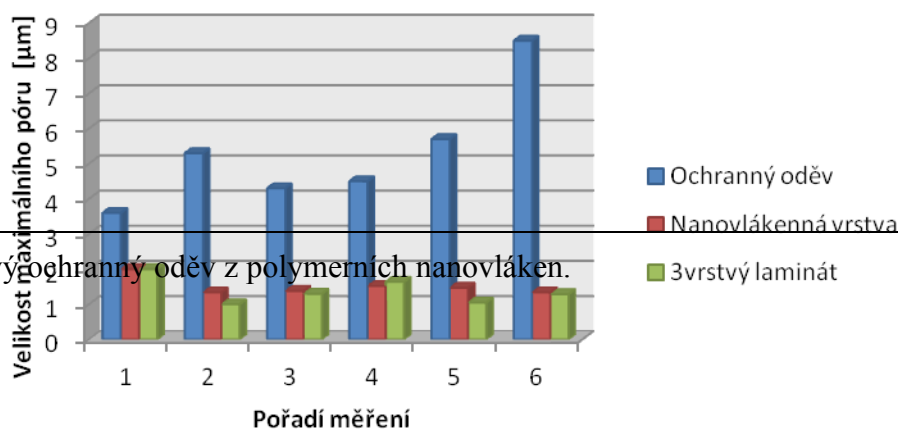
Porózita neboli velikost pórů má úzký vztah zejména k prodyšnosti a filtračním vlastnostem, proto bylo důležité změřit také tuto vlastnost a vzájemně výsledky porovnat. Pro zjištění maximálního póru byla použita nepřímá metoda měření tzv. bublinková metoda, jejíž podstata je uvedena v části teoretické.

### Postup měření:

Kruhový vzorek textilie byl upnut mezi upínací čelisti. Bylo potřeba zkontrolovat, zda je vzduchový ventil otevřen a ventil pro odtok ethanolu uzavřen. Poté byl zapnut vzduchovací motorek. Na upnutý vzorek se opatrně nalil ethanol až po rysku a postupně se uzavíral vzduchový ventil. Přes zvětšovací sklo bylo potřeba sledovat zkoušený vzorek a zároveň kontrolovat tlakoměr. V okamžiku průchodu první bublinky vzorkem byl odečten tlak vzduchu pod textilií. Tlak byl vyjádřen rozdílem hladin vodního sloupce [mm] a přepočítal se na Pascaly. Vzduchovací motorek byl vypnut a vzduchový a odpouštěcí ventil byly otevřeny. Odpouštěcím ventilem vyteče Ethanol do předem připravené odpadní lahve. Naměřené velikosti maximálních pórů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5: Výsledky měření maximálního póru.

	Ochranný oděv	Nanovlákná vrstva	3vrstvý laminát
Velikost maximálního póru [μm]	3,6	2,00	2,00
	5,3	1,34	1,00
	4,3	1,38	1,30
	4,5	1,52	1,64
	5,7	1,47	1,05
	8,5	1,34	1,29
Průměr	<b>5,32</b>	<b>1,51</b>	<b>1,38</b>
95% Interval spolehlivosti	<b>Maximální pór</b> (3,94; 6,71)	(1,31; 1,71)	<1,08; 1,68>



Jednorázový ochranný oděv z polymerních nanovláken.

Graf č. 5: Výsledky měření velikosti maximálního póru.

### **Zhodnocení měření velikosti maximálního póru:**

Z grafu je patrné, že největší maximální pór měl vzorek č. 1 (ochranný oděv 3M). Tato skutečnost je vidět již na měření prodyšnosti materiálu, která je úzce spjatá s velikostí pórů. Slaminováním samostatné nanovlákněné vrstvy se spunbondem se zmenšil maximální pór v materiálu, avšak ztenčením vrstvy v průběhu laminace došlo ke zhoršení prodyšnosti materiálu.

## **2.5 Metoda měření pomocí aerosolu NaCl**

Princip metody byl popsán již v části teoretické. Nyní bude popsána praktická část měření efektivity záchytu a tlakový spád.

### **Popis experimentu:**

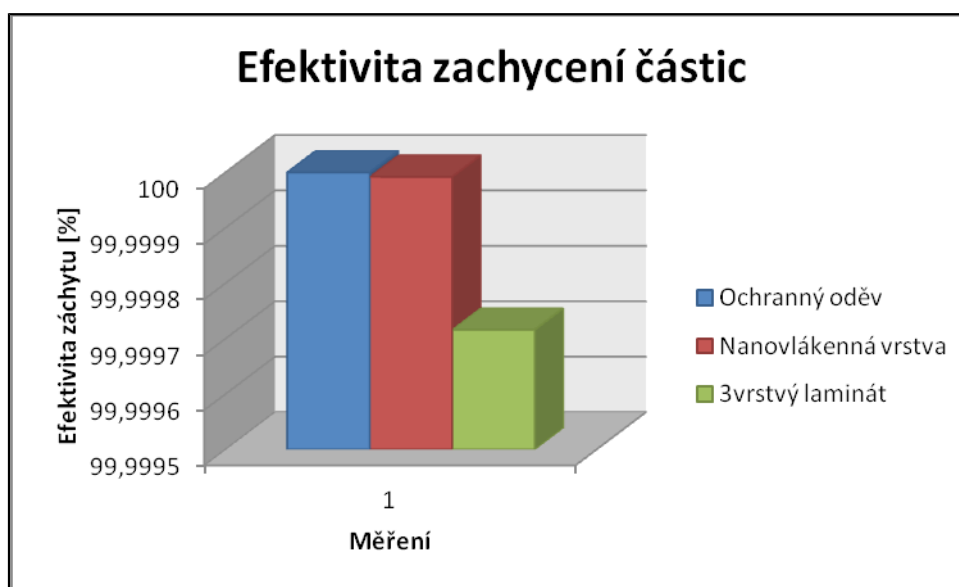
Experiment změřil efektivitu záchytu a tlakový spád. Byl proveden pro 3 druhy vzorků. Náletová rychlost částic byla 5m/min. Jelikož přístroj udává hodnotu průniku částic testovaným vzorkem, je třeba ji přepočítat na efektivitu záchytu (dle vzorce 8):

$$E = 100 - P [\%], \quad (8)$$

kde P je hodnota průniku částic testovaným vzorkem. Výsledky experimentu jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tab. 6: Výsledky měření efektivity záchytu.

	Ochranný oděv	Nanovlákněná vrstva	3vrstvý laminát
Tlakový spád [Pa]	0	517	675
Průnik částic vzorkem [%]	0,000000	0,000008	0,000284
Efektivita záchytu [%]	100	99,999992	99,999716



Graf č. 6: Výsledky efektivity zachycení částic.

**Zhodnocení měření efektivity záchytu částic:**

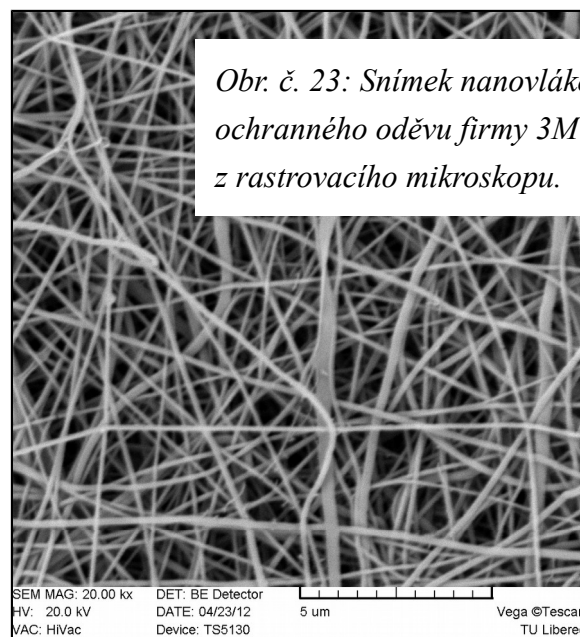
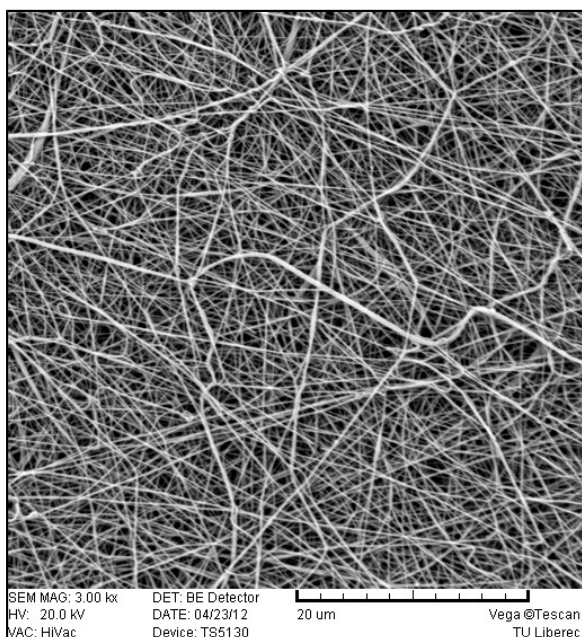
Vytvořením třívrstvého laminátu z nanovlákněné vrstvy se z malé části snížila efektivita zachycení částic, avšak toto snížení se dá zanedbat, jelikož je nižší o pouhých 0,000276%. Pro vzorek č. 1 přístroj nereagoval na zvyšování tlakového spádu, tj. průnik částic byl nulový, a tak byla efektivita záchytu rovna 100%.

**2.6 Obrazová analýza**

Obrazová analýza byla měřena u dvou vzorků, tj. vzorek č. 1 byl vzorek vystřižený z ochranného oděvu firmy 3M a vzorek č. 2 neslaminovaná nanovlákněná vrstva firmy

Elmarco, který poskytla firma Viola Nanotechnology. Každá membrána byla nasnímána z deseti pohledů. Na obr. č. 22 a č. 23 lze vidět vybrané zvětšené pohledy těchto materiálů pořízených z rastrovacího mikroskopu, které sloužily jako podklad pro obrazovou analýzu. Graf č. 7 a 8 znázorňuje rozdělení průměru vláken u jednotlivých vzorků.

Princip a obecný postup obrazové analýzy byl popsán v části teoretické. Nyní je uveden podrobnější postup analýzy a parametry materiálů, zjištěné měřením.



Obr. č. 23: Snímek nanovlákněné vrstvy ochranného oděvu firmy 3M z rastrovacího mikroskopu.

#### Postup na obrazové analýze byl následující:

- převedení barevného obrazu do šedotónové stupnice
- transformace do binárního tvaru
- rychlá kalibrace
- úprava obrazů pomocí morfologických operací dilatace a eroze
- příznaky pro měření polí
- změření a vyhodnocení příznaků pro měření polí

#### Práce na obrazové analýze

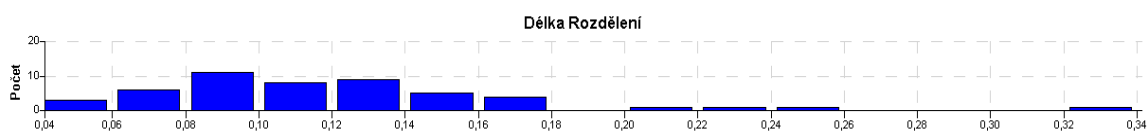
Cílem analýzy bylo zjistit tyto parametry:

- počet pórů na  $1\text{cm}^2$

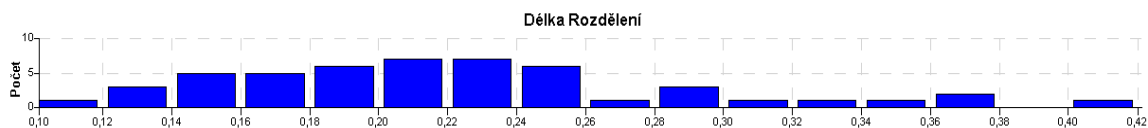
- průměr vláken
- minimální a maximální feret
- ekvivalentní průměr póru

Tab. 7: Výsledky měření na obrazové analýze.

	Nanovláknenná vrstva Elmarco	Ochranný oděv 3M
Počet pórů na 1cm <sup>2</sup>	6,21177x10 <sup>11</sup>	6,67832x10 <sup>12</sup>
Průměr vláken [μm]	0,12	0,22
Min a max feret[μm]	0,66;1,31	0,14;0,29
Ekvivalentní průměr póru[μm]	0,76	0,17
Interval průměru vláken [μm]	<0,05;0,33>	<0,12;0,42>



Graf č. 7: Histogram průměru vláken v nanovláknenné vrstvě



Graf č. 8: Histogram průměru vláken ve vláknenné vrstvě ochranného oděvu 3M

#### **Zhodnocení parametrů zjištěných z obrazové analýzy:**

Parametry byly porovnány u dvou vzorků, z nichž vzorek oděvu 3M měl větší průměr vláken, menší hodnotu min a max feret a také menší ekvivalentní průměr póru. Vytvořená nanovláknenná vrstva měla nižší počet pórů na cm<sup>2</sup> než oděv 3M. Z histogramů je vidět, že 3M obsahoval největší počet vláken v tloušťce 0,20-0,24μm zatímco nanovláknenná vrstva v intervalu 0,08-0,1 μm.

## IV. ZÁVĚR



Cílem této práce bylo prostudovat problematiku v oblasti ochranných oděvů a vzájemně porovnat vybrané vlastnosti mezi třemi různými materiály. Těmito materiály byly: ochranný oděv vyrobený firmou 3M, nanovlákná vrstva vyrobena firmou Elmarco a tatáž nanovlákná vrstva slaminovaná s bikomponentním spunbondem.

V první části práce jsou uvedeny obecné informace o nanovlákněch jako takových včetně jejich přípravy a komfortu, kde jsou rozebrány jednotlivé vlastnosti materiálů, jako např. paropropustnost, prodyšnost, vodní sloupec atd. V této části nalezneme také základní informace o filtraci a porózitě, které úzce souvisí s měřenými zkouškami.

Druhá část práce se zabývala již experimentálním ověřováním vybraných vlastností daných vzorků. Na závěr experimentální části lze říci, že ve většině měření vykazoval nejlepší hodnoty třívrstvý laminát vytvořený z nanovlákné vrstvy spolu s bikomponentním spunbondem. Samostatná nanovlákná vrstva firmy Elmarco byla vyhodnocena v případě měření paropropustnosti a prodyšnosti jako nejlépe hodnocený vzorek. Tuto vrstvu však nelze použít na výrobu jednorázového ochranného oděvu bez dalšího zpevnění jako např. laminace. Samotná nanovlákná vrstva je na výrobu oděvu velmi jemná a náchylná k poškození, a proto je třeba jí zpevnit i za tu cenu, že se lehce zhorší právě zmiňovaná paropropustnost a prodyšnost. Ochranný oděv vyrobený firmou 3M měl 100% efektivitu zachycení částic. Vytvořený třívrstvý laminát zachytil 99,999992% částic, což je v porovnání s ochranným oděvem vcelku zanedbatelný rozdíl. Také u měření hydrostatické odolnosti měl ochranný oděv lepší hodnotu, v průměru o 1,2cm (necelá 3% oproti třívrstvému laminátu). Tato hodnota je také zanedbatelná. Musí se brát v potaz to, že při tak malém rozdílu efektivitě zachycení částic má přesto vytvořený laminát mnohem lepší hodnoty paropropustnosti (téměř 30krát) a prodyšnosti (1krát). Obrazová analýza zkoumala především pórovitost materiálů, se kterou souvisí většinou všechny měřené zkoušky.

Pro výrobu jednorázového ochranného oděvu by bylo zapotřebí dalších zkoušek, jako je např. odolnost proti oděru či olejovým kapalinám, záleží ovšem na tom, v jakém prostředí se bude osoba, která na sobě bude oděv mít, pohybovat. Není např. třeba měřit žáruvzdornost, pohybuje-li se pracovník mimo riziko vzplanutí.

Závěrem lze konstatovat, že vytvořený třívrstvý laminát splnil všechny požadavky týkající se paropropustnosti, prodyšnosti, hydrostatické odolnosti a efektivitě zachytu a je možné tento materiál použít na výrobu jednorázového ochranného oděvu namísto ochranného oděvu firmy 3M, který nevykazoval tak dobré výsledky.

## **POUŽITÁ LITERATURA**

[1] ČSN EN 340 – Ochranné oděvy – Všeobecné požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2004

- [2] ČSN EN 510 – Požadavky na ochranné oděvy používané při riziku zachycení pohyblivými částmi. Praha: Český normalizační institut, 1994
- [3] ČSN EN 343+A1 – Ochranné oděvy – Ochrana proti dešti. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [4] 3M [online]. [cit. 2012-2-13]. Dostupné z WWW: <[http://solutions.3mcesko.cz/wps/portal/3M/cs\\_CZ/EU2/Country/](http://solutions.3mcesko.cz/wps/portal/3M/cs_CZ/EU2/Country/)>.
- [5] Štych [online]. [cit. 2012-2-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.pracovni-odevy-stych.cz/>>.
- [6] Elmarco [online]. [cit. 2012-3-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.elmarco.com/technology/charakteristika-nanovlaken/>>
- [7] Růžičková, J.: Elektrostatické zvlákňování nanovláken, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2004
- [8] Košťáková Eva: Úvod do nanomateriálů a nanotechnologie, úvod do textilních nanomateriálů [online]. [cit. 2012-2-18]. Dostupné z WWW: <[http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/predn%C3%A1%C5%A1ka%201\\_uvod\\_do\\_nanomaterialu\\_na%20web.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/predn%C3%A1%C5%A1ka%201_uvod_do_nanomaterialu_na%20web.pdf)>.
- [9] Jirsák, O., Kalinová, K.: Netkané textilie, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2003
- [10] Hes, L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2005
- [11] Svět outdooru [online]. [cit. 2012-3-6]. Dostupné z WWW: <<http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?107716-vite,-co-si-oblekate?-ii.>>
- [12] Highpoint [online]. [cit. 2012-3-6]. Dostupné z WWW: <<http://www.highpoint.cz/slovník/vodni-sloupec.html>>.
- [13] Armyshop [online]. [cit. 2012-2-18]. Dostupné z WWW: <[http://www.armyshop-outdoor.cz/cms.php?id\\_cms=20](http://www.armyshop-outdoor.cz/cms.php?id_cms=20)>
- [14] SDL ATLAS [online]. [cit. 2012-2-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.sdlatlas.com/product/55/Hydrostatic-Head-Tester>>
- [15] Hrůza Jakub, Filtrace a filtrační materiály [online]. [cit. 2012-3-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/filtr.pdf>>.
- [16] Hrůza Jakub, Vývoj filtračních vlastností nanovlákných vrstev [online]. 2009 [cit. 2012-3-30]. Dostupné z WWW: <<https://centrum-sanace.cs.cas.cz/index.php?content=seminar&lang=cs&id=31.>>

- [17] NIS Elements [online]. [cit. 2012-3-6]. Dostupné z WWW:  
[http://www.lim.cz//files/File/NIS-Elements/Docs/Prospekt\\_NIS-Elements.pdf](http://www.lim.cz//files/File/NIS-Elements/Docs/Prospekt_NIS-Elements.pdf)
- [18] Militký, Obrazová analýza a Matlab. Dostupné z WWW:  
[centrum.tul.cz/centrum/centrum/.../1.2.../%5B1.2.12%5D.pdf](http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/.../1.2.../%5B1.2.12%5D.pdf)
- [19] Košťáková Eva, Testování nanovlákných materiálů [online]. [cit. 2012-3-26].  
Dostupné z WWW: [http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=176&Itemid=36](http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=176&Itemid=36)
- [20] Hrůza J.: Textilie pro průmyslové aplikace [návody na cvičení]. Liberec: TUL. 2008-03-10
- [21] Hrůza J.: Textilie pro průmyslové aplikace [přednáška]. Liberec: TUL. 2008-03-10
- [22] DP Podrazil 2010

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Klasifikace prodyšnosti materiálů dle stávajících ISO norem.

Tab. 2 - Výsledky měření paropropustnosti.

Tab. 3 - Výsledky měření prodyšnosti.

Tab. 4 - Výsledky měření výšky vodního sloupce.

Tab. 5 - Výsledky měření maximálního póru.

Tab. 6 - Výsledky měření efektivity záchytu.

Tab. 7 - Výsledky měření na obrazové analýze.

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 - Logo firmy 3M

Obr. č. 2 - Ukázka jednorázového ochranného oděvu firmy 3M

Obr. č. 3 - Logo firmy Štych

Obr. č. 4 - Schéma principu elektrostatického zvlákňování – horizontální kapilára

Obr. č. 5 - Schéma Nanospideru

Obr. č. 6 - Schéma výroby vláknenné vrstvy pod tryskou

Obr. č. 7 - Schéma zařízení melt-blown

Obr. č. 8 - Schéma přístroje Permetest

Obr. č. 9 - Přístroj FX 3300

Obr. č. 10 - Zjednodušený obrázek měření vodního sloupce

Obr. č. 11 - Přístroj pro měření vodního sloupce

Obr. č. 12 - Zařízení pro testování aerosolem NaCl

Obr. č. 13 - Schéma principu přístroje pro testování NaCl

Obr. č. 14 - Nejčastěji užívaný způsob propojení zobrazovacího systému

Obr. č. 15 - Schéma rastrovacího elektronového mikroskopu

Obr. č. 16 - Povrchová filtrace

Obr. č. 17 - Hloubková filtrace

Obr. č. 18 - Podstata bublinkové metody

Obr. č. 19 - Snímek řezu 2vrstvou nanovláknennou vrstvou ochranného oděvu

Obr. č. 20 - Snímek řezu 3vrstvým laminátem vytvořeným na TUL

Obr. č. 21 - Snímek řezu samostatnou nanovláknennou vrstvou

Obr. č. 22 - Snímek nanovláknenné vrstvy firmy elmarco

Obr. č. 23 - Snímek nanovlákněné vrstvy ochranného oděvu firmy 3M z rastrovacího mikroskopu

## **Seznam grafů**

Graf č. 1 - Relativní propustnost pro vodní páry

Graf č. 2 - Výparný odpor pro vodní páry

Graf č. 3 - Výsledky měření prodyšnosti

Graf č. 4 - Výsledky měření vodního sloupce

Graf č. 5 - Výsledky měření velikosti maximálního póru

Graf č. 6 - Výsledky efektivity zachycení částic

Graf č. 7 - Histogram průměru vláken ve vlákněné vrstvě ochranného oděvu 3M

Graf č. 8 - Histogram průměru vláken ve vytvořené nanovlákněné vrstvy

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Vzorník zkoušených materiálů

Příloha č. 2 – Průběžné výsledky měření vybraných zkoušek

**Vzorek č. 1:** Ochranný oděv vyrobený firmou 3M

**Vzorek č. 2:** Nanovlákná vrstva vyrobená firmou Elmarco

**Vzorek č. 3:** Nanovlákná vrstva slaminovaná s bikomponentním spunbondem

<b>Paropropustnost ochranného oděvu 3M</b>			
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
	20,6%	30,7%	28,7%
	21,5 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	13,2 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	14,7 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
	27,8%	34,4%	28,6%
	14,8 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	11,0 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	15,0 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
	29,1%	34,2%	27,3%
	14,1 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	11,3 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	15,6 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
<b>Průměr %</b>	<b>25,8%</b>	<b>33,1%</b>	<b>28,2%</b>
<b>Průměr Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>16,8 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>11,8 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>15,1 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>

<b>Prodyšnost – větruodolnost ochranného oděvu 3M</b>			
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
	0,71 mm*s <sup>-1</sup>	0,67 mm*s <sup>-1</sup>	0,68 mm*s <sup>-1</sup>
	0,73 mm*s <sup>-1</sup>	0,69 mm*s <sup>-1</sup>	0,71 mm*s <sup>-1</sup>
	0,65 mm*s <sup>-1</sup>	0,76 mm*s <sup>-1</sup>	0,66 mm*s <sup>-1</sup>
	0,71 mm*s <sup>-1</sup>	0,67 mm*s <sup>-1</sup>	0,64 mm*s <sup>-1</sup>
	0,74 mm*s <sup>-1</sup>	0,62 mm*s <sup>-1</sup>	0,69 mm*s <sup>-1</sup>
<b>Průměr mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>0,71 mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>0,68 mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>0,68 mm*s<sup>-1</sup></b>

<b>Vodní sloupec ochranného oděvu 3M</b>		
Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
48,1cm	44,3cm	42,1cm



<b>Maximální pór ochranného oděvu 3M</b>					
	Tlak [mbar]	Tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Napětí ethanolu[mN/m]	Maximální pór[ $\mu\text{m}$ ]
Vzorek č. 1	226	22600	22,6	20,5	3,6
Vzorek č. 2	156	15600	15,6	20,5	5,3
Vzorek č. 3	189	18900	18,9	20,5	4,3
Vzorek č. 4	183	18300	18,3	20,5	4,5
Vzorek č. 5	144	14400	14,4	20,5	5,7
Vzorek č. 6	95	9500	9,5	20,5	8,5
				$\bar{x}$	<b>5,32</b>
				<b>s</b>	<b>1,73</b>
				<b>v</b>	<b>32,52%</b>
				<b>95%IS (L<sub>D</sub>; L<sub>H</sub>)</b>	<b>(3,94;6,70)</b>

<b>Paropropustnost nanovlákněné vrstvy</b>			
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
	97,4%	94,6%	97%
	0,2 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,3 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,2 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
	86,8%	94,4%	87,7%
	0,9 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,4 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,8 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
	89,5%	92,0%	87,9%
	0,7 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,5 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,8 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
<b>Průměr %</b>	<b>91,23%</b>	<b>93,67%</b>	<b>90,87%</b>
<b>Průměr Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>0,6 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>0,4 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>0,6 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>

<b>Prodyšnost – větruodolnost nanovlákněné vrstvy</b>			
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
	1,74mm*s <sup>-1</sup>	1,85 mm*s <sup>-1</sup>	1,99 mm*s <sup>-1</sup>
	1,7 mm*s <sup>-1</sup>	1,83 mm*s <sup>-1</sup>	1,97 mm*s <sup>-1</sup>
	1,7 mm*s <sup>-1</sup>	1,82 mm*s <sup>-1</sup>	1,96 mm*s <sup>-1</sup>
	1,71 mm*s <sup>-1</sup>	1,82 mm*s <sup>-1</sup>	1,96 mm*s <sup>-1</sup>
	1,69 mm*s <sup>-1</sup>	1,81 mm*s <sup>-1</sup>	1,97 mm*s <sup>-1</sup>
<b>Průměr mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>1,71 mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>1,83 mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>1,97 mm*s<sup>-1</sup></b>

<b>Vodní sloupec nanovlákněné vrstvy</b>		
Vzorek č. 1	Vzorek č. 1	Vzorek č. 1
15,8cm	24,8cm	25,2cm

<b>Maximální pór nanovlákněné vrstvy</b>					
	Tlak [mbar]	Tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Napětí ethanolu[mN/m]	Maximální pór[ $\mu\text{m}$ ]
Vzorek č. 1	409	40900	40,9	20,5	2,00
Vzorek č. 2	614	61400	61,4	20,5	1,34
Vzorek č. 3	595	59500	59,5	20,5	1,38
Vzorek č. 4	541	54100	54,1	20,5	1,52
Vzorek č. 5	557	55700	55,7	20,5	1,47
Vzorek č. 6	611	61100	61,1	20,5	1,34
				$\bar{x}$	<b>1,51</b>
				<b>s</b>	<b>0,25</b>
				<b>v</b>	<b>16,56%</b>
				<b>95%IS (<math>L_D; L_H</math>)</b>	<b>(1,31;1,71)</b>

<b>Paropropustnost třívrstvého laminátu</b>			
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
	92,5%	91,9%	90,4%
	0,24Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,5 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,5 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
	91,2%	90,8%	89,1%
	0,5 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,5 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,6 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
	87,9%	92,2%	92,9%
	0,7 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,4 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>	0,4 Pam <sup>2</sup> W <sup>-1</sup>
<b>Průměr %</b>	<b>90,53%</b>	<b>91,63%</b>	<b>90,8%</b>
<b>Průměr Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>0,48 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>0,47 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>	<b>0,5 Pam<sup>2</sup>W<sup>-1</sup></b>

<b>Prodyšnost – větruodolnost třívrstvého laminátu</b>			
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3
	1,25mm*s <sup>-1</sup>	1,32 mm*s <sup>-1</sup>	1,27 mm*s <sup>-1</sup>
	1,26 mm*s <sup>-1</sup>	1,29 mm*s <sup>-1</sup>	1,27 mm*s <sup>-1</sup>
	1,26 mm*s <sup>-1</sup>	1,31 mm*s <sup>-1</sup>	1,17 mm*s <sup>-1</sup>
	1,20 mm*s <sup>-1</sup>	1,35 mm*s <sup>-1</sup>	1,26 mm*s <sup>-1</sup>
	1,18 mm*s <sup>-1</sup>	1,25 mm*s <sup>-1</sup>	1,25 mm*s <sup>-1</sup>
<b>Průměr mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>1,23 mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>1,30 mm*s<sup>-1</sup></b>	<b>1,24 mm*s<sup>-1</sup></b>

<b>Vodní sloupec třívrstvého laminátu</b>		
Vzorek č. 1	Vzorek č. 1	Vzorek č. 1
42,6cm	40,3cm	51,9cm

<b>Maximální pór třívrstvého laminátu</b>					
	Tlak [mbar]	Tlak [Pa]	Tlak [kPa]	Napětí ethanolu[mN/m]	Maximální pór[μm]
Vzorek č. 1	410	41000	41	20,5	2,00
Vzorek č. 2	768	76800	76,8	20,5	1,00
Vzorek č. 3	637	63700	63,7	20,5	1,30
Vzorek č. 4	500	50000	50	20,5	1,64
Vzorek č. 5	785	78500	78,5	20,5	1,05
Vzorek č. 6	637	63700	63,7	20,5	1,29
				$\bar{x}$	<b>1,38</b>
				<b>s</b>	<b>0,379</b>
				<b>v</b>	<b>27,49</b>
				<b>95%IS (L<sub>D</sub>; L<sub>H</sub>)</b>	<b>&lt;1,08;1,68&gt;</b>