



STAVEBNÍ PROTIPRACHOVÁ ZÁBRANA

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce: **Veronika Cmíralová**
Vedoucí práce: Ing. Jiří Havlíček, CSc.





CONSTRUCTION DUST BARRIER

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials

Author: **Veronika Cmíralová**
Supervisor: Ing. Jiří Havlíček, CSc.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Veronika Cmíralová**
Osobní číslo: **T12000259**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**
Název tématu: **Stavební protiprachová zábrana**
Zadávající katedra: **Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů**

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

1. V rešeršní části zjistěte základní faktory, které mají vliv na účinnost filtrace vzdušnin při nízkých tlakových spádech.
2. Zmapujte stávající metody ochrany čistých prostorů před pronikáním prachu při stavební činnosti.
3. Navrhněte nový systém protiprachových zábran pro stavební účely.
4. Navržený systém experimentálně otestujte a vypracujte metodiku používání.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

- 1) **Handbook of Nonwoven filter Media, Elsevier (2007)**
- 2) **Air Filtracion, R.C. Brown, 1993**
- 3) **přednášky Filtration, Jakub Hruža, TUL**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Havlíček, CSc.


Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání bakalářské práce: **17. června 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2015**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 17. června 2014

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou 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.

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

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

Datum: 13. květen 2015

Podpis:

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Havlíčkovi, CSc. za připomínky, cenné rady a za svůj volný čas, který mi věnoval během této bakalářské práce.

Obsah

1	ÚVOD	9
2	NETKANÉ TEXTILIE	10
	Definice netkaných textilií.....	10
	Utvoření vláknenné vrstvy z vláken	10
	Zpevňování vláknenné vrstvy.....	11
3	FILTRACE	12
	Základní proces filtrace	12
	Dělení filtrace	12
	Hlavní parametry filtrace.....	13
	Veličiny ovlivňující filtraci	14
	Filtrační proměnné	14
	Filtrační mechanismy.....	15
	Filtrační vlastnosti.....	20
	Charakteristiky filtrace	22
	Charakteristiky filtračního materiálu	22
	Charakteristiky procesu filtrace	24
	Charakteristiky filtrovaných částic	24
	Typy filtrů podle konstrukce	26
	Vzduchové / plynová filtrace.....	29
	Testování filtrů	34
	Prachové částice	37
	Polypropylenová vlákna	38
	Nanovláknna.....	40
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	46
	Teorie pokusu	46
	Příprava materiálu.....	47
	Použité technologie.....	50
	Technologie mykání.....	50
	Příčné kladení pavučiny	51
	Technologie vpichování.....	52
	Technologie elektrostatického zvlákňování.....	53

Použité měřicí přístroje.....	54
Nastavení parametrů stroje	56
5 ZÁVĚR	66
6 ZDROJE.....	67

Seznam obrázků

Obr. 1: Základní pojmy týkající se procesu filtrace	12
Obr. 2: Schematický pohled na hloubkovou filtraci.....	15
Obr. 3: Schematický pohled na plošnou filtraci	16
Obr. 4: Schematické vyjádření filtračních mechanismů hloubkové filtrace pro vlákno ve tvaru válce orientovaného kolmo ke směru pohybu filtrované disperze.....	19
Obr. 5: Schéma hloubkové a povrchové filtrace	27
Obr. 6: Zvlákňování pomocí jehly	42
Obr. 7: Bezjehlové zvlákňování pomocí válečku.....	42
Obr. 8: Bezjehlové zvlákňování pomocí kovové tyčinky	43
Obr. 9: Zvlákňování se stejnosměrným a střídavým napětím	43
Obr. 10: Elektrostatické zvlákňování mykance.....	48
Obr. 11: Snímání mykance při použití 1% nanovláken.....	48
Obr. 12: Elektrostatické zvlákňování na mřížku	49
Obr. 13: Schéma mykacího válcového stroje	50
Obr. 14: Schéma vertikálního příčného kladeče	51
Obr. 15: Schéma vpichovacího stroje.....	52
Obr. 16: Schéma elektrostatického zvlákňování se střídavým proudem.....	53
Obr. 17: netkaná textilie s mřížkou, s 0,1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)	58
Obr. 18: netkaná textilie bez mřížky, s 0,1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)	58
Obr. 19: netkaná textilie s mřížkou, s 0,3% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)	59
Obr. 20: netkaná textilie bez mřížky, s 0,3% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)	59
Obr. 21: netkaná textilie s mřížkou, s 1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)	60
Obr. 22: netkaná textilie bez mřížky, s 1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)	60
Obr. 23: SEM s 0,1% nanovláken bez použití mřížky, zvětšení 500, líc	64
Obr. 24: SEM s 0,3% nanovláken bez použití mřížky, zvětšení 500, líc	64
Obr. 25: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub.....	65
Obr. 26: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 500, rub.....	65
Obr. 27: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 1000, rub.....	65

Seznam tabulek

Tab. 1: Souhrn metod pro testování filtračních vlastností suchých filtrů.	36
Tab. 2: Naměřené hodnoty filtru a statistické vyhodnocení.....	63

Abstrakt

Tato bakalářská závěrečná práce se zabývá výrobou filtru do stavebnictví s přidáním nanovláken pro zlepšení efektivity. Dále jsou zjištěny parametry filtrace, vytvořeny snímky na elektronovém mikroskopu a následně jejich vzájemné porovnání. Cílem této práce je zjistit, jsou-li nanovlákná ve filtru přínosem a zlepší-li tedy filtrační vlastnosti filtru.

Klíčová slova

Vzduchový filtr

Efektivita

Tlakový spád

Nanomateriály

Abstract

This bachelor thesis deals with the production of a filter for construction industry with nanofibers for its improved efficiency. The thesis describes the filtration parameters, shows images from electron microscope and contains a comparison of the two parts above. The aim of this thesis is to determine, whether adding nanofibers into the filter improves its filtration properties and thus is beneficial.

Keywords

Air filter

Efficiency

Pressure drop

Nanomaterials

1 ÚVOD

Při stavebních opravách a rekonstrukcích je často potřeba oddělit v interiérech čisté a prašné prostory. V současné době je pro tyto účely na trhu pouze netkaná textilie označovaná jako Dastin. Mým cílem bylo zlepšení funkčních vlastností protiprachových barier. Taková bariera je obecně velkoplošný prachový filtr, od kterého je očekávána vysoká odlučivost a nízký tlakový spád. Základním materiálem těchto filtrů bývá volen polypropylen pro svoji příznivou cenu a své elektrostatické vlastnosti zvyšující účinnost filtrace. Pro naplnění zadání práce jsem zvolila cestu použití co nejjemnějších vláken, kterými jsou v současnosti nanovláknenné materiály. Tato práce je tedy snahou o inovaci filtrů, vyráběných pod značkou Dastin.

2 NETKANÉ TEXTILIE

Definice netkaných textilií

Existuje mnoho definic co to je netkaná textilie a neustále se tento pojem rozšiřuje a rozvíjí.

Netkaná textilie je vlákenná vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením, kohezí nebo adhezí. Netkané textilie zahrnují širokou škálu výrobků a technologií. Tyto výrobky mají různé struktury, vlastnosti a konečné použití. [1]
[3]

Proces výroby netkané textilie se skládá obvykle ze tří kroků. Nejprve dochází k utvoření vlákenné vrstvy (z vláken nebo z taveniny polymeru), poté k jejímu zpevnění a na konec následují finální úpravy. [3]

Utvoření vlákenné vrstvy z vláken

Utvoření vlákenné vrstvy provádíme mechanicky, aerodynamicky, hydrodynamicky nebo příprava vlákenné vrstvy přímo z taveniny polymeru.

1. Mechanické způsoby spočívají ve vytvoření vlákenné pavučiny a v jejím vrstvení. K výrobě používáme mykací stoje víčkové nebo válcové. Při mykání dochází k rozvolňování textilního materiálu až na jednotlivá vlákna za pomoci ostrých hrotů na válcích. Vlákna se při tom napřímí, urovňají do podélného směru a ukládají stejnoměrně vedle sebe ve formě pavučinky.
2. Při aerodynamické tvorbě rouna je vlákenná surovina rozvolněna rychle se otáčejícím škubacím válcem opatřeným pracovním povlakem. Vlákna jsou z tohoto válce snímána kombinovaným účinkem odstředivé síly a přiváděného proudu vzduchu. Tímto proudem jsou unášena a ukládána na pohybujícím se síťovém dopravníku.
3. Výroba netkaných textilií hydrodynamickým neboli mokrým postupem je bezprostředně odvozena od postupu výroby papíru.

4. Příprava vláknenných vrstev z taveniny polymeru se provádí pomocí technologie spun-bond, melt-blown a elektrostatické zvlákňování. Název technologie spun-bond je odvozen z anglických výrazů zvlákňování a pojení. Někdy se používá označení „výroba pod hubicí“. Skládá se z pěti fází, a to z tavení polymeru, zvlákňování pomocí zvlákňovacích trysek, odtah od trubice, odtah vláken a následné pojení. Melt-blown název technologie je složen z anglických slov tavit a foukat. Principem je roztavit polymerní granule v násypce extrudéru a vytvořit tak taveninu, která je poté strhávána proudem vzduchu, tvarována a chlazená. Následuje její pojení a navíjení. Technologie elektrostatické zvlákňování je založena na formování roztoku nebo taveniny polymeru ve vlákna působením silného elektrostatického pole. Vzniklá vlákna jsou současně vlivem pole nejčastěji ukládána na podkladový textilní materiál, který se může pohybovat po povrchu protielektrody či nikoliv.

Zpevňování vláknenné vrstvy

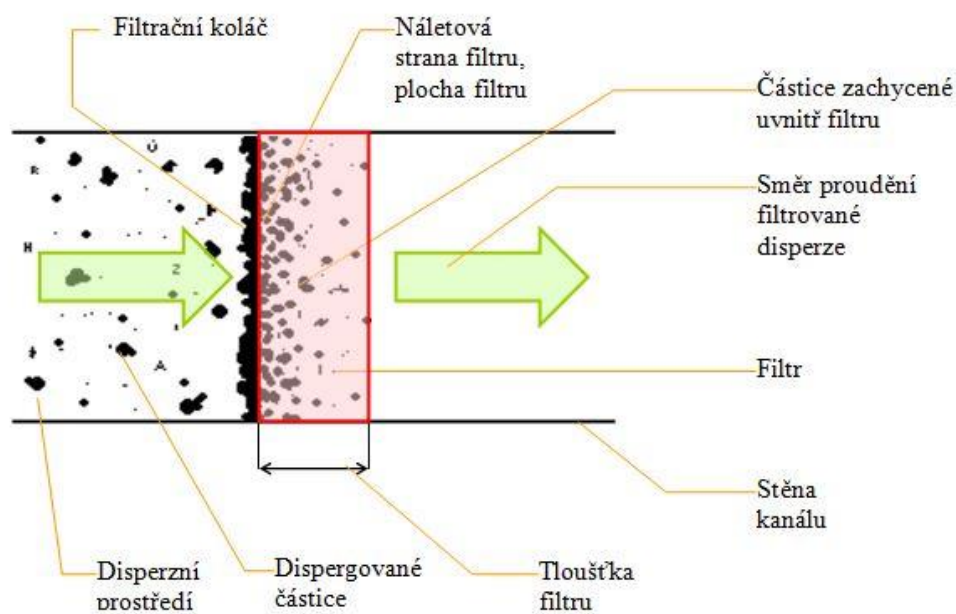
Máme tři způsoby zpevňování a to mechanické, chemické a termické. Mezi mechanické způsoby zpevňování patří technologie vpichování, zpevňování paprsky vody neboli Spunlace, proplétání, plstění a valchování. Chemické způsoby zpevňování máme pomocí impregnace, postřiku a tisku. Do termických způsobů zpevňování patří zpevňování kalandrem, teplovzdušně, ultrazvukem a infračerveným zářením. [1] [3]

3 FILTRACE

Tato část závěrečné práce je inspirovaná disertační prací pana Ing. Jakuba Hrůzy, Ph.D. [4], který se ve své práci zabíral problematikou vzduchové filtrace. V mé práci je největší pozornost věnována filtrům používaných ve stavebnictví a jejich potřebným vlastnostem. Další příklady filtrů a vlastností jsou pouze pro představu krátce zmíněny.

Základní proces filtrace

Cílem je separovat z dispergovaného prostředí částice, které se zachytávají na náletové straně filtru a tvoří filtrační koláč. Důležitým parametrem je také dostatečná tloušťka filtru, která napomáhá k zachytávání částic uvnitř filtru a tím přispívá k dokonalejší separaci částic. Tento princip základního procesu filtrace je znázorněn na (obr. 1). Filtrace také můžeme rozdělit podle jejího využití v různých oblastech. [15] [18]



Obr. 1: Základní pojmy týkající se procesu filtrace

Dělení filtrace

Filtrace dělíme podle:

a) toho co odděluje (nosičů nečistot)

- kapalinová filtrace
- plynná (vzduchová) filtrace

b) mechanismu filtrace

- hloubková filtrace
- povrchová filtrace

c) velikosti separovaných částic se rozlišuje:

- běžná filtrace nad 10 μm
- mikrofiltrace 0,1-10 μm
- metody založené na polopropustné (semipermeabilní) membráně
 - ultrafiltrace 0,005-0,1 μm
 - nanofiltrace < 0,01 μm
 - hyperfiltrace < 0,005 μm

Dále se podle požadavků kladených na filtr, určuje typ filtru i metoda měření. [15] [19]

Hlavní parametry filtrace

1. Parametry filtračního materiálu

- plocha filtru
- tloušťka filtru
- plošná a objemová hmotnost filtru
- stejnoměrnost materiálu
- materiál a jeho parametry: objemová hmotnost, elektrická vodivost, odolnost vůči negativním vlivům
- parametry vláken: průměr, tvar, jemnost, orientace v prostoru

2. Parametry filtrovaných částic

- velikost částic disperzního podílu
- distribuce velikosti částic disperzního podílu
- koncentrace částic
- tvar a povrch částic
- objemová hmotnost částic
- elektrické vlastnosti

3. Parametry procesu filtrace

- rychlost náletu

- částic na filtr
- viskozita protékajícího média
- teplota, tlak, vlhkost [15] [18]

Veličiny ovlivňující filtraci

Filtrační proměnné:

- proměnné filtračního materiálu
- proměnné procesu filtrace
- proměnná filtrovaných částic

Filtrační mechanismy:

- nepřímé zachycení
- přímé zachycení
- setrvačné usazení
- elektrostatické usazení
- síťový efekt
- Brownův pohyb
- gravitační usazení
- Chemické sorpce

Filtrační vlastnosti:

- efektivita
- tlakový spád
- životnost filtru
- odolnost vůči vnějším vlivům
- ostatní (propustnost, pórovitost ...) [15]

Filtrační proměnné

Filtrační proměnné jsou rozděleny do tří skupin:

1. Proměnné filtračního materiálu:

Filtrační plocha

Tloušťka filtru

Hustota a povrchová hustota filtru

Stejnóměrnost vláknenného materiálu

Parametry filtračního materiálu

- povrchové interakce mezi filtračním materiálem a filtrovaných částic
- elektrické vlastnosti
- mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, prodloužení)
- odolnost proti faktorům okolního prostředí (teplo, rozpouštědla)

Parametry vláken

- průměr vlákna, jemnost vlákna
- tvar průřezu vlákna
- povrch vlákna
- mechanické vlastnosti

Struktura filtru

- gradient hustoty filtru
- orientace vláken

2. Proměnné filtrovaných částic:

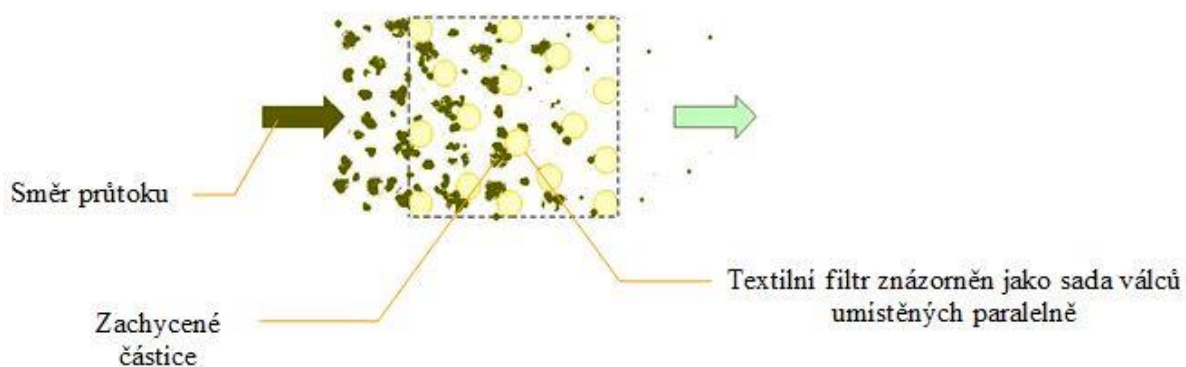
- Velikost částic
- Distribuce velikosti částic
- Koncentrace částic
- Tvar a povrch částic
- Hustota částic
- Elektrické vlastnosti

3. Proměnné procesu filtrace:

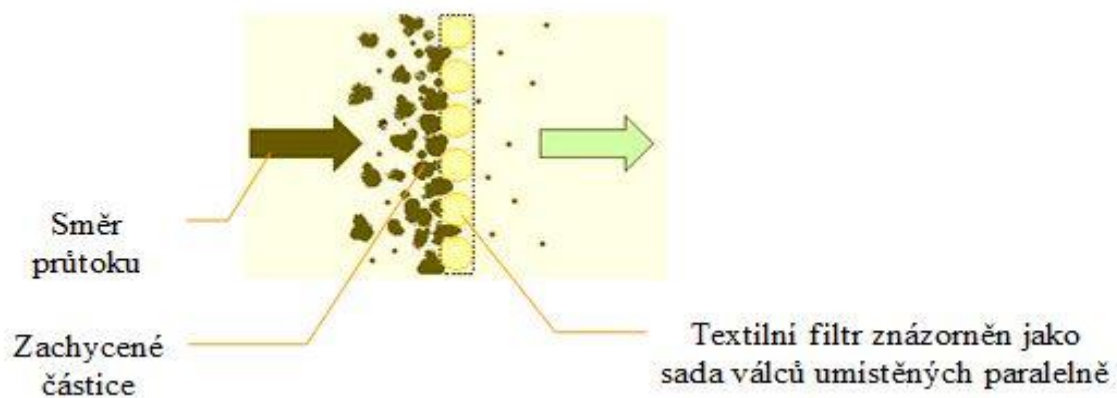
- Rychlost proudění (rychlost filtrovaných částic před filtr)
- Viskozita průtoku
- Teplota, tlak, vlhkost [15] [18] [25]

Filtrační mechanismy

Filtrace je proces, kde dochází k separaci částic ze vzduchu či kapaliny. Na vstupu jsou filtrační charakteristiky a na výstupu jsou filtrační vlastnosti. Pro získání vztahu mezi filtračními vlastnostmi a filtračními charakteristikami je nutné znát mechanismy zachytu částic na povrchu vlákna. Z hlediska filtračních mechanismů filtrace dělíme na plošnou (obr. 2) a na hloubkovou (obr. 3).



Obr. 2: Schematický pohled na hloubkovou filtrace



Obr. 3: Schematický pohled na plošnou filtraci

a) Mechanismy plošné filtrace

Plošná filtrace je síťový mechanismus, který je vlastně velmi jednoduchý. Tento filtr je schopný mechanicky zachycovat na rovném povrchu filtru veškeré větší částice než je prostor mezi vlákny. Efektivita záchytu je tedy dána distribucí velikostí pórů daného plošného filtru. [4]

b) Mechanismy hloubkové filtrace

Tento typ filtračního procesu je důležitý pro většinu aplikací filtru. Oproti filtraci plošné je hloubková filtrace schopna zachytit mnohem menší částice, než je velikost prostorů mezi vlákny. Filtrované částice jsou zachyceny v oblasti filtračních mechanismů. Po kontaktu s vláknem je částice na filtru zachycena pomocí Van der Waalsových sil, elektrostatických sil a sil vyvolaných povrchovým napětím. Podle (obr. 4) můžeme filtrační mechanismy třídit do čtyř následujících tříd:

I. Přímý záchyt

Mechanismus přímého záchytu pracuje na principu pohybujících se částic shodně s tokem disperzního prostředí. Jakmile se částice přiblíží k povrchu vlákna na vzdálenost rovnou jejímu poloměru, jsou zachyceny. Parametr přímého záchytu:

$$N_r = \frac{d_p}{d_f}$$

kde d_p je průměr částice,

d_f průměr vlákna.

II. Setrvačné usazení

Částice pohybující se velkou rychlostí a s velkou hmotností nesledují zakřivení proudnic a jako projektily narážejí na povrch vláken. Intenzita setrvačnosti bodu částic se určuje podle počtu Stokes, vycházející ze vztahu:

$$Stk = \frac{d_p^2 \cdot \rho \cdot U}{18 \cdot \eta \cdot d_f}$$

kde d_p je průměr částice,

ρ hustota částic,

U rychlost proudění vzduchu,

η viskozita vzduchu,

d_f průměr vlákna.

III. Difúzní usazení

V důsledku Brownova pohybu malé částice nesledují zakřivení proudnic a rozptylují se k povrchu vláken. S klesající rychlostí proudění filtrované disperze roste význam difúzního usazení. Brownův pohyb je dán koeficientem difúze D definované Einsteinovou rovnicí:

$$D = \frac{C_n \cdot k_B \cdot K}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d_p}$$

kde k_B je Boltzmannova konstanta,

K Kelvin teploty,

η viskozita vzduchu,

d_p průměr částice,

C_n je oprava Cunningham, která zahrnuje aerodynamický skluz toku částic

$$C_n = 1 + \frac{2 \cdot \lambda}{d_p} \cdot \left(A + Q \cdot e^{-\frac{B \cdot d_p}{2 \lambda}} \right)$$

kde λ je střední volná dráha molekul,

A , B , Q jsou konstanty ($A = 1246$, $B = 0,87$, $Q = 0,42$)

IV. Elektrostatické usazení

„Působením přitažlivých sil daných nábojem na povrchu vlákna a zachytávané částice je trajektorie pohybu částice zakřivena směrem k vláknu.“ [4] Zachycení opačně nabitých částic je dána Coulombovými silami. Zachycení neutrálních částic je působením polarizačních sil. Můžeme definovat tři případy interakce mezi částicemi a vlákny. Použité rovnice byly odvozeny z Coulombova zákona.

a) nabité částice, nabité vlákno

$$F_1 = \frac{2 \cdot Q \cdot q}{x}$$

kde q je náboj částic,

Q náboj vlákna na jednotku délky vlákna,

x vzdálenost mezi vlákem a částicí.

b) Nabité vláken, neutrální částice

$$F_2 = 4 \cdot Q^2 \cdot \frac{D_1 - 1}{D_1 + 2} \cdot \frac{d_p^3}{x^3}$$

kde D_1 je dielektrická konstanta částice,

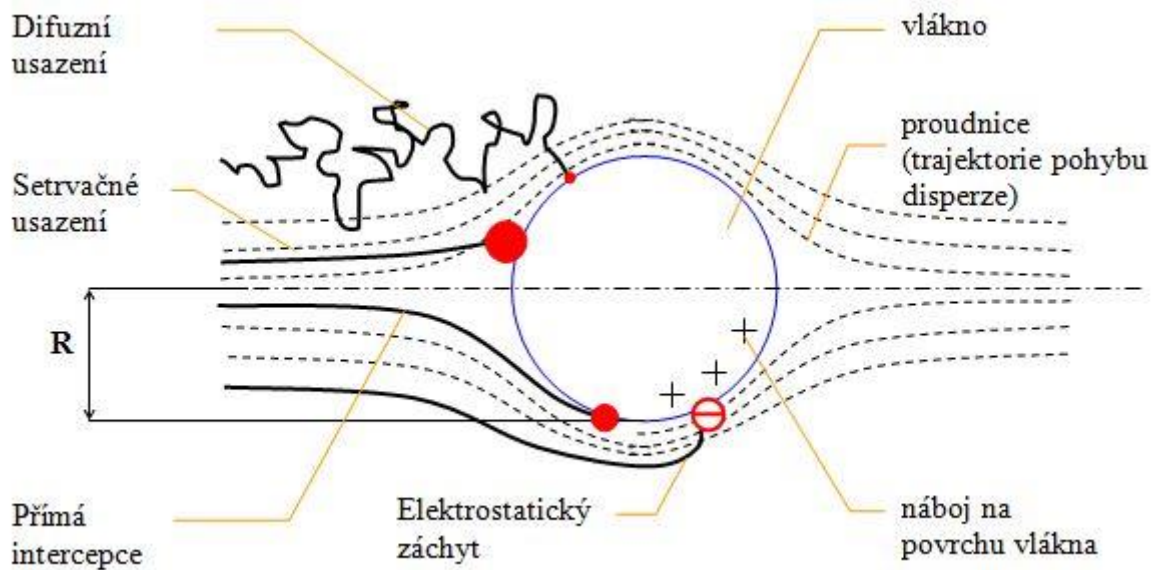
d_p průměr částice.

c) Nabité částice, neutrální vlákno

$$F_3 = \frac{q^2}{4 \cdot (x - d_f)^2} \cdot \frac{D_2 - 1}{D_2 + 1}$$

kde D_2 je dielektrická konstanta vlákna,

d_f průměr vlákna.



Obr. 4: Schematické vyjádření filtračních mechanismů hloubkové filtrace pro vlákno ve tvaru válce orientovaného kolmo ke směru pohybu filtrované disperze.

Celková účinnost filtrace

Celková účinnost filtrace je dána dílčími efektivitami záchytu všech mechanismů filtrace uvedených výše.

$$E_c = E_c\{E_r(N_r), E_i(Stk), E_d(Pe), E_e(Nq)\}$$

kde E_s je celková účinnost,

E_r účinnost přímého záchytu mechanismu reprezentované parametrem N_r ,

E_i účinnost setrvačného usazení zastoupená parametrem Stk ,

E_d efektivita mechanismu difúzního usazení,

E_e účinnost elektrostatického mechanismu zastoupená parametrem N_q . [4] [15] [18]

Filtrační vlastnosti

Existuje řada různě známých filtračních vlastností. V této kapitole jsou popsány pouze ty hlavní, a nejvíce známé filtrační vlastnosti.

a) Efektivita

V této práci je jednou s nejdůležitějších a zjišťovaných vlastností. Efektivita je vlastně účinnost filtrace. Jedná se o odlučivost vyjádřenou vztahem:

$$E = \left(1 - \frac{G_1}{G_2}\right) \cdot 100$$

Jedná se o přímé zjištění efektivity,

kde G_1 je množství disperzního podílu za filtrem,

G_2 celkové množství disperzního podílu,

podíl G_1/G_2 je značen jako P-průnik.

b) Tlakový spád

Pro nás opět důležitá vlastnost, která je také měřena. Jedná se vlastně o tlakovou ztrátu, která je vyjádřena rovnicí:

$$\Delta p = p_1 - p_2$$

kde p_1 je tlak filtrovaného média před filtrem,

p_2 tlak filtrovaného média za filtrem.

c) Životnost filtru

Tato vlastnost určuje dobu vyměnění filtru. Podle životnosti můžeme filtry rozdělit na jednorázové nebo čistitelné. Životnost filtru se definuje podle jímavosti:

$$J = E_s \cdot m$$

kde J je jímavost filtru,

E_s střední hodnota efektivity,

m množství prachu naneseného na filtr do okamžiku překročení mezního tlakového spádu.

d) Odolnost vůči vnějším vlivům

Mezi tyto vnější vlivy patří například vlivy chemické a mechanické, vliv teploty či jejich vzájemná kombinace. Pro některé typy filtrů, jsou tyto odolnosti velmi důležitou vlastností.

e) Ostatní vlastnosti důležité při filtraci

Jedná se především o vlastnosti související s kvalitou filtrů.

- Prodyšnost
- Pórovitost
- Odolnost vůči bakteriím [4] [15]

Charakteristiky filtrace

V této kapitole jsou postupně zmíněny důležité charakteristiky filtrace. Jedná se o charakteristiky filtračního materiálu, procesu filtrace a filtrovaných částic.

Charakteristiky filtračního materiálu

Charakteristiky filtračního materiálu můžeme podle jeho mikroskopických i makroskopických parametrů třídit následovně

a) Plocha filtru

Filtrační plocha, vlastně její velikost má výrazný vliv na tlakový spád.

b) Tloušťka filtru

Možným zvyšováním počtu vrstev dojde ke zvyšování plošné hmotnosti filtru. Tloušťka filtru zvyšuje efektivitu zachytu filtrovaných částic, ale s přibývajícím tloušťkou se její vliv na zlepšení účinnosti filtrace zmenšuje.

c) Plošná a objemová hmotnost filtru

Způsob zvýšení filtrační účinnosti, při kterém dochází i k růstu tlakového spádu.

d) Stejnomořnost filtračního materiálu

Stejnomořnost filtračního materiálu má na proces filtrace výrazný vliv. Vetší množství částic by v čase prošlo místem s lokálně nižším zaplněním, než místem s lokálně vyšším zaplněním.

e) Filtrační materiál a jeho parametry

Povrchová interakce s částicemi, které určují míru pevnosti zachycení a udržení částice v těsné blízkosti povrchu vlákna.

Elektrické vlastnosti kde je u vlákenného materiálu důležitá schopnost polarizace a stability udržení náboje. Využívá se elektrostatického pole pro záchyt filtrovaných částic nebo naopak antistatické filtry používané v prostorách s nebezpečím požáru, nebo výbuchu.

Odolnost vůči negativním vlivům, které lze rozdělit na fyzikální (působení tepelné energie a záření) a chemické (působení kyselin, zásad, oxidačních činidel). Tyto negativní vlivy mohou snížit mechanické vlastnosti filtru nebo jej zcela zničit. Nejhorším vlivem je jejich kombinace.

Mechanické charakteristiky mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti vláken.

f) Parametry vláken

Mezi parametry vláken patří nejen průměr vláken, tvar průřezu vlákna, preparace, ale i mechanické charakteristiky.

„Průměr vláken i tvar průřezu vláken určují velikost specifického povrchu vlákna, který se vyjadřuje v $m^2 g^{-1}$. Při větším specifickém povrchu vlákna je větší pravděpodobnost interakce mezi vlákněným povrchem a zachytávanou částicí. Větší specifický povrch vláken má ve filtru za následek více turbulencí vzduchu obtékajícího vlákna, což také přispívá k větší efektivitě filtru. Tento přístup je oproti změně objemové hmotnosti výhodný především nižším nárůstem tlakového spádu filtru. Vliv průměrů vláken se projevuje při všech filtračních mechanizmech“. [4]

Preparace má vliv na interakci mezi zachytávanou částicí a povrchem vlákna, má vliv na schopnost zachytit a udržet částici dopadající na povrch vlákna.

Mechanické charakteristiky jsou důležité u filtrů silně namáhaných (hadicové filtry s pulzním čištěním). Modul pružnosti vlákna a jeho obloučkovitost mají vliv na schopnost udržet zachycenou částici, protože se podílí na zachování geometrické stability struktury filtru v průběhu namáhání vlivem proudění viskozního média.

g) Struktura filtru

Je důležitá orientace vláken v prostoru, gradient hustoty, geometrická stabilita. *„Většina teoretických modelů vychází z představy válcového vlákna umístěného kolmo ke směru proudění filtrované disperze. Byla odvozena předpověď tlakového spádu filtru majícího vlákna orientována rovnoběžně se směrem proudění. Tlakový spád takového filtru by měl být poloviční.“* [4]

Gradient hustoty vlákněného materiálu je pro proces filtrace, který zvyšuje životnost filtrační soustavy a proto je velmi důležitý. Gradientem hustoty filtru rozumíme jako lokální změnu jeho zaplnění, kde zaplnění je definováno jako podíl objemu vláken v prostoru tvořeném vlákny a vzduchem. *„Pokud se použije pro filtraci většího množství částic jen jeden filtr s konstantním zaplněním, pak na jeho povrchu dojde k tvorbě tzv. „filtračního koláče“ (neprodyšná vrstva zachycených částic). Naopak v případě filtru s protiproudovým čištěním je to správné a žádoucí, neboť pomocí zpětného tlaku lze vzniklý „filtračního koláče“ odstranit. Jednorázový filtr však musíme vyměnit, aniž by došlo k plnému využití jeho objemu“.* [4]

Řešením by mohla být soustava filtrů, kde na vstupu filtrovaného média by byl umístěn filtr s nejnižší účinností a na výstupu filtr nejučinnější, nebo výroba filtru s gradientem hustoty,

kde se hustota vláken zvyšuje od strany náletové ku straně výstupní, v tomto případě by ale nevznikala požadovaná homogenní struktura. Právě orientace vláken a způsob jejich propojení má vliv na geometrickou stabilitu filtru a schopnost filtrovat a udržet již zachycené částice. [4]

Charakteristiky procesu filtrace

a) Rychlost náletu částic na filtr

Rychlost filtrace má výrazný vliv na jednotlivé mechanismy filtrace. S rostoucí rychlostí toku média filtrem roste význam mechanismu setrvačného usazení, klesá význam mechanismu difuzního záchytu, elektrostatického záchytu a setrvačného usazení.

b) Viskozita protékajícího média

Viskozita nemá při filtraci vzduchu velký význam, tak jako u filtrace kapaliny. Důležité ale je, že rostoucí viskozita, roste i tlakový spád filtru a zhoršuje se jeho efektivita.

c) Teplota, tlak, vlhkost

Teplota má vliv na použití filtračního materiálu vzhledem k jeho odolnosti vůči teplotě, záření a působení chemikálií. Změnou teploty dochází ke změně viskozity prostředí a tím i tlakovému spádu a efektivitě. Teplota má vliv na mechanismus záchytu difúzí a na negativní stabilitu náboje na povrchu vláken elektrizovaných filtrů. Důležitá je i vlhkost prostředí z hlediska odolnosti filtračního materiálu vůči okolí a také má zásadní vliv na stabilitu náboje na povrchu vláken. Tlak vzdušného prostředí před filtrem je většinou roven velikosti tlaku atmosférického, ke kterému je třeba v určitých případech připočítat hodnotu tlakového spádu filtru. [4]

Charakteristiky filtrovaných částic

a) Velikost částic disperzního podílu

Typ použitého filtru a parametry procesu filtrace určujeme podle velikosti filtrovaných částic. Nejkritičtější velikost filtrovaných částic je podle zdrojů v rozmezí od 0,1 μm do 1 μm , u větších částic poté platí, že efektivita záchytu je roste s rostoucí velikostí filtrovaných částic. Naopak u menších částic než 0,1 μm efektivita záchytu roste se zmenšováním filtrovaných částic.

b) Distribuce velikosti částic disperzního podílu

Při zajištění čistého prostoru a skvělé separaci disperzních částic, je dobré využít více různých filtrů. Při filtraci dochází k separaci částic podle jejich velikosti, nejprve se separují částice velké a to v závislosti na filtrační rychlosti. Pokud dochází k oddělování pouze jednoho typu částic, je lehčí zvolit vhodný typ filtru.

c) Koncentrace filtrovaných částic

Koncentrace filtrovaných částic má výrazný vliv na životnost filtru, jelikož s přibývajícím koncentrací filtrovaných částic roste i tlakový spád a snižuje se efektivita.

d) Tvar a povrch částic

Podle tvaru můžeme částice dělit na destičkovité, vláknité či izometrické. Pravděpodobnost zachycení částic složitějších tvarů je větší, než při zachycování částic tvarů kulovitých. Je to dáno tím, že složitější tvary mají větší specifický povrch a větší pravděpodobnost mechanického zaklesnutí.

e) Objemová hmotnost částice

Tato charakteristika závisí na druhu mechanismu filtrace. S rostoucí objemovou hmotností roste jak efektivita setrvačného tak i gravitačního usazení, efektivita intercepce se nemění a efektivita difúzního a elektrostatického záchytu klesá.

f) Elektrické vlastnosti

Čím větší bude velikost elektrického náboje částic, tím větší bude i efektivita záchytu. Podle Coulombova zákona můžeme odvodit přitažlivou sílu mezi nenabitým vláknem a nabitou částí. [4]

Typy filtrů podle konstrukce

Vláknenné filtry pro filtraci vzduchu můžeme dělit podle:

1) mechanismu filtrace na filtry povrchové a hloubkové

Povrchové filtry zachycují pouze částice, které jsou větší než prostor mezi vlákny. V případě hloubkových filtrů lze zachytit i mnohem menší částice, než je velikost pórů mezi vlákny. Při tomto mechanismu záchytu částic působí filtrační mechanismy.

2) testování filtračních vlastností

Filtry jsou přiřazovány do filtračních tříd podle normovaného testování a klasifikování.

3) použité technologie

Pro tvorbu vláknenných filtrů mohou být použity textilní materiály jako jsou například tkaniny, naplavované textilie, vpichované textilie, spunbond, meltblown, spunlace, objemné filtry kladené vzduchem, nebo mechanicky a pojené termicky, nebo chemicky, kolmo kladené textilie, kombinace a mnoho dalších.

4) konstrukce

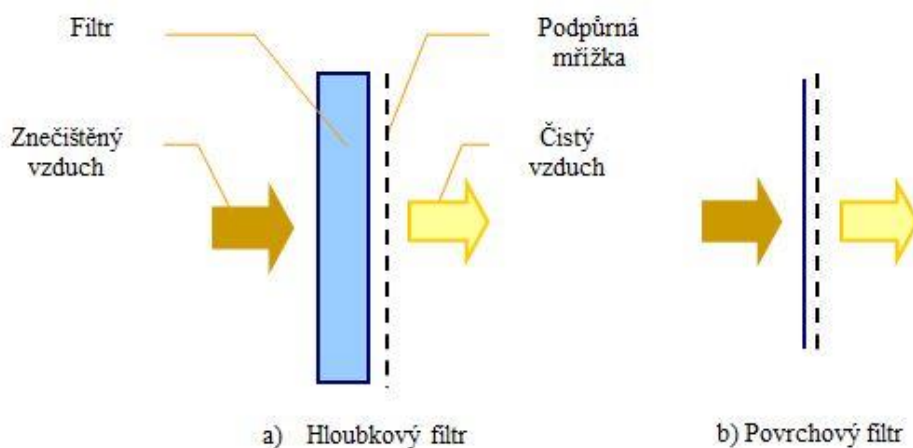
Veškeré názvy filtrů jsou odvozeny od výsledného tvaru filtru. Ve stavebnictví pro odstranění prachových částic jsou nejvíce využívány filtry ploché, ale existuje i řada dalších.

Filtry ploché

Ploché filtry se používají bez rámečku, nebo s pevným rámem nebo podpurným sítem při větších velikostech filtru, (viz obr. 5).

Hloubkové filtry jsou tepelně nebo chemicky pojené netkané textilie, vpichované.

Povrchové filtry jsou tkané a pletené textilie, spunbond, meltblown.



Obr. 5: Schéma hloubkové a povrchové filtrace

Tento filtr je nejjednodušší typ filtru. A to jak z hlediska požadavků na konstrukci filtru tak i jeho instalaci. Princip je znázorněn výše (viz obr. 4). Již podle zmíněného mechanismu filtrace dělíme plochý filtr na hloubkový a povrchový. Tloušťka je obvykle do 40 mm a ostatní rozměry jsou libovolné podle potřeby. Představiteli těchto filtrů jsou hrubé filtry, předfiltry, vysavačové filtry, kabinové filtry v autech, kuchyňská digestoř .

Jak už bylo zmiňováno, že kromě filtrů plochých, které byly použity pro mou závěrečnou práci existuje i řada dalších filtrů. Jsou to například filtry skládané, kapsové, patronové, hadicové, které jsou stručně popsány níže.

Filtry skládané

Je to vlastně filtr plochý, který je poskládaný do tvaru harmoniky a zpevněn rámem. Jeho výhodou je zvýšení filtrační plochy, což ovlivňuje i tlakový spád, efektivitu a životnost. Důležitá je dostatečná tuhost skládaného materiálu. Rozměry skládaných filtrů jsou obdobné filtrům plochým. Použití: vysoce účinné filtry, větrací a klimatizační systémy, průmyslové aplikace a HEPA filtry.

Filtry kapsové

Je to vlastně filtry plochý skládaný tak, že jeho tloušťka přibližně odpovídá ostatním rozměrům. Výhodou je použití široké škály materiálů, nevýhodou jsou velké rozměry. Příklad aplikace je filtr do klimatizační jednotky, předfiltry pro skládané HEPA filtry.

Filtry patronové

Tyto filtry se mohou nazývat i jako svíčkové filtry. Jsou to filtry, které tvoří vláknový filtr plochý (objemový) nebo skládaný obtočený kolem perforované trubky. Může být jednorázový i jako čistitelný zpětným protlakem. Můžeme jej získat i křížovým návinem

přástu. Výhodou jsou jeho rozměry, využívá se především v průmyslu a to pro suchou i mokrou filtraci.

Filtry hadicové

Princip je podobný jako u filtru patronového, ale liší se jeho délkou. Délka u hadicového filtru může být i několik metrů. Bývají čištěny zpětným protlakem, slouží k filtraci většího množství zachytávaných částic a proto bývají hadicové filtry umístěny vedle sebe ve větším. Při zpětném protlaku se uvolňují částice, které padají do prostoru pod filtry a poté jsou vysypávány. [4] [15]

Vzduchové / plynová filtrace

Vzduchové filtry jsou filtry, které čistí vzduch hlavně od prachu, ale i zápachu, vlhkosti, pro lepší dýchání a k odstranění dalších nepříznivých složek obsažených ve vzduchu, které vstupují do výrobního procesu a zajišťuje tak sterilní vzduch v bioprovozech. [5]

Filtrace vzduchu vlastně znamená odstranění jistých částic ze vzduchu. Existují různé typy filtrů určené pro určité druhy znečištění. Níže jsou popsány některé vybrané typy vzduchových filtrů a jejich využití. Pro stavební zábranu, jsou nejdůležitější filtry pro hrubý, jemný a velmi jemný prach.

Pro výběr vhodných vzduchových filtrů je zapotřebí znát několik vstupních parametrů, kterými je složení filtrovaných částic (prach, aerosol, plyn), velikost částic a jejich koncentrace.

Některé typy vzduchových filtrů

Hrubý prachový filtr

Tento filtr zachycuje hrubý prach a další relativně velké částice znečištění jako jsou například vlasy nebo šupinky kůže. Tento filtr je nejčastěji používán jako předfiltr.

Jemný prachový filtr

Filtr zachycuje prach tak, že částice unášené proudem vzduchu narazí na vlákno, protože jejich poloměr je větší než vzdálenost mezi vlákny filtr, média a zachytí se.

Velmi jemný filtr (Absolutní)

Filtr zachycuje jemné částice prachu. Používá se v prostředích náročných na čistotu ovzduší.

Elektrostatický filtr

Filtr odstraňuje ze vzduchu částice o velikosti od 0,01 mikronu. Filtr pracuje na principu elektrostatického náboje. Částice se stejným nábojem, kladným či záporným, se navzájem odpuzují, zatímco částice s opačnými náboji se přitahují. Znečištěný vzduch nejprve prochází ionizační částí, která je pod vysokým napětím (až 8 000V). Tím se přenesou kladný náboj na znečišťující částice obsažené ve vzduchu. Ty posléze procházejí kolektorovou částí, kde se ukládají. Nabitě částice škodlivin jsou přitahovány uzemněnými deskami a lepí se na ně.

Celulózový filtr

Tento typ filtru obsahuje miniaturní otvory, proto většina znečišťujících částic obsažených ve vzduchu zůstane zachycena na filtru. Filtr je vyroben z vyztuženého, překládaného papíru, čímž získává pevnost a odolnost vůči tlakům a extrémně velkou filtrační plochu, která má až několik metrů čtverečných. Díky velké ploše a filtrační kapacitě filtru je tlak vzduchu ve filtru velmi malý. Až po zanesení velkého poměru miniaturních otvorů filtr přestane řádně fungovat.

Aktivní uhlíkový filtr

Filtr odstraňuje nepříjemné pachy a těkavé organické látky ze vzduchu. Filtr obsahuje aktivní uhlí a je speciálně navržen k adsorpci maximálního možného množství plynů a pachů. [7] [5]

Membránová filtrace

Membránová filtrace neboli membránová separace je fyzikální separační proces, při kterém je hnací silou rozdíl tlaků mezi dvěma stranami speciální membrány. Tento proces je charakterizován schopností oddělovat od sebe molekuly různých velikostí a vlastností. Používá se při procesu odfiltrování mikročástic nebo odsolení vody, při níž jsou z vody odstraňovány částice jejich zachycením na polopropustné membráně. Membránová filtrace poskytuje četné výrazné výhody, kterými jsou:

- nízké celkové výrobní náklady
- vysoká kvalita finálního výrobku
- flexibilita [9] [10]

HEPA filtry

Je to jeden z typů vzduchového filtru. Je to velký plochý filtr vyrobený ze speciálního skelného mikrovlákna, který je složen mnohonásobně do tzv. harmoniky a vložen do pevného rámu. Funkčnost celého filtru závisí jak na kvalitě filtračního materiálu, tak i na těsnosti jeho okrajů. Těsnost okrajů se zajišťuje zalitím těsnícím plastem nebo gumovým těsněním. Jsou používány například pro zabránění kontaminace vzduchu radioaktivními látkami, ale třeba i u sádkových vysavačů. Slouží k zachycení těch nejjemnějších částic jako je pyl, výkaly roztočů, cigaretový kouř, mikroskopické částičky prachu či alergeny, které nebyly zachyceny předcházejícími filtry. Filtr se

dále využívá i ve zdravotnictví, farmacii, výzkumu a při výrobě mikroprocesorů. Jsou to skvěle omyvatelné filtry, vhodné pro alergiky a odolné proti roztočům. [21] [22]

Základní kritéria vzduchových filtrů

Mezi základní kritéria vzduchových filtrů patří

Odlučivost [%]

- daná normou ČSN EN 779
- na syntetický prach
- na atmosférický prach

Tlaková ztráta [Pa]

- odpor proti proudu vzduchu procházejícího filtrem
- počáteční tlaková ztráta – čistý filtr
- koncová tlaková ztráta – zanesený filtr -> vhodná výměna filtru

Množství vzduchu [m³/hm²]

- množství vzduchu pro efektivní provoz filtru

Množství zachyceného prachu [g/m²]

- množství prachu, které je filtr schopný zachytit [17]

Filtry pro čištění vzduchu

Panelové filtry

Čtvercové nebo obdélníkové panely filtru jsou nejčastěji používané pro čištění vzduchu v rezidencích a na pracovištích. To ale nezahrnuje filtry typu osvěžovače vzduchu, které se stávají stále více populární v domácnostech a rezidencích. Panelové filtry mají velmi jednoduchou konstrukci a jsou k dispozici i ve velikostech precut filtrů. Obvykle jsou složeny ze sklolaminátu nebo polyesteru, přírodních vláken a jsou často vyztužené s podporou mřížky. K dispozici jsou také mnohem komplikovanější málo záhybové panelové filtry, které se nejčastěji používají pro aplikace s vysokou účinností vzduchového filtru. Můžeme identifikovat šest hlavních kategorií pro zařízení čištění vzduchu uvnitř potrubí pro systémy bytové vzduchotechniky. Pro tuto práci jsou nejdůležitější filtry elektretové.

a) Elektretové filtry

Tyto filtry používají filtrační médium skládané z vrstvy elektrostaticky nabitých vláken. Kromě jednoduchého mechanického zachycení částic, můžou také zachytit částice elektrostatickou přitažlivostí. Účinnost filtrace je podstatně vylepšena ve srovnání se srovnatelnými filtry bez náboje a to bez zvýšení odporu vůči proudění vzduchu.

Elektretová filtrační media

Elektrety jsou dielektrické materiály, které vykazují vnější elektrické pole bez přítomnosti aplikovaného pole. Vlákenný materiál není možné považovat za pevný materiál s homogenním elektrostatickým polem. Předpokládá se, že jednotlivá vlákna jsou elektrickými dipóly a celkové elektrostatické pole je velmi nepravidelné, protože vlákna nejsou pravidelně orientována. Při použití pro filtraci vzduchu, mohou výrazně zvýšit počáteční účinnost filtrace, aniž by došlo k poklesu tlaku, protože zde působí jeho elektrostatická přitažlivost pro částice ve vzduchu. Filmy, vlákna a netkané textilie jsou mezi materiály, které mohou být upraveny do elektretů. K dispozici jsou dvě odlišné kategorie elektretů; prostorové náboje elektretů a dipolární elektrety.

Nabíjení elektretů je tvořeno vkládáním nebo injekcí elektrického náboje přímo do dielektrického materiálu. Dipolární elektrety jsou formovány nebo polarizovány použitím elektrického pole. Aby došlo k polarizaci polymeru, musí být dostatečně zahřátý na teplotu, kdy jsou dipóly mobilní a pak dochází k upevnění nové orientace dipólů pomocí ochlazení.

b) Sklolaminátové filtry

Jedná se o skelné rohože filtru složené z délek 15 až 60 μ m skelných vláken s vysokou pórovitostí. Jedná se o nejběžnější filtry používané v systémech obytných pecí a klimatizačních systémech. Jejich účelem je chránit systém před nečistotami, které by mohly poškodit součásti vzduchových systémů, jako jsou ventilátory, motory, chlazení cívek a výměníků tepla. Pro stavebnictví jsou ale příliš drahé, těžké a nepotřebné pro jejich dlouhodobé použití.

c) Skládané filtry

Jsou složeny z netkané rohože vyrobené ze syntetických a/nebo přírodních vláken. Jsou podobné sklolaminátovým filtrům, které jsou vysoce propustné. Nejčastěji používaná vlákna jsou z bavlny a polyesteru. Vlákniatá rohož je filtrační médium. Obvykle jsou podporovány drátovým rámem ve formě záhybů ve tvaru V. Pro stavebnictví mají komplikovanou strukturu.

d) Omyvatelný / opakovaně použitelné filtry

Jedná se o panelové filtry, které lze vyčistit a znovu použít. Jsou také vysoce propustné. Filtračním médiem je obvykle kombinace syntetické síťované pěny mezi vrstvami tkaných polyesterových nebo polypropylenových rohoží. Další provedení se skládá z vrstvy netkaného polyesteru vloženého mezi vrstvy tkaných polyesterových nebo polypropylenových rohoží. Ve stavebnictví jsou nevyužívané a nepotřebné.

e) Hluboce skládané filtry

Tyto filtry jsou až do 5 palců tlusté a obvykle vyžadují speciální nosnou konstrukci v pracovním potrubí. Médium je podobné jako u skládaných filtrů zmíněných výše. Pro stavebnictví jsou tyto filtry drahé a nevhodné.

f) Elektronické čištění vzduchu

Elektronické vzduchové čištění se nepoužívá jako filtrační médium pro sběr částic. Spíše se používá vysoké napětí ionizačního pole a dochází k nabíjení částic se záporným nebo kladným nábojem. Z toho vyplývá, že pro stavebnictví jsou nepoužitelné. Jejich účinnost by nebyla schopná pojmout tolik vznikajících prachových částic. [20]

Testování filtrů

Zkušební metoda filtračních vlastností:

Mezi testovanými vlastnostmi je efektivita, frakční účinnost, pokles tlaku, pokles tlaku vs. proudění vzduchu a životnost filtru. Vlastnosti jsou testovány jako počáteční nebo během procesu filtrace. Metody se liší podle částic látky (elektrické vlastnosti, přilnavost), velikosti částic (hrubé / jemné), rozsah velikosti částic na monodisperzní (jedna velikost částic, respektive rozdíl velikosti částic je tam velmi malý, že jej lze zanedbat) a polydisperzní, koncentrace a typ zachytávaných částic. Metody jsou rozděleny do pěti testů a jejich souhrn je znázorněn níže (viz tab. 1)

a) *Test syntetickým prachem*

Prach je směs připravená z rozemletých anorganických a/nebo organických částic. Nejznámější je ASHRAE prach tvořený z prachu syntetického, bavlněných vláken a sazí, který má některé parametry jako prach v okolí Arizonských silnic. Používá se pro hrubší filtry (částice jsou polydisperzní a hrubé), kdy nezjišťujeme záchyt jednotlivých velikostí částic. Je možné testovat změnu vlastností v průběhu filtračního procesu, efektivitu, tlakový spád a životnost filtru. Prach se měří velmi populární a snadno používanou - vážicí metodou. Touto metodou se získá převážně hmotnost těch největších částic ve vzorku. Použité normy jsou: EN 779 [EN 779, 200], ASHRAE 52,2

b) *Test atmosférickým prachem*

Při tomto testování okolního venkovního, atmosférický vzduch prochází zkoušeným filtrem, kdy se odebírají vzorky na vstupu a na výstupu filtru, zjišťuje se množství prachových částic rozptýlených ve vzduchu. Analýza vzduchu se provádí opacitometricky (sleduje se změna jasu srovnávacího bílého filtru). Použitý standard byl starší verze normy EN 779.

c) *Test olejovým aerosolem (DEHS, DOP, parafinový olej)*

Nahradil test atmosférickým tlakem. Jako testovací látka se používají aerosoly z kapalných olejových chemikálií. Nejznámější jsou: dioctylphtalate (DOP), diethylhexylsebacate (DEHS) a parafinový olej. Jsou známy dva typy olejového aerosolu: studené a teplé. Pokud je olej rozptýlen a sušen v chladných podmínkách

okolního prostředí (tryska Laskin) pak rozsah velikostí částic je širší (polydiperzní aerosol). Pokud je olej rozptýlen a sušen v horkých okolních podmínkách pak je možné získat monodisperzní částice (vznikají částice o velikosti 0,1-0,3 μm). Vzniklé částice jsou analyzovány laserovým počítačem částic nebo spectrofotometricky. Je možné zjistit efektivitu zvolených velikostí částic (s výjimkou parafinového oleje). Částice jsou insenzitivní elektrostatickému poli. Počáteční hodnoty této metody se používá pro jemné a vysoce účinné filtry - HEPA (vysoká efektivita částic vzduchového filtru) a ULPA (velmi nízká penetrace vzduchového filtru) filtry.

d) *Test aerosolem NaCl*

Vodný roztok chloridu sodného se disperguje a vysuší. Vzniklé polydisperzní částice mají střední hodnotu velikosti 0,65 μm a jejich průnik přes filtr se analyzuje spectrofotometricky. Tato metoda je vhodná pro jemné filtry a vysoce účinné filtry (především respirátory), umožňuje rychlé měření počáteční hodnoty efektivity a tlakového spádu. Použité normy jsou: BS 4400 [BS 4400, 1969], EN 143 [EN 143, 2000]

e) *Test methylenovou modří*

Roztok methylenové modři je rozptýlen a zcela usušen. Modré částice jsou analyzovány porovnáním jejich zachycením po proudu vzduchu a po průchodu filtrem. Metoda je vhodná pro vysoce účinné filtry. Z důvodu úzkého rozsahu se nahrazuje testem aerosolem chloridu sodného, který je popsán výše). [20] [15] [18]

metoda	Název typu normy	Testovací materiál	Průměr částic	Technika přípravy test. Mat.	Detektor proniknuvších částic
Test syntetickým prachem	ANSI/AHAM	Prach z Arizonských silnic	0,5 - 3	Aerosolový generátor	Aerodynamický třídič částic
	ASHRAE EN CAN	72% fine dust 23% molocco black 5% cotton linters	-	Dávkovač prachu, injektor	vážením
	ISO SAE	Testovací prach	2 – 125 10 - 40	injektor	Vážením
Test atmosfer. prachem	ASHRAE CAN	Atmosférický aerosol	Cca. 0,3	Přímo ze vzduchu	Opacitometr (propustnost světla)
Test olejovým aerosolem	ASTM ASME/ANSI IES MIL-STD UL	DOP test; Di-oktyl ftalát (syntetický olej)	0,3 0,2 – 0,3	Vypařování, kondenzace	Optický počítač částic Spektrofotometr
			0,3 – 2	Tryska Laskin	Optický počítač částic Spektrofotometr
	EN	DEHS aerosol diethylhexylsebacate	0,1 – 0,3	Vypařování, kondenzace	Optický počítač částic Spektrofotometr
			0,2 – 3	Tryska Laskin	Optický počítač částic Spektrofotometr
	EN BS	Parafinový olej CP27 DAB7	0,4±0,26	Rozprašování, kondenzace	Fotometr měřící rozptyl světla
Test aerosolem NaCl	BS EUROVENT EN NF	Částice NaCl	0,02-2 medián 0,6	Rozprašení roztoku a vysušení	spektrofotometr
Test methylen. modří	BS	Částice metylénové modří	-	Rozprašování vodního roztoku	Velikost skvrny

Tab. 1: Souhrn metod pro testování filtračních vlastností suchých filtrů.

Z tabulky se nejbližší této práci přibližuje použití testu s testovacím prachem, protože jeho částice jsou velikostně srovnatelné s částicemi vyskytujícími se ve stavebnictví.

Prachové částice

Prachové částice neboli pevné částice jsou drobné částice rozptýlené ve vzduchu. Mohou být označovány jako polétavý prach, protože jsou tak malé, že mohou být unášeny vzduchem. Jejich zvýšená koncentrace může způsobovat i závažné zdravotní problémy. Podle původu lze rozdělit zdroje pevných částic na antropogenní, přírodní nebo na jejich kombinaci.

Antropogenní zdroje vznikají lidskou činností. Tyto zdroje vznikají při spalovacích procesech, které jsou součástí technologických činností při výrobě tepelné a elektrické energie, při pohybu dopravních zařízení apod. Antropogenní zdroje jsou i částice, vznikající větrným odnosem ze stavenišť, ze skládek stavebních surovin, z demolovaných staveb či z nezpevněných polních cest.

Přírodní zdroje mohou být chemické, fyzikální či biologické. Příkladem jsou zrna z větrných erozí půdy, kosmický prach, uvolňovaný metan, radioaktivní plyn radon, některé těkavé látky organické látky, bioaerosol a další.

Aerosolové částice nebo atmosférický aerosol se liší od prachových částic tím, že aerosolové částice zahrnují všechny částice, které se šíří prouděním vzduchu a to jak pevné tak i kapalné. [12] [13]

Polypropylenová vlákna

Mají velmi nízkou hustotu, která je v rozmezí od 0,91 – 0,95 g/cm³.

Charakteristika

Díky svému chemickému složení a vlastnostem patří mezi termoplastické polymery ze skupiny polyolefinů. Je to vysoce houževnatý materiál v závislosti na teplotě pružný až křehký, má velmi dobrou tvrdost, dobře odpuzuje vodu, má výbornou tvarovatelnost za tepla, z hlediska chemického složení je zdravotně nezávadný a má atest pro styk s potravinami, nízkou odolnost vůči oxidaci, nízkou otěruvzdornost, a také má nižší odolnost proti povětrnostním podmínkám. Má vynikající elektrické vlastnosti jako filtr pro zachycení prachových částic. Elektrické vlastnosti jsou ale i nevýhodou a to při mykání, kde je elektrostatický náboj nežádoucí. Polypropylen má podobné fyzikálně-chemické vlastnosti jako polyetylen. Křehne při nízkých teplotách, kolem 140-150°C měkne, kolem 160-170°C se taví. [8] [16]

Polypropylen má velmi dobrou chemickou odolnost (je odolný některým kyselinám, zásaditým roztokům, alkoholům a olejům), proto se využívá pro aplikace především pro technické účely s nasazením v agresivním prostředí. Dobře se rozpouští v xylenech či tetrahydronaftalenu. Některé typy nejsou odolné UV záření. Jeho nasákavost je minimální, pohybuje se kolem 0,1%, a proto je jeho použití výhodné při filtraci kapalin, kde se požaduje snadná regenerace kalového koláče a vyprání zachycených nečistot.

Používá se v potravinářském průmyslu na obaly na sušenky, blistry, kelímky, výroba hraček. V chemickém průmyslu na výrobu nádrží, jímek, výrobu klimatizačních kanálů. V automobilovém průmyslu, také se užívá jako alternativa k polyvinylchloridu pro izolaci elektrických kabelů v málo větraných prostředích, především v tunelech. Polypropylen při hoření neprodukuje mnoho kouře a ani žádné toxické halogenuhlovodíky, které by mohly za vysokých teplot přispět ke vzniku různých kyselin. Je také často používán pro výrobu lan a provazů, díky své nízké hmotnostní hustotě jsou lana dostatečně lehká, takže mohou plavat na hladině. [8]

Polypropylenová vlákna jsou částečně krystalické plasty, které se získávají za pomoci katalyzátorů polymerizací propenu. K výrobě textilních vláken se hodí jen izotaktické polymery, které mají naprosto stejnoměrnou molekulární strukturu.

Průmyslová výroba polypropylenových vláken začala koncem 50. let minulého století v Itálii a asi 20 % polypropylenů se produkuje jako textilní vlákno. Světová spotřeba textilních

polypropylenových výrobků dosáhla po prudké expanzi v roce 2005 až 6 milionů tun ročně, v roce 2009 se však snížila na 2,6 milionu tun (60 % filamentů a 40 % staplových vláken) a asi 1,5 milionů tun fóliových pásků.

Výchozí surovina k výrobě je odpad vzniklý při zpracování ropy, proto je polypropylen levnější než ostatní syntetické materiály. Při výrobě se polymerizovaná hmota taví a dluží při teplotě do 200°C. Jelikož je hotové vlákno velmi obtížně barvitelné, barví se většinou pouze ve hmotě před zvlákňováním. [6]

Při zpevnování se používá technologie vpichování, při které jsou snadno zpracovatelné. Výhodou je velmi nízká vpichovací síla a malá deformace. Zpracovávají se vlákna běžných jemností od 1,3 do 30 dtex, ale i vlákna hrubší od 33 až 70 dtex pro bytové a speciální účely. [2]

Nanovlákná

Nanovláknenné materiály jsou základními prvky pro širokou škálu aplikací, zejména v oblasti medicíny a materiálového inženýrství. Patří mezi ně ochranné materiály, senzory, kosmetika, hygiena, filtrace a skladování energie.

Nanovlákná jsou vlákna o průměru mezi 100 - 500nm, jsou vyrobená speciální technologií zvlákňování. Zvlákňují se zejména roztoky polymeru, ale je zatím experimentálně možné zvlákňovat i taveninu. Zvlákňování se může provádět různými technologiemi (viz výroba nanovláken).

Vlastnosti nanovláknenné vrstvy jsou

- a) Velký specifický měrný povrch
- b) Vysoký objem pórů
- c) Vysoká porozita
- d) Výborné mechanické vlastnosti v poměru ke hmotnosti
- e) Možnost aditivace nanovláknenných materiálů
- f) Malá velikost pórů – dobrá prodyšnost

Mezi důležité procesní parametry patří

- a) Viskozita
- b) Uspořádání spinneru
- c) Použité napětí
- d) Okolní teplota a vlhkost
- e) Elektrické vlastnosti podpůrného materiálu
- f) Typ zvlákňovaného polymeru
- g) Ostatní [23]

Při filtraci je nejdůležitější vlastností nanovláken malá velikost pórů, která nám přispívá k většímu zachytu velmi malých prachovým i biologických nečistot. A vysoká porozita je důležitá kvůli dobrému průniku filtrovaného vzduchu či kapaliny.

Například firma Fibertex provedla výzkum v oblasti použití nanovláken při filtraci a zahájila výrobu komerčních výrobků. Firma uvedla, že mezi hlavní přínosy filtračních médií

s podílem nanovláken patří větší účinnost filtrace s nízkou tlakovou ztrátou v porovnání se standardními filtry. Navíc, zvýšení aktivní plochy nanovláken a malá odchylka velikosti pórů zajistí bezkonkurenční filtrační výkon.

Nabízené filtry pro vzduchovou filtraci s podílem nanovláken dosahují filtračních tříd F, HEPA a ULPA.

Filtry se vyznačují:

- Nízkou tlakovou ztrátu a zvýšenou propustností vzduchu
- Velkým povrchem filtru
- Zlepšenou schopností regenerace od prachové vrstvy
- Hydrofobní a hydrofilní vlastností povrchu [11]

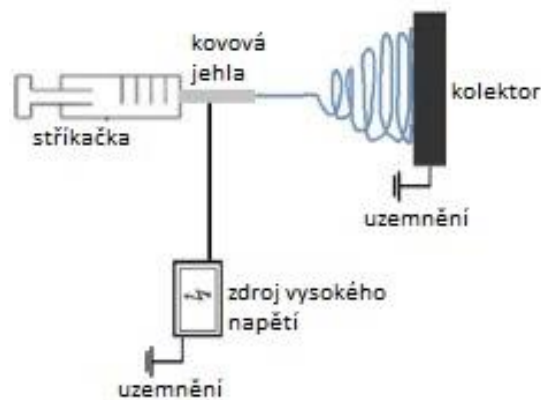
Výroba nanovláken

Technologie

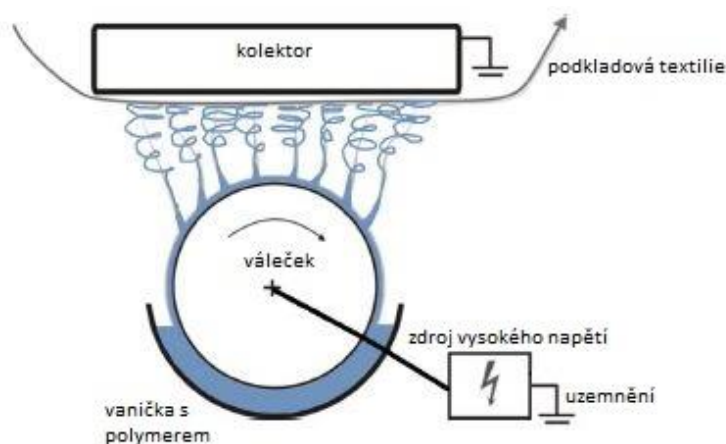
Existují různé typy technologií, jak je možné vyrábět nanovlákná. Pro výrobu nanovláken se používá elektrostatické zvlákňování, drawing nebo-li tažení, meltblown, forcespinning což je odstředivé zvlákňování, syntéza přes šablonu či membránu, fázová separace či jejich různá kombinace. Vyrábět se dají i bikomponentní vlákna, např. jádro-plášť, strana-strana, mixování vláken a spousta dalších.

Zvlákňování polymeru s využitím elektrostatických sil se může též provádět několika způsoby. A to buď pomocí jehly nebo bezjehlové a pomocí stejnosměrného či střídavého napětí. Bezjehlové zvlákňování se provádí pomocí kovové tyčinky nebo různých typů válečků. [23]

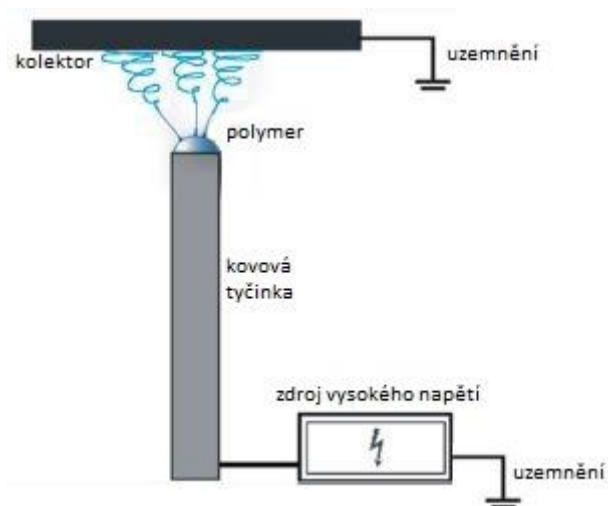
Typy zvlákňování



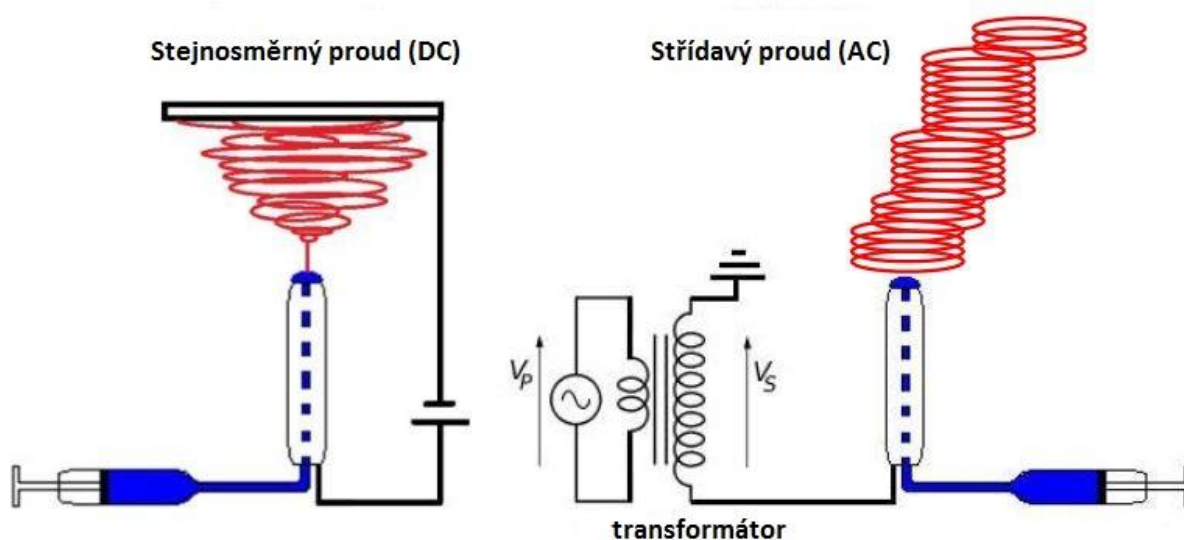
Obr. 6: Zvlákňování pomocí jehly



Obr. 7: Bezjehlové zvlákňování pomocí válečku



Obr. 8: Bezjehlové zvlákňování pomocí kovové tyčinky



Obr. 9: Zvlákňování se stejnosměrným a střídavým napětím

Nevýhodou stejnosměrného proudu (DC) elektrostatického zvlákňování je, že potřebují kolektor, tudíž pak vzniká obtížná kombinace DC elektrospineru s jinými technologiemi vzhledem k přítomnosti vysoké intenzity pole v celé zvlákňovací zóně.

Střídavý proud (AC) elektrospineru je založen na jehlové zvlákňovací elektrodě, která poskytuje vysoce produktivní oblak aerogelu složený z nanovláken. Aerogel rychle stoupá od elektrody jako tenký oblak kouře (dýmu), aniž by bylo nutné použít kolektor. [26]

Polyvinyl butyral

Polyvinyl butyral se označuje zkratkou PVB. Je to polymer, který se připravuje reakcí polyvinylalkoholu s butanalem v methanolu za katalýzy kyselinou sírovou. Používá se hlavně díky své dobré přilnavosti k ostatním materiálům (jejich povrchům), silným vazbám, díky své optické čirosti, stálosti na světle, houževnatosti a pružnosti. Jeho tepelná odolnost je dobrá, vydrží teploty 130 – 140 °C.

Používá se pro výrobu folií, vrstvených a bezpečnostních skel. [24]

Na závěr teoretické části, jsou opět zmíněné veličiny ovlivňující filtraci. Tato část slouží jako přehled veličin, které jsou pro účely stavebního filtru nejvíce důležité.

Filtrační proměnné:

- Malá rychlost proudění vzduchu
- Proudění vzduchu oběma směry
- Pro stavební prach

Filtrační mechanismy:

- nepřímé zachycení
- přímé zachycení
- elektrostatické usazení

Filtrační vlastnosti:

- co největší efektivita
- co nejmenší tlakový spád (velký tlakový spád by mohl bourat konstrukci protiprachové bariery)
- životnost filtru, musí být dostatečná vzhledem k době průběhu stavby či rekonstrukce

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Teorie pokusu

Pro výrobu filtru byla použita polypropylenová vlákna. Díky svým elektrostatickým vlastnostem by měla být schopná zachytit větší množství prachových částic než vlákna bez těchto vlastností. Přidáním nanovláken k těmto polypropylenovým vláknům by mělo vést ke zlepšení účinnosti filtrace. Nanovláknem byla k materiálu přidána dvěma možnými způsoby ve třech různých množstvích. Nejdříve byla nanovláknem přidávána rovnou k polypropylenovým vláknům na mykacím stroji při navíjení mykance na odváděcí válec, poté byl mykanec opět mykán a následně byla vytvořená vlákenná vrstva vpichována. Druhým způsobem bylo nanosení nanovláken na mřížku, která poté byla vložena mezi dvě již mechanicky předzpevněné textilie a následně byly tyto vrstvy spojeny vpichováním. Nanovláknem byla dávkována v množství 0,1 %, 0,3 % a 1 % (1 min zvlákňování, 3 min zvlákňování a 10 min zvlákňování). Výpočet tohoto dávkovaného množství je popsán v další kapitole o přípravě materiálu.

Příprava materiálu

Na výrobení vláknenné pavučiny byly použity tři různé jemnosti a průměry polypropylenových vláken. Více jemností by mělo zajistit lepší účinnost filtru. Byl zvolen POP 8,9 dtex délky 60 mm, POP 2,5 dtex délky 60 mm a POP 13 dtex délky 38 mm. Celková navážka do mykacího stroje byla zvolena na 100 g, kvůli dostatečnému množství vláken pro výrobu netkaných textilií a očekávaným ztrátám při výrobě. Z toho vyplývá, že od každého druhu byla navážena navážka 33,3 g.

Na každý vzorek s nanovláknou bylo potřeba připravit 1,5 m vláknenné vrstvy a na každý vzorek s nanovláknou a mřížkou 1,5 mx2, jelikož se mřížka vkládala mezi ně. Tyto potřebné rozměry vyplývají z následných potřebných vzorků na zkoušení účinnosti filtru, kde byly zapotřebí rozměry 15x15 cm.

Na nanovláknou byl použit roztok polyvinylbutyralu rozpuštěn v etanol-izopropanolu, který se odpařuje pomaleji než líh, takže rychle nevysychá a zvlákňování se daří lépe. Roztok byl složen z 10 hm% polyvinylbutyralu, 4 váhových dílů etanolu a 1 váhového dílu izopropanolu. Dávkování roztoku polyvinylbutyralu bylo cca 2,5 ml/min.

Výpočet pro dávkování nanovláken:

Dávkování roztoku polyvinylbutyralu= 2,5 ml/min → 10% roztok → 0,25 g/min nanovláken

Plocha= 0,5 m²

1 min zvlákňování= 1x0,25= 0,25 g

3 min zvlákňování= 3x0,25= 0,75 g

10 min zvlákňování= 10x0,25= 2,5 g

Uvedená množství nanovláken byla rozptýlena na mykanec o ploše 0,5 m². Podíl nanovláken v polypropylenové vláknenné směsi tak dosáhl přibližně 0,1 %, 0,3 % a 1 %. Vzhledem k hmotné nestejnomyěrnosti vyráběné textilie se jedná o přibližné hodnoty.



Obr. 10: Elektrostatické zvlákňování mykance



Obr. 11: Snímání mykance při použití 1% nanovláken

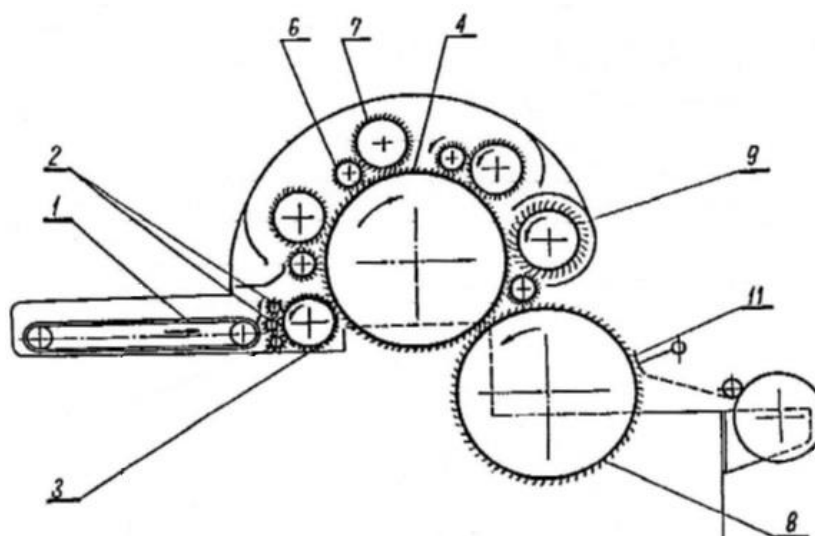


Obr. 12: Elektrostatické zvlákňování na mřížku

Použité technologie

Technologie mykání

Byla zvolena technologie mykání, protože je jednou z nejběžněji používaných mechanických technologií pro výrobu vlákně pavučiny. Principem technologie bylo, aby pomocí hrotů rozvláknila připravené chomáče vláken, které byly dávkované do stroje. Cílem bylo ojednotit vlákna a vyrobit rovnoměrnou pavučinku. Vlákna byla během procesu mykání nejen napříměna a urovňána do podélného směru, ale také byla zároveň čištěna a mísena. Při výrobě netkaných textilií byly použity dva válcové mykací stroje od firmy Befama. Jeden o šířce 40cm a druhý o šířce 56cm.



Obr. 13: Schéma mykacího válcového stroje

Navážka byla podávána příváděcím pásem (1) k podávacím válečkům (2). Dále byla rozvolněna pomocí rozvolňovacího válce (3) a přivedena k hlavnímu válci-tamburu (4). Některá vlákna byla zachycena pracovním válcem (7), předána obraceči (6) a zpět na tambur (4). Tato operace se opakovala podle počtu mykacích elementů (pracovní válec/obraceč). Dále byla vlákna povyčesána na tamburu ve směru k povrchu pracovních potahů pomocí volantu (9). Vlákna byla takto připravena k zhuštění a následnému sejmutí snímacím válcem (8). Tvořila se mykaná pavučinka, která byla následně sčesávána snímací pilkou (11) a nakonec kladena pomocí příčného kladecího stroje na odváděcí pás.

Co má vlastně vliv na účinek mykání?

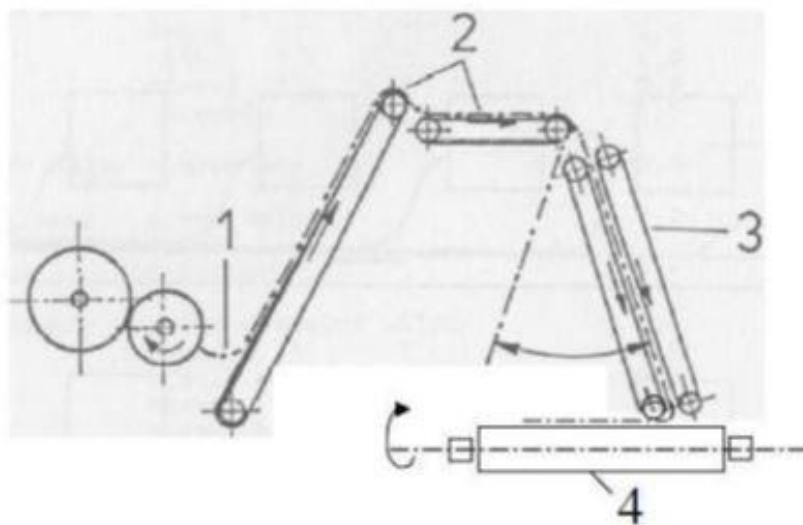
Významný vliv na účinek mykání má délka, jemnost a povrchové vlastnosti zpracovávaných vláken. Dále pak účinek mykání může ovlivnit počet mykacích elementů na jednotku plochy, rozdíl rychlostí protilehlých mykacích povrchů a vzdálenost protilehlých mykacích povrchů.

Co se stalo s nanovláknny po průchodu mykacím strojem?

Z (obr. 6) je patrné, že nanovláknna začala vytvářet tzv. shluky. Jelikož samotný mykanec nebyl prohlížen pod optickým mikroskopem, je toto tvrzení pouze z mého optického usouzení.

Příčné kladení pavučiny

Cílem bylo zkombinovat pohyb odváděcího pásu a výkyvného kladečího pásu. Jednotlivé vrstvy se tak ukládali šikmo ke směru odvádění. Při pokusu byl použit příčný kladeč pavučiny vertikální.



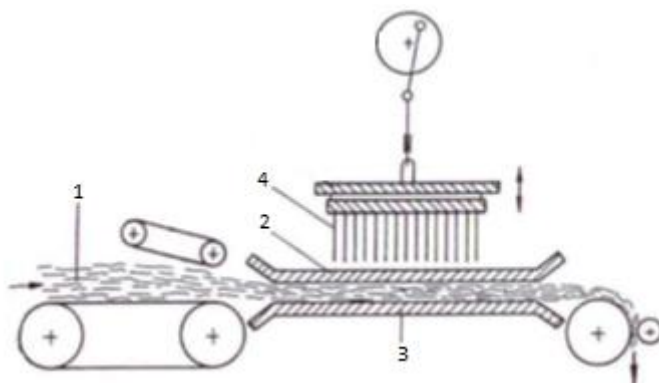
Obr. 14: Schéma vertikálního příčného kladeče

Pavučina byla snímána z mykacího stroje (1) a přiváděna na dopravník (2). Dále byla zachycena mezi dvojicí výkyvných kladečích pásů a odváděna pomocí odváděcího dopravníku (4) k vpichovacímu stroji.

Technologii příčného kladení byla zvolena z důvodu zvýšení plošné hmotnosti filtru a také zajištění změny orientace vláken. Změna orientace by měla zajistit zmenšení pórů a lepší pevnost filtru.

Technologie vpichování

Vpichování bylo použito z důvodu vzájemného mechanického provázání vláken ve vlákenné vrstvě. Provázání vláken probíhalo čistě mechanicky, a to pomocí speciálních vpichovacích jehel s hroty. Vlákenná vrstva se vpichováním zpevnila, ztenčila, ale také se spojila i s nosným podkladem. V našem případě se jednalo o mřížku s nanovláknny. Na tuto práci byl použit vpichovací stroj od firmy Hansa s vypichovacími jehly 15x18x32x3,5RP.



Obr. 15: Schéma vpichovacího stroje

Vlákenná vrstva (1) byla přiváděna mezi dva rošty (2, 3), jejímiž otvory procházejí speciální vpichovací jehly (4). Ostny jehel zachytily svazky vláken, změnili jejich orientaci - kolmo ke směru průchodu materiálu a protáhli je rounem. Při zpětném pohybu jehel z nich vlákenné svazky vysmekly a zahákly se na sousedních vláknech.

Sledované technologické parametry během procesu vpichování byly:

- a) Parametry vláken
- b) Parametry vlákenné vrstvy
- c) Parametry vpichovacího stroje

Prvním hlavním parametrem byla hloubka vpichu, která nám ovlivňovala intenzitu vpichování. Do určité míry se nám totiž zvyšuje pevnost textilie, zmenšuje tloušťku textilie a ovlivňuje počet hrotů podílejících se na vlastním procesu vpichování.

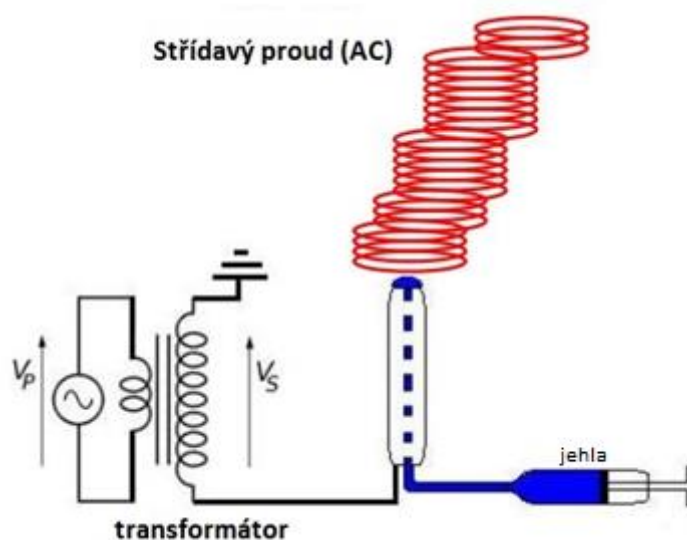
Druhým hlavním parametrem byla hustota vpichování, která ovlivňovala také intenzitu vpichování. Šlo o, že vyšší hustota vpichování způsobuje do určité míry větší pevnost, větší rozměrové změny výrobku, větší poškození vláken, menší tloušťku a také i menší prodyšnost výrobku.

Jak se nanovláknna ve směsi s polypropylenovými chovala po průchodu vpichovacím strojem je rozebráno níže pod znázorněnými připravenými vzorky.

Technologie elektrostatického zvlákňování

Tato technologie je jedna metod pro výrobu nanovláknenných struktur. Jak již bylo zmíněno v přechozích kapitolách, byl v tomto pokusu k zvlákňování použit roztok polyvinylbutyralu rozpuštěn v etanol-izopropanolu.

Při této práci byla použita technologie zvlákňování střídavým proudem a pomocí jehly. Tato technologie byla zvolena z důvodu praktičnosti, jelikož jsme měli velkoplošný výrobek a použití kolektoru, který je potřeba při stejnosměrném zvlákňování by bylo neefektivní. Dále pak je zvlákňování s použitím střídavého napětí mnohonásobně výkonnější než se stejnoměrným napětím.



Obr. 16: Schéma elektrostatického zvlákňování se střídavým proudem

Polymerní roztok byl přiváděn pomocí zvlákňovací jehly do pole střídavého napětí. V tomto poli se začala vznikající nanovláknna nabíjet a formovat. Dále se nanovláknna ukládala na mykanec a následně i na mřížku.

Použité měřicí přístroje

Váhy



Tloušťkoměr



Dust Filter Tester



Je to přístroj na měření tlakového spádu materiálu. Používají se nenormované prachové částice, které proudí na filtrační medium pod určitým průtokem vzduchu. K testování se používá zkoušená textilie a filtrační papír. Filtrační papír zachytí prachové částice, které prošly přes danou zkoušenou textilií. Pro výpočet efektivity se zjišťuje množství zachycených částic jak na textilií, tak i na filtračním papíře.

Nastavení parametrů stroje

Vlákenná vrstva bez nanovláken a mřížky

Rychlosti mykacího a vpichovacího stroje:

- Rychlost dopravníku k mykacímu stroji byla 7 m/min
- Rychlost kladeče byla 8,5 m/min
- Rychlost odváděcího pásu z mykacího stroje (přivádění do vpichovacího stroje) byla 0,19 m/min
- Rychlost odtahu z vpichovacího stroje byla 0,36 m/min

Parametry vpichovacího stroje:

Hloubka vpichu byla 13 mm a frekvence vpichu byla zvolena na 260 vpichů/min

Vlákenná vrstva s nanovláknem a mřížkou s nanovláknem

Rychlosti mykacího a vpichovacího stroje:

- Rychlost dopravníku k mykacímu stroji byla 7 m/min
- Rychlost kladeče byla 8,5 m/min
- Rychlost odváděcího pásu z mykacího stroje (přivádění do vpichovacího stroje) byla 0,21 m/min
- Rychlost odtahu z vpichovacího stroje byla 0,35 m/min

Parametry vpichovacího stroje:

Hloubka vpichu byla zvolena podle toho, aby došlo k co nejlepšímu spojení pavučinek, ale také aby došlo k co nejmenšímu namáhání materiálu kvůli riziku poničení nanovláken.

Nejdříve byla tedy zvolena hloubka vpichu na 4mm, ale nebyla dostatečná k propojení vrstev.

Proto byla hloubka vpichu tedy zvýšena na 6mm při stejné frekvenci vpichu 180 vpichů/min.

Vyhodnocení účinnosti filtru

Jelikož vznikala tzv. „mrakovitá“ struktura netkané textilie, bylo připraveno cca 10 vzorků o velikosti 15x15 cm od každého připraveného druhu filtru (obr. 17-22). Poté byla na každém vzorku naměřena hmotnost a tloušťka. Následně bylo od každého druhu vybráno 5 finálních vzorků s podobnými hodnotami hmotnosti a tloušťky pro měření efektivity. Test se prováděl na stroji Dust Filter Tester a ze zjištěných hodnot byla dále

vypočítána efektivita filtrace, podle již zmiňovaného vzorečku v kapitole o filtračních vlastnostech.

Rychlost v potrubí na stroji dust filter tester

Rychlost v potrubí je dána průtokem a plochou průřezu: $v = \frac{\text{průtok}}{\text{plocha průřezu}}$

Zjištěné hodnoty:

Průtok= 2000 l/h

Průměr= 0,11 m

Výpočet:

Průtok= 2000 l/h \rightarrow 2000 dm³/h \rightarrow 2 m³/h \rightarrow $\frac{2}{3600}$ m³/s = 5,5.10⁻⁴ m³/s

Plocha průřezu \rightarrow S= $\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,11^2}{4} = 9,503 \cdot 10^{-3}$ m²

Výpočet rychlosti v potrubí:

$$v = \frac{\text{průtok}}{\text{plocha průřezu}} = \frac{5,5 \cdot 10^{-4}}{9,5033 \cdot 10^{-3}} = 5,051 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Připravené vzorky:



Obr. 17: netkaná textilie s mřížkou, s 0,1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)



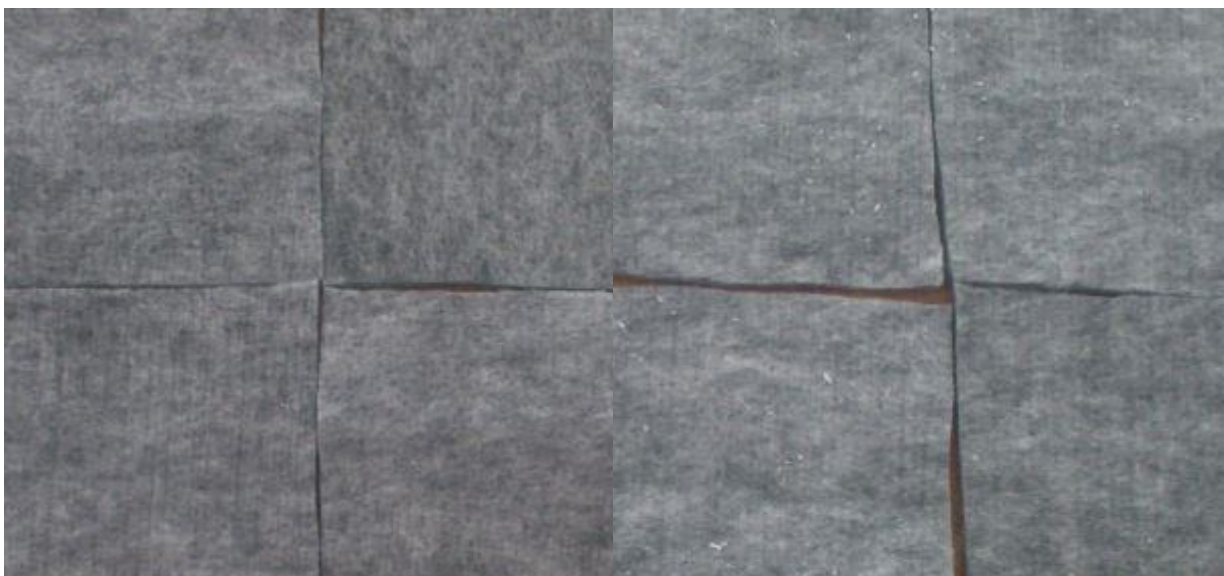
Obr. 18: netkaná textilie bez mřížky, s 0,1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)



Obr. 19: netkaná textilie s mřížkou, s 0,3% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)



Obr. 20: netkaná textilie bez mřížky, s 0,3% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)



Obr. 21: netkaná textilie s mřížkou, s 1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)



Obr. 22: netkaná textilie bez mřížky, s 1% nanovláken, vlevo (líc) a vpravo (rub)

Z obrázků je patrné, že nanovlákná jsou více na rubní straně materiálu a vytvářejí již zmíněné tzv. „shluky“. Na lícovou stranu se dostali pouze díky technologii vpichování, kde byly zachyceny vpichovací jehlou a povytaženy. Také je patrné, že při použití mřížky nejsou nanovlákná na materiálu tak výrazně vidět, jako při použití nanovláken přímo k mykanci.

s nanomateriály

vzorek	tloušťka [mm]	hmotnost filtru [g]	hmotnost absolutního filtru [g]	tlakový spád [Pa]	hmotnost nezachycených částic G1 [g]	hmotnost filtru + zachycených částic [g]	zachycené částice G2 [g]	hmotnost přidávaných částic G2 [g]	efektivita [%]
slepý 1	5,20	5,666	1,564	16,000	0,042	7,361	1,695	1,737	97,582
slepý 2	5,42	6,093	1,629	17,000	0,068	7,285	1,192	1,260	94,603
slepý 3	5,19	6,105	1,438	21,000	0,063	7,337	1,232	1,295	95,135
slepý 4	5,23	5,911	1,501	19,000	0,052	7,533	1,622	1,674	96,894
slepý 5	5,28	6,765	1,572	24,000	0,021	7,783	1,018	1,039	97,979
průměr	5,26	6,108	1,541	19,400	0,049	7,460	1,352	1,401	96,439
směr. odchylka	0,09	0,408	0,073	3,209	0,019	0,203	0,292	0,296	1,496
s 0,1% nano 1	4,80	5,780	1,593	17,000	0,048	7,150	1,370	1,418	96,615
s 0,1% nano 2	4,78	5,544	1,311	17,000	0,050	6,685	1,141	1,191	95,802
s 0,1% nano 3	4,81	6,270	1,362	17,000	0,046	8,102	1,832	1,878	97,551
s 0,1% nano 4	4,80	5,862	1,433	19,000	0,034	7,210	1,348	1,382	97,540
s 0,1% nano 5	4,88	5,308	1,472	15,000	0,061	6,764	1,456	1,517	95,979
průměr	4,81	5,753	1,434	17,000	0,048	7,182	1,429	1,477	96,697
směr. odchylka	0,04	0,361	0,108	1,414	0,010	0,563	0,253	0,253	0,831
s 0,3% nano 1	5,11	5,981	1,618	17,000	0,053	7,438	1,457	1,510	96,490
s 0,3% nano 2	5,15	6,199	1,543	15,000	0,060	7,541	1,342	1,402	95,720
s 0,3% nano 3	5,27	5,616	1,558	18,000	0,066	7,629	2,013	2,079	96,825
s 0,3% nano 4	5,10	5,175	1,394	18,000	0,081	6,745	1,570	1,651	95,094
s 0,3% nano 5	5,14	5,411	1,427	17,000	0,043	6,889	1,478	1,521	97,173
průměr	5,15	5,676	1,508	17,000	0,061	7,248	1,572	1,633	96,261
směr. odchylka	0,07	0,416	0,094	1,225	0,014	0,403	0,260	0,265	0,845

s 1% nano 1	4,32	4,565	1,482	12,000	0,104	6,209	1,644	1,748	94,050
s 1% nano 2	4,26	4,052	1,443	11,000	0,100	5,637	1,585	1,685	94,065
s 1% nano 3	4,25	3,953	1,513	10,000	0,082	5,665	1,712	1,794	95,429
s 1% nano 4	4,31	3,911	1,471	10,000	0,102	5,561	1,650	1,752	94,178
s 1% nano 5	4,19	4,023	1,432	10,000	0,087	5,498	1,475	1,562	94,430
průměr	4,27	4,101	1,468	10,600	0,095	5,714	1,613	1,708	94,431
směr. odchylka	0,05	0,265	0,032	0,894	0,010	0,284	0,089	0,091	0,579

s mřížkou a nanomateriály									
vzorek	tloušťka [mm]	hmotnost filtru [g]	hmotnost absolutního filtru [g]	tlakový spád [Pa]	hmotnost nezachycených částic G1 [g]	hmotnost filtru + zachycených částic [g]	zachycené částice [g]	hmotnost přidávaných částic G2 [g]	efektivita [%]
slepý 1	8,75	10,002	1,790	30,000	0,032	10,875	0,873	0,905	96,464
slepý 2	8,80	10,203	1,761	30,000	0,033	11,112	0,909	0,942	96,497
slepý 3	8,70	10,605	1,556	38,000	0,022	11,019	0,414	0,436	94,954
slepý 4	8,88	9,715	1,502	28,000	0,021	10,740	1,025	1,046	97,992
slepý 5	9,06	9,899	1,417	33,000	0,020	10,674	0,775	0,795	97,484
průměr	8,84	10,085	1,605	31,800	0,026	10,884	0,799	0,825	96,678
směr. odchylka	0,14	0,340	0,163	3,899	0,006	0,184	0,233	0,235	1,165
s 0,1% nano 2	7,18	8,414	1,482	29,000	0,032	9,529	1,115	1,147	97,210
s 0,1% nano 3	7,02	8,498	1,391	27,000	0,030	9,540	1,042	1,072	97,201
s 0,1% nano 6	7,09	8,369	1,301	28,000	0,027	9,345	0,976	1,003	97,308
s 0,1% nano 12	7,26	8,432	1,528	28,000	0,038	9,454	1,022	1,060	96,415
s 0,1% nano 13	7,20	8,423	1,439	26,000	0,039	9,452	1,029	1,068	96,348
průměr	7,15	8,427	1,428	27,600	0,033	9,464	1,037	1,070	96,897
směr. odchylka	0,10	0,046	0,087	1,140	0,005	0,078	0,050	0,051	0,473

s 0,3% nano 1	7,59	8,878	1,536	30,000	0,031	9,934	1,056	1,087	97,148
s 0,3% nano 2	7,53	8,968	1,433	31,000	0,042	9,705	0,737	0,779	94,608
s 0,3% nano 3	7,56	9,153	1,400	30,000	0,021	9,955	0,802	0,823	97,448
s 0,3% nano 4	7,48	8,661	1,252	29,000	0,037	9,553	0,892	0,929	96,017
s 0,3% nano 5	7,48	9,204	1,418	30,000	0,026	10,185	0,981	1,007	97,418
průměr	7,53	8,973	1,408	30,000	0,031	9,866	0,894	0,925	96,528
směr. odchylka	0,05	0,219	0,102	0,707	0,008	0,244	0,129	0,127	1,222
s 1% nano 1	7,78	9,795	1,554	37,000	0,010	10,222	0,427	0,437	97,667
s 1% nano 2	7,79	9,576	1,548	32,000	0,030	10,528	0,952	0,982	96,945
s 1% nano 3	7,51	9,745	1,566	34,000	0,027	10,432	0,687	0,714	96,218
s 1% nano 4	7,63	9,886	1,589	36,000	0,021	10,373	0,487	0,508	95,866
s 1% nano 5	7,80	9,405	1,611	36,000	0,021	10,119	0,714	0,735	97,143
průměr	7,70	9,681	1,574	35,000	0,022	10,335	0,653	0,675	96,768
směr. odchylka	0,13	0,191	0,026	2,000	0,008	0,164	0,208	0,214	0,724

Tab. 2: Naměřené hodnoty filtru a statistické vyhodnocení

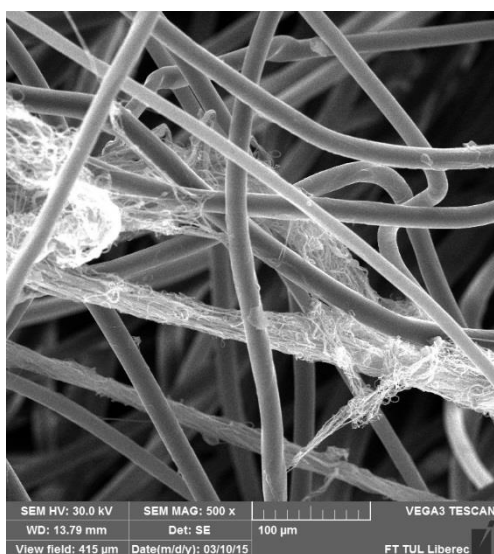
Z tab. 2 naměřených hodnot je zřejmé, že zde přidání nanovláken do filtru nemá vliv na výslednou efektivitu filtrace. Je to pravděpodobně příčina špatného rozmístění nanovláken, které nastalo díky mechanickému namáhání nanovláken a po průchodu mykacím a vpichovacím strojem se vytvořily shluky. Tato příčina může být také způsobená špatnou volbou polymeru.

Při filtraci stavebního prachu je zapotřebí efektivita kolem 97%, což je v tomto případě vyhovující. Při zajištění potřebného více čistého prostředí, jako je například ve zdravotnictví či v potravinářství, tento filtr není dostatečný a tudíž je nepoužitelný. Jeho efektivita je pro tyto oblasti příliš nízká.

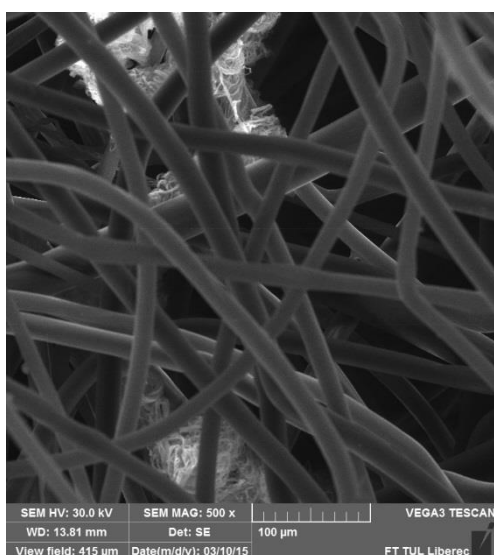
Elektronový mikroskop

Na závěr se vzorky sledovaly i pod elektronovým mikroskopem. Vzorky byly připraveny na destičku z lící i z rubové strany, pozlaceny a vloženy do mikroskopu. Snímky byly vytvořeny v různém zvětšení a také byla zkoumána přítomnost polyvinylbutyralových

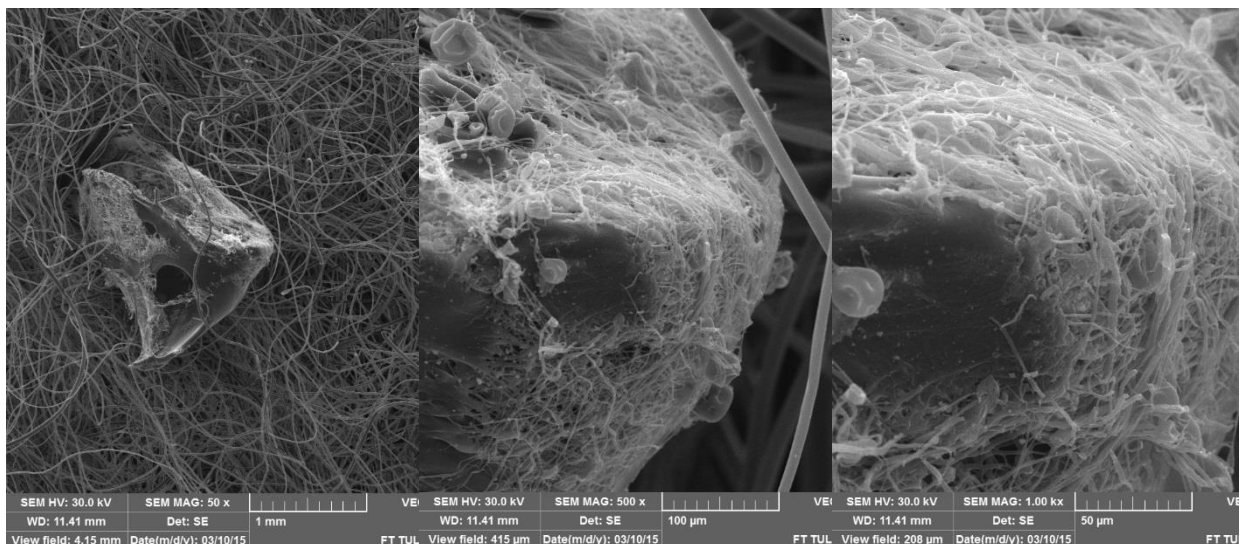
nanovláken. U filtru s mřížkou, nebyla nanovlákná patrná vůbec žádná, jelikož vrstva netkané textilie byla příliš tlustá (silná). Níže je znázorněno pár vytvořených SEM snímků, na kterých je patrné, že nanovlákná jsou nejen na povrchu, ale i uvnitř vlákenné vrstvy. Jedná se spíše o filtry bez použití mřížky. Na posledním obrázku je vidět filtr s použitím mřížky a s největším množstvím přidávaných nanovláken. Nanovlákná byla pravděpodobně vytažena napovrch pomocí vpichovací jehly. Při větším zvětšení je znatelný otvor, kde jehla pronikala. Další snímky se všemi vzorky jsou k nahlédnutí v příloze této závěrečné práce.



Obr. 23: SEM s 0,1% nanovláken bez použití mřížky, zvětšení 500, líc



Obr. 24: SEM s 0,3% nanovláken bez použití mřížky, zvětšení 500, líc



Obr. 25: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub

Obr. 26: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 500, rub

Obr. 27: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 1000, rub

5 ZÁVĚR

V této práci byla nanovláknna použita na základě jiných výzkumných prací, které potvrzovali, že dochází k zlepšení vlastností filtru. Zlepšení vlastností filtru bylo cílem této práce, jak již je zmíněno na začátku. Od použití i malého hmotnostního podílu nanovláken ve směsi s různými jemnostmi polypropylenu jsme si slibovali lepší účinnosti filtru.

Při výrobě byly použity mechanické technologie běžně používané pro výrobu netkaných textilií. Tyto technologie byly zvoleny díky dobré dostupnosti jak na univerzitě, tak i při případné realizaci v praxi. V našem případě se však nepodařilo zachovat rozptýlení nanovláken ve struktuře hrubších polypropylenových vláken. Naopak se vytvořily chuchvalce nebo-li již zmíněné tzv. „shluky“ nanovláken.

Při této práci se tedy nepovedlo potvrdit, že nanovláknna ve filtru zvýší jeho účinnost. Zvolené technologie a postupy nebyly zřejmě vhodné při použití nanovláken. Je také možné, že byl použit nevhodný polymerní roztok na výrobu nanovláken.

Předpokládaný důvod vzniku shluků

K dobrému promísení a pro vytvoření vlákenné vrstvy obsahující vlákna polypropylenu a nanovláknna polyvinylbutyralu byly použity mykací stroje. Působením pracovních ústrojí na vlákna docházelo k vytváření shluků nanovláken. Také následná technologie vpichování, svými jehlami s ostny vytvářela shluky nanovláken. Tento efekt s největší pravděpodobností nastal i při použití mřížky, kde byla původně nanovláknna rovnoměrně vrstvena.

Vzniklé shluky tak neumožnily očekávané zlepšení efektivity filtrace.

Pro lepší efektivitu filtrace by měla být vlákna lépe rozptýlena po prostoru filtru, aby se docílilo jejich správných a velmi žádoucích vlastností, kterými je například velký specifický měrný povrch a hlavně malý průměr pórů.

Pro zamezení vzniku chuchvalců (shluků), by mělo být použito méně mechanického namáhání nanovláken. Nanovláknna by mohla být například kladena mezi vrstvy vytvořené netkané textilie a zpevněna jinou vhodnou technologií. Při použití mechanických technologií by také měla být zvolena vlákna spíše méně lepivá, ale naopak při použití nanovláken mezi vrstvy vytvořené netkané textilie by tato vlastnost byla přínosem.

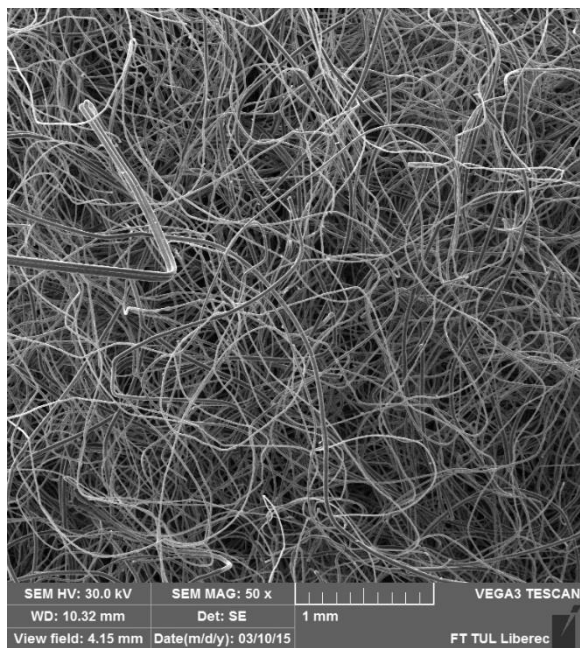
6 ZDROJE

- [1] Prof. RNDr. Oldřich JIRSÁK, CSc., Ing. Klára KALINOVÁ, Ph.D. - 2003, *Netkané textilie*, [cit. 2015-02-015] Liberec-TUL. ISBN 80-7083-746-2
- [2] Václav Mrština, Ing. František Fejgl, *Textilní technologie vpichování*. 1982, [cit. 2015-02-015], ISBN 04-828-82
- [3] Oldřich Jirsák and Larry C. Wadsworth, *Nonwoven textiles*, 1999 [cit. 2015-03-03]. ISBN 0-89089-978-8.
- [4] HRŮZA, Jakub. *Zlepšení filtračních vlastností vláknenných materiálů* [disertační práce], [online]. 2005 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <<http://jakub-hruza.webnode.cz/prednasky/filtrace-ostatni/>>
- [5] Klimair, *vzduchová filtrace* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.klimair.cz/pojmy_a_normy.html>
- [6] Texnetis, *polypropylen* [online]. [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <<http://www.texnetis.com/synteticke-textilni-materialy.htm>>
- [7] Plymovent, *typy vzduchových filtrů* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <<http://plymovent.cz/cs/filtrace-1084>>
- [8] Agro Rubín, *vlastnosti polypropylenových vláken* [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <<http://www.agrorubin.cz/pp-polypropylen/>>
- [9] Membránová filtrace Alfa Laval. [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/separace/filtrace/Documents/Membranova_filtrace_CS.pdf>
- [10] ProMinent, *membránová filtrace* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <<http://www.prominent.cz/Výrobky/Membránová-filtrace/Membránové-filtrační-systémy.aspx>>
- [11] Fibertex: *FIBERTEX NONWOVENS, Filtrace*. [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.fibertex.com/SiteCollectionDocuments/Business%20Areas/Filtration/A4_landscape_filtration_samplebook_CZ_112014_web.pdf>
- [12] Komunální technika, *prachové částice v ovzduší* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <<http://komunalweb.cz/analyza-prachovych-castic-v-ovzdusi-v-obcich/>>
- [13] Pevné částice in wikipedia. [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pevn%C3%A9_%C4%8D%C3%A1stice>
- [15] HRŮZA, Jakub. *Textilie pro průmyslové aplikace: přednáška*. [online]. [cit. 2015-05-04] Liberec-TUL. Dostupné z: <<http://jakub-hruza.webnode.cz/prednasky/tpa/>>
- [16] Holoubek protect, *vlastnosti polypropylenů* [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <<http://www.technicke-plasty.eu/polypropylen-pp>>
- [17] Ewac s.r.o., *základní kritéria vzduchových filtrů* [online]. [cit. 2015-01-017]. Dostupné z: <<http://www.ewac.cz/vzduchove-filtry.html> >

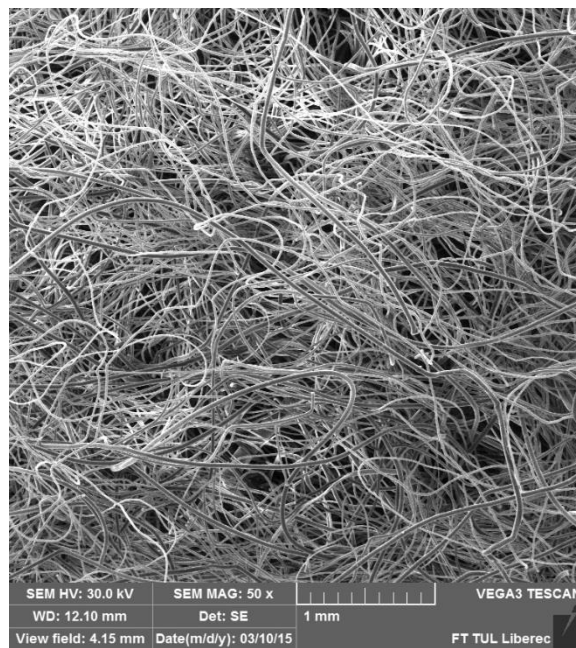
- [18] HRŮZA, Jakub. Textilie pro automobilový průmysl: přednáška. [online]. [cit. 2015-05-04] Liberec-TUL. Dostupné z: <<http://jakub-hruza.webnode.cz/prednasky/textilie-pro-automobilovy-prumysl-filtrace/>>
- [19] Laboratorní technika, *mechanismus filtrace* [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <<http://lat.zshk.cz/vyuka/filtrace.aspx>>
- [20] Handbook of Nonwoven Filter Media, Elsevier, 2007. ISBN 978-1-85617-441-1.
- [21] *HEPA filtry*, [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <<http://www.provysavace.cz/clanky/co-je-to-hepa-filtr/>>
- [22] *HEPA filtry*, [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <<http://blog.prospotrebice.cz/co-je-to-hepa-filtr/>>
- [23] Košťáková Eva, *Textilní nanovláknenné materiály*, přednáška. [online]. [cit. 2015-05-03] Liberec-TUL. Dostupné z: <<https://nanoed.tul.cz>>
- [24] Butvar, *Polyvinyl butyral* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <<http://www.butvar.com/en/home.aspx>>
- [25] Filter, *mechanismus vzduchové filtrace* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <<http://1filter.cz/cz/uzitecne-informace/filtrace/mechanismy-filtrace.html>>
- [26] P. Pokorný, E. Košťáková, F. Sanetník, P. Mikeš, J. Chvojka, T. Kalous, M. Bílek, K. Pejchar, J. Valtera and D. Lukáš, Effective AC needleless and collectorless electrospinning for yarn production, view journal 2014 [cit. 2015-05-03] Liberec-TUL. DOI: 10.1039/c4cp04346d.

Příloha

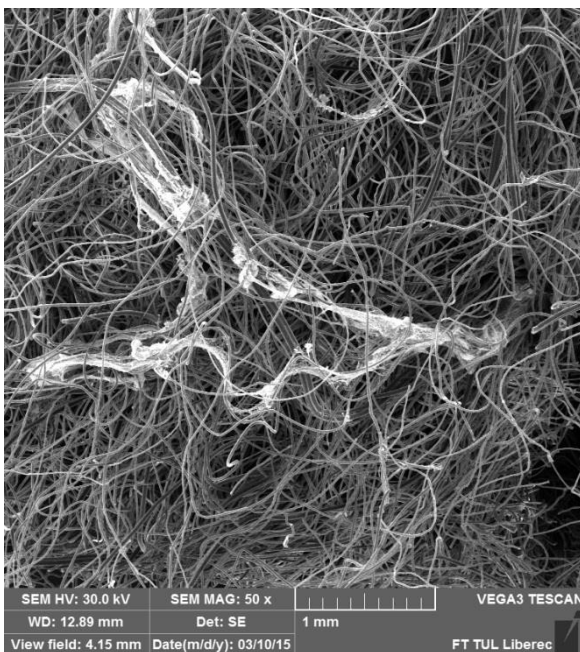
Obrázek 1: SEM s 0,1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, líc.....	70
Obrázek 2: SEM s 0,1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub	70
Obrázek 3: SEM s 0,1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, líc.....	70
Obrázek 4: SEM s 0,1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, rub	70
Obrázek 5: SEM s 0,3% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, líc.....	71
Obrázek 6: SEM s 0,3% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub	71
Obrázek 7: SEM s 0,3% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, líc.....	71
Obrázek 8: SEM s 0,3% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, rub	71
Obrázek 9: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, líc.....	72
Obrázek 10: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub	72
Obrázek 11: SEM s 1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, líc.....	72
Obrázek 12: SEM s 1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, rub	72



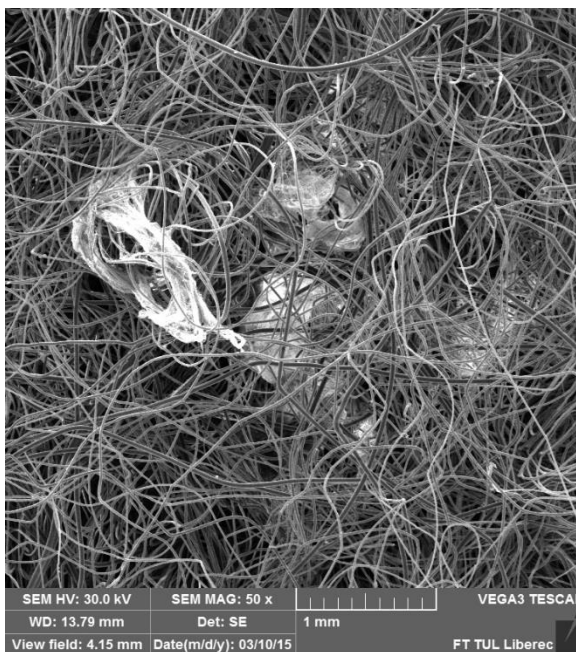
Obrázek 1: SEM s 0,1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, líc



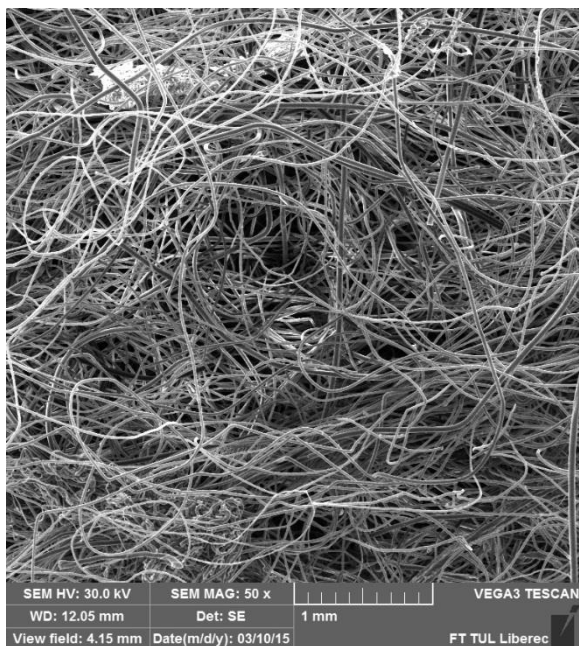
Obrázek 2: SEM s 0,1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub



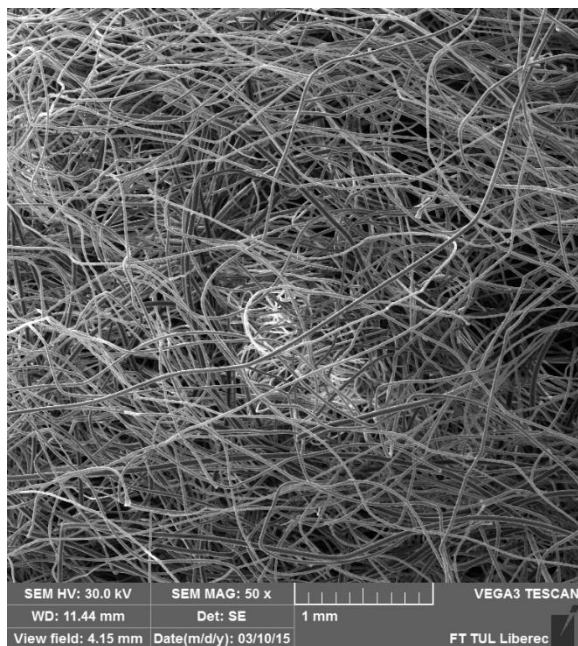
Obrázek 3: SEM s 0,1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, líc



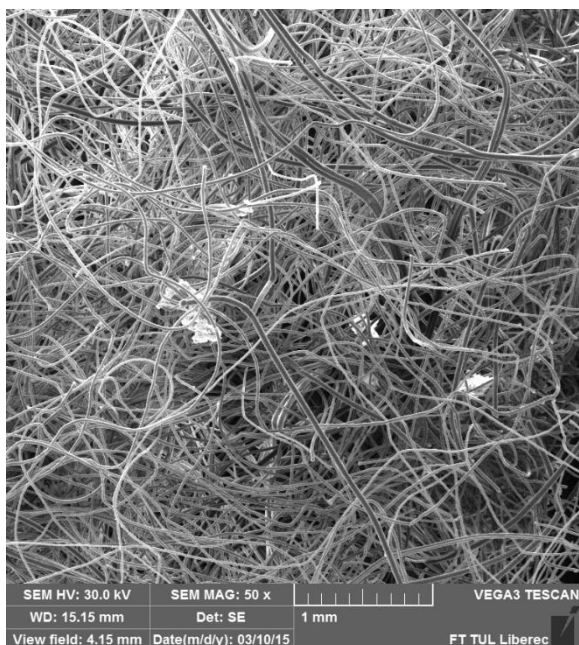
Obrázek 4: SEM s 0,1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, rub



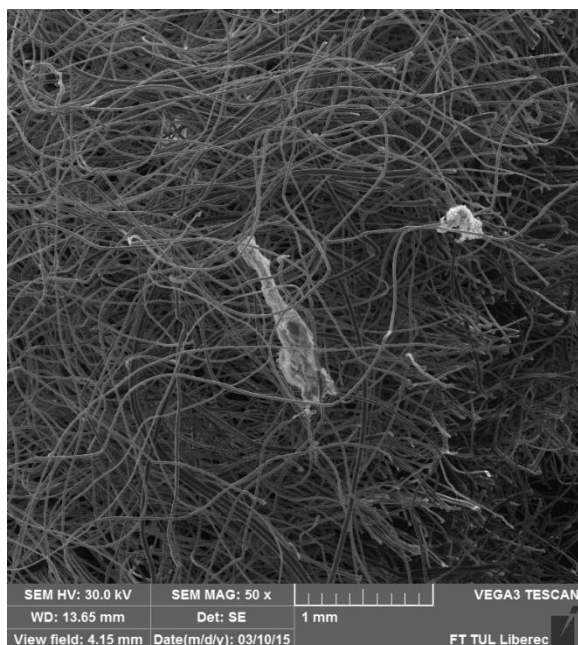
Obrázek 5: SEM s 0,3% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, líc



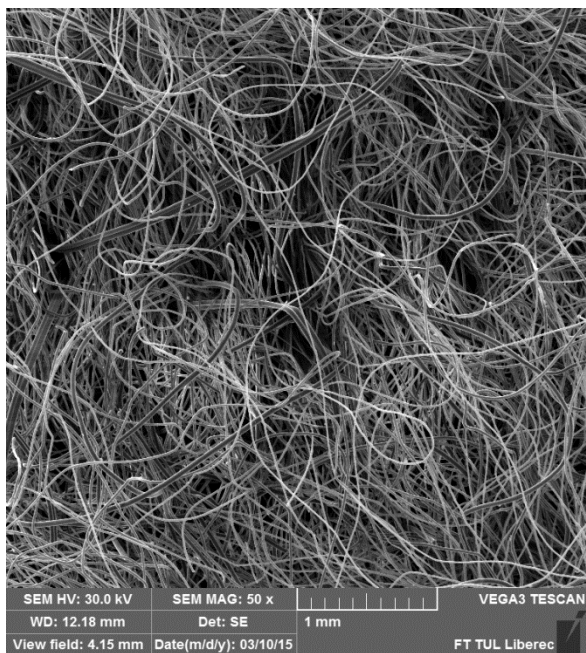
Obrázek 6: SEM s 0,3% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub



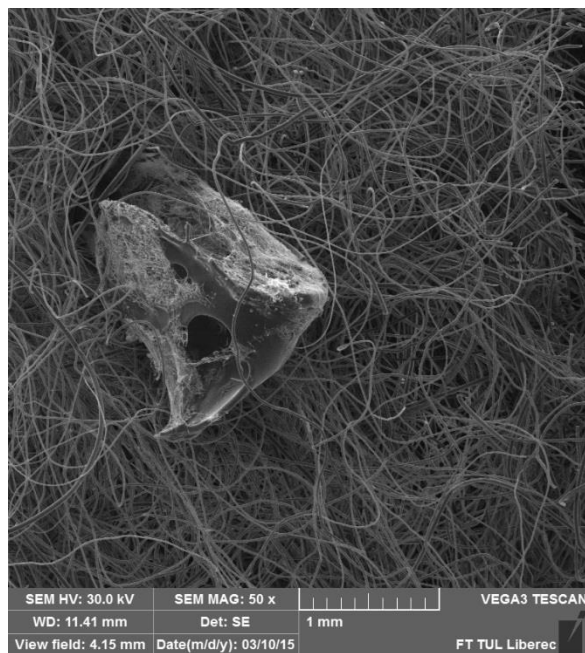
Obrázek 7: SEM s 0,3% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, líc



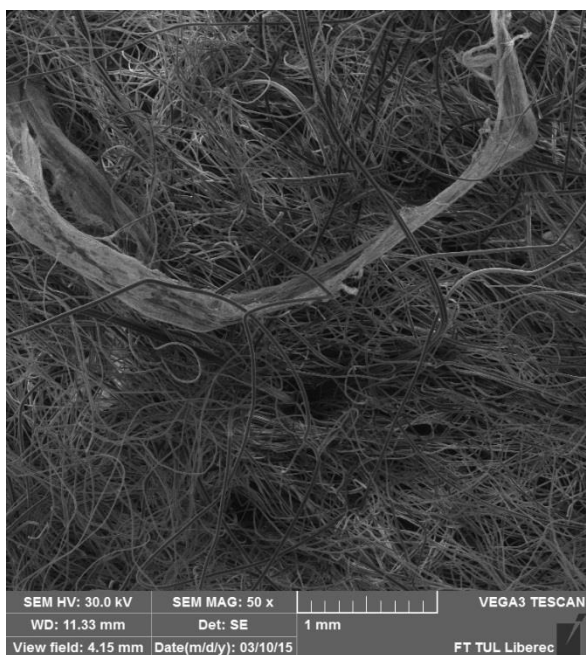
Obrázek 8: SEM s 0,3% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, rub



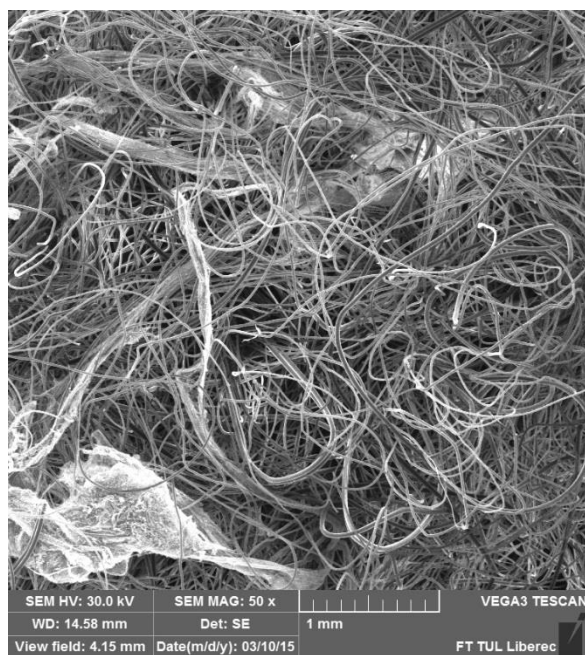
Obrázek 9: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, líc



Obrázek 10: SEM s 1% nanovláken s mřížkou, zvětšení 50, rub



Obrázek 11: SEM s 1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, líc



Obrázek 12: SEM s 1% nanovláken bez mřížky, zvětšení 50, rub