



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



Zvýšení účinnosti objemného částicového vzduchového filtru

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil

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

Autor práce: **Lucie Michetschlägerová**

Vedoucí práce: Ing. Jakub Hruža, Ph.D.

Liberec 2015



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie Michetschlägerová**
Osobní číslo: **T12000271**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**
Název tématu: **Zvýšení účinnosti objemného částicového vzduchového filtru**
Zadávací 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. Seznamte se s technologií přípravy objemného vlákenného filtru Firon vyráběného firmou Netex a.s. Zaměřte se na možnosti doplnění této technologie o laminaci s další textilií.
2. Prostudujte technologie výroby netkaných textilií použitelných pro filtraci vzduchu s vyšší účinností. Zaměřte se zejména na technologie spunlace a meltblown.
3. Připravte vzorky objemného filtru Firon laminované vrstvami typu spunlace, nebo meltblown různých parametrů.
4. Pro získané vzorky změřte filtrační účinnost, tlakový spád a jejich změnu v čase.
5. Vyhodnoťte výsledky a navrhnete optimální kombinaci parametrů vedoucí ke zvýšení filtrační účinnosti objemného filtru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

1. Brown, R. C. : Air filtration, Sheffield UK, 1993
2. Jirsák, O., Kalinová, K.: Netkané textilie, Technická Univerzita v Liberci, Liberec 2003

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jakub Hruza, Ph.D.

Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

10. března 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

8. ledna 2016



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. března 2015

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: 8. leden 2016

Podpis: Michalová Lucie

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu této bakalářské práce, Ing. Jakubu Hrůzovi, Ph.D., za odborný dohled, cenné rady a za vstřícnost a ochotu, s níž se mi během zpracování této bakalářské práce věnoval.

Poděkování patří také vedení firmy Netex za poskytnutí vzorků filtračních materiálů a zodpovězení všech mých dotazů.

Děkuji rovněž mé rodině, která mě v průběhu celého studia podporovala a vedla správným směrem.

ANOTACE

Řešená odborná bakalářská práce se zabývá studii objemného částicového vzduchového filtru Firon od firmy Netex s.r.o. Cílem práce je ověření zlepšení filtračních vlastností objemného filtru buď pomocí zvýšení počtu vrstev stávajícího materiálu (zvětšení tloušťky filtru), nebo laminací stávajícího materiálu s jinými filtračními vrstvami. Laminace byla prováděna s vrstvami typu Spunlace, případně Spunbond meltblown spunbond (SMS). Ověření je realizováno pomocí dvou typů zkoušek vycházejících z norem určených pro vzduchové filtry, konkrétně zkouškou syntetickým prachem podle normy EN 779 a zkouškou aerosolem NaCl podle normy EN 143. Sledován je vliv výše uvedených úprav na filtrační účinnost, tlakový spád a životnost filtru.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Filtr, Firon, filtrace, laminace, Spunlace, Meltblown, filtrační zařízení, tlakový spád, účinnost, efektivita

ANNOTATION

This professional bachelor's thesis deals with the study of bulky particulate air filter Firon from the company Netex. The aim of this work is to check the improvement in filtration properties of the bulky filter either by increasing the number of layers of the existing material (increasing thickness of the filter), or by laminating the existing material with other filter layers. Lamination was carried out with types of layers like Spunlace or spunbond meltblown spunbond (SMS). Verification is performed using two types of tests based on norms for air filters. It is a synthetic test dust according to EN 779 and NaCl aerosol test according to EN 143. We studied the effect of the above adjustments on filtration efficiency, pressure drop and filter life.

KEY WORDS:

Filter, Firon, filtration, lamination, Spunlace, Meltblown, filtration equipment, pressure drop, efficiency

OBSAH

ANOTACE	6
ANNOTATION	6
1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 Filtrace.....	11
2.1.1 Rozdělení filtrace.....	11
2.1.2 Typy filtrů.....	12
2.1.3 Parametry filtrace	13
2.1.4 Vlastnosti filtrace.....	15
2.1.5 Metody filtrace	17
2.1.6 Roztřídění filtrů dle evropské normy	18
2.2 Firma Netex s r.o.....	19
2.2.1 Rozdělení výroby.....	19
2.2.2 Filtr Firon.....	20
2.2.3 Použití filtru Firon	20
2.3 Laminace	21
2.3.1 Rozdělení laminace	21
2.3.2 Pojiva pro laminaci.....	21
2.3.3 Vlastnosti laminovaných textilií.....	24
2.4 Technologie Spunlace	24
2.4.1 Proces technologie Spunlace	24
2.4.2 Technologický postup výroby Spunlace	25
2.4.3 Vlastnosti textilií Spunlace.....	26
2.4.4 Použití textilií Spunlace.....	27
2.5 Technologie Meltblown	28
2.5.1 Proces technologie Meltblown	28

2.5.2 Technologický postup výroby Meltblown.....	29
2.5.3 Vlastnosti textilií Meltblown.....	30
2.5.4 Použití textilií Meltblown.....	31
3. PRAKTICKÁ ČÁST	32
3.1 Popis experimentu.....	32
3.2 Použité metody testování vzduchových filtrů.....	33
3.2.1 Testovací zařízení Dust Filter Tester 3.....	33
3.2.2 Testování na zařízení Dust Filter Tester 3.....	34
3.2.3 Testovací zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P.....	36
3.2.4 Testování na zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P.....	37
3.3 Použité vzorky.....	37
3.3.1 Získání vzorků filtru Firon pro testování.....	37
3.3.2 Popis jednotlivých komponent	38
3.3.3 Popis testovaných vzorků.....	38
3.4 Vyhodnocení výsledků.....	38
3.4.1. Testování syntetickým prachem	39
3.4.2. Testování aerosolem chloridu sodného	44
ZÁVĚR	46
POUŽITÁ LITERATURA	48
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	51
SEZNAM TABULEK	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

1. ÚVOD

Práce se zabývá vzduchovou filtrací a jejím cílem je ověřit zlepšení filtračních vlastností objemného filtru buď pomocí zvýšení počtu vrstev stávajícího materiálu (zvýšení tloušťky filtru), nebo laminací stávajícího materiálu s jinými filtračními vrstvami. Laminace byla prováděna s vrstvami typu Spunlace, nebo Spunbond meltblown spunbond (SMS). Hlavním přínosem laminace by mělo být zvýšení filtrační účinnosti dané vrstvou Meltblown nebo Spunlace umístěnou na odletové straně filtru, přičemž vláknenné vrstvy před touto vrstvou slouží jako předfiltr a zajišťují udržení dlouhé životnosti filtru.

Pro práci byly použity vzorky objemného částicového vzduchového filtru Firon firmy Netex s.r.o. Filtr je tvořen objemnými vrstvami polypropylenových vláken spojených chemicky. Současná technologie výroby umožňuje připravovat textilii z jedné až osmi vrstev. Předností filtru Firon je dlouhá životnost, ale nedostatkem je jeho malá počáteční účinnost. Testování filtračních vlastností bylo provedeno v laboratořích Technické univerzity v Liberci. Ověření je realizováno pomocí dvou typů zkoušek vycházejících z norem určených pro vzduchové filtry. Jedná se o zkoušku syntetickým prachem podle normy EN 779 a zkoušku aerosolem NaCl podle normy EN 143. Sledován je vliv výše uvedených úprav na filtrační účinnost, tlakový spád a životnost filtru.

V teoretické části se tato bakalářská práce zabývá všeobecným popisem filtračního procesu, a to zejména jeho průběhem a následky. Spolu s používanými druhy filtrace zahrnuje také popis parametrů a vlastností. Dále bude v této části práce představen dodavatel zkušebních vzorků, děčínská firma Netex, a některé z jejích výrobků. Autorka následně popisuje testovaný vzorek filtru Firon, jeho možné uplatnění, a charakterizuje technologie laminace, Spunlace a Meltblown, které jsou vhodné pro výrobu netkaných textilií. Seznamuje s vlastnostmi a použitím těchto technologií a představuje výrobní proces pomocí jednoduchých schémat.

V praktické části budou charakterizovány dva druhy filtračních zařízení, pomocí nichž jsou zkušební vzorky testovány. Tato filtrační zařízení jsou krátce popsána a znázorněna schémata. V první zkoušce jde o metodu prostupu syntetického prachu skrze testovaný filtr. V této zkoušce testování probíhalo na třech vzorcích, každém s osmi vrstvami, a na dvou vzorcích, také s osmi vrstvami, ale doplněnými o vrstvu Spunlace či Spunbond meltblown spunbond. Ve druhé zkoušce prostupuje testovaným filtrem směs aerosolu. V tomto případě byly testovány dva vzorky z každé vrstvy (od jedné do osmi). Hodnoty získané z těchto měření jsou rozepsány do tabulek, znázorněny grafy a doplněny o obrázky zanešených testovaných filtrů.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Filtrace

Filtrace je obecně oddělování pevných látek od kapalin nebo plynů. Tohoto oddělování je možné dosáhnout různými technologickými postupy, nejčastěji pomocí filtrace, pomocí porézního média (vlákenný materiál, nebo granulový filtr) [1].

2.1.1 Rozdělení filtrace

Rozdělení procesu filtrace lze shrnout do tří základních skupin:

I. Podle druhu filtrované látky

- § kapalinová
- § plynná

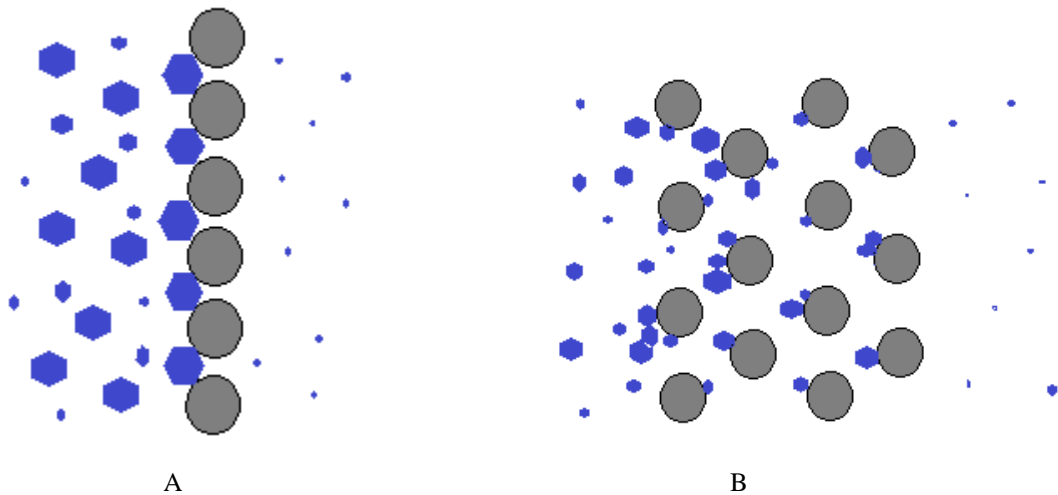
II. Podle požadavků kladených na filtr

- § makrofiltrace – zachycení částic od 1 μm
- § mikrofiltrace – zachycení částic od 0,1 μm
- § ultrafiltrace – zachycení částic od 0,01 μm
- § nanofiltrace – zachycení částic od 0,001 μm
- § hyperfiltrace – zachycení částic od 0,0001 μm

III. Podle velikosti filtrovaných částic

- § povrchová - zachytí všechny částice, které jsou větší než velikost pórů filtru na povrchu. V okamžiku filtrace pronikají dovnitř nebo skrze filtr jen částice o velikosti shodné s velikostí pórů a menší. Po ukončení životnosti filtru ho lze zbavit zachycených povrchových nečistot a opět jej použít, ovšem již je nutné počítat s jeho kratší životností (Obr. 1A).
- § hloubková - částice s větší velikostí než je velikost póru filtru se zachytí na povrchu, částice s menší velikostí než je velikost póru se zachytí uvnitř filtru. Postupným zanášením dojde k úplnému znehodnocení filtru,

které je nevratné, tzn., že filtr musí být nahrazen novým (Obr. 1B) [2].



Obr. 1 - rozdělení filtrace. A - povrchová filtrace, B - hloubková filtrace, převzato a upraveno dle [2]

V této práci je řešena filtrace hloubková.

2.1.2 Typy filtrů

Typy filtrů jsou obecně děleny do dvou základních skupin:

I. Podle typu filtrace

- § povrchová - velikost částic je větší než velikost pórů filtru
- § hloubková - částice s větší velikostí než je velikost póru filtru se zachytí na povrchu, částice s velikostí menší než je velikost póru se zachytí uvnitř filtru.

II. Podle tvaru filtru

- § plochý - využívá se jako filtr do kávovarů (Obr. 2A)
- § skládaný - nejpoužívanější filtr, široké spektrum použití. Nejčastěji se využívá v automobilovém průmyslu pro vzduchovou a olejovou filtraci, dále bývá používán do čističek vod bazénů, za zmínku také stojí využití skládaného filtru ve vzduchotechnickém rozvodu nových domů. (Obr. 2B)
- § svíčkový - pro svůj typický tvar se svíčkový filtr využívá hlavně v systémech rozvodů vody ve firmách i v domácnostech (Obr. 2C). Hitem dnešní doby se

staly filtrační lahve, které jsou díky svíčkovému filtru schopné přefiltrovat danou tekutinu (Obr. 2D).

§ kapsový - tento filtr se používá především ve vysavačích a jako vzduchový filtr u průmyslových strojů nebo klimatizačních jednotek (Obr. 2E)

§ hadicový - vkládá se mezi hadici a trysku za účelem odstranění nečistot (Obr. 2F)
[2]



Obr. 2 - typy filtrů. A - plochý filtr [3], B - skládaný filtr [4], C - svíčkový filtr [5], D - filtrační lahev [6], E - kapsový filtr [7], F - hadicový filtr [8]

2.1.3 Parametry filtrace

Parametry filtrace mohou být různé. Změnou jednotlivých parametrů filtru jsme schopni ovlivňovat filtrační vlastnosti. Parametry filtrace dělíme do tří základních skupin:

I. Parametry filtračního materiálu - hotového výrobku:

- § objemová hmotnost - poměr hmotnosti materiálu k určenému objemu včetně mezer, pórů, dutin
- § plošná hmotnost - hmotnost materiálu na jednotku plochy [9]
- § tloušťka filtru - vzdálenost mezi lícem a rubem v kolmém směru materiálu.
K měření tloušťky filtru se používají tloušťkoměry [8]. Tloušťku filtru lze měnit přidáním nebo odebráním vrstev.
Z teorie filtrace [1] vyplývá, že nárůst tloušťky zpočátku vede k vyšší účinnosti, poté ale její růst stagnuje.
- § plocha filtru - velikost plochy filtru lze zvětšovat nebo zmenšovat, a tím ovlivnit tlakový spád podle požadavků
- § stejnoměrnost - stejnoměrné uspořádání jednotlivých vláken v materiálu filtru je velmi důležité. Tohoto stavu ovšem není jednoduché docílit. V různých místech materiálu mohou být nahodile uspořádána vlákna s menší či větší velikostí pórů, čímž může docházet k nestejnoměrnému zachycování částic.
- § elektrická vodivost - schopnost materiálu vést elektrický proud
- § odolnost vůči negativním vlivům - schopnost materiálu odolávat vnějšímu nepříznivému působení
- § parametry vláken - průměr a tvar průřezu jsou hlavní parametry, které specifikují velikost povrchu vlákna. Čím větší je povrch vlákna, tím vyšší je šance, že se na povrchu vlákna zachytí filtrované částice. K nejčastějším typům průřezů vláken patří průřez kruhový, laločnatý, obloučkovitý, dutý.
- § orientace vláken v prostoru a jejich vzájemné propletení má vliv na udržení částic po jejich zachycení. Vlákna jsou v materiálu orientována příčně, kolmo, podélně nebo náhodně.

V této práci je řešen vliv následujících parametrů na filtraci: tloušťka filtru (vrstvení) a kombinace zvýšené hustoty, jemnějších vláken a vyšší homogenity vrstev (laminace s jinými materiály).

II. Parametry filtrovaných částic - nečistoty v nepřefiltrované tekutině:

- § objemová hmotnost - poměr hmotnosti částic k určenému objemu
- § koncentrace částic - filtrační vlastnosti výrazně ovlivňuje množství částic ve vzduchu nebo v kapalině, které se zachytávají na vláknech

- § tvar částic - tvar filtrovaných částic není přesně definovaný, jelikož každá částice má svůj specifický tvar (lépe jsou zachytávány složitější tvary částic)
- § elektrické vlastnosti - využití elektrostatického náboje, v němž se zachytí filtrované částice

III. Parametry procesu filtrace - děje, při kterých dochází k samotné filtraci:

- § rychlost náletu částic na filtr - hodnota rychlosti částice zachycené na filtru; vyšší filtrační rychlost je vhodná pro větší filtrované částice a menší filtrační rychlost pro menší filtrované částice.
- § viskozita filtrované kapaliny - na proces filtrace má vliv i viskozita filtrované kapaliny, tedy odpor kapaliny proti tečení [10]. Viskozita má větší význam při filtraci kapalin než při filtraci plynů.
- § teplota - materiál filtru musí být schopný odolávat pracovní teplotě filtrované látky. Teplota souvisí také se změnou viskozity filtrované látky.
- § vlhkost - je definována jako množství vody v plynném stavu, které obsahuje dané množství vzduchu. [11] Vlhkost má velký vliv na stálost náboje na povrchu vlákna [2, 12].

2.1.4 Vlastnosti filtrace

Hlavní, níže uvedené vlastnosti se v průběhu filtrování neustále mění, a to z důvodu zaplnění pórů mezi vlákny částicemi. Tento proměnlivý stav jsem si osobně ověřila při testování vzorků do praktické části této bakalářské práce. V průběhu testování byla postupná proměna vlastností jasně patrná.

I. Efektivita

Efektivita je definována jako poměr částic za filtrem a celkového množství filtrovaných částic dle následujícího vztahu:

$$E = (1 - G_1/G_2) * 100 [\%]$$

G_1 - množství proniknutých částic, které nebyly zachyceny

G_2 - celkové množství částic

V průběhu procesu filtrace dochází k mírnému nárůstu efektivity za zvětšování plochy filtru vlivem postupného nabývání částic na povrchu filtru. Výsledky růstu efektivity lze sledovat v praktické části této bakalářské práce v bodě 3.

II. Tlakový spád

Definice tlakového spádu je vyjádřena odporem filtru proti toku vzduchu nebo kapaliny skrze filtr následujícím vztahem:

$$\Delta p = P_1 - P_2 [\text{Pa}]$$

P_1 - tlak před filtrem

P_2 - tlak za filtrem

V průběhu procesu filtrace tlakový spád vzrůstá (viz bod 3). Hodnota tlakového spádu filtru bývá určována ještě na nepoužitém filtru.

III. Životnost filtru

Životnost filtru je charakterizována jako doba, po kterou je filtr schopen plnit svou funkci. Dle životnosti dělíme filtry na jednorázové a filtry určené na více použití. Jednorázové filtry na jedno použití plní svojí funkci do zanesení. Filtry na více použití se po zanesení vyčistí a použijí se opakovaně.

IV. Jímavost

Jímavost je ukazatelem množství nečistot, které filtr zachytí až do okamžiku zadaného tlakového spádu. Jímavost se počítá dle níže uvedené rovnice:

$$J = E_s \times m$$

E_s - střední hodnota efektivity

m - množství nečistot

V. Odolnost proti vnějším vlivům

Vnější účinky působící na filtry mohou být různého typu:

- § mechanické - k mechanickému poškození filtru dochází v případě použití jiného, než k danému procesu určeného filtru, čímž může dojít k jeho protržení
- § chemické - k chemickému poškození filtru může dojít při filtrování agresivní chemické látky, která poškodí povrch filtru
- § teplotní - filtrační proces může nepříznivě ovlivnit teplota filtrované kapaliny
- § kombinace - v průběhu procesu filtrace mohou nastat kombinace výše uvedených vlivů

VI. Prodyšnost

Prodyšnost je určována množstvím tekutiny, které projde skrz 1 dm² filtru za 1 minutu při tlakovém spádu obvykle 196 Pa. Rovnice pro výpočet prodyšnosti:

$$M_s = Q/A \text{ [l/dm}^2\text{/min]}$$

Q - tok vzduchu

A - plocha filtru

VII. Pórovitost

Pórovitost je charakterizována jako podíl objemu póru ve filtru a celkového objemu. Velikost póru se určuje střední nebo maximální hodnotou.

VIII. Odolnost vůči bakteriím

Filtr je schopný zachytit i bakterie na povrchu nebo uvnitř filtru. Tyto bakterie se mohou časem mnohonásobně rozmnožit a proniknout skrz filtr, což je nežádoucí pro budoucí použití filtru [2, 12, 13].

2.1.5 Metody filtrace

V průběhu praktických pokusů jsem testovala filtr Firon pomocí syntetického prachu s použitím dávkovače a pomocí aerosolu s chloridem sodným. Detaily práce jsou popsány v praktické části této bakalářské práce (viz bod 3).

V tabulce 1 je uveden seznam testovacích metod filtrace a jejich charakteristika

Metoda	Název normy	Testovací materiál	Průměr částic	Technika přípravy testovaného materiálu	Detektor proniknuvších částic
DOP test	ASTM ASME/ANSI IES MIL-STD UL	Di-oktyl ftalát (syntetický olej)	0.3 0.2-0.3 monod.	Vypařování, kondenzace	Spektrofotometr, penetrometr, optický počítač částic
Test syntetickým prachem	ANSI/AHAM	Prach z arizonských silnic	0.5 - 3	Aerosolový generátor	Aerodynamický třídič částic
	ASHRAE EN CAN	72 % jemný prach 23 % molocco černá 5 % bavlněná vlákna	-	Dávkovač prachu, injektor	Vážení
	ISO SAE	Testovací prach	2 - 125 10 - 40	Injektor	Vážení
Test atmosferickým prachem	ASHRAE EN CAN	Atmosferický aerosol	Cca. 0,3	Přímo ze vzduchu	Opacitometr (propustnost světla)
Test aerosolem NaCl	BS	Částice NaCl	0,02-2 medián 0,6	Rozprašení roztoku a vysušení	Spektrofotometr
Methylene Blue test	BS	Částice methylenové modři	-	Rozprašování vodního roztoku	Velikost skvrny

Tab. 1 - metody filtrace [2]

2.1.6 Roztřídění filtrů dle evropské normy

V praktické části bakalářské práce jsem vycházela z normy ČSN EN 779 – použila jsem třídu filtrace M5, M6 pro středně hrubý prach a třídu filtrace F7, F8, F9 pro jemný prach. Tabulka 2 znázorňuje rozdělení filtrů do skupin podle třídy filtrace dle EN 779.

EN 779		Střední stupeň odlučivosti (Am) syntetického prachu (%)	Střední stupeň účinnosti (Em) částic 0,4 μm (%)	Minimální účinnost (M.E. u částic 0,4 μm (%))
Skupina filtrů	Třída filtrace			
Hrubý prach	G1	50 < Am < 65	-	-
	G2	65 < Am < 80	-	-
	G3	80 < Am < 90	-	-
	G4	90 < Am	-	-
Středně hrubý prach	M5	-	40 < Em < 60	-
	M6	-	60 < Em < 80	-
Jemný prach	F7	-	80 < Em < 90	35
	F8	-	90 < Em < 95	55
	F9	-	95 < Em	70

Tab. 2 - Mezinárodní klasifikace vzduchových filtrů [14]

2.2 Firma Netex s r.o.

Děčínská firma Netex je jediným výrobcem vlněné plsti v České republice. Své výrobky dodává českým partnerům a zároveň exportuje výrobky také do zahraničí. Od roku 1958 se firma Netex zabývá výrobou netkaných textilií [15].

Na jaře v roce 2014 jsem společně s Ing. Jakubem Hružou navštívila tuto děčínskou firmu. Důvodem návštěvy byla moje žádost o poskytnutí vzorků filtračních materiálů k testování pro účely této bakalářské práce. Během návštěvy nám bylo umožněno nahlédnout do provozu firmy v doprovodu jednoho z technologů.

2.2.1 Rozdělení výroby

Mezi hlavní produkty firmy Netex patří plst' a netkaná textilie:

I. Plst' - vyrábí se zpracováním živočišných chlupů, působením mokra, zvýšené teploty a mechanického namáhání [16]

§ plstěná tabule - standardní rozměr 1 000 x 1 000 mm, případně možnost výseků; používá se jako výplňový, podkladový nebo tlumicí materiál

- § plstěné kotouče - vysekávají se z plstěných desek. Jsou využívány jako prostředek k leštění, broušení nebo čištění.
- § tvarové výrobky - jsou vyráběny například ve tvaru válečků, pásků, kuželů, podložek; používají se ve strojírenství, sklářství, šperkařství

II. Netkaná textilie - „je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojená třením, kohezí nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, vsíváním, proplétáním nebo plstěním“ [17].

- § tepelně pojená - pomocí horkovzdušné komory nebo vyhřívaných válců jsou na vláknennou vrstvu natavena jiná vlákna, mřížka, fólie nebo prášek
- § vpichovaná - „provazování vláknenné vrstvy svazky vláken vzniklými přorientací části vláken účinkem průniku jehel s ostny“ [18].
- § filtrační - výroba filtru Firon (viz bod 2.2.2) [15]

2.2.2 Filtr Firon

Filtr Firon je produktem firmy Netex a jako netkaná textilie slouží k filtračním účelům.

Materiál Firon se skládá z přesně daného množství slabých vrstev na sebe položených polyesterových vláken různých jemností. Těchto vrstev lze na sebe naskládat až osm. Vlákna jsou během výroby propojena pojivem.

Filtr Firon bývá využíván pro filtraci vzduchu nebo plynů od prachových zrn v teplotách od -50 °C do + 120 °C [15].

2.2.3 Použití filtru Firon

Filtrační tkanina Firon se díky své vysoké účinnosti používá k odstranění pevných částic z proudu vzduchu nebo plynu ve větracích a klimatizačních jednotkách. Využívá se tam, kde je zapotřebí čistý vzduch bez prašných příměsí, které jsou nežádoucí z důvodu vyššího pohodlí - větrání v dopravních prostředcích, garážích a obchodních domech, nebo za účelem eliminace možných škod - filtrace přívodu vzduchu do spalovacího motoru či elektromotoru. Filtry Firon od firmy Netex nacházejí rovněž uplatnění ve větracích a vytápěcích jednotkách průmyslových podniků, jako

vzduchové clony ve sportovních halách, dále v lakovacích a stříkacích zařízeních a digestořích [15].

2.3 Laminace

Laminace je technologie, která využívá spojení dvou a více vrstev textilního materiálu. Spoj je proveden podle způsobu nánosu pojiva:

- § v ploše - nanesené pojivo je rozloženo rovnoměrně na všech místech textilie
- § bodově - nanesené pojivo netvoří na textilii souvislou vrstvu
- § lineárně - nanesené pojivo je na textilii rozloženo pravidelně, v pruzích
- § vzorově - nanesené pojivo vytváří na textilii vzory pomocí vzorovacích válců [19]

2.3.1 Rozdělení laminace

Laminaci dělíme podle způsobu jejího provedení:

- § mokrá laminace - pojivo se nanáší na jednu nebo více vrstev
- § suchá laminace - pojivem může být termoplastická mřížka, fólie či vlákenná vrstva
- § tepelná laminace - spojení dvou nebo více vrstev působením tepla a tlaku
- § mechanická vazba - při tkaní dojde k propojení lehkých materiálů s tkanými textiliemi [19]

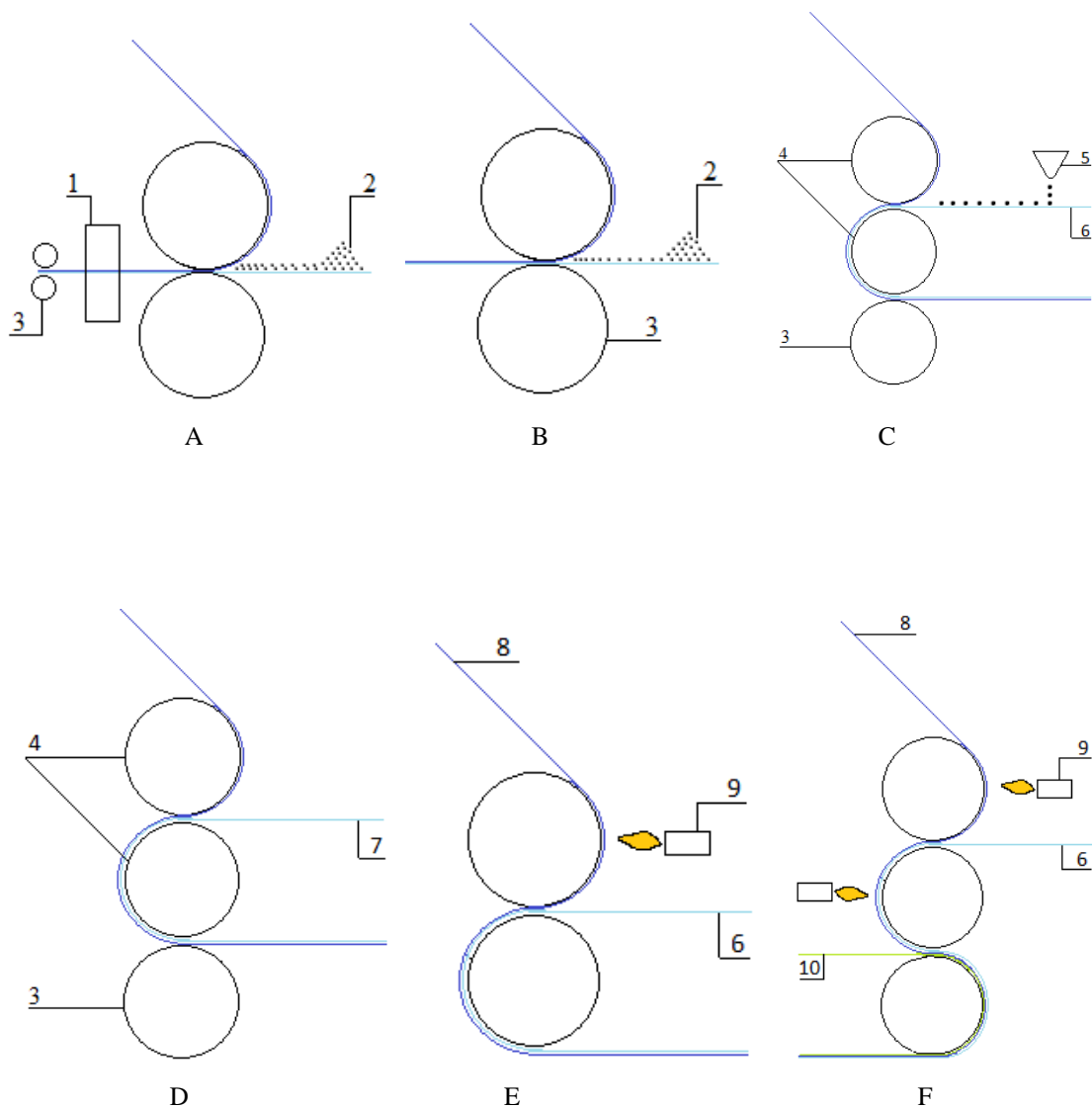
2.3.2 Pojiva pro laminaci

Aby mohla být laminace provedena, je rovněž zapotřebí pojiv, tedy materiálů, které se při zahřátí na určitou teplotu taví a za působení tlaku posléze přilnou k textilii. Podle druhu laminované textilie je zvolen daný druh pojiva:

- § kapalina - pasta -,vysoce koncentrovaná viskózní disperze pojiv“ [20]
 - disperze - směs látek, z nichž jedna je rozptýlena v druhé [21] .
 - Laminace disperzí je znázorněna na obrázku 3A.
 - roztok - směs látek, z nichž jedna je rozpouštěná látka a druhá rozpouštědlo
 - pěna - kapalina + plyn [10]
- § tavenina - hot melt technologie - nános taveniny v celé ploše, vytvoření spoje v krátkém čase [19]. Laminace hot meltem je znázorněna na obrázku 3B.
- § pevné pojivo - prášek - zrna, která jsou výsledkem mechanického drcení granulátu [19]. Laminace práškem je zobrazena na obrázku 3C.
 - mřížka - pojivý útvar, vytvořený z podélně a příčně kladených vláken. Výroba se provádí zvlákňovacími tryskami nebo prořezáváním fólií [14].
 - fólie - vyrábí se vytlačováním taveniny pomocí trysek ve tvaru mezikruží nebo kalandrováním [14]
 - Laminace pevným pojivem je znázorněna na obrázku 3D.

K tavení pojiva je možné použít níže uvedená zařízení:

- § kalandry - speciální válce, které proti sobě působí silou, která vyvolává tlak. Oba válce mohou být vyhřívané, případně je vyhříváný pouze jeden a druhý je chlazený.
- § lisy - zařízení, která za působení tlaku pomocí dvou vyhřívaných desek (mezi které se vloží textilie) nataví pojivo na textilii.
- § plamen - je usměřován hořákem, do kterého je přiveden plyn. Jednostranná a oboustranná laminace plamenem je znázorněna na obrázcích 3E a 3F [19].



Obr. 3 - laminace. A - laminace disperzí, B - laminace hot meltem, C - laminace práškem, D - laminace pojivým materiálem, E - laminace plamenem jednostranná, F - laminace plamenem oboustranná, vše převzato a upraveno dle [19]

- 1 - teplovzdušná komora
- 2 - postřik (disperze, roztok, tavenina)
- 3 - chladicí válec
- 4 - vyhřívané válce
- 5 - dávkování prášku

- 6 - vrchní materiál
- 7 - pojivý materiál (mřížka, fólie)
- 8 - materiál tavitelný na povrchu
- 9 - hořák
- 10 - spodní materiál

2.3.3 Vlastnosti laminovaných textilií

Vlastnosti charakterizující laminované textilie:

- § plný omak - omak se hodnotí zařazováním textilií do stupnice od „velmi špatný“ po „znamenitý“ nebo seříděním textilií od nejpříjemnějšího omaku po nejhorší [22]
- § dobrá izolační vlastnost - brání prostupu tepla do okolí
- § horší splývavost - splývavost se hodnotí podle záhybů, které vznikají při zavěšení v prostoru [19, 23]

2.4 Technologie Spunlace

Technologie Spunlace je metoda, při níž dochází ke zpevňování vlákněných vrstev pomocí paprsků vody. Tato technologie zpevňování vlákněných vrstev dosáhla masivního rozmachu koncem 20. století, kdy šlo po kvalitativní stránce o novinku v netkaných textiliích. Významnou předností technologie Spunlace je zpevňování vlákněných vrstev, které mohou být vyrobeny jakoukoliv technologií a z vláken různých typů [16].

2.4.1 Proces technologie Spunlace

- § příprava vlákněné suroviny - materiál je dodáván ve slisovaných balících. Pomocí rozvolňovacího stroje jsou vlákna rozvolněna a připravena na další zpracování.
- § příprava vlákněné vrstvy - rozvolněné chomáčky jsou pomocí válcového nebo mykacího stroje zpracovány na pavučinu.
- § provazování a vzorování účinkem paprsků vody - zpracování probíhá na stroji s technologií Spunlace
- § odstranění části vody - odstranění přebytku vody z vlákněné vrstvy pomocí ždímacích válců

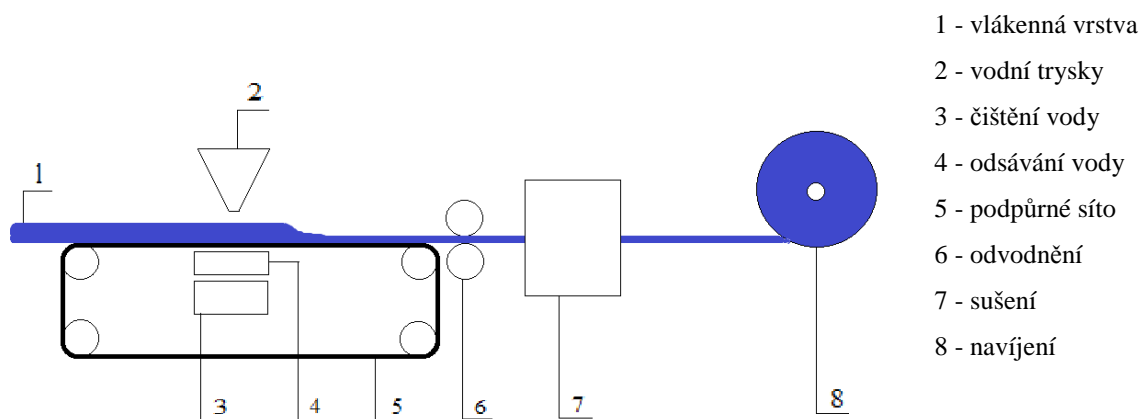
- § úprava technologické vody - před opětovným použitím se z vody musí odstranit veškeré nečistoty, které by měly za následek možné ucpání trysek
- § sušení - vlákenná vrstva se suší průchodem mezi teplovzdušnými bubny nebo skrze horkovzdušnou komoru
- § konečné úpravy - zlepší se vlastnosti hotové textilie [16]

2.4.2 Technologický postup výroby Spunlace

V technologiích Spunlace se využívá mechanického zpevňování rouna, kdy dojde k provázání jednotlivých vláken mezi sebou. Tento proces se uskutečňuje pomocí proudu vody, která je za vysokého tlaku vstřikovávána mezi jednotlivá vlákna. Do procesu technologie lze zařadit i následné odvodnění a sušení teplovzdušnými bubny.

Provázaná vlákna na sebe vzájemně působí třecí silou, čímž je zajištěna soudržnost textilie.

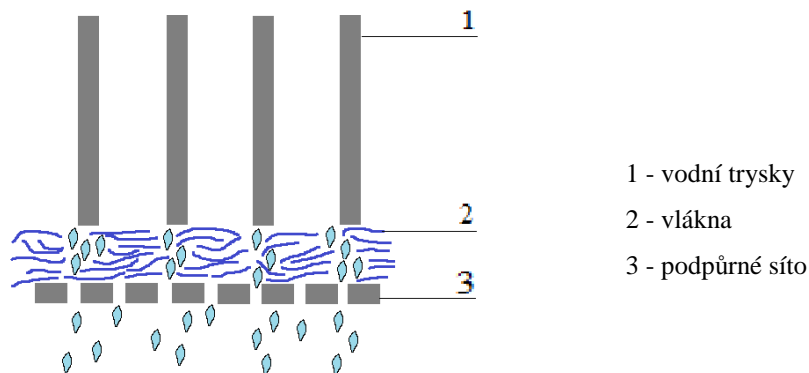
Technologie Spunlace je šetrná k životnímu prostředí, jelikož se při zpevňování vlákenné vrstvy nevyužívají žádné chemické přísady v podobě pojiv [15].



Obr. 4 - schéma stroje pro technologii Spunlace, převzato a upraveno dle [16]

Smočená vlákenná vrstva je přiváděna pomocí pásového dopravníku pod vodní trysky, ze kterých proudí tenké paprsky vody skrz vlákennou vrstvu a podpůrné síto. Voda strhává vlákna do rotačního pohybu a orientuje je do svislého směru. Z vody, která je odsávána z prostoru pod nosným sítem, jsou odstraněny nečistoty. Voda se poté

znovu použije. Následuje odvodnění z vlákenné vrstvy pomocí ždímacích válců, sušení teplovzdušnými bubny a navíjení [16].



Obr. 5 - zvětšené vodní trysky, převzato a upraveno dle [16]

- § vodní trysky - jsou tvarové otvory v nerezové desce, které zakončují rozvod vody.
- § podpůrné síto - podpírá vlákenný materiál a vytváří konečnou strukturu textilie. Nejčastěji je vyrobeno z bronzu nebo plastu ve formě síťového pásu nebo perforovaného bubnu.
- § systém odvodnění - odvádí vodu z povrchu podpůrného síta, tím se zabrání zaplavení vláken a zvyšuje se účinnost zaplétání.
- § vodní hospodářství - kvůli recyklaci vody se sleduje její čistota, voda musí být bez bublinek a bakterií. Sleduje se také pH vody, které musí být neutrální. Důležitá je i teplota vody, která snižuje tuhost vláken [16].

2.4.3 Vlastnosti textilií Spunlace

Charakteristické vlastnosti textilií Spunlace lze dělit z hlediska prospěšnosti do dvou hlavních kategorií:

I. výhody

- § vysoká pevnost - textilie jsou schopné odolat vyššímu zatížení
- § vysoká produktivita - 10 - 50 m/min

- § dobrá splývavost - splývavost je hodnocena podle záhybů, které vznikají při zavěšení v prostoru [23]
- § dobré mechanické vlastnosti - mechanické vlastnosti technologie Spunlace jsou v porovnání s technologií Meltblown lepší
- § dobrá prodyšnost - umožňuje v materiálu volnou cirkulaci vzduchu
- § dobré absorpční vlastnosti - prostoupení par do materiálu [24]
- § stejnoměrný povrch - stejnoměrné uspořádání jednotlivých vláken v materiálu
- § měkký omak - vlastnost důležitá především pro zákazníky
- § hygienická nezávadnost - bez chemických poživ, pouze z přírodních vláken

II. Nevýhody

- § velké investiční náklady - pořizovací náklady v řádech milionů korun
- § velká spotřeba energie - stroj v plném provozu je náročný na spotřebu energie [16]

2.4.4 Použití textilií Spunlace

Primární použití Spunlace textilií není pro filtrační materiály obvyklé, přesto jsem však zkusila, zda přidání této textilie k filtru Firon pozitivně ovlivní jeho filtrační účinnost (viz. bod 3.4). Běžné oblasti použití jsou následující:

I. zdravotnictví

Textilie vyrobené technologií Spunlace mají využití zejména ve zdravotnictví. V nemocnicích tyto textilie využívá personál jako jednorázové oblečení při operacích a jednorázové povlečení lůžek pacientů. K zakrytí ran slouží obvazové materiály, pro kosmetické účely se vyrábějí čisticí tampony. Technologie Spunlace je využívána taktéž při výrobě jednorázových dětských plenek, které musejí být pohodlné a zároveň plně funkční při absorpci tekutiny, a hygienických vlhčených ubrousků.

II. bytový textil

S textiliemi Spunlace se lze setkat také v každodenním životě, slouží jako základ výroby ubrusů, záclon, utěrek, prostírání atd.

III. průmyslové textilie

V odvětví průmyslové výroby nacházejí textilie zhotovené zpevněním vlákněných vrstev paprsky vody uplatnění ve filtrech a izolacích. Jako geotextilie slouží k separační funkci, zamezují promíchání rozdílných vrstev s odlišnými funkcemi, mezi nimiž jsou uloženy. Textilie Spunlace jsou dále využívány k filtraci - omezují vyplavování částic jedné syké vrstvy do jiné, k výrobě drenáží - odvádějí vodu z povrchu podloží, a umožňují tak odvádět vodu ze svého okolí. Mají také výztužnou funkci, přenášejí tahová napětí a zajišťují zvýšenou stabilitu stavebních děl na neúnosném podloží.

IV. oděvní průmysl

V oděvním průmyslu se z těchto textilií zhotovují například podšívky nebo nejjemnější krajky [15].

2.5 Technologie Meltblown

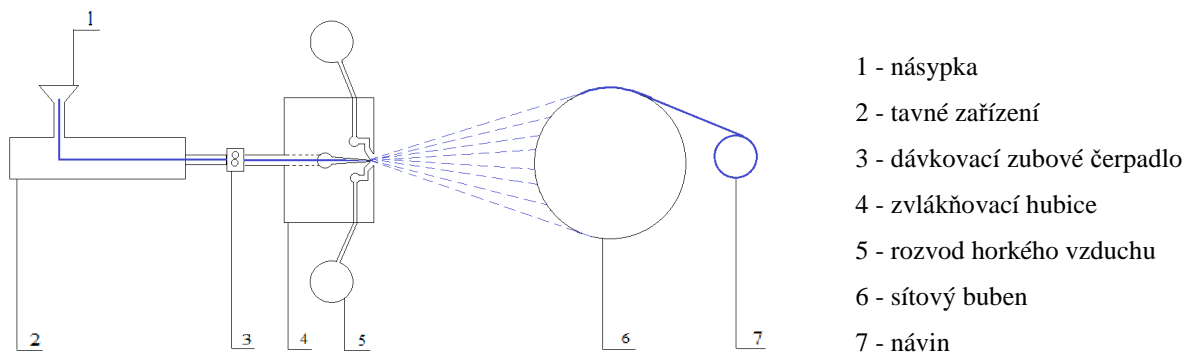
Název technologie Meltblown je odvozen z dvou hlavních procesů, ke kterým při ní dochází: melt = tavit, blown = foukat. V České republice byla uvedena první výrobní linka technologie Meltblown v roce 1992 firmou Ecotherm Mělník [25].

2.5.1 Proces technologie Meltblown

- § tavení polymeru a doprava taveniny k hubici - využívá se tavicího zařízení a dopravníku
- § formování vláken - provádí se pomocí zvláknovací hubice
- § strhávání taveniny proudem vzduchu, formování vláken a jejich chlazení - využívá se horkého a studeného vzduchu
- § formování vlákněné vrstvy na porézním sběrném bubnu nebo pásu - ukládání vláken
- § pojení - spojování vláken pomocí tepla a pojiva (například mřížka, fólie, prášek)
- § navíjení - hotová výstupní textile je navinuta na navíjecí buben nebo válec [25]

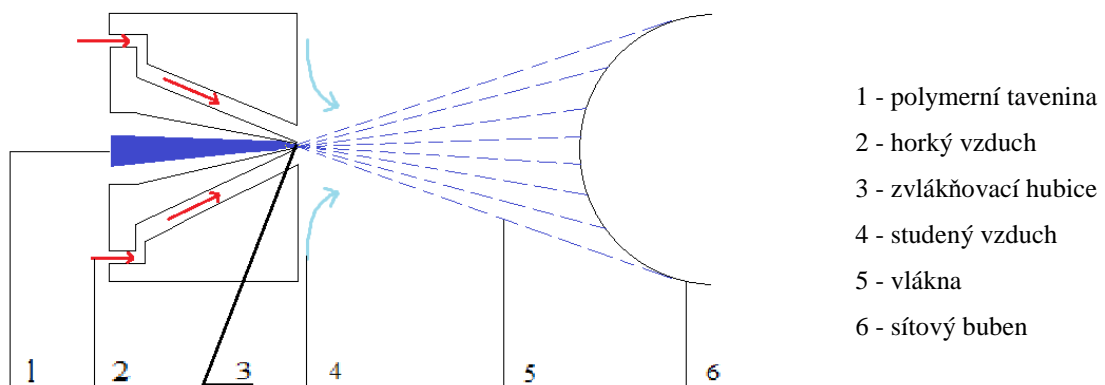
2.5.2 Technologický postup výroby Meltblown

Technologie Meltblown je metoda, při které dochází k tavení a rozfoukání polymeru. Nejpoužívanějšími polymery jsou polyamid, polyester, polyetylen nebo polypropylen. Pro textilie vyrobené technologií Meltblown se využívá metoda kalandrování k jejich zpevnění [25].



Obr. 6 - schéma stroje pro technologii Meltblown, převzato a upraveno dle [25]

Z násypky je polymer odváděn dopravníkem do tavného zařízení, kde dojde k roztavení polymeru. Následně je tavenina dopravena k hubici s mnoha zvlákňovacími otvory, kde je formována do vláken. Nejprve na vlákna působí horký vzduch, který je strhává. Následně na vlákna začne působit studený vzduch, čímž dochází k jejich dloužení. Následuje uspořádání vlákně vrstvy na sběrný buben nebo pás, pojení a návin [26].



Obr. 7 - zvětšená zvlákňovací tryska, převzato a upraveno dle [25]

2.5.3 Vlastnosti textilií Meltblown

K typickým vlastnostem textilií Meltblown patří níže uvedené pozitivní a negativní charakteristiky:

I. Výhody

- § vysoká jemnost - vysoká délková hmotnost je definována poměrem mezi hmotností a délkou [27]
- § snadná regulace objemové hmotnosti - zvětšování nebo zmenšování hmotnosti materiálu na určitý objem
- § dobré absorpční vlastnosti - textilie umožňuje prostoupení par do materiálu [24]

II. Nevýhody

- § velká spotřeba energie - stroj v plném provozu má velkou spotřebu energie
- § velká cena výrobku - velké pořizovací náklady stroje ovlivňují konečnou cenu výrobku
- § špatné mechanické vlastnosti - mechanické vlastnosti technologie Meltblown jsou v porovnání s technologií Spunlace horší
- § úzký výběr vhodných polymerů - používanými polymery pro technologii Meltblown jsou polyamid, polyester, polyetylen nebo polypropylen
- § nižší produkce - proces výroby není tak rychlý, je potřeba více času na výrobu [26]

2.5.4 Použití textilií Meltblown

Díky svým dobrým vlastnostem mají textilie Meltblown široké spektrum použití. Používají se jako filtrační materiál a textilní prachovky, kde se uplatňuje jeho vysoká jemnost, dále jako různé hygienické a ochranné pomůcky, jako jsou například roušky, masky a ochranné oděvy. Svoje využití nachází i u speciálních oděvů pro čisté prostory a čisticí utěrky [26].

Textilie Meltblown jsou díky svým vlastnostem vhodné k použití pro filtrační materiály, proto jedna z přidávaných vrstev k filtru Firon, byla právě tato textilie, ale s jinými parametry než se pro filtrační materiály běžně používá. Nápad spočívá v použití tenké vrstvy armované textilií Spunbond k vylepšení filtrační účinnosti filtru Firon, nikoliv jeho nahrazení (viz. bod 3.4). Tyto tenké vrstvy se standardně používají jako hygienické zboží.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části této bakalářské práce bude ověřeno zlepšení filtračních vlastností objemného filtru pomocí zvýšení počtu vrstev stávajícího materiálu (zvětšení tloušťky filtru), případně laminací stávajícího materiálu s jinými filtračními vrstvami. Simulace laminace byla prováděna s vrstvami typu Spunlace, nebo Spunbond meltblown spunbond (SMS). Hlavním přínosem laminace by mělo být zvýšení filtrační účinnosti dané vrstvami Meltblown nebo Spunlace, umístěnými na odletové straně filtru, přičemž vlákenné vrstvy před těmito vrstvami slouží jako předfiltr, a zajišťují udržení dlouhé životnosti filtru.

V praktické části budou taktéž testovány vzorky objemného částicového vzduchového filtru Firon od děčínské firmy Netex, diskutovány metody vzduchové filtrace a získané výsledky.

3.1 Popis experimentu

Cílem experimentu je ověření zlepšení filtračních vlastností objemného filtru buď pomocí zvýšení počtu vrstev stávajícího materiálu (zvýšení tloušťky filtru), nebo laminací stávajícího materiálu s jinými filtračními vrstvami. Simulovaná laminace byla prováděna s vrstvami typu Spunlace, nebo Spunbond meltblown spunbond (SMS). Jelikož není předpokládán výrazný vliv pojení, nebyly vrstvy navzájem pojeny, ale pouze přiloženy. Hlavním přínosem laminace by mělo být zvýšení filtrační účinnosti dané vrstvou Meltblown, nebo Spunlace, umístěnou na odletové straně filtru, přičemž vlákenné vrstvy před touto vrstvou slouží jako předfiltr, a zajišťují udržení dlouhé životnosti filtru.

Pro výzkum byly použity vzorky objemného částicového vzduchového filtru Firon firmy Netex. Filtr je tvořen objemnými vrstvami polypropylenových vláken pojených chemicky. Současná technologie výroby umožňuje připravovat textilii z jedné až osmi vrstev. Předností filtru Firon je dlouhá životnost, ale nedostatkem malá počáteční účinnost.

Parametry laminovaných textilií (především plošná hmotnost) byly nastaveny na základě předchozích zkušeností tak, aby nedošlo k výraznému růstu tlakového spádu

a daná vrstva byla dostatečně kompaktní. Pro vrstvu Meltblown je plošná hmotnost do 10 g/m² a pro vrstvu Spunbond mezi 20 a 50 g/m².

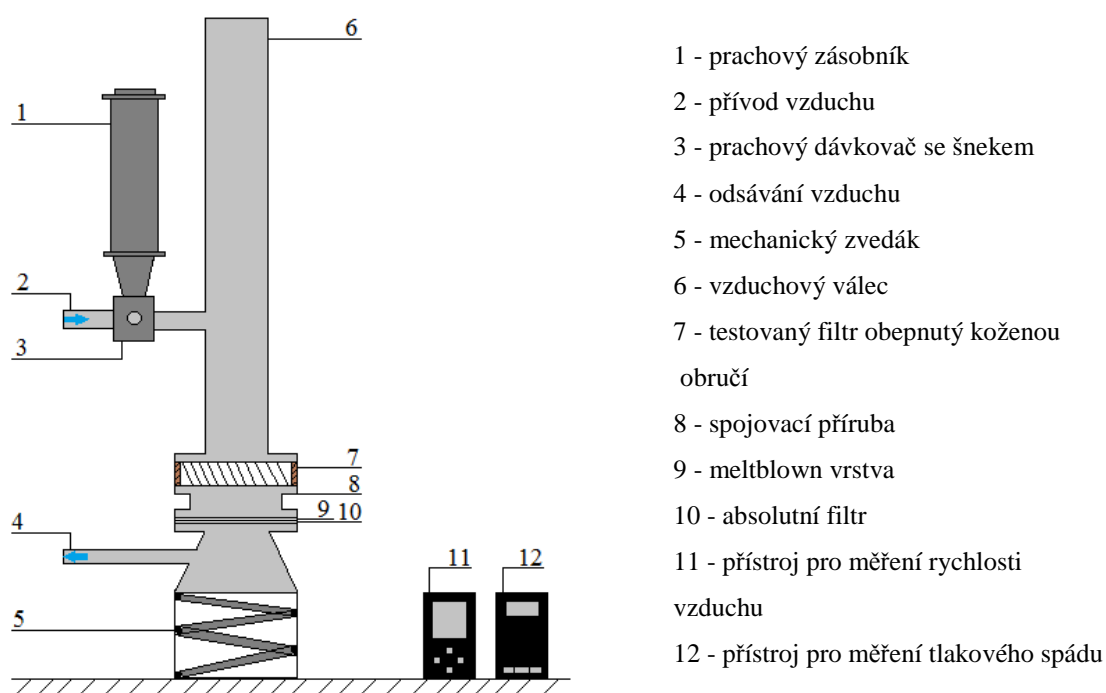
K testování vzorků objemného filtru Firon byly použity dva druhy laboratorních testovacích zařízení. Prvním testovacím zařízením byl Dust Filter Tester 3, který slouží k měření atmosférických filtrů pomocí syntetického prachu (dle normy EN 779, viz bod 3.2.1). Jedno měření na tomto zařízení trvalo přibližně tři až pět hodin. Zařízení Dust Filter Tester 3 je provozováno v laboratořích Oddělení nanotechnologie a informatiky Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. Druhé testovací zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P je určeno pro vysoce účinné respirátorové filtry, které měří pomocí chloridu sodného dle normy EN 143 (viz bod 3.2.3). Zařízení je provozováno Katedrou netkaných textilií a nanovláknenných materiálů Fakulty textilní.

3.2 Použité metody testování vzduchových filtrů

3.2.1 Testovací zařízení Dust Filter Tester 3

Toto zařízení využívá k testování částice syntetického prachu o velikosti 1 - 80 µm, které jsou opakovaně vnášeny do proudu vzduchu o rychlosti 0,6 - 1,5 m/sec., který prochází skrze testovaný filtr.

Při měření se za testovaný filtr Firon uloží absolutní filtr, který zachycuje částice syntetického prachu prošlé testovaným filtrem. Zvážením obou filtrů jsou zjištěny částice prošlé a lze takto určit také zachycené množství prachu. Vážení filtrů se provádí do té doby, než tlakový spád dosáhne stanovené hodnoty, která je pro hrubé filtry 250 Pa a pro středně hrubé a jemné filtry 450 Pa. Touto metodou testování se vyhodnocuje množství zachyceného syntetického prachu, tlakový spád, rychlost vzduchu pronikajícího filtrem, změna uvedených vlastností testovaného filtru v průběhu filtrace (viz 2.1.4) a celkové množství zachyceného prachu na konci testování.



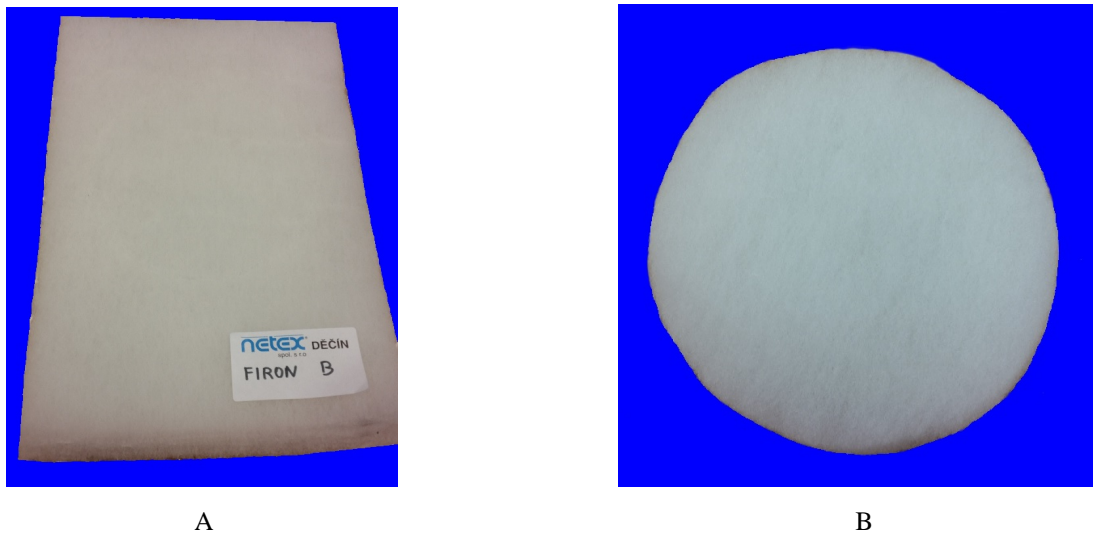
Obr. 8 - schéma zařízení Dust Filter Tester 3, převzato a upraveno dle [12]

3.2.2 Testování na zařízení Dust Filter Tester 3

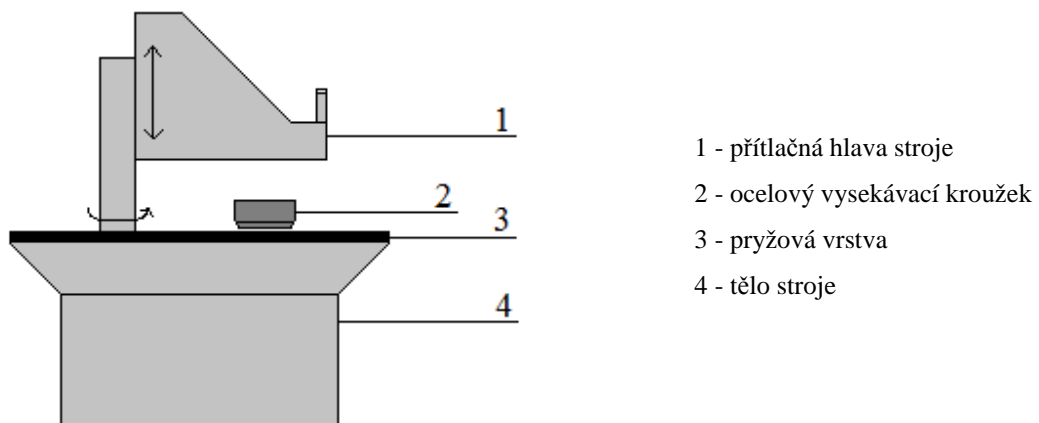
Od firmy Netex jsem získala vzorky filtru Firon ve formátu A4 (viz obr. 9A). Pro testování byly použity vzorky s osmi vrstvami, které byly upraveny pomocí vysekávacího stroje (viz obr. 10) tak, aby jejich průměr odpovídal průměru spojovací příruby testovacího zařízení (viz obr. 9B). Úpravou filtrů jsem získala 3 vzorky, které jsem postupně zvážila. Poté jsem připravila absolutní filtr a Meltblown vrstvu, které jsem opět společně zvážila. Zvážené dvě vrstvy jsem vložila mezi vzduchové odsávání a spojovací přírubu. Filtr Firon jsem umístila do kožené obruče, aby při stlačení nedošlo k jeho deformaci, a vsunula ho mezi spojovací přírubu a vzduchový válec. Mechanickým zvedákem jsem vrstvy utěsnila mezi přírubami tak, aby nenastal únik vzduchu, a zkontrolovala jsem, zda je v prachovém zásobníku dostatečné množství prachu. Nastavila jsem časový odpočet na 5 minut a spustila zařízení. Zaznamenala jsem počáteční tlakový spád a regulovala rychlost vzduchu, která musela být v rozmezí 1,3-1,5 m/s. Po uplynutí nastaveného času jsem opatrně vyndala filtr a zvážila ho s obsaženým množstvím prachu. Zvážila jsem taktéž absolutní filtr s Meltblown vrstvou a zapsala všechny hodnoty. Tento postup jsem opakovala až do dosažení tlakového

spádu 450 Pa. Vždy, když byla v průběhu měření Meltblown vrstva zanesena, musela být vyměněna za novou. Z tohoto důvodu jsem zaznamenávala jak hmotnost absolutního filtru se zanesenou Meltblown vrstvou, tak i hmotnost absolutního filtru s novou Meltblown vrstvou.

Stejný postup jsem opakovala se dvěma dalšími vzorky filtru Firon s osmi vrstvami.



Obr. 9 - filtr Firon. A - filtr Firon před úpravou, B - filtr Firon po úpravě, vlastní zpracování



Obr. 10 - schéma vysekávacího stroje, vlastní zpracování

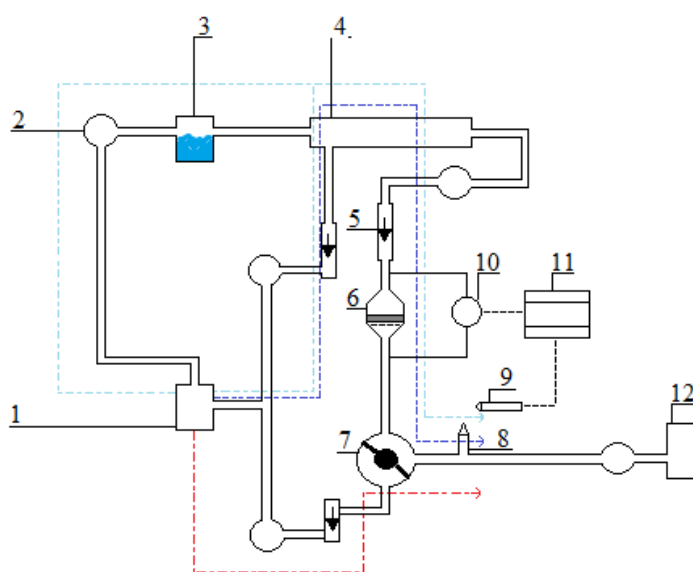
Pomocí vysekávacího stroje jsem upravila další dva vzorky filtru Firon s osmi vrstvami, které jsem testovala stejným způsobem jako vzorky předchozí, s tím rozdílem,

že k prvnímu testovanému filtru jsem přidala Spunlace vrstvu a k druhému testovanému filtru Spunbond meltblown spunbond vrstvu.

3.2.3 Testovací zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P

Toto zařízení využívá k testování aerosol, v tomto konkrétním případě směs chloridu sodného a vzduchu. Používá se pro filtry vyšších filtračních tříd k měření počáteční efektivity záchytu a tlakového spádu.

Roztok chloridu sodného o koncentraci 10 % je ve vypařovací trubici zbaven vody za vzniku částic soli o velikosti 0,02 až 2 mm. Vzniklé částice soli nalétávají na testovaný filtr rychlostí 5 m/min, současně je zaznamenán jeho tlakový spád. Množství vzduchu, které projde skrze testovaný filtr, je 50 l/min. Částice chloridu sodného, které proniknou přes filtr, obarví modrý plamen směsi vodíku a vzduchu v hořáku na plamen žlutý. Žlutá barva plamene je tím intenzivnější, čím více bude obsahovat těchto částic. Žlutou barvu plamene zaznamenává spektrofotometr, který na základě pohlcování světla v různých vlnových délkách vyhodnocuje napětí v milivoltech. Měřicí rozsah účinnosti je 1 - 99,99 %. Měřením je vyjádřena účinnost filtru a hodnota tlakového spádu.



- 1 - přívod stlačeného vzduchu
 - 2 - regulační ventil
 - 3 - rozprašovač
 - 4 - vypařovací trubice
 - 5 - průtokoměr
 - 6 - měřicí cela se vzorkem filtru
 - 7 - přepínací ventil
 - 8 - hořák
 - 9 - snímající spektrofotometr
 - 10 - měření tlakového spádu
 - 11 - počítač
 - 12 - lahev se stlačeným vodíkem
- Tmavě modrá barva - I. cesta
 Světle modrá barva - II. cesta
 Červená barva - III. cesta

Obr. 11 - schéma zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P, převzato a upraveno dle [12]

3.2.4 Testování na zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P

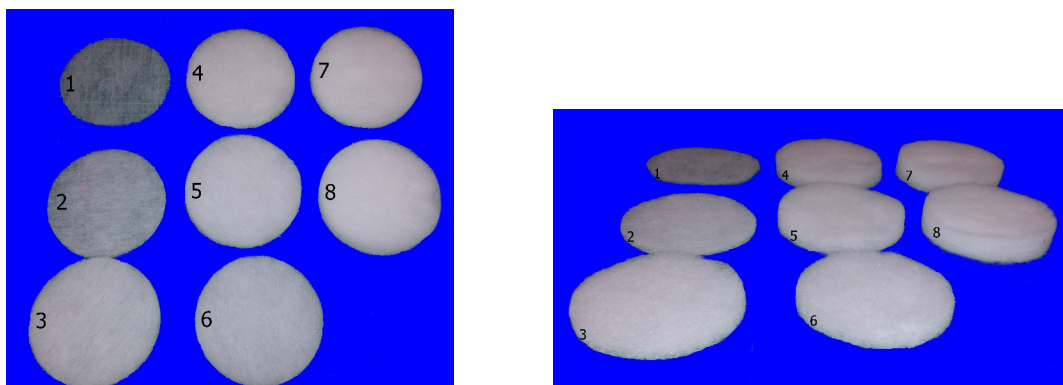
Pro toto testování jsem připravila vzorky filtru Firon z jedné až osmi vrstev. Na vysekávacím stroji jsem vysekla od každé vrstvy dva kusy o průměru shodném s průměrem příruby, mezi které jsem testované vzorky vkládala. Před samotným zahájením testování bylo nutné nastavit všechny potřebné parametry, zapálit plamen a vložit vzorek filtru obepnutý koženou obručí, shodující se s tloušťkou filtru, do testovací komory tak, aby nedošlo k deformaci vzorku a k úniku vzduchu. Poté již bylo možné zahájit testování, které trvalo cca pět minut. Po dosažení nastavených parametrů jsem zaznamenala hodnoty tlakového spádu a průniku částic, podle kterých jsem dopočítala účinnost v procentech. Testy jsem opakovala stejným způsobem na všech připravených vzorcích.

3.3 Použité vzorky

3.3.1 Získání vzorků filtru Firon pro testování

Na jaře v roce 2014 jsem společně s Ing. Jakubem Hrůzou navštívila děčínskou firmu Netex s.r.o., která nám poskytla k dispozici potřebný počet vzorků filtru Firon pro testování.

Filtr Firon se skládá z objemných vrstev polypropylenových vláken, která jsou pojena chemicky. V současnosti výroba umožňuje připravovat textilii z jedné až osmi vrstev. Předností filtru Firon je dlouhá životnost, nedostatkem je jeho nízká počáteční účinnost.



Obr. 12 - vzorky filtru Firon s jednou až osmi vrstvami, vlastní zpracování

3.3.2 Popis jednotlivých komponent

V průběhu testování byly použity následující materiály se specifickými parametry:

Objemný filtr Firon zhotovený z polypropylenových vláken technologií sestávající z mykání, příčného kladení a pojení, které umožňuje postupné vrstvení materiálu. Tloušťka osmivrstvého filtru je 34 mm a jeho plošná hmotnost 380 g/m^2 .

Spunlace vrstva byla vyrobena z polypropylenových vláken. Tloušťka vrstvy 0,5 mm, její plošná hmotnost 30 g/m^2 .

Spunbond meltblown spunbond vrstva byla vytvořena z polypropylenových vláken. Vrstvy Spunbond a Meltblown jsou spojeny a následně laminovány rastrovaným kalandrem. Vrstvy typu Spunbond slouží jako mechanická ochrana, aniž by měly vliv na filtrační vlastnosti. Tloušťka vrstvy byla 0,25 mm a její plošná hmotnost 15 g/m^2 (3 g/m^2 měla aktivní Meltblown vrstva a $2 \times 6 \text{ g/m}^2$ Spunlace vrstva).

3.3.3 Popis testovaných vzorků

V průběhu analýzy bylo otestováno celkem pět vzorků. Níže uvádím konkrétní použité vzorky:

Vzorek č. 1 - samotný filtr Firon

Vzorek č. 2 - samotný filtr Firon

Vzorek č. 3 - samotný filtr Firon

Vzorek č. 4 - samotný filtr Firon + Spunlace vrstva

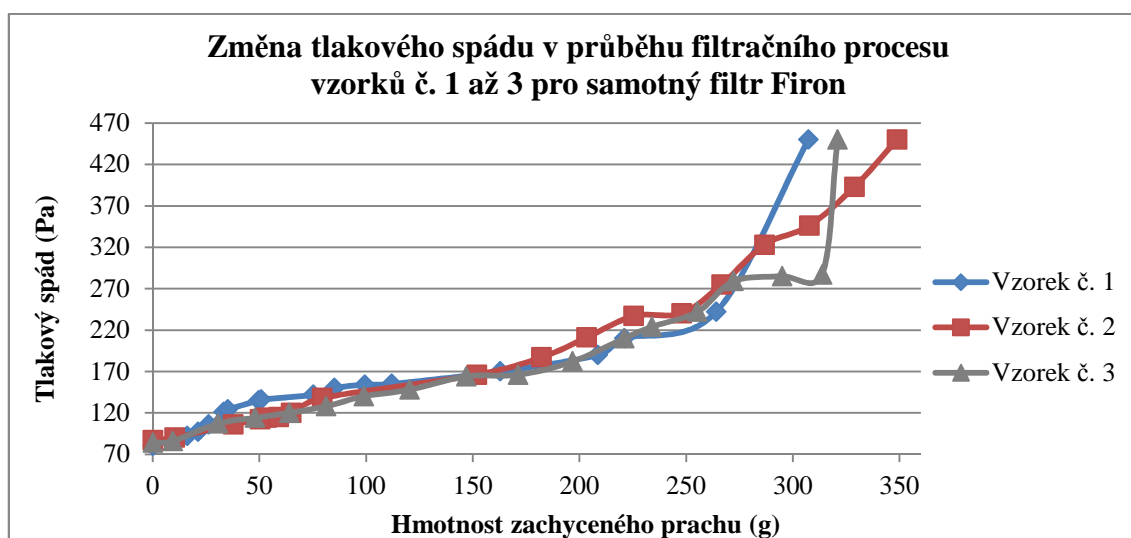
Vzorek č. 5 - samotný filtr Firon + Spunbond meltblown spunbond vrstva

3.4 Vyhodnocení výsledků

V této kapitole se zaměřuji na porovnání naměřených výsledků. Konkrétně vyhodnocuji filtrační vlastnosti - tlakový spád, efektivitu a jímavost objemného filtru Firon pomocí zvýšení počtu vrstev stávajícího materiálu (zvýšení tloušťky filtru), nebo laminací stávajícího materiálu s jinými filtračními vrstvami typu Spunlace nebo Spunbond meltblown spunbond. Výsledky z měření jednotlivých vzorků, sestavené grafy a fotografie znečištěných filtrů jsou znázorněny v přílohách na konci této práce.

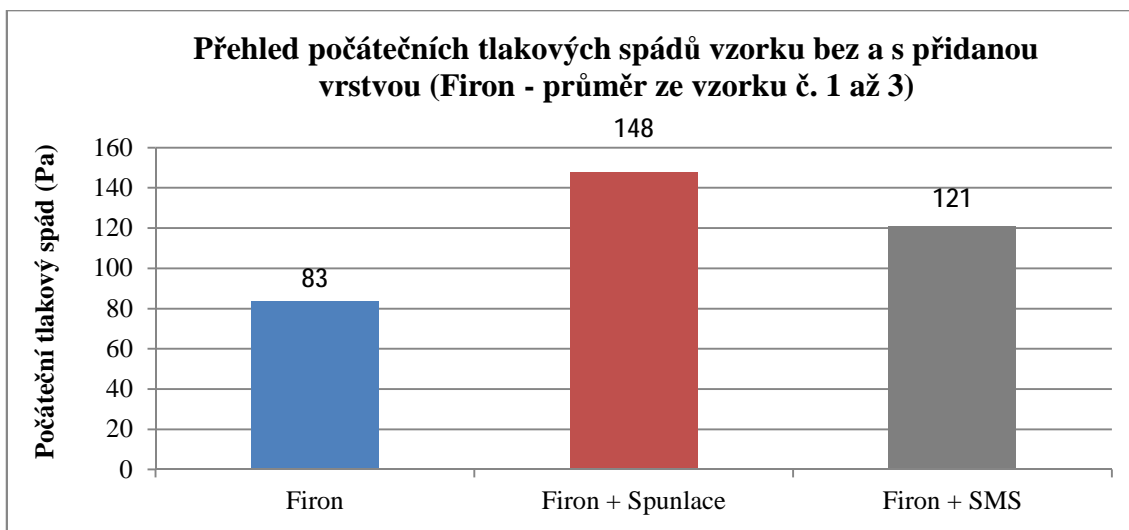
3.4.1. Testování syntetickým prachem

Na obrázku 13 je znázorněna změna tlakového spádu na množství podaného prachu pro tři stejné vzorky samotného neupraveného objemného filtru. Z grafu je patrné, že závislost tlakového spádu je v průběhu filtračního procesu na prvních třech vzorcích samotného filtru téměř totožná. Drobné odchylky má za následek ne vždy stejnoměrné dávkování prachových částic ze zásobníku v průběhu testování. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 1 až 3.



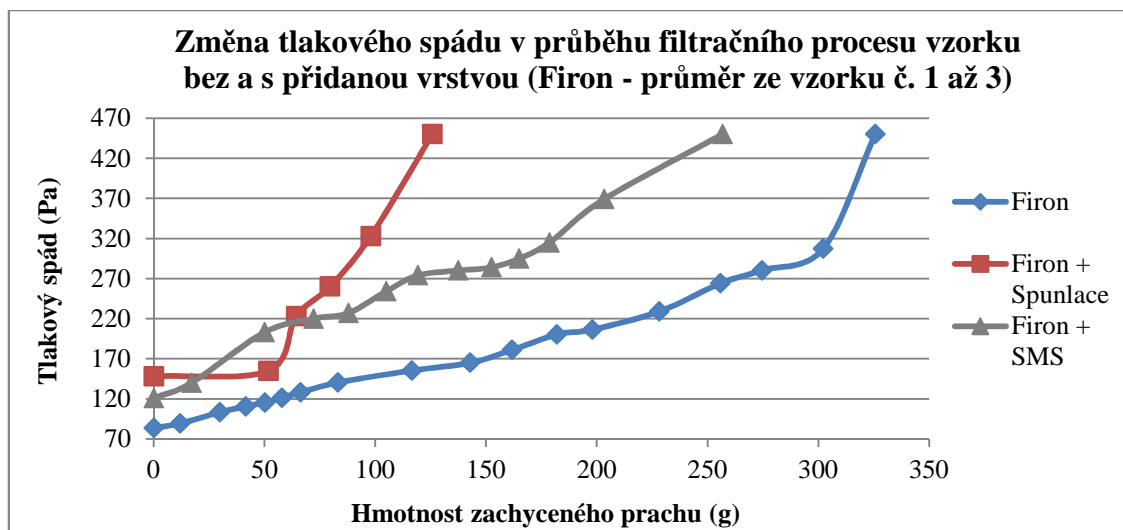
Obr. 13 - změna tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorků č. 1 až 3 pro samotný filtr Firon

Na obrázku 14 je znázorněno porovnání počátečního tlakového spádu samotného objemného filtru s filtry laminovanými. Jak je z tohoto obrázku zřejmé, největší počáteční tlakový spád má vzorek filtru Firon s přidanou Spunlace vrstvou. To znamená, že největší tlak vzduchu byl při zkoušce syntetickým prachem ve vzduchovém válci před filtrem Firon s přidanou Spunlace vrstvou díky tomu, že Spunlace vrstva má největší odpor proti toku vzduchu z důvodu těsnějšího vzájemného provázání vláken. Zvýšení tlakového spádu přidáním další vrstvy bylo předpokládáno. Jedná se o navýšení 44,62 % pro Firon + SMS a o 76,89 % pro Firon + Spunlace. V dané kategorii filtrů je to akceptovatelné, nicméně patrné zhoršení. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 4, 6 a 7.



Obr. 14 - přehled počátečních tlakových spádů vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3)

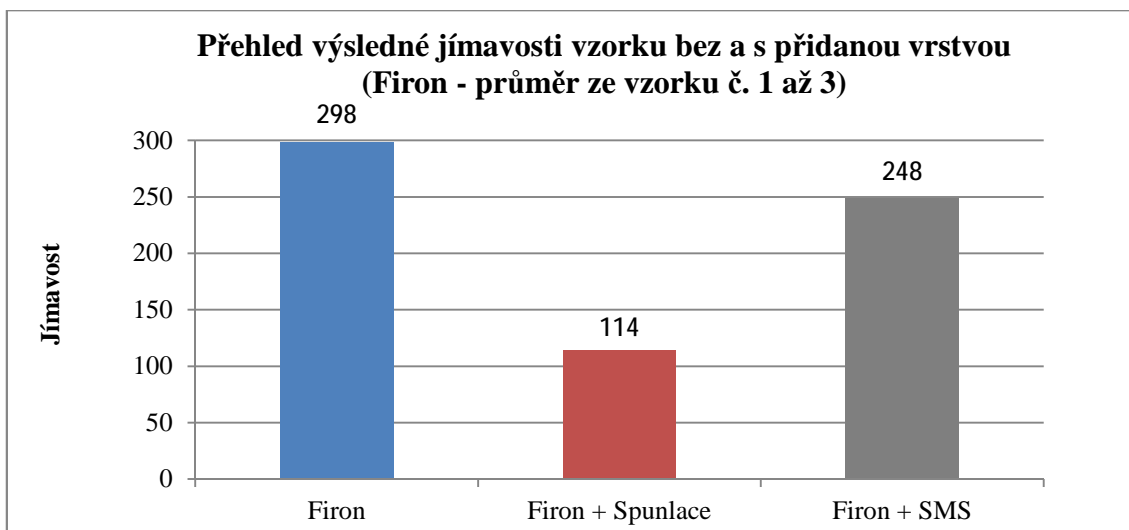
V následujícím grafu (viz obr. 15) je patrné porovnání změn tlakových spádů v průběhu filtrace. Z křivky filtru Firon s přidanou Spunlace vrstvou je zřejmé, že již malé množství prachu má za následek rychlé zvýšení tlakového spádu, protože vrstva Spunlace je tvořena hustější strukturou než zbylé dva vzorky. Z tohoto důvodu bylo při použití tohoto vzorku dosaženo tlakového spádu rychleji (konečného tlakového spádu 450 Pa bylo dosaženo již při 125 g nadávkovaného prachu). Z křivky znázorňující filtr Firon s přidanou Spunbond meltblown spunbond vrstvou lze odvodit, že k dosažení konečného tlakového spádu bylo zapotřebí nadávkovat přibližně dvojnásobné množství prachu, tedy 256 g. Křivka samotného filtru Firon znázorňuje po celou dobu testu téměř lineární průběh, výraznější změna nastala až při množství 302 g nadávkovaného prachu, kdy tlakový spád prudce vzrostl na konečnou hodnotu. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 4, 6 a 7.



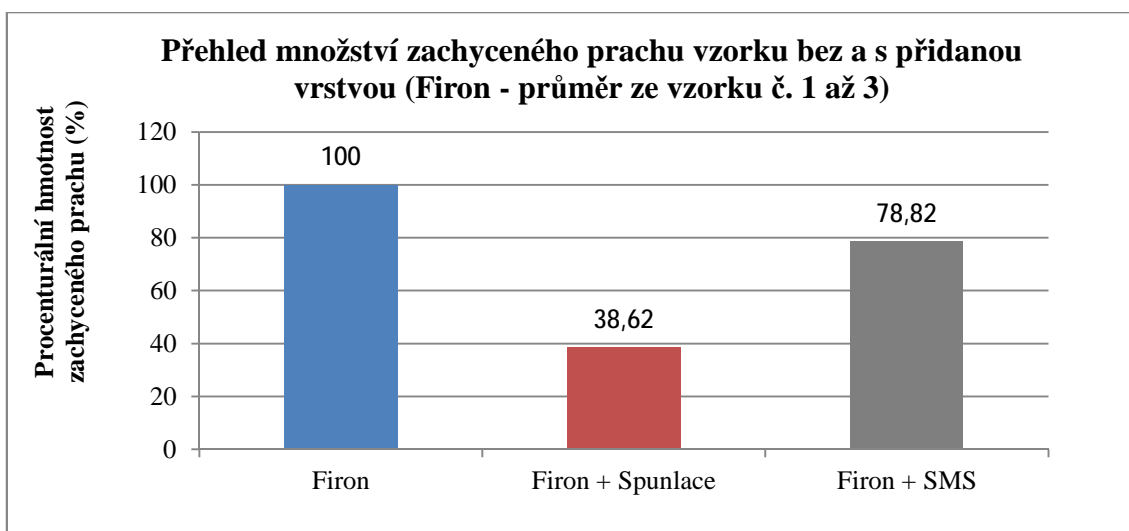
Obr. 15 - změna tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon průměr ze vzorku č. 1 až 3)

Na obrázku 16 je znázorněn graf zachyceného množství prachu do okamžiku dosažení finálního tlakového spádu 450 Pa. Tato hodnota nazývaná jímavost vyjadřuje životnost filtru. Z přehledu vyplývá, že hodnota jímavosti pro samotný filtr Firon je 298, pro filtr Firon s přidanou Spunlace vrstvou 114 a pro filtr Firon s přidanou vrstvou Spunbond meltblown spunbond 248. Samotný filtr Firon má oproti filtru Firon s přidanou Spunlace vrstvou téměř trojnásobnou životnost. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 4, 6 a 7.

Na obrázku 17 je tentýž ukazatel vyjádřen v procentech, kdy je jímavost samotného objemného filtru vyjádřena jako 100 %. Filtr Firon v kombinaci se Spunlace vrstvou zachytil o 61,38 % méně prachu a filtr Firon + SMS o 21,18 % méně prachu než samotný filtr Firon. Z tohoto vyplývá, že samotný filtr Firon má oproti zbývajícím dvěma vzorkům nejdelší životnost. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 4, 6 a 7.

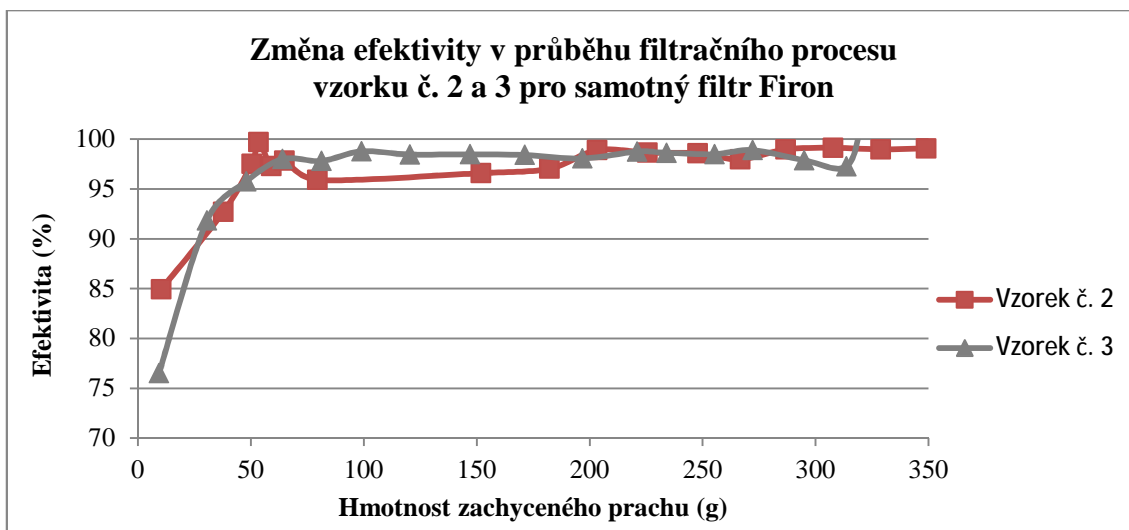


Obr. 16 - přehled výsledné jímavosti vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3)



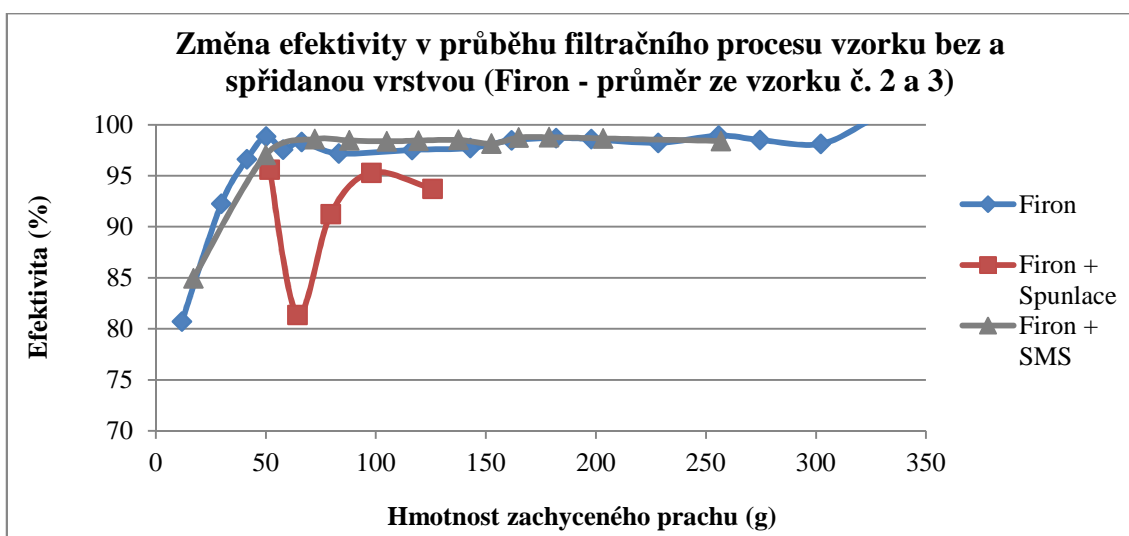
Obr. 17 - přehled zachyceného množství prachu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3)

Obrázek 18 znázorňuje změnu efektivity v průběhu filtračního procesu samotného filtru Firon, která by měla být na všech vzorcích přibližně shodná. Vzorek č. 1 byl vyřazen z důvodu nepravidelnosti, která byla způsobena nadávkováním velmi malého množství prachu, zapříčiněného technickým stavem dávkovacího zařízení. Graf, v němž jsou zobrazeny výsledky vzorků včetně č. 1, je zobrazen v příloze č. 4.



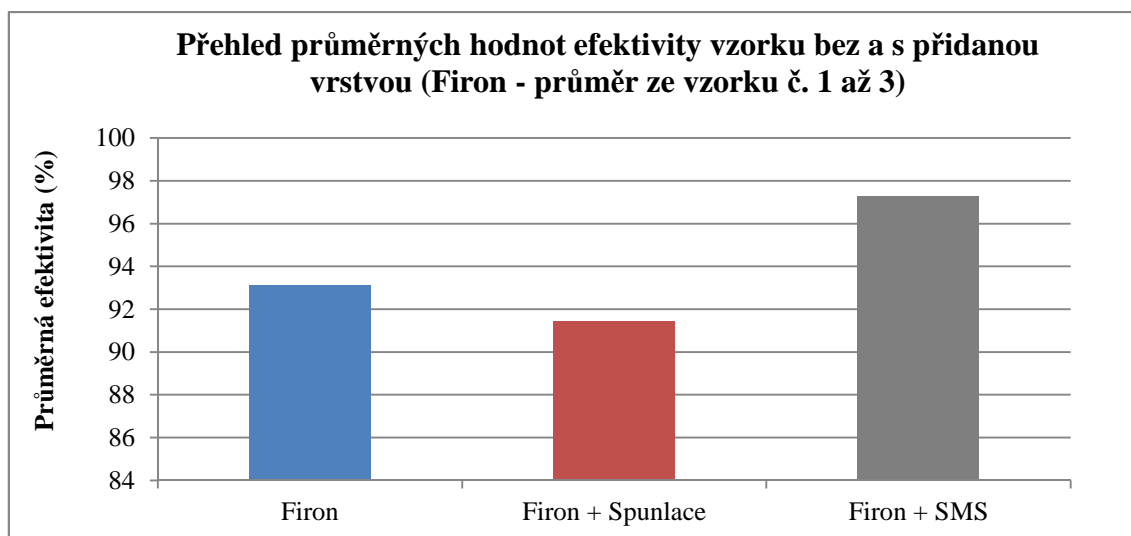
Obr. 18 - změna efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 2 a 3 pro samotný filtr Firon

Abychom docílili přesnějšího znázornění křivky samotného filtru Firon, byly odstraněny všechny hodnoty z prvního vzorku. Obrázek 19 tedy znázorňuje průběh efektivity samotného filtru Firon pouze z průměru vzorku č. 2 a 3. Z viditelného průběhu křivek je jasné, že samotný filtr Firon a filtr Firon s přidanou Spunbond meltblown spunbond vrstvou jsou ve výsledcích efektivity na podobné úrovni, ale filtr Firon s přidanou vrstvou Spunlace má ve srovnání s nimi nejmenší hodnoty. Náhlé snížení jeho efektivity bylo zapříčiněno nadávkováním menšího množství prachu. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 4, 6 a 7.



Obr. 2 - změna efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 2 a 3)

Z přehledu průměrných hodnot efektivity vzorku bez přidané vrstvy a následně s ní (viz obr. 20) vyplývá, že ze tří druhů vzorků má nejlepší průměrnou efektivitu filtr Firon s přidanou Spunbond meltblown spunbond vrstvou (97,26 %). Samotný filtr Firon dosahuje průměrné efektivity 93,13 % a filtr Firon s přidanou Spunlace vrstvou nabývá nejmenší průměrné efektivity 91,46 %. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 4, 6 a 7.

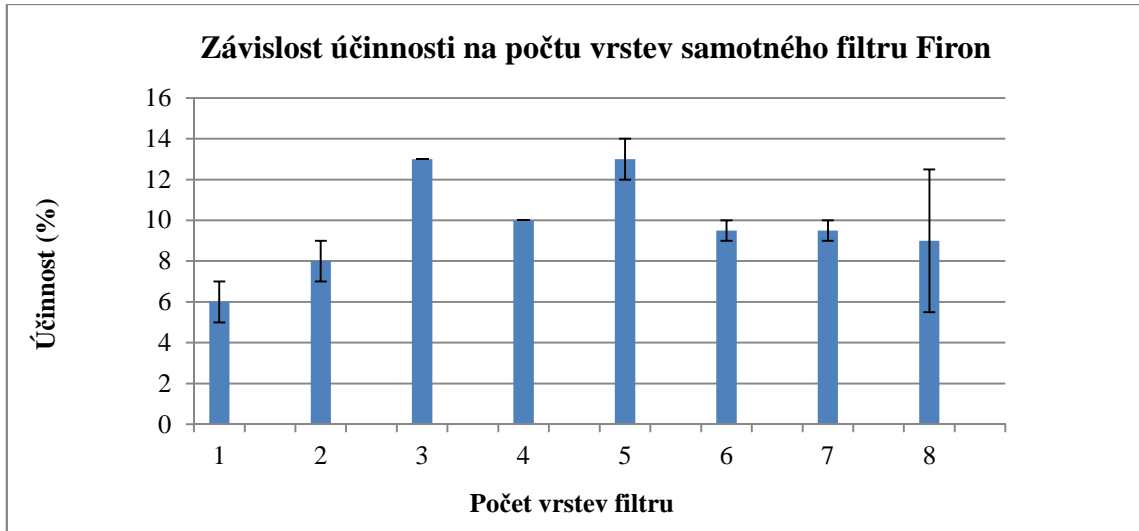


Obr. 3 - přehled průměrných hodnot efektivity vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3)

3.4.2. Testování aerosolem chloridu sodného

Výsledky z testovacího zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P, které při testování využívá chlorid sodný, znázorňuje obrázek 21, na němž je patrný vliv počtu vrstev filtru (tloušťka filtru) na jeho filtrační účinnost. Testování filtrace pomocí aerosolu chloridu sodného je výhodné z důvodu rychlého měření a tím i možnosti ověření většího počtu vzorků. Měření jsou pouze počáteční hodnoty filtrace, nicméně tento fakt není pro výzkum zásadní. Pro každou vrstvu uvedenou v grafu na obrázku 36 byla provedena dvě měření. Odhad směrodatné odchylky je uveden pomocí chybových úseček. Na grafu není vidět zřetelný vliv počtu vrstev na účinnost. Pouze u jedné a dvou vrstev samotného filtru Firon je zaznamenán mírný nárůst účinnosti. Hodnoty, které se pohybují pod hranicí 10 %, jsou zpravidla zatíženy chybou. To odpovídá teoretickému

předpokladu, dle něhož růst počtu vrstev vede zpočátku ke zvýšení filtrační účinnosti, ale s dalšími vrstvami již efektivita neroste. Tento graf je vyhodnocen na základě naměřených hodnot uvedených v příloze č. 9.



Obr. 21 - závislost účinnosti na počtu vrstev samotného filtru Firon

ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověření zlepšení filtračních vlastností objemného filtru dvěma různými způsoby – zvýšením počtu vrstev stávajícího materiálu (zvýšení tloušťky filtru) a laminací stávajícího materiálu s jinými filtračními vrstvami. Konkrétněji bylo záměrem autorky zlepšení filtrační účinnosti při zachování obdobné životnosti filtru. Laminace byla prováděna s vrstvami typu Spunlace nebo Spunbond meltblown spunbond (SMS). Hlavním přínosem laminace mělo být zvýšení filtrační účinnosti dané vrstvou Meltblown, případně Spunlace, umístěnou na odletové straně filtru, přičemž vláknenné vrstvy před touto vrstvou slouží jako předfiltr a zajišťují udržení dlouhé životnosti filtru.

Byly navrženy a analyzovány dvě možnosti realizace: vrstvení a laminace.

Na samotných vzorcích objemového částicového vzduchového filtru Firon od firmy Netex a na těchto vzorcích s přidanou vrstvou Spunlace nebo Spunbond meltblown spunbond byly provedeny testy dvěma různými metodami. Získané hodnoty posloužily k vyhodnocení tlakového spádu, efektivity a jímavosti jednotlivých vzorků. Následně byly tyto vzorky porovnány mezi sebou, aby bylo zřetelné, který vzorek je z hlediska zmíněných parametrů nejvhodnější.

Z měření vlivu počtu vrstev na účinnost vyplývá, že na vzorcích samotného filtru Firon s jednou až osmi vrstvami testy nikterak neprokázaly, že by zvýšený počet vrstev filtru zásadně ovlivňoval filtrační účinnost. Pouze u jedné a dvou vrstev byl zaznamenán mírný nárůst účinnosti, proto nedoporučuji tuto možnost v praxi používat.

Z ověření vlivu laminace na tlakový spád a životnost filtru je zřejmé, že přidání další filtrační vrstvy odlišného materiálu může mírně zlepšit účinnost filtrace, ale zhoršit její životnost. Při nevhodné kombinaci materiálů však může dojít také k výraznému zhoršení všech vlastností. Průměrná počáteční efektivita filtru Firon s přidanou Spunbond meltblown spunbond vrstvou je vyšší zhruba o 4 % oproti filtru Firon. Nicméně tato hodnota není vyšší než rozdíly mezi jednotlivými vzorky.

Je žádoucí, aby filtr Firon disponoval co největší účinností a životností, významným faktorem je taktéž finanční dostupnost. Z tohoto hlediska je tedy nejvhodnější použití samotného filtru Firon, protože i při téměř shodných vlastnostech je použití filtru Firon s přidanou Spunbond meltblown spunbond vrstvou z důvodu výrobních nákladů na přidanou vrstvu více nákladný. Nicméně tento fakt závisí

na detailní cenové kalkulaci, která není součástí této práce. Důležitý je faktor kvality stávající textilie Firon, která může být kolísavá a úprava laminací může tuto nevýhodu omezit. Ověření této možnosti ovšem vyžaduje množství nákladných testů.

Ze všech tří testovaných typů vzorků byl nejméně vhodný vzorek filtru Firon s přidanou Spunlace vrstvou, jehož parametry ani jednou nedosáhly hodnot zbývajících dvou typů vzorků.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] Brown, R.C.: Air filtration, Sheffield UK, 1993

[2] Hrůza, J.: Přednáška Filtrace a filtrační materiály [online]. [vid. 18. 10. 2014].
Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/filtr.pdf>

[3] Plochý filtr [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://www.zrnko-kavy.cz/www-obchod-kavovary-cz-/eshop/2-1-Kavovary-na-filtrovanou-kavu/44-3-B-serie/5/232-Plochy-filtr-B10>

[4] Skládání filtr [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://www.hanol.cz/p/bosch-skladany-filtr-kruhovy-pr.gas-15l>

[5] Svíčkový filtr [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://www.ucv.cz/cz/cenik/filtrace.htm>

[6] Filtrační lahev [online]. [vid. 28. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://www.prozeny.cz/magazin/deti-a-rodina/mensi-deti/39873-pomucky-do-skoly-ktere-deti-nebudou-zapominat-doma-tyhle>

[7] Kapsový filtr [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://www.filtr-filtr.cz/kapsove-filtry>

[8] Hadicový filtr [online]. [vid. 18. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://www.airff.cz/index.php?id=5>

[9] Křemenáková, D.: Přednáška Zkoušení textilií - přednáška 10, konstrukční parametry plošných textilií. Dostupné z: absolvování předmětu Zkoušení textilií. 2014

[10] Jirsák, O., Kalinová K.: Netkané textilie, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2003

- [11] Militký, J.: Přednáška Textilní zkušebnictví, část III - vzorkování, vlhkost, směsi vláken, identifikace vláken. Dostupné z: absolvování předmětu Zkoušení textilií. 2014
- [12] Hrůza, J.: Zlepšování filtračních vlastností vlákenných materiálů, disertační práce 2005, [online]. [vid. 19. 10. 2014]. Dostupné z:
<http://jakub-hruza.webnode.cz/prednasky/filtrace-ostatni/>
- [13] Hrůza, J.: Přednáška Chapter 7. Filtration part 1 Dostupné z:
<http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/tpa/filtration1.ppt>
- [14] Mezinárodní klasifikace vzduchových filtrů [online]. [vid. 19. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/mezinarodni-klasifikace-vzduchovych-filtru>
- [15] Firma Netex [online]. [vid. 19. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.netex.cz/o-firme>
- [16] Hrůza, J.: Přednáška Mechanické technologie netkaných textilií - Kapitola VI. Spunlace (hydrodynamické zaplétání), výroba plstí. Dostupné z: absolvování předmětu Mechanické technologie výroby netkaných textilií. 2013
- [17] Jirsák, O., Kalinová K.: Netkané textilie, 2003, str. 7, Liberec-TUL. ISBN 80-7083-746-2
- [18] Jirsák, O., Kalinová K.: Netkané textilie, 2003, str. 77, Liberec-TUL. ISBN 80-7083-746-2
- [19] Novák, O.: Přednáška Technické textilie - Význam a hlavní typy úprav technických textilií, výroba. Dostupné z: absolvování předmětu Technické textilie 2014
- [20] Jirsák, O., Kalinová K.: Netkané textilie, 2003, str. 43, Liberec-TUL. ISBN 80-7083-746-2

- [21] Chaloupek, J.: Přednáška Netkané textilie - Materiály 2. Dostupné z: absolvování předmětu Netkané textilie 2013
- [22] Militký, J.: Přednáška Textilní zkušebnictví - úvod, počítače, systém experiment. Dostupné z: absolvování předmětu Zkoušení textilií. 2014
- [23] Křemenáková, D.: Přednáška Zkoušení textilií - přednáška 12. Stálosti a odolnosti plošných textilií. Dostupné z: absolvování předmětu Zkoušení textilií. 2014
- [24] Křemenáková, D.: Přednáška Zkoušení textilií - přednáška 4. Dostupné z: absolvování předmětu Zkoušení textilií. 2014
- [25] Chvojka, J.: Přednáška Termické a chemické technologie výroby netkaných textilií. Dostupné z: absolvování předmětu Termické a chemické technologie výroby netkaných textilií. 2014
- [26] Chaloupek, J.: Přednáška Netkané textilie - Technologie 2. Dostupné z: absolvování předmětu Netkané textilie. 2013
- [27] Definice jemnosti. Předmět Zkoušení textilií. Dostupné z: absolvování předmětu Zkoušení textilií. 2014

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1A povrchová filtrace.....	12
Obr. 1B hloubková filtrace.....	12
Obr. 2A plochý filtr.....	13
Obr. 2B skládaný filtr.....	13
Obr. 2C svíčkový filtr.....	13
Obr. 2D filtrační lahev.....	13
Obr. 2E kapsový filtr.....	13
Obr. 2F hadicový filtr.....	13
Obr. 3A laminace disperzí.....	23
Obr. 3B laminace hot meltem	23
Obr. 3C laminace práškem	23
Obr. 3D laminace pevným pojivem	23
Obr. 3E laminace plamenem jednostranná.....	23
Obr. 3F laminace plamenem oboustranná	23
Obr. 4 schéma stroje pro technologii Spunlace.....	25
Obr. 5 zvětšené vodní trysky.....	26
Obr. 6 schéma stroje pro technologii Melt-blown.....	29
Obr. 7 zvětšená zvlákňovací tryska.....	30
Obr. 8 schéma zařízení Dust Filter Tester 3.....	34
Obr. 9A filtr Firon před úpravou.....	35
Obr. 9B filtr Firon po úpravě.....	35
Obr. 10 schéma vysekávacího stroje.....	35
Obr. 11 schéma zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P.....	36
Obr. 12 vzorky filtru Firon s jednou až osmi vrstvami.....	37
Obr. 13 změna tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorků č. 1 až 3 pro samotný filtr Firon.....	39
Obr. 14 přehled počátečních tlakových spádů vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3).....	40
Obr. 15 změna tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3).....	41
Obr. 16 přehled výsledné jímavosti vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3).....	42

Obr. 17 přehled zachyceného množství prachu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3).....	42
Obr. 184 - změna efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 2 a 3 pro samotný filtr Firon.....	43
Obr. 195 - změna efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 2 a 3).....	43
Obr. 20 - přehled průměrných hodnot efektivity vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. a až 3).....	44
Obr. 21- závislost účinnosti na počtu vrstev samotného filtru Firon.....	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 metody filtrace.....	18
Tab. 2 mezinárodní klasifikace vzduchových filtrů.....	19

SEZNAM PŘÍLOH

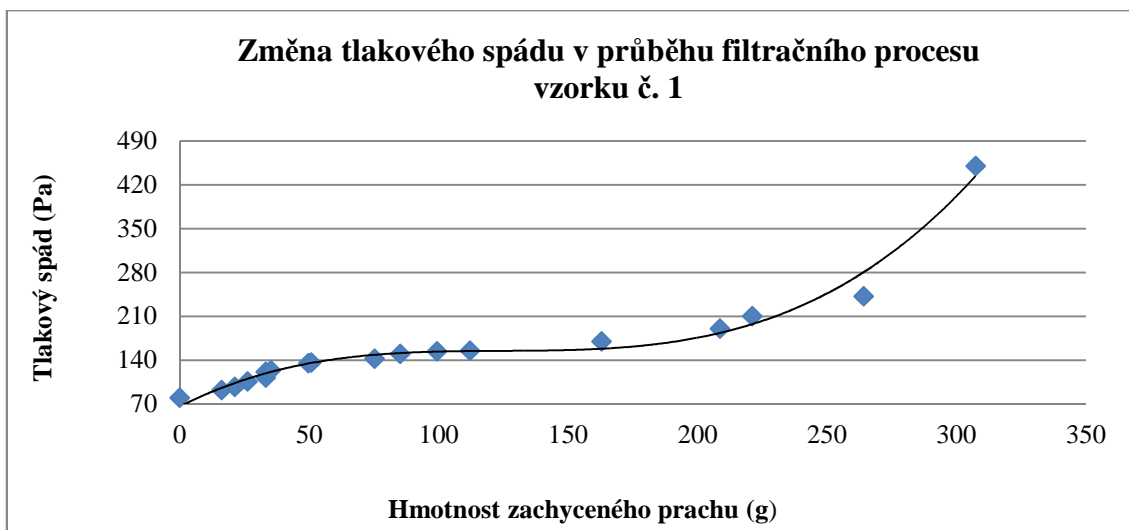
Příloha č. 1 - vzorek č. 1, graf změny tlakového spádu, graf změny efektivity, zanesený testovaný vzorek	
Příloha č. 2 - vzorek č. 2, graf změny tlakového spádu, graf změny efektivity, zanesený testovaný vzorek	
Příloha č. 3 - vzorek č. 3, graf změny tlakového spádu, graf změny efektivity, zanesený testovaný vzorek	
Příloha č. 4 - průměr vzorků č. 1 až 3, graf průměru změn tlakového spádu, graf průměru změn efektivity, změna efektivity bez a s přidanou vrstvou, výsledná jímavost pro samotná filtr Firon	
Příloha č. 5 - měření tlakového spádu v závislosti na rychlosti vzduchu a jeho graf	
Příloha č. 6 - vzorek č. 4 doplněný o vrstvu Spunlace, graf změny tlakového spádu, graf změny efektivity, zanesený testovaný vzorek	
Příloha č. 7 - vzorek č. 5 doplněný o vrstvu spunbonf meltblown spunbond, graf změny tlakového spádu, graf změny efektivity, zanesený testovaný vzorek	
Příloha č. 8 - průměr vzorků č. 4 a 5, graf průměru změn tlakového spádu, graf průměru změn efektivity	
Příloha č. 9 - závislost účinnosti na počtu vrstev filtru Firon a její graf	

PŘÍLOHY

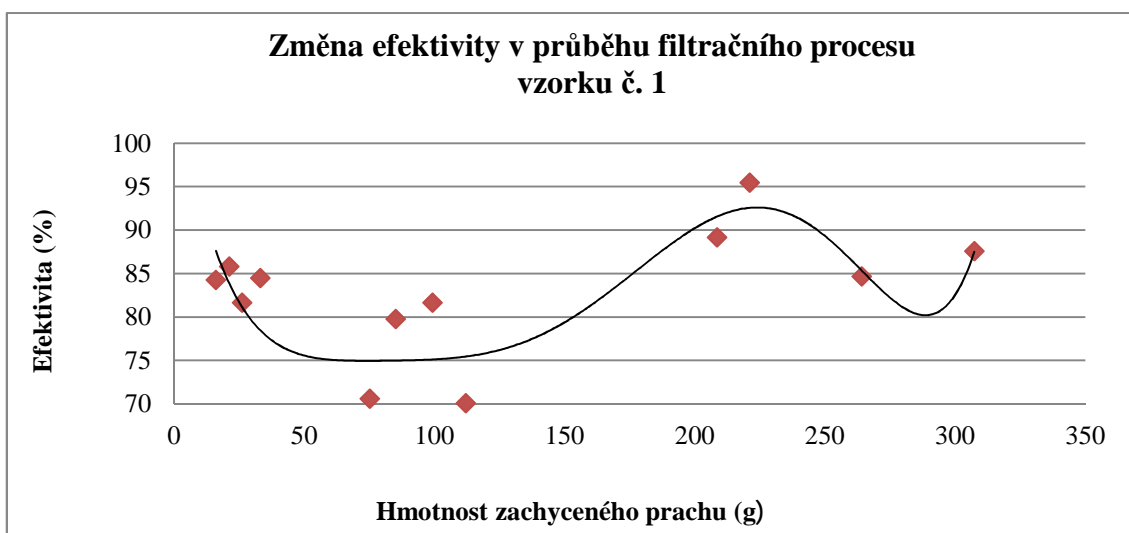
Příloha č. 1

Vzorek č. 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hmotnost testovaného filtru	6,86	7,21	7,33	7,44	7,59	7,63	7,66	7,99	8,01	8,62	8,82	9,13	9,30	10,52	11,59	11,91	12,88	13,88
Hmotnost absolutního filtru a melblown vrstvy	7,94	8,00	8,02	7,97	7,99	7,96	8,00	8,04	8,06	7,99	8,05	8,11	8,68	8,80	8,94	8,95	8,73	8,87
Hmotnost po změně melblown vrstvy	7,94	8,00	7,95	7,97	7,99	7,98	8,00	8,04	7,95	7,99	8,05	8,51	8,68	8,80	8,94	8,55	8,73	8,87
Hmotnost dávkovaného prachu		0,43	0,13	0,13	0,19	0	0,05	0,38	0,03	0,65	0,26	0,38	0,34	1,34	1,21	0,33	1,14	1,15
Součet hmotností	0	0,43	0,56	0,69	0,88	0,88	0,93	1,31	1,34	1,99	2,25	2,63	2,96	4,31	5,52	5,85	6,99	8,13
Efektivita		84,27	85,82	81,68	84,49			68,80		70,60	79,77	81,65	70,10		89,17	95,48	84,70	87,60
Tlakový spád	80	92	97	106	112	121	124	135	136	142	150	154	155	170	190	210	242	450
Průměrná efektivita		81,86																
Průměr vážený		81,95																
Jínavost		249,88																
Přepočítaný součet hmotností	0	16,10	21,17	26,12	33,19	33,19	35,12	49,59	50,69	75,18	85,09	99,30	112,00	162,80	208,54	221,09	264,07	307,35



Graf změny tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku č. 1



Graf změny efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 1

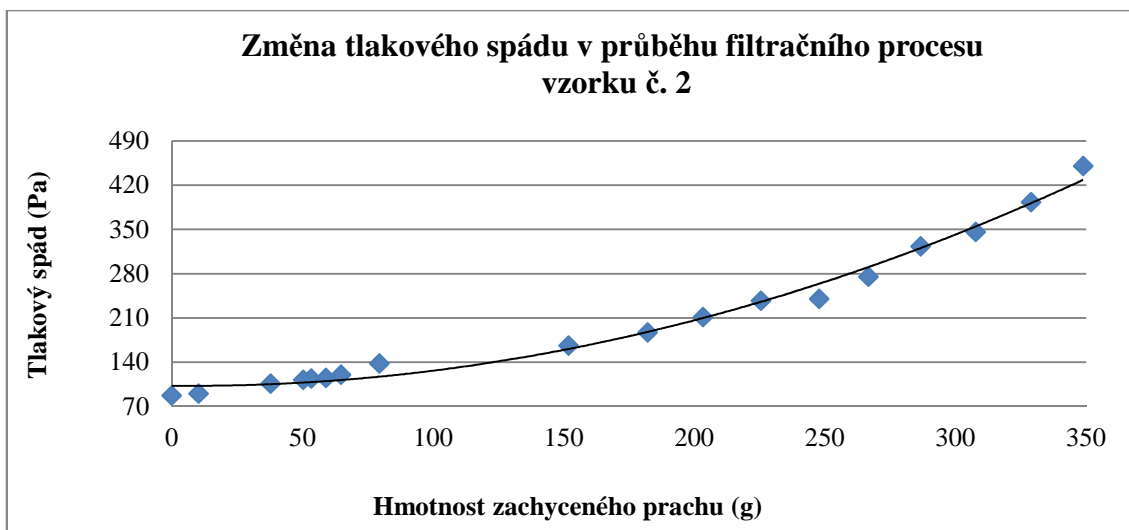


Zanesený testovaný vzorek č. 1

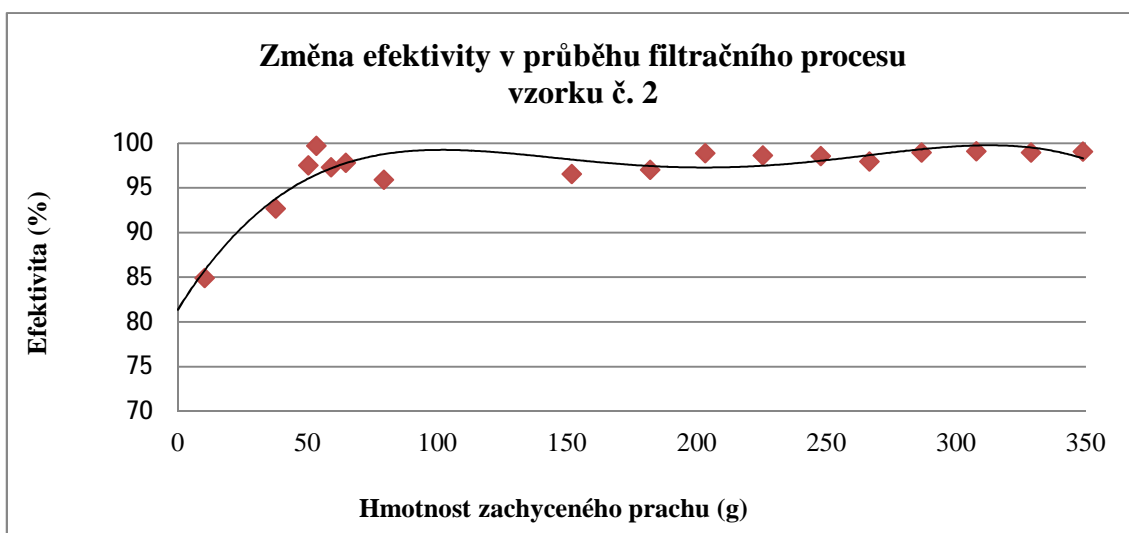
Příloha č. 2

Vzorek č. 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hmotnost testovaného filtru	7,17	7,40	8,05	8,35	8,43	8,54	8,65	8,95	10,73	11,39	11,89	12,39	12,89	13,25	13,70	14,19	14,66	15,10
Hmotnost absolutního filtru a melblown vrstvy	9,06	9,10	9,18	9,21	9,21	9,26	9,29	9,38	9,52	9,47	9,53	9,61	9,70	9,79	9,87	9,94	10,03	10,16
Hmotnost po změně melblown vrstvy	9,06	9,10	9,18	9,21	9,21	9,26	9,29	9,38	9,33	9,47	9,53	9,61	9,65	9,79	9,87	9,94	10,03	10,16
Hmotnost dávkovaného prachu		0,27	0,73	0,33	0,08	0,15	0,15	0,39	1,91	0,80	0,56	0,59	0,59	0,50	0,53	0,56	0,56	0,53
Součet hmotností	0	0,27	0,99	1,33	1,41	1,56	1,71	2,10	4,02	4,82	5,38	5,96	6,56	7,05	7,58	8,14	8,70	9,23
Efektivita		84,93	92,69	97,52	99,72	97,31	97,84	95,91	96,59	97,03	98,90	98,64	98,57	97,97	98,97	99,13	98,98	99,07
Tlakový spád	87	90	106	112	114	115	120	138	166	187	211	237	240	275	323	346	393	450
Průměrná efektivita		97,05																
Průměr vážený		96,95																
Jímavost		335,52																
Přepočítaný součet hmotností	0	10,28	37,76	50,35	53,37	59,04	64,79	79,46	151,80	292,12	203,33	225,44	247,82	266,60	286,68	307,73	328,86	348,86



Graf změny tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku č. 2



Graf změny efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 2

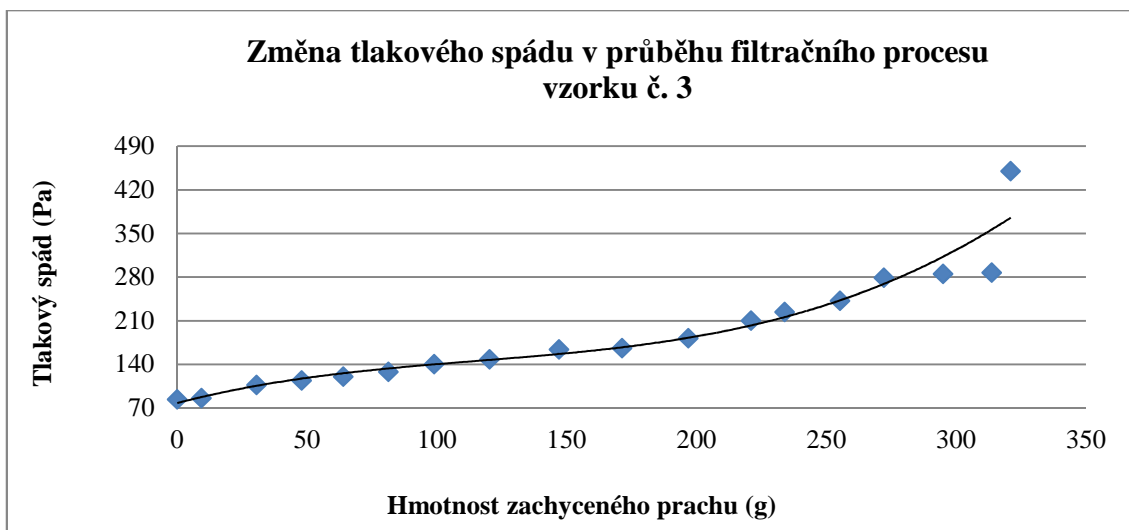


Zanesený testovaný vzorek č. 2

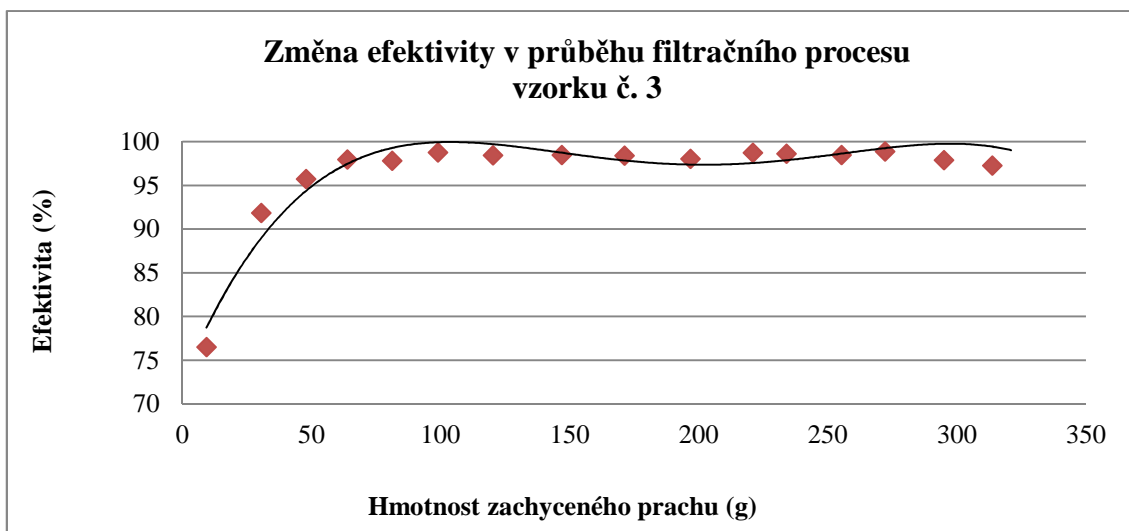
Příloha č. 3

Vzorek č. 3

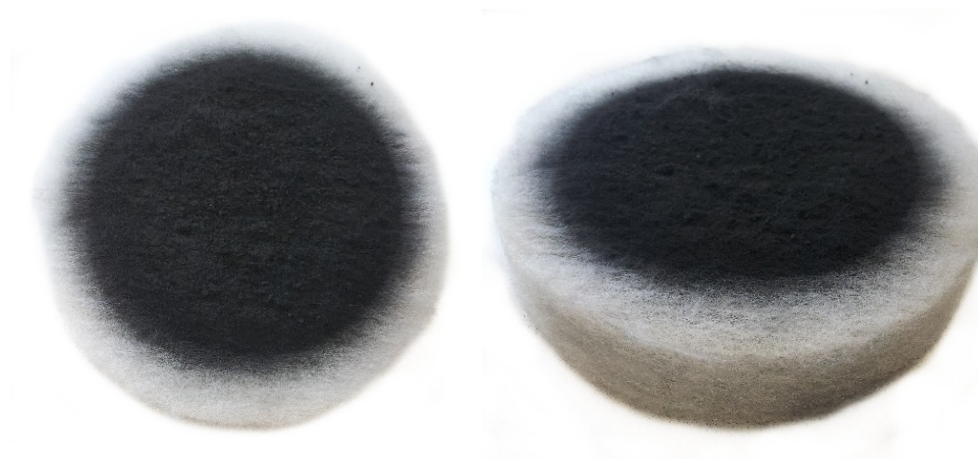
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hmotnost testovaného filtru	7,33	7,52	8,02	8,42	8,81	9,22	9,66	10,18	10,82	11,39	11,97	12,53	12,79	13,25	13,62	14,06	14,33	14,69
Hmotnost absolutního filtru a melblown vrstvy	6,20	6,26	6,33	6,38	6,41	6,41	6,44	5,92	5,98	6,05	6,01	6,08	6,17	6,30	6,38	6,54	6,55	6,37
Hmotnost po změně melblown vrstvy	6,20	6,26	6,33	6,38	6,36	6,41	5,87	5,92	5,98	5,91	6,01	6,08	6,19	6,30	6,38	6,32	6,55	6,37
Hmotnost dávkovaného prachu		0,25	0,56	0,46	0,42	0,46	0,47	0,57	0,71	0,64	0,68	0,64	0,34	0,56	0,45	0,60	0,50	0,19
Součet hmotností	0	0,25	0,81	1,27	1,69	2,15	2,62	3,18	3,89	4,53	5,21	5,85	6,19	6,75	7,20	7,80	8,30	8,49
Efektivita		76,52	91,84	95,74	97,99	97,81	98,78	98,46	98,48	98,41	98,06	98,75	98,63	98,49	98,89	97,89	97,27	102,04
Tlakový spád	84	86	107	114	120	128	140	148	164	166	182	210	224	242	279	285	287	450
Průměrná efektivita		96,71																
Průměr vážený		97,09																
Jímavost		309,15																
Přepočítaný součet hmotností	0	9,34	30,58	47,93	63,92	81,27	98,92	120,32	146,97	171,23	196,79	220,98	233,94	255,26	272,16	294,95	313,70	320,96



Graf změny tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku č. 3



Graf změny efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 3

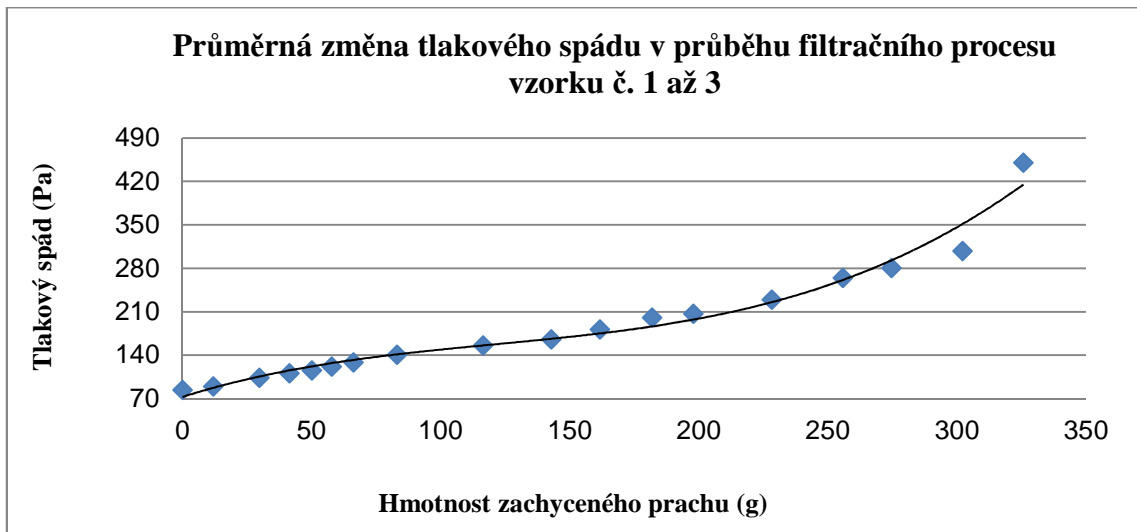


Zanesený testovaný vzorek č. 3

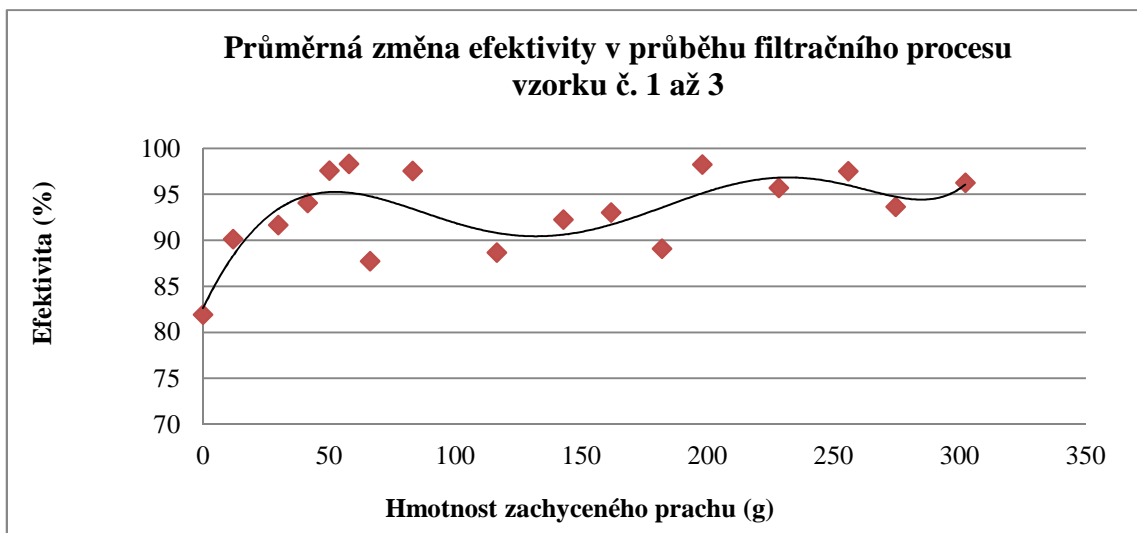
Příloha č. 4

Průměr vzorků č. 1 až 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hmotnost dávkovaného prachu		0,32	0,47	0,31	0,23	0,20	0,22	0,45	0,88	0,70	0,50	0,53	0,42	0,80	0,73	0,50	0,73	0,62
Součet hmotností	0	0,32	0,79	1,10	1,33	1,53	1,75	2,20	3,08	3,78	4,28	4,81	5,24	6,04	6,77	7,26	8,00	8,62
Efektivita - průměr		81,91	90,12	91,65	94,07	97,56	98,31	87,72	97,54	88,68	92,24	93,01	89,10	98,23	95,68	97,50	93,65	96,23
Efektivita - směrodatná odchylka		3,82	3,06	7,09	6,81	0,25	0,47	13,42	0,95	12,80	8,83	8,04	13,43	0,26	4,60	1,51	6,37	6,23
Tlakový spád - průměr	83,67	89,33	103,33	110,67	115,33	121,33	128	140,33	155,33	165	181	200,33	206,33	229	264	280,33	307,33	450
Tlakový spád - směrodatná odchylka	2,87	2,49	4,50	3,40	3,40	5,31	8,64	5,56	13,70	18,38	24,91	34,57	36,88	43,84	55,32	55,62	63,30	0
Průměrná efektivita		93,13																
Průměr vážený		83,97																
Jímavost		271,3																
Přepočítaný součet hmotností	0	11,91	29,84	41,47	50,16	57,83	66,28	83,12	116,49	142,85	161,73	181,91	197,92	228,22	255,79	274,59	302,21	325,72

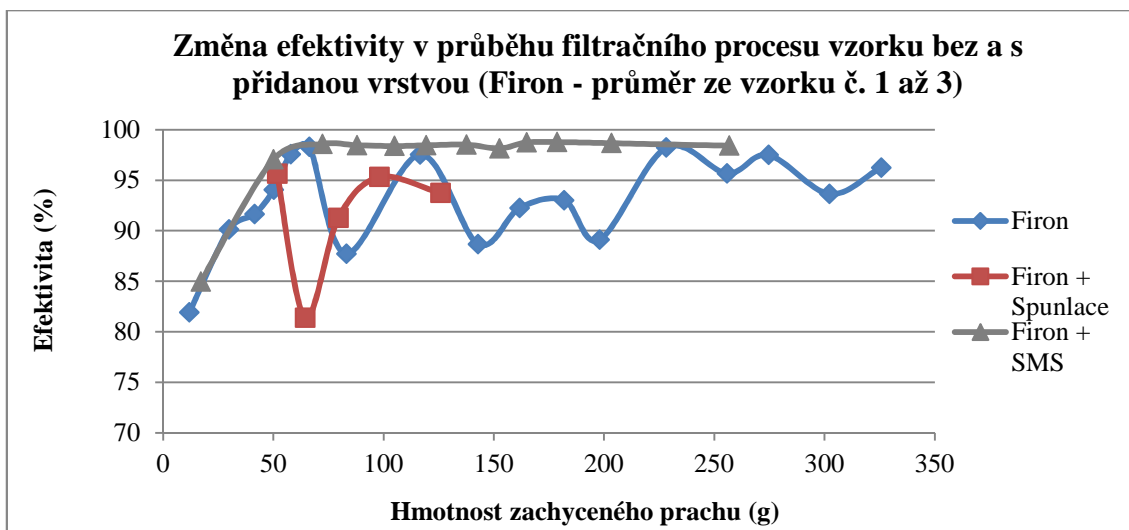


Graf průměru změn tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorků č. 1 až 3



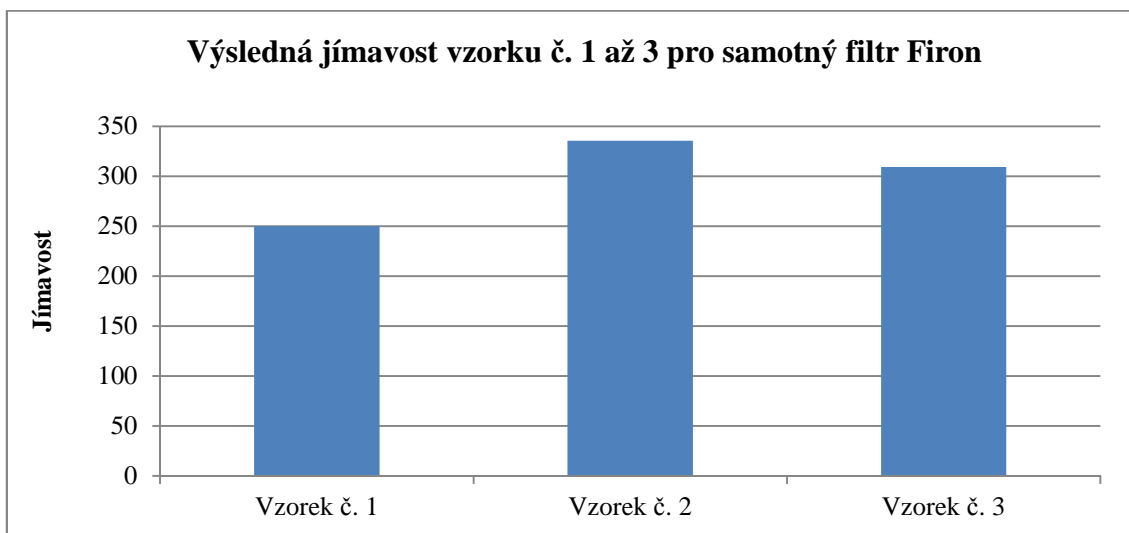
Graf průměru změn efektivity v průběhu filtračního procesu vzorků č. 1 až 3

Graf níže znázorňuje efektivitu samotného filtru Firon a efektivitu filtrů Firon s přidávanými vrstvami. Nadávkované velmi malé množství prachu je i zde reflektováno na znázorněné křivce samotného filtru Firon, která je složená z průměrných hodnot vycházejících ze vzorku č. 1 až 3.



Změna efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku bez a s přidanou vrstvou (Firon - průměr ze vzorku č. 1 až 3)

Protože se u všech tří vzorků jedná o stejný testovaný samotný filtr Firon, měly by být výsledné hodnoty jímavosti přibližně stejné. Jak je ovšem patrné v grafu níže, vzorek č. 1 tuto tezi nepotvrzuje, protože na jeho výslednou jímavost má negativní vliv nadávkované malé množství prachu v průběhu testování.

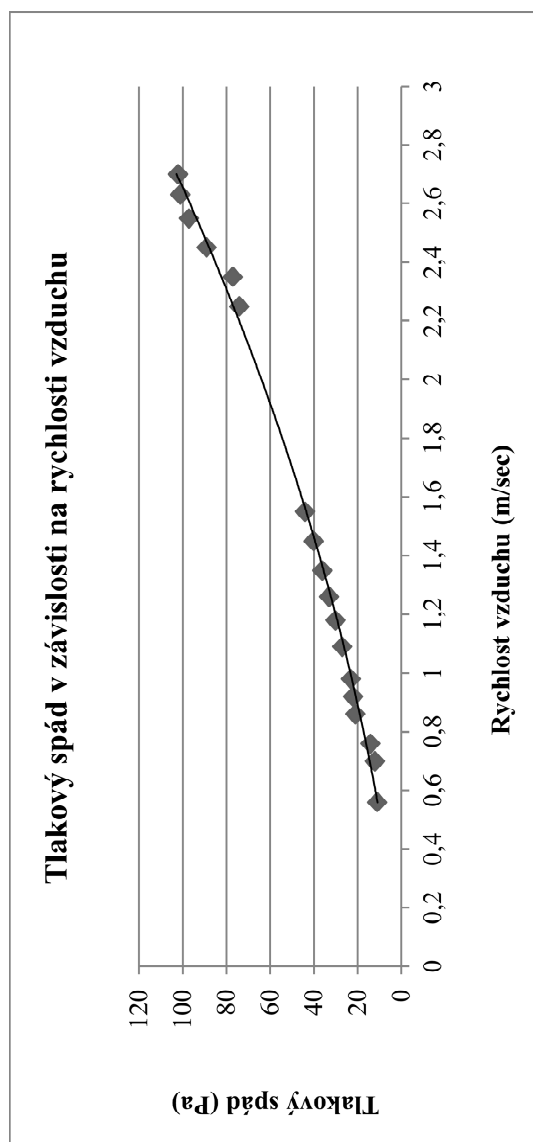


Výsledná jímavost vzorku č. 1 až 3 pro samotný filtr Firon

Příloha č. 5

Měření tlakového spádu v závislosti na rychlosti vzduchu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Rychlost vzduchu [m/s]	0,56	0,70	0,76	0,86	0,92	0,98	1,09	1,18	1,26	1,35	1,45	1,55	2,25	2,35	2,45	2,55	2,63	2,70
Tlakový spád [Pa]	11	12	14	21	22	23	27	30	33	36	40	44	74	77	89	97	101	102



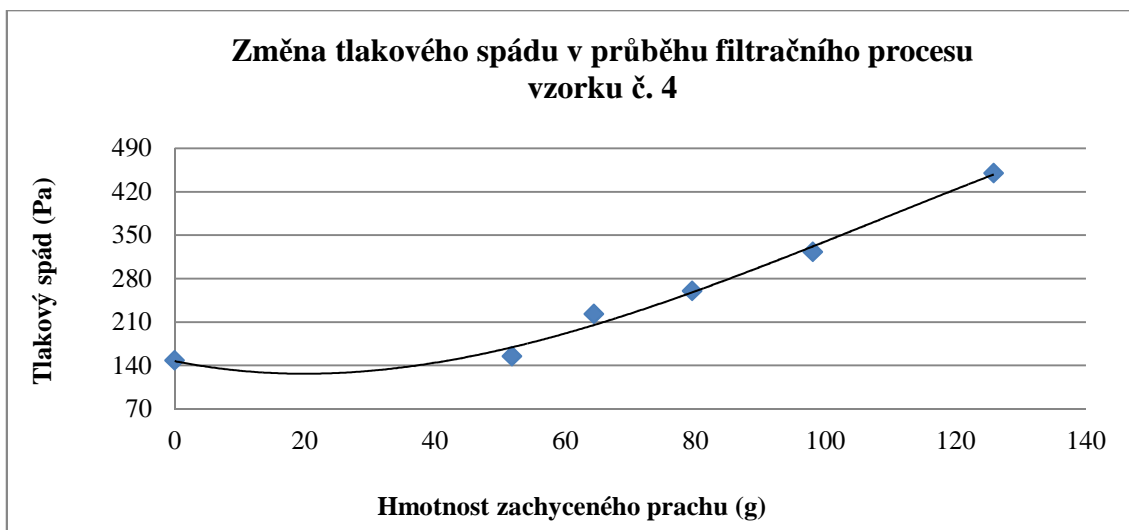
Graf tlakového spádu v závislosti na rychlosti vzduchu

Z grafu vyplývá, že se vzrůstající hodnotou rychlosti přiváděného vzduchu roste plynule i hodnota tlakového spádu, protože se zvyšuje množství přiváděného vzduchu, díky kterému tlak před filtrem narůstá.

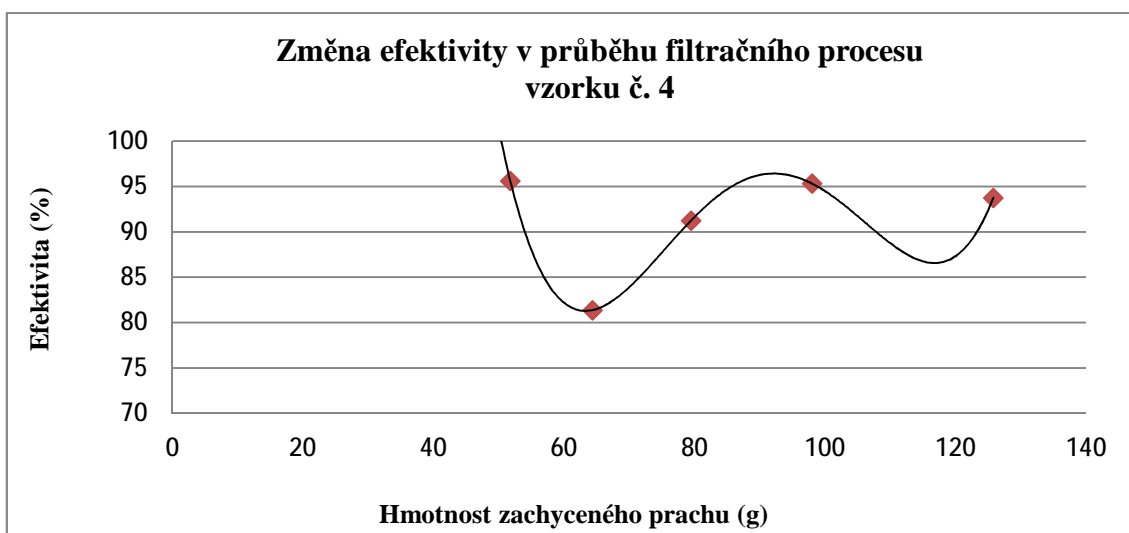
Příloha č. 6

Vzorek č. 4 doplněný o vrstvu Spunlace

	1	2	3	4	5	6
Hmotnost testovaného filtru	6,86	8,17	8,45	8,81	9,28	9,97
Hmotnost absolutního filtru a meltblown vrstvy	6,97	7,03	7,09	7,13	7,15	7,20
Hmotnost po změně meltblown vrstvy	6,97	7,03	7,09	7,13	7,15	7,20
Hmotnost dávkovaného prachu		1,37	0,33	0,4	0,49	0,74
Součet hmotností	0	1,37	1,70	2,10	2,59	3,32
Efektivita		95,62	81,38	91,25	95,31	93,74
Tlakový spád	148	155	223	260	323	450
Průměrná efektivita		91,46				
Průměr vážený		91,51				
Jímavost		114,21				
Přepočítaný součet hmotností	0	51,79	64,37	79,49	98,02	125,80



Graf změny tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku č. 4



Graf změny efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 4

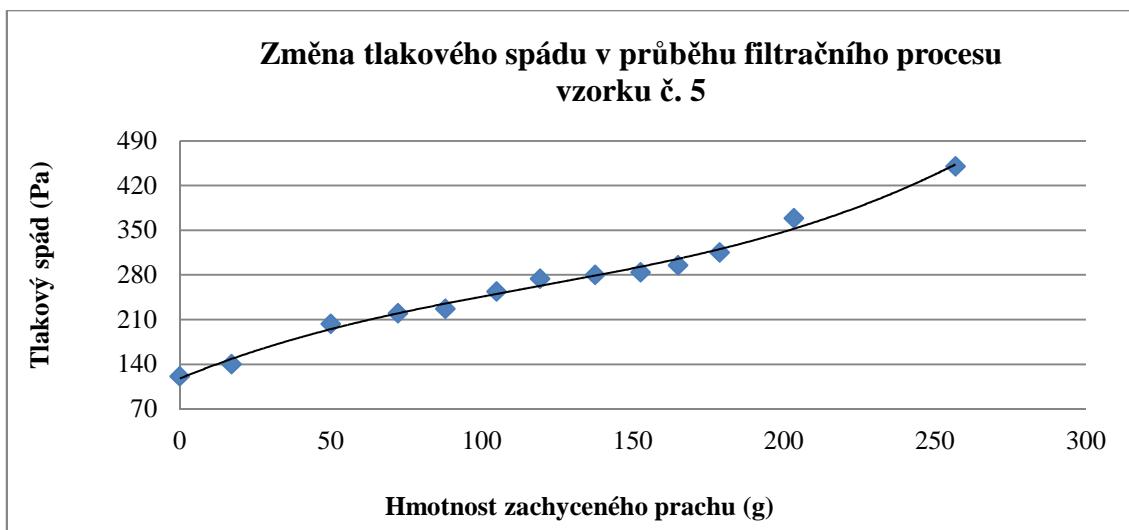


Zanesený testovaný vzorek č. 4, vpravo vrstva Spunlace

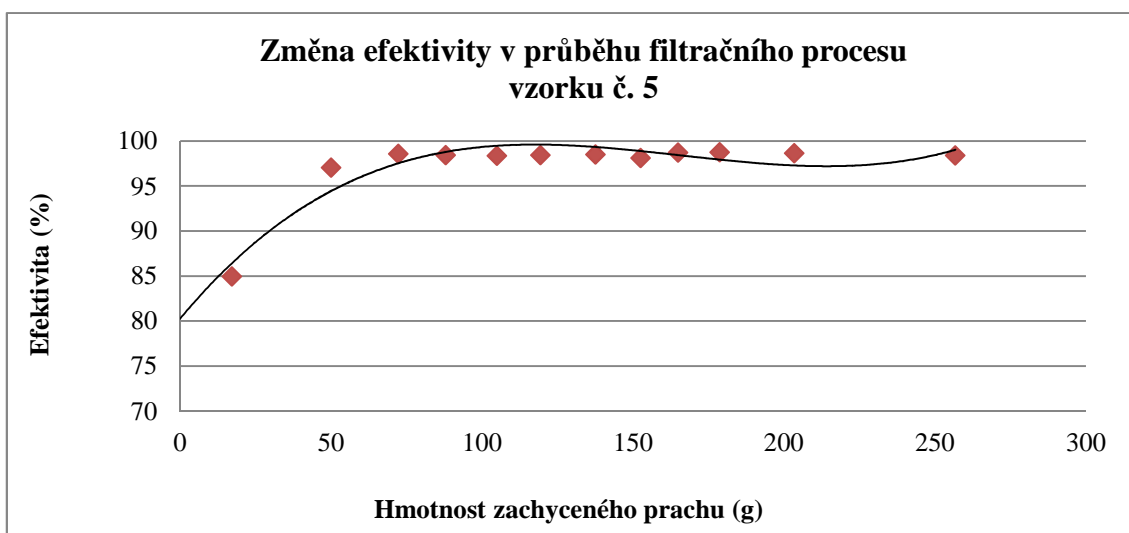
Příloha č. 7

Vzorek č. 5 doplněný o vrstvu spunbond melblown spunbond

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Hmotnost testovaného filtru	7,52	7,91	8,74	9,30	9,68	10,08	10,41	10,84	11,16	11,44	11,74	12,32	13,63
Hmotnost absolutního filtru a melblown vrstvy	7,10	7,16	7,20	7,19	7,23	7,27	7,32	7,38	7,45	7,51	7,56	7,64	7,74
Hmotnost po změně melblown vrstvy	7,10	7,16	7,16	7,19	7,23	7,27	7,32	7,38	7,45	7,51	7,56	7,64	7,74
Hmotnost dávkovaného prachu		0,45	0,87	0,59	0,42	0,45	0,38	0,48	0,40	0,33	0,36	0,65	1,41
Součet hmotností	0	0,45	1,32	1,91	2,33	2,78	3,16	3,63	4,03	4,36	4,73	5,38	6,79
Efektivita		84,96	97,05	98,59	98,45	98,38	98,48	98,52	98,14	98,74	98,77	98,66	98,41
Tlakový spád	121	140	203	220	227	254	274	280	284	295	315	369	450
Průměrná efektivita		97,26											
Průměr vážený		97,43											
Jímavost		248,15											
Přepočítaný součet hmotnosti	0	17,09	50,01	72,20	87,92	104,90	119,30	137,52	152,49	164,92	178,68	203,33	256,74



Graf změny tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorku č. 5



Graf změny efektivity v průběhu filtračního procesu vzorku č. 5

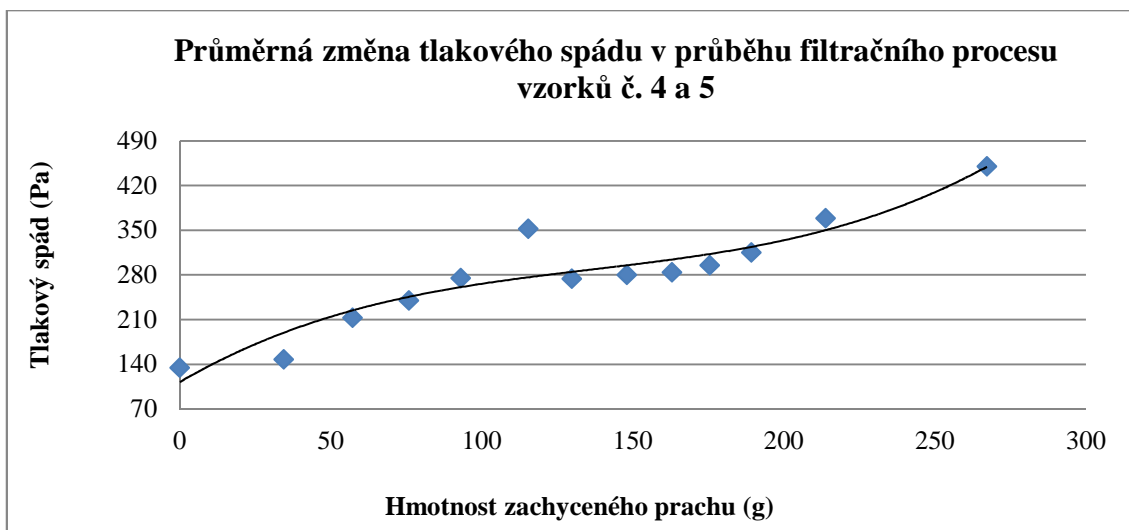


Zanesený testovaný vzorek č. 5, vpravo vrstva Spunbond meltblown spunbond

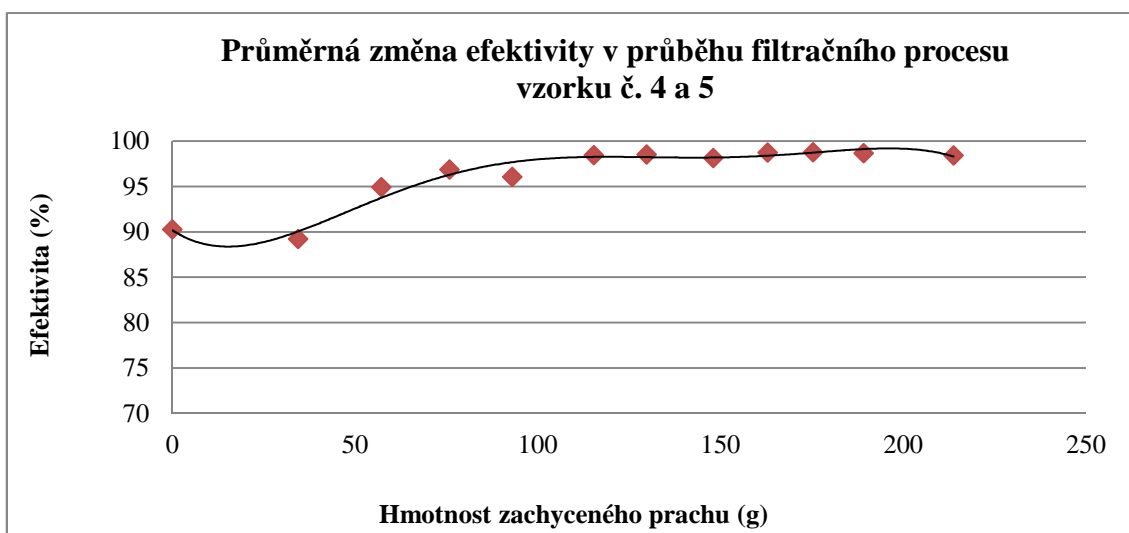
Příloha č. 8

Průměr vzorků č. 4 a 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Hmotnost dávkovaného prachu		0,91	0,60	0,49	0,45	0,59	0,38	0,48	0,40	0,33	0,36	0,65	1,41
Součet hmotností	0	0,91	1,51	2,01	2,46	3,05	3,43	3,91	4,31	4,64	5,00	5,66	7,07
Efektivita - průměr		90,29	89,22	94,92	96,88	96,06	98,45	98,52	98,14	98,74	98,77	98,66	98,41
Efektivita - směrodatná odchylka		5,33	7,84	3,67	1,57	2,32	0	0	0	0	0	0	0
Tlakový spád - průměr	134,5	147,5	213	240	275	352	274	280	284	295	315	369	450
Tlakový spád - směrodatná odchylka	13,5	7,5	10	20	48	98	0	0	0	0	0	0	0
Průměrná efektivita		96,42											
Průměr vážený		96,70											
Jímavost		256,31											
Přepočítaný součet hmotností	0	34,44	57,19	75,85	92,97	115,35	129,75	147,97	162,94	175,37	189,13	213,78	267,19



Graf průměru změn tlakového spádu v průběhu filtračního procesu vzorků č. 4 a 5

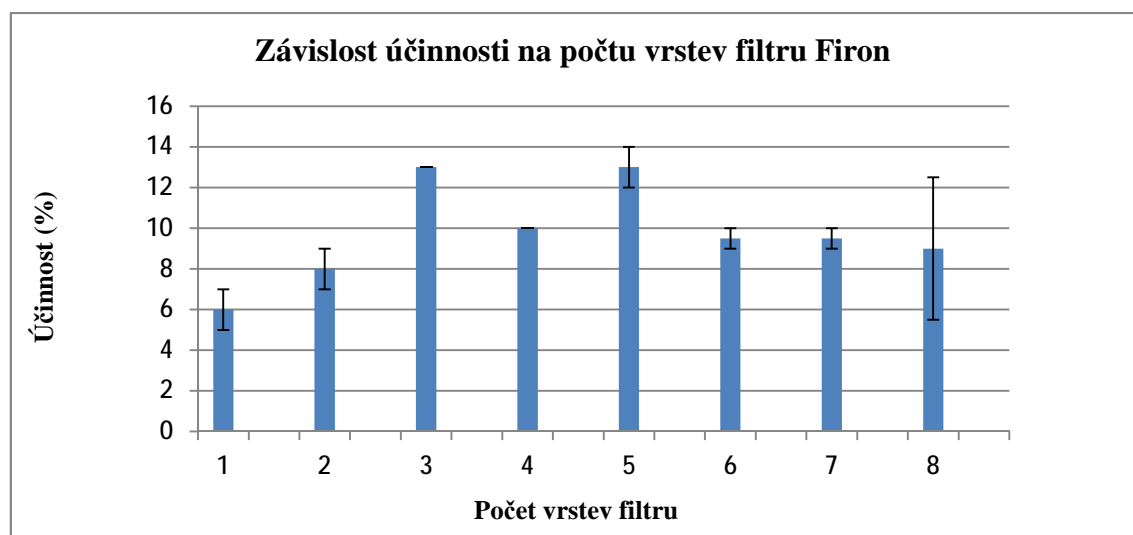


Graf průměru změn efektivity v průběhu filtračního procesu vzorků č. 4 a 5

Příloha č. 9

Závislost účinnosti na počtu vrstev filtru Firon

Počet vrstev	Tlakový spád (Pa)	Průnik částic (%)	Účinnost (%)	Průměr	Směrodatná odchylka
1	0	93	7	6	1
	0	95	5		
2	1	91	9	8	1
	0	93	7		
3	0	87	13	13	0
	0	87	13		
4	1	90	10	10	0
	1	90	10		
5	0	86	14	13	1
	0	88	12		
6	0	91	9	9.5	0.5
	1	90	10		
7	1	90	10	9.5	0.5
	1	91	9		
8	1	91	9	9	3.5
	1	98	2		



Graf závislosti účinnosti na počtu vrstev filtru Firon