

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

NESTACIONARITA FILTRACE
PRŮMYSLOVÝCH VLÁKENNÝCH FILTRŮ

UNSTEADY STATE OF INDUSTRY FIBER
FILTERS' FILTRATION

Lenka Simonová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jakub Hruža

Rozsah práce

Počet stran: 71

Počet obrázků: 48

Počet tabulek: 16

V Liberci 13.5.2006

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá studiem filtračních charakteristik a jejich změnami v průběhu filtrace. Zabývá se problematikou nestacionární fáze filtrace, kdy dochází k nebezpečným poklesům efektivity a tlakového spádu u vlákenného filtru. Kolísání efektivity je vyhodnocováno pomocí samoorganizovaného kritického chování, k tomu byl použit model hromady písku. Měření je prováděno na filtrech s plošným a hloubkovým zachytem částic, z PES a PP vláken. Dále je zkoumáno jaký vliv má plošná hmotnost a jemnost vláken na poklesy efektivity. Testování odlučivosti na syntetický prach proběhlo na přístroji DFT-2 (Dust filter Tester). Vyhodnocování efektivity bylo provedeno gravimetricky a výpočtem.

ANNOTATION

This diploma thesis deals with filtration characteristics research and their changes in-process of filtration. It deals with unsteadyflow phase of filtration issuse where occure dangerous decline of efficiency and hydraulic gradient along fibre filter. Variation of efficiency is evaluated by means of Self-organized criticality behaviour – Sandpile model was used. Measuration is done on filters with surface and depth capture of elements from PES and PP fibres. It further examines what influence has square weight and fineness of fibres on decline of efficinecy. Tests for separation of synthetical dust ran over DFT-2 Dust Filter Tester device. Efficiency evaluation was carried out by gravimetric survey and calculation.

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 13.5.2006

.....

Podpis

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

V Liberci dne 13.5.2006

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Jakubovi Hružovi za odborné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracování diplomové práce. Dále mé rodině za veškerou podporu během celého studia.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ:

E	efektivita filtrace [%]
G_1	množství disperzního podílu za filtrem [g]
G_2	celkové množství disperzního podílu [g]
$E_s(0)$	efektivita jednoho vlákna [%]
m	hmotnost nanesených částic vztažená na objem filtračního materiálu [g]
λ	konstanta daná parametry filtrace filtru a filtrovaných částic [-]
E_c	střední hodnota efektivit [%]
w_n	n-tá hodnota množství podaného prachu [g]
E_n	n-tá hodnota efektivit [%]
w	celkové množství podaného prachu dané součtem w_2 až w_n [g]
p_1	tlak filtrovaného média před filtrem [Pa]
p_2	tlak filtrovaného média za filtrem [Pa]
Δp	tlakový spád [Pa]
J	jímavost filtru
E_s	střední hodnota efektivit [%]
DEHS	diethylhexylsebacate
DOP	dioktylftalát
HEPA	high efficiency particulate air filter
ULPA	ultra low penetration air filter
N	počet lavin
T	velikost lavin
c	konstanta
PES	polyester
PP	polypropylen

OBSAH:

1	ÚVOD:	10
2	TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1	Základy teorie filtrace	12
2.1.1	Statika filtrace	12
2.1.2	Filtrační mechanismy	13
2.1.3	Mechanismy hloubkové filtrace	14
2.1.4	Filtrační vlastnosti	16
2.1.5	Charakteristiky filtrace	18
2.1.6	Charakteristiky filtrovaných částic:	21
2.1.7	Charakteristiky procesu filtrace:	23
2.2	Konstrukční provedení odlučovacích zařízení	24
2.2.1	Odlučovače mechanické suché	24
2.2.2	Odlučovače mechanické mokré	25
2.2.3	Odlučovače elektrické	25
2.2.4	Látkové filtry	25
2.3	Dělení podle mechanismu filtrace na filtry povrchové a hloubkové	25
2.4	Testování filtrů	26
2.4.1	Test syntetickým prachem	26
2.4.2	Test atmosférickým prachem	27
2.4.3	Test olejovým aerosolem	27
2.4.4	Test aerosolem NaCl	27
2.4.5	Methylen blue test	28
2.5	Kinetika procesu filtrace	28
2.5.1	Jednotlivé sekundární procesy:	29
2.6	Princip samoorganizovaného kritického chování systému	32
2.6.1	Model hromady písku	32
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	35
3.1	Úvod do experimentu	35
3.2	Charakteristika studovaného materiálu - Popis vzorků:	37
3.2.1	1. část: Ověření existence nestacionárního chování filtrů	37
3.2.2	2. část: Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace	38
3.2.3	Naměřené parametry	39
3.3	Příprava vzorků	40
3.3.1	1. část: Ověření existence nestacionárního chování filtrů	40
3.3.2	2. část: Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace	40
3.4	Postup měření	41
3.5	Popis a parametry použitých strojů a přístrojů	42
3.5.1	Výroba vzorků - 2. část: Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace ...	42
3.5.2	Testování filtračních vlastností	43
3.6	Pravdivost měření	46
4	VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE	47
4.1.1	1. Část: Ověření existence nestacionárního chování filtrů	47
4.1.2	2. Část - Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace	56
4.1.3	Chyba měření	64
5	ZÁVĚR	68
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:	69
7	SEZNAM PŘÍLOH:	72

1 ÚVOD:

Výrazný nárůst průmyslové výroby a automobilové dopravy vede neustále ke zhoršování životního prostředí. Všichni máme ještě v živé paměti kritický stav životního prostředí v severních Čechách v devadesátých letech, způsobený vypouštěním vysokých hodnot emisí škodlivin. Tato situace vedla ke zpřísnění zákonných požadavků na množství škodlivin vypouštěných do ovzduší z tepláren a dalších zařízení. Aby se situace mohla zlepšit, musel být použit účinný nástroj ke snížení znečištění. Jako velmi účinné se ukázalo použití textilních filtrů [1].

Pod pojmem filtrace průmyslových plynů, rozumíme jejich vyčištění od tuhých znečišťujících látek, což lze jiným, ne zcela přesným termínem, nazvat odprášením. Celosvětové snahy na zpřísnění emisních limitů nutí vyvíjet stále nové druhy filtrů a technologií [2].

Ochrana životního prostředí není jedinou aplikací vzdušné filtrace. Setkáme se s ní v průmyslové výrobě. Ve vápenkách, při zpracování dřeva a kovu a především při tvorbě čistých prostor pro některé technologie, jako je výroba elektroniky aj.

Další oblastí, kde se hojně využívá vzdušné filtrace, je ochrana života a zdraví lidí. Pro příklad stačí uvést potřebu čistých prostor v nemocnicích a laboratořích. V důsledku stále se zvyšujícího počtu lidí s různými alergickými reakcemi je třeba stále kvalitněji filtrovat vzduch v obytných místnostech a uvnitř automobilů [3].

Existují filtry mnoha typů, např. částicové, membránové, tkaninové a další. V této práci bude řešena problematika vláknových filtrů. Cílem studií zabývajících se filtrací je určení závislosti efektivnosti a tlakového spádu. Není problém vyrobit filtrační textílii s efektivitou filtrace 100 %. Výzvou je vyrobit filtr s maximální efektivností při co nejnižším tlakovém spádu. Filtraci můžeme rozdělit na dvě fáze. V první fázi, nazvané statika filtrace, dochází k usazování částic v čistém filtru a strukturní změna neovlivní efektivnost filtru. Tento děj se nazývá stacionární. Filtrace je však děj mnohem složitější. Při dalším usazování prachu dochází ke změnám struktury a následně potom ke změně efektivnosti a tlakového spádu. Tento děj je označován jako kinetika filtrace a dochází k nestacionárnímu chování filtru [4].

Tato práce se zabývá problematikou nestacionární fáze, konkrétně nebezpečím zhoršení filtračních vlastností v průběhu procesu filtrace, kdy dochází uvnitř filtru k sekundárním procesům.

Jak vzniklo téma této práce? Na počátku byl filtr, na kterém byla dlouhou dobu testována efektivita a tlakový spád. Zpočátku měření filtr vykazoval předvídatelné chování, ale po delší době se začaly vyskytovat poklesy v efektivitě. Tato práce si dává za cíl ověřit tyto „náhodně“ zjištěné poklesy a určit parametry filtrační textilie, které na ně mohou mít vliv. Experimentální část byla rozdělena na dvě části. V první části experimentu byly testovány dva komerčně vyráběné typy filtrů: Vpichované rouno zpevněné mřížkou a objemná textilie zpevněná termicky. Jejich výběr byl dán na základě výsledků semestrálních cvičení provedených na katedře netkaných textilií, při kterých se na poklesy přišlo. Na těchto dvou filtrech se měření provádělo do získání dostatečného počtu poklesů efektivity. Pro toto těžko definovatelné chování se hledaly metody, které by toto chování popisovaly. Jako správná se jevila metoda „samoorganizovaného chování“, která se využívá k popisu jevů jako je zemětřesení, laviny, sesuvy půdy, apod. Očekávala se podobnost s uvolňováním prachu a jeho následným průnikem filtrem, s uvolňováním půdy při sesuvech. Pro předpověď těchto jevů se používá „model hromady písku“.

V druhé části experimentu nazvané Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace se vyráběly vzorky vpichované textilie, u kterých se měnily hodnoty plošné hmotnosti a jemnosti vláken a hledaly se souvislosti s poklesem efektivity vlákenného filtru v průběhu filtrace. Testování odlučivosti na syntetický prach se provádělo na přístroji DFT-2.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Základy teorie filtrace

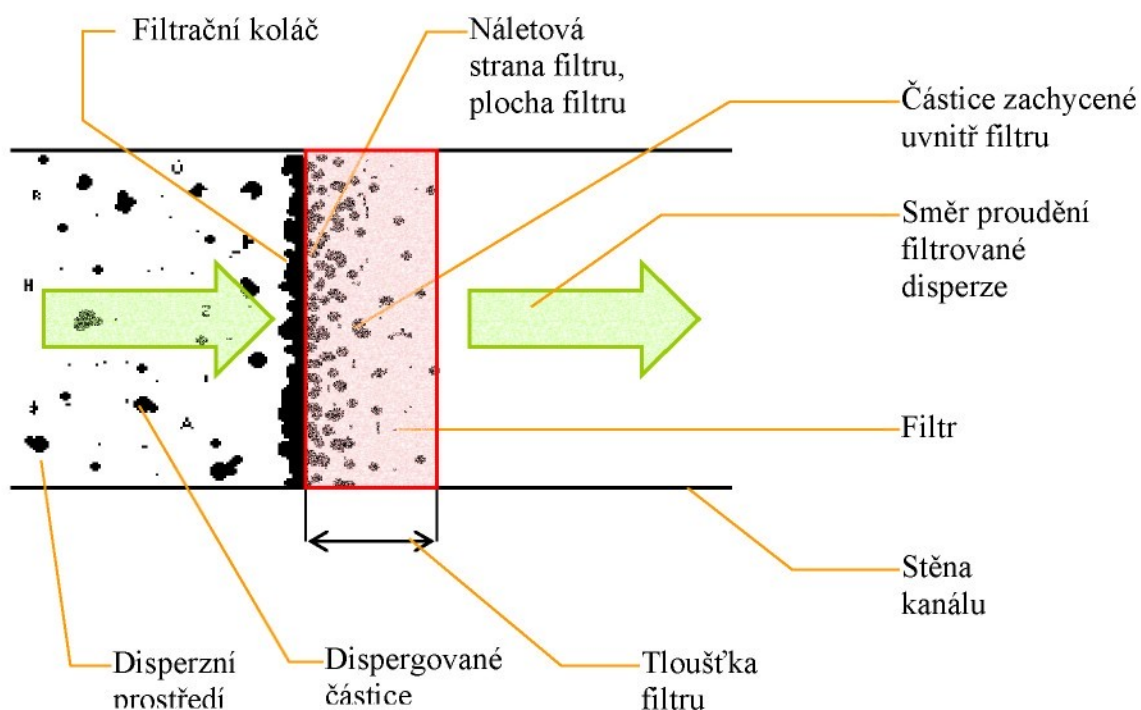
2.1.1 Statika filtrace

Filtraci v širším smyslu možno definovat jako proces dělení dispergovaných částic od disperzního prostředí. Disperzním prostředím může být plyn (nebo směs plynů – nejčastěji to bývá vzduch) nebo kapalina. Podle charakteru disperzního prostředí je proto možno mluvit o filtraci lyosolů nebo aerosolů. Tato práce je omezena na filtraci aerosolů i když pro oba tyto typy koloidních soustav má proces filtrace některé společné rysy [4].

Oddělení dispergovaných částic od disperzního prostředí je možno provést na základě různých principů. Jedním z nejrozšířenějších způsobů je použití porézních látek. Tyto porézní látky mají různou strukturu - vláknitou, pórovitou, zrnitou. Podle struktury dané porézní látky mluvíme o filtraci vláknitými filtry, membránovými filtry [4].

V první fázi nastává usazování v čistém filtru určité struktury, která se popisuje určitým modelem v této fázi filtrace předpokládám, že změna struktury filtru bude tak malá, že se neprojeví ve změně efektivnosti. To znamená v této fázi jde o stacionární děj a efektivnost i tlakový spád nezávisí na čase. Statika filtrace se nezabývá studiem jevů, které nastanou po kontaktu částice s vláknem. Předpokládá se, že efektivnost srážek částic je 100 %, tj. částice, která se dotkne vlákna zůstane zachycena, v dalším procesu filtrace nedojde k jejímu odtržení[4].

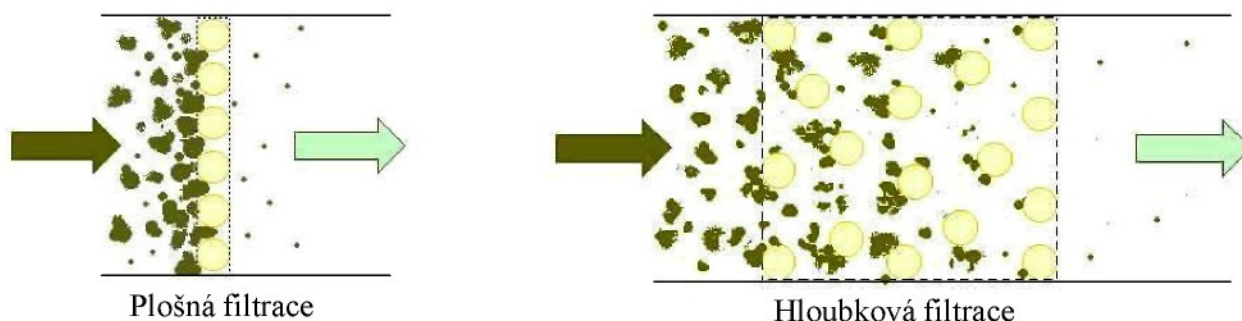
Základní představu procesu filtrace a pojmů, jež se jí týkají, ukazuje obr.1.



Obr.1: Některé základní pojmy týkající se procesu filtrace [3].

2.1.2 Filtrační mechanismy

Filtraci si lze představit, jako proces, kde vstupními proměnnými jsou filtrační charakteristiky a výstupními proměnnými filtrační vlastnosti. Pro získání představy vztahu mezi filtračními vlastnostmi a filtračními charakteristikami je nutné znát mechanismy zachytu částic na povrchu vlákna. Z hlediska mechanismů můžeme filtraci dělit na plošnou a hloubkovou (viz obr.2) [3].



Obr. 2: Schematický pohled na plošnou a hloubkovou filtraci. Vlákná filtru jsou vyjádřena jako válce orientované kolmo ke směru toku filtrované disperze [5].

V případě filtrace plošné je mechanismus velmi jednoduchý. Filtrem je mechanicky zachycena každá částice větší, než prostor mezi vlákny. Efektivita zachytu je tudíž jednoznačně dána distribucí velikostí pórů textilie.

Na první pohled se zdá, že funkce filtru je podobná funkci síta při prosívání. Mezi funkcí filtru a síta však existuje celá řada podstatných rozdílů: Síto zachycuje částice větší než je oko síta se 100% účinností a zachycené částice jsou v přímém kontaktu s velkou oblastí síta vzhledem k rozměrům částice. Pro proces prosívání je rozhodující velikost oka síta a nikoliv tloušťka síta. Dvě stejná síta zařazená za sebou dávají stejný výsledek při prosívání jako síto jediné. Odtud je patrné, že největší význam při prosívání hraje povrch síta (jediná rovina), a proto se prosévání nazývá povrchovou filtrací [6].

Na rozdíl od síta účinnost filtru roste s jeho tloušťkou a žádný filtr není 100% účinný. Nejjednodušší model filtru sestává z jednotlivých vrstev, které jsou nezávisle na sobě obsazeny vláknennou hmotou. Filtr je vysoce účinný i za předpokladu že účinnost samotných vrstev je malá. Například u filtru skládající se z jednoho sta vrstev o účinnosti filtrace 5% je účinnost celého filtru 99.4% [6].

Jev, kdy částice jsou zachycovány uvnitř celého filtru se nazývá hloubková filtrace. Při hloubkové filtraci jsou zachycovány částice, které jsou mnohem menší než jsou charakteristické rozměry mezivláknenných prostor uvnitř filtru.

Hloubkovou filtraci charakterizuje skutečnost, že velikost zachytávaných částic je řádově menší, než velikost prostorů mezi vlákny. Zde se uplatňuje více filtračních mechanismů najednou [6]

2.1.3 Mechanismy hloubkové filtrace

Uvedené mechanismy vyjadřují modelovou představu přiblížení částice k povrchu vlákna. Pro tyto úvahy platí předpoklad, že po kontaktu s vláknem je částice zachycena pomocí Van der Waalsových sil, elektrostatických sil a sil vyvolaných povrchovým napětím. Filtrační mechanismy popisují např. Brown [Brown, 1993] a Pich [Pich, 1964].

Podle obr. 3 můžeme filtrační mechanismy třídit následně:

1) Přímý záchyt

Princip mechanismu přímého záchytu (direct interception) vychází z představy částic pohybujících se shodně s tokem disperzního prostředí (viz.obr.3). Částice je zachycena, jakmile se přiblíží k povrchu vlákna na vzdálenost rovnou jejímu poloměru [4].

2) Setrvačné usazení

Jednotlivé částice v důsledku své setrvačnosti nesledují zakřivení proudnic, ale jsou „vystřeleny“ proti vláknu a usazují se na něm. Je zřejmé, že intenzita tohoto mechanismu roste s rostoucí velikostí částic a rychlostí plynu [4].

3) Difuzní usazení

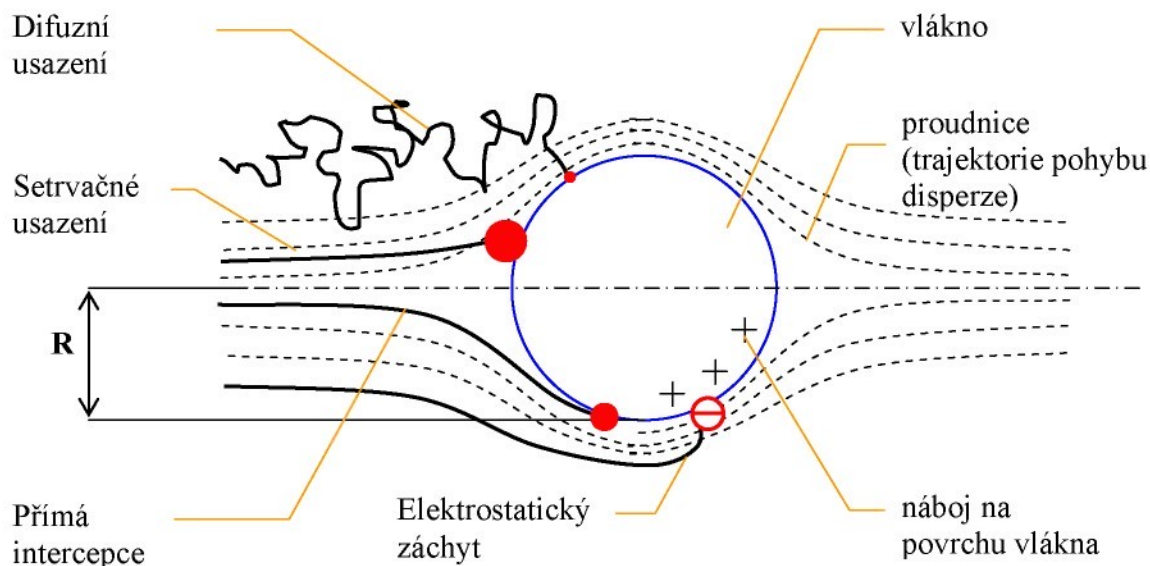
V důsledku Brownova pohybu nesplývají trajektorie částic s proudnicemi plynu, částice difundují z proudu plynu k jednotlivým vláknům a usazují se na nich. S klesající velikostí částic intenzita Brownova pohybu a v důsledku toho účinnost difusního usazování roste [4].

4) Elektrostatické usazení

V důsledku působení přitažlivých sil daných nábojem na povrchu vlákna a zachytávané částice je trajektorie pohybu částice zakřivena směrem k vláknu[4].

5) Gravitační usazování

Jednotlivé částice mají určitou sedimentační rychlost podmíněnou účinky gravitačního pole. V důsledku toho se trajektorie částic odchyľují od proudnic plynu a částice se mohou v důsledku toho odchýlení usadit na vlákně [4].



Obr.3: Schematické vyjádření filtračních mechanismů hloubkové filtrace pro vlákno ve tvaru válce orientovaného kolmo ke směru pohybu filtrované disperze.[3]

2.1.4 Filtrační vlastnosti

Vlastností textilních filtrů je více a uvádějí se podle potřeby použití. Vlastnosti se v průběhu procesu filtrace mění v důsledku zaplňování mezivláknenných prostor částicemi. Tento jev se nazývá kinetika filtrace a působí jako důležitý faktor procesu filtrace. Hlavní filtrační vlastnosti jsou uvedeny v kap. 2.1.4.1 až 2.1.4.3.

2.1.4.1 Efektivita

Efektivita, neboli odlučivost je daná vztahem.

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

kde G_1 je množství disperzního podílu za filtrem, G_2 je celkové množství disperzního podílu a podíl G_1/G_2 je značen jako průnik P . V některých případech se efektivita zjišťuje nepřímo [7].

Pro hodnocení filtru je důležitý fakt, že v důsledku změny struktury filtru v průběhu procesu filtrace se hodnota efektivity mění. To je dáno tím, že částice zachycené na povrchu vlákna se samy stávají filtrem a zvyšují tak jeho činnou plochu.

Jak uvádí Brown [Brown RC, 1993], při malých rychlostech lze změnu efektivitu jednoho vlákna vyjádřit pomocí vztahu:

$$E_s(m) = E_s(0) \cdot (1 + (\lambda \cdot m)) \quad (2)$$

kde $E_s(0)$ je efektivita jednoho vlákna, m je hmotnost nanesených částic vztažená na objem filtračního materiálu a λ je konstanta daná parametry filtrace, filtru a filtrovaných částic. Tento lineární vztah ale neodpovídá chování reálného filtru, kde efektivita roste rychleji při malých hodnotách m a pomaleji při vyšších hodnotách m . Hodnoty efektivitu jsou po určité době buď víceméně konstantní, nebo začnou kolísat, jak je popsáno v kapitole 3. Z toho důvodu je u reálných filtrů měřena buď počáteční efektivita, nebo se hodnoty efektivitu měří opakovaně až do okamžiku, kdy filtr dosáhne zadaného tlakového spádu. Z takto získaných hodnot se střední hodnota vypočítá podle normy EN 779 [EN 779, 1993] váženým průměrem podle vztahu:

$$E_c = \frac{1}{w} \cdot \left(\frac{w_2 \cdot (E_1 + E_2)}{2} + \frac{w_3 \cdot (E_2 + E_3)}{2} + \dots + \frac{w_n \cdot (E_{n-1} + E_n)}{2} \right) \quad (3)$$

kde E_c je střední hodnota efektivitu, w_n je n -tá hodnota množství podaného prachu, E_n je n -tá hodnota efektivitu a w je celkové množství podaného prachu dané součtem w_2 až w_n . Index n značí pořadí opakovaného měření jednoho filtru [7].

2.1.4.2 Tlakový spád:

Tlakový spád, jež bývá někdy označován jako tlaková ztráta, určuje rovnice [7]:

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (4)$$

kde p_1 a p_2 jsou tlaky filtrovaného média před a za filtrem. Vyjadřuje odpor vůči toku vzduchu skrz filtr. Pro seriózní hodnocení tlakového spádu je nutné uvést i rychlost toku vzduchu těsně před filtrem, neboť s jejím růstem roste i tlakový spád (většinou lineárně). Také hodnota tlakového spádu se v průběhu procesu filtrace mění v důsledku zaplňování mezivláknenných prostor zachycenými částicemi. Brown [Brown RC, 1993] uvádí výsledky počítačové simulace i testy reálných filtrů, ze kterých vyplývá zhruba exponenciální závislost tlakového spádu na relativním množství nanesených částic. Při hodnocení reálného filtru se proto uvádí pouze počáteční tlakový spád, kdy filtr ještě neobsahuje zachycené částice [3].

2.1.4.3 Životnost filtru

Životnost filtru je daná dobou, kdy je třeba filtr vyměnit. Z hlediska životnosti známe filtry jednorázové a filtry s čištěním. Pro jednorázové filtry je životnost ovlivněna koncentrací částic ve vzduchu a množstvím částic, které je schopen pojmout do chvíle, kdy je tlaková ztráta příliš vysoká. Norma EN 779 [EN 779, 1993] definuje životnost pomocí jímavosti:

$$J = E_s \cdot m \quad (5)$$

kde J je jímavost filtru, E_s je střední hodnota efektivity a m je množství prachu naneseného na filtr do okamžiku překročení mezního tlakového spádu. Pro některé filtry však může být reálná životnost výrazně nižší v důsledku kinetiky filtrace. Pro filtry s čištěním je životnost dána délkou intervalu mezi čištěním a počtem čištění do okamžiku, kdy pevnost filtru neodpovídá požadavkům procesu filtrace [3].

2.1.5 Charakteristiky filtrace

Jedním z velmi důležitých pohledů na proces filtrace je vztah mezi filtračními charakteristikami a filtračními vlastnostmi. Filtrační charakteristiky jsou vstupní proměnné, které určují průběh procesu filtrace a tím i výsledné filtrační vlastnosti [Pich, 1964].

Obecně lze filtrační charakteristiky dělit do tří skupin na charakteristiky filtračního materiálu, charakteristiky filtrovaných částic a charakteristiky procesu filtrace [3].

2.1.5.1 Charakteristiky filtračního materiálu

Charakteristiky filtračního materiálu lze podle jeho mikroskopických i makroskopických parametrů třídit do následujících bodů:

a) Plocha filtru

Velikost filtrační plochy má výrazný vliv na tlakový spád.

b) Tloušťka filtru

Tento přístup je možný aplikovat zvyšováním počtu vrstev, tedy zvyšováním plošné hmotnosti. Vliv tloušťky filtru na proces filtrace (při konstantní objemové hmotnosti) je popsán v jednoduchém odvození efektivitu hloubkového filtru. Z této úvahy vyplývá, že tloušťka filtru zvyšuje efektivitu zachytu částic, nicméně s přibývajícím tloušťkou se její vliv na zlepšení filtrace zmenšuje [9].

c) Plošná a objemová hmotnost filtru

Jde o velmi jednoduchý způsob zvýšení filtrační účinnosti, který je však zároveň provázen růstem tlakového spádu. Vliv zvýšení zaplnění filtru na jeho tlakový spád je popsán mnoha autory [Brown RC, 1993]. Důležitá je hodnota zaplnění také pro jednotlivé teorie filtrace (často se užívá předpoklad velmi malého zaplnění)[3].

d) Stejnoměrnost materiálu

Hmotová stejnoměrnost má na proces filtrace výrazný vliv. Tvar proudění filtrovaného média je určován minimalizací odporové síly vzniklé protékáním viskózního média porézním prostředím. Z toho důvodu místem s lokálně nižším zaplněním projde v čase větší množství částic, než místem se zaplněním lokálně vyšším. Velké množství problémů s komerčně vyráběnými filtry plyne právě ze zhoršení jejich hmotové stejnoměrnosti [3].

e) Materiál a jeho parametry

Mezi důležité parametry materiálu můžeme zařadit povrchovou interakci s částicemi, elektrické vlastnosti, odolnost vůči negativním vlivům, mechanické charakteristiky apod. Částice jsou na povrchu vlákna drženy pomocí Van der Waalsových sil, elektrostatických sil, případně povrchového napětí [Pich, 1987]. Interakce mezi vlákenným materiálem a filtrovanou částicí určuje míru pevnosti zachycení a udržení částice, která se dostala do těsné blízkosti povrchu vlákna. V případě elektrostatických sil je u vlákenného materiálu důležitá schopnost polarizace a stability udržení náboje [3].

Vnější vlivy, které mohou negativně ovlivnit vlákenný materiál filtru lze rozdělit na chemické (působení kyselin, zásad, oxidačních činidel, vlhkosti apod...) a fyzikální (především působení tepelné energie a záření). Tyto vlivy mohou vlákenný materiál zcela zničit, nebo snížit jeho mechanické vlastnosti tak, že dojde k protržení filtru vlivem toku filtrovaného média. Nebezpečná je zejména kombinace faktorů, například současné působení tepla, kyselého prostředí a kolísání vlhkosti, které může nastat v teplárnách [3].

f) Parametry vláken

Do parametrů vláken zahrnujeme především jejich průměr, tvar průřezu, preparace, mechanické charakteristiky apod...

Oba parametry: průměr vláken i tvar průřezu určují velikost specifického povrchu vlákna, který se vyjadřuje v m^2/g .

Při větším specifickém povrchu vlákna je větší pravděpodobnost interakce mezi vlákenným povrchem a zachytávanou částicí. Kromě toho větší specifický povrch vláken ve filtru má 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 mechanismech [3].

Preparace má vliv na interakci mezi zachytávanou částicí a povrchem vlákna, tedy na schopnost zachytit a udržet částici dopadnuvší na povrch vlákna. Pro antibakteriální filtry je obvykle také používána preparace hubící bakterie, nebo alespoň zastavující jejich růst [3].

Mechanické charakteristiky jsou důležité zejména u filtrů silně namáhaných, například hadicové filtry s pulzním čištěním. Modul pružnosti vlákna spolu s jeho obloučkovitostí má také vliv na schopnost udržet zachycenou částici, neboť se podílí na zachování geometrické stability struktury filtru v průběhu namáhání vlivem proudění viskozního média [3].

g) Struktura filtru

Z hlediska struktury je důležitá zejména orientace vláken v prostoru, gradient hustoty, geometrická stabilita apod... Většina teoretických modelů vychází z představy válcového vlákna umístěného kolmo ke směru proudění filtrované disperze (viz obr. 3.). Nicméně již dříve byla odvozena předpověď tlakového spádu filtru majícího vlákna orientována rovnoběžně se směrem proudění. Tlakový spád takového filtru by měl být poloviční [6].

Gradient hustoty vlákenného materiálu je pro proces filtrace velmi důležitý, neboť umožňuje výrazně zvýšit životnost filtrační soustavy. Gradientem hustoty filtru je míněna lokální změna jeho zaplnění, přičemž zaplnění je definováno jako podíl objemu vláken v prostoru tvořeném vlákny a vzduchem. Pokud je pro filtraci většího množství částic použit jeden filtr s konstantním zaplněním, pak (má-li dostatečnou filtrační účinnost) dojde na jeho povrchu k tvorbě tzv. „filtračního koláče“, což je neprodyšná vrstva zachycených částic. V případě filtru s protiproudým čištěním je to tak správné a žádoucí, neboť pomocí zpětného tlaku lze vzniklý filtrační koláč odstranit. Jednorázový filtr však musíme vyměnit, aniž by došlo k plnému využití jeho objemu.

Orientace vláken a způsob jejich propojení má také vliv na geometrickou stabilitu filtru a tím na schopnosti filtrovat a udržet již zachycené částice. Vlivem proudění viskózního média je na vlákna vyvíjen tlak, který může způsobit jejich posuv a tím i změnu rychlostního pole uvnitř filtru a také uvolnění již zachycených částic [3].

2.1.6 Charakteristiky filtrovaných částic:

a) Velikost částic disperzního podílu

Velikost zachytávaných částic je hlavním faktorem určujícím typ použitého filtru a parametry procesu filtrace. Jak uvádí Brown [Brown, 1994], je z pohledu efektivity filtrace nejkritičtější velikost filtrovaných částic od 0,1 do 1 μm . Pro částice větší, než 1 μm platí, že s růstem velikosti částic roste i efektivita zachytu. Pro částice menší, než 0,1 μm se efektivita zachytu zvyšuje se zmenšováním zachytávaných částic. S přibývajícím rychlostí filtrace se minimum efektivity posunuje směrem k nižším hodnotám velikosti částic.

b) Distribuce velikosti částic disperzního podílu

Obecně lze říci, že většina teoretických modelů pro popis procesu filtrace a konstrukce filtrů počítá buď s filtrací monodisperzních částic, nebo částic s úzkou distribuční křivkou velikostí. Nezabýváme-li se však filtrací částic určitého druhu, musíme počítat s velmi širokou distribuční křivkou velikosti částic. Jak vyplývá z obr.4, pohybují se velikosti částic ve vzduchu od 0,001 do 100 μm . Z toho důvodu je při tvorbě čistých prostor výhodné používat více různých filtrů. Při průchodu vlákněným filtrem dochází k separaci částic podle velikosti. V závislosti na filtrační rychlosti se nejprve oddělují částice velké, respektive malé, čímž se distribuční křivka zužuje. Použijeme-li proto soustavu filtrů, můžeme na konci této soustavy použít filtr přesně navržený pro filtraci částic s nejmenší efektivitou zachytu. Takový filtr je obvykle drahý a za pomoci soustavy levnějších předfiltrů se mnohonásobně zvýší jeho životnost [3].

c) Koncentrace částic

Koncentrace částic ve vzduchu má zásadní vliv na sekundární jevy procesu filtrace, kdy částice zaplňující mezivlákněné prostory mění výrazně filtrační vlastnosti. Je jasné, že s přibývajícím koncentrací částic ve vzduchu se zvyšuje i míra růstu tlakového spádu a efektivita. Jinými slovy koncentrace částic určuje životnosti filtru. Kromě toho při velké koncentraci částic dochází k jejich samovolné koagulaci a tím k dalšímu navýšení efektivita filtrace. V případě průmyslové filtrace částic s velkou koncentrací je velmi výhodné použití filtrů čištěných zpětným protlakem [3].

d) Tvar a povrch částic

Částice lze podle tvaru zhruba třídit na izometrické (tvar aproximovatelný koulí), destičkovité a vláknité [10]. Teoretické modely filtrace obvykle aproximují tvar částice koulí, případně vláknem [Brown, 1993]. Obecně lze říci, že částice složitějšího tvaru se budou ve vlákněné soustavě zachytávat snadněji, než kulovité. Tato skutečnost je dána jednak lepší možností mechanického zaklesnutí, jednak větším specifickým povrchem částic.

e) Objemová hmotnost částice

S rostoucí objemovou hmotností roste efektivita setrvačného a gravitačního usazení, nemění se efektivita intercepce a klesá efektivita difuzního a elektrostatického zachytu. Samotný filtrační proces není nikdy dán pouze jedním filtračním mechanismem. Míra důležitosti jednotlivých mechanismů závisí na konkrétních charakteristikách procesu filtrace. Důležitým faktorem je například rychlost filtrace [3].

f) Elektrické vlastnosti

Obecně lze říci, že s rostoucí velikostí elektrického náboje částic roste i efektivita filtrace. Na základě Coulombova zákona lze odvodit přitažlivou sílu mezi nabitou částicí a nenabitým (resp. nabitým) vláknem. [3].

2.1.7 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 zachytu, elektrostatického zachytu a setrvačného usazení. Hodnota zachytu přímou intercepce se nemění (zanedbáme-li vliv turbulencí za vláknem). Přesný vztah mezi rychlostí filtrace a celkovou efektivitou zachytu je složitý. Nicméně s jistou dávkou zjednodušení lze říci, že pro velké částice s velkou měrnou hmotností je vhodnější větší filtrační rychlost, zatímco pro malé částice (průměry řádově mikrometry a menší) efektivita jejich zachytu s rostoucí rychlostí filtrace klesá. V tomto faktu je skryta jedna z výhod skládaných filtru [3].

b) Viskozita protékajícího média.

Při filtraci vzduchu nemá jeho viskozita takový význam, jako u kapalinové filtrace, nicméně s rostoucí viskozitou vzduchu roste i tlakový spád filtru a zhoršuje se jeho odlučivost. Ze vztahů uvedených Brownem [Brown, 1993] lze odvodit, že efektivita

záchytu setrvačným usazením pro jedno vlákno je nepřímo úměrná viskozitě prostředí. Tlakový spád je viskozitě přímo úměrný. Viskozita roste mimo jiné s teplotou, kdy při teplotě 20 °C je kinematická viskozita vzduchu $15,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$, zatímco při teplotě 160 °C se zvýší na $30,46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ – tedy dvojnásobně [3].

c) Teplota, tlak, vlhkost

Teplota prostředí působí na filtrační proces z více hledisek:

Prvním hlediskem je použitelnost filtračního materiálu vzhledem k jeho odolnosti vůči teplu, záření a působení chemikálií. Druhým hlediskem je fakt, že se změnou teploty dochází ke změně viskozity prostředí a tím i tlakového spádu a efektivity. Za třetí má teplota vliv na mechanismus záchytu difuzí. Z rovnic uvedených v Brownovi [Brown, 1993] lze vysledovat, že efektivita záchytu jednoho vlákna difuzním mechanismem je úměrná teplotě prostředí umocněné na dvě třetiny.

Vlhkost prostředí je také důležitá z hlediska odolnosti filtračního materiálu vůči prostředí a kromě toho má také zcela zásadní vliv na stabilitu náboje na povrchu vláken.

Tlak vzdušného prostředí před filtrem má většinou velikost atmosférického tlaku, ke kterému je třeba v určitých případech připočítat hodnotu tlakového spádu filtru. To činíme v těch málo případech, kdy ventilátor pohánějící vzduch je umístěn před filtrem. Lze však též filtrovat při tlaku nižším, než je tlak barometrický [3].

2.2 Konstrukční provedení odlučovacích zařízení

2.2.1 Odlučovače mechanické suché

Nejrozšířenějším typem suchých mechanických odlučovačů jsou takzvané odlučovače vírové nazývané také cyklóny nebo cyklonové odlučovače. Vírový odlučovač sestává z horní válcové části a dolní kuželové části. Znečištěný plyn vstupuje tangenciálně do horní části válce, kde je uveden různým tvarem vstupní části do šroubovitého pohybu směrem dolů do kužele. Působením odstředivých sil se částice prachu dostanou na stěnu cyklonu, tím se zabrzdí jejich pohyb a částice klesnou do kuželové části. V kuželové části se změni směr proudění plynu směrem vzhůru kolem osy cyklonu a vyčištěný plyn je odváděn trubicí z horní části odlučovače [2].

2.2.2 Odlučovače mechanické mokré

Principem je promývání znečištěného plynu vodou, která zachytí prachové částice a vzniklý kal se ze spodní části odlučovače odvádí. Jedním z několika typů mokrých odlučovačů jsou scrubery, které se v současné době uplatňují hlavně jako součásti odsiřovacích zařízení [2].

2.2.3 Odlučovače elektrické

Principem je využití elektrických vlastností prachových částic a elektrického pole. Znečištěný plyn proudí mezi systémem usazovacích a vysokonapěťových elektrod, působením elektrického pole se částice prachu nabíjí a usazují se na usazovacích elektrodách [2].

2.2.4 Látkové filtry

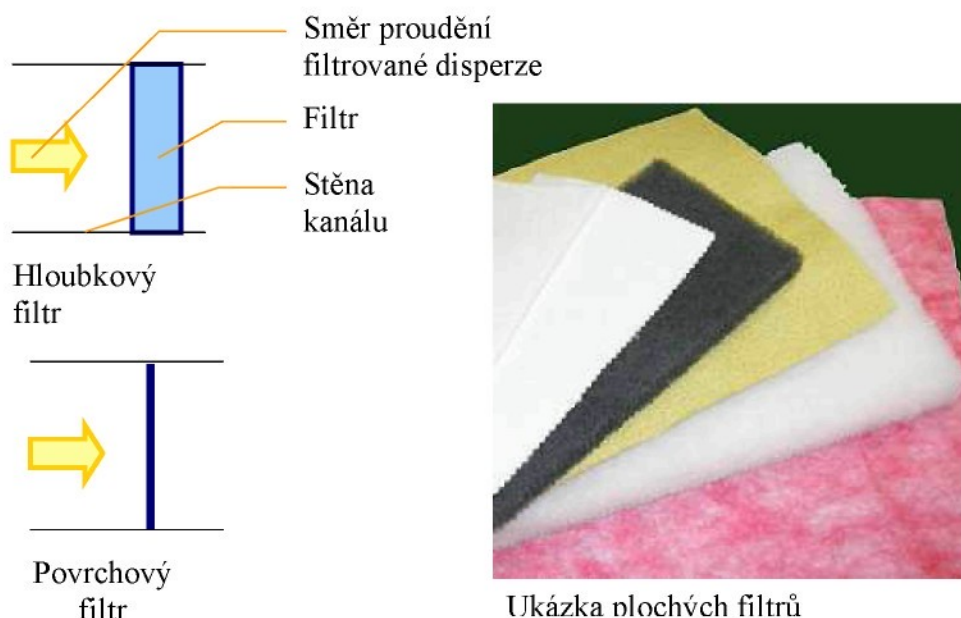
Plyn s prachem prochází látkou, která prachové částice zachytí.

Při konstrukci průmyslových látkových filtrů je v zásadě třeba řešit dva problémy:

- a) Vzhledem k malé prostupné rychlosti plynů je nutné vtěsnat do filtrační komory maximální množství čtverečních metrů látky, přičemž musí být zajištěna nejvyšší těsnost mezi spoji.
- b) Po určité provozní době se na filtrační látku usadí vrstvička prachu, kterou nutno odstranit-látku nutno regenerovat. Regenerace látky se dá řešit řadou způsobů např.odklepem a profukem [11].

2.3 Dělení podle mechanismu filtrace na filtry povrchové a hloubkové

Povrchové filtry pracují na principu síťového mechanismu, kdy jsou zachyceny částice větší, než póry mezi vlákny. V případě hloubkových filtrů lze zachytávat i částice řádově menší, než mezivláknenné prostory.



Obr. 4: Schéma a ukázka plochého filtru.[5]

2.4 Testování filtrů

Testy filtračních vlastností se provádějí z důvodu hodnocení vlastností reálných filtrů, nebo z důvodu ověřování teoretických předpokladů na modelových, nebo reálných filtrech. Existuje množství druhů testů pro ověření teoretických předpokladů, kdy se například pro maximální zjednodušení používají monodisperzní aerosoly [Brown, 1993], lze také použít testy normované určené k hodnocení reálných filtrů. Monodisperzními aerosoly jsou míněny aerosoly charakterizované jednou velikostí částic (rozdíl ve velikostech jednotlivých částic je tak malý, že jej lze zanedbat).

Při testování filtračních vlastností je velmi důležité nastavení charakteristik procesu filtrace, testovaných zachytávaných částic a typu filtru z hlediska jeho konstrukce. Vůbec nejdůležitějšími charakteristikami jsou: velikost, koncentrace a typ zachytávaných částic, rychlost filtrace a kinetika filtrace.

2.4.1 Test syntetickým prachem

Při tomto druhu testu je použit prášek z rozemletých anorganických částic, případně jeho směs s dalšími částicemi. Nejznámější je prach typu ASHRAE tvořený směsí syntetického prachu, bavlněných vláken a sazí, jehož parametry odpovídají prachu nalézajícího se v okolí arizonských cest [12]. Tento test se obvykle používá pro hrubší filtry, kdy není zjišťován záchyt jednotlivých velikostí částic (proto není velikost

částic uváděna). Důraz je brán spíše na kinetiku filtrace, kdy jsou sledovány hodnoty efektivity zachytu, tlakového spádu a jímavosti v závislosti na množství podaného prachu.

2.4.2 Test atmosférickým prachem

Principem testu je filtrace běžného vzduchu testovaným filtrem, kdy se před a za filtrem zjišťuje množství částic prachu rozptýlených ve vzduchu. Analýza vzduchu se provádí opacitometricky, tedy změnou jasů srovnávacího bílého filtru [7].

Uvedený test je dnes opouštěn z důvodu rozdílné kvality vzduchu používaného pro měření. V normě EN 779 byl nahrazen testem olejovým aerosolem [13].

2.4.3 Test olejovým aerosolem

Pro tento test jsou použity kapalně olejovité chemikálie, ze kterých nejznámější jsou dioktylfthalát (DOP), diethylhexylsebacate (DEHS) a parafinový olej. Olejové částice jsou rozprašeny a sušeny dvěma způsoby. Je-li chemikálie rozprašena ve vzduchu zastudena (tryska Laskin), vzniklé částice jsou větší s širší distribuční křivkou velikostí, je-li aerosol vysušen za tepla, vznikají částice o velikosti 0,1 až 0,3 μm . Vzniklé kulovité částice se analyzují laserovým počítačem částic, nebo spektrofotometricky. Částice parafinového oleje jsou analyzovány fotometrem měřícím rozptýl světla. Test umožňuje kvalitní zjišťování efektivity zachytu jednotlivých velikostí částic (kromě částic parafinového oleje). Z důvodu malé polarizovatelnosti částic je také vhodný pro případy, kdy nechceme, aby výsledky testu byly příliš ovlivněny elektrostatickým nábojem filtru [14]. Metoda je spíše vhodná pro jemné a vysoce účinné HEPA (high efficiency particulate air filter) a ULPA (ultra low penetration air filter) filtry [3].

2.4.4 Test aerosolem NaCl

Částice jsou získány rozprašením a vysušením vodného roztoku soli NaCl. Vzniklé heterodisperzní částice se střední hodnotou velikosti 0,65 μm jsou analyzovány spektrofotometricky. Tato metoda umožňuje rychle měřit počáteční hodnotu tlakového spádu a efektivity [15]. Je také vhodná pro jemné a vysoce účinné filtry.

2.4.5 Methylen blue test

Roztok methylenové modři je rozprášen a vysušen. Vzniklé částice o střední hodnotě velikosti zabarvují kontrolní filtry před a za testovaným filtrem a jsou hodnoceny porovnáváním intenzity modré barvy. Test umožňuje relativně přesné hodnocení efektivity při průniku částic v rozsahu od 0,01 do 10 %. Zejména vzhledem k úzkému rozsahu je tato metoda nahrazována testem aerosolem NaCl [15].

Nejhrubší filtry tříd G1 až G4 jsou testovány syntetickým prachem typu ASHRAE a výstupními vlastnostmi jsou: počáteční tlakový spád, průměrná efektivita zachytu při tlakovém spádu 150 a 250 Pa, průběh hodnot tlakového spádu a efektivity během procesu zanášení a jímavost. Jemnější filtry tříd F5 až F9 jsou testovány olejovým aerosolem (buď DOP test, nebo DEHS generované tryskou Laskin). Zjišťované vlastnosti jsou: tlakový spád při různých filtračních rychlostech, počáteční efektivita filtru v závislosti na velikosti zachytávaných částic, střední hodnota efektivita zachytu částic velikosti 0,4 při tlakovém spádu 250, 350 450 Pa, průběh hodnot tlakového spádu a efektivity během procesu zanášení a jímavost. Nejjemnější filtry tříd H10 až U17 jsou testovány olejovým aerosolem (DOP, nebo DEHS), kdy je nejprve zjištěna velikost částic, které nejvíce pronikají filtrem a efektivita těchto částic je lokálně testována. [3]

2.5 Kinetika procesu filtrace

Proces filtrace je o mnoho složitější než jak bylo popsáno v kapitole Statika filtrace. Především statika předpokládá, že částice, která se dotkla vlákna je a zůstane zachycena i když proces filtrace pokračuje. Ve skutečnosti může být částice, která se již usadila v dalším procesu filtrace odtržena od vlákna a filtrem projít. V důsledku usazení jednotlivých částic ve filtru dochází ke strukturním změnám, efektivnost i tlakový spád filtru se během filtrace mění, filtr se zanáší. Ve filtru dochází k tzv. "sekundárním jevům", usazování částic jedné na druhou – vytváření dendritů, slévání a roztékání kapek na povrchu vláken, kapilární jevy, ztráta elektrického náboje filtru.

Kinetika filtrace studuje efektivnost srážek částic s vlákny a v souvislosti s tím adhezi částic k vláknům, pochody na povrchu vláken a obecně sekundární procesy ve

filtraci, změny efektivity a tlakového spádu během filtračního procesu a zanášení filtrů [4].

Dále statika filtrace předpokládá, že nastává usazování na čistém filtru idealizované struktury a nebere v úvahu vliv usazených částic na další průběh procesu. Ve skutečnosti v důsledku usazených částic dochází ke změnám ve struktuře a v důsledku toho se oba základní parametry filtrace – filtrační účinnost a tlakový spád během filtrace mění. Změny těchto parametrů jsou pro praktické použití filtrů velmi důležité, pro jejich studium byl zaveden pojem“sekundární procesy“ [4].

2.5.1 Jednotlivé sekundární procesy:

2.5.1.1 Usazování částic jedné na druhou a zanášení filtru

Usazené částice nejsou na povrchu vlákna rozděleny rovnoměrně, nýbrž se usazují na sebe a vytvářejí dendrity, čímž se mění struktura filtru. Zpočátku dochází k zvyšování efektivity a mírnému růstu tlakového spádu vlivem růstu účinné plochy filtru. Později se hodnota efektivity filtru stabilizuje a dochází k výraznému růstu tlakového spádu, neboť dochází k ucpávání mezivláknenných prostor[4].

2.5.1.2 Kapilární jevy

Proces, který doprovází kapalinovou filtraci, ale může se vyskytnout i u filtrace suché v případě filtrace kapalného aerosolu. Zahrnuje roztékání a spojování kapek, tvorbu kapalinových vrstev v místě kontaktu vláken, kondenzaci vodních par a spojování sousedních vláken. Tyto procesy obvykle vedou ke snížení filtrační efektivity [4].

2.5.1.3 Ztráta elektrostatického náboje

Elektrické náboje na částicích nebo vláknech mají obvykle pozitivní vliv na filtraci, tj.zvyšují účinnost[4].

2.5.1.4 Destrukce filtru

K destrukci dochází při prudké a silné změně struktury filtru v důsledku čehož se filtr stává nepoužitelným. Takový případ nastává při botnutí vláken, při silných chemických reakcích mezi částicemi a vlákny, silným zvýšením teploty.[4]

2.5.1.5 Zanášení filtrů

V důsledku zanášení se mění struktura filtru popřípadě se na původním filtru vytváří nová filtrační vrstva, takže účinnost i tlakový spád se mění.

Změna tlakového spádu v důsledku zanášení závisí na těchto faktorech [4]:

a) Fáze částic

Při filtraci kapalných aerosolů se tlakový spád mění méně než při filtraci pevných částic, což souvisí s odlišným chováním částic po jejich kontaktu s vlákny [4].

b) Velikost částic

Obvykle jemnější částice působí vyšší tlakový spád než částice větší. Důležitou roli hrají "hloubky průniku" částic do filtru [4].

c) Struktura filtru

Struktura filtru v některých případech rozhoduje zda se částice usazují uvnitř filtru nebo na jeho povrchu, což se projeví odlišným způsobem ve změně tlakového spádu [4].

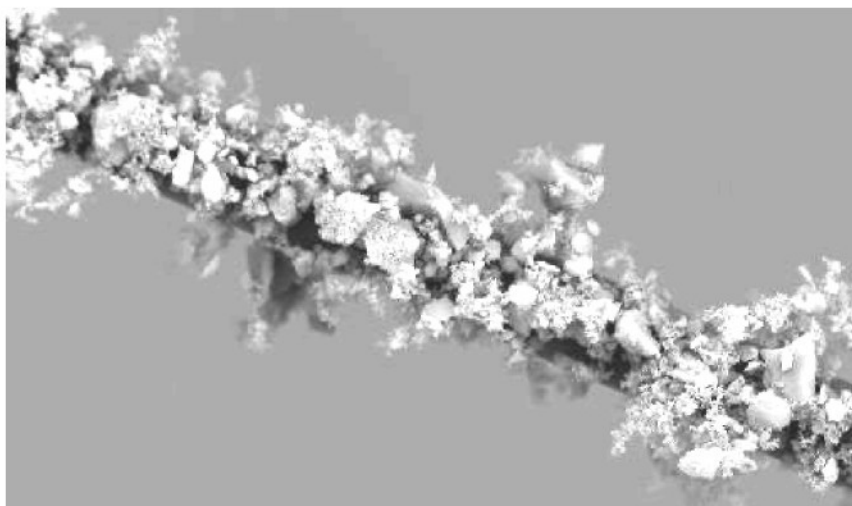
d) Množství zachyceného aerosolu

Obvykle se vztahuje na plošnou jednotku filtru a jsou měřeny závislosti $\Delta p = f(z)$, $z = \frac{m}{A}$, kde m je váha aerosolu usazeného na filtru, A plocha filtru. Tuto závislost nazýváme „zanášecí charakteristikou“ a lze rozlišit dvě oblasti.

V první oblasti je charakter změny tlakového spádu různý (tlakový spád se téměř nemění nebo prudce roste). Ve druhé oblasti tlakový spád se zanášením roste více méně lineárně. Lineární zanášecí charakteristiky vykazují hlavně hrubé frakce, zatímco pro jemnější frakce se vyskytují exponenciální nebo jiné závislosti. Lineární charakteristiku vykazují membránové filtry a zanášení nazýváme plošným. U vláknitých filtrů dochází nejprve k „objemovému zanášení“, tj. částice se nejprve usazují uvnitř filtru takže poréznost filtru klesá a jeho tlakový spád roste [4].

2.5.1.6 Uvolňování zachycených částic

Podle Picha [Pich, 1964] se filtrované částice zachytávají na vlákno i samy na sebe a tvoří rostoucí dendrity. Dendritem míníme objekt velmi nepravidelného rozvětveného tvaru. Ukázka vlákna se zachycenými částicemi je na obr. 6. Je možné, že po překročení určité kritické velikosti dendritu dojde k uvolnění celého dendritu, nebo jeho části. To se projeví snížením efektivity filtru. Lze očekávat, že tento jev souvisí zejména s rychlostí proudění vzduchu filtrem, povrchem vláken, velikostí mezivláknenných prostor, charakteristikami filtrovaných částic a dalšími parametry [16]. Vysvětlení tohoto jevu může poskytnout model samoorganizovaného kritického chování [3].



Obr.5: Mikroskopický snímek vlákna s nánosem syntetického zkušebního prachu tvořícího dendrity. Průměr vlákna 24 μm , materiál PET. Syntetický zkušební prach podle normy EN 779.[16]

2.6 Princip samoorganizovaného kritického chování systému

Základ samoorganizovaného kritického chování byl navržen roku 1987 Turcotte [Turcotte, 1999] pro vysvětlení některých projevů tehdy navržených lineárních automatů.

Principem tohoto chování je opakované uvádění rozsáhlého systému do nestabilního stavu, kdy se systém skokem samovolně stabilizuje. Přechod systému do stabilního stavu je obvykle provázen jevem nazývaným „lavina“ [18]. Lavinou míníme buď změnu, která nastává uvnitř systému, nebo projev systému vůči jeho okolí. Velikost laviny má charakter náhodné veličiny a lze ji popsat statisticky, například pomocí histogramu. Důležitá je velikost systému, ideálně by se měla blížit nekonečnu. Jedna z definic samoorganizovaného kritického chování říká: „Systém se nachází v samoorganizovaném kritickém stavu, když výsledky měření vlastností systému kolísají kolem určitého stabilního stavu. Hodnoty vstupu systému jsou konstantní a hodnoty výstupu systému lze popsat pomocí závislosti četnosti na velikosti laviny“ [17]. Tato závislost je v logaritmických souřadnicích lineární.

Tyto modely lze použít k popisu některých nebezpečných jevů probíhajících v přírodě a mezi lidmi. S jejich pomocí lze modelovat výskyt takových událostí, jako jsou: lesní požáry, zemětřesení, laviny, epidemie nemocí, války i propady na burze. Existuje množství modelů majících charakter samoorganizovaného kritického chování. Jsou to například: Model hromady písku (sandpile model), model klouzajících bloků (slider-block model), model lesních požárů (forest-fire model), hra life a jiné. Pro využití v oblasti filtrace byl námi vybrán model hromady písku, jehož princip je dané problematice nejbližší [18].

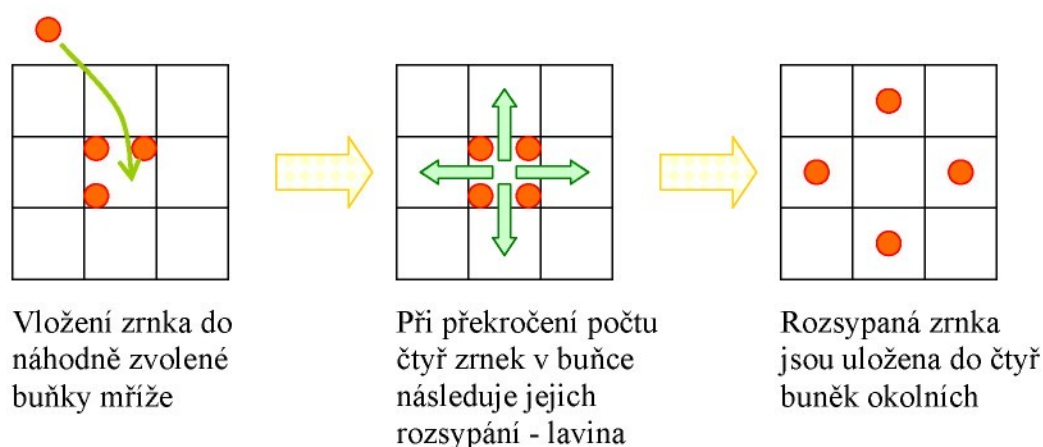
2.6.1 Model hromady písku

Princip:

Příkladem samoorganizovaného kritického chování je model hromady písku. Vychází z představy hromady písku na rovné desce stolu. V daných časových intervalech je do libovolných míst hromady opakovaně přidáno zrno písku. Po určité době se na některém místě vlivem gravitace přidané zrno uvolní, posune se směrem dolů a cestou může začít strhávat zrnka ostatní. To je jeden způsob definování laviny.

Při opakování kroků přidání zrnka na hromadu tak časem dochází k samovolné redistribuci zrněk na ploše hromady. Během redistribucí některá zrnka přepadnou přes okraj stolu a to je druhý způsob definice lavin. Uvedenou jednoduchou úvahu lze vyjádřit dvourozměrným modelem. Jeho princip je popsán na obr. 7 a 8.

Základem tohoto modelu je čtvercová mříž tvořená jednotlivými buňkami. V jednom kroku simulace je náhodně zvolena buňka mříže a do ní se umístí „zrnko písku“. Hodnota buňky tak vzroste o hodnotu jedna (viz obr. 7) [18]



Obr. 6: Základní mechanismus redistribuce zrněk v buňce po překročení jejich kritického množství.[3]

Kroky se opakují a v okamžiku, kdy jedna z buněk obsahuje čtyři zrnka, následuje jejich přemístění do čtyř okolních buněk. Toto přemístění bývá nazýváno rozsypaním. Okolními buňkami rozumíme čtyři buňky přiléhající ku zkoumané buňce. V případě, kdy sousední buňka obsahuje před rozsypaním tři zrnka, je i ona nyní naplněna a následuje její rozsypaní. Tato rozsypaní se v rámci jednoho kroku opakují až do té doby, kdy žádná buňka neobsahuje čtyři zrnka. Pak následuje další krok. Je-li buňka obsahující čtyři zrnka umístěna na okraji pole, dochází při rozsypaní k tzv. přepadu, kdy jedno, nebo dvě zrnka z pole mizí. Lavinou (neboli velikostí stabilizace systému) nazýváme buď počet rozsypaní v jednom kroku, nebo počet přepadlých zrněk v jednom kroku (viz obr. 8) [16].

Výstupem takového modelu po provedení mnoha kroků simulace je relativní četnost velikostí lavin. Při předpokladu nekonečně velkého modelu platí vztah:

$$N = c \cdot T^{-\alpha}, \quad (7)$$

kde $\alpha \approx 1$, N je počet lavin, T je velikost lavin a c je konstanta.

Vyjádřeno jinými slovy: Sestrojíme-li histogram velikostí lavin a převedeme-li obě osy do logaritmického měřítka, obdržíme přímku se směrnici jedna. Tento vztah platí pro velké systémy při vykonání dostatečně velkého počtu kroků.

Princip modelu hromady písku v podstatě odpovídá představě postupného růstu a následného uvolnění dendritu.[16]

<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table> Počát. stav	1	2	3	1	2	1	2	3	2	1	3	2	1	1	1	1	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table> Krok 1	1	3	3	1	2	1	2	3	2	1	3	2	1	1	1	1	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>2</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table> Krok 2	1	3	3	1	2	1	2	3	2	1	4	2	1	1	1	1	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>3*</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>2*</td><td>0*</td><td>3*</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2*</td><td>1</td></tr></table> rozsypání 1	1	3	3	1	2	1	3*	3	2	2*	0*	3*	1	1	2*	1	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> Krok 3	1	3	3	1	2	2	3	3	2	2	0	3	1	1	2	1
1	2	3	1																																																																																	
2	1	2	3																																																																																	
2	1	3	2																																																																																	
1	1	1	1																																																																																	
1	3	3	1																																																																																	
2	1	2	3																																																																																	
2	1	3	2																																																																																	
1	1	1	1																																																																																	
1	3	3	1																																																																																	
2	1	2	3																																																																																	
2	1	4	2																																																																																	
1	1	1	1																																																																																	
1	3	3	1																																																																																	
2	1	3*	3																																																																																	
2	2*	0*	3*																																																																																	
1	1	2*	1																																																																																	
1	3	3	1																																																																																	
2	2	3	3																																																																																	
2	2	0	3																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
<table><tr><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> Krok 4	2	3	3	1	2	2	3	3	2	2	0	3	1	1	2	1	<table><tr><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> Krok 5	2	3	3	1	2	2	4	3	2	2	0	3	1	1	2	1	<table><tr><td>2</td><td>3</td><td>4*</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>3*</td><td>0*</td><td>4*</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1*</td><td>3</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> rozsypání 1	2	3	4*	1	2	3*	0*	4*	2	2	1*	3	1	1	2	1	<table><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>2*</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>1*</td><td>0*</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>4*</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> rozsypání 2 + přepad 1	2	3	4	2*	2	3	1*	0*	2	2	1	4*	1	1	2	1	<table><tr><td>2</td><td>4*</td><td>0*</td><td>3*</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>2*</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> rozsypání 3 + přepad 2	2	4*	0*	3*	2	3	2*	0	2	2	1	4	1	1	2	1
2	3	3	1																																																																																	
2	2	3	3																																																																																	
2	2	0	3																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
2	3	3	1																																																																																	
2	2	4	3																																																																																	
2	2	0	3																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
2	3	4*	1																																																																																	
2	3*	0*	4*																																																																																	
2	2	1*	3																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
2	3	4	2*																																																																																	
2	3	1*	0*																																																																																	
2	2	1	4*																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
2	4*	0*	3*																																																																																	
2	3	2*	0																																																																																	
2	2	1	4																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
<table><tr><td>3*</td><td>0*</td><td>1*</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>4*</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> rozsypání 4 + přepad 3	3*	0*	1*	3	2	4*	2	0	2	2	1	4	1	1	2	1	<table><tr><td>3</td><td>1*</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>3*</td><td>0*</td><td>3*</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>3*</td><td>1</td><td>4</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table> rozsypání 5	3	1*	1	3	3*	0*	3*	0	2	3*	1	4	1	1	2	1	<table><tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>3</td><td>1*</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>2*</td><td>0*</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2*</td></tr></table> rozsypání 6 + přepad 4	3	1	1	3	3	0	3	1*	2	3	2*	0*	1	1	2	2*	<table><tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr></table> Krok 6	3	1	1	3	3	0	3	1	2	4	2	0	1	1	2	2	<table><tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>3</td><td>1*</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>3*</td><td>0*</td><td>3*</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>2*</td><td>2</td><td>2</td></tr></table> rozsypání 1	3	1	1	3	3	1*	3	1	3*	0*	3*	0	1	2*	2	2
3*	0*	1*	3																																																																																	
2	4*	2	0																																																																																	
2	2	1	4																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
3	1*	1	3																																																																																	
3*	0*	3*	0																																																																																	
2	3*	1	4																																																																																	
1	1	2	1																																																																																	
3	1	1	3																																																																																	
3	0	3	1*																																																																																	
2	3	2*	0*																																																																																	
1	1	2	2*																																																																																	
3	1	1	3																																																																																	
3	0	3	1																																																																																	
2	4	2	0																																																																																	
1	1	2	2																																																																																	
3	1	1	3																																																																																	
3	1*	3	1																																																																																	
3*	0*	3*	0																																																																																	
1	2*	2	2																																																																																	

Obr.7: Ukázka modelu hromady písku pro čtvercovou mříž ze 16 buněk. Čísla v jednotlivých polích představují počty zrněk písku. Šedé pole značí přidání zrnka, symbol * značí rozsypání (redistribuci) a symbol * značí přepad zrněk. Počet přepadů je zároveň počtem přepadlých zrněk. Příkladem je lavina v pátém kroku, jejíž velikost je buď 6 (redistribucí), nebo 4 (přepadlých zrněk).[16]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Úvod do experimentu

Efektivita filtrace určuje jaké množství podávaného prachu je filtr schopen zachytit. Tedy jak bude čistý vzduch (plyn) prošlý tímto filtrem. Při postupném zanášení filtru se Efektivita filtru zvyšuje. Je to způsobené tím, že zanesené částice prachu začnou fungovat také jako filtr a budou zachytávat dále podávané částice prachu. V důsledku zanášení filtru prachem se zvyšuje tlakový spád. Při dlouhodobém měření Efektivity na jednom filtru však bylo zjištěno, že po určité době zanášení filtru efektivita začne kolísat. Dochází k výrazným poklesům, které mohou mít v praxi vliv na čistotu vzduchu. Tento jev se nazývá Nestacionarita filtrace.

Cílem experimentu bylo zkoumání tohoto jevu. Šlo o zjištění okolností, za kterých k jevu dochází, jestli kolísá i tlakový spád, u jakých filtrů k tomuto jevu dochází apod. Experiment byl rozdělen do dvou částí. V první části nazvané Ověření existence nestacionárního chování filtrů bylo cílem měření získat důkaz o existenci tohoto jevu. Podle výsledků získaných z měření v rámci semestrálních cvičení, které probíhají na Katedře netkaných textilií v Liberci se dalo předpokládat, že k jevu dojde až po delší době zanášení filtru prachem. Při semestrálních cvičeních byly filtry testovány jen do několika prvních poklesů z důvodu časové náročnosti experimentu. Proto bylo měření uskutečněno s velkým počtem měřicích cyklů na malém počtu filtru. Podle předchozích měření se určily filtry, na kterých by bylo vhodné v měření pokračovat. Jednalo se o dva druhy komerčně vyráběných filtrů. Prvně testovaný byl produkt firmy Mitop Mimoň, a.s určený pro atmosférickou filtraci. Byla to vpichovaná netkaná textilie zpevněná mřížkou. Druhý testovaný vzorek byl filtr z objemné textilie teplovzdušně pojený. Výrobce tohoto filtru je Vigona, a.s. (dnes Fibertex, a.s.).

Měření odlučivosti na syntetický prach proběhlo na přístroji DFT-2. Gravimetricky byl určen přírůstek prachu a z něj vypočtena efektivita filtrace. Výsledky měření byly zpracovány do grafů vyjadřujících závislost efektivity a tlakového spádu na množství podávaného prachu. K objasnění jevu Nestacionarita filtrace byl použit model samoorganizovaného kritického chování, konkrétně Model hromady písku. Dále zde byla hodnocena závislost velikostí lavin na exponentu α ze vztahu (8).

V druhé části nazvané Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrů šlo o nalezení a popis vybraných parametrů filtrů, které mají na výskyt uvedeného jevu vliv. Pro tento účel byly připraveny textilie na poloprovozní lince Katedry netkaných textilií v Liberci. Jednalo se o vpichované netkané textilie zpevněné mřížkou podobné jako výše uvedený komerčně vyráběný filtr. Posuzoval se vliv plošné hmotnosti a vliv jemnosti vláken. Pro zjištění vlivu plošné hmotnosti byla vyrobena čtveřice vzorků, které měly stejnou jemnost vláken, ale rozdílnou plošnou hmotnost. Pro posouzení vlivu jemnosti vláken byla snaha vyrobit vzorky o přibližně stejné plošné hmotnosti a třech různých jemnostech vláken. V této části se vyhodnocovalo kdy dojde k prvnímu poklesu, kolik nastane poklesů do podání 3,5 g prachu jak velký je maximální a minimální pokles.

Testování filtrace proběhlo na přístroji DFT-2, vyrobeného na Katedře netkaných textilií v Liberci. Testování prováděné přesně dle normy ČSN EN 779 je finančně náročné na pořízení testovaného zařízení, na prostor pro toho zařízení, ale i na velikost zkoušeného vzorku a množství prachu pro uskutečnění testů. Při vývoji tohoto zařízení se dbalo na co největší soulad s touto normou.

Mohla by přijít na mysli otázka, proč se netestovalo více vzorků, dochází k nestacionaritě u všech typů filtrů? Je vhodné nastínit dobu potřebnou k testování vzorků. Čas potřebný na „jeden krok měření“ jsou čtyři minuty. Zvážení, uložení do přístroje, nastavení potřebné rychlosti, výměna absolutního filtru trvá šest minut (pokud se nevyskytnou nepředvídané problémy, což lze předvídat). Například při počtu 60 kroků měření trvá změření jednoho vzorku více, než den.

3.2 Charakteristika studovaného materiálu - Popis vzorků:

3.2.1 1.část: Ověření existence nestacionárního chování filtrů

Měření bylo provedeno na dvou druzích komerčně vyráběných filtrů. Jednalo se o plošné filtry. U prvního filtru (vpichovaná textilie) se více projevuje povrchový záchyt částic, než u druhého filtru. Výběr filtrů byl proveden s ohledem výsledky testování získané během semestrálních cvičení na Katedře netkaných textilií v Liberci.

1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou

Použití: Filtr pro atmosférickou filtraci

Plošná hmotnost (EN 12127): $200 \text{ g/m}^2 \pm 10\%$

Materiál: 100%PES

Barva: bílá

Rozteč ok u mřížky: 5 mm

Označení výrobce: VAF 5/KR

Výrobce: Mítos Mimoň, a.s

Jemnost vláken: 14.3 dTex

Tloušťka: 3,38 mm

1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky

Použití: Filtr pro atmosférickou filtraci

Plošná hmotnost: 57 g/m^2

Materiál: 100% PES

Barva: bílá

Označení výrobce: Vigonair 220

Výrobce: Vigona, a.s (dnes Fibertex, a.s)

Třída filtru: G4, výstup EW 220

Jemnost vláken: 5,9 dTex

Tloušťka: 12,3 mm

3.2.2 2.část: Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace

Měření bylo provedeno na filtrační textilií vyrobené pro účely měření v poloprovoze Katedry netkaných textilií. Jednalo se o vpichovanou netkanou textilií vyrobenou z PP vláken, zpevněnou mřížkou ze skleněných vláken s roztečí ok 0,7 m. Byly vyráběny dvě série vzorků. Čtyři vzorky byly vyrobeny z vláken o stejné jemnosti a rozdílné plošné hmotnosti. Na nich se testoval vliv plošné hmotnosti.

Tři vzorky textilie o přibližně stejné plošné hmotnosti a rozdílné jemnosti vláken. Zde se dokazoval vliv jemnosti vláken. Technologie a parametry výroby byly zvoleny tak, aby se připravené filtry podobaly vzorku 1A.

A) Vliv plošné hmotnosti

Při výrobě všech vzorků byla použita PP vlákna o jemnosti 6,7 dTex

2.A.1) Plošná hmotnost: 309 g/m²

2.A.2) Plošná hmotnost: 251 g/m²

2.A.3) Plošná hmotnost: 175 g/m²

2.A4) Plošná hmotnost: 104 g/m²

B) Vliv jemnosti vláken

Plošná textilie s plošnou hmotností přibližně 170 g/m²

2.B1) Jemnost vláken: 17 dTex

2.B2) Jemnost vláken: 6,7 dTex,

2.B3) Směs vláken o jemnostech 1,3/6,7 dTex (poměr 2 : 3)

3.2.3 Naměřené parametry

Pro měření plošné hmotnosti byly vyseknuty vzorky o rozměrech 10 cm x 10 cm a zváženy. Tloušťka se zjišťovala podle normy ČSN EN ISO 9863-1. Průměr vláken byl měřen na mikroskopu měřicím zařízením. Identifikace materiálu provedena pomocí tavného mikroskopu.

Plošná hmotnost[g/m ²]								
	Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou	Objemná netkaná textilie zpevněná termicky	6,7dTex 4x vrstva	6,7dTex 3x vrstva	6,7dTex 2x vrstva	6,7dTex 1x vrstva	17dTex 2x vrstva	1,3/6,7dTex 2x vrstva
kód	1A	1B	2A.1	2A.2	2A.3	2A.4	2B.1	2B.2
Průměr	273	56,52	309,33	251,33	175,33	104,33	168	170,67
Směr.odchylka	3,609	1,326	2,517	3,786	13,503	2,887	8,718	10,693
Var.koef. [%]	1,321	2,347	0,814	1,506	7,701	2,767	5,189	6,265

Tab.2: Zjišťování plošné hmotnosti u testovaných filtrů

Tloušťka[mm]								
	Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou	Objemná netkaná textilie zpevněná termicky	6,7dTex x 4x vrstva	6,7dTex 3x vrstva	6,7dTex 2x vrstva	6,7dTex 1x vrstva	17dTex 2x vrstva	1,3/6,7dTex 2x vrstva
kód	1A	1B	2A.1	2A.2	2A.3	2A.4	2B.1	2B.2
Průměr	3,383	12,333	6,707	5,330	4,683	2,783	2,89	3,553
Směr.odchylka	0,019	0,577	0,076	0,219	0,272	0,067	0,340	0,330
Var.koef. [%]	0,557	4,681	1,139	3,360	5,798	2,392	11,765	9,276

Tab.3: Zjišťování tloušťky testovaných filtrů

Průměr vláken[μm]					
	Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou	Objemná netkaná textile zpevněná termicky	6,7dTex	17dTex	1,3dTex
kód	1A	1B	2A.1 - 2A.4, 2B.2	2B.1	2B.2
Průměr	117,333	75,333	94,667	152	45,333
Směr.odchylka	3,055	3,055	6,110	6,000	4,163
Var.koef. [%]	2,604	4,055	6,454	3,947	0,092

Tab.4 : Zjišťování průměrů vláken ze kterých jsou vyrobeny filtry

Jemnost vláken[dTex]					
	Vpichovaná netkaná textilie zpevněná mřížkou	Objemná netkaná textilie zpevněná termicky	6,7dTex	17dTex	1,3dTex
kód	1A	1B	2A.1 - 2A.4, 2B.2	2B.1	2B.2
Průměr	14,279	5,890	6,917	17,802	1,591
Směr.odchylka	0,740	0,474	0,882	1,404	0,296
Var.koef. [%]	5,185	8,052	12,749	7,887	18,616

Tab.5 : Zjišťování jemnosti vláken ze kterých jsou vyrobeny filtry

3.3 Příprava vzorků

3.3.1 1.část: Ověření existence nestacionárního chování filtrů

Materiál byl dodán ve formě plošné textilie, ze které byly naměřeny a vystřiženy kruhové vzorky o průměru 15 cm.

3.3.2 2.část: Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace

Plošná textilie byla vyrobena v poloprovoze Katedry netkaných textilií. Polypropylenová vlákna byla rozvolněna na předmykacím stroji z důvodu lepšího promísení chomáčů vláken. Takto připravená vlákna byla předkládána válcovému mykacímu stroji Befama. (viz obr. 9) Vytvořená pavučina byla kladena příčným kladečem (viz obr.9). Předzpevnění nakladené pavučiny bylo docíleno pomocí technologie vpichování na stroji Hanza (viz obr. 10). Tato předzpevněná netkaná textilie byla základem pro zhotovení filtrů o různé plošné hmotnosti. Podle požadované plošné hmotnosti byl na sebe kladen určitý počet vrstev. Z důvodu zpevnění textilie, ale zároveň nesnížení propustnosti vzduchu byl filtr vyztužen řídkou mřížkou ze skleněných vláken o rozteči ok 0,7 mm. Tato mřížka byla spojena technologií vpichování s připravenými vrstvami vyrobené vpichované textilie. Z filtrační textilie byly vystřiženy kruhové vzorky o průměru 15 cm.

3.4 Postup měření

Kruhové vzorky vystřižené z testované filtrační textilie byly zváženy na laboratorních vahách. Dále bylo třeba zvážit absolutní filtr, který slouží k stanovení množství prachu prošlého skrz testovaný filtr. Účelem absolutního filtru je zachytit veškerý prach, který nezachytí testovaný filtr. Proto se používá trojice filtrů v tomto zastoupení: Objemný filtr pojený termicky, filtr ze skleněných vláken vyrobený technologií naplavování a jemný filtr vyrobený technologií melt blown. Absolutní filtr se musel často měnit, hlavně na začátku měření, kdy testovaný filtr ještě nedosahoval vysoké efektivity.

Po zvážení se testovaný i absolutní filtr umístily do přístroje DFT 2 dle nákresu (obr. 11). Spustilo se spodní odsávání vzduchu a přívod stlačeného vzduchu. Dle čítače rychlosti se regulátorem rychlosti nastavila požadovaná rychlost proudění vzduchu. Rychlost byla nastavena na 1 m/s, tato rychlost je hlídána a korigována po celou dobu měření. Po nastavení rychlosti se zapne dávkování prachu a měření času. Ze zařízení pro měření tlakového spádu (měří se tlak před a za filtrem) se odečte aktuální hodnota. Měření času bylo nastaveno na dobu 4 min. Po uplynutí této doby byl přístroj vypnut a oba filtry opatrně přemístěny na podložku, na které byly přesunuty k vahám a zváženy.

Po celou dobu měření se s filtry zacházelo velice opatrně z důvodu možného pádu filtru a tím způsobeného úbytku prachu z filtru a narušení vzniklého prachového koláče na povrchu filtru. V případě pádu byl vzorek vyloučen a nepokračovalo se v jeho měření. Přístroji byl dodáván normovaný testovací prach Ashrae dle normy EN 779, jehož specifikace je patrná z tab.6.

Takto popsany postup měření se mnohokrát opakoval. U ověřování nestacionárního chování bylo provedeno až sedmdesát cyklů měření na jenom vzorku. U jednotlivých specifikací bylo měření provedeno nejméně na třech vzorcích. V první části bylo měření ukončeno při dosažení vysokého tlakového spádu, kterého se v praxi nedosahuje z důvodu vysokých nákladů na provoz takto „ucpaného“ filtru a raději se volí výměna filtru, nebo z důvodu technických parametrů přístroje DFT, který již nebyl schopen zajistit požadovanou rychlost proudění vzduchu. V druhé části bylo měření ukončeno jakmile byl filtru dodán prach o hmotnosti 3,5 g.

Zhruba po deseti měření byl přístroj čištěn z důvodu možného usazování podávaného prachu po vnitřních stěnách přístroje a možného následného uvolnění většího množství usazeného prachu než při běžném podávání, které by mohlo ovlivnit měření.

Z měření byly získány hodnoty tlakového spádu na začátku měření, hmotnost absolutního a relativního filtru na začátku a konci jednotlivého měření.

Z těchto veličin se spočetla hmotnost prachu zachyceného filtrem, hmotnost prachu prošlého filtrem, celkové množství podaného prachu a následně efektivita filtrace.

Výsledky z jednotlivých měření byly zpracovány do tabulky (viz příloha 2) a zpracovány do dvojic grafů. První popisuje závislost Efektivity filtrace na množství prachu, který byl filtru podán. Druhý graf popisuje závislost tlakového spádu na množství prachu, který byl filtru podán.

3.5 Popis a parametry použitých strojů a přístrojů

3.5.1 Výroba vzorků - 2.část: Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace

Laboratorní mykací stroj a příčný kladeč

Navážka: 50 g

Plocha, na kterou se rozmístí navážka: 30 cm x 40 cm

Rychlost pásu odvádějícího navrstvené rouno: 0,25 m/min



Obr.8: Laboratorní mykací stroj a příčný kladeč

Vpichovací stroj pro předzpevnění textilie

Výstupní rychlost stroje: 0,55 m/min

Hloubka vpichu: 5 mm

Počet zdvihů: 200 vpichů/min

Počet jehel: 11400 jehel/m²



Obr.9: Vpichovací stroj pro předzpevnění textilie

Vpichovací stroj2

Výstupní rychlost stroje: 0,65 m/min

Hloubka vpichu: 7 mm

Počet zdvihů: 240 vpichů/min

Počet jehel: 9800 jehel/m²

3.5.2 Testování filtračních vlastností

Přístroj DFT-2 pro testování syntetickým prachem (viz. obr. 11)

Testování syntetickým prachem umožňuje vyšetřovat změnu filtračních vlastností v průběhu filtrace.

Princip měření je následující:

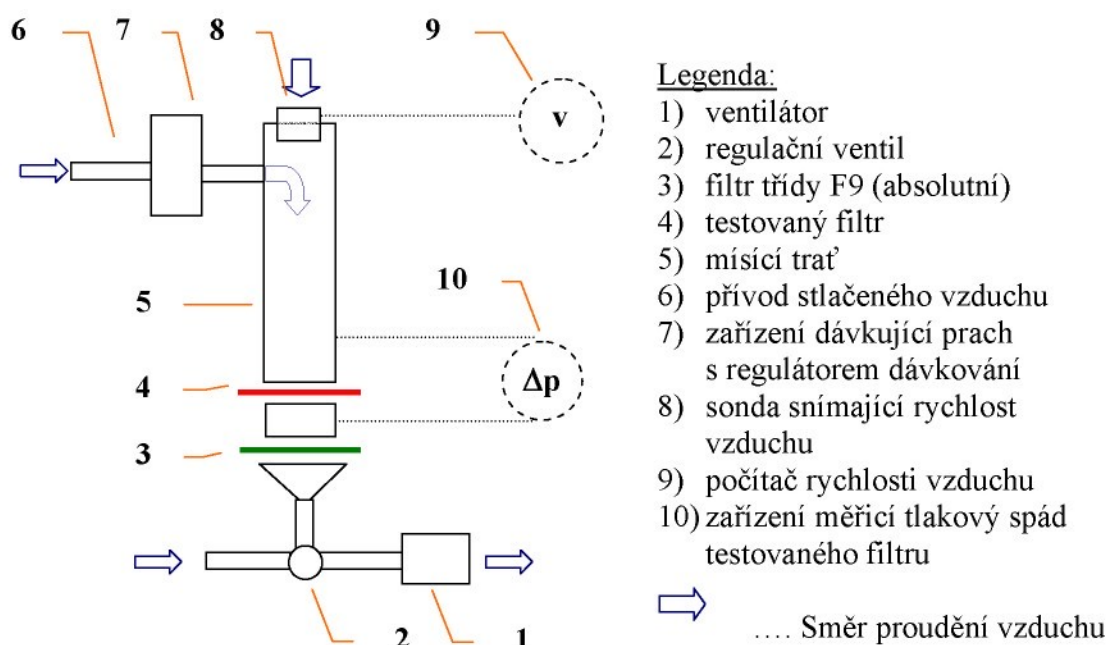
Testovaným filtrem prochází směs vzduchu a testovacího prachu (viz obr.12). Částice prachu, které proniknou testovaným filtrem jsou zachyceny filtrem absolutním. Měří se tlakový spád, efektivita a jímavost filtru. Efektivita zachytu částic je zjištěna gravimetricky zvážením prachu proniklého testovaným filtrem a prachu neproniklého podle vztahu (1). Měření probíhá za definované náletové rychlosti prachu (např. 1 m/sec), koncentrace prachu (cca. 120 mg/m³) a ploše filtru (0,01767 m²). Parametry testů obsahuje tab. 6.[5]



Obr.10: Testovací přístroj DFT-2.

Složení prachu	Standardizovaný prach typu ASHRAE: 72% syntetický prach 23% saze 5% krátká bavlněná vlákna
Velikost částic	Od 0,3 do 50 μm
Koncentrace částic	70 mg/m^3
Rozsah měření	1 – 99 %.
Rychlost náletu částic na filtr podle normy EN 779	0,6 – 3,8 m/sec
Testovací plocha (průřez potrubí těsně před filtrem)	100 cm^2 , tedy kruhový otvor o průměru 112,8 mm
Maximální měřitelný tlakový spád	10 kPa

Tab.6: Parametry testu syntetickým prachem.



Obr.11: Schéma přístroje DFT-2.

Laboratorní váhy KERN EW 150 – 3M

rozsah 150 g

citlivost 0,001 g

reprodukovatelnost: 0,002 g

Digitalní manometr použitý pro přístroj DFT-2

Greisinger electronic GDH 01 AN

Rozsah: 0 ... 1999 Pa

citlivost 1 Pa

3.6 Pravdivost měření

Již bylo zmíněno, že je velmi nepravděpodobné, aby zjištěné poklesy efektivity byly způsobené chybou měření. Pro vyslovení tohoto tvrzení se musely vyhodnotit následující vlivy, které by mohly výsledky měření ovlivnit.

a) Chyba měření vah

Přesnost měření je deklarovaná výrobcem vah uvedením přesnosti vážení s kterou zařízení měří. Tato možnost byla modelově ověřena na jednom vzorku Objemné netkaná textilie zpevněné termicky.

b) Ztráta prachu vlivem neopatrné obsluhy

Tento vliv je vyloučen , protože se vzorky bylo manipulováno s maximální opatrností. V případě pádu byl vzorek vyloučen, již se na něm nepokračovalo v měření. Další důvod proč tento vliv zamítnout je skutečnost, že k otřesům může docházet i v praxi a účinnost filtrace by neměla být ovlivněna.

4 VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE

4.1.1 1.Část: Ověření existence nestacionárního chování filtrů

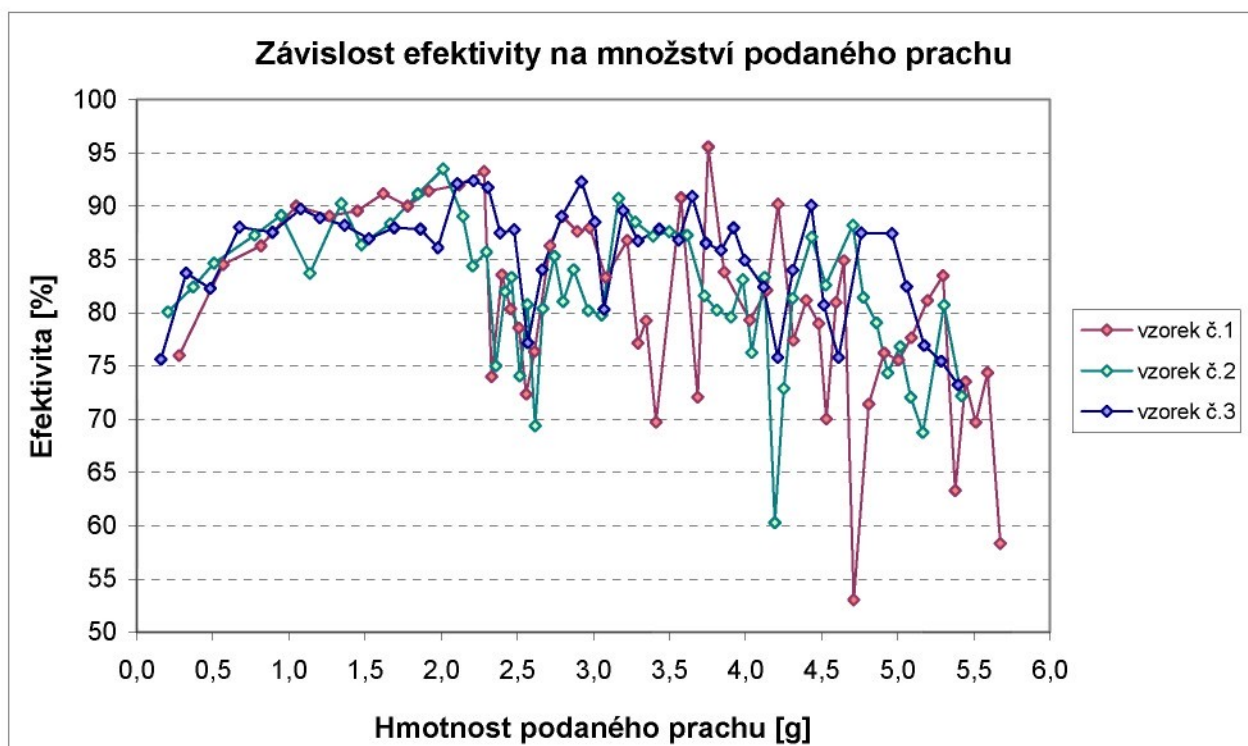
4.1.1.1 Měření změny efektivity filtrace a tlakového spádu

4.1.1.2 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou

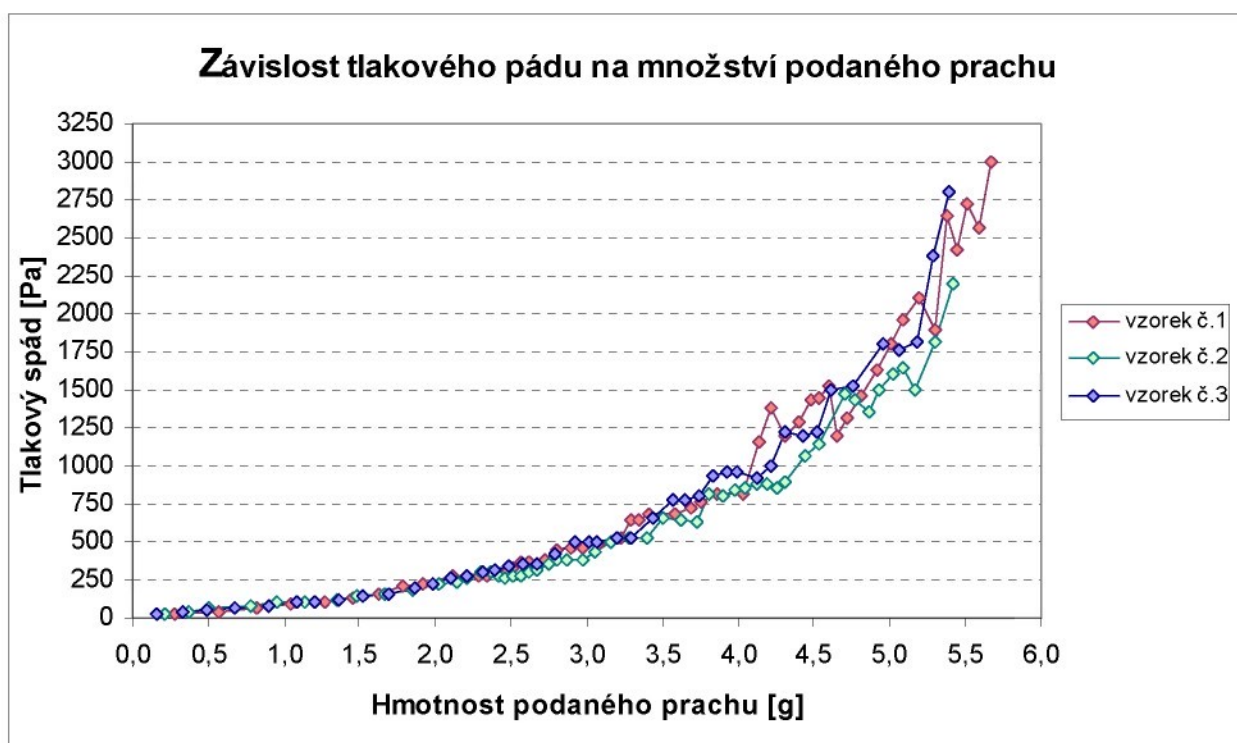
V obr. 13, 14 jsou uvedeny změny efektivity a tlakového spádu v průběhu procesu filtrace pro vzorky komerčně vyráběných filtrů 1A a 1B. V jednom grafu jsou zobrazeny závislosti pro tři zkoušené vzorky totožného filtru.

Na každém vzorku proběhlo přibližně 50 měření. Obr. 13 popisuje jak na začátku měření procesu filtrace hodnoty efektivity rostou a od určité hodnoty začnou kolísat. Tento jev je patrný u všech třech vzorků. Přibližná hodnota, do které efektivita u všech vzorků roste je do podání 2,2 g prachu. Po dalším podávání prachu efektivita kolísá. Nejedná se zde jen o nevýrazné poklesy řádově v desetinách procent. Některé poklesy jsou opravdu značné a nelze je vysvětlit chybou měření, viz. kap. 3.6.3.

Při pohledu na obrázek 14 je vidět, že tlakový spád má u všech třech vzorků téměř stejný exponenciální ráz a nedochází k žádným výrazným poklesům v jeho průběhu. Tento jev byl podrobněji zkoumán pomocí připojení grafického výstupu k tlakoměru, ani zde však nebyly zjištěny žádné výrazné poklesy v tlakovém spádu. Z této dvojice grafů můžeme vyznívat, že Nestacionarita filtrace se projeví jen u změny efektivity. U tlakového spádu byl zachován exponenciální ráz křivky, který je pro tuto závislost obvyklý.



Obr.12: Změna odlučivosti filtru v průběhu filtrace měřená na vzorku 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou



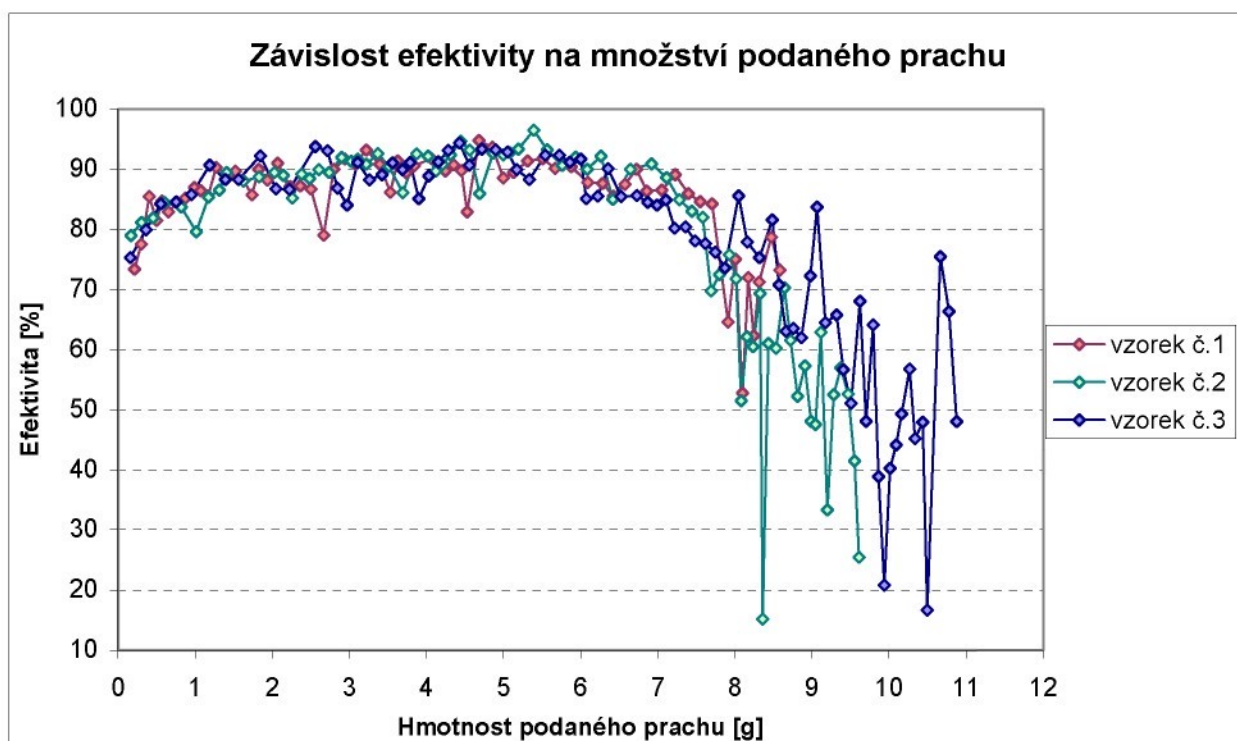
Obr.13: Průběh tlakového spádu při filtraci měřený na vzorku 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou

4.1.1.3 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky

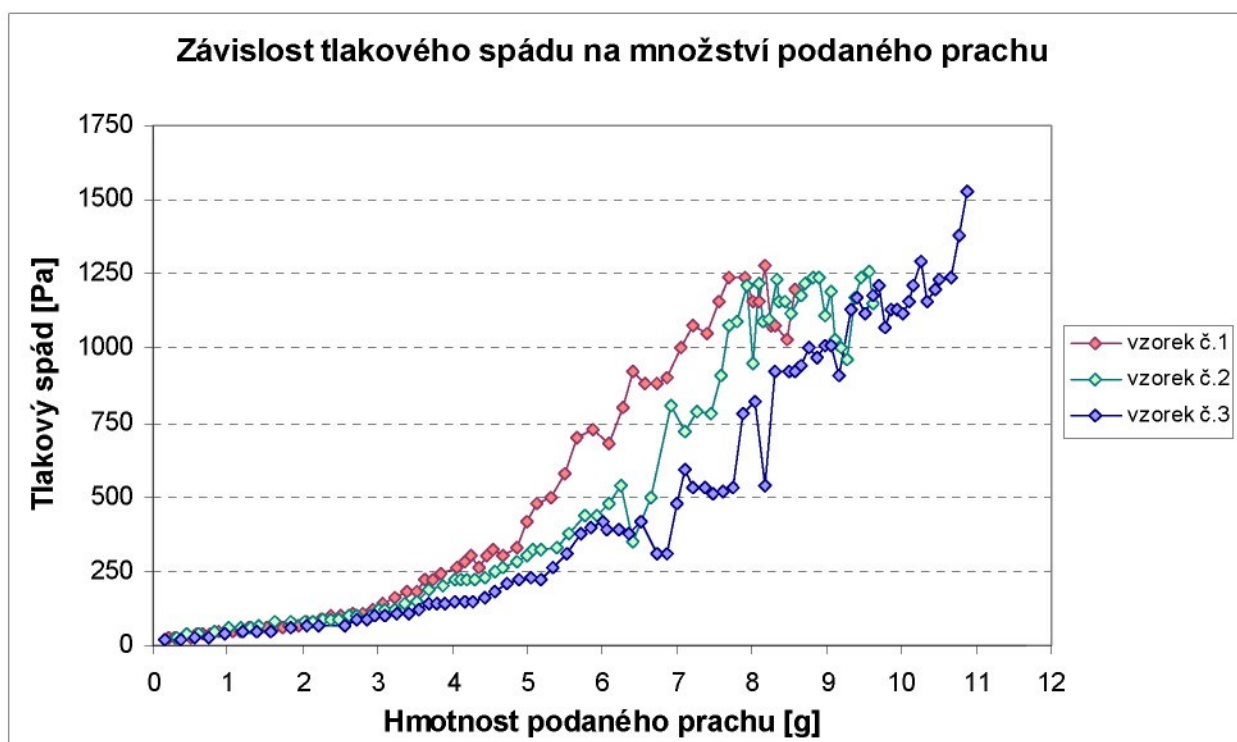
Na každém vzorku bylo provedeno přibližně 75 měření. Dle obr.13 je vidět, že efektivita filtrace v začátku měření stoupá, pak dosahuje hodnoty kolem 90 %. Tuto efektivitu filtr dosahuje přibližně do podání 6,2 g prachu. Od této hodnoty začne efektivita klesat. Přibližně od podání 7,5 g prachu nastávají výrazné skoky v efektivitě.

Poklesy jsou natolik výrazné, že efektivita filtru se dostává i pod hranici 30 %. Filtr v této fázi dosahuje výrazně nižší odlučivosti než, která je garantována výrobcem při uvedení filtru do provozu a může mít v praxi negativní následky na požadovanou čistotu vzduchu.

Obr. 16 ukazuje, že se tlakové spády u jednotlivých vzorků liší. Z obr.15 bylo určeno, že poklesy efektivy nastanou přibližně při podání 7,5 g prachu. Vzorek číslo jedna dosahuje při tomto množství prachu hodnotu přibližně 1000 Pa, vzorek číslo dvě 750 Pa poslední vzorek 500 Pa dle obr.16. Rozdíly v tlakových spádech u jednotlivých vzorků jsou způsobeny variabilitou hloubkových filtrů. Prach se nezachytává jen na povrchu filtru, ale částice pronikají i dovnitř filtru. Každý vzorek mohl mít uspořádání vláken na povrchu jiné, mohly se vyskytovat shluky vláken, které ovlivnily tlakový spád. Díky shlukům vláken neprostupoval prach dovnitř filtru, ale byl zadržen hned na povrchu. Tím se vytvořil prachový koláč, který ztížil další prostup vzduchu přes filtr a tím vzrostl tlakový spád. Po zanesení filtru větším množstvím prachu dochází ke shodě tlakového spádu u jednotlivých vzorků. Jak je vidět na obrázku 16, druhý a třetí vzorek po podání 9,5 g prachu dosahuje shodně tlaku 1250 Pa.



Obr.14: Změna odlučivosti filtru v průběhu filtrace měřená na vzorku 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky



Obr.15: Průběh tlakového spádu při filtraci měřený na vzorku 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky

4.1.1.4 Statistické zpracování změny efektivity

V pravidelných intervalech byla sledována efektivita a tlakový spád v závislosti na množství podávaného prachu, viz. obr. 13 - 16 u dvou druhů filtrů. Tlakový spád exponenciálně roste od začátku měření až do jeho ukončení. V závislosti tlakového spádu na množství podávaného prachu nejdou vypočítat žádné výrazné poklesy. Toho zjištění bylo dosaženo u obou zkoumaných filtrů.

V grafech vyjadřujících závislost efektivity na množství podaného prachu lze sledovat jak v průběhu filtrace nejprve hodnoty efektivity rostou a po určité době začnou kolísat. Je velice nepravděpodobné, že tak velké rozdíly hodnot jsou způsobeny chybou měření. Vysvětlení tohoto jevu bylo provedeno pomocí „samoorganizovaného kritického chování“, konkrétně „modelu hromady písku“.

Každé měření efektivity je považováno za jeden krok a každý pokles efektivity vzhledem k předchozí hodnotě je nazván lavinou. Velikost laviny má charakter náhodné veličiny a lze ji statisticky popsat histogramem. Ze třech měřených vzorků pro jeden druh filtru byly získány velikosti poklesů efektivity. K takto získaným poklesům efektivity - lavinám byla přiřazena jejich četnost a byl vytvořen histogramy u nichž se měnily velikosti tříd. Viz obr. 17, 19, 21, 23.

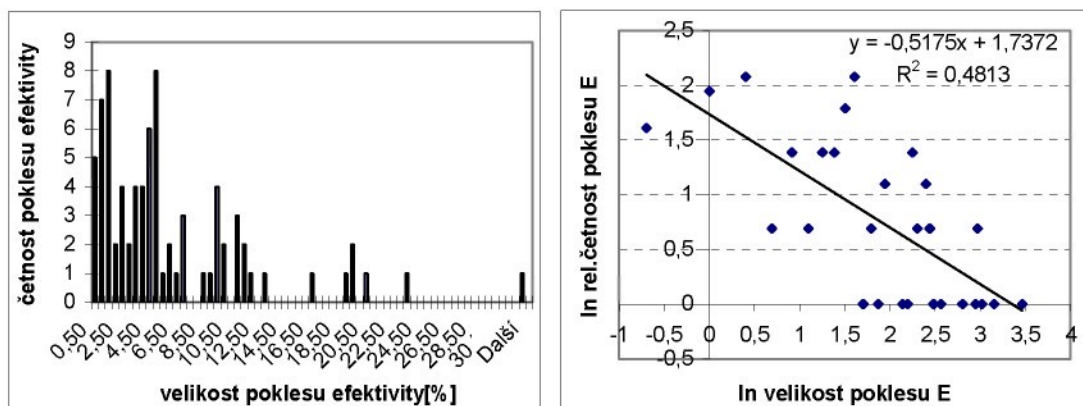
U histogramu velikostí lavin byly převedeny obě osy do logaritmického měřítka. Byl vytvořen nový graf, ve kterém byla provedena lineární regrese, čímž byla získána přímka se směrnici (viz obr. 18, 20, 22, 24). Ze směrnice se dá určit parametr α . Ze čtyř histogramů, u kterých byly měněny velikosti tříd, se dá určit jaký má vliv velikost třídy (poklesů efektivity) na výslednou přímku, tedy na parametr α ze vztahu (8). Velikosti tříd poklesu efektivity byly voleny po 0,5; 1; 2; 5.

1.A – Vpichovaná netkaná textilie zpevněná mřížkou

Pro vyhodnocení poklesů efektivity byly vytvořeny čtyři histogramy s odlišnou velikostí třídy (Obr. 17, 19, 21, 23). Velikosti tříd byly zvoleny: 0,5; 1; 2; 5. Z histogramů lze vyčíst zastoupení poklesů efektivity ve zvoleném rozsahu. Nejprokazatelnější výsledky podává histogram o velikosti třídy 5 (Obr. 23), tedy s nejširší třídou. Největší množství poklesů efektivity bylo do 5%. Z přibližně 80 měření nastal pokles menší jak 5% u 50 měření. Pokles větší než 25% nastal pouze ve třech případech.

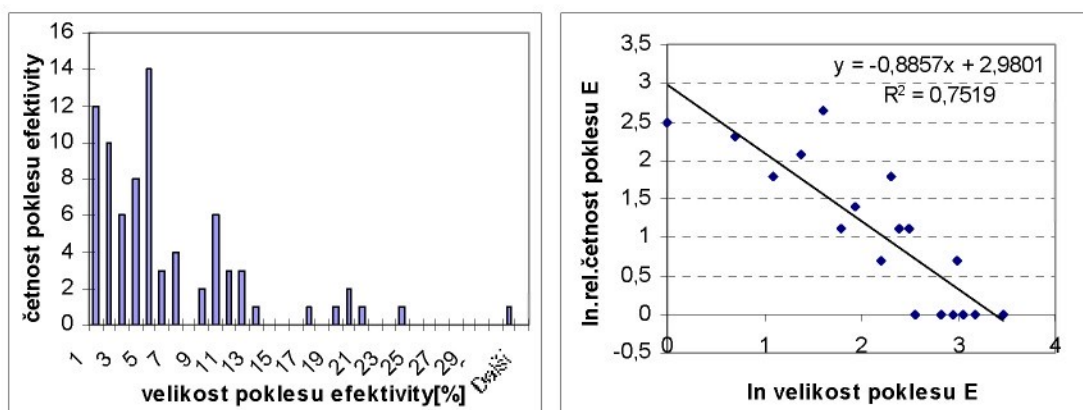
Dle obrázku 17 je vidět, že zvolená velikost třídy 0,5 je naprosto nevhodná. Dělení je příliš podrobné, histogram nevykazuje žádný trend. Nelze zjistit k jakým propadům dochází nejčastěji.

Dále bylo pro měření použit model hromady písku. Při vyhodnocení vlivu šířky třídy na parametr alfa ze vztahu(8), nebo-li na směrnici přímky je nutné mít k dispozici velké množství dat. Čím širší třída, tím je proložení regresní přímky věrohodnější. Vztah (8) uvádí, že by se měl parametr alfa rovnat jedné. Z výsledků vyplývá, že se této hodnoty dá dosáhnout správně zvolenou velikostí třídy. Dle výsledků by se hodnotě jedna dalo nejvíce přiblížit užitím histogramu s velikostí třídy 2. Musí se však vzít v úvahu spolehlivost proložení regresní přímky.



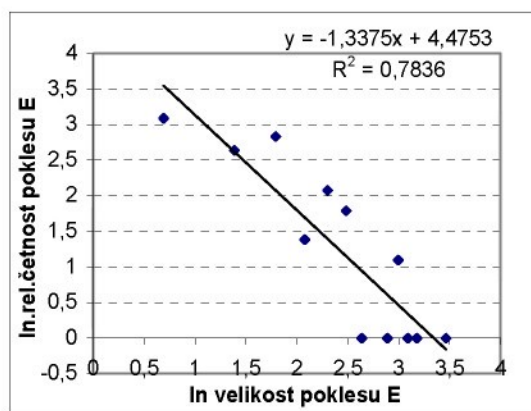
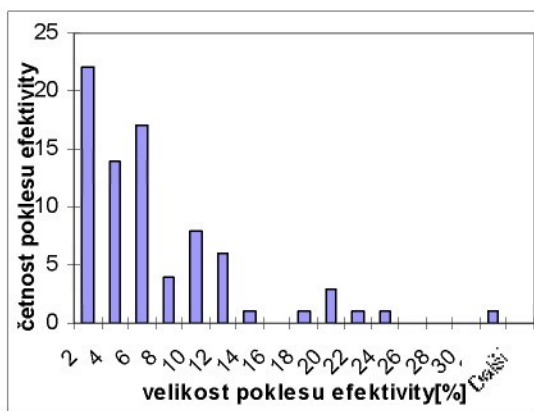
Obr.16: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou. Velikost třídy je 0,5.

Obr.17: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky. Šířka třídy histogramu je 0,5.



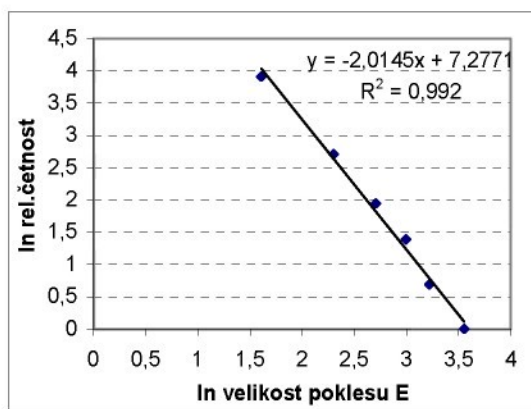
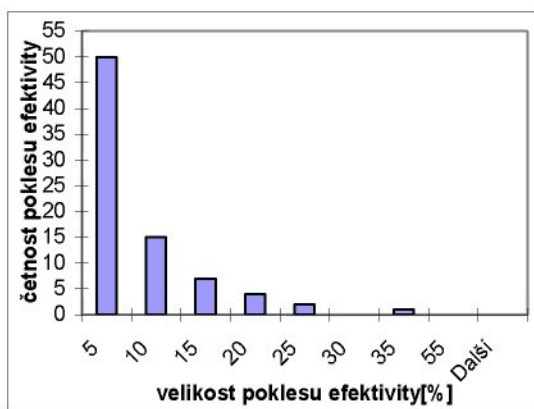
Obr.18: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou. Velikost třídy je 0,5.

Obr.19: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky



Obr. 20: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou. Velikost třídy je 2

Obr. 21: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky

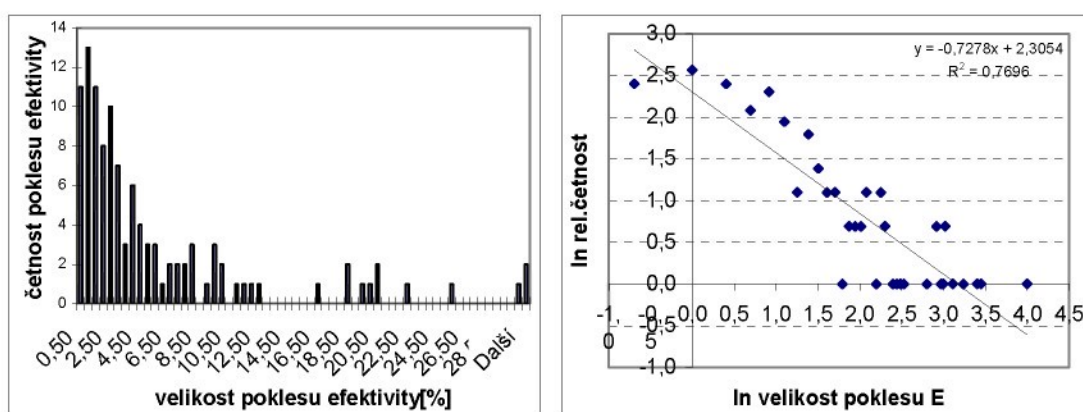


Obr. 22: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.A – Vpichovaná netkaná textile zpevněná mřížkou. Velikost třídy je 0,5%

Obr. 23: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky

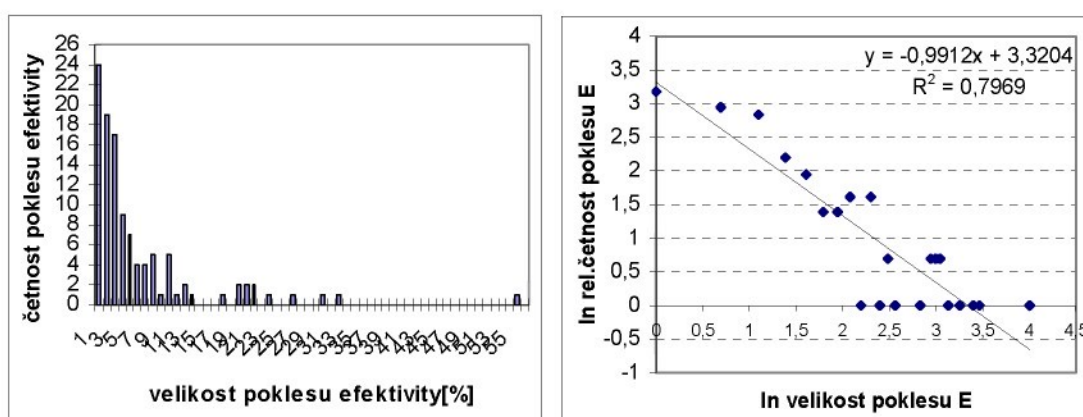
1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky

Pro vyhodnocení poklesů efektivity byly vytvořeny čtyři histogramy s odlišnou velikostí třídy (Obr.25, 27, 29, 31). Velikosti tříd byly zvoleny: 0,5; 1; 2; 5. Z histogramů lze vyčíst zastoupení poklesů efektivity ve zvoleném rozsahu. Nejprokazatelnější výsledky podává histogram o velikosti třídy 5 (Obr.31), ale i z histogramu se šířkou třídy 2 (Obr.29) lze vypožorovat k jak velkým poklesům dochází nejčastěji. U objemného filtru je ještě zřetelněji vidět, že největší počet poklesů se pohybuje do 5%. K poklesům větším jak 10% dochází jen v řídkém případě. Přibližně ze 120 poklesů, nastal pokles větší než 10% jen u 12 případů.



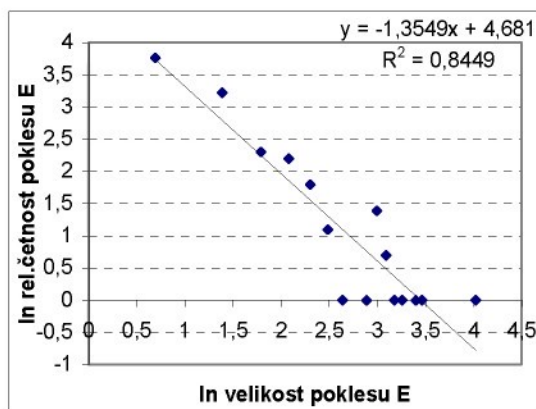
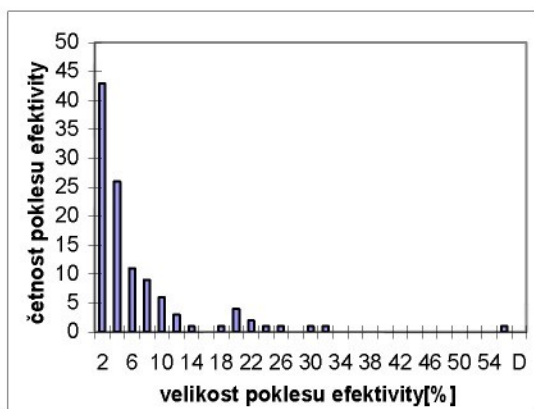
Obr.24: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky. Velikost třídy je 0,5.

Obr.25: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky



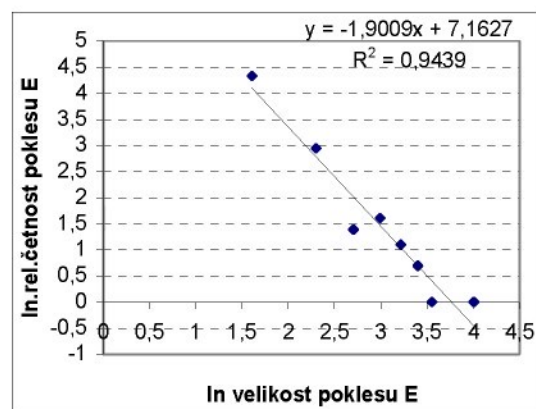
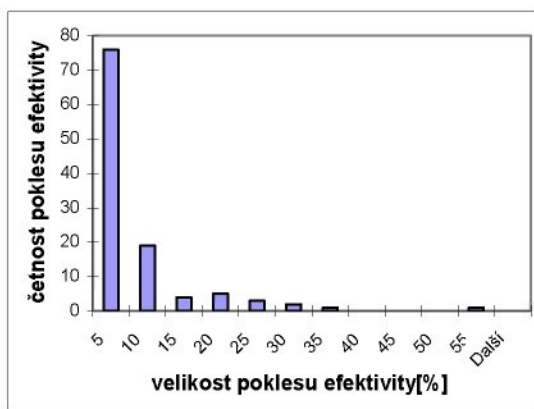
Obr.26: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky. Velikost třídy je 1%

Obr.27: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky



Obr.28: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky. Velikost třídy je 2

Obr.29: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky



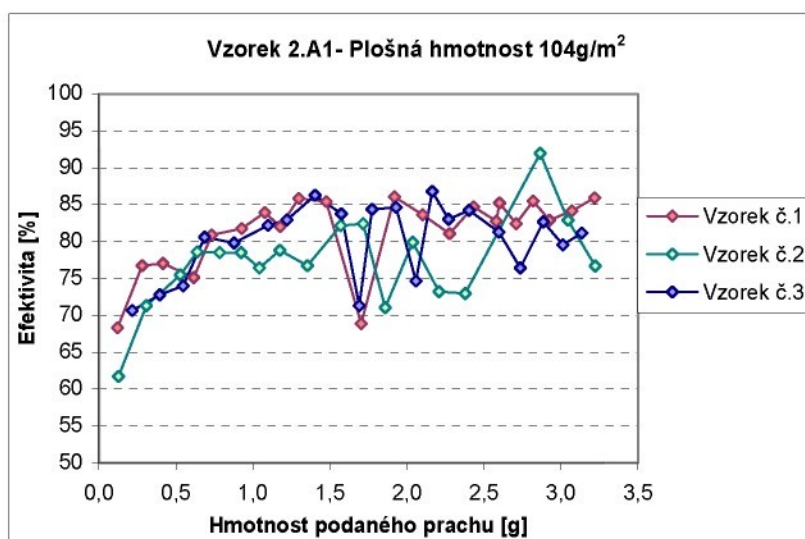
Obr.30: Histogram poklesu odlučivosti E pro vzorek 1.B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky. Velikost třídy je 5

Obr.31: Histogram vzájemného poklesu odlučivosti E v logaritmických souřadnicích. R označuje spolehlivost proložení regresní přímky

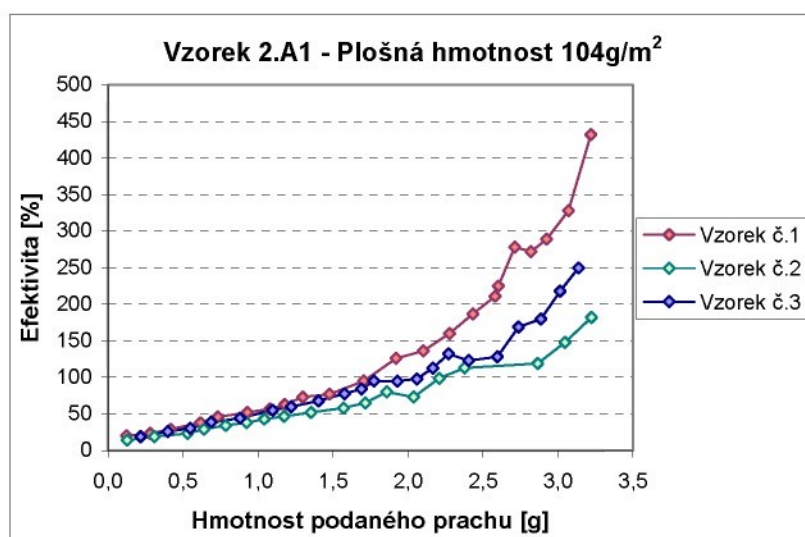
4.1.2 2. Část - Parametry ovlivňující nestacionaritu filtrace

4.1.2.1 A) Vliv plošné hmotnosti

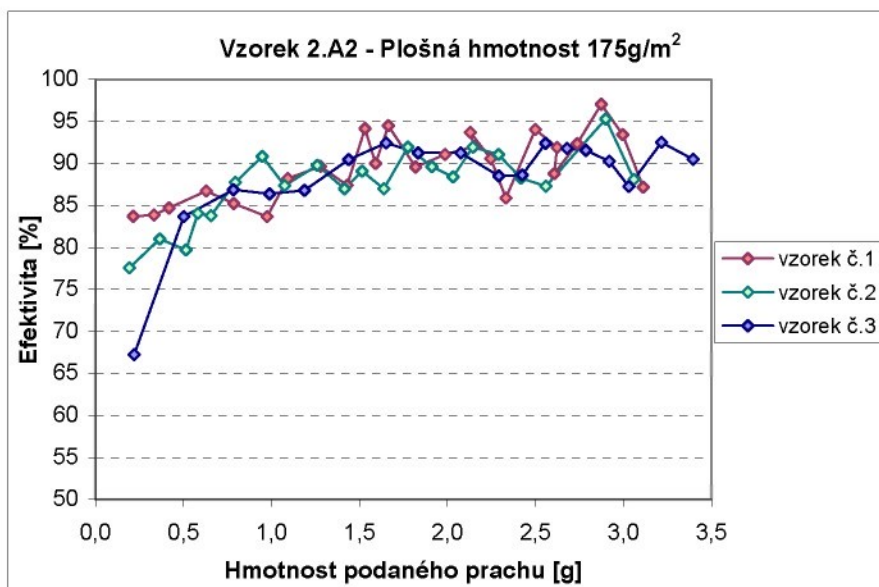
Byly testovány čtyři druhy filtrů vyrobené v poloprovoze Katedry netkaných textilií v Liberci z PP vláken o jemnosti 6,7 dTex. Při výrobě byla volena odlišná plošná hmotnost. Bylo zjišťováno, jaký vliv má plošná hmotnost na Nestacionaritu filtrace. Měření bylo ukončeno po zanesení 3,5 g prachu do filtru. Vyhodnocoval se počet poklesů do podání tohoto množství prachu, kdy dochází k prvnímu poklesu efektivity, maximální, průměrný a minimální pokles efektivity.



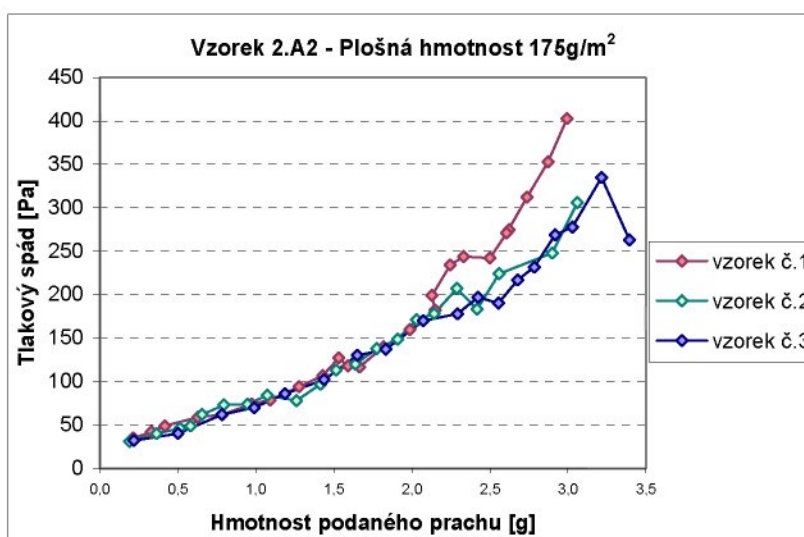
Obr. 32: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



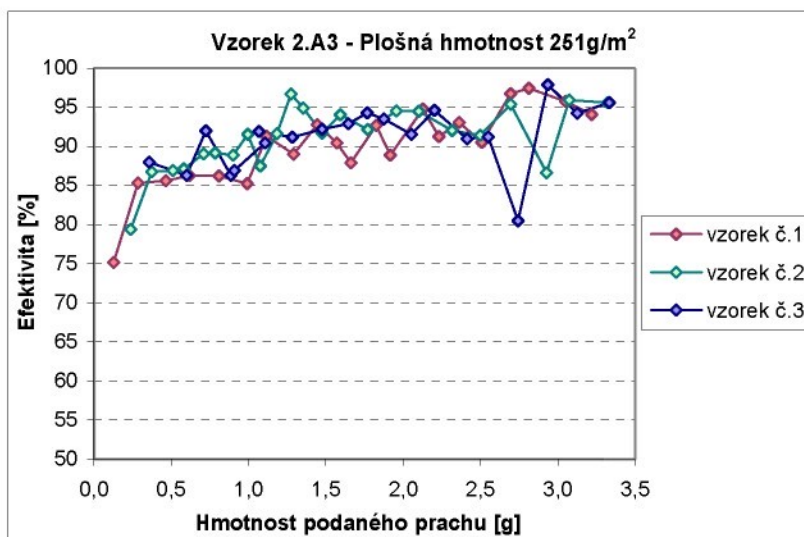
Obr. 33: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu



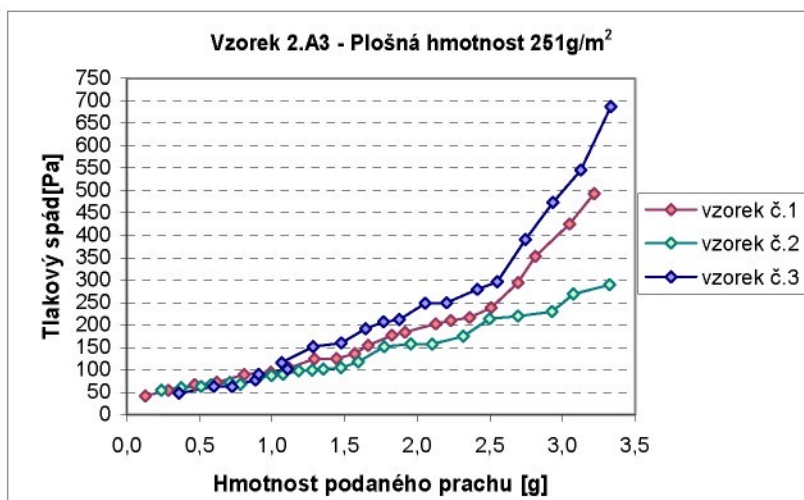
Obr.34: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



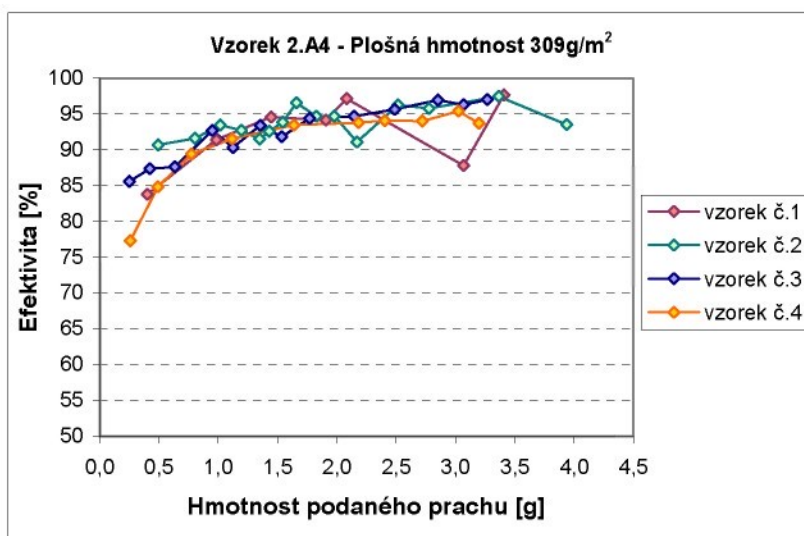
Obr. 35: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu



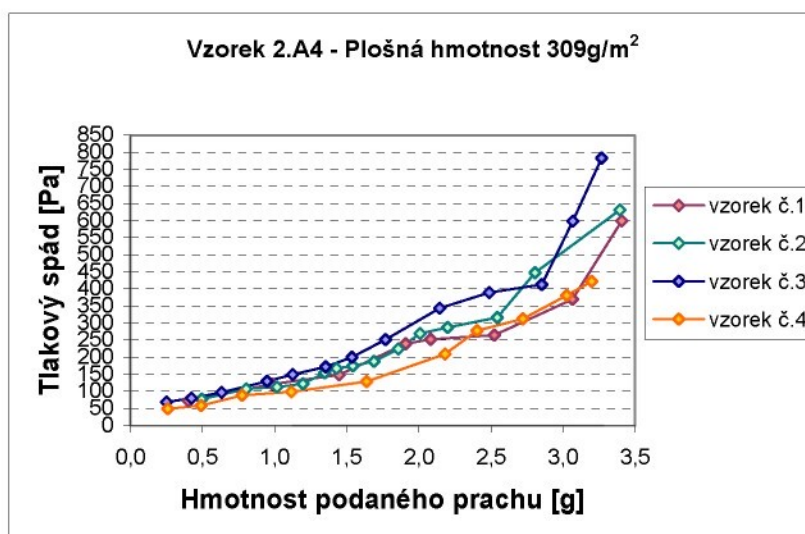
Obr. 36: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



Obr. 37: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu



Obr. 38: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



Obr. 39: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu

Plošná hmotnost [g/m ²]	Statistika	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu[%]		
				Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
104	Průměr	8,333	0,761	13,441	4,489	0,441
	Směr.odchylka	0,577	0,133	2,728	0,715	0,342
	Var.koeficient	6,928	17,430	20,297	15,919	77,610
175	Průměr	10	0,763	5,486	2,380	0,648
	Směr.odchylka	1,732	0,239	2,178	0,977	0,716
	Var.koeficient	17,321	31,292	39,703	41,046	110,435
251	Průměr	9,333	0,770	7,782	2,748	0,289
	Směr.odchylka	1,155	0,154	3,547	0,762	0,434
	Var.koeficient	12,372	20,032	45,579	27,732	150,419
309	Průměr	3,00	1.738	4,333	2,319	0,409
	Směr.odchylka	2,00	0.745	3,463	1,760	0,230
	Var.koeficient	66,667	42.891	79,923	75,931	56,257

Tab.11: Vyhodnocení poklesů efektivity pomocí pěti parametrů u filtrů s odlišnou plošnou hmotností

Byly měřeny čtyři vzorky o rozdílných plošných hmotnostech. Od každé plošné hmotnosti byly měřeny minimálně tři vzorky. Měřila se efektivita filtrace, z ní se dále určovaly poklesy, ke kterým dochází v průběhu filtrace. Pro vyhodnocení zjištěných

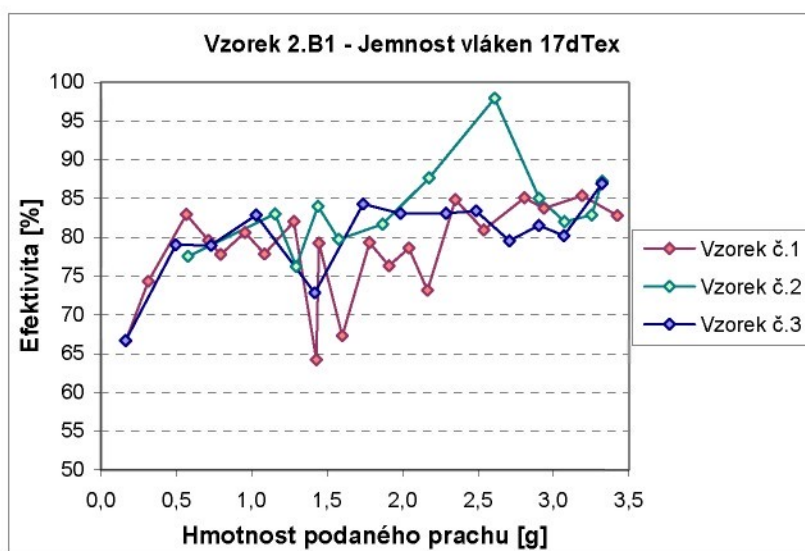
poklesů se určilo pět parametrů. Jedná se o: počet poklesů ke kterým dojde do zanesení 3,5 g prachu do filtru. Množství prachu které se může podat filtru než dojde k prvnímu poklesu. V praxi důležitý parametr, dle kterého se dá předvídat jak dlouho se filtr bude bezchybně fungovat. Dále se vyhodnocoval maximální, minimální a průměrný pokles. Z těchto parametrů bude nejzajímavější hodnoty vypovídat parametr „maximální pokles“. Ze kterého je vidět na kolik až může jev nestacionarity filtrace omezit funkci filtru.

K porovnání jsou data srovnány do tab. 11. Uvedená data jsou průměry z jednotlivých měření vzorku pro určitou plošnou hmotnost. Při vyhodnocování parametru počtu poklesů do podání 3,5 g prachu vychází nejlépe vzorek o plošné hmotnosti 309 g/m^2 došlo ke třem propadům. U ostatních gramáží je počet poklesů po vzetí v úvahu směrodatnou odchylku přibližně stejný a nedají se rozpoznat. K prvnímu propadu došlo nejpozději u plošné hmotnosti 309 g/m^2 a to po podání 1,738 g prachu. Ostatní rozdíly jsou nevýrazné. Maximální pokles nastal u plošné hmotnosti 104 g/m^2 a to 13,441%. Tato hodnota dokazuje, že dochází k výrazným poklesům efektivity. K nejvyššímu průměrnému poklesu došlo opět u plošné hmotnosti 104 g/m^2 , jednalo se o 4,489%. Z parametru „minimální pokles“ se mnoho určit nedá, hodnoty jsou dosti podobné.

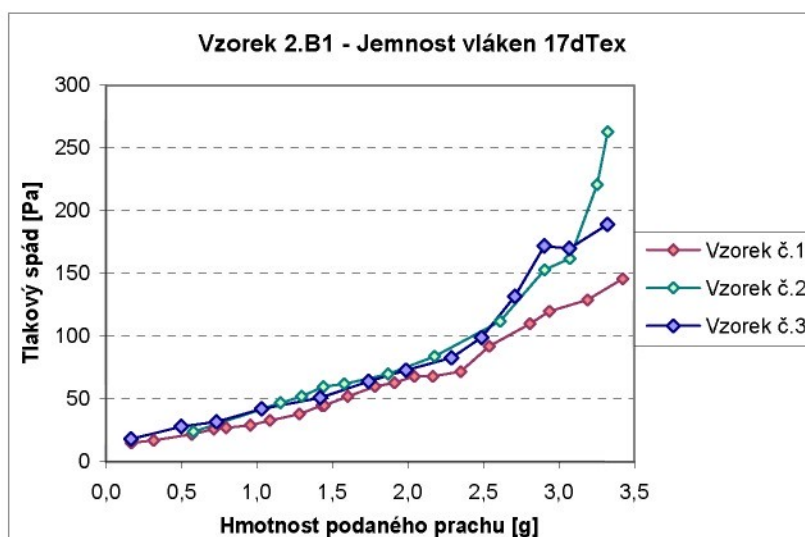
Po shrnutí všech parametrů se dá říci, že k nejvýraznějším projevům nestacionarity dochází u vzorků s nejnižší gramáží, s plošnou hmotností 104 g/m^2 . Byl zaznamenán nejvyšší maximální pokles a i hodnota průměrných poklesů je nejvyšší. Naproti tomu si nejlépe stála plošná hmotnost 309 g/m^2 , kde došlo k nejméně poklesům a první propad nastal po zanesení největšího množství prachu.

4.1.2.2 B) Vliv jemnosti vláken

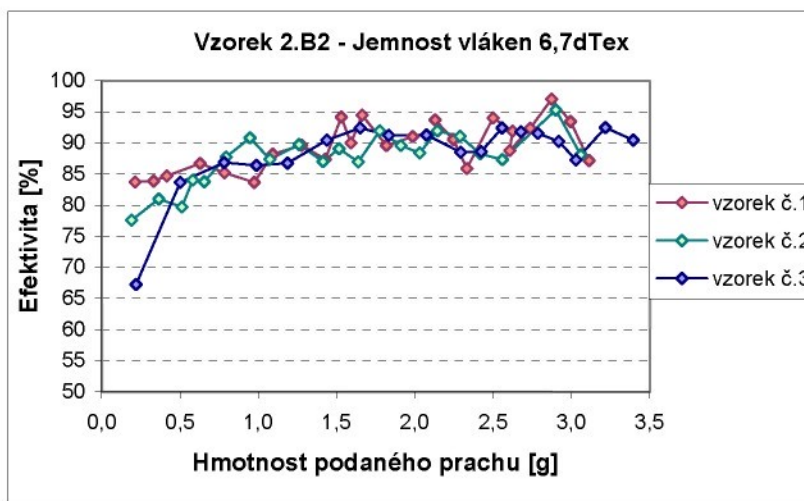
Vzorky byly vyrobeny v poloprovoze Katedry netkaných textilií v Liberci. Jedná se o vpichované netkané textilie z PP vláken vyztužené mřížkou ze skleněných vláken. Při výrobě bylo snahou dosáhnout plošné hmotnosti 170 g/m^2 . Vyráběly se tři druhy filtrů z vláken s odlišnou jemností. Byla použita vlákna o jemnostech 17 dTex, 6,7 dTex, směs vláken 1,3/6,7 dTex, v poměru 2 : 3. Zkoumané parametry a zjištěné hodnoty pro jednotlivé měření jsou vyhodnoceny



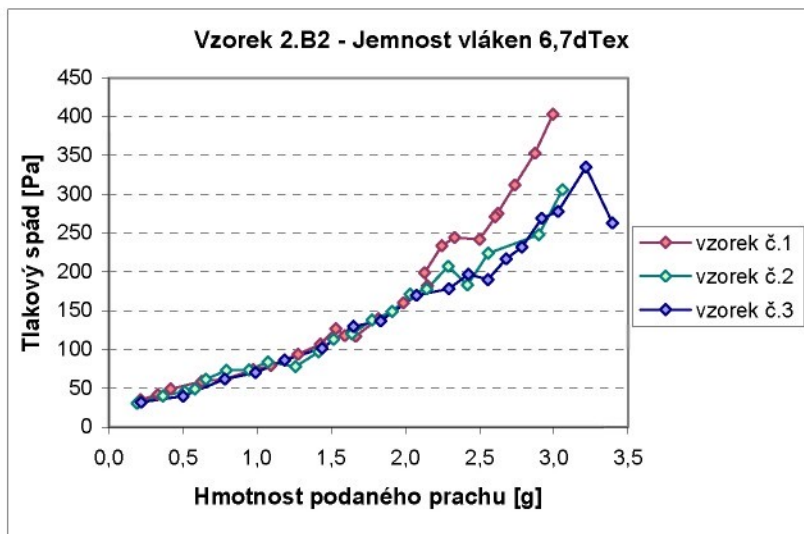
Obr. 40: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



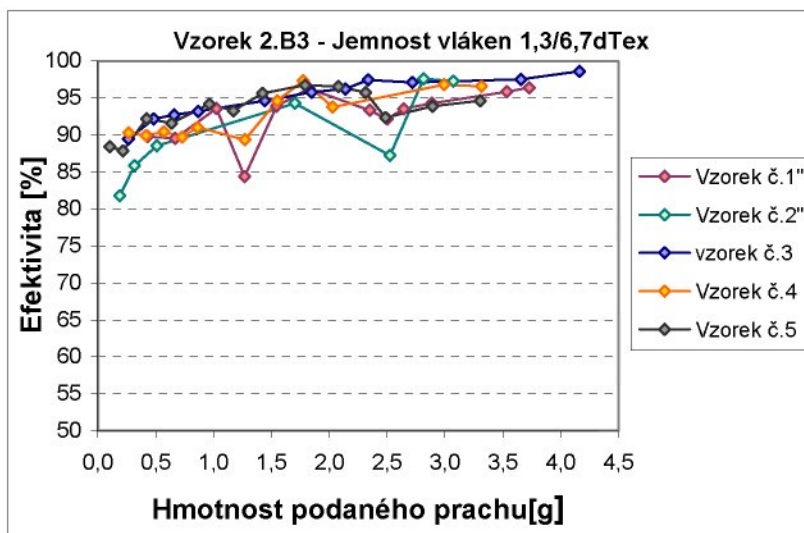
Obr. 41: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu



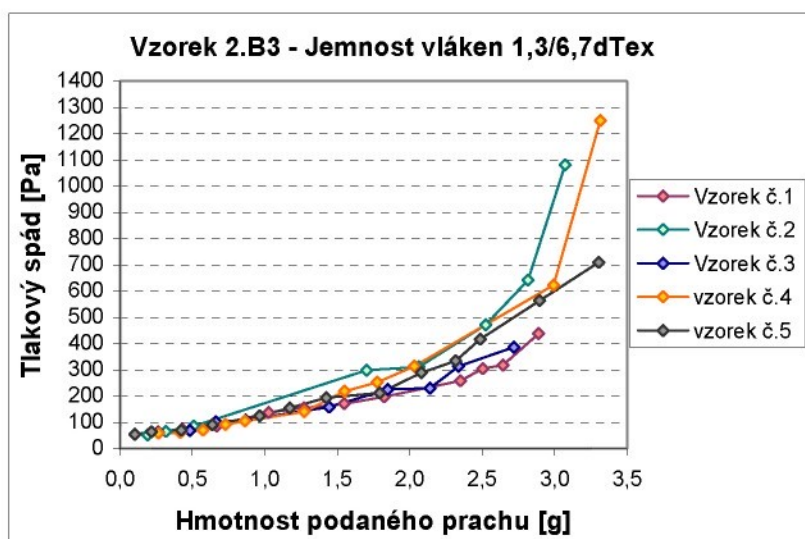
Obr. 42: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



Obr. 43: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu



Obr. 44: Změna odlučivosti filtru v průběhu procesu filtrace



Obr. 45: Závislost tlakového spádu na množství podaného prachu

Jemnost vláken [Tex]	Statistika	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu[%]		
				Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
17	Průměr	6,333	0,914	13,610	5,155	1,475
	Směr.odchylka	3,214	0,331	3,946	1,732	1,467
	Var.koeficient	50,756	36,162	28,997	33,590	99,462
6,7	Průměr	10	0,763	5,486	2,380	0,648
	Směr.odchylka	1,732	0,239	2,178	0,977	0,716
	Var.koeficient	17,321	31,292	39,703	41,046	110,435
1,3/6,7	Průměr	3,00	1,583	5,043	2,185	0,281
	Směr.odchylka	1,826	1,208	3,899	1,624	0,070
	Var.koeficient	60,858	76,276	77,320	74,318	24,938

Tab.15: Vyhodnocení poklesů efektivity pomocí pěti parametrů u filtrů s odlišnou jemností vláken.

Byly měřeny tři vzorky plošné textilie o rozdílných jemnostech vláken. Jednalo se o jemnosti vláken 17 dTex, 6,7 dTex a směs vláken o jemnostech 1,3 dTex a 6,7 dTex. Směs byla vyrobena z důvodu technických parametrů stroje pro výrobu vpichované NT. Nepodařilo se vyrobit stejnoměrnou pavučinu z vláken o jemnosti 1,3 dTex. Pro každou jemnost vláken byly měřeny minimálně tři vzorky. Měřila se efektivita filtrace, z ní se dále určovaly poklesy ke kterým dochází v průběhu filtrace. Pro vyhodnocení zjištěných poklesů se určilo pět parametrů, viz kap. 3.6.2 A). K porovnání jsou data uspořádána do tab.15.

Uvedená data jsou průměry z měření jednotlivých vzorků pro určitou plošnou hmotnost.

K nejnižšímu počtu poklesů do podání 3,5 g prachu došlo u vzorku ze směsi vláken o jemnostech 1,3 dTex a 6,7 dTex. Pokles nastal třikrát. První propad nastal po dodání nejvyššího množství prachu opět u směsi vláken o jemnostech 1,3 dTex a 6,7 dTex. Zde je však velká směrodatná odchylka. Z tohoto parametru nelze jednoznačně určit závěr. Maximální pokles nastal u nejhrubších vláken, tedy u vláken s jemností 17 dTex. Došlo zde k poklesu efektivity o 13,610%. Průměrná hodnota ze všech poklesů je nejvyšší u vzorku z vláken o jemnosti 17 dTex. Nejnížší hodnotu minimálního poklesu dosáhl vzorek z vláken o jemnostech 1,3 dTex a 6,7 dTex. Zbylé dva vzorky nelze odlišit z důvodu velké směrodatné odchylky.

Po vyhodnocení všech parametrů se dá usoudit, že u vzorku z hrubých vláken dochází k nejvýraznějším poklesům, projevuje se zde nejvíce nestacionární chování v průběhu filtrace. U jemných vláken došlo k nejnižšímu počtu propadů, „minimální pokles“ byl nejnižší a dalo by se říct, že u filtrů z jemnějších vláken se nestacionární chování projevuje v menší míře.

4.1.3 Chyba měření

Byla snaha identifikovat velikost chyby, která může ovlivnit měření. V kapitole 3.5 b) byla vyloučena chyba způsobená nevhodnou manipulací se vzorky. Je třeba se zabývat chybou způsobenou nepřesností vážení. V kapitole 3.4.2 byla uvedena chyba vah 0,002 g. To znamená, že skutečná hmotnost může být o 0,002 g větší nebo menší než ta která byla naměřena.

Ve vzorci (9), pro výpočet efektivity filtrů je rozepsáno při kterém vážení chyba může nastat a jak velká. Dále jsou určeny všechny kombinace chyb, které mohou nastat po dosazení do vzorce (1) pro výpočet efektivity (viz 9).

Pro jeden vzorek 1B - Objemná netkaná textilie zpevněná termicky je spočtena efektivita při všech kombinacích chyb. Z takto spočtených efektivit byl vypočten pokles efektivity. Je vybrána kombinace chyby při které se hodnoty poklesu efektivity vypočtených, nejvíce liší od hodnot poklesů efektivity naměřených. Je vytvořen graf, v kterém jsou zobrazeny chybové úsečky vyjadřující největší možnou chybu způsobenou nepřesností v měření.

$$E = 1 - \frac{m_{0A} - m_{1A}}{(m_{0A} - m_{1A}) + (m_{0T} - m_{1T})} \Rightarrow \frac{\begin{pmatrix} -0,002 & -0,002 \\ 0,002 & 0,002 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} -0,002 & -0,002 \\ 0,002 & 0,002 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0,002 & -0,002 \\ 0,002 & 0,002 \end{pmatrix}} \quad (9)$$

m_{0A} ...hmotnost absolutního filtru před zanesením prachu [g]

m_{1A} ...hmotnost absolutního filtru po zanesení prachu [g]

m_{0T} ...hmotnost testovaného filtru před zanesením prachu [g]

m_{1T} ...hmotnost testovaného filtru po zanesení prachu [g]

$$\frac{-0,002 - 0,002}{-0,002 - 0,002 + (-0,002 - 0,002)} = \frac{-0,004}{-0,008}$$

$$\frac{-0,002 - 0,002}{-0,002 - 0,002 + (-0,002 - (-0,002))} = \frac{-0,004}{-0,004}$$

$$\frac{-0,002 - 0,002}{(-0,002 - 0,002) + (0,002 + 0,002)} = \frac{-0,004}{0}$$

$$\frac{-0,002 - (-0,002)}{(-0,002 - (-0,002)) + (-0,002 - 0,002)} = \frac{0}{-0,004}$$

$$\frac{-0,002 - (-0,002)}{(-0,002 - (-0,002)) + (-0,002 - (-0,002))} = \frac{0}{0}$$

$$\frac{-0,002 - (-0,002)}{(-0,002 - (-0,002)) + (0,002 - (-0,002))} = \frac{0}{0,004}$$

$$\frac{0,002 - (-0,002)}{(0,002 - (-0,002)) + (-0,002 - 0,002)} = \frac{0,004}{0}$$

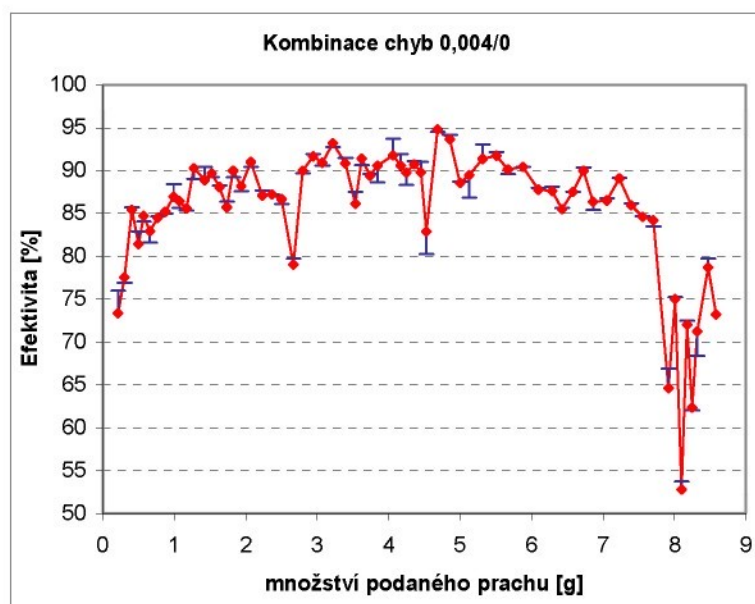
$$\frac{0,002 - (-0,002)}{(0,002 - (-0,002)) + (-0,002 - (-0,002))} = \frac{0,004}{0,004}$$

$$\frac{0,002 - (-0,002)}{(0,002 - (-0,002)) + (0,002 - (-0,002))} = \frac{0,004}{0,008}$$

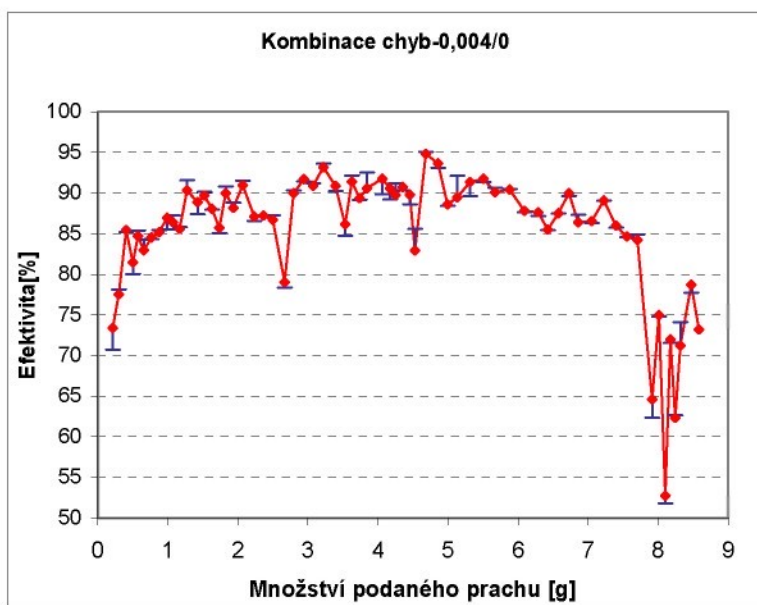
Rozdíly v poklesu efektivity pro jednotlivé kombinace chyb oproti poklesu naměřenému[%]								
	0,004/ 0	-0,004/ 0	0,004/ 0,008	-0,004/- 0,008	0/ 0,004	0/ -0,004	0,004/ 0,004	-0,004/ - 0,004
Průměr	0,0266	-0,0266	0,0110	-0,0137	-0,0446	0,0076	0,0184	-0,0205
Směr.odch.	1,0706	1,0706	0,7608	0,9590	1,9254	0,3182	0,8627	0,9806

Tab.16: Rozdíly v poklesu efektivity pro jednotlivé kombinace chyb oproti poklesu naměřenému.

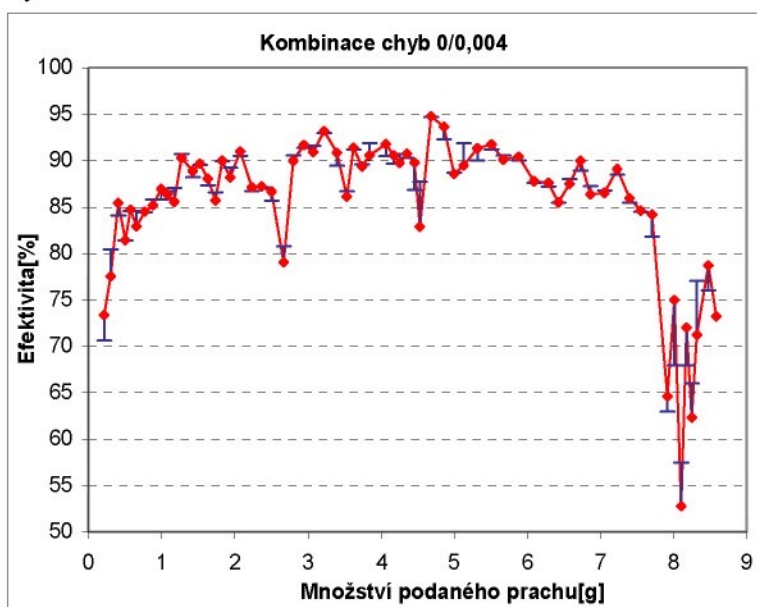
Z tabulky 16 lze zjistit, že k největší chybě dochází u třech kombinací chyb: 0,004/0,-0,004/0, 0/0,004. Pro tyto tři kombinace jsou vytvořeny grafy Závislosti efektivity na množství podaného prachu. K naměřeným hodnotám jsou přidány chybové úsečky zjištěné z rozdílu naměřené a spočtené hodnoty. Jednotlivé hodnoty pro vypočtené poklesy efektivity počítané s chybou jsou uvedeny v příloze 3. Rozdíly poklesů efektivity naměřených oproti spočteným vyjadřuje příloha 7.



Obr. 46: Závislost efektivity na množství podaného prachu, s chybovými úsečkami vyjadřující rozdíl naměřených hodnot efektivity oproti spočtených s maximální možnou chybou



Obr. 47: Závislost efektivity na množství podaného prachu, s chybovými úsečkami vyjadřující rozdíl naměřených hodnot efektivity oproti spočtených s maximální možnou chybou vážení



Obr. 48: Závislost efektivity na množství podaného prachu, s chybovými úsečkami vyjadřující rozdíl naměřených hodnot efektivity oproti spočtených s maximální možnou chybou

Z grafu je vidět, že i po započítání maximální možné chyby zůstávají poklesy stále výrazné. Tímto se podařilo vyvrátit myšlenku, že by se naměřené poklesy efektivity mohly vyskytovat z důvodu chyby měření a ne z důvodu existence jevu nazvaného Nestacionarita filtrů.

5 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala studiem filtračních charakteristik a jejich změnami v čase. Sledované veličiny byly: efektivita(odlučivost) filtrace a tlakový spád. Testování odlučivosti na syntetický prach se provádělo na přístroji DFT – 2, který pracuje na principu v částečně shodném s normou ČSN EN 779. Měření se provádělo na vlákněných filtrech vyrobených z PES a PP vláken.

V průběhu filtrace se měnily vlastnosti filtru. Docházelo ke zvyšování efektivit a tlakového spádu. Je to způsobeno zanášením filtru částicemi prachu, které začnou fungovat také jako filtr. Po mnoha cyklech zanášení došlo k poklesům efektivit. Poklesy efektivit dosahovaly až desítky procent. Tímto se utvrdily počáteční domněnky o existenci sekundárního jevu nazvaného „uvolňování usazeného prachu“. Poklesy efektivit se dají vysvětlit hromaděním prachu na vláknech, vznikem dendritů. Tyto útvary vznikají usazováním prachu na vláknech, zvětšují se přiváděním nového prachu. V určité chvíli, po nahromadění kritické dávky prachu, přestanou být stabilní. Dojde k náhlému uvolnění určitého množství prachu a ten pronikne skrz filtr. Další přísun prachu může vyvolat další nestabilitu. Toto chování vystihuje „model hromady písku“ a dá se statisticky popsat pomocí histogramu. U obou typů testovaných filtrů se většina poklesů pohybovala do 5%, výskyt poklesů nad 20% byl minimální. Možné pochybnosti s přesností měření byly vyvráceny zanalyzováním vzniku a následků možné chyby měření. I po započítání největší možné chyby zůstávají poklesy efektivit patrné.

Z vyhodnocování vlivu jemnosti vláken a vlivu plošné hmotnosti vyplývá, že k uvolňování již usazených částic, tedy poklesům efektivit, dochází ve větší míře u filtrů z hrubších vláken a filtrů s nižší plošnou hmotností.

Toto tvrzení vychází z měření, která byla provedena. Pro objektivní posouzení, bych doporučila měření na větším množství vzorků a vyhodnocení více parametrů, které mohou mít vliv na poklesy efektivit při filtraci.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] Filtrace průmyslových plynů – vývoj 1990/2000. Ochrana ovzduší. 1/2002. Praha: Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší. ISSN:1211-0337
- [2] Textilie pro filtraci průmyslových plynů. Technik. Ročník X., číslo 12. Praha:Economia, a.s. ISSN 1210-616
- [3]<http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/index.php?obsah=vedecka_cinnost/vzduchova_filtrace>
- [4] PICH, J. 1987: Gas filtration theory, edited by M.J. Matteson and C. Orr, published by Marcel Dekker, inc. New York 1987, 1-132.
- [5]<http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/index.php?obsah=vedecka_cinnost/vzduchova_filtrace>
- [6] BROWN, R. C.1993: Air filtration. 1st edition. Sheffield, 1993. ISBN 0 08 041274
- [7] EN 779 1993. Particulate air filters for general ventilation. Requirements, testing, marking. European Comitee for Standardization, Bruxelles, Belgium, 1993.
- [8] MORÁVEK, P. 2005: Problémy mikroklimatu obytných domů. Můj dům, květen 2005.http://www.atrea.cz/?download=cz/napsali/2005_05_muj_dum_problemy_mikroklimatu.pdf
- [9] LUKÁŠ, D. 2004.: Teorie netkaných textilií, Liberec 2004.
http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/index.php?obsah=studium/studijni_podklady
- [10] <RICHTER, M 2002.: Technologie ochrany životního prostředí. Univerzita J.E. Purkyně, Ústí nad Labem
2002.<<http://www.zlatokop.cz/CKZ/clanky/cesky/Skripta/Technologie.pdf>>
- [11] Vpichované textilie pro průmyslovou filtraci vzdušnin. Ochrana ovzduší. 2/2000. Praha: Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší. ISSN:1211-0337
- [12] ASHRAE 52.2. 1999: Method of testing general ventilation air - cleaning devices used in for removal efficiency by particle size. American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1999.
- [13] GUSTAVSSON, J.1999: Air filters for ventilating systems-laboratory and in situ testing. International Nonwovens Journal, Vol 8, No 2, 1999.
- [14] SCHROTH, T., CAESAR, T.: Standard offers guide to in situ HEPA/ULPA filter testing. <http://www.airtesters.com/EN_1822.pdf>
- [15] BS 4400. 1969. Method for Sodium Chloride Particulate Test for Respirator Filters. British Standards institution. London, 1969. UDC 614.894.24

[16] HRŮZA, J. 2002: Samoorganizované kritické chování filtrů. STRUTEX 2002, 495-503, Liberec. ISBN 80-7083-668-7

[17] CHYTIL, M. 1984: Automaty a gramatiky. 1. vydání. SNTL Praha 1984. L11-E1-IV-41f/11 878

[18] TURCOTTE, D. L. 1999: Self-organized criticality, Reports on Progress in Physics, pages 1377–1429, Ithaca, USA, 1999

7 SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1: Zjišťování plošné hmotnosti, tloušťky, průměr vláken

Příloha 2: Naměřené přírůstky prachu po jednotlivých měření, tlakový spád, výpočty efektivity

Příloha 3: Výpočet poklesů pro jednotlivé kombinace chyb u jednoho vzorku Objemného filtru pojeného termicky

Příloha 4: Rozdíly v poklesu efektivity pro jednotlivé kombinace chyb oproti poklesu naměřenému

Příloha 5: Vyhodnocení poklesů efektivity, 5 parametrů hodnocení, pro vliv plošné hmotnosti

Příloha 6: Vyhodnocení poklesů efektivity, 5 parametrů hodnocení, pro vliv jemnosti vláken

Příloha 1: Zjišťování plošné hmotnosti, tloušťky, průměr vláken

Plošná hmotnost[g/m²]								
	VAF	Objemný filtr	6,7dTe x 4x	6,7dTe x 3x	6,7dte x 2x	6,7dTe x 1x	17dTe x 2x	1,3/6,7dTe x 2x
1	274	55,145	309	253	189	106	162	180
2	276	57,791	307	247	162	101	178	173
3	269	56,631	312	254	175	106	164	159
Průměr	273	56,52	309,33	251,33	175,33	104,33	168	170,67
Směr.odchylka	3,609	1,326	2,517	3,786	13,503	2,887	8,718	10,693
Var.koef.[%]	1,321	2,347	0,814	1,506	7,701	2,767	5,189	6,265

Tloušťka[mm]								
	VA F	Objemný filtr	6,7dTe x 4x	6,7dTe x 3x	6,7dte x 2x	6,7dTe x 1x	17dTe x 2x	1,3/6,7dTe x 2x
1		12	6,64	5,42	4,85	2,71	2,89	3,26
2		13	6,69	5,08	4,37	2,8	3,23	3,49
3		12	6,79	5,49	4,83	2,84	2,55	3,91
Průměr		12,333	6,707	5,330	4,683	2,783	2,89	3,553
Směr.odchylka		0,577	0,076	0,219	0,272	0,067	0,340	0,330
Var.koef.[%]		4,681	1,139	3,360	5,798	2,392	11,765	9,276

Průměr vláken[μm]					
	VAF	Objemný filtr	6,7dTex	17dTex	1,3dTex
1	114	76	100	146	44
2	118	78	96	158	50
3	120	72	88	152	42
Průměr	117,333	75,333	94,667	152	45,333
Směr.odchylka	3,055	3,055	6,110	6,000	4,163
Var.koef.[%]	2,604	4,055	6,454	3,947	0,092

Jemnost vláken[dTex]					
	VAF	Objemný filtr	6,7dTex	17dTex	1,3dTex
1	13,473	5,988	6,697	16,407	1,490
2	14,435	6,307	6,093	19,215	1,924
3	14,929	5,374	5,960	17,783	1,358
Průměr	14,279	5,890	6,917	17,802	1,591

Směr.odchylka	0,740	0,474	0,882	1,404	0,296
Var koef. [%]	5,185	8,052	12,749	7,887	18,616

Příloha 2: Naměřené přírůstky prachu po jednotlivých měření, tlakový spád, výpočty efektivit

Vaf-vzorek č.1

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,067	0,279	0,279	75,986	20
2	0,045	0,291	0,570	84,536	40
3	0,034	0,248	0,818	86,290	70
4	0,023	0,230	1,048	90,000	90
5	0,024	0,220	1,268	89,091	110
6	0,019	0,182	1,450	89,560	130
7	0,015	0,170	1,620	91,176	160
8	0,016	0,160	1,780	90,000	210
9	0,012	0,140	1,920	91,429	230
10	0,016	0,200	2,120	92,000	270
11	0,011	0,163	2,283	93,252	280
12	0,013	0,050	2,333	74,000	280
13	0,011	0,067	2,400	83,582	290
14	0,011	0,056	2,456	80,357	290
15	0,012	0,056	2,512	78,571	330
16	0,013	0,047	2,559	72,340	370
17	0,013	0,055	2,614	76,364	370
18	0,014	0,102	2,716	86,275	380
19	0,009	0,082	2,798	89,024	450
20	0,012	0,097	2,895	87,629	460
21	0,010	0,083	2,978	87,952	460
22	0,017	0,102	3,080	83,333	490
23	0,019	0,144	3,224	86,806	530
24	0,016	0,070	3,294	77,143	640
25	0,011	0,053	3,347	79,245	650
26	0,020	0,066	3,413	69,697	690
27	0,015	0,163	3,576	90,798	690
28	0,031	0,111	3,687	72,072	720
29	0,003	0,068	3,755	95,590	760
30	0,017	0,105	3,860	83,810	820
31	0,035	0,169	4,029	79,290	820
32	0,020	0,112	4,141	82,143	1160
33	0,001	0,073	4,214	90,179	1380
34	0,031	0,100	4,314	77,419	1200
35	0,016	0,085	4,399	81,176	1290
36	0,017	0,081	4,480	79,012	1440
37	0,015	0,050	4,530	70,000	1450
38	0,012	0,063	4,593	80,952	1520
39	0,008	0,053	4,646	84,906	1200
40	0,031	0,066	4,712	53,030	1320
41	0,028	0,098	4,810	71,429	1460

42	0,024	0,101	4,911	76,238	1630
43	0,023	0,094	5,005	75,532	1800
44	0,019	0,085	5,090	77,647	1960
45	0,020	0,106	5,196	81,132	2100
46	0,017	0,103	5,299	83,495	1900
47	0,029	0,079	5,378	63,291	2640
48	0,018	0,068	5,446	73,529	2420
49	0,020	0,066	5,512	69,697	2720
50	0,020	0,078	5,590	74,359	2560
51	0,035	0,084	5,674	58,333	3000

Vaf-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,041	0,206	0,206	80,097	30
2	0,029	0,165	0,371	82,424	40
3	0,021	0,137	0,508	84,672	60
4	0,034	0,267	0,775	87,266	80
5	0,019	0,175	0,950	89,143	100
6	0,031	0,190	1,140	83,684	100
7	0,020	0,205	1,345	90,244	120
8	0,018	0,132	1,477	86,364	140
9	0,022	0,189	1,666	88,360	160
10	0,016	0,181	1,847	91,160	180
11	0,011	0,169	2,016	93,491	220
12	0,014	0,128	2,144	89,063	240
13	0,010	0,064	2,209	84,375	260
14	0,013	0,091	2,300	85,714	300
15	0,015	0,060	2,360	75,000	300
16	0,011	0,061	2,421	81,967	280
17	0,007	0,042	2,463	83,333	260
18	0,014	0,054	2,517	74,074	280
19	0,010	0,052	2,569	80,769	280
20	0,015	0,049	2,618	69,388	300
21	0,010	0,051	2,669	80,392	310
22	0,011	0,075	2,744	85,333	360
23	0,011	0,058	2,802	81,035	380
24	0,011	0,069	2,871	84,058	380
25	0,019	0,096	2,967	80,208	380
26	0,018	0,089	3,056	79,775	440
27	0,010	0,108	3,164	90,741	500
28	0,013	0,113	3,277	88,496	520
29	0,015	0,117	3,394	87,179	520
30	0,013	0,105	3,499	87,619	660
31	0,015	0,118	3,617	87,288	640
32	0,021	0,114	3,731	81,579	630
33	0,016	0,081	3,812	80,247	820

34	0,019	0,093	3,905	79,570	800
35	0,013	0,077	3,982	83,117	840
36	0,014	0,059	4,041	76,271	860
37	0,014	0,084	4,125	83,333	880
38	0,027	0,068	4,193	60,294	880
39	0,016	0,059	4,252	72,881	860
40	0,011	0,059	4,311	81,356	900
41	0,016	0,124	4,435	87,097	1060
42	0,016	0,092	4,527	82,607	1140
43	0,021	0,178	4,705	88,202	1480
44	0,013	0,070	4,775	81,429	1440
45	0,018	0,086	4,861	79,070	1360
46	0,019	0,074	4,935	74,324	1500
47	0,019	0,082	5,017	76,829	1600
48	0,019	0,068	5,085	72,059	1640
49	0,025	0,080	5,165	68,750	1500
50	0,027	0,140	5,305	80,714	1820
51	0,032	0,115	5,420	72,174	2200

Vaf –vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,039	0,160	0,160	75,625	30
2	0,027	0,166	0,326	83,735	40
3	0,028	0,158	0,484	82,278	50
4	0,023	0,192	0,676	88,021	60
5	0,027	0,217	0,893	87,558	80
6	0,019	0,185	1,078	89,730	100
7	0,014	0,126	1,204	88,888	100
8	0,019	0,161	1,365	88,199	120
9	0,021	0,161	1,526	86,957	140
10	0,020	0,166	1,692	87,952	160
11	0,021	0,173	1,865	87,861	200
12	0,016	0,115	1,980	86,087	220
13	0,010	0,127	2,107	92,126	260
14	0,008	0,105	2,212	92,381	280
15	0,008	0,097	2,309	91,753	300
16	0,010	0,080	2,389	87,500	320
17	0,011	0,090	2,479	87,777	340
18	0,021	0,092	2,571	77,174	360
19	0,015	0,094	2,665	84,043	360
20	0,014	0,128	2,793	89,063	420
21	0,010	0,130	2,923	92,308	500
22	0,010	0,087	3,010	88,506	500
23	0,012	0,061	3,071	80,328	500
24	0,013	0,125	3,196	89,600	520

25	0,013	0,098	3,294	86,735	530
26	0,017	0,140	3,434	87,857	660
27	0,017	0,129	3,563	86,822	780
28	0,008	0,088	3,651	90,909	780
29	0,012	0,089	3,740	86,517	800
30	0,014	0,099	3,839	85,859	940
31	0,010	0,083	3,922	87,952	960
32	0,011	0,073	3,995	84,932	960
33	0,022	0,125	4,120	82,400	920
34	0,022	0,091	4,211	75,824	1000
35	0,016	0,100	4,311	84,000	1220
36	0,012	0,121	4,432	90,083	1200
37	0,016	0,083	4,515	80,723	1220
38	0,023	0,095	4,610	75,789	1500
39	0,019	0,152	4,762	87,500	1520
40	0,025	0,199	4,961	87,437	1800
41	0,017	0,097	5,058	82,474	1760
42	0,027	0,117	5,175	76,923	1820
43	0,027	0,110	5,285	75,455	2380
44	0,030	0,112	5,397	73,214	2800

Objemný filtr-vzorek č.1

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,057	0,214	0,214	73,364	30
2	0,020	0,089	0,303	77,528	30
3	0,015	0,103	0,406	85,437	30
4	0,018	0,097	0,503	81,443	30
5	0,011	0,072	0,575	84,722	40
6	0,014	0,082	0,657	82,927	40
7	0,017	0,113	0,770	84,496	40
8	0,016	0,108	0,878	85,185	50
9	0,015	0,115	0,993	86,957	50
10	0,011	0,081	1,074	86,420	50
11	0,014	0,097	1,171	85,567	50
12	0,010	0,103	1,274	90,291	60
13	0,017	0,153	1,427	88,889	60
14	0,010	0,097	1,524	89,691	60
15	0,013	0,109	1,633	88,073	60
16	0,015	0,105	1,738	85,714	60
17	0,009	0,090	1,828	90,000	70
18	0,013	0,110	1,938	88,182	70
19	0,012	0,133	2,071	90,977	80
20	0,021	0,163	2,234	87,117	90
21	0,017	0,133	2,367	87,218	100
22	0,018	0,135	2,502	86,667	100

23	0,035	0,167	2,669	79,042	110
24	0,013	0,130	2,799	90,000	110
25	0,012	0,144	2,943	91,667	120
26	0,012	0,132	3,075	90,909	140
27	0,010	0,147	3,222	93,197	160
28	0,016	0,175	3,397	90,857	180
29	0,019	0,137	3,534	86,131	180
30	0,008	0,093	3,627	91,398	220
31	0,012	0,113	3,740	89,381	220
32	0,010	0,106	3,846	90,566	240
33	0,018	0,219	4,065	91,781	260
34	0,010	0,106	4,171	90,566	280
35	0,008	0,078	4,249	89,744	300
36	0,010	0,108	4,357	90,741	260
37	0,010	0,098	4,455	89,796	300
38	0,013	0,076	4,531	82,895	320
39	0,008	0,154	4,685	94,805	300
40	0,011	0,017	4,858	93,642	330
41	0,016	0,140	4,998	88,571	420
42	0,014	0,133	5,131	89,474	480
43	0,016	1,105	5,316	91,351	500
44	0,016	0,194	5,510	91,753	580
45	0,016	0,162	5,672	90,123	700
46	0,020	0,209	5,881	90,431	730
47	0,026	0,213	6,094	87,793	680
48	0,024	0,194	6,288	87,629	800
49	0,020	0,158	6,426	85,507	920
50	0,019	0,152	6,578	87,500	880
51	0,015	0,150	6,728	90,000	880
52	0,018	0,132	6,860	86,364	900
53	0,026	0,193	7,053	86,528	1000
54	0,019	0,174	7,227	89,080	1080
55	0,024	0,171	7,398	85,965	1050
56	0,024	0,156	7,554	84,615	1160
57	0,024	0,152	7,706	84,211	1240
58	0,074	0,209	7,915	64,593	1240
59	0,024	0,096	8,011	75,000	1160
60	0,043	0,091	8,102	52,747	1160
61	0,021	0,075	8,177	72,000	1280
62	0,026	0,069	8,246	62,319	1080
63	0,021	0,073	8,319	71,233	1080
64	0,033	0,155	8,474	78,710	1030
65	0,030	0,112	8,586	73,214	1200

Objemný filtr-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
--------------	--	-----------------------------	-------------------------------------	----------------------	----------

1	0,036	0,171	0,171	78,947	20
2	0,026	0,138	0,309	81,159	30
3	0,027	0,149	0,458	81,879	40
4	0,023	0,148	0,606	84,459	40
5	0,035	0,215	0,821	83,721	50
6	0,040	0,196	1,017	79,592	60
7	0,023	0,157	1,174	85,350	60
8	0,019	0,141	1,315	86,525	60
9	0,010	0,095	1,410	89,474	70
10	0,026	0,217	1,627	88,018	80
11	0,023	0,204	1,831	88,725	80
12	0,021	0,199	2,030	89,447	80
13	0,013	0,118	2,148	88,983	80
14	0,017	0,115	2,263	85,217	90
15	0,013	0,120	2,383	89,167	90
16	0,012	0,104	2,487	88,462	90
17	0,012	0,119	2,606	89,916	100
18	0,014	0,133	2,739	89,474	100
19	0,013	0,162	2,901	91,975	100
20	0,011	0,127	3,028	91,339	120
21	0,007	0,084	3,112	91,667	120
22	0,010	0,109	3,221	90,826	120
23	0,011	0,149	3,370	92,617	140
24	0,014	0,147	3,517	90,476	150
25	0,025	0,180	3,697	86,111	190
26	0,013	0,175	3,872	92,571	200
27	0,012	0,153	4,025	92,157	220
28	0,010	0,097	4,122	89,691	220
29	0,008	0,087	4,209	90,805	220
30	0,008	0,105	4,314	92,381	220
31	0,007	0,131	4,445	94,656	230
32	0,008	0,117	4,562	93,162	250
33	0,018	0,128	4,690	85,938	260
34	0,013	0,177	4,867	92,655	280
35	0,010	0,131	4,998	92,366	300
36	0,006	0,083	5,081	92,771	320
37	0,008	0,120	5,193	93,333	320
38	0,007	0,200	5,393	96,500	330
39	0,012	0,177	5,570	93,220	380
40	0,018	0,192	5,762	90,625	440
41	0,014	0,175	5,937	92,000	440
42	0,015	0,150	6,087	90,000	480
43	0,014	0,179	6,266	92,179	540
44	0,023	0,153	6,419	84,967	350
45	0,023	0,230	6,649	90,000	500
46	0,025	0,274	6,923	90,876	810
47	0,022	0,193	7,116	88,601	720
48	0,025	0,166	7,282	84,940	790

49	0,028	0,165	7,447	83,030	780
50	0,025	0,139	7,586	82,014	910
51	0,033	0,109	7,695	69,725	1080
52	0,030	0,109	7,804	72,477	1090
53	0,031	0,128	7,932	75,781	1210
54	0,024	0,085	8,017	71,765	950
55	0,033	0,068	8,085	51,471	1220
56	0,028	0,074	8,159	62,162	1090
57	0,032	0,081	8,240	60,494	1100
58	0,027	0,088	8,328	69,318	1230
59	0,028	0,033	8,361	15,150	1160
60	0,030	0,077	8,438	61,039	1160
61	0,039	0,098	8,536	60,204	1120
62	0,033	0,111	8,647	70,270	1180
63	0,030	0,078	8,725	61,538	1220
64	0,043	0,090	8,815	52,222	1240
65	0,041	0,096	8,911	57,292	1240
66	0,040	0,077	8,988	48,052	1110
67	0,032	0,061	9,049	47,541	1190
68	0,026	0,070	9,119	62,857	1030
69	0,056	0,084	9,203	33,333	1000
70	0,038	0,080	9,283	52,500	960
71	0,040	0,093	9,376	56,989	1170
72	0,046	0,097	9,473	52,577	1240
73	0,048	0,082	9,555	41,463	1260
74	0,044	0,059	9,614	25,424	1150

Objemný filtr-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,040	0,162	0,162	75,309	20
2	0,041	0,204	0,366	79,902	20
3	0,030	0,190	0,556	84,211	30
4	0,031	0,201	0,757	84,577	30
5	0,028	0,197	0,954	85,787	40
6	0,022	0,236	1,190	90,678	50
7	0,024	0,205	1,395	88,293	50
8	0,020	0,171	1,566	88,304	50
9	0,022	0,282	1,848	92,199	60
10	0,027	0,204	2,052	86,765	70
11	0,023	0,172	2,224	86,628	70
12	0,021	0,337	2,561	93,769	70
13	0,011	0,159	2,720	93,082	90
14	0,017	0,129	2,849	86,822	90
15	0,020	0,125	2,974	84,000	100
16	0,012	0,135	3,109	91,111	100

17	0,018	0,153	3,262	88,235	110
18	0,018	0,165	3,427	89,091	110
19	0,012	0,134	3,561	91,045	120
20	0,013	0,129	3,690	89,922	140
21	0,009	0,101	3,791	91,089	140
22	0,017	0,114	3,905	85,088	140
23	0,014	0,126	4,031	88,889	150
24	0,011	0,125	4,156	91,200	150
25	0,009	0,131	4,287	93,130	150
26	0,008	0,142	4,429	94,366	160
27	0,012	0,129	4,558	90,698	180
28	0,011	0,165	4,723	93,333	210
29	0,012	0,177	4,900	93,220	220
30	0,011	0,154	5,054	92,857	230
31	0,012	0,119	5,173	89,916	220
32	0,019	0,162	5,335	88,272	260
33	0,016	0,208	5,543	92,308	310
34	0,014	0,183	5,726	92,350	380
35	0,012	0,136	5,862	91,176	400
36	0,012	0,144	6,006	91,667	420
37	0,010	0,067	6,073	85,075	390
38	0,022	0,152	6,225	85,526	390
39	0,013	0,131	6,356	90,076	380
40	0,025	0,172	6,528	85,465	420
41	0,029	0,202	6,730	85,644	310
42	0,022	0,142	6,872	84,507	310
43	0,019	0,119	6,991	84,034	480
44	0,018	0,119	7,110	84,874	590
45	0,022	0,111	7,221	80,180	530
46	0,028	0,143	7,364	80,420	530
47	0,027	0,123	7,487	78,049	510
48	0,030	0,134	7,621	77,612	520
49	0,030	0,126	7,747	76,190	530
50	0,033	0,125	7,872	73,600	780
51	0,026	0,180	8,052	85,556	820
52	0,025	0,113	8,165	77,876	540
53	0,039	0,158	8,323	75,316	920
54	0,030	0,163	8,486	81,595	920
55	0,026	0,089	8,575	70,787	920
56	0,034	0,092	8,667	63,043	940
57	0,035	0,096	8,763	63,542	1000
58	0,038	0,100	8,863	62,000	970
59	0,033	0,119	8,982	72,269	1010
60	0,014	0,086	9,068	83,721	1010
61	0,038	0,107	9,175	64,486	910
62	0,050	0,146	9,321	65,753	1130
63	0,039	0,090	9,411	56,667	1170
64	0,047	0,096	9,507	51,042	1120

65	0,038	0,119	9,626	68,067	1180
66	0,040	0,077	9,703	48,052	1210
67	0,033	0,092	9,795	64,130	1070
68	0,044	0,072	9,867	38,889	1130
69	0,057	0,072	9,939	20,833	1130
70	0,046	0,077	10,016	40,260	1120
71	0,043	0,077	10,093	44,156	1160
72	0,036	0,071	10,164	49,296	1210
73	0,045	0,104	10,268	56,731	1290
74	0,040	0,073	10,341	45,205	1160
75	0,050	0,096	10,437	47,917	1200
76	0,050	0,060	10,497	16,667	1230
77	0,042	0,171	10,668	75,439	1240
78	0,037	0,110	10,778	66,364	1380
79	0,052	0,100	10,878	48,000	1530

PP 17dTex 2x

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,056	0,168	0,168	66,666	15
2	0,038	0,148	0,316	74,324	17
3	0,043	0,252	0,568	82,937	22
4	0,030	0,147	0,715	79,592	26
5	0,018	0,081	0,796	77,777	27
6	0,031	0,160	0,956	80,625	29
7	0,029	0,131	1,087	77,863	33
8	0,035	0,195	1,282	82,051	38
9	0,053	0,148	1,430	64,189	45
10	0,034	0,164	1,446	79,268	45
11	0,051	0,156	1,602	67,308	52
12	0,037	0,179	1,781	79,330	60
13	0,031	0,131	1,912	76,336	63
14	0,028	0,131	2,043	78,626	68
15	0,033	0,123	2,166	73,171	68
16	0,028	0,185	2,351	84,865	72
17	0,036	0,189	2,540	80,952	92
18	0,040	0,268	2,808	85,075	110
19	0,021	0,128	2,937	83,721	120
20	0,037	0,253	3,190	85,375	129
21	0,040	0,233	3,423	82,833	146

PP 17dTex 2x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
--------------	--	-----------------------------	-------------------------------------	----------------------	----------

1	0,130	0,579	0,579	77,547	24
2	0,098	0,578	1,157	83,045	47
3	0,033	0,139	1,296	76,259	52
4	0,023	0,144	1,440	84,028	60
5	0,028	0,138	1,578	79,710	62
6	0,053	0,290	1,868	81,724	70
7	0,038	0,308	2,176	87,662	84
8	0,009	0,436	2,612	97,936	112
9	0,044	0,294	2,906	85,034	153
10	0,030	0,167	3,073	82,036	162
11	0,031	0,181	3,254	82,873	221
12	0,032	0,251	3,324	87,251	263

PP 17dTex 2x-vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,055	0,165	0,165	66,666	18
2	0,070	0,334	0,499	79,042	28
3	0,049	0,233	0,732	78,970	32
4	0,051	0,298	1,030	82,886	42
5	0,106	0,390	1,420	72,821	51
6	0,050	0,319	1,739	84,326	64
7	0,042	0,248	1,987	83,065	73
8	0,051	0,302	2,289	83,113	83
9	0,033	0,199	2,488	83,417	99
10	0,045	0,220	2,708	79,545	132
11	0,036	0,195	2,903	81,538	172
12	0,033	0,167	3,070	80,240	170
13	0,033	0,252	3,322	86,905	189

PP směs 6,7/1,3dTex 2x-vzorek č.1

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,044	0,431	0,431	89,791	75
2	0,025	0,239	0,670	89,540	86
3	0,023	0,358	1,028	93,575	138
4	0,080	0,242	1,270	66,942	155
5	0,017	0,278	1,548	93,885	171
6	0,006	0,161	1,826	96,273	197
7	0,035	0,526	2,352	93,346	258
8	0,012	0,153	2,505	92,157	305
9	0,009	0,140	2,645	93,571	318
10	0,014	0,245	2,890	94,286	438
11	0,027	0,648	3,538	95,833	850

12	0,007	0,194	3,732	96,392	1153
----	-------	-------	-------	--------	------

PP směs 6,7/1,3dTex 2x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,028	0,238	0,266	89,474	63
2	0,017	0,200	0,483	92,166	70
3	0,013	0,166	0,662	92,737	101
4	0,014	0,192	0,868	93,204	109
5	0,031	0,545	1,444	94,618	158
6	0,017	0,389	1,85	95,813	226
7	0,011	0,280	2,141	96,220	230
8	0,005	0,192	2,338	97,462	314
9	0,011	0,371	2,720	97,120	386
10	0,023	0,916	3,659	97,551	1120
11	0,007	0,499	4,165	98,617	1730

PP směs 6,7/1,3dTex 2x-vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,026	0,268	0,268	90,299	58
2	0,015	0,149	0,417	89,933	61
3	0,015	0,157	0,574	90,446	71
4	0,016	0,156	0,730	89,744	91
5	0,012	0,134	0,864	91,045	105
6	0,021	0,197	1,272	89,340	140
7	0,015	0,280	1,552	94,643	218
8	0,006	0,224	1,776	97,321	252
9	0,016	0,256	2,032	93,750	314
10	0,031	0,963	2,995	96,781	623
11	0,011	0,322	3,317	96,584	1250

PP směs 6,7/1,3dTex 2x-vzorek č.4

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,012	0,104	0,104	88,462	55
2	0,014	0,115	0,219	87,826	63
3	0,016	0,205	0,424	92,195	71
4	0,018	0,214	0,638	91,589	91
5	0,019	0,327	0,965	94,190	124
6	0,014	0,208	1,173	93,269	155

7	0,011	0,252	1,425	95,635	194
8	0,012	0,369	1,794	96,748	212
9	0,010	0,288	2,082	96,528	289
10	0,010	0,235	2,317	95,745	334
11	0,013	0,170	2,487	92,352	417
12	0,025	0,409	2,896	93,888	564
13	0,022	0,410	3,306	94,634	710

PP 6,7dTex 2x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,035	0,215	0,215	83,721	35
2	0,019	0,118	0,333	83,898	42
3	0,013	0,085	0,418	84,706	49
4	0,028	0,211	0,629	86,730	59
5	0,023	0,156	0,785	85,256	62
6	0,031	0,190	0,975	83,684	74
7	0,014	0,119	1,094	88,235	79
8	0,019	0,184	1,278	89,674	94
9	0,019	0,151	1,429	87,417	107
10	0,006	0,103	1,532	94,175	127
11	0,006	0,060	1,592	90,000	118
12	0,004	0,073	1,665	94,521	117
13	0,016	0,154	1,819	89,610	140
14	0,015	0,168	1,987	91,071	160
15	0,013	0,163	2,150	92,025	182
16	0,009	0,143	2,130	93,706	199
17	0,011	0,117	2,247	90,598	234
18	0,012	0,085	2,332	85,882	244
19	0,010	0,168	2,500	94,048	242
20	0,010	0,124	2,624	91,935	275
21	0,012	0,107	2,607	88,785	271
22	0,010	0,131	2,738	92,366	312
23	0,004	0,136	2,874	97,059	353
24	0,008	0,122	2,996	93,443	403
25	0,015	0,117	3,113	87,179	

PP 6,7dTex 2x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,043	0,192	0,192	77,604	31
2	0,033	0,174	0,366	81,034	40
3	0,030	0,148	0,514	79,730	46
4	0,011	0,069	0,583	84,058	49
5	0,023	0,142	0,656	83,803	62

6	0,017	0,139	0,795	87,770	73
7	0,014	0,153	0,948	90,850	74
8	0,016	0,127	1,075	87,402	84
9	0,019	0,186	1,261	89,785	78
10	0,020	0,154	1,415	87,013	97
11	0,011	0,101	1,516	89,109	113
12	0,016	0,123	1,639	86,992	120
13	0,011	0,137	1,776	91,971	138
14	0,014	0,135	1,911	89,630	149
15	0,014	0,121	2,032	88,430	171
16	0,009	0,112	2,144	91,964	178
17	0,013	0,146	2,290	91,096	207
18	0,015	0,128	2,418	88,281	183
19	0,018	0,142	2,560	87,324	224
20	0,016	0,340	2,900	95,294	248
21	0,019	0,160	3,060	88,125	306

PP 6,7dTex 2x-vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,072	0,220	0,220	67,273	32
2	0,046	0,282	0,502	83,688	40
3	0,037	0,282	0,784	86,879	62
4	0,028	0,206	0,990	86,408	70
5	0,026	0,197	1,187	86,802	86
6	0,024	0,252	1,439	90,476	102
7	0,016	0,212	1,651	92,453	130
8	0,016	0,183	1,834	91,257	137
9	0,021	0,241	2,075	91,286	170
10	0,025	0,218	2,293	88,532	178
11	0,015	0,132	2,425	88,636	197
12	0,010	0,132	2,557	92,424	190
13	0,010	0,122	2,679	91,803	217
14	0,009	0,107	2,786	91,588	232
15	0,013	0,134	2,920	90,299	269
16	0,014	0,110	3,030	87,273	278
17	0,014	0,187	3,217	92,513	335
18	0,017	0,179	3,396	90,503	263

PP 6,7dTex 1x-vzorek č.1

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,039	0,123	0,123	68,293	20
2	0,037	0,159	0,282	76,730	23
3	0,031	0,135	0,417	77,037	29

4	0,050	0,201	0,618	75,124	38
5	0,022	0,115	0,733	80,870	46
6	0,036	0,197	0,930	81,726	52
7	0,024	0,149	1,079	83,893	57
8	0,018	0,100	1,179	82,000	63
9	0,017	0,120	1,299	85,833	73
10	0,026	0,178	1,477	85,393	77
11	0,071	0,228	1,705	68,860	95
12	0,030	0,215	1,920	86,047	126
13	0,030	0,183	2,103	83,607	136
14	0,033	0,174	2,277	81,034	160
15	0,024	0,157	2,434	84,713	187
16	0,026	0,148	2,582	82,732	211
17	0,025	0,169	2,603	85,207	225
18	0,019	0,108	2,711	82,407	278
19	0,016	0,110	2,821	85,455	272
20	0,018	0,105	2,926	82,857	289
21	0,023	0,145	3,071	84,138	328
22	0,021	0,149	3,220	85,906	432

PP 6,7dTex 1x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,049	0,128	0,128	61,719	14
2	0,052	0,181	0,309	71,271	19
3	0,054	0,220	0,529	75,455	23
4	0,024	0,112	0,641	78,571	29
5	0,031	0,144	0,785	78,472	34
6	0,033	0,140	0,925	78,472	38
7	0,025	0,118	1,043	76,429	43
8	0,031	0,133	1,176	78,814	47
9	0,032	0,179	1,355	76,692	52
10	0,038	0,216	1,571	82,123	58
11	0,042	0,145	1,716	82,407	65
12	0,029	0,144	1,860	71,034	80
13	0,048	0,179	2,039	79,861	73
14	0,046	0,170	2,209	73,184	99
15	0,038	0,470	2,379	72,941	113
16	0,032	0,187	2,866	91,915	119
17	0,042	0,180	3,046	82,888	148
18	0,034	0,178	3,224	76,666	182

PP 6,7dTex 1x-vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
--------------	-------------------------------	-----------------------------	---------------------------	----------------------	----------

	filtrem[g]		prachu[g]		
1	0,064	0,218	0,218	70,642	19
2	0,049	0,180	0,398	72,777	26
3	0,039	0,150	0,548	74,000	30
4	0,027	0,139	0,687	80,576	39
5	0,039	0,193	0,880	79,793	44
6	0,039	0,219	1,099	82,192	55
7	0,021	0,123	1,222	82,927	60
8	0,025	0,182	1,404	86,264	68
9	0,028	0,172	1,576	83,721	78
10	0,033	0,115	1,691	71,304	84
11	0,013	0,083	1,774	84,337	95
12	0,024	0,156	1,930	84,615	95
13	0,033	0,130	2,060	74,615	98
14	0,014	0,106	2,166	86,792	113
15	0,018	0,106	2,272	83,019	132
16	0,021	0,133	2,405	84,211	123
17	0,036	0,192	2,597	81,250	128
18	0,033	0,140	2,737	76,429	169
19	0,026	0,150	2,887	82,666	180
20	0,026	0,127	3,014	79,528	218
21	0,023	0,122	3,136	81,148	250

PP 6,7dTex 3x-vzorek č.1

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,032	0,129	0,129	75,194	42
2	0,023	0,157	0,286	85,350	54
3	0,026	0,181	0,467	85,635	67
4	0,021	0,153	0,620	86,275	72
5	0,026	0,189	0,809	86,243	90
6	0,027	0,183	0,992	85,246	95
7	0,011	0,127	1,119	91,339	104
8	0,019	0,173	1,292	89,017	125
9	0,011	0,153	1,445	92,810	125
10	0,012	0,126	1,571	90,476	136
11	0,011	0,091	1,662	87,912	155
12	0,012	0,165	1,827	92,727	177
13	0,010	0,090	1,917	88,888	184
14	0,011	0,212	2,129	94,811	203
15	0,009	0,103	2,232	91,262	210
16	0,009	0,130	2,362	93,077	217
17	0,014	0,148	2,510	90,540	238
18	0,006	0,186	2,696	96,774	295
19	0,003	0,118	2,814	97,458	353
20	0,010	0,237	3,051	95,781	425
21	0,004	0,170	3,221	94,118	493

PP 6,7dTex 3x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,049	0,238	0,238	79,412	55
2	0,018	0,136	0,374	86,765	61
3	0,018	0,138	0,512	86,957	63
4	0,009	0,070	0,582	87,143	67
5	0,014	0,128	0,710	89,063	72
6	0,008	0,074	0,784	89,189	68
7	0,013	0,117	0,901	88,888	82
8	0,008	0,095	0,996	91,579	88
9	0,010	0,080	1,076	87,500	90
10	0,009	0,108	1,184	91,666	98
11	0,003	0,092	1,276	96,739	99
12	0,004	0,079	1,355	94,937	102
13	0,010	0,121	1,476	91,736	105
14	0,007	0,118	1,594	94,068	118
15	0,014	0,179	1,773	92,179	152
16	0,010	0,184	1,957	94,565	158
17	0,008	0,146	2,103	94,521	158
18	0,017	0,214	2,317	92,056	175
19	0,015	0,182	2,499	91,458	214
20	0,009	0,197	2,696	95,431	220
21	0,031	0,232	2,928	86,638	230
22	0,006	0,148	3,076	95,946	269
23	0,011	0,250	3,326	95,600	290
24	0,009	0,208	3,534	95,673	353
25	0,002	0,178	3,712	98,876	400
26	0,020	0,404	4,116	95,050	608

PP 6,7dTex 3x-vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,043	0,359	0,359	88,022	48
2	0,033	0,241	0,600	86,307	63
3	0,010	0,125	0,725	92,000	63
4	0,022	0,161	0,886	86,335	78
5	0,024	0,184	0,909	86,957	90
6	0,019	0,199	1,108	90,452	102
7	0,014	0,159	1,068	91,950	116
8	0,019	0,216	1,284	91,204	152

9	0,015	0,193	1,477	92,228	160
10	0,012	0,169	1,646	92,899	192
11	0,007	0,123	1,769	94,309	207
12	0,007	0,108	1,877	93,519	212
13	0,015	0,178	2,055	91,573	248
14	0,008	0,149	2,204	94,631	250
15	0,019	0,211	2,415	90,995	280
16	0,012	0,137	2,552	91,241	296
17	0,026	0,193	2,745	80,528	390
18	0,004	0,191	2,936	97,906	473
19	0,011	0,192	3,128	94,271	545
20	0,009	0,806	3,334	95,631	687

PP 6,7dTex 4x-vzorek č.1

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,046	0,495	0,495	90,707	78
2	0,026	0,309	0,804	91,586	108
3	0,014	0,214	1,018	93,458	113
4	0,013	0,178	1,196	92,697	123
5	0,013	0,153	1,349	91,503	155
6	0,006	0,081	1,430	92,593	168
7	0,007	0,114	1,544	93,860	175
8	0,034	0,145	1,689	76,552	188
9	0,009	0,169	1,858	94,674	225
10	0,008	0,152	2,010	94,737	270
11	0,017	0,191	2,201	91,099	288
12	0,013	0,345	2,546	96,232	317
13	0,011	0,262	2,808	95,802	448
14	0,015	0,588	3,396	97,449	632
15	0,037	0,572	3,968	93,531	1382

PP 6,7dTex 4x-vzorek č.2

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,036	0,250	0,250	85,600	69
2	0,022	0,174	0,424	87,356	81
3	0,026	0,210	0,634	87,619	97
4	0,023	0,315	0,949	92,698	130
5	0,017	0,176	1,125	90,341	150
6	0,015	0,229	1,354	93,450	172
7	0,015	0,183	1,537	91,803	201
8	0,013	0,233	1,770	94,421	252
9	0,020	0,375	2,145	94,666	344

10	0,015	0,345	2,490	95,652	390
11	0,011	0,363	2,853	96,970	413
12	0,008	0,216	3,069	96,296	599
13	0,006	0,200	3,269	97,000	783

PP 6,7dTex 4x-vzorek č.3

Počet měření	Hmotnost prachu pronikajícího filtrem[g]	Hmotnost podaného prachu[g]	Celková hmotnost podaného prachu[g]	Efektivita filtru[%]	Tlak[Pa]
1	0,059	0,260	0,260	77,308	50
2	0,035	0,231	0,491	84,848	59
3	0,030	0,283	0,774	89,399	89
4	0,029	0,343	1,117	91,545	99
5	0,034	0,521	1,638	93,474	129
6	0,034	0,546	2,184	93,773	210
7	0,013	0,221	2,405	94,118	278
8	0,019	0,317	2,722	94,006	313
9	0,014	0,304	3,026	95,395	381
10	0,011	0,174	3,200	93,678	423

Příloha 3: Výpočet poklesů pro jednotlivé kombinace chyb u jednoho vzorku
Objemného filtru pojeného termicky

Efektivita	Pokles	Efektivita[%]		Poklesy[%]		Efektivita[%]		Poklesy[%]	
		0,004/0	-0,004/0	0,004/0	-0,004/0	0,004/0,008	-0,004/-0,008	0,004/0,008	-0,004/-0,008
73,36	4,16	71,50	75,23	1,54	6,79	72,52	74,27	2,74	5,98
77,53	7,91	73,03	82,02	8,52	7,30	75,26	80,25	7,63	8,17
85,44	-3,99	81,55	89,32	-4,23	-3,75	82,88	88,42	-3,84	-4,15
81,44	3,28	77,32	85,57	1,85	4,71	79,05	84,27	2,20	4,79
84,72	-1,80	79,17	90,28	-1,12	-2,47	81,25	89,06	-1,25	-2,58
82,93	2,03	78,05	87,80	3,37	0,69	80,00	86,49	2,64	1,13
84,96	0,23	81,42	88,50	0,07	0,39	82,64	87,62	0,11	0,38
85,19	1,77	81,48	88,89	2,00	1,55	82,76	88,00	1,79	1,72
86,96	-0,54	83,48	90,43	-2,00	0,92	84,55	89,72	-1,41	0,69
86,42	-0,85	81,48	91,36	-0,04	-1,67	83,15	90,41	-0,29	-1,65
85,57	4,72	81,44	89,69	4,96	4,48	82,86	88,76	4,53	4,92
90,29	-1,40	86,41	94,17	-0,13	-2,67	87,39	93,68	-0,43	-2,65
88,89	0,80	86,27	91,50	-0,71	2,31	86,96	91,03	-0,29	2,22
89,69	-1,62	85,57	93,81	-1,16	-2,07	86,67	93,26	-1,20	-2,17
88,07	-2,36	84,40	91,74	-2,50	-2,22	85,47	91,09	-2,28	-2,43
85,71	4,29	81,90	89,52	3,65	4,92	83,19	88,66	3,55	5,24
90,00	-1,82	85,56	94,44	-1,01	-2,63	86,73	93,90	-1,14	-2,73
88,18	2,80	84,55	91,82	3,42	2,17	85,59	91,18	3,06	2,42
90,98	-3,86	87,97	93,98	-3,31	-4,41	88,65	93,60	-3,27	-4,57
87,12	0,10	84,66	89,57	-0,45	0,66	85,38	89,03	-0,27	0,57
87,22	-0,55	84,21	90,23	-0,51	-0,60	85,11	89,60	-0,49	-0,62
86,67	-7,62	83,70	89,63	-7,06	-8,19	84,62	88,98	-6,90	-8,47
79,04	10,96	76,65	81,44	10,28	11,64	77,71	80,50	9,97	12,12
90,00	1,67	86,92	93,08	1,97	1,37	87,68	92,62	1,79	1,49
91,67	-0,76	88,89	94,44	-1,01	-0,51	89,47	94,12	-0,90	-0,57
90,91	2,29	87,88	93,94	2,60	1,98	88,57	93,55	2,40	2,14
93,20	-2,34	90,48	95,92	-1,90	-2,78	90,97	95,68	-1,90	-2,87
90,86	-4,73	88,57	93,14	-5,36	-4,09	89,07	92,81	-4,93	-4,44
86,13	5,27	83,21	89,05	3,89	6,65	84,14	88,37	3,98	6,92
91,40	-2,02	87,10	95,70	-1,26	-2,78	88,12	95,29	-1,34	-2,91
89,38	1,19	85,84	92,92	0,95	1,42	86,78	92,38	0,94	1,50
90,57	1,21	86,79	94,34	3,16	-0,73	87,72	93,88	2,59	-0,51
91,78	-1,21	89,95	93,61	-3,16	0,73	90,31	93,36	-2,59	0,51
90,57	-0,82	86,79	94,34	-2,18	0,53	87,72	93,88	-1,67	0,41
89,74	1,00	84,62	94,87	2,42	-0,43	86,05	94,29	1,88	-0,29
90,74	-0,94	87,04	94,44	-1,32	-0,57	87,93	94,00	-1,14	-0,67
89,80	-6,90	85,71	93,88	-8,08	-5,72	86,79	93,33	-7,03	-6,57
82,89	11,91	77,63	88,16	14,58	9,24	79,76	86,76	12,83	10,50
94,81	-1,16	92,21	97,40	-0,88	-1,45	92,59	97,26	-0,88	-1,50
93,64	-5,07	91,33	95,95	-5,62	-4,53	91,71	95,76	-5,23	-4,85
88,57	0,90	85,71	91,43	0,75	1,05	86,49	90,91	0,75	1,09
89,47	9,08	86,47	92,48	11,72	6,43	87,23	92,00	10,97	6,91
98,55	-6,80	98,19	98,91	-8,50	-5,10	98,20	98,91	-8,10	-5,36

91,75	-1,63	89,69	93,81	-2,04	-1,22	90,10	93,55	-1,86	-1,34
90,12	0,31	87,65	92,59	0,86	-0,25	88,24	92,21	0,70	-0,17
90,43	-2,64	88,52	92,34	-2,60	-2,67	88,94	92,04	-2,51	-2,77
87,79	-0,16	85,92	89,67	-0,35	0,02	86,43	89,27	-0,29	-0,02
87,63	-0,29	85,57	89,69	-0,76	0,18	86,14	89,25	-0,60	0,09
87,34	0,16	84,81	89,87	0,06	0,26	85,54	89,33	0,08	0,25
87,50	2,50	84,87	90,13	2,46	2,54	85,63	89,58	2,35	2,67
90,00	-3,64	87,33	92,67	-4,00	-3,27	87,97	92,25	-3,69	-3,54
86,36	0,16	83,33	89,39	1,12	-0,79	84,29	88,71	0,79	-0,60
86,53	2,55	84,46	88,60	2,33	2,78	85,07	88,11	2,29	2,86
89,08	-3,12	86,78	91,38	-3,16	-3,08	87,36	90,96	-3,01	-3,23
85,96	-1,35	83,63	88,30	-1,57	-1,12	84,36	87,73	-1,43	-1,24
84,62	-0,40	82,05	87,18	-0,47	-0,34	82,93	86,49	-0,43	-0,38
84,21	-19,62	81,58	86,84	-18,90	-20,33	82,50	86,11	-18,44	-20,94
64,59	10,41	62,68	66,51	8,15	12,66	64,06	65,17	9,02	12,10
75,00	-22,25	70,83	79,17	-22,48	-22,02	73,08	77,27	-20,55	-24,26
52,75	19,25	48,35	57,14	18,32	20,19	52,53	53,01	17,35	21,61
72,00	-9,68	66,67	77,33	-10,14	-9,22	69,88	74,63	-8,84	-10,69
62,32	8,91	56,52	68,12	9,23	8,60	61,04	63,93	8,10	9,91
71,23	7,48	65,75	76,71	10,38	4,58	69,14	73,85	8,16	6,43
78,71	-5,50	76,13	81,29	-6,49	-4,50	77,30	80,27	-5,63	-5,27
73,21		69,64	76,79			71,67	75,00		

Efektivita	Pokles	Efektivita[%]		Poklesy[%]		Efektivita[%]		Poklesy[%]	
		0/ 0,004	0/ -0,004	0/ 0,004	0/ -0,004	0,004/ 0,004	-0,004/- 0,004	0,004/ 0,004	-0,004/ - 0,004
73,36	4,16	77,56	72,86	6,94	3,61	72,02	74,76	2,18	6,41
77,53	7,91	84,50	76,47	5,01	8,38	74,19	81,18	8,05	7,71
85,44	-3,99	89,51	84,85	-2,65	-4,20	82,24	88,89	-4,03	-3,94
81,44	3,28	86,86	80,65	3,32	3,18	78,22	84,95	2,05	4,76
84,72	-1,80	90,18	83,82	-1,65	-1,77	80,26	89,71	-1,19	-2,53
82,93	2,03	88,52	82,05	0,36	2,35	79,07	87,18	2,98	0,89
84,96	0,23	88,89	84,40	0,30	0,21	82,05	88,07	0,09	0,39
85,19	1,77	89,19	84,62	1,13	1,87	82,14	88,46	1,89	1,63
86,96	-0,54	90,32	86,49	0,59	-0,77	84,03	90,09	-1,68	0,82
86,42	-0,85	90,91	85,71	-1,13	-0,77	82,35	90,91	-0,17	-1,66
85,57	4,72	89,78	84,95	3,23	4,95	82,18	89,25	4,74	4,69
90,29	-1,40	93,01	89,90	-1,82	-1,31	86,92	93,94	-0,29	-2,66
88,89	0,80	91,19	88,59	1,51	0,66	86,62	91,28	-0,49	2,27
89,69	-1,62	92,70	89,25	-1,43	-1,63	86,14	93,55	-1,18	-2,12
88,07	-2,36	91,28	87,62	-1,62	-2,47	84,96	91,43	-2,39	-2,32
85,71	4,29	89,66	85,15	3,42	4,39	82,57	89,11	3,60	5,08
90,00	-1,82	93,08	89,53	-1,74	-1,80	86,17	94,19	-1,08	-2,68
88,18	2,80	91,33	87,74	1,73	2,96	85,09	91,51	3,23	2,29
90,98	-3,86	93,06	90,70	-3,41	-3,91	88,32	93,80	-3,29	-4,49
87,12	0,10	89,66	86,79	0,52	0,03	85,03	89,31	-0,36	0,61
87,22	-0,55	90,17	86,82	-0,46	-0,56	84,67	89,92	-0,50	-0,61
86,67	-7,62	89,71	86,26	-6,62	-7,73	84,17	89,31	-6,98	-8,33
79,04	10,96	83,09	78,53	9,26	11,15	77,19	80,98	10,12	11,88
90,00	1,67	92,35	89,68	1,13	1,75	87,31	92,86	1,88	1,43
91,67	-0,76	93,48	91,43	-0,46	-0,80	89,19	94,29	-0,95	-0,54
90,91	2,29	93,02	90,63	1,63	2,38	88,24	93,75	2,49	2,05
93,20	-2,34	94,65	93,01	-2,09	-2,36	90,73	95,80	-1,90	-2,82
90,86	-4,73	92,56	90,64	-3,29	-4,93	88,83	92,98	-5,14	-4,26
86,13	5,27	89,27	85,71	4,72	5,30	83,69	88,72	3,94	6,78
91,40	-2,02	93,98	91,01	-1,83	-2,02	87,63	95,51	-1,30	-2,85
89,38	1,19	92,16	88,99	0,99	1,21	86,32	92,66	0,95	1,46
90,57	1,21	93,15	90,20	-0,10	1,43	87,27	94,12	2,86	-0,63
91,78	-1,21	93,05	91,63	0,10	-1,43	90,13	93,49	-2,86	0,63
90,57	-0,82	93,15	90,20	0,07	-1,01	87,27	94,12	-1,91	0,48
89,74	1,00	93,22	89,19	0,02	1,20	85,37	94,59	2,13	-0,36
90,74	-0,94	93,24	90,38	-0,49	-1,02	87,50	94,23	-1,23	-0,61
89,80	-6,90	92,75	89,36	-3,96	-7,42	86,27	93,62	-7,52	-6,12
82,89	11,91	88,79	81,94	7,08	12,72	78,75	87,50	13,66	9,83
94,81	-1,16	95,88	94,67	-1,04	-1,18	92,41	97,33	-0,88	-1,48
93,64	-5,07	94,84	93,49	-3,72	-5,26	91,53	95,86	-5,41	-4,68
88,57	0,90	91,11	88,24	0,80	0,91	86,11	91,18	0,75	1,07
89,47	9,08	91,91	89,15	6,70	9,40	86,86	92,25	11,34	6,66
98,55	-6,80	98,60	98,55	-5,44	-6,97	98,20	98,91	-8,30	-5,23
91,75	-1,63	93,16	91,58	-1,08	-1,71	89,90	93,68	-1,95	-1,28
90,12	0,31	92,08	89,87	-0,11	0,37	87,95	92,41	0,78	-0,21

90,43	-2,64	91,97	90,24	-2,24	-2,68	88,73	92,20	-2,56	-2,72
87,79	-0,16	89,72	87,56	0,02	-0,19	86,18	89,47	-0,32	0,00
87,63	-0,29	89,74	87,37	0,16	-0,36	85,86	89,47	-0,67	0,14
87,34	0,16	89,90	87,01	0,21	0,15	85,19	89,61	0,07	0,25
87,50	2,50	90,10	87,16	2,00	2,56	85,26	89,86	2,41	2,60
90,00	-3,64	92,11	89,73	-2,57	-3,79	87,66	92,47	-3,84	-3,40
86,36	0,16	89,53	85,94	-0,69	0,31	83,82	89,06	0,95	-0,70
86,53	2,55	88,84	86,24	2,28	2,58	84,77	88,36	2,31	2,82
89,08	-3,12	91,12	88,82	-2,50	-3,19	87,08	91,18	-3,08	-3,15
85,96	-1,35	88,63	85,63	-0,87	-1,42	84,00	88,02	-1,50	-1,18
84,62	-0,40	87,76	84,21	-0,26	-0,43	82,50	86,84	-0,45	-0,36
84,21	-19,62	87,50	83,78	-17,22	-19,88	82,05	86,49	-18,67	-20,63
64,59	10,41	70,28	63,90	12,07	10,01	63,38	65,85	8,62	12,41
75,00	-22,25	82,35	73,91	-15,18	-23,34	72,00	78,26	-21,47	-23,09
52,75	19,25	67,18	50,57	14,56	19,85	50,53	55,17	17,83	20,88
72,00	-9,68	81,74	70,42	-5,59	-10,42	68,35	76,06	-9,45	-9,90
62,32	8,91	76,15	60,00	5,27	9,57	58,90	66,15	8,63	9,21
71,23	7,48	81,42	69,57	1,66	8,58	67,53	75,36	9,20	5,43
78,71	-5,50	83,08	78,15	-2,81	-5,92	76,73	80,79	-6,04	-4,87
73,21		80,26	72,22			70,69	75,93		

Příloha 4: Rozdíly v poklesu efektivity pro jednotlivé kombinace chyb oproti poklesu naměřenému

Rozdíly v poklesu efektivity pro jednotlivé kombinace chyb oproti poklesu naměřenému							
0,004/ 0	-0,004/ 0	0,004/ 0,008	-0,004/-0,008	0/ 0,004	0/ -0,004	0,004/ 0,004	-0,004/ -0,004
2,63	-2,63	1,43	-1,81	-2,77	0,55	1,99	-2,25
-0,61	0,61	0,28	-0,27	2,89	-0,47	-0,14	0,20
0,24	-0,24	-0,16	0,16	-1,34	0,21	0,03	-0,05
1,43	-1,43	1,08	-1,51	-0,04	0,10	1,23	-1,48
-0,68	0,68	-0,55	0,78	-0,14	-0,02	-0,60	0,73
-1,34	1,34	-0,62	0,90	1,66	-0,32	-0,95	1,14
0,16	-0,16	0,12	-0,15	-0,07	0,02	0,14	-0,16
-0,23	0,23	-0,02	0,05	0,64	-0,10	-0,12	0,14
1,46	-1,46	0,87	-1,23	-1,12	0,24	1,14	-1,36
-0,81	0,81	-0,56	0,79	0,28	-0,08	-0,68	0,81
-0,24	0,24	0,19	-0,20	1,50	-0,23	-0,01	0,03
-1,27	1,27	-0,97	1,25	0,41	-0,09	-1,11	1,26
1,51	-1,51	1,09	-1,42	-0,71	0,15	1,29	-1,47
-0,45	0,45	-0,42	0,55	-0,19	0,01	-0,43	0,50
0,14	-0,14	-0,07	0,07	-0,74	0,11	0,03	-0,04
0,63	-0,63	0,74	-0,96	0,86	-0,10	0,68	-0,79
-0,81	0,81	-0,68	0,91	-0,07	-0,02	-0,74	0,86
-0,63	0,63	-0,26	0,37	1,07	-0,17	-0,44	0,51
-0,55	0,55	-0,59	0,71	-0,45	0,04	-0,57	0,63
0,55	-0,55	0,38	-0,47	-0,42	0,07	0,46	-0,51
-0,04	0,04	-0,06	0,07	-0,09	0,01	-0,05	0,06
-0,57	0,57	-0,72	0,85	-1,00	0,11	-0,65	0,71
0,68	-0,68	0,99	-1,16	1,70	-0,20	0,84	-0,92
-0,30	0,30	-0,13	0,17	0,54	-0,08	-0,21	0,24
0,25	-0,25	0,14	-0,19	-0,30	0,05	0,20	-0,22
-0,31	0,31	-0,11	0,15	0,66	-0,09	-0,20	0,23
-0,44	0,44	-0,44	0,53	-0,25	0,02	-0,44	0,48
0,63	-0,63	0,21	-0,28	-1,43	0,20	0,41	-0,47
1,38	-1,38	1,29	-1,66	0,55	-0,03	1,33	-1,52
-0,76	0,76	-0,68	0,90	-0,19	0,00	-0,71	0,83
0,23	-0,23	0,24	-0,31	0,19	-0,02	0,24	-0,27
-1,95	1,95	-1,37	1,73	1,32	-0,22	-1,65	1,84
1,95	-1,95	1,37	-1,73	-1,32	0,22	1,65	-1,84
1,35	-1,35	0,85	-1,23	-0,89	0,18	1,08	-1,30
-1,42	1,42	-0,89	1,28	0,97	-0,20	-1,14	1,36
0,38	-0,38	0,19	-0,28	-0,46	0,08	0,28	-0,33
1,18	-1,18	0,13	-0,33	-2,94	0,52	0,62	-0,78
-2,67	2,67	-0,92	1,41	4,83	-0,81	-1,74	2,08
-0,29	0,29	-0,28	0,34	-0,12	0,01	-0,28	0,31
0,55	-0,55	0,16	-0,22	-1,35	0,19	0,34	-0,39
0,15	-0,15	0,15	-0,19	0,11	-0,01	0,15	-0,17
-2,65	2,65	-1,89	2,17	2,38	-0,32	-2,26	2,42
1,70	-1,70	1,30	-1,44	-1,36	0,17	1,50	-1,57

0,41	-0,41	0,23	-0,29	-0,55	0,08	0,32	-0,35
-0,56	0,56	-0,40	0,48	0,42	-0,06	-0,47	0,52
-0,04	0,04	-0,12	0,13	-0,39	0,05	-0,08	0,08
0,18	-0,18	0,12	-0,14	-0,18	0,03	0,15	-0,16
0,47	-0,47	0,31	-0,37	-0,44	0,07	0,39	-0,42
0,10	-0,10	0,08	-0,09	-0,05	0,01	0,09	-0,10
0,04	-0,04	0,15	-0,17	0,50	-0,06	0,09	-0,10
0,36	-0,36	0,05	-0,09	-1,07	0,15	0,20	-0,23
-0,96	0,96	-0,62	0,77	0,86	-0,14	-0,78	0,87
0,23	-0,23	0,26	-0,30	0,27	-0,03	0,24	-0,26
0,04	-0,04	-0,11	0,12	-0,62	0,08	-0,04	0,04
0,22	-0,22	0,08	-0,11	-0,48	0,07	0,15	-0,17
0,07	-0,07	0,02	-0,03	-0,15	0,02	0,04	-0,05
-0,72	0,72	-1,17	1,32	-2,40	0,26	-0,95	1,02
2,25	-2,25	1,39	-1,69	-1,67	0,40	1,79	-2,00
0,23	-0,23	-1,70	2,01	-7,08	1,09	-0,78	0,84
0,94	-0,94	1,90	-2,36	4,69	-0,60	1,42	-1,63
0,46	-0,46	-0,84	1,01	-4,09	0,74	-0,23	0,22
-0,32	0,32	0,82	-1,00	3,64	-0,65	0,29	-0,29
-2,90	2,90	-0,69	1,05	5,82	-1,10	-1,72	2,04
0,99	-0,99	0,14	-0,22	-2,68	0,43	0,54	-0,63

Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr
Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
0,0266	-0,0266	0,0110	-0,0137	-0,0446	0,0076	0,0184	-0,0205
1,0706	1,0706	0,7608	0,9590	1,9254	0,3182	0,8627	0,9806

Příloha 5: Vyhodnocení poklesů efektivity, 5 parametrů hodnocení, pro vliv plošné hmotnosti

Vzorek	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu [%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.A1.1	9	0,618	16,533	3,686	0,440
2.A1.2	8	0,785	11,373	4,726	0,099
2.A1.3	8	0,880	12,417	5,055	0,783

175g/m ²	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství podaného prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu [%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.A2.1	11	0,785	6,264	3,396	1,474
2.A2.2	11	0,514	7,169	2,295	0,255
2.A2.3	8	0,990	3,026	1,448	0,215

251g/m ²	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu [%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.A3.1	10	0,809	3,839	2,151	0,032
2.A3.2	10	0,901	8,793	2,486	0,044
2.A3.3	8	0,600	10,713	3,606	0,790

309g/m ²	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu [%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.A4.1	2	1,909	9,338	4,879	0,421
2.A4.2	6	1,196	3,918	1,965	0,430
2.A4.3	2	1,125	2,357	1,516	0,674
2.A4.4	2	2,722	1,717	0,914	0,112

Příloha 6: Vyhodnocení poklesů efektivity, 5 parametrů hodnocení, pro vliv jemnosti vláken

17dTex	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu [%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.B1.1	10	0,715	17,862	5,400	1,354
2.B1.2	4	1,296	12,902	6,751	2,998
2.B1.3	5	0,732	10,065	3,314	0,072

6,7dTex	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu[%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.B2.1	11	0,785	6,264	3,396	1,474
2.B2.2	11	0,514	7,169	2,295	0,255
2.B2.3	8	0,990	3,026	1,448	0,215

1,3/6,7dTex	Počet poklesů E[%] do podání 3,5g prachu	První propad Množství prachu[g]	Velikost propadu Množství prachu[%]		
			Maximální pokles	Průměrný pokles	Minimální pokles
2.B3.1	4	0,670	9,200	3,392	0,251
2.B3.2	2	2,526	7,057	3,697	0,337
2.B3.3	1	2,720	0,342	0,342	0,342
2.B3.4	5	0,417	3,571	1,308	0,197