



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



Experimentální ověření nového typu filtru pro vodní filtraci

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Pavel Jäger

Vedoucí práce:

Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů



Zadání bakalářské práce

Experimentální ověření nového typu filtru pro vodní filtraci

Jméno a příjmení: **Pavel Jäger**
Osobní číslo: T16000456
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: 2018/2019

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku kapalinové filtrace. Zabývejte se použitými principy filtrace a metodami stanovení filtračních vlastností.
2. Připravte sérii testovacích vzorků filtračního média a navrhňte jejich vhodné geometrické uspořádání.
3. Proveďte měření filtračních vlastností filtru na testovací trati, včetně simulace zanášení filtru nečistotami.
4. Získané výsledky diskutujte, popř. navrhňte vhodnou materiálovou, geometrickou či výrobní optimalizaci.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. CHEREMISINOFF, P. Nicholas. Liquid Filtration (Second Edition). Printed in the United States of America. Woburn-Butterworth-Heinemann 1998. Pages 334. ISBN: 0-7506-7047-9.
2. RUSHTON, A.; WARD, R.G.. Solid-Liquid Filtration and Separation Technology. Printed in Germany. Weinheim 1996. Pages 551. ISBN: 3-527-28613-6.
3. ŠULC, Jaroslav; ŠINTÁK, Jiří. Právní problematika a ochrana životního prostředí (Ochrana životního prostředí). Liberec: Vysoká škola strojní a textilní 1990. 91 s. ISBN 80-7083-027-1.

Vedoucí práce:

Ing. Ondřej Novák, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

20. srpna 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. srpna 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

8. srpna 2020

Pavel Jäger

Poděkování

Rád bych poděkoval panu docentu Ing. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za pomoc při vedení bakalářské práce. Děkuji za cenné rady a připomínky a hlavně za čas a ochotu, které mi věnoval.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá ověřením nového typu filtru pro vodní filtraci. Předmětem zkoumání je, zda se některý zkoušený filtrační materiál hodí pro použití v průmyslovém měřítku. Cílem je navrhnout filtr, který umožňuje opakované čištění. Teoretická část obecně pojednává o principech kapalinové filtrace. Experimentální část popisuje způsob testování vybraných filtračních vzorků, porovnání jejich vlastností prostřednictvím filtračních charakteristik a ověření zkuškového filtru v průmyslovém provedení. To je realizováno na filtrační testovací trati.

Klíčová slova:

Kapalinová filtrace, filtrační média, ploché filtry, skládané filtry.

Annotation

Bachelor thesis deals with the verification of a new type of filter for water filtration. The subject of the investigation is whether any of the tested filter materials is suitable for use on an industrial scale. The target is to design a filter that allows repeated clearing. The theoretical part generally deals with the principles of liquid filtration. The experimental part describes the method of testing selected filter samples, comparing their properties through filter characteristics and verifying the test filter in an industrial verification. This is realized by means of a filter test track.

Keywords:

Liquid filtration, filter media, flat filters, plated filters.

Obsah

Úvod.....	12
Rešerše - kapalinové filtry.....	13
1.1 Proces filtrace.....	14
1.1.1 Formování filtračního koláče	14
1.1.2 Fyzikálně-chemické faktory ovlivňující strukturu filtračního koláče.....	15
1.1.3 Prací a odvodňovací operace	16
1.1.4 Filtrační a nátěrové pomůcky.....	16
1.2 Filtrační média dle materiálu	16
1.2.1 Flexibilní filtrační média	16
1.2.2 Pevná filtrační média.....	18
1.2.3 Kombinace flexibilního a pevného média.....	19
1.3 Principy (mechanismy) filtrace.....	19
1.4 Metody stanovení filtračních vlastností.....	21
1.5 Průmyslová filtrační zařízení	22
1.5.1 Rotační bubnové filtry.....	22
1.5.2 Vakuové filtry	22
1.5.3 Souběžné filtry	24
1.5.4 Filtry Nutch.....	24
1.5.5 Filtrační lisy.....	25
1.5.6 Diskové filtry.....	25
1.5.7 Listové filtry.....	25
2. Plán experimentu a cíl práce.....	26
2.1 Odhad optimální geometrie skládaného filtru.....	27
3. Použité metody, materiály a zařízení.....	30
3.1 Použité metody	30
3.2 Použité filtrační materiály	36
3.3 Zařízení pro skládání vzorků.....	39
3.4 Filtrační testovací trať	41
4. 4. Výsledky a grafické zpracování.....	44
4.1 Značení vzorků	44
4.2 Filtrační charakteristiky plochých filtrů.....	45
4.3 Filtrační charakteristiky skládaných filtrů	50
4.4 Ověření průmyslového provedení skládaného filtru	55
4.5 Shrnutí výsledků a diskuze	62

4.6	Návrh přípravku pro ruční skládání vzorků	65
5	Závěr.....	66

Seznam použitých veličin a zkratk

μm	mikrometr
$^{\circ}\text{C}$	stupeň celsia, jednotka teploty
Fa	aerodynamická síla, [N]
Fg	gravitační síla, [N]
Fv	vztlaková síla, [N]
N	newton, jednotka síly, [$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
P	hustota materiálu, jednotka objemu, [kg/m^{-3}]
Pp	hustota polymeru, [kg/m^{-3}]
dp	průměr částičky, [mm]
wp	ustálená rychlost v mezní soustavě [$\text{m} \cdot \text{s}$]
ξ	zéta, součinitel odporu částičky, [-]
mm	milimetr, jednotka délky
cm	centimetr, jednotka délky
EPDM	etylen-propylenový kaučuk
NBR	butadien-akrylový kaučuk
S	plocha filtračního koláče, [mm]
V	výška trojúhelníku, [mm]
l_1	délka přilehlé strany trojúhelníku, [mm]
PS	počet skladů, [-]
l_c	celková délka složené textilie, [mm]
VC	celkový objem zachycený uvnitř skladů, [mm^3]
Tfk	tloušťka filtračního koláče, [mm^3]
l	délka jednoho skladu, [mm]
Δp	tlakový spád, [Pa]
Pa	pascal, jednotka tlaku

P_1	tlak filtrovaného média před filtrem
P_2	tlak filtrovaného média za filtrem
Q_v	objemový průtok, [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]
ΔV	objem kapaliny, který proteče daným průtokovým kanálem
Δt	jednotka času [s]
E	efektivita [%]
G_1	množství disperzního podílu za filtrem, [-]
G_2	celkové množství disperzního podílu, [-]
kPa	kilopascal, jednotka tlaku
P_1	plošná hmotnost [g / m^2]
μ	zaplnění vzorků, [-]
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní norma
DIN	německá norma
N	podniková norma
AC	střídavé napětí, [V]

Úvod

Kapalinové filtry slouží k zachytávání nečistot z kapalného prostředí (rozptýlených v kapalně fázi). Proud znečištěné kapaliny prochází přes filtrační medium a nečistoty jsou jím zachytávány. Kapalinové filtry jsou konstruovány na zachytávání nečistot jak přírodních tak syntetických. (přírodního tak umělého původu). Kapalinové filtry jsou používány ke zvýšení čistoty kapalin nebo k záchytu cenných nebo vzácných materiálů, ale mohou přispívat k prodloužení životnosti potrubí a dalších prvků v důsledku záchytu korozivních a abrazivních materiálů, které se v kapalinách mohou vyskytovat [1].

Při filtraci je tekutina nebo suspenze protlačována dutinami nebo póry filtru. Na filtračním médiu jsou pevné částice zadrženy na povrchu filtru, v některých případech na stěnách mezi póry, zatímco tekutina, označována jako filtrát prochází.

Mezi vědy, které se zabývají regenerací vody pro pití a zavlažování patří hydrologie, která, zkoumá pohyb stopových znečištěných látek vyskytujících se vodních systémech. Dalším problémem, kterým se hydrologie zabývá, je pronikání slané vody do sladkovodních nádrží. Z dlouhodobého hlediska je kapalinová filtrace využívána v široké oblasti chemického průmyslu a chemického inženýrství, kde je používána výhradně při kontrole a prevenci znečištění [2]. Voda je nejdůležitější surovina na planetě. Je to základní podmínka života, kterou je potřeba za každých okolností chránit. K tomu nám pomáhá také filtrace, díky které může být vyčištěná voda znovu použita. Bez vody by flora, fauna, ani lidská společnost s veškerou svojí činností nemohly existovat. Zvyšující se spotřeba vody, a dlouho trvající sucho, které trápí naši zemi již několik let, způsobuje nedostatek vody v naší krajině. Voda musí být v naší krajině opět zachytávána. Situace by se zlepšila obnovou zaniklých rybníků a budováním nových remízků v krajině.

Rešerše - kapalinové filtry

Filtrační médium představuje hlavní část každého filtračního zařízení. V ideálním případě jsou pevné látky shromažďovány na přívodní straně destičky, zatímco filtrát je protlačován destičkou a je unášen. Filtrační médium je ve své podstatě nehomogenní a obsahuje póry nestejně velké velikosti a nepravidelné geometrie, které jsou nerovnoměrně rozmístěné po povrchu. Protože protékání médiem probíhá pouze přes póry, tak může mikro průtok kapaliny způsobit velké rozdíly na povrchu filtru. To znamená, že horní vrstvy generovaného filtračního koláče jsou nehomogenní a jsou proto stanoveny na základě struktury a vlastností filtrů. Primární struktura filtračního koláče silně závisí na struktuře počátečních vrstev. To znamená, že se filtrační koláče a filtrační médium ovlivňují navzájem. Póry procházející celým filtračním médiem, jsou schopny zachytit pevné částice, které jsou menší, než je nejužší průřez průchodu. To se připisuje obvykle přemostění částic, nebo v některých případech i fyzické adsorpci. Porézní médium je materiál, který obsahuje póry (dutiny). Počet pórů musí být dostatečný, aby objemový průměr odpovídal požadovaným vlastnostem. Póry, které zaujímají určitou část objemu, tvoří komplexní síť prázdných míst. Způsob, jakým jsou póry rozmístěny, má vliv na velikost a tvar porézního média. Když tekutina prochází přes médium, tak se může říci jen o určité části pórů, které přispívají k toku, že mají účinnou pórovitost. Existuje mnoho materiálů, které lze označit za porézní média, ale ne všechny mohou být vhodným materiálem pro filtraci. Obecně jsou porézní média označována jako nekonsolidovaná a konsolidovaná (nařízené a náhodné). Příkladem nekonsolidovaných médií jsou písek, skleněné kuličky, pelety katalyzátoru, šterk a uhlí. Příkladem konsolidovaných médií jsou většinou přirozeně se vyskytující horniny, jako jsou pískovce a vápence. Materiály jako jsou cihly, beton, cement, papír a textilie jsou ručně vyráběná média. Při studiu různých vzorků stejného média je zřejmé, že počet velikostí pórů, tvarů a orientací je obrovský. Měření musí proto směřovat k modelům, které poskytují průměrnou nebo modelovou velikost pórů. A proto se přistoupilo k modelování porézního média jako svazku rovných válcových kapilár [2].

Dobré filtrační médium by mělo mít následující vlastnosti:

- 1) Schopnost udržet širokou distribuci pevných částic ze suspenze.
- 2) Poskytnout filtrátu minimální hydraulický odpor toku.
- 3) Snadnou propustnost filtračního koláče.
- 4) Vysokou odolnost proti chemickému znečištění.
- 5) Dobrou tepelnou odolnost v teplotním rozmezí filtrace.
- 6) Dostatečnou pevnost, vůči filtračnímu tlaku a mechanickému opotřebení.
- 7) Zabránit usazování částic do pórů [3].

V závislosti na konkrétní filtrační technice a zamýšlené aplikaci je zvoleno příslušné filtrační médium. Jako běžná média jsou uváděna písek, křemelina, uhlí, bavlněná nebo vlněná vlákna, kovové pletivo, porézní desky z křemene nebo z šamotu, slinuté sklo, kovový prášek a práškový ebonit. Průměrná velikost pórů a konfigurace jsou stanoveny z velikosti a formy jednotlivých prvků, z nichž je médium vyrobeno. Některá filtrační média, například látky z vláknité vrstvy podléhají značnému stlačení, když jsou vystaveny tlakům používaným při průmyslových filtračních operacích. Jiná filtrační média, například keramika, která obsahuje slinuté desky ze skla a kovových prášků si udrží své stálé podmínky. Oddělení pevných částic od kapaliny pomocí filtrace je velmi komplikovaný proces. Z praktických důvodů by měly být otvory filtračního média větší, než je průměrná velikost částic, které mají být filtrovány [3].

Filtrační směs se nalije na filtr z vhodného porézního materiálu. Částice, které jsou menší než póry procházejí filtrem a dostávají se do filtrátu. Větší částice zůstanou na povrchu filtru a vytvoří takzvaný filtrační koláč. Filtrační Médium se skládá z kazet nebo ze zrnitých médií jako jsou písek nebo antracitové uhlí. Filtrace se musí vybírat podle dvou důležitých parametrů. Musí se zvolit správná metoda, která bude použita k vytlačování kapaliny médiumem. Musí být zvolen také vhodný materiál, který bude tvořit filtrační médium [3]. Pokud je odpor proti proudu tekutiny malý, tak gravitační síla ovlivňuje transport tekutiny přes porézní filtrační médium. Tomuto zařízení se říká zjednodušeně gravitační filtr.

Filtrace je hydrodynamický proces, jejíž objemová rychlost tekutiny je přímo úměrná existujícímu tlakovému gradientu napříč filtračním médiumem a nepřímo úměrná odporu toku způsobeného konektivitou a velikostí pórů média. Bez ohledu na to, jak je generován tlakový gradient, se hnačí síla zvyšuje úměrně. Ve většině případů rychlost filtrace roste pomaleji, než rychlost, při které stoupá tlakový gradient [3].

1.1 Proces filtrace

1.1.1 Formování filtračního koláče

Filtrační operace jsou schopny pracovat se suspenzemi různých vlastností. Od zrnitých, nestlačitelných materiálů až po kaly a koloidy. Pro dosažení požadované tloušťky je koláč odstraněn z média různými mechanickými zařízeními, nebo pomocí obráceného toku filtrátu. Aby nedocházelo k tvorbě bahnitého filtrátu na začátku filtračního cyklu, je filtrační cyklus zahájen nízkým, ale postupně se zvyšujícím tlakovým gradientem konstantního průtoku. Struktura filtračního koláče je stanovena z hydrodynamických faktorů, kterými jsou pórovitost filtračního koláče, střední velikost částic a specifický povrch [3].

1.1.2 Fyzikálně-chemické faktory ovlivňující strukturu filtračního koláče

- 1) Rychlost koagulace nebo peptizace pevných částic.
- 2) Přítomnost dehtu a koloidních nečistot ucpávajících póry.
- 3) Vliv elektrokinetických potenciálů v mezifázi za přítomnosti iontů, které snižují efektivní průřez pórů.
- 4) Přítomnost skořápek solvátu na pevných částicích (tento účinek se projevuje při kontaktu částic při tvorbě koláče) [3].

Peptizace: Krystalky (částice solů), které se nachází v čerstvé sraženině, jsou od sebe odděleny pomocí kapalného filmu. Částice jsou mezi sebou drženy pomocí adhezivních sil. Tyto nově vzniklé sraženiny lze převést zpět na sol, to znamená peptizovat [4].

Proces filtrace ovlivňují dva významné provozní parametry: Tlakový rozdíl na filtrační desce a teplota suspenze. Většinu filtračních koláčů můžeme považovat za stlačitelné, obecně se jejich rychlost stlačitelnosti zvyšuje s klesající velikostí částic. Teplota suspenze ovlivňuje viskozitu kapalné fáze. Viskozita ovlivňuje schopnost filtrátu protékat póry filtračního koláče a filtračního média. Filtrační proces může být také ovlivněn nehomogenitou částic. Částice se mohou působením tlaku deformovat, a může dojít k jejich usazování vlivem gravitace. Nehomogenita částic ovlivňuje strukturu filtračního koláče nejen v okamžiku jejího vzniku, ale také během filtračního procesu. Během filtrace jsou malé částice, které jsou zadrženy na vnější straně filtračního koláče strhávány proudem kapaliny a jsou transportovány do vrstev, které jsou blíže filtračnímu médiu, nebo dokonce do samotných pórů. To má za následek zvýšení odporu napříč filtračním médiem. Částice, které podléhají deformaci, jsou vystaveny přechodovým a vysokým tlakům a jsou často odpovědné za ucpávání pórů. Špatná filtrovatelnost se může napravit přidáním koagulačních a peptizačních činidel. Jedná se o přísady, které mohou změnit vlastnosti filtračních koláčů a snížit odpor proti proudění. Mohou také zvýšit rychlost filtrace a účinnost separace. Aby nedocházelo k pronikání jemných částic do pórů filtrační desky při zpracování suspenzí, jsou použity pomocné filtrační látky. Filtrační pomocné látky vytvářejí porézní, propustnou, tuhou mřížkovou strukturu, která zadržuje pevné částice na povrchu filtračního média a umožňuje tím průchod kapaliny. Často se používají nátěry, které mají ochránit filtrační médium. Nátěry mohou být smíchány se suspenzí křemelinové zeminy, která obsahuje více než 90% siliky [3].

Provoz filtrační jednotky zahrnuje komplikovanou hydrodynamiku, která silně závisí na fyzikálních vlastnostech tekutiny a na interakci s porézním médiem. Tento proces je také ovlivněn dvěma skupinami faktorů, které můžeme označit jako makro a mikro faktory. Makro faktory zahrnují plochu filtračního média, tlakové rozdíly, tloušťku koláče a viskozitu kapalné fáze. Mikro faktory zahrnují tloušťku elektrické dvojité vrstvy na povrchu pevných částic [3].

1.1.3 Prací a odvodňovací operace

Pokud jsou přítomny kontaminované nebo znečištěné suspenzní louhy, musí dojít propláchnutím filtračního koláče k dosažení čisté separace. Proto musí být odděleny pevné látky od matečného louhu. Operace odvodnění zahrnuje vytlačení čisté tekutiny koláčem k získání zbytkové kapaliny, která je zadržena v pórech bezprostředně po filtraci nebo promytí. Praní a odvodňování se provádí na filtračním koláči s definovanou strukturou pórů. Toky se i přesto značně zkreslují a komplikují díky měnícím se vlastnostem filtračního koláče [3].

1.1.4 Filtrační a nátěrové pomůcky

Pokud při čištění louhu dojde k výskytu částic koloidního charakteru, musí být použit předběžný povlak. Předběžný povlak slouží pouze jako ochranný povlak na filtračním médiu, aby zabránil částicím dostat se k pórům, zatímco pomocná filtrační látka přidaná k přítoku pomáhá při separaci částic a tvorbě koláčů. Filtrační pomůcky slouží jako překážky mezi částicemi, aby zabránily jejich zhutnění. Filtrační pomůcky vytvářejí pod tlakem na filtračním médiu nepropustnou vrstvu. V některých případech se používají krycí nátěry, aby mohlo být použito hrubší filtrační médium, jako jsou například kovové tkaniny [3].

Kvůli kombinujícím účinkům hydrodynamických a fyzikálně-chemických faktorů je studium struktury filtračního koláče velmi složité. Neexistují spolehlivé metody, které by předpověděly, kdy se může zanedbat vliv fyzikálně-chemických faktorů. Jejich vliv se může považovat za nejvýraznější, v rozmezí jejich velikostí částic, které se pohybují od 15 do 20 μm [3].

1.2 Filtrační média dle materiálu

1.2.1 Flexibilní filtrační média

Již mnoho let jsou používány jako filtrační média pružné nekovové materiály. Tyto materiály mohou být z tkanin, netkaných materiálů, nebo z perforovaných desek. Syntetické materiály mají lepší vlastnosti, než mnoho přírodních látek. Jsou inertní v mnoha kyselých, nebo alkalických roztocích a odolávají různým houbovým a bakteriálním růstům. Některá syntetická vlákna odolávají relativně vysokým teplotám a mívají hladký povrch pro snadné čištění. Mezi nejčastěji používaná média patří nylon, polypropylen, polyuretan, polyetylen, polyvinylchlorid. I přesto se v některých případech používají vlákna přírodní [3].

Skleněná vlákna

Skleněná vlákna mají vysokou tepelnou odolnost, vysokou odolnost vůči korozi a vysokou pevnost v tahu. Průměr a složení vláken lze podle potřeby změnit. Hlavní nevýhodou těchto vláken je pružnost, která může způsobit praskliny. Vlákna mají nízkou odolnost proti oděru. Dlouhou životnost zajistí skleněná vlákna v kombinaci s olověnou deskou, gumovými rohožemi nebo s jinými pevnými materiály [3].

Bavlna

Bavlněná vlákna patří mezi nejpoužívanější filtrační média. Mají omezenou tendenci bobtnat v kapalinách, a proto jsou používány k oddělování neutrálních suspenzí při teplotách do 100 °C, suspenzí s 3% obsahem kyselin, nebo zásad s koncentrací do 3 % při 15-20°C [3].

Vlna

Vlněná vlákna mohou být použita k manipulaci s kyselými roztoky s koncentrací 5-6 % a k zajištění dobré čistoty filtrátu. Vlněná vlákna si našla široké uplatnění při odvodňování kalů z čistíren odpadních vod. Vlna má dlouhou životnost a obtížně se zanáší. [3].

Nylon

Vlákna z nylonu (polyamid 6.6) mají hladký povrch. Filtrační textilie vyrobená z nylonu je velice pevná a má dlouhou životnost. Tyto textilie jsou používány v chemických odvětvích průmyslu při odsiřování, odstraňování prachu a separaci znečištěných vod z dolů [3].

Polypropylen

Filtrační textilie z polypropylenu je tvořena s polypropylenových vláken, která jsou mechanicky (tepelně) zpevněna. Polypropylenová vlákna mají vysokou pevnost a jsou tvarově stálá. Polypropylen je používán pro filtraci kyselin, louhů, tvrdé vody nebo minerálních olejů [5].

Polyetylen

Filtrační textilie z polyetylenů má výborné elektroizolační vlastnosti. Polyetylenová vlákna odolávají za běžných podmínek polárním rozpouštědlům, vodě, kyselinám a zásadám. Nejčastěji jsou používána jako předfiltry pro filtry s vyšší účinností [6].

Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid je nejčastěji používán ve formě biokuliček jako medium pro biologické filtrování. Využíván je výhradně pro filtraci zahradních jezírek [7].

Pryžová média

Gumová média se vyskytují ve formě porézních gumových lišt, nebo ve formě mikroporézních tvrdých gumových lišt. Jsou vyráběna z měkké gumy, tvrdé gumy, pružné tvrdé gumy, nebo z měkkého neoprenu. Hladký povrch umožňuje odstranění tenčích filtračních koláčů, než je možné u bavlněných nebo vlněných tkanin. Guma může být snadno vyčištěna a použita při teplotách až 180 °C [3].

1.2.2 Pevná filtrační média

Keramická média

Keramická média jsou vyráběna z drceného prosetého křemene nebo šamotu. Křemenná média jsou odolná vůči koncentrovaným minerálním kyselinám. Nejsou odolná vůči zásadám s nízkou koncentrací a vodným roztokům solí. Šamot odolává vůči zředěným koncentrovaným kyselinám a vodným roztokům solí. Použitím syntetických polymerů jako pojiv, vznikne keramické filtrační médium, u kterého nebude docházet k ucpávání pórů [3].

Uhelná média

Uhelná média jsou vyráběna smícháním frakce drceného koksu s antracitovou frakcí černouhelného dehtu, následným formováním pod tlakem, sušením a zahříváním pomocí redukčního plamene. Uhelná média mají vysokou mechanickou pevnost a jsou vhodná pro použití v kyselinách a zásadách. Filtry na uhlí jsou používány převážně v cukrovarnickém průmyslu [3].

Ebonitová média

Ebonitová média jsou vyráběna z kaučuku, který je drcen, lisován a vulkanizován. Tato média jsou odolná vůči kyselinám a zásadám. Mohou být použita pro filtraci při teplotách od -10°C do 110°C [3].

Pěnová plastová média

Pěnová média jsou vyráběna z polyvinylchloridu, polyuretanu, polypropylenu a dalších polymerních materiálů. Jsou ekonomicky výhodná. Používána jsou nejčastěji jako filtrace zahradních jezírek. Nejvíce používaná jsou polyuretanová pěnová média. Polyuretanová pěna se vyrábí polyadici diisokyanátů a vícesytných alkoholů, pomocí kterých vznikne uretanová vazba. Hlavní růstová reakce je doprovázena uvolňováním oxidu uhličitého, díky reakci izokyanátové skupiny s vodou, která působí jako nadouvadlo. Polyuretanová pěna má vysokou mechanickou pevnost [8].

1.2.3 Kombinace flexibilního a pevného média

Filtrační média mohou být také složena z částic, které mají tuhou strukturu, ale jsou aplikovány ve volné sypané formě. To znamená, že dochází pouze k vzájemnému dotyku jednotlivých částic. Tato forma je levná a je snadno udržovatelná v čistotě. Tuhé médium má jednu hlavní nevýhodu, může být použito pouze ve vodorovné poloze. Nemůže být použito k odstranění silných usazenin a k čištění povrchu, kromě zpětného proplachu [3].

Písková média

Písková filtrace je klasickou metodou separování velmi jemných mechanických nečistot z vody. Její podstatou je zachycování částic v mezerách mezi zrny po celém objemu filtračního média, v kombinaci s koagulací může odstraňovat i rozpuštěné látky. Výhodou pískové filtrace je jednoduchá regenerace pískové vrstvy a v případě její výměny nízké pořizovací náklady. Objemové pískové filtry mohou být řešeny jako otevřené s kontinuálním nebo periodickým provozem, a jako filtry tlakové s periodickým provozem. Nové varianty vícevrstvých filtrů a nově vyvinutá umělá média výrazně zlepšují vlastnosti klasických filtrů a rozšiřují oblast jejich použití. Kontinuální pískové filtry odstraňují hlavní nevýhody pískových filtrů, jako jsou diskontinuální provoz a nerovnoměrné zatížení média [3].

Pískové filtry jsou používány pro filtraci technologických vod v průmyslových provozech, zejména v energetice, papírenství, v dřevozpracujících provozech, v chemických závodech, v hutnictví a hornictví. Již tradičně je písková filtrace používána na dočišťování pitné, užitkové a povrchové vody, v úpravárnách užitkových a pitných vod a na čistírnách odpadních vod jako poslední stupeň čištění [9].

1.3 Principy (mechanismy) filtrace

Gravitační princip

Vlivem vodorovného proudění nosného plynu a znečišťujících látek jsou částičky vystaveny v jádru proudu gravitační a unášivé síle. Rychlost plynů obtékajících povrch odlučovacích ploch se blíží k nulové hodnotě. Setrvačná síla F_g , síla vztlaková F_v a síla aerodynamická F_a ovlivňují pohyb částiček po vertikální dráze. Rychlost částiček v mezní soustavě je konstantní, to znamená, že jejich velikost vyplývá z rovnováhy sil, vyjádřené vztahem (1)

$$F_a = F_g - F_v \quad (1)$$

Setrvačná síla F_g bude vyjádřena podle vztahu (2)

$$F_g = g \cdot \rho_p \cdot \frac{\pi \cdot d_p^3}{6}, \quad (2)$$

kde ρ_p je hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], d_p je průměr částičky [mm].

Vztlaková síla F_v bude vyjádřena podle vztahu (3)

$$F_v = g \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_p^3}{6}, \quad (3)$$

kde w_p je ustálená rychlost v mezní soustavě [$\text{m} \cdot \text{s}$].

Aerodynamická síla F_a bude vyjádřena podle vztahu (4)

$$F_a = \xi \cdot \frac{\pi \cdot d_p^3}{4} \cdot \frac{\rho \cdot w_p^2}{2}, \quad (4)$$

kde zéta ξ je součinitel odporu částičky [10].

Setrvačný princip

Setrvačné síly působí na částičky, které jsou unášeny proudem nosného plynu. Částičky mění svoji trajektorii vlivem působení setrvačných sil. Čím větší jsou odchylky od trajektorie, tím vyšší je jejich hmotnost a rychlost. Viskozita se naopak zmenšuje. Jsou používány mechanické odlučovače (prašníky, žaluziové odlučovače, vírníky), pomocí kterých se částičky vzájemně odloučí vlivem rozdílného zakřivení trajektorie. Setrvačný princip je také používán při odlučování znečištěných částiček pomocí textilních filtrů [10].

Intercepční princip

Odlučované částičky jsou zachytávány na filtrační mříži, která tvoří prostorově uspořádanou strukturu vláken. Intercepčnímu procesu se také říká síťový efekt. Síťový efekt nastane pouze tehdy, pokud budou působit povrchově aktivní látky mezi částičkami a obtékaným vláknem [10].

Elektrostatický princip

Tento princip je založen na účincích elektrostatického pole, které působí na elektricky nabitě částice. Nabitě částice účinkem vlastního prostorového náboje, nebo tím, že indukují na sběrací ploše náboje opačné polaritty se mohou odlučovat i bez elektrostatického pole. Aby docházelo k intenzivnějšímu odlučování částic, musí být částice uměle nabíjeny. Existují dva mechanismy umělého nabíjení (nabíjení elektrickým polem, nabíjení difuzí plyných iontů). Pro částice větší než jeden mikrometr se používá nabíjení elektrickým polem [10].

1.4 Metody stanovení filtračních vlastností

Tlakový spád

Mezi nejdůležitější filtrační vlastnosti lze zařadit tlakový spád (tlaková ztráta). Tlakový spád se vyjadřuje jako odpor proti toku tekutiny, která prochází přes filtr. Tlakový spád je úměrný rychlosti proudícího vzduchu (toku) těsně před filtrem. Pokud se zvýší rychlost proudícího vzduchu, zvýší se i tlakový spád. Tlakový spád Δp lze určit ze vztahu (1) [11].

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (1)$$

kde p_1 je tlak filtrovaného média před filtrem, p_2 je tlak filtrovaného média za filtrem.

Průtok

Byl měřen objem kapaliny, který proteče za jednotku času (t). Objem kapaliny (Objemový průtok), který proteče daným průtokovým kanálem za jednotku času, lze stanovit ze vztahu (2) [12].

$$Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

kde ΔV je objem kapaliny, který proteče daným průtokovým kanálem, Δt je jednotka času.

Efektivita

Efektivita, neboli odlučitelnost je nestálá vlastnost. Efektivita se mění s každou změnou struktury filtru během filtračního procesu. Efektivitu lze stanovit ze vztahu (3) [11].

$$E = 1 - \left(\frac{G_1}{G_2} \right) \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (3)$$

kde G_1 je množství disperzního podílu za filtrem, G_2 je celkové množství disperzního podílu.

Tlak

Tlak je nutné měřit před i za filtrem. K tomu se obvykle využívá diferenciální tlakoměr, který umožňuje měření rozdílů tlaků v místech měření.

1.5 Průmyslová filtrační zařízení

Používané vybavení je rozděleno do dvou skupin:

- 1) Stacionární součásti (nosné zařízení, například závěsná nádoba)
- 2) Stírací mechanismy a pohyblivá zařízení (filtrační médium v závislosti na konstrukci)

Pro filtraci pomocí filtračního koláče jsou používány kontinuální nebo vsádkové filtry.

Při vsádkové filtraci probíhají dílčí kroky filtračního procesu postupně za sebou po celé filtrační ploše. Při filtraci kontinuální probíhají všechny kroky filtračního procesu současně na různých částech filtrační plochy. Pro filtraci pomocí filtračního média jsou nejčastěji používány dávkovací systémy. Dávkovací filtry mohou být provozovány v jakémkoliv filtračním režimu. Kontinuální filtry jsou nejčastěji provozovány při konstantním tlaku [3].

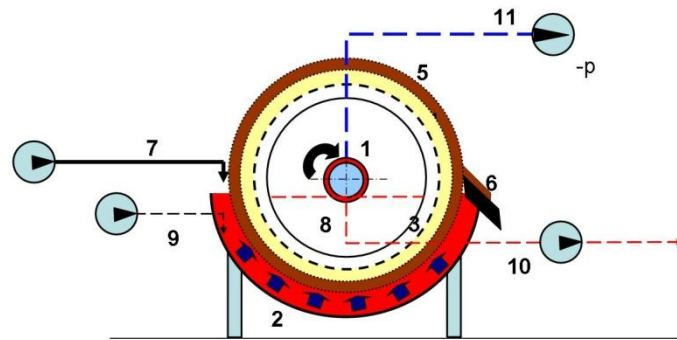
1.5.1 Rotační bubnové filtry

Rotační bubnové filtry jsou používány v protiproudovém režimu, za působení tlaku. Nejčastěji jsou používány jako vakuové filtry. I když jsou provozovány pod tlakem, zřídka jsou vystaveny nadměrnému čerpacímu tlaku. Za hlavní výhodu těchto filtrů je považována jejich kontinuita provozu. Celkové filtrační cykly jsou omezeny v úzkých časových intervalech. Proto musí být zachovány konstantní vlastnosti suspenze. Změna vlastností suspenze může způsobit velké změny v požadovaných časech pro dokončení jednotlivých operací filtračního procesu. Tyto filtry nejsou příliš používány při práci s polydisperzemi obsahujícími částice s širokým rozsahem velikostí, protože jsou znečišťovány malými tělesy [3].

1.5.2 Vakuové filtry

Vakuové filtry jsou vyznačovány rychlostí, kterou bývá buben ponořen do suspenze. Jsou označovány jako nejpoužívanější filtry v průmyslu s použitím protiproudu. Pokud by nepůsobila dostatečně velká gravitace, která by mohla vyvolat proudění, atmosférický tlak by působil pouze na jednu stranu filtračního média. Mezitím by působil podtlak nebo sací tlak na výtlačné straně [3].

Vakuový filtr je běžně používán pro filtraci moštů, kalů a sedimentů. Kapalina přitékající do žlabu je nasávána přes vrstvu křemeliny do bubnu vlivem působícího tlaku. Filtrát je odváděn pomocí dutého hřídele bubnu přes odlučovač až do sběrného tanku. Kaly, které se hromadí na povrchu křemeliny, jsou seřezávány nožem. K obnovení filtrační vrstvy na povrchu bubnu je přidávána křemelina do žlabu [13].



1 – filtrační buben, 2 - poloválcový žlab, 3 – nosné síto,
 4 – naplavená vrstva křemeliny, 5 – vrstva kalů, 6 – plochý
 nůž, 7 – přívod filtrovaného vína, 8 – odvod filtrátu,
 9 – dávkování křemeliny, 10 - výstup filtrátu, 11 – vývěva

[13].

Obrázek 1: Schéma principu činnosti vakuového filtru



[14].

Obrázek 2: Rotační vakuový filtr

1.5.3 Souběžné filtry

Pro filtry s horním nebo souběžným přívodem vody jsou používána plochá a válcová média. U plochých provedení bývá úhel mezi směrem gravitační síly a pohybem filtrátu 0° . Tato třída filtrů je zcela odlišná od filtrů s protiproudovým průtokem. Mezi tyto filtry jsou zařazovány rotační bubnové filtry, filtry s nepřetržitým pásem a filtrační lisy s vodorovnými komorami. Tyto filtry jsou nejčastěji používány na oddělování kalů [3].

1.5.4 Filtry Nutch

U těchto speciálních konstrukčních filtrů je používána plochá filtrační deska. Konstrukce těchto filtrů je tvořena uvolněným filtračním médiem a velkou nádrží s falešným dnem. Konstrukce je tvořena jednou děrovanou nádobou, která je rozdělena do dvou komor. V horní komoře je zadržována nefiltrovaná suspenze vlivem působení atmosférického tlaku. Spodní komora byla zkonstruována pro podtlak a udržení filtrátu [3].



[15].

Obrázek 3: Filtrační jednotka Nutche 3X DN150

Tato filtrační jednotka je používána pro filtraci sorbentů nebo solí z reakčních směsí ve vodném prostředí i v organických rozpouštědlech.

1.5.5 Filtrační lisy

Filtrační lisy jsou používány na úpravu pitné vody, na odvodňování kalů, na zpracování minerálů jako je olej, cukr nebo bionafta. Filtrační lisy jsou děleny podle velikosti a typu filtračních desek, možného způsobu uzavírání, a technického řešení rámu. Velikost lisu se odvíjí od počtu filtračních desek a délek jejich stran. Filtrační desky jsou používány na vytvoření, takzvané filtrační komory. Filtrační deska je tvořena uvnitř komory profilovaným povrchem. Profilovaný povrch umožňuje odvod filtrátu do sběrných kanálků a následně ven z filtračního lisu. Filtrační desky jsou rozděleny podle konstrukce na rámové, komorové, membránové [16].

Nejvíce používaný materiál pro výrobu filtračních desek je homogenní polypropylen. Tělo membránových filtračních desek je tvořeno z polypropylenu. Membrána filtračních desek může být tvořena z polypropylenu, z etylen-propylenového kaučuku EPDM nebo z butadien-akrylového kaučuku NBR [16].

1.5.6 Diskové filtry

Diskové filtry jsou používány k separaci nečistot. Hlavní výhodou diskových filtrů je efektivita čištění při zanesení pomocí filtrační plochy. Filtrační plocha umožňuje snadnější proplach nečistot, jako jsou papír, vlákna, piliny, kovové špóny a jiné nečistoty organického původu. Filtrační bariéra je sestavena z disků, které jsou uspořádány do sloupců. Disky je možné při zanesení propláchnout tlakovou vodou. Pokud budou disky zaneseny železem nebo jinými nečistotami organického původu, mohou být vyjmuty z filtru a vloženy do nádoby s kyselinou nebo zásadou, kde dojde k chemickému odstranění nečistot [17].

1.5.7 Listové filtry

Vertikální listový filtr

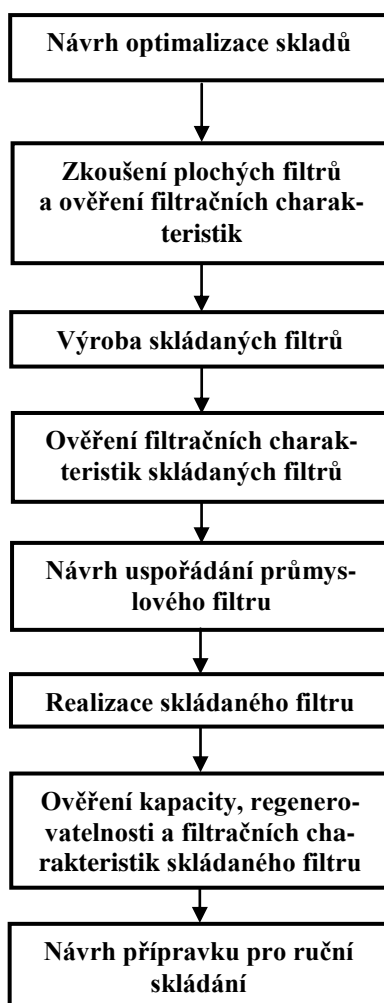
Vertikální listové filtry jsou složeny z filtračních desek, které jsou vertikálně umístěné ve zcela uzavřené vertikální nebo horizontální nádrži. Desky jsou opatřeny vhodným filtračním médiem, podle konkrétního filtračního procesu. Znečištěná kapalina protéká přes filtrační médium, které je umístěno na deskách filtru směrem k vypouštěcímu otvoru z nádrže. Filtrační koláč se vytváří v místě záchytu pevných částic těsně před filtračním médiem. Filtrační koláč je v pravidelných intervalech odstraňován. Filtry mohou být využity v dávkovacím i kontinuálním provozu [18].

Horizontální listový filtr

Tento tlakový filtr je používán pro filtrační procesy, ve kterých mohou být použity hrubé nečistoty jako pomocný filtrační prostředek. Hrubé nečistoty jsou například křemelina nebo celulóza. Tento filtr je využíván při filtraci vosků z jedlých olejů, nebo při výrobě síry v chemickém průmyslu [19].

2. Plán experimentu a cíl práce

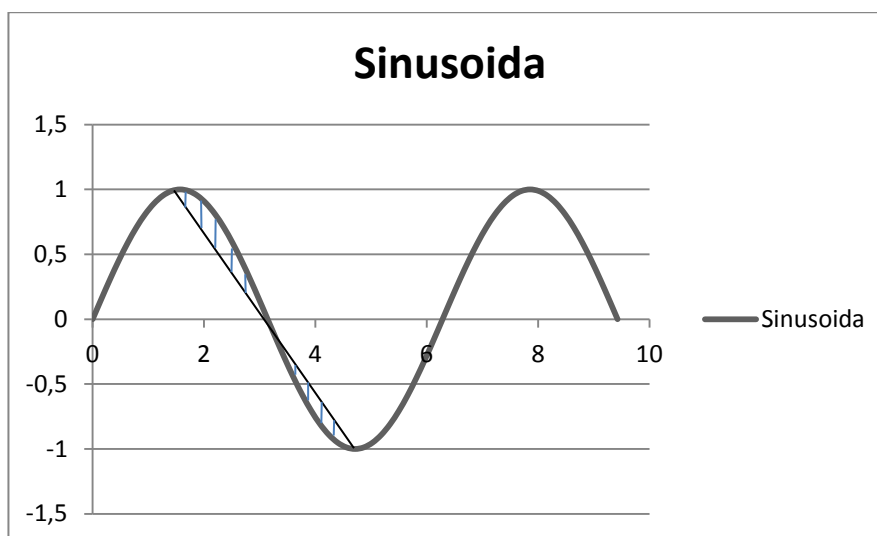
Cílem práce je experimentálně ověřit vybrané filtrační textilie ke komerčnímu použití. Filtrační textilie budou nejprve ověřeny pomocí plochých vzorků kruhového průřezu odpovídacím svým tvarem filtračnímu tělesu. Součástí bude i zjištění vybraných fyzikálních a geometrických charakteristik materiálu. Dále bude proveden odhad optimální geometrie skládaného filtru z pohledu úhlu skladů pro maximální kapacitu filtru. Poté budou z filtračních textilií vytvořeny skládané filtry, na nichž bude ověřen nárůst kapacity filtru. Zjištěné filtrační charakteristiky budou sestaveny do grafů a přehledových tabulek, aby umožnily porovnání jednotlivých filtračních textilií. Na základě těchto charakteristik bude vybrán materiál pro tvorbu skládaného filtru pro průmyslové použití s možností opakovaného čištění. Zkušební skládaný filtr bude zanášen nečistotami simulujícími reálný provoz. Po zanesení filtru bude proveden pokus o jeho regeneraci, který potvrdí či vyvrátí úspěšnost realizace celého experimentu. Poslední část experimentu je zaměřena na návrh přípravku k ručnímu skládání filtrů.



Obrázek 4: Plán experimentu

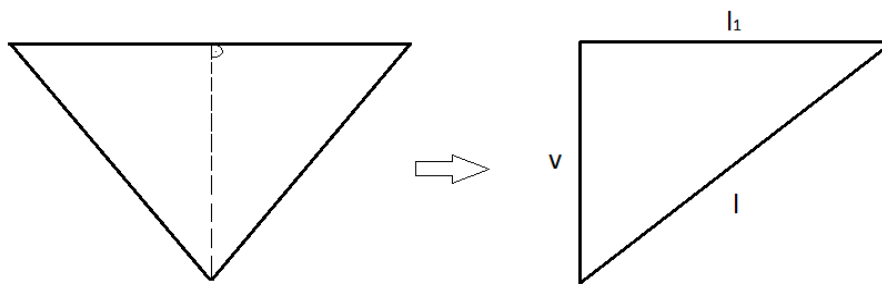
2.1 Odhad optimální geometrie skládaného filtru

Při návrhu filtračního média se vychází z předpokladu, že vhodně vytvořená geometrie umožní v porovnání s plochým filtrem výrazně vyšší kapacitu záchytu při nižším poklesu filtračních charakteristik, zejména nárůstu tlakového spádu. Jako možné řešení se nabízí využití skládání filtru do objemového útvaru. Tento princip se u filtrů běžně využívá, ne však v případě filtrů rukávových, které jsou určeny pro průmyslovou filtraci kapalin. Geometrie skladu je jednoduchá, v případě použití poddajných materiálů připomíná svým tvarem sinusoidu (obr. 4), v případě tužších materiálů, jako je např. papír, budou stěny rovné a budou se blížit svým tvarem trojúhelníku (obr. Číslo 5).



Obrázek 5: Sinusoida

Vzhledem k tomu, že zakřivení stěn v případě sinového průběhu má jen malý význam hlediska dalších úvah, bude další popis materiálu proveden na trojúhelníkové geometrii. Pro určení kapacity filtru (množství nečistot), který je schopen filtr zachytit, lze vycházet z plošné varianty.



Obrázek 6: Trojúhelníková geometrie

Odhad kapacity filtru

Pro odhad kapacity filtru se předpokládá, že bude mít maximální plochu, pokud zamýšlený pravoúhlý trojúhelník, reprezentující jednu polovinu skladu, bude rovnoramenný. Plocha filtračního koláče jednoho skladu skládaného filtru bude podle vzorce (4) následující:

$$S = 2 \cdot \frac{v \cdot l_1}{2} = v \cdot l_1 \text{ [mm]}, \quad (4)$$

kde S je plocha filtračního koláče, v je výška trojúhelníku [mm], l_1 je délka přilehlé strany trojúhelníku [mm].

Pro celkový objem je nutno znát počet skladů, který je v případě rovnosti $l_1 = v$ určitelný ze vztahu (5).

$$P_s = \frac{l_c}{2l_1}, \quad (5)$$

kde P_s je počet skladů, l_c je celková délka složené textilie [mm].

Celkový objem zachycený uvnitř skladů je pak dán vztahem (6).

$$V_c = \frac{l_c}{2l_1} \cdot v \cdot l_1 \cdot \check{s} \rightarrow V_c = \frac{l_c}{2} \cdot v (l_1) \cdot \check{s} \quad (6)$$

kde \check{s} je šíře vzorku.

Pro porovnání s kapacitou plochého filtru je nutné odhadnout tloušťku filtračního koláče. Tato hodnota je cca 3 mm.

Plošný filtr jednotkové plochy zachytí dle vztahu (7) $3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ nečistot.

$$T_{fk} \cdot l \cdot \dot{s} = 3 \cdot 1 \cdot 10^6 = 3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3, \quad (7)$$

kde T_{fk} je tloušťka filtračního koláče

Pro porovnání s filtrem skládaným je nutné znát jeho konstrukční tloušťku. Ta je vzhledem k zástavbovým rozměrům filtrační nádoby rovna 15 mm. Celkový objem filtračního koláče mezi sklady je možno určit ze vztahu (8).

$$V_c = \frac{l_c}{2} \cdot v \cdot (l_1) \cdot \dot{s} \rightarrow V_c = \frac{1000}{2} \cdot 15 \cdot 1000 = 7,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad (8)$$

Objem nečistot je pak dle (8) roven hodnotě $7,5 \times 10^6 \text{ mm}^3$. K tomu je však nutné připočítat tloušťku filtračního koláče, který vznikne nad sklady a to opět o tloušťce 3 mm. Výsledná hodnota je tedy $10,5 \times 10^6 \text{ mm}^3$. V porovnání s objemem nečistot zachycených plochým filtrem se jedná o 3,5 násobek.

Porovnání materiálové náročnosti plochého a skládaného filtru

Z porovnání materiálové náročnosti je zřejmé, že velikost skladu v závislosti na její výšce při požadované rovnosti ramen bude představovat při výrobě vyšší nároky na spotřebu materiálu. Při takto volené geometrii bude spotřeba vyšší o hodnotu, kterou lze určit ze vztahu (9). Nárůst množství materiálu potřebného k výrobě skládaného filtru lze odhadnout na základě zjednodušené geometrie skladu následovně.

Délka jednoho skladu l odpovídá vztahu

$$l = \sqrt{v^2 + l_1^2} \quad (9)$$

přičemž ze skutečnosti, že v je rovno l_1 , lze vztah zjednodušit na (10)

$$l = \sqrt{2v^2} \quad (10)$$

a následně na (11).

$$l = \sqrt{2} \cdot v \quad (11)$$

Z něj je zřejmé, že spotřeba bude vyšší o 1,41 násobek, tedy o 41 %. Při 3,5 násobném zvýšení kapacity se stále jedná o relativně nízké zvýšení nákladů na přidaný materiál.

3. Použité metody, materiály a zařízení

Níže budou popsány metody, materiály a zařízení

3.1 Použité metody

Stanovení tloušťky

Pro každý filtrační materiál byla naměřena tloušťka v milimetrech, plošná hmotnost v gramech na metr čtverečný a průměry vláken v milimetrech. Tloušťka byla naměřena na tloušťkoměru podle normy EDANA 30.4-89. Přístroj pro měření tloušťky je ukázán na obrázku 6. Zatížení při měření bylo podle normy 500 Pa = 0,5 kPa.



Obrázek 7: Tloušťkoměr VEB

Plošná hmotnost

Plošná hmotnost byla vypočítána podle normy EDANA 40.3-89 z podílu hmotnosti a naměřených rozměrů filtračního materiálu. Z pěti naměřených hodnot pro každou veličinu byl vypočítán aritmetický průměr. Průměry vláken byly změřeny pomocí programu Image J. Vzorky byly pozlaceny pomocí zařízení Quorum Q150R ESZ vrstvou o tloušťce 10 nm pro zajištění dostatečné vodivosti.

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost byla vypočtena z podílu plošné hmotnosti vzorku a tloušťky materiálu podle vztahu (12).

$$\rho = \frac{P_1}{t} \text{ [kg/m}^3\text{]}, \quad (12)$$

kde P_1 je plošná hmotnost v $\text{g} \cdot \text{m}^2$ a t je tloušťka materiálu v milimetrech.

Zaplnění

Zaplnění vzorků bylo vypočteno z podílu objemové hmotnosti vzorku a hustoty polymeru podle vztahu číslo (13), ze kterého jsou vzorky vyrobeny. U polypropylenu bylo počítáno s hustotou 946 kg/m^3 . U polyesteru bylo počítáno s hustotou 1350 kg/m^3 .

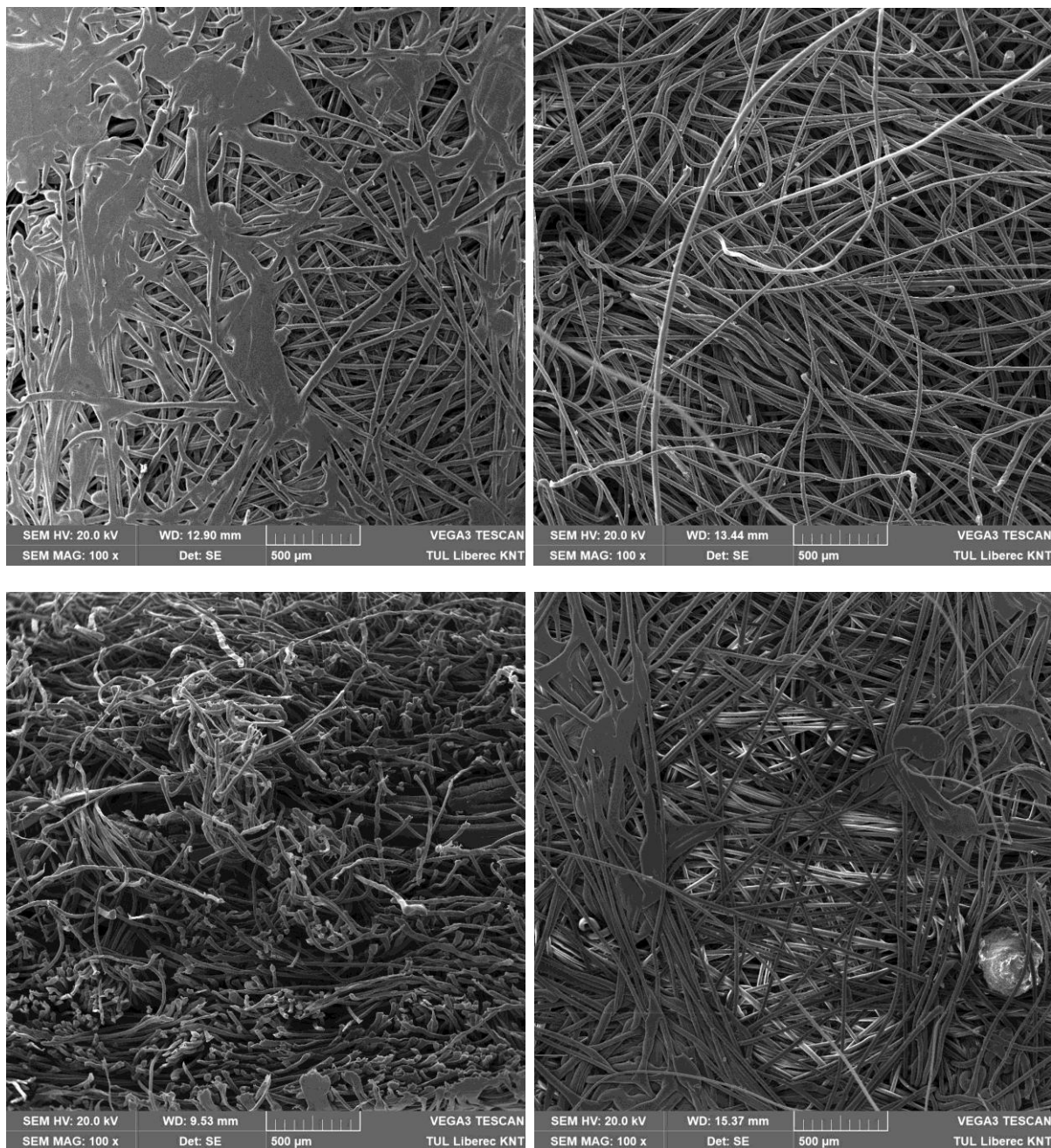
$$\mu = \frac{\rho}{\rho_p} \cdot 100 \% , \quad (13)$$

kde ρ je objemová hmotnost materiálu v $\text{kg} \cdot \text{m}^3$ a ρ_p hustota polymeru v $\text{kg} \cdot \text{m}^3$, ze kterého je vzorek vyroben.

Simulace nečistot

Jako látka simulující nečistotu byl použit hnědý korund (oxid hlinitý - Al_2O_3), který se dá koupit v balení po 25 kilogramech. Korund má vysokou tvrdost a tuhost. Příprava korundového prášku je prováděna mletím a následným drcením hnědých ingotů korundu. Tvar korundové částice závisí na použitém drtiči a jeho adhezivních vlastnostech [20,21].

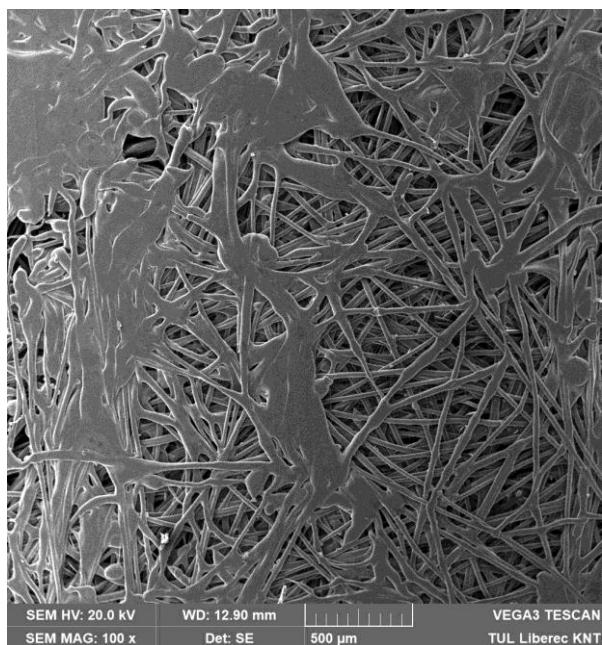
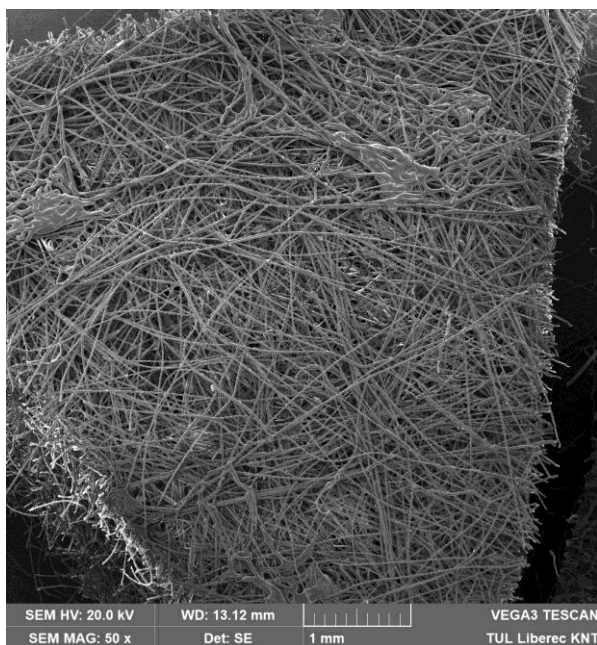
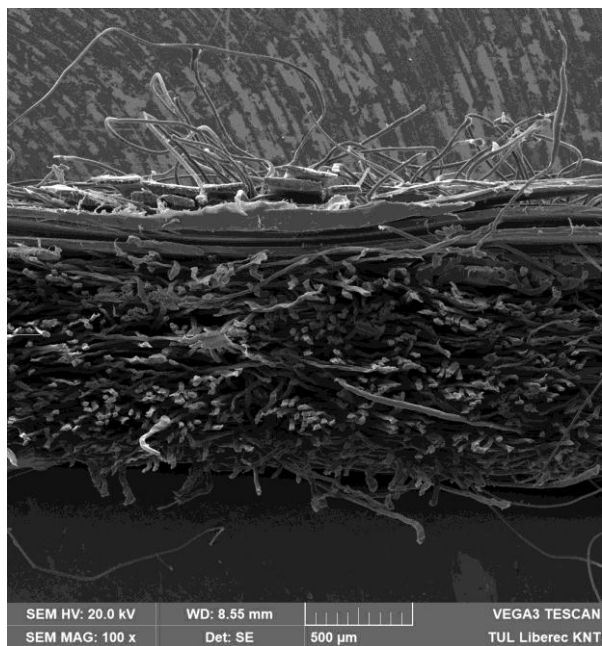
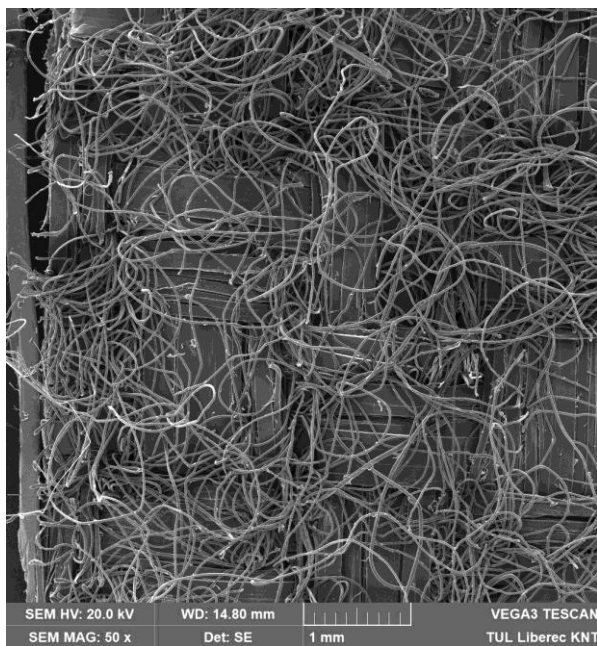
Měření průměrů vláken



Obrázek 8: Filtr POP-2 zvětšený 100x z lící strany; Obrázek 9: Filtr POP-2 zvětšený 100x z rubní strany; Obrázek 10: Řez filtru POP-2 zvětšený 100x; Obrázek 11: Filtr KAF-5 zvětšený 100x z lící strany

U filtru POP-2 z lící strany (obrázek 8) jsou vidět navzájem spojená vlákna. Z rubní strany u téhož filtru je vidět anizotropní uspořádání vláken (obrázek 9).

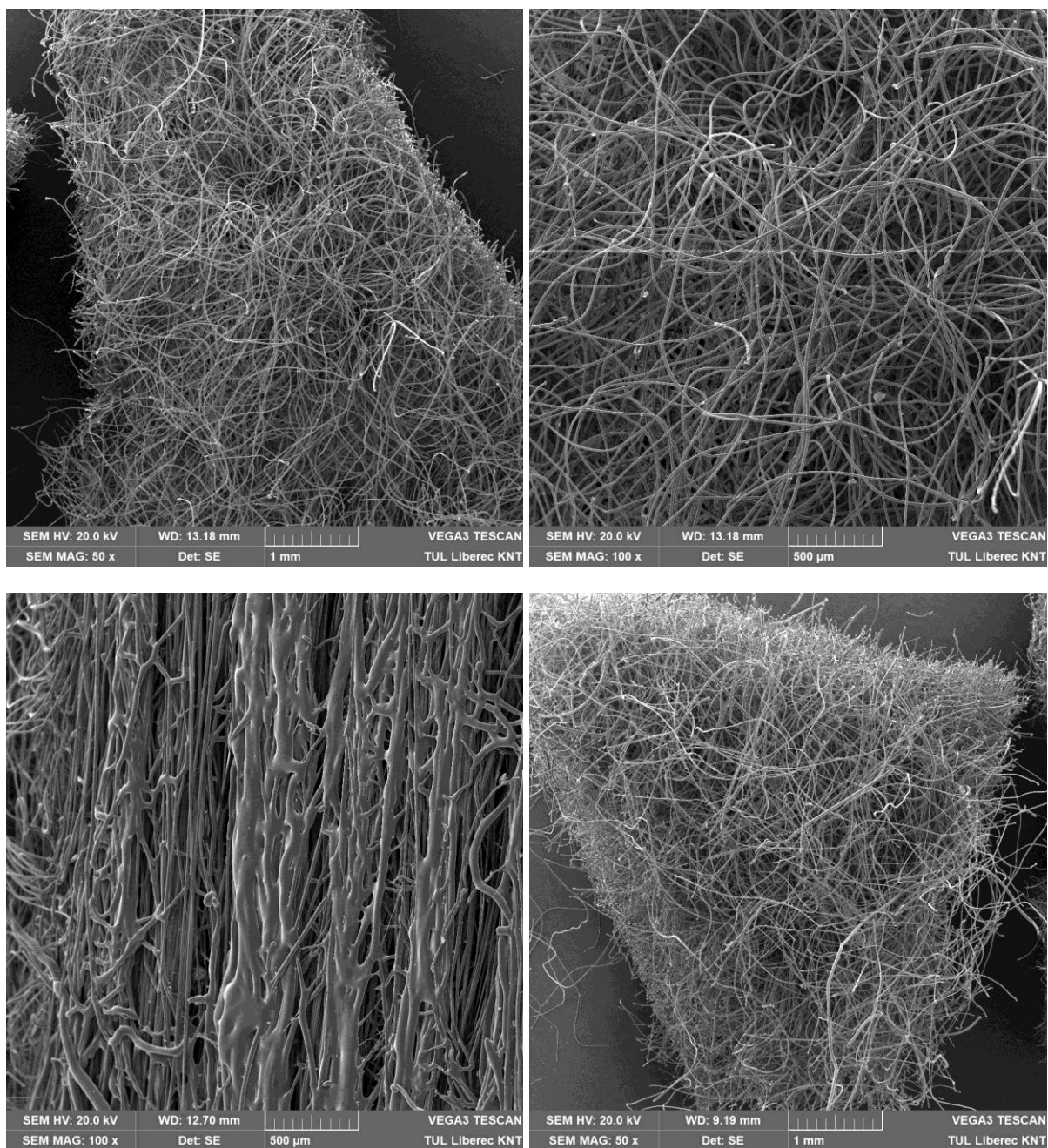
Na obrázku 11 je zobrazen filtr Finet KAF-5, který je zvětšený stokrát, z lící strany. Na obrázku je patrná výztužná tkanina.



*Obrázek 12: Filtr KAF-5 zvětšený 50x z rubní strany; Obrázek 13: Řez filtru KAF-5 zvětšený 100x;
Obrázek 14: Filtr modrý zvětšený 50x z lící strany; Obrázek 15: Filtr modrý zvětšený 100x z lící strany*

Z rubní strany u filtru Finet KAF-5 (obrázek 12) je zřejmá náhodná orientace vláken, pod kterými se nachází výztužná podkladová tkanina.

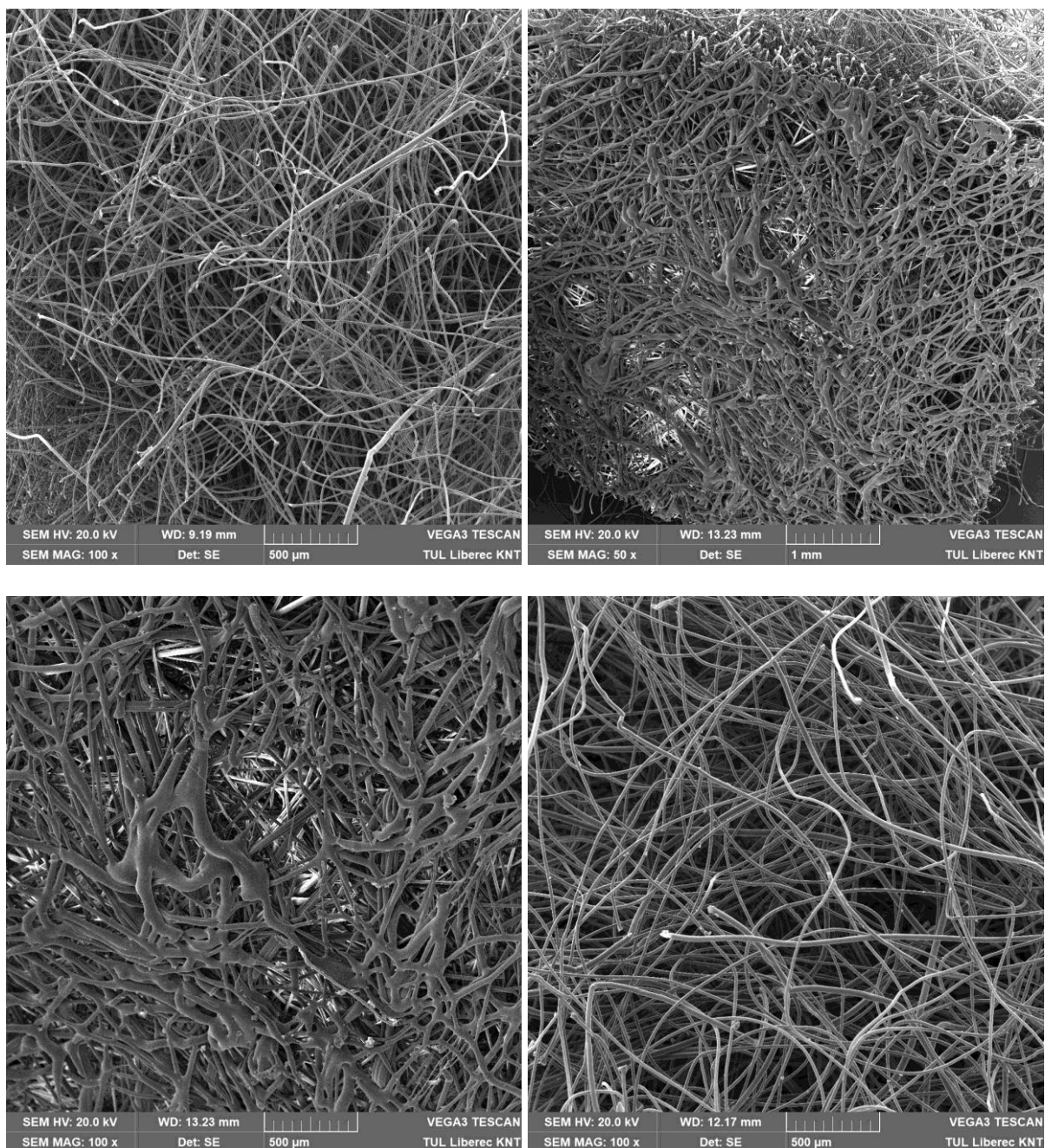
Na obrázku 15 je zobrazen modrý filtr VFT-7, který je zvětšený stokrát z lící strany, a na kterém jsou vidět tepelně spojená vlákna.



Obrázek 16: Filtr modrý zvětšený 50x z rubní strany; Obrázek 17: Filtr modrý zvětšený 100x z rubní strany; Obrázek 18: Filtr červený zvětšený 100x z lící strany; Obrázek 19: Filtr červený zvětšený 50x z rubní strany

Z rubní strany u modrého filtru (obrázek 17) je patrná náhodná orientace vláken.

Na obrázku 18 (červený filtr VFT 7/C/E zvětšený z lící strany) jsou vidět tepelně spojená vlákna.



Obrázek 20: Filtr červený zvětšený 100x z rubní strany; Obrázek 21: Filtr VFT 4/P zvětšený 50x z lící strany; Obrázek 22: Filtr VFT 4/P zvětšený 100x z lící strany; Obrázek 23: Filtr VFT 4/P zvětšený 100x z rubní strany

U červeného filtru zvětšeného z rubní strany (obrázek 20) je zřejmá náhodná orientace vláken.

U bílého filtru VFT 4/P zvětšeného z lící strany (obrázek 22) jsou vidět tepelně spojená vlákna. Z rubní strany u téhož filtru (obrázek 23) je patrné anizotropní uspořádání vláken.

Textilie jsou tedy spojené nejen mechanicky vpichováním, ale také termicky. Důvodem je vytvoření hladkého povrchu pro snadnější odstranění nečistot z povrchu textilie. Dále je u textilií (Finet KAF-5) patrná výztužná mřížka. Ta je vložena mezi dvě vrstvy vpichované textilie a tyto vrstvy jsou opětovně spojeny vpichováním. Cílem je vytvořit kompozit kombinující výborné filtrační vlastnosti s dobrou mechanickou pevností tkanin. Vznikne tak textilie dobře odolávající tlaku normálově působícího k povrchu textilie. Výztužná tkanina je tvořena z pásků.

Snímky vláken byly získány pomocí skenovacího mikroskopu TESCAN VEGA 3. Průměry vláken byly měřeny pomocí programu Image J

Vypočtené a naměřené hodnoty byly sestaveny do tabulky číslo 1.

Tabulka číslo 1: Naměřené hodnoty

Filtrační materiál	Filtr POP-2	Filtr modrý VFT-7	Filtr červený VFT 7/C/E	Filtr finet KAF-5	Filtr VFT 4/P
Plošná hmotnost [g · m ²]	309,52	252,39	346,5	556,95	223,66
Tloušťka [mm]	1,69	3,97	5,87	3,83	3,81
Průměry vláken [μm]	19,95± 0,14	7,15±1,17	14,33±1,73	20,08±0,19	16,03±1,91 33,76±1,96
Objemová hmotnost [kg/m ³]	183,14	63,57	59,03	145,41	58,7
Zaplnění	19,35%	4,7%	4,37%	15,37%	4,34%

Po analýze pomocí programu Image J, bylo zjištěno, že u filtru VFT/4P se nachází dva druhy vláken s rozdílnými průměry.

3.2 Použité filtrační materiály

V experimentální části byly použity níže popsané filtrační materiály. Všechny byly získány od společnosti MITOP CZ, která vyrábí netkané filtrační materiály pro filtraci plynů i kapalin s různou konstrukcí a použitými materiály. Jejich základní charakteristiky jsou popsány níže. Cílem bylo vybrat materiál, který je běžně dostupný a aplikovat jej pro výroby skládaného filtru se samočisticí funkcí.

Filtr FINET POP-2

Filtrační materiál vyráběný technologií vpichování s výztužnou podkladovou tkaninou světle zelené barvy. Materiál ze 100 % polypropylenu. Vyrábí se v gramážích 300 g/m² a 500 g/m². Materiál pro agresivní prostředí s výbornou odolností proti kyselinám a alkáliím. Používá se na filtrační hadice, plachetky, anodové sáčky [22].

Tabulka číslo 2: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr POP-2

	Podélná pevnost	Příčná pevnost	Podélná tažnost	Příčná tažnost	Prodyšnost	Teplotní odolnost
	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 9237	Kontinuální/špičková
Druh materiálu	[N/5cm]	[N/5cm]	[N/5cm]	[N/5cm]	[l/m ² · s]	[°C]
Finet POP-2	350	500	60	40	200	90

[23].

Filtr FINET KAF-5

Filtrační materiál vyráběný technologií vpichování s výztužnou podkladovou tkaninou. Materiál ze 100 % polypropylenu. Vyrábí se v gramážích 500 g/m². Materiál má obě strany natavené. Tento materiál je určen pro náročnější filtraci. Používán je na plachetky pro kalolisy. [22]

Tabulka číslo 3: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr KAF-5

	Podélná pevnost	Příčná pevnost	Podélná tažnost	Příčná tažnost	Prodyšnost	Teplotní odolnost
	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 13934-1	ČSN EN ISO 9237	Kontinuální/špičková
Druh materiálu	[N/5cm]	[N/5cm]	[N/5cm]	[N/5cm]	[l/m ² · s]	[°C]
Finet KAF-5	600	900	110	80	100	90

[23].

Filtr VFT 4/P

Filtrační materiál vyráběný technologií vpichování. Materiál bílé barvy s tepelně upravenou výstupní stranou. Materiál ze 100 % polyesteru. Nejčastěji se používá na šití kapsových filtrů pro klimatizace a větrání. Vyrábí se ve vyšší gramáži 300 g/m² a s vyšší pevností. Jedná se o základní filtrační materiál vyznačující se vyšší životností a lze ho používat i v náročných podmínkách [24].

Tabulka číslo 4: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr VFT 4/P

	Plošná hmotnost	Doporučená třída filtrace dle EN779	Šíře role	Teplotní odolnost kontinuální/špičková	Prodyšnost
	ČSN EN ISO 12127				ČSN EN ISO 9237
Druh materiálu	[g/m ²]	G4	[cm]	[°C]	[l/m ² .s]
Filtr VFT 4/P	300		200/150	150	2000

[25].

Filtr VFT 7/C/E

Filtrační materiál vyráběný technologií vpichování. Materiál červené barvy, zvané červený melír s tepelně upravenou výstupní stranou. Materiál ze 100 % polyesteru. Nejčastěji se používá na šití kapsových filtrů pro klimatizace a větrání. Vyrábí se ve vyšší gramáži 300 g/m² a s vyšší pevností. Je vhodný pro třídu filtrací F7 [24].

Tabulka číslo 5: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr VFT 7/C/E

	Plošná hmotnost	Doporučená třída filtrace dle EN 779	Šíře role	Teplotní odolnost kontinuální/špičková	Prodyšnost
	ČSN EN ISO 12127				ČSN EN ISO 9237
Druh materiálu	[g/m ²]	F7	[cm]	[°C]	[l/m ² · s]
Filtr VFT 7/C/E	300		200/150	150	1100

[25].

Filtr VFT-7

Filtrační materiál vyráběný technologií vpichování. Materiál modré barvy s tepelně upravenou výstupní stranou. Materiál ze 100 % polyesteru. Nejčastěji se používá na šití kapsových filtrů pro klimatizace a větrání. Vyrábí se ve vyšší gramáži 300 g/m² a s vyšší pevností. Je vhodný pro třídu filtrací F7 [24].

Tabulka číslo 6: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr VFT-7

	Plošná hmotnost	Doporučená třída filtrace dle EN 779	Šíře role	Teplotní odolnost kontinuální/špičková	Prodyšnost
	ČSN EN ISO 12127				ČSN EN ISO 9237
Druh materiálu	[g/m ²]	F7	[cm]	[°C]	[l/m ² .s]
Filtr VFT- 7	300		200/150	150	1100

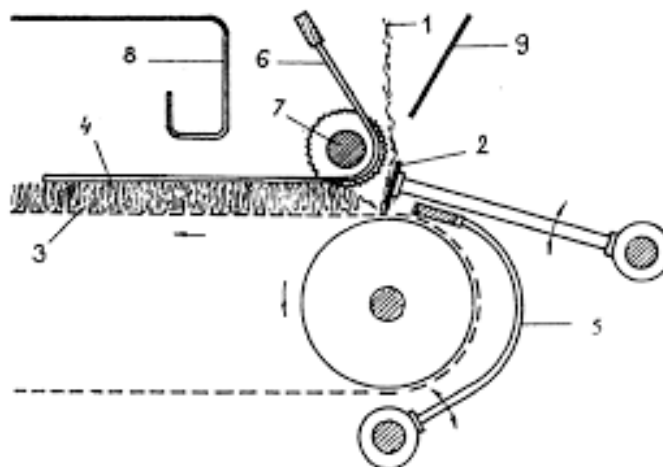
[25].

3.3 Zařízení pro skládání vzorků

Filtrační textilie lze skládat pomocí technologie Struto. Tato technologie se používá pro výrobu vlákných vrstev pomocí kolmého kladení pavučiny. K výrobě vlákných vrstev kolmým kladením jsou používány dva stroje, kterými jsou vibrační kolmý kladeč a rotační kolmý kladeč [26]. Zvláštní modifikací je zařízení ROTIS II, které bylo pro výrobu filtrů použito, avšak s vyřazenou mechanickou fixací skladů, která by poškodila povrch filtru a ovlivnila by filtrační vlastnosti textilie. Možnosti výroby skládané textilie jsou uvedeny níže.

Vibrační kolmý kladeč

Pavučina je přiváděna ze shora a je stahována pomocí vibrující pilky k dopravníku, který je v pohybu. Tímto způsobem je vytvořen sklad pavučiny. Sklad pavučiny je sejmut z hrany pilky pomocí hladkých jehel, které jsou umístěny na vibrující pěchovací liště. Poté je sejmutý sklad pavučiny doražen k tvořící se vlákné vrstvě pěchovací lištou. Vlákná vrstva postupuje dále k dopravníku, pomocí kterého je přivedena do teplovzdušné pojící komory, kde je zpevněna [26].

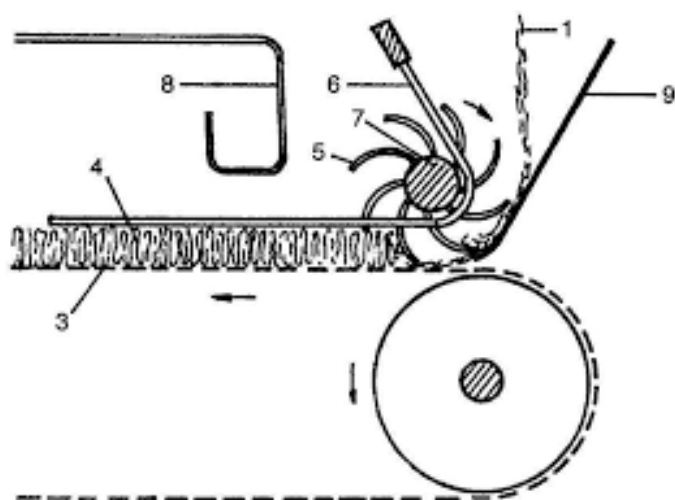


[26].

Obrázek 24: Vibrační kolmý kladeč

Rotační kolmý kladeč

Vlákenná pavučina u rotačního kolmého kladeče prochází přes soustavu kotoučů, kde je prostřednictvím jejich hrotů formována do vlákenné vrstvy. Vrstva je tvořena kolnými sklady. Následně jsou sklady sejmuty z hrotů dráty roštu, které jsou umístěny mezi kotouči. Vlákenná vrstva je poté zpevněna v teplovzdušné pojící komoře [26].

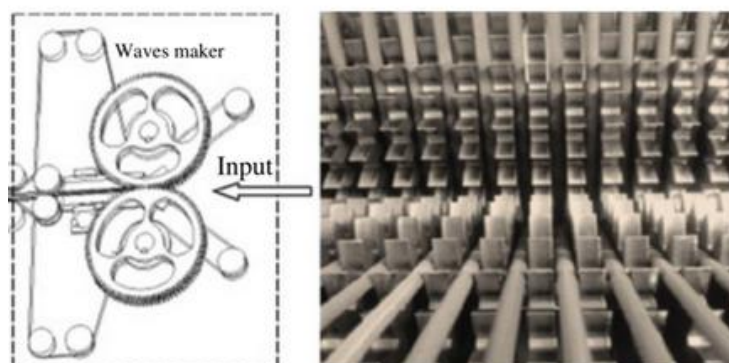


[26].

Obrázek 25: Rotační kolmý kladeč

ROTIS II

Stroj Rotis II umožňuje výrobu 3D výrobků tloušťky 4 až 7 milimetrů z netkaných textilií tloušťky 0,2 až 2 milimetry. Ozubené soukolí a pásové dopravníky musí být správně uspořádány pro dosažení požadované tloušťky materiálu. Netkané textilie jsou formovány do skladů specifického tvaru a výšky. Tvar skladu se odvíjí od parametrů seřízení stroje. Stroj se skládá ze dvou zrcadlově složených částí, které jsou tvořeny soustavou do sebe zapadajících ozubených kol. Ozubená kola jsou rozmístěna na hřídeli, po celé šířce stroje [27].



[28].

Obrázek 26: Rotis II

3.4 Filtrační testovací trať

Jednou z hlavních komponent testovací trati je vodní nádrž. Maximální průtok nádrže je $600 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Na Testovací trať je použita nádrž o objemu 1000 litrů. Při našem měření byla nádrž naplněna asi do poloviny svého objemu vzhledem k nízkým průtokům, protože nebyl použit ohřev vody. Pro filtrační trať byla použita tzv. IBC nádrž, která se dá běžně koupit. Nádrž je vyrobena z polypropylenu. [29].

Ve filtrační testovací trati bylo použito čerpadlo značky STAC kategorie N. Průmyslové čerpadlo splňuje normu DIN 24255. Čerpadlo lze použít pro čerpání vody až do teploty 80°C s maximálním pracovním tlakem 10 bar. Chlazení čerpadla je řešeno pomocí zakryté vrtule. Čerpadlo má hmotnost 104 kilogramů, proto je umístěno na pevnou podložku. [29].



[30].

Obrázek 27: Centrifughe normalizzate pompe serie N

Filtrační testovací trať musí vydržet pracovní tlak 10 bar. Tlak 10 barů simuluje reálný provoz, kterému může být filtr reálně vystaven. Proto musí mít filtrační trať škrtkovací ventil, pomocí kterého bude dosaženo požadovaného tlaku. Škrtkovací ventil je umístěn na filtrační trati za testovaným filtrem. Škrtkovací ventil navyšuje tlak v oblasti okruhu od čerpadla, přes filtr až k ventilu. K ventilu jsou připojeny PN příruby. Jako škrtkovací ventil byl použit ventil dle normy EN558/14 s označením KSB BOA-C, který je zobrazen na obrázku 28. [29].

Mezi hlavní výhody uzavíracích ventilů BOA-Compact a BOA-SuperCompact patří těsnost a bezúdržbovost po celou dobu životnosti ventilu pomocí profilových těsnících kroužků z etylenpropylenového kaučuku EPDM s trvalým mazáním zajišťujícím absolutní těsnost a odolnost vůči korozi. Další výhodou jsou minimální tlakové ztráty a uzavírání a škrtení v jednom provedení. [29].



[31].

Obrázek 28: Škrtkovací ventil KSB BOA

Potrubí je z polypropylenu a je složeno z několika dílů, obsahujících trubky, příruby, těsnění. Používány jsou polypropylenové tlakové trubky podle normy DIN EN ISO 15874. Tyto trubky je možné použít do teploty 70°C a hodnoty tlaku 10 barů.

Trať je dále vybavena snímači pro sledování stavu filtračního procesu.

Průtokoměr je používán pro stanovení předepsaných podmínek během zkoušky a ke sledování aktuálního průtoku, který je regulován čerpadlem. Jako průtokoměr je používán magneto indukční průtokoměr řady FG4000 značky Limesa. Maximální provozní tlak průtokoměru je 25 bar. Je používán průtokoměr bez displeje [29].

Filtrační trať je osazena teploměry, kvůli možnosti regulace ohřevu kapaliny. Používán je snímač teploty značky Regmet s označením P13U. Snímač je používán s rozsahem měření od 0-100°C do tlaku 40 barů [29].

Hlavním parametrem pro testování filtru během jeho zanášení je tlakový spád. Tlakový spád znamená rozdíl tlaku v těsné blízkosti před a za filtrem. Pro měření tlakového spádu jsou používána diferenciální čidla tlaku. Je používáno jedno diferenciální čidlo, které je umístěno v těsné blízkosti před vstupem do filtru. Za výstupem filtru je zhotovena přípojka pro druhý vstup do diferenciálního čidla. Z naměřených údajů je výstupní veličinou rozdíl tlaku způsobený filtrem, a proto nemusí být odečítán celkový tlak v systému. Je používáno pro tyto požadavky čidlo značky Thermokon. Rozsah čidla se pohybuje od 0-4 barů. [29].

Během chodu filtrační tratě je používáno pomocné měření hladiny ve vodním rezervoáru. Toto měření je používáno hlavně pro kontrolu poklesu hladiny pod určitou úroveň. Hladinoměr je používán jako bezpečnostní opatření v případě, že by docházelo k úniku kapaliny během chodu. Jako další důvod pro použití hladinoměru je umístění sacích hrdel, u kterých je potřeba zajistit vždy dostatečnou výšku hladiny, aby nedošlo k zavzdušnění celé tratě.[29].

Testované filtry jsou umístěny do filtračního tělesa. Těleso je zhotoveno z nerezové oceli. Filtrační těleso obsahuje koš pro umístění filtru. Těleso je zajištěno těsnícím poklopem. Je používáno těleso od firmy Alfico s.r.o. s označením AFB02 pro rukávcový filtr. Těleso filtru je usazeno ve vlastním stojanu pro snadnou výměnu filtrační vložky. Stojan má kotvící otvory, aby mohl být pevně ukotven k podlaze[29].



Obrázek 29: Filtrační testovací trať

4 4. Výsledky a grafické zpracování

Pro experimentální ověření filtračních vlastností bylo vybráno pět plošných filtračních textilií odlišných materiálových vlastností, které se lišily jak použitým vlákenným materiálem, tak i konstrukcí filtru. Z každé filtrační textilie byly vystřiženy tři vzorky plochých filtrů kruhového průřezu, který odpovídal vnitřnímu průměru filtračního tělesa.

Všechny ploché filtry byly zanášeny částicemi korundu. U plochých filtrů byla jedna dávka 25 gramů korundu. Cílem dávkovacího procesu bylo dosažení požadovaného tlakového spádu 4 barů. Počet dávek korundu se odvíjel od tlakové ztráty a klesajícího průtoku v závislosti na teplotě.

Ze všech třech vzorků z každé filtrační textilie byl vybrán filtr s nejlepší charakteristikou. Naměřené charakteristiky – tlakový spád, vstupní tlak a průtok, byly zpracovány do grafů.

K ověření kapacity zachytu byly změřeny i tři vybrané skládané filtry, které svou velikostí odpovídaly velikosti plochých filtrů, tedy bez nutnosti změny filtračního tělesa. Skládané filtry zachytily větší množství dávkovaného korundu. Byly použity filtry: VFT-7, VFT 7/C/E a VFT 4/P.

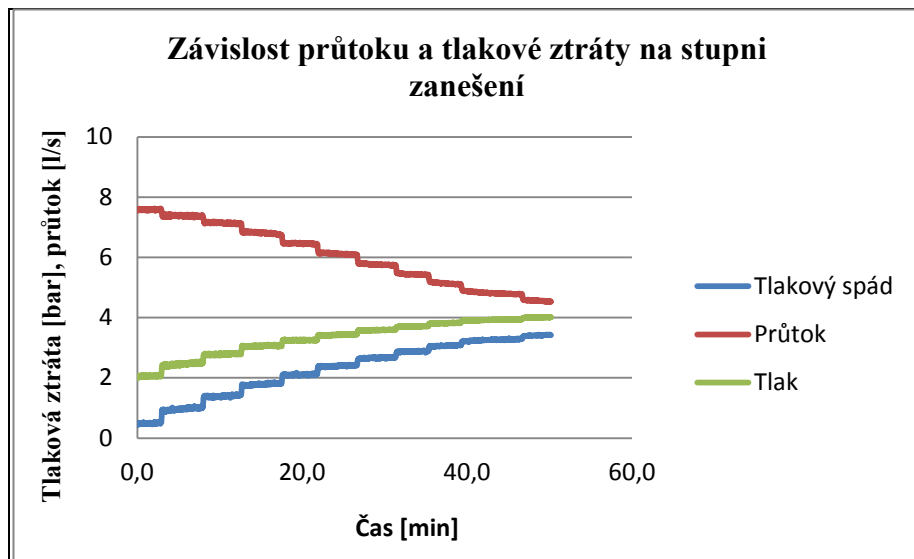
4.1 Značení vzorků

Tabulka číslo 7: Značení vzorků

Č. vzorku	Označení vzorků
1	VFT 7/C/E
2	VFT-7
3	Finet KAF-5
4	Finet POP-2
5	VFT 4/P

4.2 Filtrační charakteristiky plochých filtrů

Vzorek číslo 1



Graf 1: Filtr VFT 7/C/E viz tab.7

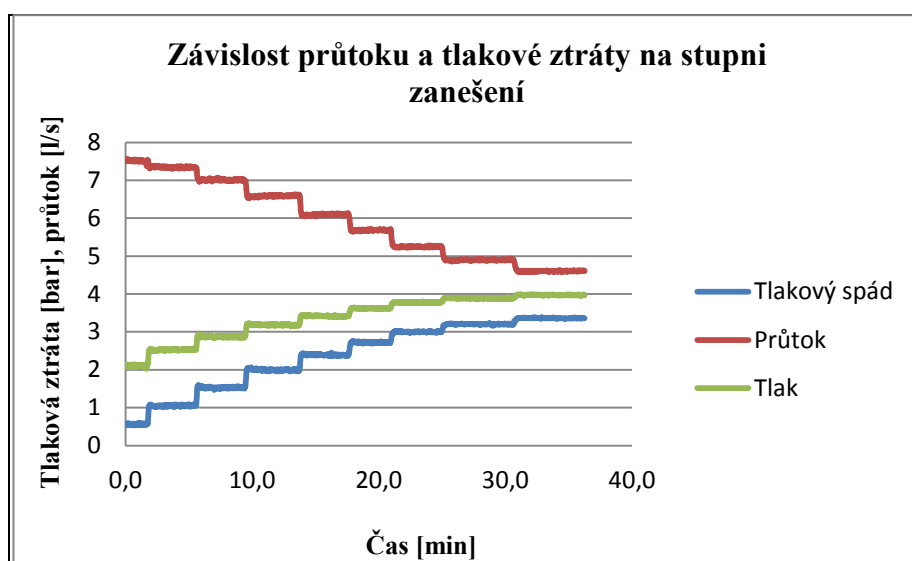
Zobrazen je graf s filtrem VFT-7/C/E. Nejvyšší dávkované množství bylo 250 gramů korundu. Čas pro dosažení tlakového spádu 4 barů byl 60 minut. Průměrná kapacita filtru byla 166,6 g viz tabulka 8.

Tabulka číslo 8: Filtrační charakteristiky pro filtr VFT 7/C/E

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	100
2	150
3	250
Průměrná hodnota [g]	166,6
Směrodatná odchylka [g]	93,4

Jednotlivá měření vykazovala poměrně velké rozdíly v množství zachyceného korundu. Směrodatná odchylka mezi jednotlivými měřeními je 93,4 gramů.

Vzorek číslo 2



Graf 2: Filtr VFT-7 viz tab.7

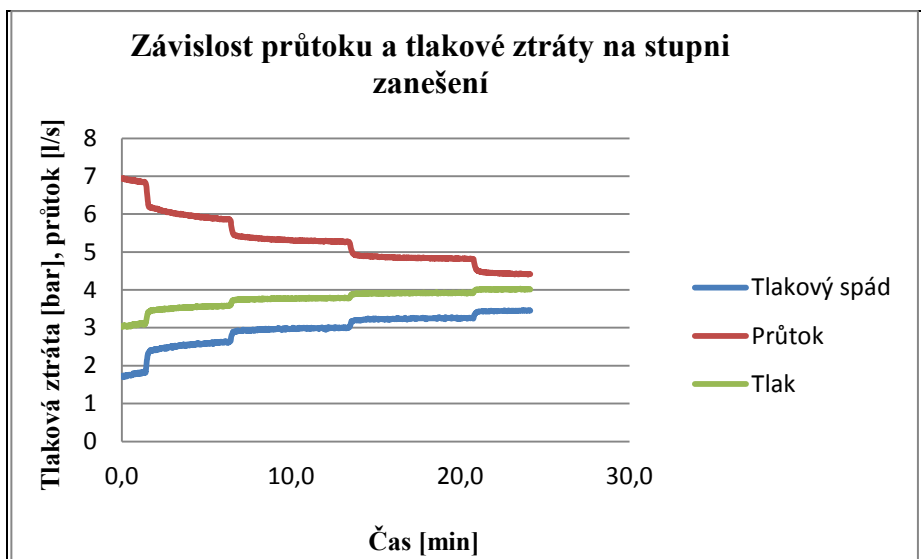
Zobrazen je graf s filtrem VFT-7. Nejvyšší dávkované množství bylo 200 gramů. Průměrná kapacita filtru byla 141,6 gramů viz tabulka 9. Z grafu číslo 2 je zřejmé, že měřený filtr VFT-7 potřeboval kratší čas pro dosažení tlakového spádu 4 bar než filtr VFT 7/C/E z grafu číslo 1. Z toho vyplývá, že došlo k rychlejšímu zanesení filtru.

Tabulka číslo 9: Filtrační charakteristiky pro filtr VFT- 7

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	75
2	150
3	200
Průměrná hodnota [g]	141,6
Směrodatná odchylka [g]	78,7

Směrodatná odchylka mezi jednotlivými měřeními je 78,7 gramů.

Vzorek číslo 3



Graf 3: Filtr Finet KAF-5 viz tab.7

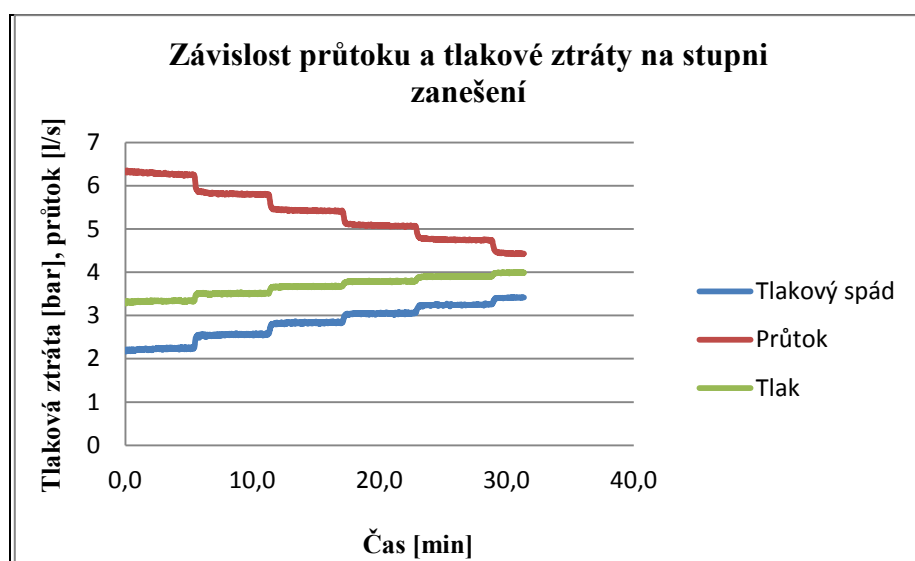
Zobrazen je graf s filtrem Finet KAF-5. Nejvyšší dávkované množství bylo 100 gramů. Průměrná kapacita filtru byla 100 gramů viz tabulka 10. Z grafu vyplývá, že k zanesení filtru stačily pouhé 4 dávky korundu. Čas pro dosažení tlakového spádu 4barů byl 25 minut.

Tabulka číslo 10: Filtrační charakteristiky pro filtr Finet KAF-5

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	50
2	100
3	150
Průměrná hodnota [g]	100
Směrodatná odchylka [g]	56,9

Směrodatná odchylka mezi jednotlivými měřeními je 56,9 gramů.

Vzorek číslo 4



Graf 4: Filtr Finet POP-2 viz tab.7

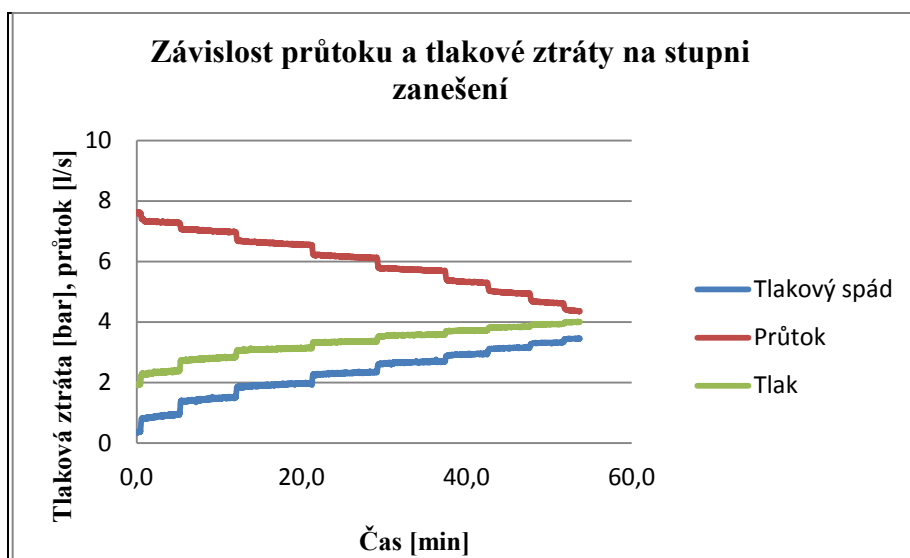
Zobrazen je graf s filtrem Finet POP-2. Nejvyšší dávkované množství bylo 125 gramů. Průměrná kapacita filtru byla 91,6 gramů viz tabulka 11. Pro dosažení tlakového spádu 4 barů stačilo 5 dávek korundu. Čas pro dosažení tlakového spádu 4 barů byl 30 minut.

Tabulka číslo 11: Filtrační charakteristiky pro filtr Finet POP-2

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	50
2	100
3	125
Průměrná hodnota [g]	91,6
Směrodatná odchylka [g]	49,9

Směrodatná odchylka mezi jednotlivými měřeními je 49,9 gramů.

Vzorek číslo 5



Graf 5: Filtr VFT 4/P viz tab.7

Zobrazen je graf filtru VFT 4/P. Nejvyšší dávkované množství bylo 225 gramů. Průměrné kapacita filtru byla 133,3 gramů viz tabulka 12. Pro dosažení tlakového spádu 4 barů bylo potřeba 9 dávek korundu. Čas potřebný pro dosažení tlakového spádu byl 50 minut.

Tabulka číslo 12: Filtrační charakteristiky pro filtr VFT 4/P

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	75
2	100
3	225
Průměrná hodnota [g]	133,3
Směrodatná odchylka [g]	80,4

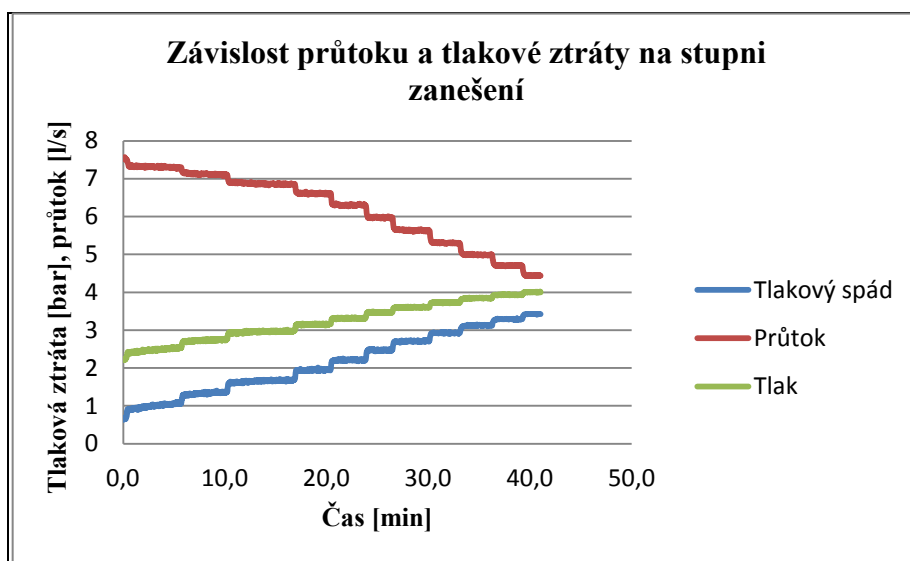
Směrodatná odchylka mezi jednotlivými měřeními je 80,4 gramů.

Největší rozptyl mezi jednotlivými naměřenými hodnotami byl zaznamenán u filtru VFT 7/C/E.

Jako filtr s největší kapacitou záchytu se jeví VFT 7/C/E. Tento filtr zachytil největší množství nečistot. Z toho lze usoudit, že by se nejlépe hodil pro použití ve vodní filtraci.

Jako filtr s nejmenší kapacitou záchytu se jeví Finet KAF-5. Tento filtr zachytil nejmenší množství nečistot.

4.3 Filtrační charakteristiky skládaných filtrů



Graf 6: Modrý skládaný filtr VFT-7

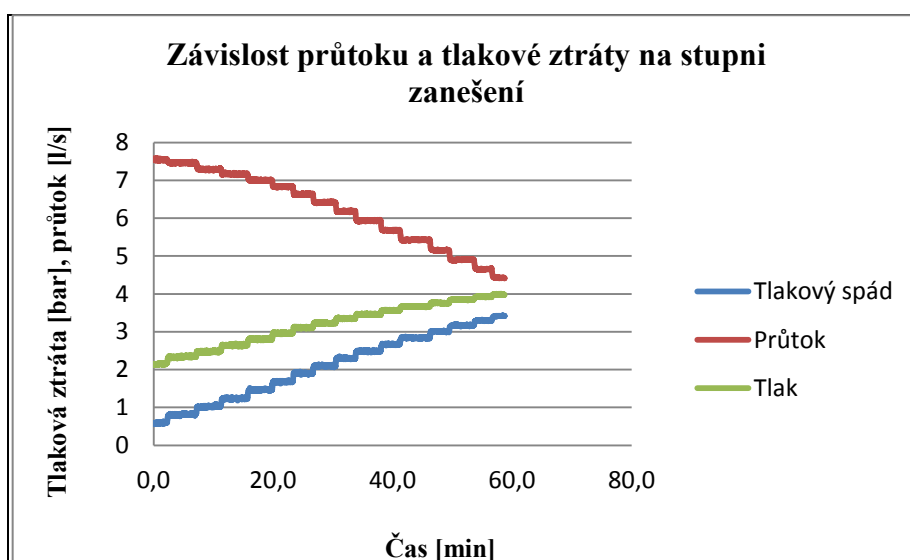
Zobrazen je graf skládaného modrého filtru VFT-7. Nejvyšší dávkované množství bylo 275 gramů. Při porovnání plochého a skládaného filtru je zřejmé, že skládaný filtr zachytil v průměru o 100 gramů nečistot více než filtr plochý. Čas potřebný pro dosažení tlakového spádu 4 barů byl 40 minut.

Tabulka číslo 13: Filtrační charakteristiky pro modrý skládaný filtr

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	200
2	250
3	275
Průměrná hodnota [g]	241,6
Směrodatná odchylka [g]	121,8



Obrázek 30: Modrý skládaný filtr



Graf 7: Červený skládaný filtr VFT 7/C/E

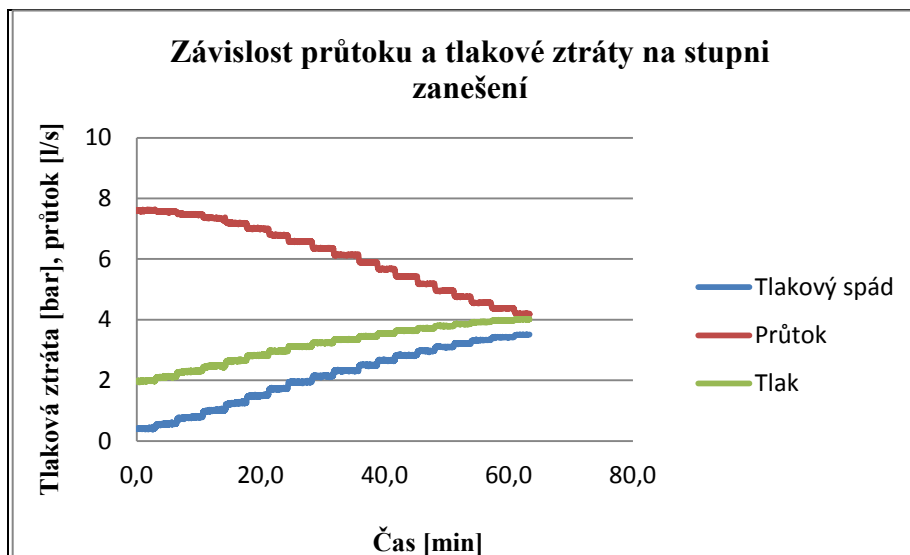
Zobrazen je graf skládaného červeného filtru VFT 7/C/E . Dávkované množství bylo 375 gramů. Skládaný filtr zachytil v průměru o 125 gramů nečistot více než filtr plochý. Čas potřebný pro dosažení tlakového spádu 4 barů byl 60 minut.

Tabulka číslo 14: Filtrační charakteristiky pro červený skládaný filtr

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	275
2	325
3	375
Průměrná hodnota [g]	325
Směrodatná odchylka [g]	164



Obrázek 31: Červený skládaný filtr



Graf 8: Bílý skládaný filtr VFT 4/P

Zobrazen je graf skládaného bílého filtru VFT 4/P. Nejvyšší dávkované množství bylo 475 gramů. Skládaný filtr zachytil v průměru o 341,7 gramů více nečistot než filtr plochý. Čas potřebný pro dosažení tlakového spádu 4 barů byl 60 minut.

Tabulka číslo 15: Filtrační charakteristiky pro bílý skládaný filtr

Číslo měření	Dávkované množství [g]
1	375
2	425
3	475
Průměrná hodnota [g]	425
Směrodatná odchylka [g]	213,4



Obrázek 32: Čistý skládaný filtr VFT-4/P



Obrázek 33: Zanesený skládaný filtr VFT 4/P

Tabulka číslo 16: Nárůst kapacity u skládaných filtrů

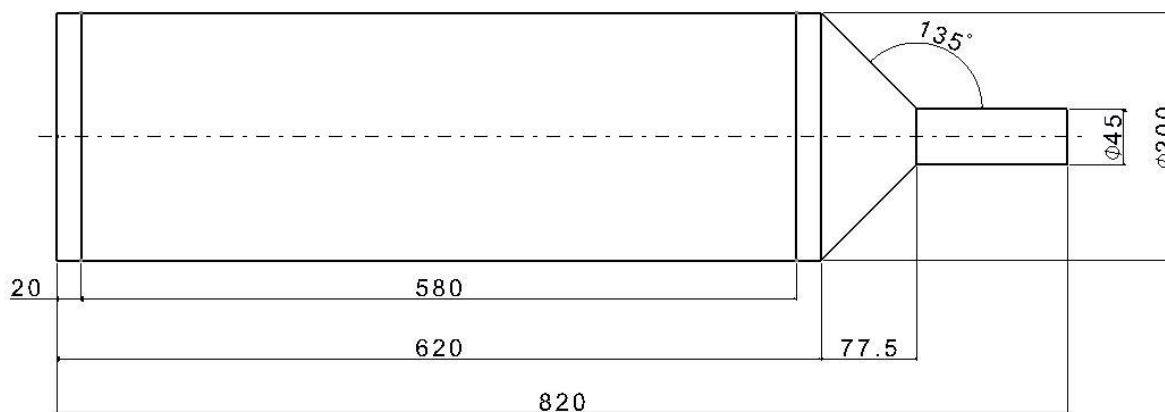
	Průměrná hodnota plochého filtru [g]	Průměrná hodnota skládaného filtru [g]	Nárůst kapacity filtru [%]
Filtr VFT 7/C/E	166,6	325	195
Filtr VFT -7	141,6	241,6	170
Filtr VFT 4/P	133,3	425	319

Jako filtr s největší kapacitou záchytu se ukázal bílý skládaný VFT 4/P, který zachytil největší množství dávkovaného korundu při požadovaném tlakovém spádu 4 barů.

4.4 Ověření průmyslového provedení skládaného filtru

Pro ověření skládaného filtru v průmyslovém měřítku, musela být změněna filtrační nádoba včetně opěrného koše. Opěrný koš slouží k zajištění trvalého tvaru filtru, aby nedošlo k jeho protržení tlakem působící kapaliny a proudících nečistot. V původním filtru vnikala kapalina dovnitř opěrného koše, ve kterém byl umístěn rukávový filtr. Filtrovaná kapalina pronikala přes plášť filtrační nádoby až do výstupu. U nového filtru pronikala filtrovaná kapalina z pláště filtrační nádoby přes filtr do filtračního koše až do výstupu. Původní a nový filtr se liší od sebe také svým uspořádáním. Původní filtr byl vespod uzavřený, což vedlo k vytváření nečistot na dně rukávu.

Nový filtr je ve formě návleku a je otevřený. Okraje filtru jsou utěsněny pomocí silikonu a šroubovací spony. Nečistoty byly shromažďovány na dně nádoby. Ze dna nádoby byly odstraněny pomocí vytvořené výpusti.



Obrázek 34: Schéma opěrného koše

Délka 580 mm znamená perforování (děrování) koše. Délky 20 milimetrů na okrajích koše jsou lepené spoje.



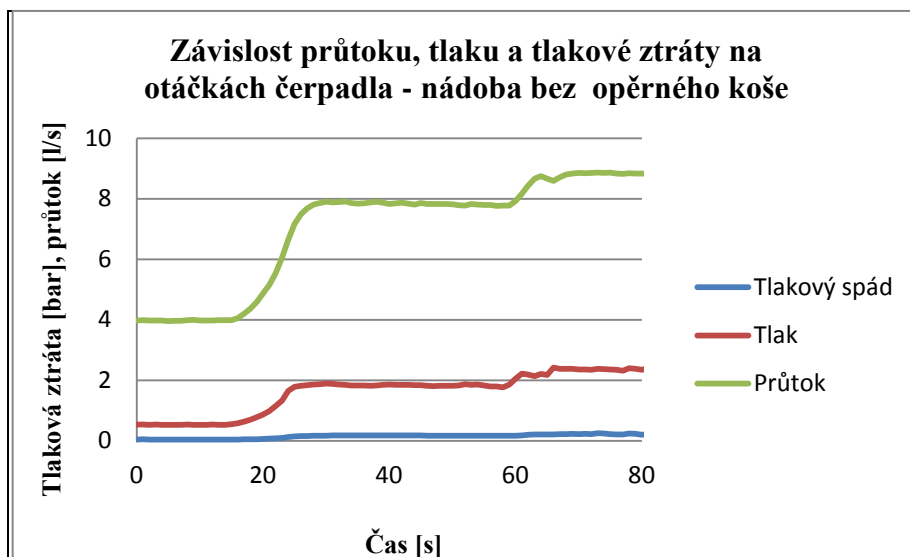
Obrázek 35: Opěrný koš na zkoušený filtr s omezenou plochou



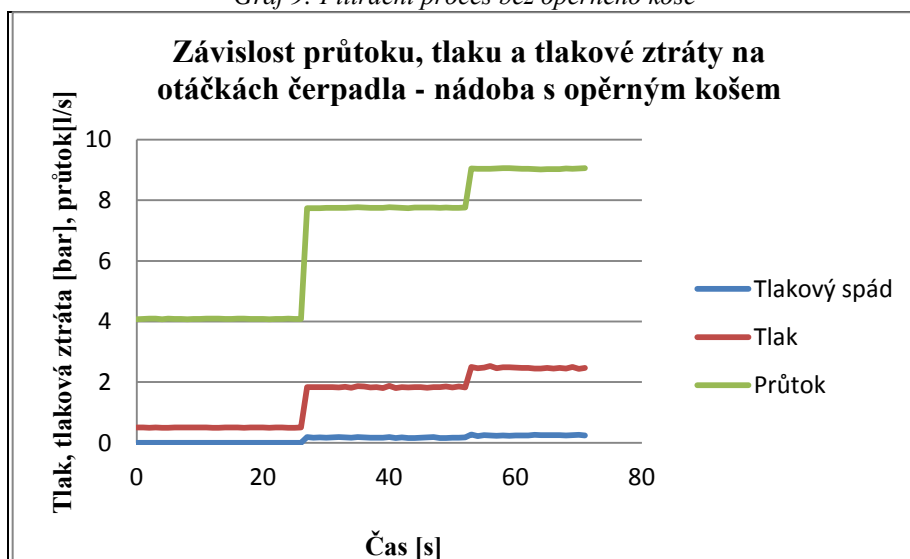
Obrázek 36: Zkouškový filtr

Aby byl ověřen vliv nové konstrukce na průtočné vlastnosti nové nádoby, byly měřeny základní charakteristiky bez opěrného koše, s košem, s košem se zmenšenou plochou z důvodu použití menšího filtru a poté s filtrem.

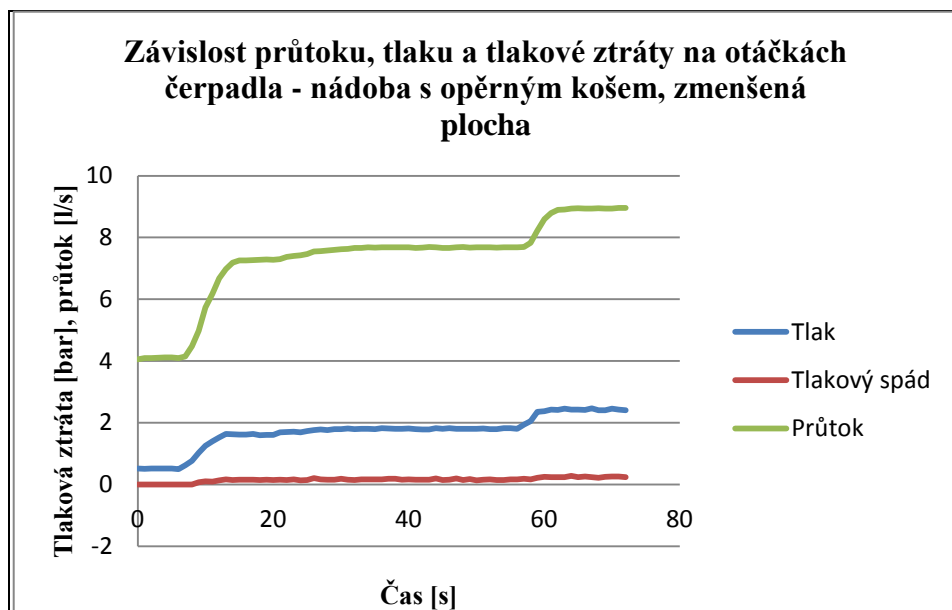
Jednotlivé charakteristiky jsou uvedeny níže.



Graf 9: Filtrační proces bez opěrného koše

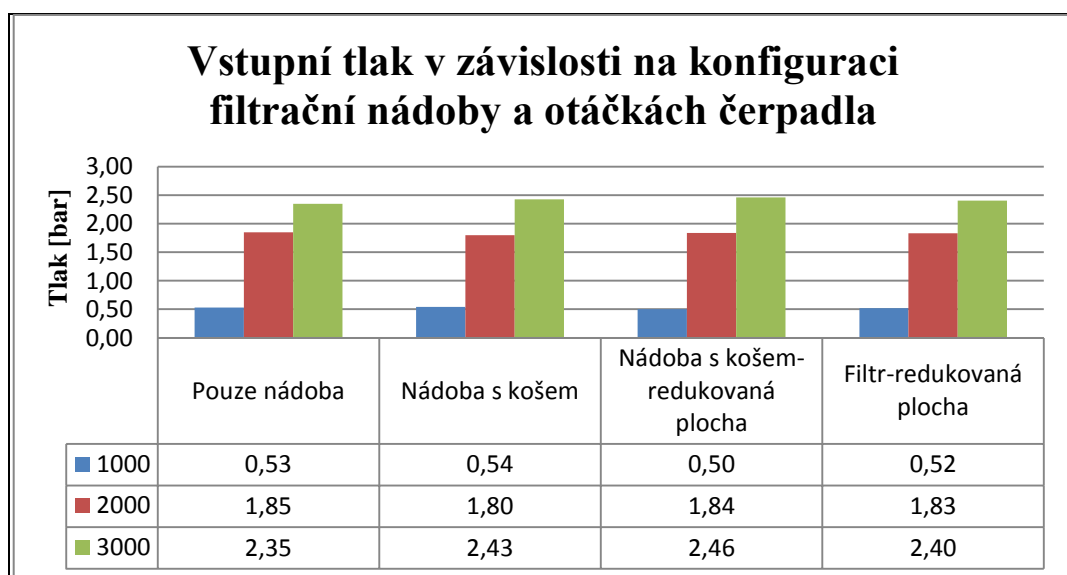


Graf 10: Filtrační proces s opěrným košem

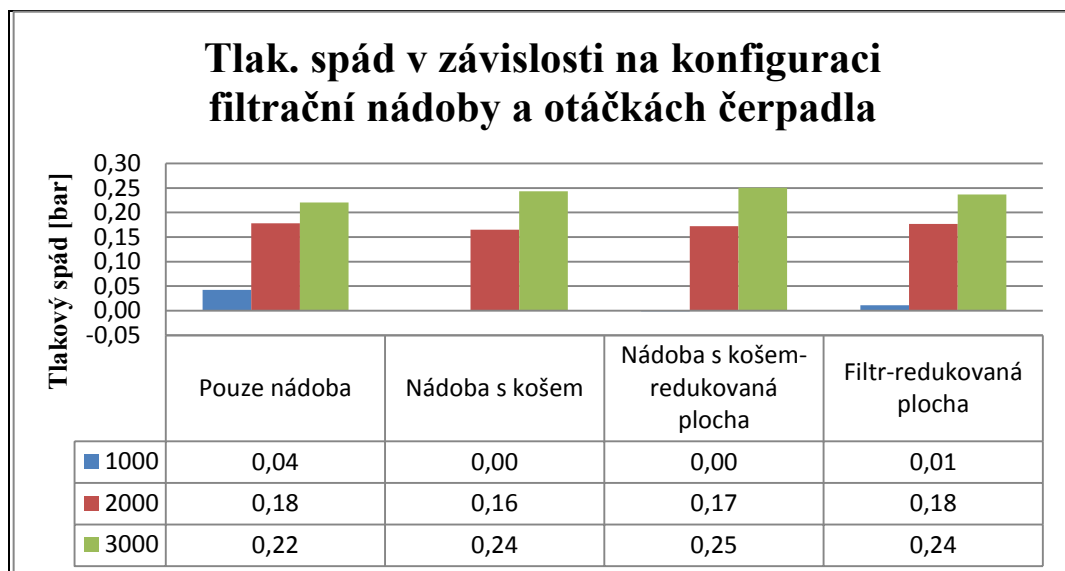


Graf 11: Filtrační proces s opěrným košem, zmenšená plocha

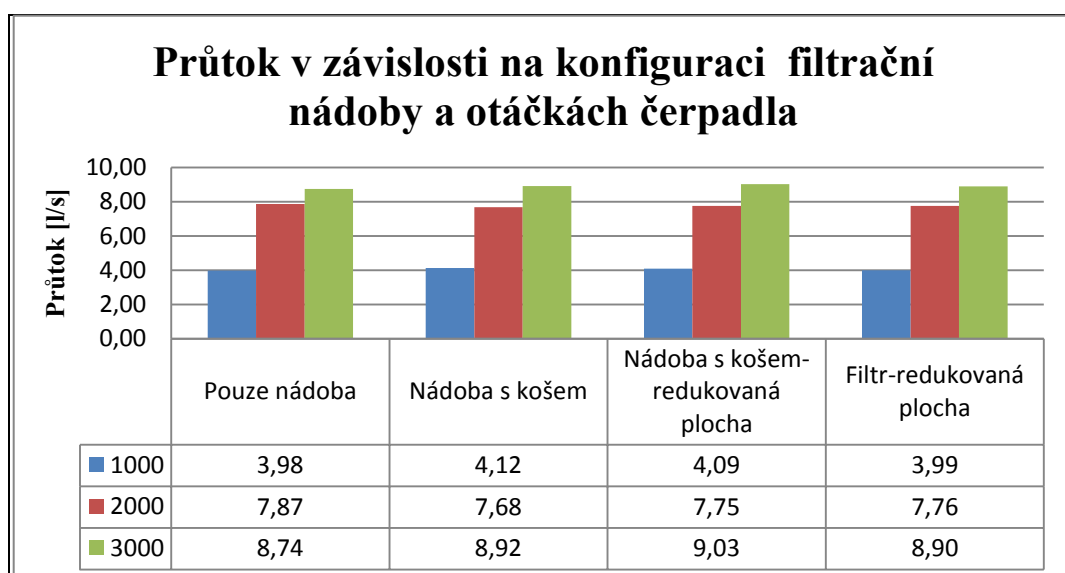
Na dalších grafech jsou zobrazeny charakteristiky jednotlivých filtrů při daných otáčkách čerpadla.



Graf 12: Vstupní tlak v závislosti na konfiguraci filtrační nádoby a otáčkách čerpadla



Graf 13: Tlakový spád v závislosti na konfiguraci filtrační nádoby a otáčkách čerpadla

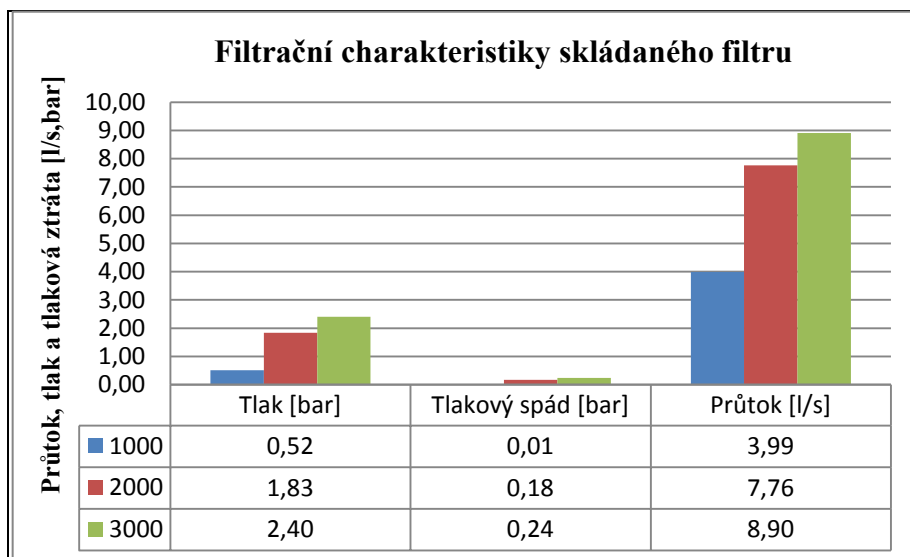


Graf 14: Průtok v závislosti na konfiguraci filtrační nádoby a otáčkách čerpadla

Opěrný koš, má pozitivní vliv na filtrační charakteristiky, i když redukuje průtočnou plochu. Nové uspořádání filtrační nádoby a opěrného koše významně nemění filtrační charakteristiky a je pro použití vhodné.

Testování vzorku skládaného filtru

Skládaný filtr byl termicky zpevněn do formovaného tvaru už ve formě návleku a byl podroben testu filtračních charakteristik filtru, kapacity filtru a regeneraci filtru. Filtrační charakteristiky jsou ukázány na grafu číslo 12. Testovalo se při 1000, 2000 a 3000 otáčkách čerpadla za minutu.

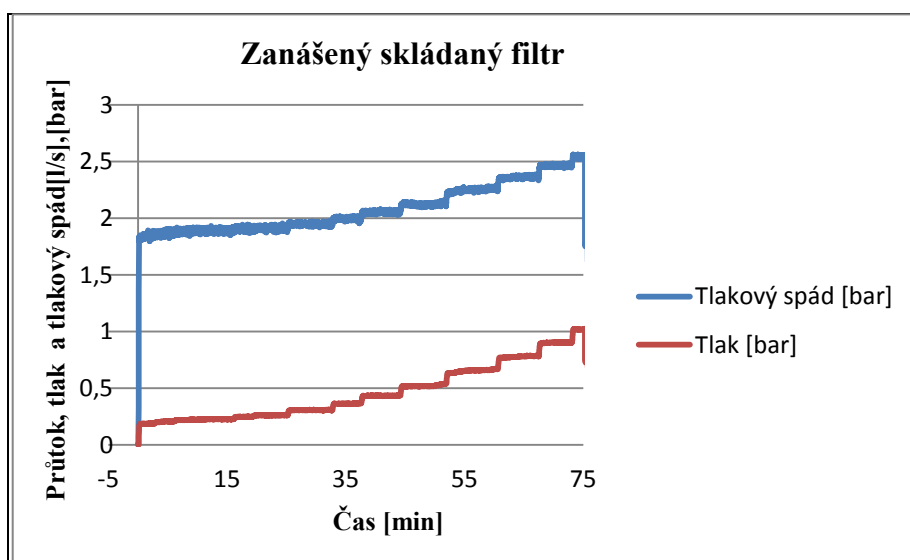


Graf 15: Filtreační charakteristiky skládaného filtru

Testování kapacity filtru a filtreačních charakteristik bylo provedeno při 2000 otáček za minutu. Nečistoty byly dávkovány po 250 g.

Výsledky filtreační kapacity a filtreačních charakteristik při zanášení

Testovaný filtr byl zanášen 10 kilogramy nečistot. Při testování se nepodařilo dosáhnout požadovaného tlaku 4 barů. Tlak vzrostl pouze na 2,54 bar. Filtreační charakteristiky jsou ukázány na grafu číslo 16 a v tabulce číslo 10.



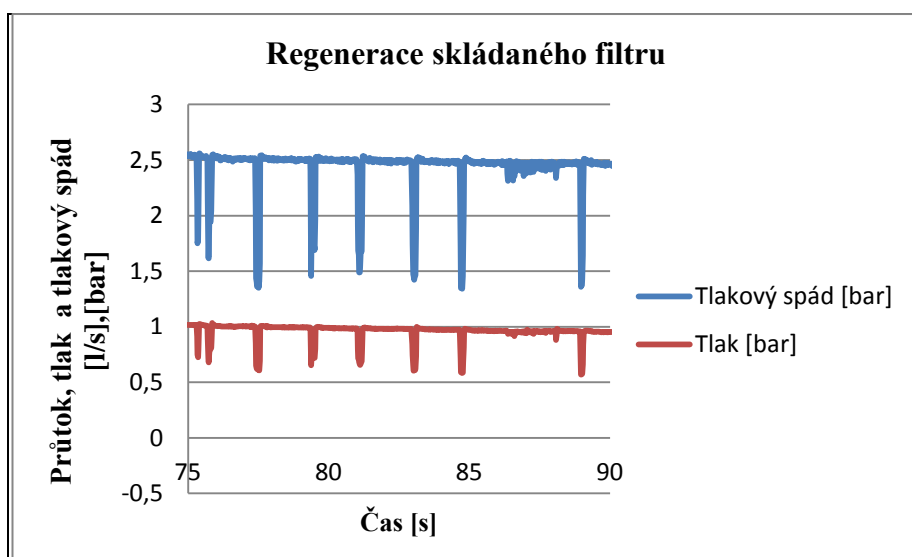
Graf 16: Zanášený skládaný filtr

Tabulka číslo 17: Porovnání na začátku a na konci filtračního procesu

Stav	Počátek	Konec
Průtok [l/s]	7,76	7,43
Tlak [bar]	1,83	2,54
Tlakový spád [bar]	0,18	1,02

Regenerace filtru

Filtr byl regenerován pomocí plného otevření a zavírání kulového ventilu, který je umístěn ve výpusti filtrační nádoby po dobu několika sekund (2-3 s). Bylo aplikováno 7 regeneračních cyklů, aniž by došlo k výrazné změně filtračních charakteristik. Dále bylo cílem vytvořit ráz, který by uvolnil filtrační koláč pomocí částečného otevření ventilu (cca 10x) na krátký čas (do 1 s). Ani tento postup nepřinesl významnou změnu. Regenerace filtru je ukázána v grafu číslo 14 a v tabulce číslo 10.



Graf 17: Regenerace skládaného filtru

Tabulka číslo 18: Porovnání před a po regeneraci filtru

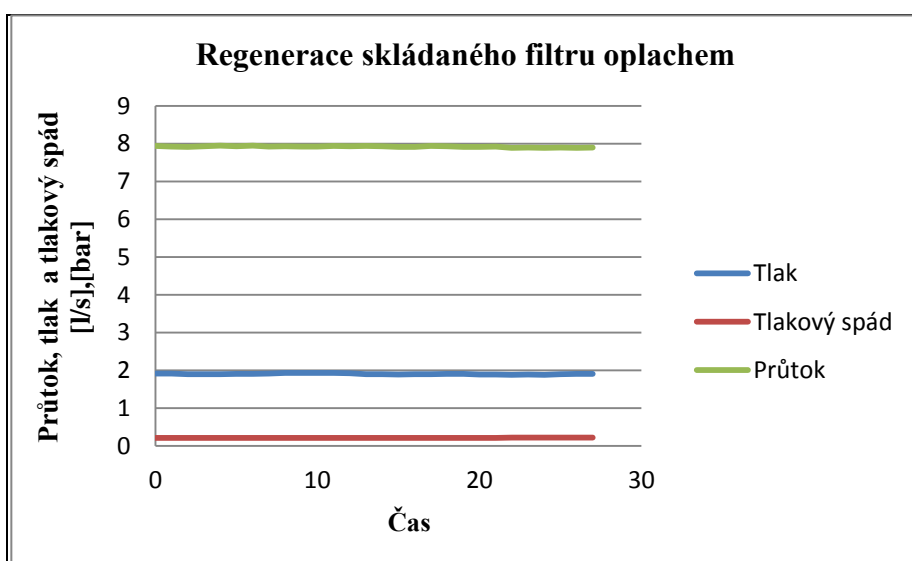
	Tlakový spád [bar]	Tlak [bar]	Průtok [l/s]
Začátek	1,83	0,18	7,73
Konec	2,54	1,02	7,43
Po čištění	2,46	0,95	7,40



Obrázek 37: Zanesený filtr před oplachem

4.5 Shrnutí výsledků a diskuze

Z výsledků je zřejmé, že k regeneraci filtru prakticky nedošlo. Po vyjmutí filtru bylo zjištěno, že filtr je ve střední části značně zanesen, to znamená, že filtrační koláč přesahoval výšku skladů. Horní část filtru byla bez nánosu nečistot, spodní část byla částečně zanesena. Z tohoto důvodu byl filtr vyjmut a opláchnut tekoucí vodou (nikoliv tlakovou). Z filtru se podařilo odstranit filtrační koláč beze zbytku. Filtr neobsahoval žádné nečistoty. Došlo pouze k jeho zbarvení. Proto ho bylo možné znovu otestovat. Výsledky opětovného testování jsou zobrazeny na grafu číslo 15 a v tabulce číslo 11.



Graf 18: Regenerace skládaného filtru oplachem

Tabulka číslo 19: Porovnání charakteristik filtru před a po regeneraci oplachem.

	Tlakový spád [bar]	Tlak [bar]	Průtok [l/s]
Začátek	1,83	0,18	7,73
Po oplachu	1,80	0,16	7,68

Z výsledků vyplývá, že filtrační materiál je schopný regenerace pouze pomocí oplachu. Systém oplachu by se musel optimalizovat, aby bylo možné tento filtrační materiál použít i v průmyslovém měřítku

Porovnání fiktivního a skutečného nárůstu kapacity

Tabulka číslo 20: Porovnání skutečného a fiktivního nárůstu kapacity

Materiál	Záchyt - plochý filtr [g]	Záchyt - skládaný filtr [g]	Skutečný nárůst kapacity skládaného filtru [%]	Teoretický nárůst kapacity filtru [%]
VFT 7/C/E	166,6	325	195	350
VFT-7	141,6	241,6	170	
VFT 4/P	133,3	425	319	

Podle odhadu optimální geometrie skládaného filtru (viz kapitola 2) by měl skládaný filtr zachytit o 3,5 násobek více nečistot než filtr plochý. Ve skutečnosti zachytí skládaný filtr v průměru o 2,2 násobek více nečistot. Příčinou bude zřejmě odlišné uspořádání skladů, než bylo teoreticky uvažováno. Tj. sklady svírají jiný než pravý úhel. Především menší úhel povede k snížení kapacity filtru. Filtr bude vyšší a zároveň si vyžádá větší množství materiálů k tvorbě skládaného filtru, což je i ekonomicky nevýhodné. Další příčinou může být i nižší tloušťka filtračního koláče, než byla teoretická předpokládána, nebo jeho nehomogenní tloušťka vzhledem k charakteru proudění v nádobě. Rychlostní profil bude při stěnách výrazně nižší, nežli ve středu nádoby a omývání skladů a usazování nečistot bude tedy nehomogenní. Výhodnější by bylo využít nádobu s velkým průměrem. To však nelze realizovat vzhledem k parametrům filtrační tratě. Rychlost proudění by byla nedostatečná.

Odhad kapacity filtru v průmyslovém provedení

Výpočet odhadu vychází z předpokladu, že průmyslový filtr má kruhový průřez a jeho plocha lze vyjádřit ze vztahu (14).

$$S = \pi \cdot d \cdot l, \quad (14)$$

kde d je průměr filtru v milimetrech, l je délka filtru v milimetrech.

Průměr u plochého filtru je 220 mm, u skládaného filtru je 200mm. Délka skládaného filtru je 530mm.

Plochu plochého filtru lze vyjádřit ze vztahu (15).

$$S_{pl} = \pi \cdot 0,022 \cdot 0,53 = 0,037 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Plochu skládaného filtru lze vyjádřit ze vztahu (16).

$$S_{skl} = \pi \cdot 0,2 \cdot 0,53 = 0,33 \text{ m}^2 \quad (16)$$

Poměr ploch mezi oběma filtry lze vyjádřit ze vztahu (17).

$$\frac{S_{skl}}{S_{pl}} \rightarrow \frac{0,33}{0,037} = 8,91 \text{ g}$$

Pro odhad záchytu plochého filtru byla použita průměrná kapacita filtru VFT 4/P 133,3 gramů ze strany číslo 50. Odhad lze vyjádřit ze vztahu (17).

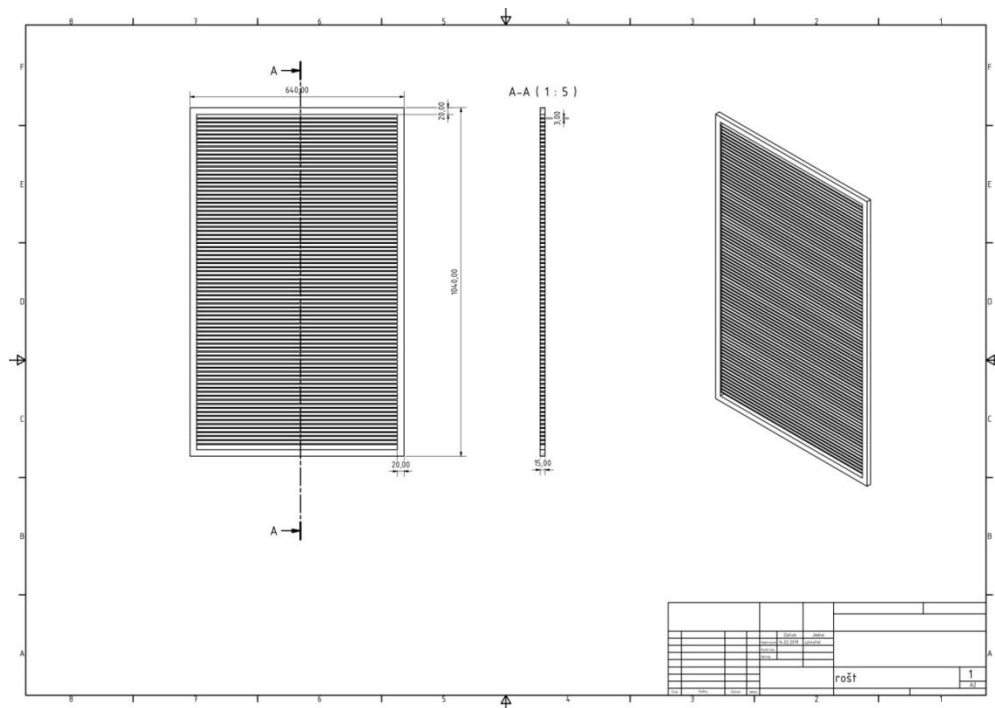
$$\text{VFT 4/P} = 133,3 \cdot 8,91 = 1187 \text{ g} \quad (17)$$

Pro odhad záchytu skládaného filtru téže plochy byla použita průměrná kapacita skládaného filtru VFT 4/P 425 gramů ze strany číslo 54. Odhad lze vyjádřit ze vztahu (18).

$$\text{Skládaný VFT 4/P} = 425 \cdot 8,91 = 3786 \text{ g} \quad (18)$$

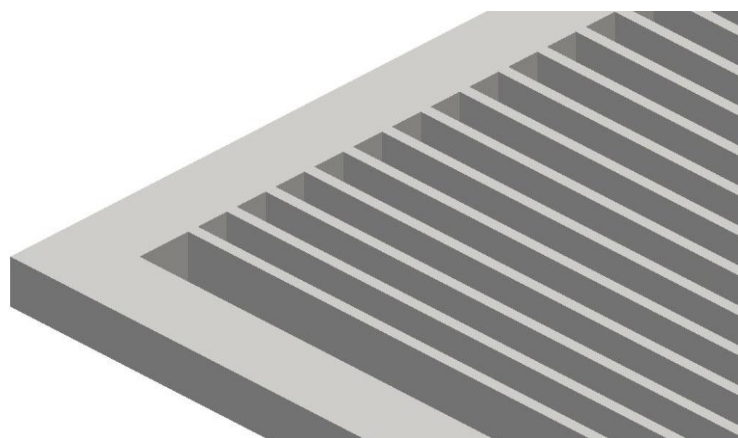
Z vypočteného odhadu je zřejmé, že průmyslový filtr by měl zachytit 3786 gramů. Ve skutečnosti dokázal zachytit 10000 gramů a přitom ještě nedošlo k dosažení plánované hodnoty tlakového spádu. Důvodem je konstrukce filtrační nádoby, kdy během filtračního cyklu jsou nečistoty omývány a ukládány do záchytného prostoru nádoby. Výsledkem je tedy nejen vyšší filtrační kapacita, ale také delší filtrační cyklus do zanesení a nutnosti provést čistící cyklus, protože filtrační koláč je průběžně oplachován.

4.6 Návrh přípravku pro ruční skládání vzorků



Obrázek 38: Návrh přípravku pro ruční skládání filtrů

Součástí zadání bylo navrhnout přípravek, který by mohl sloužit k ručnímu skládání filtračních materiálů. Přípravek obsahuje lamely, a proto připomíná svým vzhledem i tvarem rošt. Mohl by být vyroben například z dřevěného materiálu nebo z hliníku, aby byl lehký a hlavně cenově dostupný. Filtrační textilie by mohla být skládána postupným vtlačováním plošné textilie mezi jednotlivé lamely. Zpevnění skladů by bylo realizováno termicky v horkovzdušné komoře. Po vyjmutí z komory by se rošt vyjmul a nechal i s textilií ochladit, aby se nový tvar materiálu zafixoval. Poté by již následovala konfekce filtru, tedy jeho spojení do tvaru rukávce např. svařením ultrazvukem nebo horkým klínem a opatření těsníci elementy. Tento způsob předpokládá kusovou výrobu, neboť pokud nebude tento typ filtru nasazen masivně, což u nového výrobku nelze předpokládat, není ekonomicky výhodné řešit výrobu sériově.



Obrázek 39: Detailní zobrazení přípravku pro ruční skládání filtrů

5 Závěr

Zadání práce se skládá z rešeršní části, z plánu experimentu a cíle práce, z použitých metod a materiálů a experimentální části obsahující výsledky a grafické zpracování.

V rešeršní části je obecné seznámení s kapalinovou filtrací, kde jsou uvedeny pojmy jako filtrační médium, filtrační koláč a porézní média. V další části je podrobně popsán filtrační proces a jsou zde popsána filtrační média podle použitého materiálu. Dále jsou popsány mechanismy (principy filtrace a filtrační vlastnosti). Jsou zde také uvedeny příklady průmyslových filtračních zařízení.

V části nazvané plán experimentu a cíl práce je popsán sled operací k ověření vybraných filtračních textilií ke komerčnímu použití. Tato část je také zaměřena na optimální odhad vhodné geometrie skládaných filtrů. Z odhadu vycházejícího z předpokladu, že pravoúhlý trojúhelník představující jednu polovinu skladu, je rovnoramenný, byl vypočítán odhad kapacity filtru.

Následuje část, která popisuje metody měření, které byly provedeny na filtračních materiálech získaných od společnosti MITOP.cz. Pro každý filtrační materiál byly zjištěny základní charakteristiky, jako například tloušťka, plošná hmotnost, objemová hmotnost a zaplnění. Tato část obsahuje také popis zařízení pro skládání filtrů a popis filtrační testovací trati. Jsou zde popsány jednotlivé komponenty tvořící filtrační testovací trať. V kapitole nazvané použité materiály je popsáno měření průměrů vláken pomocí programu Image J. Jsou zde zobrazeny snímky filtračních materiálů z elektronového mikroskopu z lící i rubní strany. Je zde také podrobný popis vlastností pěti vybraných filtračních materiálů od společnosti MITOP.cz, které byly použity pro měření bakalářské práce.

Cílem práce bylo experimentálně ověřit nový typ filtru pro vodní filtraci. Pro experimentální část byly nejprve vyrobeny ploché filtry kruhového průřezu o průměru 220 milimetrů, které poskytly představu o chování filtru v menším měřítku. Od každého filtračního materiálu byly vyrobeny tři vzorky pro vyloučení případných odchylek daných, jak rozptylem vlastností samotného materiálu, tak i vlivu samotné filtrační tratě. Ploché filtry byly zanášeny korundem po 25 gramech, až k dosažení požadovaného tlakového spádu 4 barů. Ze všech třech vzorků z každé filtrační textilie byl vybrán filtr s nejlepší charakteristikou. Naměřené hodnoty byly zpracovány do grafů. Vzhledem k tomu, že způsob umístění filtru byl vždy shodný a provedení zkoušky bylo totožné, mohly být získané výsledky porovnány. V bakalářské práci byly změřeny i tři vybrané skládané filtry, které svým průměrem odpovídaly velikosti plochých filtrů a filtrační vložky bez nutnosti změny filtračního tělesa. Skládané filtry byly také zanášeny 25 gramy korundu. Byly vybrány filtry: modrý skládaný filtr VFT-7, červený skládaný filtr VFT 7/C/E a bílý filtr VFT 4/P. Zbývající vzorky nemohly být použity z důvodu špatně fixovatelného tvaru, což by vedlo k rozpadu skladů a ke znehodnocení filtrů. Pro skládané filtry byl vypočítán skutečný nárůst kapacity filtru.

Experimentální část je dále zaměřena na ověření vybraného skládaného filtru v průmyslovém provedení. Pro ověření skládaného filtru v průmyslovém měřítku, musela být změněna filtrační nádoba včetně opěrného koše, který zajišťuje trvalý tvar filtru. Nejprve byla otestována nádoba z hlediska základních charakteristik. Byla otestována bez opěrného koše, s košem a s košem se zmenšenou plochou. Naměřené hodnoty byly pro porovnání sestaveny do grafu. Poté byl testovaný filtr zanášen dávkami po 250 gramech korundu. Celkem bylo nadávkováno 10 kilogramů nečistot. Tlakový spád vzrostl pouze na 2,54 barů. Po zanesení filtru bylo provedeno 7 regeneračních cyklů. Cílem bylo vytvořit ráz, který by uvolnil filtrační koláč tlakovým otevřením ventilu. Tento postup nepomohl k regeneraci filtru. Po vytažení filtru z filtrační nádoby bylo vidět, že filtr je ve střední části značně zanesen. Z tohoto důvodu byl filtr opláchnut tekoucí vodou. Z filtru se podařilo odstranit veškeré nečistoty, byl pouze zbarven. Po opětovném testování bylo zřejmé, že se regenerace zdařila a filtr může být znovu použit. Pokud by došlo k optimalizaci oplachu, mohl by se filtr používat v průmyslovém měřítku. Ověření, jestli je možné tento filtr použít jako filtr průmyslový pro vodní filtraci bylo cílem této práce. V poslední části bakalářské práce je uveden návrh přípravku pro ruční skládání filtrů.

Použitá literatura

- [1] Kapalinové filtry, Filter-Technics [online]. [cit. 2020-01-02].
Dostupné z: <http://www.filter-technics.be/cs/kapalinove-filtry-11.htm>
- [2] RUSHTON, A.; WARD, R.G.. *Solid-Liquid Filtration and Separation Technology*. Printed in Germany. Weinheim 1996. Pages 551. ISBN: 3-527-28613-6.
- [3] CHEREMISINOFF, P. Nicholas. *Liquid Filtration (Second Edition)*. Printed in the United States of America. Woburn-Butterworth-Heinemann 1998. Pages 334. ISBN: 0-7506-7047-9.
- [4] Peptizace. *Peptizace*. Vydavatelství VŠCHT Praha [online]. [cit. 2020-01-03].
Dostupné z: https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/peptizace.html
- [5] Filtrační tkaniny. VLIES.cz. Filtrační tkaniny, rohože, papíry/ VLIES.cz [online].
Copyright © VLIES.cz [cit. 2020-03-015].
Dostupné z: <https://www.vlies.cz/nabizime/filtracni-tkaniny/>
- [6] KUNCOVÁ, Veronika. *Nanovláknové vzduchové filtry*. Zlín, 2017. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Vedoucí práce Martina Polášková. *DSpace Home* [online]. Copyright © [cit. 2020-03-016].
Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/40684/kuncov%C3%A1_2017.pdf?sequence=1
- [7] PVC Média pro filtrace. *AQUAPOND přestřešení, ESHOP pro bazény a jezírka* [online].
Copyright © Všechna práva vyhrazena. [cit. 2020-03-016].
Dostupné z: <https://www.aquaponcz.cz/jezirka-eshop/filtracni-materialy/pvc-media/>
- [8] O polyuretanech. *MEDIA MIX, s.r.o. – PUR foam products* [online]. Copyright © MEDIA MAX, s.r.o. [cit. 2020-03-015].
Dostupné z: <http://www.media-mix.cz/o-nas/o-polyuretanech>
- [9] Pískové filtrace. *Inkos.cz* [online]. Copyright © [cit. 2020-01-06].
Dostupné z: http://www.inkos.cz/lang/cz/tech_piskova_filtrace.htm
- [10] ŠULC, Jaroslav; ŠINTÁK, Jiří. *Právní problematika a ochrana životního prostředí (Ochrana životního prostředí)*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní 1990. 91 s. ISBN 80-7083-027-1.
- [11] HRŮZA, Jakub. *Zlepšování filtračních vlastností vlákných materiálů*.
Liberec, 2005. Kandidátská disertační práce. Technická Univerzita Liberec [online].
Copyright © [cit. 2020-07-017].
Dostupné z: [http://files.jakub-hruza.webnode.cz/200000122-
ea57fec4bc/Zlep%C5%A1ov%C3%A1n%C3%AD%20filtra%C4%8Dn%C3%ADch%20vlastno
st%C3%AD%20vl%C3%A1kn%C3%BDch%20materi%C3%A1l%C5%AF.pdf](http://files.jakub-hruza.webnode.cz/200000122-
ea57fec4bc/Zlep%C5%A1ov%C3%A1n%C3%AD%20filtra%C4%8Dn%C3%ADch%20vlastno
st%C3%AD%20vl%C3%A1kn%C3%BDch%20materi%C3%A1l%C5%AF.pdf)
- [12] HRADIL, Jiří. *Měření průtoku kapalin*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Petr Beneš.

- [online]. Copyright © 2019 [cit. 2020-07-017].
Dostupné z: <http://core.ac.uk/download/pdf/30298288.pdf>
- [13] Schéma principu činnosti vakuového filtru. *University information systém MENDELU* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2020-01-06].
Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58529
- [14] Rotační bubnový vakuový filtr-VINOTECH-vinařské potřeby [online].
Copyright © 2016 [cit. 2020-01-06].
Dostupné z: <http://www.vinotech.cz/jine/rotacni-bubnovy-vakuovy-filtr/>
- [15] Filtrační jednotka 3X DN150/ VSK Pardubice s.r.o.. *Technologická zařízení a inženýrské práce* [online]. Copyright © 2020 [cit. 2020-01-018].
Dostupné z: <https://vsk.cz/portfolio/filtracni-jednotka-3x-dn150/>
- [16] Filtrační lisy. *Filtrační lisy ANTARES - AZV s.r.o.* [online]. Copyright © 2003 [cit. 2020-01-018].
Dostupné z: http://www.a-azv.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=4&lang=cs
- [17] Diskové filtry AZUD Waterlife. *Waterlife* [online]. Copyright © 2020 [cit. 2020-01-018].
Dostupné z: <https://waterlife.cz/diskove-filtry-azud/>
- [18] Vertikální tlakové listové filtry-Vekamaf industry experts. *Vekamaf-specialistana výrobní linky a automatizaci* [online]. Copyright © 2019 [cit. 2020-01-018].
Dostupné z: <https://www.vekamaf.cz/zarizeni/vertikalni-tlakove-listove-filtry/>
- [19] Tlakový listový filtr- horizontální / Filtration Group. *Filtration group-Specialista na průmyslovou filtraci / Produkty a Odvětví* [online]. Copyright © 2020 [cit. 2020-01-019].
Dostupné z: <https://filtrationgroup.cz/produkt/tlakovy-listovy-filtr-horizontalni/>
- [20] Korund-hnědý (BROWN CORUNDUM – Al_2O_3)-Spolmont, s.r.o.. *Spolmont s.r.o.* [online]. Copyright © 2018 [cit. 2020-03-017].
Dostupné z: <https://www.spolmont-eshop.cz/abraziva/korund-hnedy-brown-corundum-al2o3>
- [21]ZHENGMIN, Li; ZHAIN,Han. *Particle shape characterization of brown corundum powders by SEM and image analysis*. Hangzhou, China 2006. Pages 1310-1313.
DOI 10.1049/cp:20060969. IET digital Library. [cit. 2020-03-017].
Dostupné z: https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp_20060969
- [22] Filtrace kapalin. Popis výrobků-Mitop.cz Copyright © [online]. [cit. 2020-01-021].
Dostupné z: http://www.mitop.cz/index_htm_files/Katalog%20Finet%20KAF%20+%20POP.pdf
- [23] Filtrace kapalin, Technická data-Mitop.cz. Copyright © [online]. [cit. 2020-01-021].
Dostupné z: http://www.mitop.cz/index_htm_files/TD_filtrace_Finet.pdf
- [24] Filtrační textilie pro atmosférickou filtraci vzduchu a klimatizace.
Popis výrobků-Mitop.cz. [online]. Copyright © [cit. 2020-01-022].
Dostupné z: http://www.mitop.cz/index_htm_files/Katalog%20klima.pdf

[25] Filtrační textilie pro atmosférickou filtraci vzduchu a klimatizace, Technická data-Mitop.cz [online]. Copyright © [cit. 2020-01-022].
Dostupné z: http://www.mitop.cz/index_htm_files/TD_filtrace_VAF.pdf

[26] JIRSÁK, Oldřich; KALINOVÁ, Klára. *Netkané textilie*. Nano[studijní] materiály[online]. Copyright © [cit. 2020-07-020].
Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/938/mod_resource/content/1/Oldrich%20Jirsak%20a%20Klara%20Kalinov%C3%A1.pdf

[27] Stroj na výrobu speciálních 3D textilií ROTIS II (IA08). *Nové technologie a speciální komponenty strojů*. Technická univerzita Liberec. Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. [online]. Copyright © [cit. 2020-07-015].
Dostupné z: http://pressed.cxi.tul.cz/index.php?page=nabizene_reseni/ia8

[28] ROSHAN, Paul. *High Performance Technical Textiles*. Printed in Portugal. University of Beira, 2019. Pages 504. ISBN: 978-1-119-32501-7.
Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=1sOKDwAAQBAJ&pg=PA270&dq=3D+nonwovens+ROTIS+II&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiznYeS8-DqAhVTasAKHZKa-DIUQ6AEwAHoECAAAQAg#v=onepage&q=3D%20nonwovens%20ROTIS%20II&f=false>

[29] HORNYCH, Petr. *Návrh a realizace zařízení pro testování vodních filtrů textilního charakteru*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Technická Univerzita Liberec. Fakulta textilní. Vedoucí práce Ondřej Novák. *DSpace Home* [online]. Copyright © [cit. 2020-03-015].
Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/152448/DP_stag_Petr_Hornych.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[30] Pompe centrifughe normalizzate serie N / STAC – Product [online] Copyright © 2019 [cit. 2020-01-023].
Dostupné z: http://stac-ts.com/it/product_page.php?id=72&x=182&y=138

[31] Přírubový uzavírací ventil krátké konstrukční délky / KSB, BOA-Supercompact a BOA - Compact. Copyright © KSB AG [online] [cit. 2020-01-023].
Dostupné z: www.ksb.com/ksb-cz/vyrobky-a-sluzby/technicka-zarizeni-budov/vytapeni-klimatizace-ventilace/boa-compactcs/

Seznam obrázků

Obrázek 2: Rotační vakuový filtr	23
Obrázek 3: Filtrační jednotka Nutche 3X DN150	24
Obrázek 4: Plán experimentu	26
Obrázek 5: Sinusoida	27
Obrázek 6: Trojúhelníková geometrie	28
Obrázek 7: Tloušťkoměr VEB.....	30
Obrázek 8: Filtr POP-2 zvětšený 100x z lící strany; Obrázek 9: Filtr POP-2 zvětšený 100x z rubní strany;	32
Obrázek 10: Řez filtru POP-2 zvětšený 100x; Obrázek 11: Filtr KAF-5 zvětšený 100x z lící strany	32
Obrázek 12: Filtr KAF-5 zvětšený 50x z rubní strany; Obrázek 13: Řez filtru KAF-5 zvětšený 100x;	33
Obrázek 14: Filtr modrý zvětšený 50x z lící strany; Obrázek 15: Filtr modrý zvětšený 100x z lící strany	33
Obrázek 16: Filtr modrý zvětšený 50x z rubní strany; Obrázek 17: Filtr modrý zvětšený 100x z rubní strany;	34
Obrázek 18: Filtr červený zvětšený 100x z lící strany; Obrázek 19: Filtr červený zvětšený 50x z rubní strany	34
Obrázek 20: Filtr červený zvětšený 100x z rubní strany; Obrázek 21: Filtr VFT 4/P zvětšený 50x z lící strany;	35
Obrázek 22: Filtr VFT 4/P zvětšený 100x z lící strany; Obrázek 23: Filtr VFT 4/P zvětšený 100x z rubní strany	35
Obrázek 24: Vibrační kolmý kladeč	39
Obrázek 25: Rotační kolmý kladeč	40
Obrázek 26: Rotis II	40
Obrázek 27: Centrifughe normalizzate pompe serie N.....	41
Obrázek 28: Škrťící ventil KSB BOA	42
Obrázek 29: Filtrační testovací trať.....	43
Obrázek 30: Modrý skládaný filtr	51
Obrázek 31: Červený skládaný filtr	52
Obrázek 32: Čistý skládaný filtr VFT-4/P	54
Obrázek 33: Zanesený skládaný filtr VFT 4/P.....	54
Obrázek 34: Schéma opěrného koše.....	55
Obrázek 35: Opěrný koš na zkoušený filtr s omezenou plochou.....	56
Obrázek 36: Zkouškový filtr	56
Obrázek 37: Zanesený filtr před oplachem	62
Obrázek 38: Návrh přípravku pro ruční skládání filtrů	65
Obrázek 39: Detailní zobrazení přípravku pro ruční skládání filtrů	65

Seznam grafů

Graf 1: Filtr VFT 7/C/E viz tab.7	Chyba! Záložka není definována.
Graf 2: Filtr VFT-7 viz tab.7	Chyba! Záložka není definována.
Graf 3: Filtr Finet KAF-5 viz tab.7	47
Graf 4: Filtr Finet POP-2 viz tab.7	48
Graf 5: Filtr VFT 4/P viz tab.7	49
Graf 6: Modrý skládaný filtr VFT-7	50
Graf 7: Červený skládaný filtr VFT 7/C/E	51
Graf 8: Bílý skládaný filtr VFT 4/P	53
Graf 9: Filtrační proces bez opěrného koše	57
Graf 10: Filtrační proces s opěrným košem	57
Graf 11: Filtrační proces s opěrným košem, zmenšená plocha	58
Graf 12: Vstupní tlak v závislosti na konfiguraci filtrační nádoby a otáčkách čerpadla	58
Graf 13: Tlakový spád v závislosti na konfiguraci filtrační nádoby a otáčkách čerpadla	59
Graf 14: Průtok v závislosti na konfiguraci filtrační nádoby a otáčkách čerpadla	59
Graf 15: Filtrační charakteristiky skládaného filtru	60
Graf 16: Zanášený skládaný filtr	60
Graf 17: Regenerace skládaného filtru	61
Graf 18: Regenerace skládaného filtru oplachem	62

Seznam tabulek

Tabulka číslo 1: Naměřené hodnoty	36
Tabulka číslo 2: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr POP-2	36
Tabulka číslo 3: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr KAF-5	37
Tabulka číslo 4: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr VFT 4/P	37
Tabulka číslo 5: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr VFT 7/C/E	38
Tabulka číslo 6: Technická data od firmy Mitop.cz, Filtr VFT-7	38
Tabulka číslo 8: Filtrační charakteristiky pro filtr VFT 7/C/E	45
Tabulka číslo 9: Filtrační charakteristiky pro filtr VFT- 7	46
Tabulka číslo 10: Filtrační charakteristiky pro filtr Finet KAF-5	47
Tabulka číslo 11: Filtrační charakteristiky pro filtr Finet POP-2	48
Tabulka číslo 12: Filtrační charakteristiky pro filtr VFT 4/P	49
Tabulka číslo 13: Filtrační charakteristiky pro modrý skládaný filtr	50
Tabulka číslo 14: Filtrační charakteristiky pro červený skládaný filtr	52
Tabulka číslo 15: Filtrační charakteristiky pro bílý skládaný filtr	53
Tabulka číslo 16: Nárůst kapacity u skládaných filtrů	55
Tabulka číslo 17: Porovnání na začátku a na konci filtračního procesu	61
Tabulka číslo 18: Porovnání před a po regeneraci filtru	61
Tabulka číslo 19: Porovnání charakteristik filtru před a po regeneraci oplachem	63
Tabulka číslo 20: Porovnání skutečného a fiktivního nárůstu kapacity	63