

Antimikrobiální filtrace vody v polních podmínkách

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Autor práce: **Jan Ulrich**
Vedoucí práce: Ing. Jakub Hruža, Ph.D.



Antimicrobial water filtration in field conditions

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials
Author: **Jan Ulrich**
Supervisor: Ing. Jakub Hřůza, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Ulrich**
Osobní číslo: **T13000337**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**
Název tématu: **Antimikrobiální filtrace vody v polních podmínkách**
Zadávající katedra: **Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů**

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

- 1) Studujte problematiku čištění vody pro osobní potřebu v polních podmínkách a proveďte rešerši následujících témat:
 - Obvyklé parametry čištěné vody a požadavky její kvalitu po úpravě.
 - Principy způsobů čištění vody v polních podmínkách.
 - Požadavky kladené na čisticí zařízení (tlak, průtok, rozměry, bezpečnost, cena...).
- 2) Navrhněte a připravte základní experimentální ověření filtrace bakterií z vody pomocí vláknenných filtrů. Dbejte, aby parametry testu odpovídaly reálnému použití.
- 3) Navrhněte vhodné kombinace materiálů antimikrobiálních filtrů vody.
- 4) Realizujte test antimikrobiální účinnosti.
- 5) Diskutujte výsledky z pohledu uplatnění nových materiálů s nanovláknny pro danou aplikaci.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **30-40 dle potřeby**

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

Seznam odborné literatury:

1. Wakeman, R.J.; Tarleton, E.S.: Filtration. First edition. Oxford: Elsevier Science Ltd., 1999. ISBN 185617345 3.

2. Palatý, Z. aj.: Membránové procesy. Praha: VŠCHT, 2012. ISBN: 978-80-7080-808-5

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Hruza, Ph.D.**

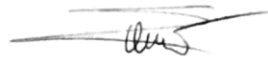
Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **8. června 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **5. května 2017**


Ing. Jana Dvořáková, Ph.D.
děkanka




prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 8. června 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

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

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

Datum: 28.4.2014

Podpis: 

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval svému vedoucímu mé práce, panu Ing. Jakubu Hrůzovi, Ph.D., který mi byl po celou dobu mého výzkumu oporou a vždy mě ochotně seznámil s danou problematikou. Dále bych chtěl poděkovat panu Bc. Filipu Sanaterníku za pomoc při tvorbě filtrační kapsle a ostatních konstrukčních věcí. Nemalé trápení mi ušetřil rovněž pan doc. Ing. Pavel Rydlo, Ph.D., který mi pomohl při tvorbě skládaného filtru. V neposlední řadě nesmím opomenout vždy vstřícnou paní laborantku Alici Břečkovou, která pro mne zajistila rozbor mikrobiální čistoty zkoumaných vod. Děkuji také mé rodině za vytrvalou podporu v mém studiu.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá kapalinovou filtrací vody v polních podmínkách. Autor stručně uvádí vybrané kapitoly z teorie filtrace vody, která je důležitá pro pochopení jednotlivých metod filtračních vlastností. Hlavní důraz je kladen na parametry čištěné vody této úpravy, které chceme dosáhnout pomocí vhodně zvolené kombinace materiálů antimikrobiálních filtrů vody. Autor realizuje test antimikrobiální účinnosti skládaného filtru, který byl pro tento účel vytvořen. Dále pak hledá vhodná konstrukční zařízení pro výsledné použití filtračního zařízení v polních podmínkách. Diskutuje výsledky z pohledu uplatnění nových materiálu založených na nanovláčkách pro danou aplikaci.

Klíčová slova: nanovláčková membrána, skládaný filtr, filtrace, bakterie, polní podmínky

This work deals with a liquid water filtration in outdoor conditions. Author describes selected chapters from the theory of water filtration important for understanding different filtering properties. The main emphasis is placed on the parameters of the purified water after the treatment we want to achieve by using a suitably chosen combination of antimicrobial water filters. The author carries out the antimicrobial efficacy test of the folded filter that was created for this purpose. Furthermore, the objective is also to focus on finding a suitable construction equipment in order to finally achieve the filtering equipment to work in the outdoor conditions. At the end he discusses the results from the application of a novel materials based on nanofibres for the given application.

Key words: nanofibrous membrane, folded filter, filtration, bacteria, outdoor conditions

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	5
Abstrakt.....	7
Seznam použitých symbolů, zkratek a termínů	10
Úvod	11
Teoretická část	12
1. Parametry čištěné vody	12
1.1. Mikroorganismy	12
1.1.1. Bakterie	15
1.1.2. Viry.....	16
1.1.3. Prvoci	17
1.2. Vlastnosti vod.....	17
1.2.1. Fyzikální vlastnosti vod.....	17
1.2.2. Chemické vlastnosti vod.....	18
1.2.3. Požadavek na kvalitu vody po úpravě	20
2. Principy způsobu čištění vody v polních podmínkách	20
2.1. Dezinfekce	21
2.2. Aktivní uhlík.....	22
2.3. Mikrofiltrace.....	22
3. Vybrané kapitoly teorie filtrace	23
3.1. Základní pojmy	23
3.2. Filtrační mechanismy	24
3.3. Filtrační vlastnosti	27
3.3.1. Efektivita filtru	27
3.3.2. Tlakový spád	28
3.3.3. Životnost filtru	29
3.3.4. Propustnost	29
3.3.5. Porozita.....	29
3.4. Charakteristika filtrace	30
3.4.1. Charakteristiky filtračního materiálu.....	30

3.4.2. Charakteristiky filtrovaných částic	31
3.5. Parametry filtrace	32
4. Druhy filtrů	32
5. Skládání filtry	36
5.1. Charakteristika skládaného filtru	36
5.2. Hustota skladů.....	37
6. Experimentální část.....	39
6.1. Požadavky na filtrační zařízení	39
6.2. Výběr vhodného materiálu	40
6.2.2. Výroba membrány	40
6.3. Testování membrány	42
6.3.1. Popis filtračního zařízení LSD 115.....	45
6.4. Skládání filtrační membrány	47
6.4.1. Testování filtrační kapsle.....	49
7. Závěr.....	55
8. Seznam použité literatury	56
9. Příloha	58

Seznam použitých symbolů, zkratk a termínů

KTJ jednotky tvořící kolonie, též známo jako CFU

NTU nefelometrická jednotka zakalení

EU Evropská unie

WHO Světová zdravotní organizace

Sb. sbírka

NT netkaná textilie

PET polyethylentereftalát

PAD polyamid

PES polyester

PP polypropylen

Tt teplota tání

ÚVOD

Obecným problémem čištění vody v polních podmínkách je míra znečištění vodních zdrojů a odstranění všech nežádoucích mikroorganismů tak, aby výsledná kvalita vody byla zdravotně nezávadná. S parametry a požadavky na kvalitu vody po úpravě se seznámíme na začátku práce, kde si rozebereme její hlavní parametry. V průběhu experimentální části pak autor stručně seznamuje s teorií problematiky filtračního procesu. Polní filtrační jednotka uvažovaná v této práci je založena na využití nanovlákněné membrány při konstrukci skládaného filtru a úspěšně eliminuje nežádoucí látky, zejména pak patogenní mikroorganismy a bakterie. Skládaným filtrem dále rozumíme plošnou textilií složenou do tvaru harmoniky, kdy je výsledný tvar zpevněn okolním rámem. Hlavním přínosem toho tvaru filtru je až několikanásobně větší filtrační plocha a z toho plynoucí vliv na výslednou efektivitu, životnost a tlakový spád. S růstem filtrační plochy dochází ke snížení tlakového spádu i rychlosti průtoku. Samotná membrána složená z nanovlákněné vrstvy polymeru, vzniklá výrobou elektrostatického zvlákňování, je poté schopna filtrace těchto částic. Výsledné vlastnosti této membrány jsou dány zejména malým průměrem vláken, a z toho plynoucím větším specifickým povrchem a menší velikostí pórů. Autor toto tvrzení ověřuje na základě testování filtračního zařízení, které vlastnoručně sestrojil.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Parametry čištěné vody

Úpravou vody rozumíme změnu jejích fyzikálních, chemických a biologických parametrů za účelem dosažení požadované kvality. Výsledně upravená voda musí být zbavena všech nežádoucích chemických a biologických látek, zejména patogenních.

Pitná voda musí mít pak takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví. Pitná voda se řídí dle platné vyhlášky ministerstva zdravotnictví č.: 252/2004 Sb. (*hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost kontrol*), která jasně stanovuje dané limity, které musí pitná voda splnit, jinak je označena jako voda užitková. Hlavním rozdílem mezi vodou pitnou a užitkovou je, jak z názvu vyplývá, fakt, že pitná voda je určena pro samotnou konzumaci, protože neobsahuje látky pro zdraví škodlivé. Voda užitková obsahuje směs chemických a biologických látek, které nejsou vhodné pro lidský organismus. Jako zdroj jsou využívány vody povrchové, podpovrchové a mořské.

V této práci se zaměříme na antimikrobiální filtraci vod povrchových, se kterými se v přírodě setkáme nejčastěji. Pojmem povrchová voda je označována stojatá nebo tekoucí voda. Většinou se jedná o směs podzemní vody, vody pramenité a vody dešťové. Povrchová voda může obsahovat také vodu odpadní. Voda a její okolí je domovinou mnoha živých organismů a může být rovněž kontaminována těžkými kovy a organickými sloučeninami pocházející z průmyslové výroby, zemědělství nebo domácího odpadu. Povrchová voda zpravidla obsahuje různé bakterie, viry a prvoky. V následující kapitole č. 1.1 si stručně rozebereme problematiku námi čištěné vody.[1]

1.1 Mikroorganismy

Největší zdravotní riziko spojené s cestováním představuje infekce způsobená patogenními organismy, jako jsou bakterie, viry nebo prvoci nacházející se v pitné vodě. Dle platné direktivy *EU o pitné vodě sbírky 98/83/ES* musí mít kvalitu pitné vody nejen voda určená pro přímou konzumaci, ale tak i voda používaná pro osobní hygienu, praní prádla a mytí nádobí.

Mikroorganismus je jednobuněčný organismus pozorovatelný pouze mikroskopicky. Tvoří různé kolonie a symbiotická společenstva s jinými organismy.

Úprava, desinfekce a mikrobiologická kontrola pitných vod přispěly rozhodující měrou k potlačení řady epidemií, které doprovázely člověka po celou dobu jeho existence. I dnes zůstává pitná voda potenciálním zdrojem nepříjemných i nebezpečných alimentárních onemocnění bakteriálního, virového i protozoálního původu a musí tedy být důsledně sledována. Kromě přímé ochrany zdraví obyvatel má zásobování pitnou vodou klíčový význam i pro potravinářský, farmaceutický nebo kosmetický průmysl.

Mikrobiologický rozbor pitné vody je zaměřen především na sledování všeobecného bakteriálního znečištění a na sledování bakterií indikující znečištění střevního (fekálního) původu. Za určitých okolností jsou sledovány i některé další konkrétní druhy bakterií. Kromě uvedených mikrobiologických charakteristik je v pitných vodách zjišťována také přítomnost živých a mrtvých organismů mikroskopicky (prvoci, řasy, sinice, bezobratlí apod.). Mikrobiologická kvalita pitných vod je hodnocena podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., která stanovuje limity pro jednotlivé skupiny bakterií. Tyto limity jsou ve zjednodušené podobě uvedeny v tabulce na následující straně.

Pro pochopení této tabulky je nutné seznámení s následujícími druhy limitu:

a) Mezní hodnota

Hodnota, jejímž překročením ztrácí voda vyhovující jakost. Zpravidla označuje méně rizikové ukazatele.

b) Nejvyšší mezní hodnota

Hodnota, jejíž překročení vylučuje užití vody jako pitné. Označuje zdravotně rizikové ukazatele.

Limity pro obsah bakterií všeobecného znečištění jsou ve vyhlášce uvedeny v maximálních počtech KTJ (= CFU) v 1 ml vyšetřované vody, kdežto limity pro obsah střevních a jiných bakterií jsou uvedeny v objemech vyšetřované vody, v němž nesmí být dané bakterie přítomny.[2,3,4,9]

Tabulka 1: Limity pro jednotlivé skupiny bakterií. [3]

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
Clostridium perfringens	KTJ/100 ml	0	Mezní hodnota
enterokoky	KTJ/100 ml	0	Nejvyšší mezní hodnota
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	Nejvyšší mezní hodnota
koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	Mezní hodnota
mikroskopický obraz – abioseston	%	10	Mezní hodnota
mikroskopický obraz – počet organismů	jedinci/ml	50	Mezní hodnota
mikroskopický obraz – živé organismy	jedinci/ml	0	Mezní hodnota
počty kolonií při 22°C	KTJ/100 ml	200	Mezní hodnota
počty kolonií při 36°C	KTJ/100 ml	20	Mezní hodnota

Vodní prostředí patří mezi přirozené místo výskytu mikroorganismů, z nichž bakterie patří mezi nejpočetnější skupinu. Výskyt bakterií ve vodě je zejména častým problémem zdrojů vody nacházející se blízko polí, či neuzavřených septiků. Bakterie však můžeme najít i v již upravené pitné vodě. Tyto nežádoucí mikroorganismy můžeme podle složení buněčné stěny dělit na, grampozitivní obsahující vysoký obsah peptidoglykanu spolu s absencí vnější membrány, a lipopolysacharidové vrstvy, nebo gramnegativní s buněčnou stěnou obsahující liposacharidovou vrstvu svrchu překrytou druhou membránou.

Dále můžeme mikroorganismy dělit dle způsobu absorpce živin na autotrofní, tedy mikroorganismy, jež se živí anorganickými látkami, a heterotrofní živící se organickými látkami. Dle způsobu získání energie na chemotrofní, které získávají energii chemickou reakcí a na fototrofní, kde probíhá fotosyntéza.

Dalším způsobem jak můžeme rozlišit mikroorganismy je dle chování ke kyslíku a to na aerobní, kdy mikroorganismy potřebují ke své funkci kyslík nebo mikroaerofilní fakultativně anaerobní, které jsou velmi přizpůsobivé a dokážou žít jak v prostředí s kyslíkem, tak v prostředí bez kyslíku nebo dále anaerobní, které ke své funkci vyžadují

prostředí bez kyslíku. Dle hygienického hlediska můžeme mikroorganismy dále rozdělit na patogenní, přenášející původce nemoci na hostitele či potenciálně patogenní nebo nepatogenní. Nebo dále dle původu v jejich prostředí na autochtonní, tedy bez zapříčinění člověka a dle zásahu člověka do prostředí na alochtonní. Podrobněji se s jednotlivými mikroby seznámíme v následující kapitole.[3,4,6,9]

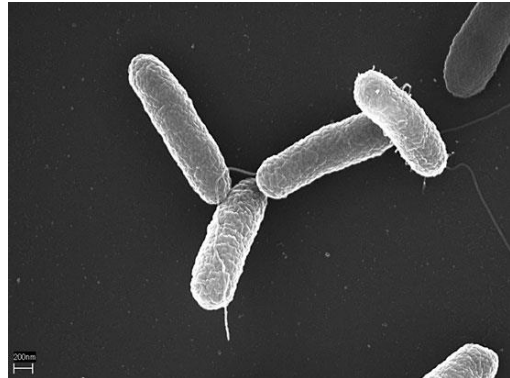
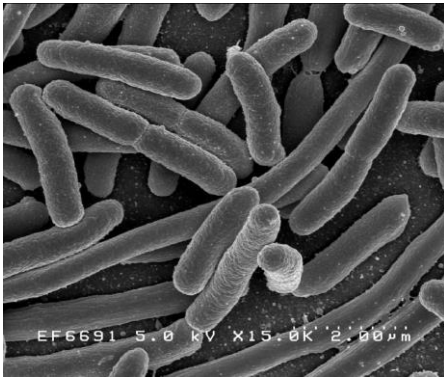
1.1.1 Bakterie

Bakterie jsou jednobuněčný prokaryotický organismus velikosti v řádu 0,2-0,5 mikronu, který se v teplém prostředí (zejména ve vodě) při dostatku živin rychle množí. Za příhodných podmínek je bakterie schopna dělení za dobu kratší než deset minut. Ne všechny bakterie však představují riziko pro naše zdraví, nicméně v okamžiku kdy proniknou do pitné vody společně s exkrementy (patogeny), je riziko velmi vysoké a voda tak musí být v takovém případě před samotnou konzumací chemicky ošetřena pomocí dezinfekce (viz kapitola 2.1). Nebo je nutné choroboplodné zárodky odstranit například prostřednictvím námi navržené nanovlákněné membrány, které se budeme věnovat v pozdější části (viz kapitola 6) a detailně si rozebereme její princip. Právě filtrace prostřednictvím membrány nabízí velmi dobré výsledky ve velmi krátkém čase v téměř jakýchkoliv podmínkách vyjma nízké teploty, která zamezuje samotnou filtraci (toto tvrzení však neplatí pro vody obsahující solné minerály, kde 0 °C neznamená nutnou změnu skupenství z kapalné na pevnou).

Mezi nejznámější patogenní druh bakterie patří koliformní bakterie. Ta se nachází v trávicím ústrojí různých živočichů včetně člověka a je hlavním znakem fekálního znečištění vody. Koliformní bakterie se dělí dle toho, v jakém jsou hostiteli, dle toho jaké mají biochemické vlastnosti a podle rozdílu antigenních struktur na skupiny, rody, druhy a sérovary. Mezi koliformní bakterie patří příslušníci rodu *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Vibrio cholerae*, *Enterobacter*, *Serratira*, *Hafnia* nebo *Rahanella*. Dále rody a druhy *Salmonella*, *Shigella*, *Yersina*, které mohou způsobit břišní tyfus a salmonelózu z potravin.

Mezi nejvíce způsobující choroboplodné zárodky patogenních bakterií patří zástupci rodů *Escherichia coli*, *Salmonella typhymorium* a *Vibrio cholerae*. Ostatní výše uvedené druhy bakterií mají dle Světové zdravotnické organizace pro naše tělo zanedbatelný vliv a nezpůsobují lidskému organismu nežádoucí potíže.

Problém způsobuje nejčastěji *E.colli* (*Escherichia coli*), kterou najdeme v zažívacím traktu většiny živočichů. Mimo tělo hostitele není schopna příliš dlouhé existence; pouze v rámci několika hodin. Koliformní bakterie neodolají teplotám vyšším 50 °C a při pasterizačních teplotách vyšších než 72 °C by měli spolehlivě uhynout. Nejsnáze tedy bakterii odstraníme převařením vody.[4,6,7,8,9]



Obr. 1: Vlevo umístěn snímek *E. Colli*, vpravo umístěn snímek *Salmonella T.*[4]

1.1.2 Viry

Viry můžeme řadit na pomezí mezi živými organismy a neživou přírodou. Obsahují pouze jeden typ nukleonové kyseliny a to buď DNA (Deoxyribonukleovou kyselinu) nebo RNA (Ribonukleovou kyselinu). Viry nejsou schopné samotného množení, jsou však pomnožovány hostitelskou buňkou, která zpracuje virovou genetickou informaci jako svou vlastní. Z tohoto důvodu jsou viry schopné množení pouze na živých buňkách. V důsledku malé velikosti je velmi složité tyto viry z vody mechanicky odstranit.

Viry jsou velmi citlivé na přítomnost chemických dezinfekčních látek, zejména pak na teplotu vnějšího prostředí. Velikost viru činí 0,02 mikronu a jeho odstranění skrze filtrační membránu je velmi problematické, v zakalené vodě se přichytí k pevným částicím a může tak být odstraněn i za použití filtrační membrány s póry menšími než 0,2 mikronu. Tato membrána spolehlivě odstraní většinu virů. Problém nastává při protržení samotné membrány, kdy pouhá odchylka ve velikosti póru má za následek průnik většiny virů. V současné době se rovněž vede diskuze o tom, zda-li je vir schopen pozměnit svůj tvar tak, aby byl schopen průniku membránou. Z důvodu naprosté jistoty je však vhodné takto přefiltrovanou vodu dále ošetřit chemicky nebo vodu převařit po dobu nejméně 20 minut.

Mezi nejznámější zástupce patogenních virů patří *Hepatitis A*, *Norwalk virus*, *Rotavirus*, *Polovirus*. [3,5,9]

1.1.3 Prvoci

Prvoci patří mezi jednobuněčné organismy vyššího vývojového stádia, než jsou bakterie. Jejich tělo tvoří jedna buňka, která vykonává všechny životní funkce. Na první pohled je patrná jejich větší velikost (1-50 μ m). Prvoci žijí hlavně ve vodě, která jim slouží k pohybu, ale také v půdě. Do zdroje pitné vody se mohou dostat především prostřednictvím exkrementů. Velmi zvláštní charakteristikou je jejich schopnost tvorby cyst či spor k přečkání nepříznivých podmínek. Do doby než nenajdou svého budoucího hostitele, jsou schopné přežívat v cystě až několik měsíců. K porušení cysty dochází při dlouhodobém kontaktu v prostředí chemických látek. Vzhledem k jejich poměrně velké velikosti 1 až 15 mikronů, lze prvoky z vody snadno odfiltrovat.

Mezi nejznámější druhy prvoků ve vodním prostředí patří zástupci rodů *Amoebiasis* (*Entamoeba histolytica*), *Giardia lamblia* (*Giardia intestinalis*), *Cryptosporidium* (*Cryptosporidium parvum*). [7,9]

1.2 Vlastnosti vod

Vlastnosti vod můžeme rozdělit do dvou základních kategorií a to do vlastností fyzikálních, které přímo určují, jak se bude námi filtrovaná voda chovat při prostupu filtračním zařízením, tak vlastností chemických, kdy zkoumáme přesný obsah látek, ať už rozpuštěných nebo rozptýlených ve vodě.

1.2.1 Fyzikální vlastnosti vod

Fyzikální vlastnosti vod hrají klíčovou roli při stavbě filtračního zařízení. Pro navrhování filtru má význam zejména nepatrná stlačitelnost vody, kdy při náhlém uzavření filtračního zařízení dojde ke krátkodobému zvýšení tlaku, nazývanému tlakový ráz, jež by mohl poškodit filtrační zařízení. Pro polní podmínky je však tato vlastnost zanedbatelná a nezpůsobuje jeho poškození. Další vlastností je změna objemu vody vlivem teploty, kdy se objem s rostoucí teplotou zvětšuje. Zamrznutí vody znemožní celý proces filtrace.

Oproti konvenčnímu způsobu má použití nanovlákněné membrány nespornou výhodu v tom, že takový filtr je možné po rozmrazení použít znovu bez strachu z poškození. Komerčně využívané keramické filtry jsou následně degradovány a jejich další použití se tudíž nedoporučuje.[5,9]

1.2.2 Chemické vlastnosti vod

A) Chemická čistota

Dalším problémem spojeným s čistotou vodního zdroje je obsah chemikálií používaných v zemědělství, které mohou proniknout do spodních vod a dokonce mohou kontaminovat i zdroje pitné vody. Patří zde zejména chemické látky a anorganické směsi v kapalně či pevně konzistenti. Jedná se o zbytky minerálních a statkových hnojiv, herbicidů, insekticidů a pesticidů. Působení těchto látek může mít zásadní vliv na lidský organismus, zejména na játra, ledviny, poruchu krvetvorby a negativní dopad na lidský metabolismus. Možné jsou i karcinogenní a mutagenní účinky pro reprodukci.

V následující tabulce je uveden limit stanovený ministerstvem zdravotnictví, který přesně stanovuje povolený limit látek obsažených ve vodním zdroji.

Tabulka 2: Limit organických látek obsažených ve vodě.[3]

Organické látky	Povolený limit
tenzidy aniontové	0,2 mg/l
humínové látky	2,5 mg/l
polycyklické aromatické uhlovodíky	0.04 mg/l
ropné látky	0,05 mg/l
polychlorované bifenoly	50 ng/l
chlor organický vázaný	0.005 mg/l
fenoly	0.05 mg/l
dichlordifenyltrichloretan	0.001 mg/l
dušičnany	50mg/l
dušitany	0,5 mg/l

K poškození vodních ekosystémů dochází nejčastěji v případě nevhodné aplikace průmyslových hnojiv a pesticidů. To má za následek trvalé zvyšování obsahu sloučenin dusíku a fosforu ve stojatých a tekoucích vodách. Fosforečnany z hnojiv se do povrchových toků dostávají erozními splachy z polí. Důsledkem nárůstu koncentrace fosforu je nepřiměřený růst vodních řas a silic. Hygienická nepřijatelnost jedovatých

látek produkovaných silicemi způsobuje špatnou upravitelnost vody pro vodárenské účely a narušení ekologické rovnováhy vodního ekosystému. Většinu látek používaných v zemědělství nicméně představují látky, které lze z vody odstranit prostřednictvím absorpce na aktivním uhlíku.

Aplikace nanovlákněné membrány je pro tyto účely nevhodná vzhledem k rychlému zanesení membrány. Daleko příhodnější je však kombinace předfiltru obsahující aktivní uhlí a skládaného nanovlákněného filtru.

B) Biologická čistota

a.) Těžké kovy

Těžké kovy se vyskytují v zemské kůře, odkud pronikají do podzemních vod skrze dešťovou vodu, která prostupuje vrstvou hornin. Do vod se kovy dostávají především z průmyslové výroby, zejména pak z produkce ocele. Ve veřejných úpravkách pitné vody jsou tyto hodnoty přísně sledovány. Tyto nežádoucí látky se dají z kontaminovaných částí složek životního prostředí separovat pomocí nákladných metod jako je destilace či koagulace. Voda může dle vyhlášky ČR obsahovat vždy jen povolené množství nejrůznějších látek. V následující tabulce je uveden přehled povolených limitů.

Tabulka 3: Limit kovů a těžkých kovů obsažených ve vodě.[3]

Kovy a těžké kovy	Povolený limit
arsen	10 µg/l
rtuť	0.001 mg/l
kadmium	0.001 mg/l
zinek	5 mg/l
měď	0.1 mg/l
beryllium	0.0002 mg/l
stříbro	0.05 mg/l
chrom	0.05 mg/l
vanad	0.1 mg/l
hliník	0.2 mg/l

b.) Zákaly a nerozpuštěné částice

Vodní zákaly jsou nerozpuštěné, dispergované částice. Nerozpuštěné částice plovou ve vodě a poskytují tak výživu mikroorganismům a umožňují jim tak jejich růst. Samy o sobě nepředstavují pro lidský organismus velké zdravotní riziko. Jejich hlavní problém spočívá v tom, že dispergované částice brání účinné dezinfekci vody. Dezinfekční látka přilne k povrchu částic a tím dojde k jejímu vyčerpání. Z toho důvodu je doporučeno použití chemicky dezinfekčních látek pouze u čiré vody. Pokud bychom chtěli dezinfikovat zakalenou vodu, je nutno ji nejprve přefiltrovat.

Míru zákalu můžeme určit na základě nefelometrických jednotek zakalení (NTU). Podle záznamů světové zdravotní organizace WHO by voda měla mít hodnotu nižší než 1 NTU. Voda, která má hodnotu vyšší než 5 NTU je pro lidskou konzumaci velmi nebezpečná a je nutno ji před použitím přefiltrovat.[5,9,10]

1.2.3 Požadavek na kvalitu vody po úpravě

Upravená voda by měla být zdravotně nezávadná a měla by vyhovovat i technickým požadavkům. Termín zdravotně nezávadný jasně stanovuje, že při trvalém používání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva. Její smyslově postižitelné vlastnosti a jakost nebrání jejímu používání a užívání pro hygienické potřeby dle platné *vyhlášky č. 252/2004 Sb.* Voda tedy musí mít vyhovující organoleptické vlastnosti a vhodné složení z pohledu zastoupení mikroelementů a makroelementů.[1,2]

2 Principy způsobu čištění vody v polních podmínkách

Jednou z nejstarších metod známých už od starověku a zároveň tou neúčinnější metodou sterilizace vody je její převaření. V přírodních podmínkách patří k té nejjednodušší metodě jak přeměnit intenzivně znečištěnou vodu na pitnou. Převařením zahubíme veškeré mikroorganismy, ale neodstraníme zákaly ani chemické látky, které zde i nadále zůstanou přítomné. Všechny druhy patogenů mají rozdílnou citlivost na teplotu a lze je zneškodnit pouze za stanové teploty a doby k ní určené. Vzhledem k

tomu, že v přírodě nedokážeme rozeznat, o jaký druh choroboplodného zárodku se jedná, je nutno počítat i s těmi nejodolnějšími patogeny.[9,10,11]

2.1 Dezinfekce

Dezinfekční látky spolehlivě zabijí mikroorganismy a působí tak preventivně proti onemocnění, jež patogeny způsobují. *Při takovéto úpravě jsou povoleny následující metody a účinné látky jako je chlór v plynné formě, chlór, oxid chloričitý, jód, stříbro, ultrafialové záření.* Takovéto ošetření vod je vhodné pouze pro nezakalené čiré vody. Dezinfekční látky by v prostředí zakalené vody nefungovaly.

Chlór má velmi rychlý účinek a široké spektrum likvidace patogenů. Jeho aplikace je velmi snadná. Voda ošetřená chlórem však nemá dlouhodobý sterilizační účinek a může být opětovně kontaminována při jejím delším skladování.

Jód má vyšší chemickou stabilitu, která usnadňuje jeho skladování a manipulaci. Používá se ve formě tablet. Jeho nevýhodou je však nepříjemná chuť, kdy při použití vysokých dávek může vést k poruchám štítné žlázy. K jeho odstranění je nutno použít filtr s aktivním uhlíkem.

Ionty stříbra mají dlouhodobý efekt zabraňující množení mikrobů po dobu až 6 měsíců. Přípravky na této bázi jsou ideální pro široké použití

Oxid chloričitý, v minulosti vyráběn pouze formou plynu je nyní možné vyrobit jako tabletu do vody. Mezi jeho nespornou výhodu oproti ostatním dezinfekčním látkám patří jeho vysoká účinnost, krátký čas působení a pH nezávislost. Jeho nespornou výhodou je použití i v zakalené vodě kde je jeho účinnost stejná. Jeho jedinou nevýhodou je jeho vyšší cena.

Představte si situaci, kdy odcestujete do jiné země, kde můžete narazit na problém s vodovodním potrubím, které neodpovídá našim normám. Veřejná vodovodní síť projde průmyslovou úpravou a je poté rozváděna prostřednictvím potrubních větví k jednotlivým domácnostem. Tato voda je dopravována pod vysokým tlakem a při nízké teplotě. Je rovněž chráněna před působením světla a jsou zde velmi nepříznivé podmínky pro vznik a množení mikrobů. Problém však nastává u vyústění vodovodu v rezidenčních objektech, kde je situace naprosto odlišná. Voda zde zůstává v místě zakončení a je ohřívána souběžným potrubím teplé vody. Toto je typické prostředí pro

růst bakterií a jejich následné množení. Přidáním iontů stříbra ve formě tablet lze vodu v lahvích skladovat až po dobu 6 měsíců.

V mnoha státech se proto do vody přidává chlór, který má však za následek nepříjemnou chuť vody. Tuto nežádoucí příchut' můžeme odstranit použitím dechloračního činidla.[9,10,11]

2.2 Aktivní uhlík

Naše okolí je stále více znečišťováno organickými a anorganickými látkami. Tyto látky pronikají hluboko do půdy, do vzduchu a vody. Do vody pronikají rovněž škodlivé látky, jako jsou herbicidy a pesticidy. Tyto nežádoucí látky lze z vody odstranit za pomoci sorpce využívající aktivní uhlík. Při tomto procesu přicházejí dané látky do kontaktu s aktivním uhlíkem a váží se k jeho povrchu. Aktivní uhlík se zde nachází ve formě granulátu či stlačených bloků. Komprimované uhlíkové bloky mají mnohem hustší strukturu než granulát a proto disponují podstatně vyšší schopností absorpce nečistot než samotný granulát.[9]

2.3 Mikrofiltrace

Bakterie a prvoci jsou nejčastějšími druhy mikroorganismů, které se nacházejí ve vodě. K odstranění běžných druhů bakterií z vody je nezbytný mikrofiltr s velikostí pórů menší než 0,3 mikronu. Filtrační membrána může být vyrobena z keramiky, skelného vlákna nebo polymeru (v našem případě nanovláken). Prvoci jako *Giardia* a *Kryptosporidium* dosahují větší velikosti (1 až 15 mikronů) a mohou být z vody odstraněny filtry s póry o velikosti méně než 1 mikron.

Mikrofiltry jsou schopny mechanicky odstranit bakterie a prvoky, zatímco chemické procesy mikroby zabíjejí, ale neodstraňují je z vody.

Při mechanické filtraci prostřednictvím mikrofiltru prochází voda vždy přímo filtrem. Veškeré částice větší než mikroskopické póry filtru jsou zachyceny na povrchu filtrační membrány. Značnou výhodou keramických a nanovlákných filtrů je možnost opakovaného očišťování membrány a tím obnovování kapacity filtru, což zajišťuje dlouhou životnost keramických a nanovlákných filtrů.

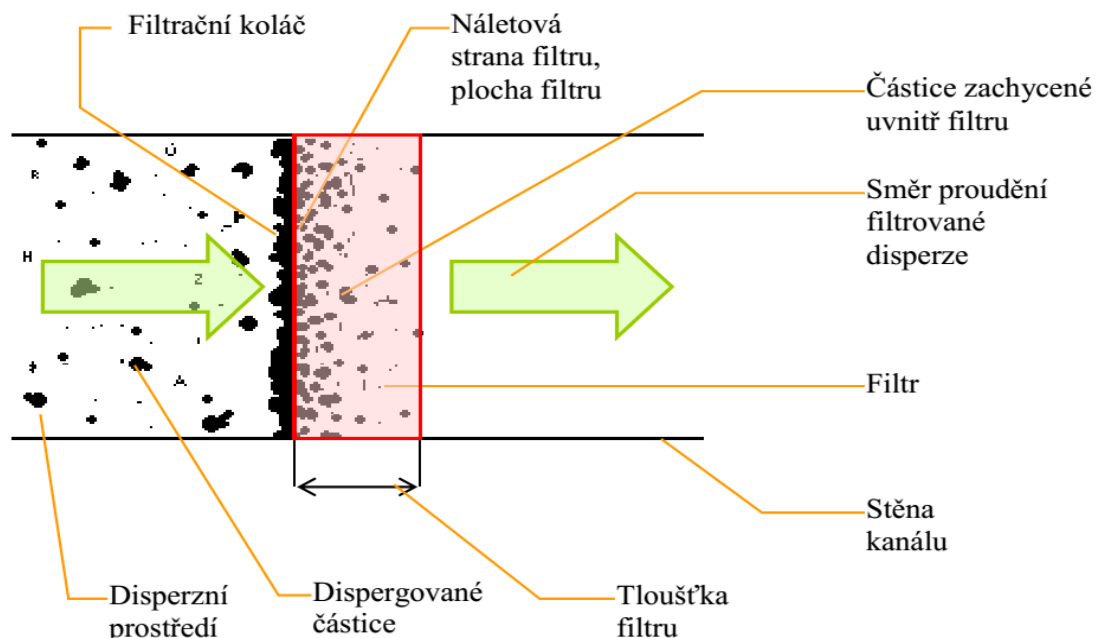
Naopak ohebnost skelných vláken v kompozitních membránách umožňuje složení membrány s obrovským povrchem do velmi malého objemu. Filtry se skelným

vlákennem jsou proto schopné zajistit vysoký průtok a také zfiltrovat extrémní množství vody. Bezúdržbové sklolaminátové filtry však nelze čistit, a jejich životnost je proto podstatně nižší než u keramických filtrů. Podrobněji se s principem filtrace seznámíme v následující kapitole.[9,12]

3 Vybrané kapitoly teorie filtrace

3.1 Základní pojmy

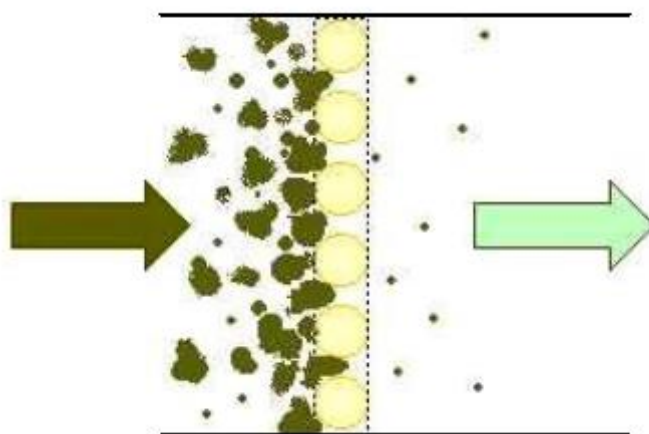
V následující kapitole si popíšeme základní princip filtrace a spolu s ním i základní pojmy s ní spojené. Tato kapitola slouží pro pochopení následující experimentální části. Filtrace je proces oddělení rozptýlených částic v disperzním prostředí pomocí porézního vláknenného útvaru. Disperzní prostředí může být plynné (vzduch) nebo kapalné (voda, olej, palivo). Částice mohou být tedy jak pevné, tak i kapalné. Filtraci tedy dělíme na základě typu disperzního prostředí, způsobu filtrace, velikosti filtrovaných částic na: hrubou, mikro, ultra a nanofiltraci či reverzní osmózu. Proto lze hovořit o naprosto odlišných vlastnostech filtrů. Pro základní představu principu filtrování částic slouží následující obrázek.[12,13]



Obr. 2: Základní rozvržení funkce filtru.[12]

3.2 Filtrační mechanismy

Z hlediska mechanismů disperzního prostředí dělíme filtraci na plošnou a hloubkovou. Podstatou **plošné metody** je zachycení částic na povrchu filtru, kde vytváří tzv. filtrační koláč, který lze odstranit, pokud se jedná o čistitelné filtry. Tím se zásadně prodlužuje životnost takového filtru. Uplatňuje se zde zejména síťový efekt. Jednotlivé póry filtru mají menší velikost než vstupující částice a dochází zde k zabránění průniku nežádoucích částic, jako jsou bakterie, viry, prvoci a jiné. Mezi typické materiály plošného filtru patří textilie typu Spunbond, vpichovaná textilie, tkanina, netkaná textilie pojená za tepla a v neposlední řadě také nově nanovlákná.



Obr. 3: Princip plošné filtrace.[12]

Plošnou filtraci můžeme dělit dle velikosti částic na:

- a) Koláčová filtrace - Poměrně velká, dobře viditelná. Velikost zachycených částic je větší než $1\mu\text{m}$ (kvasinky, krvinky, sraženiny, mouka). Filtrace zde probíhá na základě rozdílného tlaku.
- b) Mikrofiltrace - Zachycené částice mají velikost od $0,1\mu\text{m}$ do $1\mu\text{m}$ (azbest, bakterie, pigmenty). Filtrace je rovněž založena na rozdílném tlaku.
- c) Ultrafiltrace - Velikost zachycených částic je od 3 nm do $0,1\mu\text{m}$ (viry, bílkoviny, želatina). Princip filtrace je založen na rozdílném tlaku.
- d) Nanofiltrace - Velikost zachycených částic je od 1 nm do 10 nm (barviva, pesticidy, cukry). U nanofiltrace se dále udává molekulární hmotnost filtrované látky, která je od 200 g/mol do 15000 g/mol . Filtrace na základě rozdílu tlaků.

e) Reverzní osmóza - Zde je molekulární hmotnost menší než 200 g/mol (ionty, soli). Hnací silou je rozdíl tlaků.

f) Difusní dialýza - Jedná se o dělení iontů i nenabitých částic (krevní dialýza). Hnací silou je zde rozdíl koncentrací.

g) Elektro dialýza - Při elektro dialýze dochází k dělení aniontů a kationtů. Provádí se v elektrickém poli při rozdílných elektrických potenciálech.

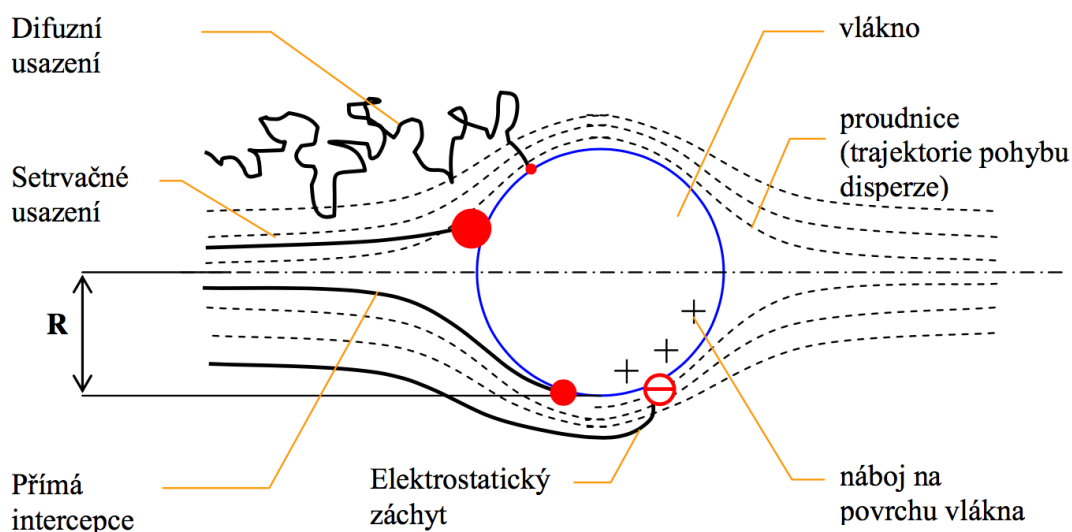
Druhou metodou je **hloubkový filtr**, který dokáže oproti plošnému zachytit i částice menší než jsou vlákenné póry filtru. Část částic se zachytí na povrchu vláken pomocí mezipovrchových sil mezi vláknem a částicemi. Uplatňují se zde následující mechanismy filtrace:

a) Příčný záchyt – Vychází z představy kdy je částice, která se pohybuje shodně s disperzním prostředím zachycena, jakmile se přiblíží k samotnému povrchu vlákna rovnou vzdálenosti jejímu poloměru.

b) Setrvačné usazení – Velké částice se již pohybují neshodně a narážejí velkou rychlostí na povrch vláken

c) Difuzní záchyt - Malé částice řídící se Brownovým pohybem nesledují zakřivení proudnic a difundují k samotnému povrchu vláken.

d) Elektrostatické usazení – Působením přitažlivých sil daných nábojem na povrchu vlákna je trajektorie pohybu částic zakřivena směrem k vláknu.



Obr. 4: Princip proudění částic.[12]

Každý filtrační mechanismus lze charakterizovat pomocí bezrozměrného parametru, který závisí na jednotlivých filtračních charakteristikách. Celková efektivita záchytu filtru je dána dílčími efektivitami záchytu, které jsou funkcí parametru filtračního mechanismu. Tento vztah lze vyjádřit pomocí rovnice:

$$E_c = E_c \{ E_r(N_r), E_i(Stk), E_d(Pe), E_e(Nq) \} \quad (12)$$

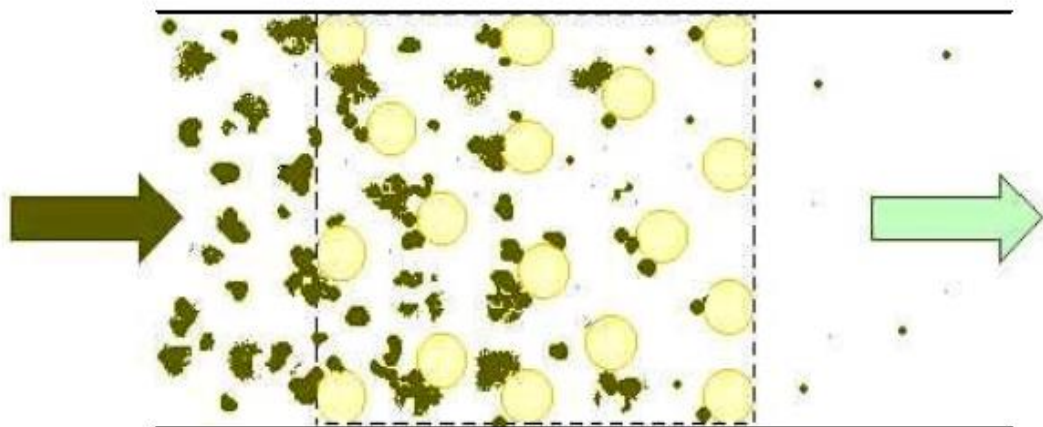
kde E_c je celková efektivita filtru, E_r je efektivita daná přímým záchytem, N_r je parametr přímého záchytu, E_i je efektivita daná setrvačným usazením, Stk je parametr setrvačného usazení, E_d je efektivita daná difuzním usazením, Pe je parametr difuzního usazení, E_e je efektivita daná elektrostatickým záchytem a Nq je parametr elektrostatického záchytu.

Hlavní materiály pro výrobu hloubkových filtrů jsou textilie typu: meltblown, spunlace, vpichované textilie, termicky spojené netkané textilie. Tato filtrace je vhodná spíše pro vzduchové disperzní prostředí vzhledem k průchodu částic filtrem, kde by u kapalin došlo velmi rychle k zanešení filtrace vlivem vysoké průtokové rychlosti a vznikajícího tlaku na membránu, která by se tímto vlivem mohla porušit. U hloubkové filtrace využíváme také tzv. předfiltrů, které nám odstraní větší částice, které by později ucpaly filtr a jeho účinnost by tak velmi rychle klesla.

U kapalinové filtrace se využívá plošný způsob, zejména síťový efekt. Ostatní mechanismy jsou nevhodné vzhledem k daným silám proudící kapaliny. Hlavním předpokladem vhodně zvolené filtrace je efektivita, prodyšnost, životnost a tlakový

spád či porozita. Tyto vlastnosti si rozebereme v následující kapitole. Aplikace těchto filtrů najde uplatnění v automobilovém průmyslu jako filtr paliva, oleje či ostatních kapalin (brzdová kapalina, LPG filtr, hydraulika,...).

Oproti tomu filtrace vzduchu využívá jak filtrace plošné, tak hloubkové a to v závislosti na filtračních parametrech jako je velikost částic a rychlost jejich pohybu. Mezi uvedené aplikace patří filtr spalin, kabinový, motorový a vzduchový filtr. Tato filtrace zažívá v posledních letech velké zlepšení použitím nanovláken. V této práci se budeme věnovat plošné filtraci, zejména pak nanovlákněné membráně (viz kapitola 6).[13,14,15,16]



Obr. 5: Princip hloubková filtrace.[13]

3.3 Filtrační vlastnosti

3.3.1 Efektivita filtru

Základním parametrem ovlivňující celkovou filtrační vlastnost je efektivita, tedy množství zachycených částic vztahované k celkovému množství částic působících na filtr. Efektivita se mění v průběhu procesu filtrace důsledkem zanášení filtru částicemi a můžeme jí dále vyjádřit dle následující rovnice:

$$E = \left(1 - \frac{G_1}{G_2}\right) \cdot 100 \quad (12)$$

kde G_1 je množství částic nezachycených, G_2 je množství částic, které prochází filtrem.

V případě plošného filtru se na povrchu membrány tvoří vrstva nečistot, tzv. filtrační koláč, který lze odstranit pomocí zvýšeného tlaku a proudu vody. V důsledku

zanášení membrány roste také jeho činná plocha. Tato změna v efektivitě jednoho vlákna lze vyjádřit pomocí vztahu.

$$E_s(m) = E_s(0) \cdot (1 + (\lambda \cdot m)) \quad (12)$$

kde $E_s(0)$ je efektivita jednoho vlákna, m je hmotnost nanesených částic vztážená na objem filtračního materiálu a λ je konstanta daná parametry filtrace, filtru a filtrovaných částic. Tento vztah však neodpovídá reálnému chování filtru, kde roste efektivita rychleji při malých hodnotách m a pomaleji při vyšších hodnotách m . Po určité době jsou hodnoty efektivit konstantní. Z toho důvodu je nutno opakovaně měřit počáteční efektivitu a porovnávat ji do doby než dosáhneme zadaného tlakového spádu. Z takto získaných hodnot se střední hodnota vypočítá podle normy EN 779 váženým průměrem podle vztahu:

$$E_c = \frac{1}{w} \cdot \left(\frac{w_2 \cdot (E_1 + E_2)}{2} + \frac{w_3 \cdot (E_2 + E_3)}{2} + \dots + \frac{w_n \cdot (E_{n-1} + E_n)}{2} \right) \quad (12)$$

kde E_c je střední hodnota efektivit, w_n je n -tá hodnota množství podaného prachu, E_n je n -tá hodnota efektivit a w je celkové množství podaného prachu dané součtem w_2 až w_n . Index n značí pořadí opakovaného měření jednoho filtru. [13,14,16,18]

3.3.2 Tlakový spád

Další vlastností je tlakový spád, který vyjadřuje odpor filtru vůči toku disperzního prostředí. Zde se jedná o opak prodyšnosti. Naším cílem je vyrobit filtr s velkou efektivitou (životností) a nízkým tlakovým spádem. Tlakový spád se dá určit dle následujícího vzorce,

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (12)$$

kde p_1 je tlakový spád před filtrem a p_2 za filtrem. S růstem zaplnění mezivlákných prostorů zachycenými částicemi roste tlakový spád. Při hodnocení reálného filtru se proto uvádí pouze počáteční tlakový spád, kdy filtr ještě neobsahuje zachycené částice. [12,13]

3.3.3 Životnost filtru

Další zkoumanou vlastností je životnost filtru, která vyjadřuje délku použitelnosti filtru, tedy množství částic, které je filtr schopen zachytit, než dojde k takovému nárůstu tlakového spádu, který překročí kritickou mez a dojde k porušení membrány. Pro některé filtry však může být reálná životnost výrazně nižší v důsledku kinetiky filtrace. Pro filtry s čištěním je životnost dána délkou intervalu mezi čištěním a počtem čištění do okamžiku, kdy pevnost filtru neodpovídá požadavkům procesu filtrace. Norma EN 799 neboli Dust holding capacity určuje životnost dle následujícího vzorce

$$J = E_s \cdot m_p \quad (12)$$

kde E_s je střední hodnota efektivity a m_p je množství částic v rozmezí tlakového spádu 250 až 450 Pa. V případě kapalinové filtrace je princip stejný, není však definován normou tak, jako u filtrace vzdušné.[12,13]

3.3.4 Propustnost

Prodyšnost neboli propustnost materiálu je schopnost porézního materiálu transportovat dané množství disperzního prostředí daným průřezem. Porozita je definovaná jako procento objemu vláknenného materiálu nezaplňného vláknem. Pro filtrační aplikace je vhodné definovat pór jako kruhový průmět do mezi vláknenného prostoru (usnadníme si tím práci).

Propustnost vyjadřuje množství tekutiny, které projde skrz 1 m² filtru za 1 minutu při definovaném tlakovém spádu (obvykle 196 Pa). Udávané jednotky jsou: l/m²/min.[12,18]

3.3.5 Porozita

Porozita určuje velikost póru určený obvykle střední, či maximální hodnotou, nebo distribucí velikostí. Někdy se jako porozita též definuje podíl volného prostoru v porézním materiálu – tato veličina však nedefinuje velikost póru. Nevýhodou hodnocení je problematická definice póru. Pro uspořádané vláknenné systémy s velkým zaplněním lze póry aproximovat válcovými kanály a celý vláknenný systém popsat pomocí Poiseuilleova zákona.[12]

3.4 Charakteristika filtrace

Filtrační charakteristika je vstupní proměnou, která přímo určuje samotný průběh a tím i výsledné filtrační vlastnosti. Proces filtrace je dán vztahem mezi filtračními charakteristikami a filtračními vlastnostmi. V této práci se zaměříme především na vliv plochy skládaného filtru. Princip skládaného filtru bude detailněji popsán v kapitole 5. V této kapitole se autor snaží o stručný přehled filtračních charakteristik. Obecně můžeme filtrační charakteristiky dělit do tří skupin na charakteristiky filtračního materiálu, filtrovaných částic a procesu filtrace.

3.4.1 Charakteristiky filtračního materiálu

Charakteristiku filtračního materiálu určují následující parametry:

a) Plocha filtru

Výsledná plocha filtru má zásadní vliv na celkový tlakový spád filtru. *V kapitole č. 6 bude zcela patrný význam této charakteristiky ovlivňující zejména průtok filtrovaných částic, kdy s rostoucí plochou roste jeho účinnost.*

b) Tloušťka filtru

Dle předchozí charakteristiky se s rostoucí plochou zlepšují rovněž filtrační vlastnosti, zejména pak celkový průtok. Tloušťka nám pak zvyšuje celkovou efektivitu záchytu filtrovaných částic, její vliv však není již tolik patrný.

c) Plošná a objemová hmotnost filtru

Vychází z předchozích předpokladů kdy má růst plochy a tloušťky filtru pozitivní vliv na účinnost. Plošná a objemová hmotnost filtru toto tvrzení potvrzuje.

d) Stejnóměrnost materiálu

Stejnóměrnost patří mezi nejvíce kvalitu ovlivňující parametr filtrovaných částic. Pokud je materiál nestejnóměrný, tak obecně platí, že v místech kde roste jeho nehomogenita se zvýší množství průletu částic oproti místu kde je zaplnění vyšší.

e) Volba materiálu

Volba materiálu hraje klíčovou roli spíše pro vzduchovou filtraci při povrchové interakci s částicemi. Jak jsme si již popsali v předchozí části, částice, které se dostanou

do těsné blízkosti povrchu vláken jsou drženy pomocí Van der Waalsových sil. Právě tato interakce má výrazný vliv na míru pevnosti zachycení částic. Poškození materiálu může vést ke snížení mechanických vlastností.

f) Parametry vláken

Jako parametr vláken označujeme zejména tvar průřezu, jeho průměr a mechanické vlastnosti. Preparací samotných vláken můžeme ovlivnit výsledné mechanické vlastnosti. Nejdůležitější je však tvar a průměr vláken, které určují velikost specifického povrchu vlákna. Pro kapalinovou filtraci je pak zejména důležité zmenšení velikosti pórů.

g) Struktura filtru

Vlivem toku viskózního média je na vlákna vyvíjen tlak, který může způsobit jejich posuv a změnu rychlostního pole uvnitř filtru a také uvolnění zachycených částic. Orientace vláken v prostoru má vliv na výslednou geometrickou stabilitu a filtrační schopnosti.[12,13,14,18]

3.4.2 Charakteristiky filtrovaných částic

a) Velikost filtrovaných částic

Pro přesné nastavení porozity filtračních materiálu je nutné stanovit velikost filtrovaných částic. S rostoucí velikostí částic roste i efektivita záchytu. *Vzhledem k široké distribuční křivce velikosti částic vyskytující se jak v kapalném, tak plynném prostředí je nutno počítat s velikostí částic od 0,001 do 100m.* Pokud se rozhodneme filtrovat celé spektrum musíme počítat s aplikací více různých filtrů. Filtrační proces je založen na separaci dle různé velikosti částic. Z toho důvodu je vhodné poskládat filtry tak, aby výsledná soustava filtrů odpovídala právě jejich velikosti částic. Aplikací více druhů filtrů, zejména pak předfiltrů pozitivně ovlivníme výslednou životnost filtrační aparatury.

b) Množství částic

S rostoucím počtem částic roste zaplnění mezivlákněných prostorů ovlivňující výsledné vlastnosti filtru. Koncentrace částic přímo určuje životnost filtru a má za následek růst tlakového spádu a efektivitu. Na povrchu filtru se utvoří vrstva částic, která do určité meze zvýší jeho efektivitu. Jakmile filtr dosáhne kritické meze, vytvoří

se zde tzv. filtrační koláč, který filtr ucpe. V praxi se proto používají filtry se zpětně čistěným protlakem.

c) Tvar a povrch

Tvar částic ovlivňuje jejich výsledný záchyt. Zpravidla složitější tvar se bude zachytávat jednodušeji oproti tvaru kulovitému. Složitější tvar částic má za následek jejich větší specifický povrch oproti kulovitému tvaru a částice tak snadněji přilnou k povrchu.

d) Elektrické vlastnosti

Velikost elektrického náboje částic ovlivňuje interakci s povrchem vláken. Zpravidla lze říci, že s jeho rostoucím nábojem roste i efektivita filtrace.[12,13,14,18]

3.5 Parametry filtrace

Mezi hlavní parametry ovlivňující filtrační proces patří teplota, tlak, vlhkost a viskozita prostředí. Teplota, zejména odolnost vůči teplu a záření určuje výsledná kritéria použití filtru. Dalším důsledkem rozdílné teploty je změna tlakového spádu a efektivita filtru při změně teploty, kdy dochází ke změně viskozity prostředí. Při filtraci vody je třeba počítat se změnou viskozity vlivem přítomnosti různých příměsí.

Vlhkost prostředí je zajímavá z hlediska odolnosti materiálu vůči prostředí, v němž se nachází. Dále má také vliv na stabilitu samotného náboje na povrchu vláken.[12,13]

4 Druhy filtrů

a) dle mechanismu filtrace

Základní rozdělení filtrace můžeme dělit dle samotného mechanismu filtrovaných částic na filtry povrchové a filtry hloubkové. Hloubkový filtr je schopen záchytu částic řádově menší než jsou mezivláknenné prostory. Rozdíl mezi oběma mechanismy jsme si již popsali v kapitole 3.2 a není tedy nutno nadále podrobně rozebírat oba mechanismy. Při filtraci vody předpokládáme převládající povrchovou filtraci.

b) dle technologie výroby

Filtrace využívá široké spektrum textilních materiálů, jako jsou: netkané textilie, naplavované textilie, vpichované textilie, mechanicky a termicky pojené, spunbond, meltblown, tkaniny a další.

c) dle filtračních vlastností

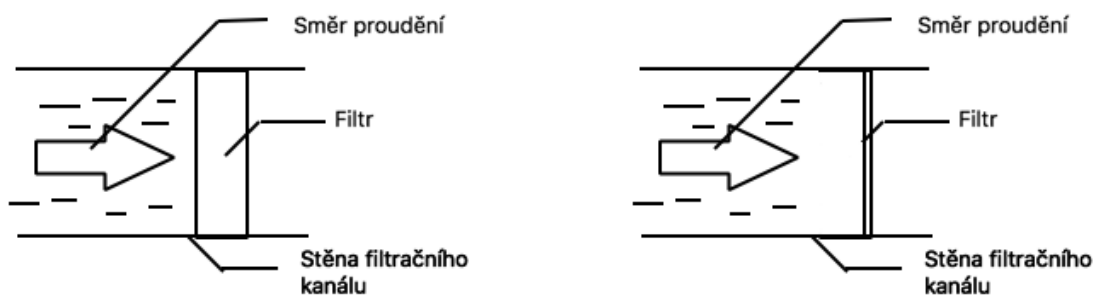
Filtraci dále dělíme dle druhu norem, které přímo klasifikují jejich využití v rámci filtračních tříd. Existují i normy zaměřené na obecné testování těchto filtrací. Podrobněji se s touto problematikou seznámíme v kapitole 6. Kde si detailně rozebereme filtrační normu naší testované nanovlákněné membrány.

d) **dle konstrukce**

Toto dělení nám přímo určuje výsledný tvar filtrace a jeho následné použití.

aa) Ploché filtry

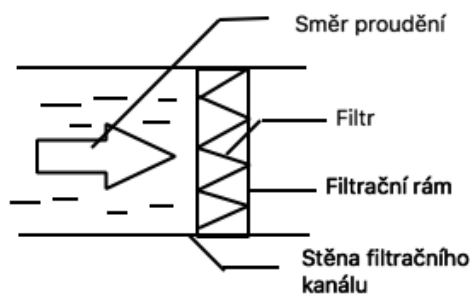
Z konstrukčního hlediska se jedná o nejjednodušší druh filtrace. Jeho výroba nepředstavuje vážnější komplikace a snadnost instalace předurčuje tomuto filtru široké spektrum využití. Důležitý je pro nás mechanismus filtrace, který může být jak hloubkový tak povrchový. Na jeho základě nalezneme různá uplatnění aplikace těchto filtrů, jako jsou různé předfiltry, vysavačové filtrace apod.



Obr. 6: Schéma hloubkového (vlevo) a plochého filtru (vpravo).

bb) Skládáné filtry

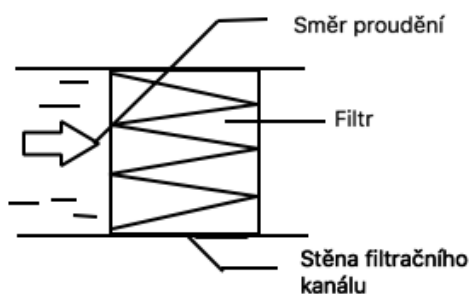
Tento druh filtrace je charakteristický svým typickým harmonikovým tvarem. Mechanismus skládání umožňuje zvětšení filtrační plochy při zachování kompaktních rozměrů. Z hlediska konstrukce se jedná o tuhý materiál, se kterým se podrobněji seznámíme v následující kapitole č. 5. Konstrukce tohoto filtru předurčuje jeho vysoce účinné filtrační vlastnosti zejména pro HEPA filtraci.



Obr. 7: Schéma skládaného filtru.

cc) Kapsové filtry

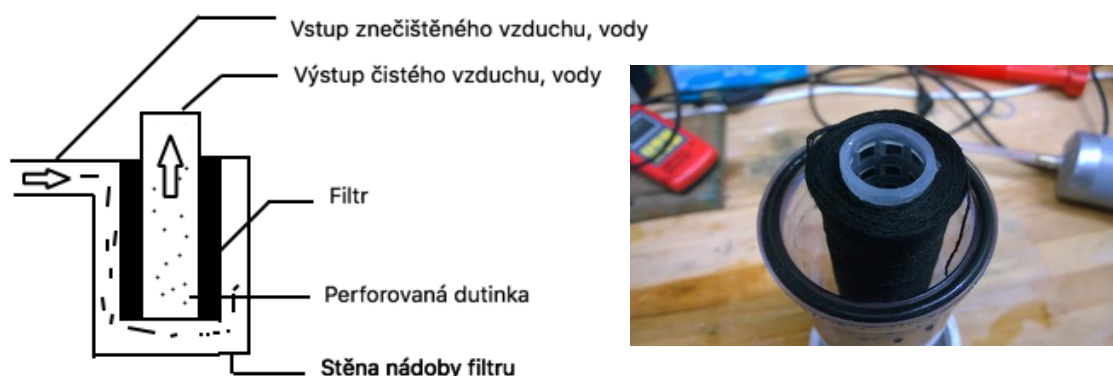
Kapsové filtry používáme tam, kde je výroba skládaných filtrů z technologických parametrů nemožná, hlavní nevýhodou jsou pak jeho velké rozměry. Jedná se o plochý skládaný filtr, kdy plocha skladu odpovídá tloušťce rozměru. Kapsové filtrace využíváme zejména pro klimatizační jednotky. Na následujícím schématu je zcela viditelný rozdíl oproti filtru skládanému, pro lepší porovnání je přidána také ukázka kapsového filtru.



Obr. 8: Schéma a ukázka kapsového filtru.

dd) Svíčkové filtry

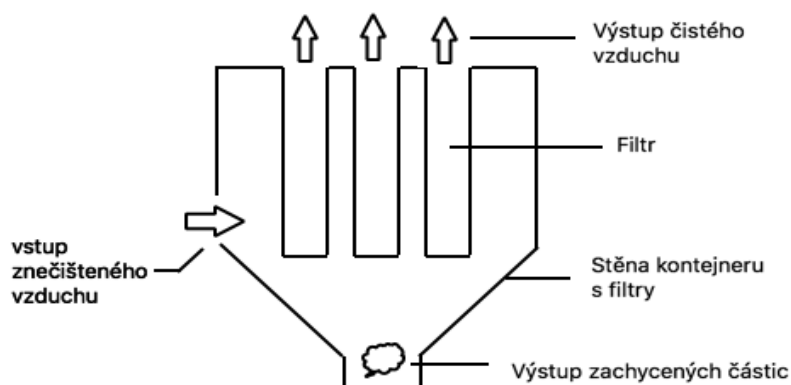
Svíčkové, neboli patronové filtry jsou tvořeny buďto z filtru plochého nebo skládaného tak, že je obtočen kolem perforované dutinky. Právě pak skládaný filtr má vliv na průřez filtru a jeho plocha je oproti filtru plochému mnohonásobně větší. Svíčkový filtr lze rovněž vyrobit za pomoci křížového návínu přástu kolem dutinky. Křížový návín přástu nám zvětší filtrační plochu podobně jako je tomu u skládaného filtru avšak při zachování menších rozměrů. Mezi jeho hlavní výhodu patří zejména jeho kompaktní rozměry a dobré filtrační parametry. Hlavní využití nalezne v kapalinové filtraci i suché. Následující schéma nám pomůže pochopit základní princip mechanismu filtrace. Pro lepší představu je přiložena ukázka patronového filtru.



Obr. 9: Schéma vlevo a ukázka svíčkového filtru vpravo.

ee) Hadicové filtry

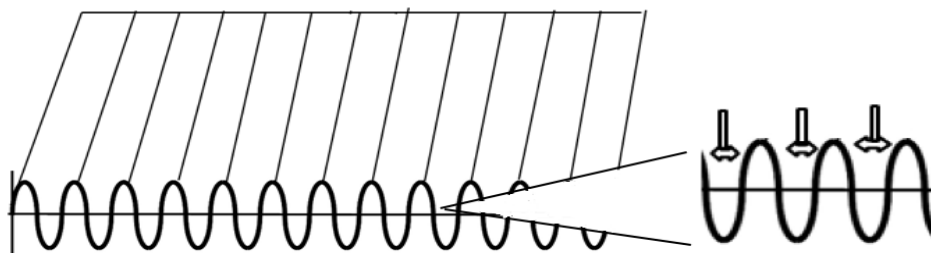
Hadicové filtry jsou založeny na stejném principu, jako jsou filtry svíčkové. Jejich hlavní rozdíl je v jejich délce, která může činit i několik metrů. Jejich velikost předurčuje využití tam, kde potřebujeme zachyt velké množství částic. Následující schéma popisuje filtrační mechanismus v praxi.[12,15,18]



Obr. 10: Schéma hadicových filtrů.

5 Skládání filtry

Skldané filtry jsou tvořeny z plochého filtru, který má však velmi malou plochu, která limituje jeho využití samostatně. Jednou z možností jak zvětšit plochu takového filtru je použití filtrů skládaných. Takový filtr je složen ve tvaru harmoniky a zpevněný rámem, který fixuje celou konstrukci. Hlavní výhodou tohoto filtru je až několikanásobné zvětšení filtrační plochy při zachování kompaktních rozměrů. Tvar harmoniky má rovněž veliký vliv na jeho efektivitu, tlakový spád a celkovou životnost. Na následujícím obrázku je patrný způsob proudění filtrované disperze.[12,15,18]



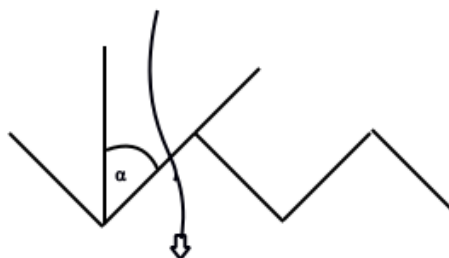
Obr. 11: Konstrukce skládaného filtru, způsob proudění filtrované disperze.

5.1 Charakteristika skládaného filtru

Plocha filtru je jeden z nejdůležitějších parametrů pro výsledné filtrační vlastnosti. Rostoucí plocha by měla vést ke snížení tlakového spádu, zvýšení efektivitu a celkové životnosti filtru. Dle D'Arcyho rovnice můžeme určit vztah mezi filtrační plochou a tlakovým spádem.

$$Q = \frac{A \cdot k \cdot \Delta p}{h \cdot \eta} \quad (12)$$

kde Q je průtok (m^3/sec), Δp je tlakový spád (Pa), A je plocha filtru (m^2), h je tloušťka filtru (m), η je dynamická viskozita (Pa.sec) a k je koeficient propustnosti filtru (m^2). Tato rovnice platí pro jakýkoliv porézní materiál, jehož struktura je zahrnuta v koeficientu k . Z toho vyplývá, že pro stejný materiál se stejnou tloušťkou a konstantním průtokem je vztah mezi tlakovým spádem a plochou filtru lineární. Tento předpoklad však není zcela správný, jelikož částice na filtr nenalétají kolmo na plochu filtru, ale pod úhlem α , který se zmenšuje s rostoucí hustotou skladů. Na následujícím obrázku je viditelná změna trajektorie filtrované disperze proudící skládaným filtrem.



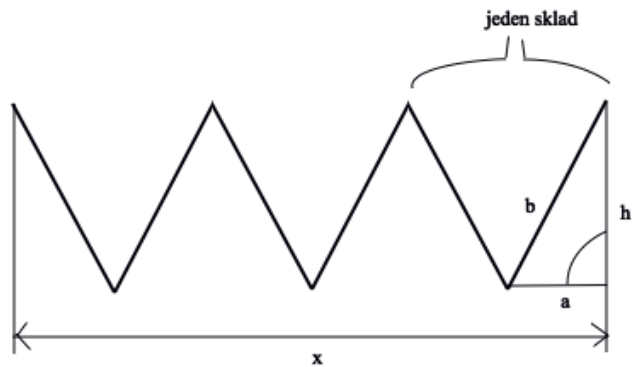
Obr. 12: Změna trajektorie

Kapalina se pohybuje vlivem nejmenšího odporu a snaží se orientovat kolmo k ploše filtru tak, aby vzdálenost, kterou urazí v prostoru vyplněném porézní látkou byla co nejmenší. Výsledná trajektorie pohybu filtrované disperze je však daleko složitější v důsledku dynamiky tekutiny a vzniku turbulencí, jež způsobují brzdění. D'Arcyho rovnice vyjadřuje tento jev poklesem hodnoty koeficientu propustnosti filtru k . Rovněž zde dochází k poklesu koeficientu propustnosti filtru s rostoucí hustotou skladů, které se z větší části dotýkají a dochází zde k růstu zaplnění filtru. Jednoduše řečeno zde dochází s rostoucí hustotou skladu k poklesu koeficientu propustnosti filtru.

Daleko složitější je však vztah mezi efektivitou a plochou filtru. Za běžných podmínek můžeme uvažovat konstantní průtok filtrované disperze filtrem Q (m^3/sec). Změna plochy filtru vzhledem k ploše průřezu potrubí těsně před filtrem dochází ke snížení rychlosti proudění uvnitř filtru. Obecně platí, že s rostoucí plochou filtru roste i jeho efektivita. Zjednodušeně řečeno platí, že při záchytu malých částic s malou setrvačností se efektivita záchytu zvyšuje s klesající rychlostí filtrace.[12,15,18]

5.2 Hustota skladů

Hlavním parametrem ovlivňující výsledné vlastnosti filtru je jeho hustota skladu, která se uvádí jako počet skladů na 1m délky. Reálné chování lze odvodit na základě počtu skladů a jeho filtrační plochy. Na následujícím schématu vidíme zjednodušený průřez odpovídající tuhosti materiálu podobnému jako je papír. V praxi a zejména pak u kapalinových filtrů je tuhost skládaného materiálu daleko vyšší, což má za následek rozdílný průřez a jeho celkové vlastnosti. Pro zjednodušení však budeme uvažovat jeho zjednodušený model.



Obr. 13: Schéma výpočtu skutečné délky.[12]

Plocha skládaného filtru lze určit na základě obdélníku o stranách x a y , je však zapotřebí určit skutečnou délku filtru l skládaného podél strany x . Výslednou délku l lze z obrázku odvodit tak, že délka l je rovna $2 \cdot n \cdot b$, kde n je počet skladů. Délku b lze získat z pravoúhlého trojúhelníka a, h, b dle vztahu:

$$b = \sqrt{h^2 + \frac{x^2}{4 \cdot n^2}} \quad (12)$$

kde strana h je dána tloušťkou skládaného filtru a strana a je dána délkou poskládaného filtru x a počtem skladů n . Tento vztah však zcela neodpovídá skutečné délce filtru a proto musíme jeho vztah upravit dle následující rovnice:

$$l = n \cdot \sqrt{4 \cdot h^2 + \frac{x^2}{n^2}} \quad (12)$$

kde l je skutečná délka filtru, n je počet skladů, h je tloušťka filtru a x je délka poskládaného filtru. Tento vztah musíme nadále upravit vztahem:

$$A = y \cdot n \cdot \sqrt{4 \cdot h^2 + \frac{x^2}{n^2}} \quad (12)$$

kde A je skutečná plocha skládaného filtru o rozměrech x a y . Pro získání bezrozměrné veličiny lze vyjádřit poměr mezi skutečnou plochou filtru a plochou danou jeho rozměry následovně:[12,15,18]

$$A_{rel} = \frac{A}{x \cdot y} = \frac{n \cdot \sqrt{4 \cdot h^2 + \frac{x^2}{n^2}}}{x} \quad (12)$$

6 Experimentální část

6.1 Požadavky na filtrační zařízení

Na počátku celé práce bylo nutno stanovit základní parametry, které by měl sestavený filtr splňovat. Reálné použití filtru v polních podmínkách dále předurčuje jeho kompaktní rozměry, které je vhodné brát při sestavení v úvahu. Požadavky na filtrační zařízení jsou následující:

a) Vysoká efektivita záchytu částic

Filtr má za úkol odstranit veškeré nežádoucí mikroby a látky, které ohrožují lidské zdraví i látky, které způsobují následné zažívací potíže. V polních podmínkách se setkáme především s povrchovou vodou, kterou jsme si detailně rozebrali v kapitole 1. Tato voda je takzvanou směsicí různorodých látek, zejména pak látek z trávicího traktu zvířat. Tyto látky ohrožují lidské zdraví a je nutno je odstranit, proto dbáme při výběru vhodného materiálu na velikost filtrovaných částic. Filtrační zařízení proto musí mít 100% účinnost záchytu filtrovaných částic.

b) Vysoký průtok

Dalším požadavkem filtračního zařízení je hodnota průtoku filtrované vody. Zařízení by mělo být schopno rychlé filtrace v řádu několika minut za použití běžného tlaku. Při stanovení požadovaného průtoku vycházím z hodnot dosavadních komerčních filtrů, které mají při kompaktní velikosti průtok filtrované vody okolo 1 l/min. S ohledem na daný typ konstrukce lze z předchozí teorie vyvodit, že s rostoucí plochou je tato hodnota vyšší. Pro tento účel jsem zvolil konstrukci skládaného filtru, který má plochu dostatečně velkou na to, aby byl schopen tyto předpoklady splnit.[21]

c) Tlak

Hlavním parametrem ovlivňující průtokovou rychlost je kromě samotné filtrační plochy také tlak, při kterém je disperzní prostředí filtrováno. Stávající filtry používají ke zvýšení tlaku pumpičku, která však negativně zvětšuje celé filtrační zařízení. Cílem této práce bylo vytvořit filtr s co nejkompaktnějšími rozměry s ohledem na vysoký průtok a efektivitu záchytu částic. Z toho důvodu jsem tento mechanismus do svého filtru nezahrnul. Předpokládám již dostatečný tlak vyvinutý při stlačení PET lahve či sáčku, na kterou by byl tento filtr napojen.

Požadovaný tlak jsem určil dle síly vyvinuté při stlačení PET lahve. Do víčka PET lahve jsem zavedl hadičku, která byla přímo napojena na tlakoměr. Následně jsem stlačení lahve vlastní silou simuloval použití filtru v reálných podmínkách.

Získaná hodnota pohybující se v rozmezí 9-12 kPa mi tedy posloužila jako představa o tlaku, který je nutno pro filtraci vyvinout. V porovnání s komerčním filtrem s pumpičkou je tato hodnota nižší zhruba o 10 kPa.[21]

6.2 Výběr vhodného materiálu

Při výběru vhodného materiálu jsem se zaměřil na velikost filtrovaných částic. Filtr musí být schopen odstranit viry, bakterie a prvoky nacházející se v znečištěném zdroji vody. Nejmenší filtrovaná částice je 0,02 až 0,2 mikronu (*viz kapitola 1.1.2*). V reálném prostředí jsou však viry ve znečištěné vodě vázány na usazeniny a výsledná velikost filtrovaných částic přesahuje 0,2 mikronu. Tuto hodnotu bylo nutno nadále splnit.[9]

Tento materiál, dále již polymer by měl mít rovněž dobrou odolnost vůči kapalnému prostředí. Musí dlouhodobě odolávat působení vlhkosti, aniž by u něj docházelo k částečné degradaci řetězců. Toto kritérium splňuje polyamid 6.6, známý též pod komerčním označením jako Nylon. Pro výrobu filtru bylo použito nanovláknenné vrstvy PAD 6.6 společnosti Nanovia, která tuto vrstvu vyrobila na zvlákňovacím přístroji firmy El Marco, Nanospideru [Elmarco s.r.o, 2005]. Zvolená vrstva má průměr vláken 100 nm, což odpovídá 0,1 mikronu. Plošná hmotnost této vrstvy činí 2,8g/m² s odchylkou výroby 10% v závislosti na dávkování polymeru při procesu výroby.[18]

Nanovláknennou vrstvu je nutno nadále zpevnit tak, aby z ní bylo možné vytvořit skládaný filtr. Při volbě podkladové vrstvy je důležitá tuhost materiálu, která by měla usnadnit tvorbu samotných skladů. Při výběru podkladové vrstvy jsem se řídil především na základě omaku a tuhosti materiálu. Nejlépe se mi pro tento účel osvědčila polyesterová netkaná textilie zpevněna technologií vpichování s plošnou hmotností 200g/m². Spojení těchto dvou materiálů bude popsáno v následující části věnované tvorbě filtrační membrány.

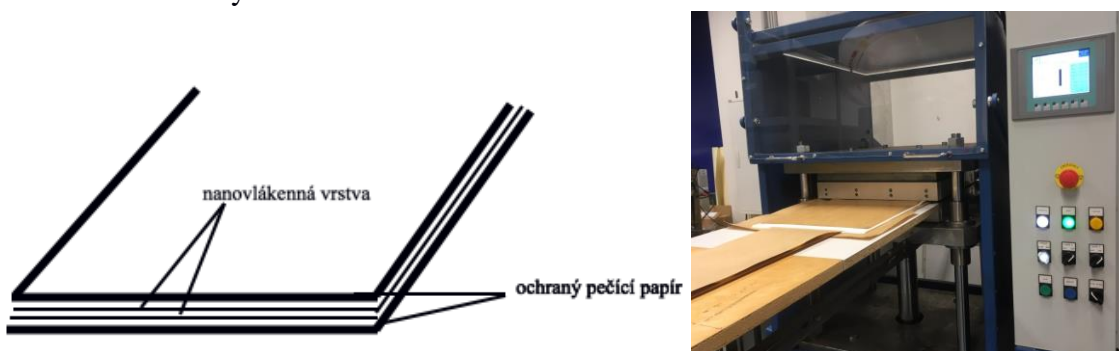
6.2.2 Výroba membrány

Nanovláknenná vrstva je velmi citlivá na její manipulaci. Při práci s touto vrstvou došlo několikrát k poškození vlivem neodborné manipulace při odběru nanovláknenné

vrstvy z role, na které byla navinuta. Z tohoto důvodu bylo nutno vrstvu nadále zpevnit další vrstvou nanovláken pomocí technologie lisování [Jirsák, 2003], která usnadní sestavení výsledné membrány.

Lisovány byly celkem dvě vrstvy nanovláken bez použití adheziv, pouze na základě zvýšeného tlaku 150 kN a teploty 90 °C po dobu 1 minuty na automatickém lisu. U volby teploty lisování bylo nutno zvolit takovou teplotu, při které nedochází k degradaci výsledného materiálu. Při nastavení teploty lisování vycházíme z hodnot teplot tání polymeru, které je u PAD 6.6 250°C. Pokles pevnosti polymerních řetězců nastává při teplotě 100 °C a při teplotách vyšších než 170 °C dochází již k destrukci molekul. Z důvodu použití nižší teploty lisování polymeru, kdy nedochází k natavení a degradaci, drží vrstvy pospolu za pomoci elektrostatických sil.

Nanovlákněné vrstvy byly při procesu lisování chráněny podkladem z pečicího papíru. Pro lepší představu je přiložen následující obrázek znázorňující spojení těchto 2 vrstev dohromady.



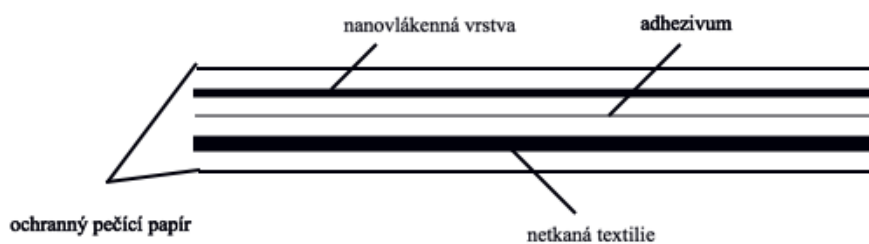
Obr. 14: Schéma vlevo a ukázka procesu lisování nanovlákněné vrstvy vpravo.

Výsledná lisovaná nanovlákněná vrstva však nemůže být použita sama o sobě a pro pozdější tvorbu skladů je nutné její další zpevnění podkladovou vrstvou NT. Zpevnění bylo dosaženo za pomoci technologické operace zvané laminace. Laminace je v textilu pojem pro spojení dvou a více tkanin, pletenin či netkaných textilií stejného či různého složení i určení (např. podšívka, vrchní materiál).[Chvojka J., 2012]

Laminaci dělíme na dva základní kroky: prvním krokem je nános adheziva na laminovanou vrstvu, druhým krokem je samotný proces laminace vrstev dohromady. Adhezivum zde plní funkci pojiva a je nutné, aby jeho tepelná odolnost byla nižší než u předkládaných vrstev (nanovlákněné PAD 6.6 - 170 °C a podkladové NT PES vrstvy - 155 °C). S ohledem na tyto parametry bylo jako adhezivum použito polypropylenové pavučinky s tepelnou odolností 90 °C.

Laminování probíhalo za stanovené teploty 130°C a tlaku 50kN po dobu 3 minut. Během laminace došlo k tavení PP pavučinky, která působením zvýšeného tlaku propojila obě dvě vrstvy dohromady. Výsledná membrána byla poté seříznuta tak abychom zabránili vlivu možné nehomogenity, která, vznikne v důsledku špatné manipulace s takto velkou vrstvou na jejich krajích.

Skutečné rozměry membrány po seříznutí činní 200x10cm. Následně byla membrána o velikosti 7x5 cm testována na filtračním zařízení. S testováním této membrány se seznámíme v následující části.

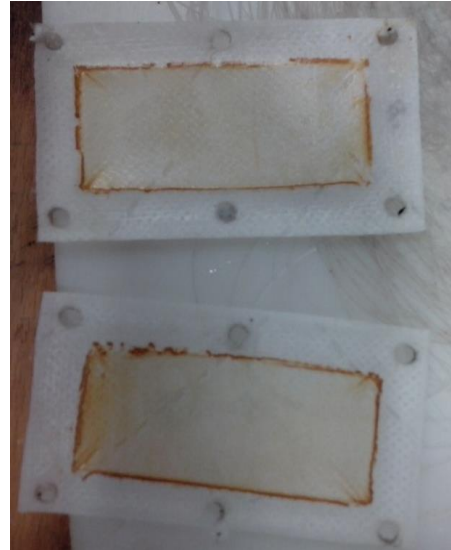


Obr. 15: Schéma výroby membrány.

6.3 Testování membrány

Nejprve bylo vybráno základní testování průtočnosti plochy membrány. Testování probíhalo na filtračním zařízení LSD 115. Popisu toho zařízení bude nadále věnováno v další části této práce. Zařízení je primárně určeno pro čistitelné membrány, nicméně bylo na něm možné zjistit průtok membrán bez čištění. Cílem testování vyrobené membrány bylo filtrování vzorku povrchové biologicky znečištěné vody. Pro testování byla použita voda z nádrže zoologické zahrady Liberec. Pokus probíhal následujícím způsobem:

První filtrát nebo-li měření probíhalo za konstantního tlaku 5 kPa, podtlaku 0,6 kPa a průtoku 70l/hodinu v celkovém čase 38 minut. Po následném zvážení výtěžku přefiltrované vody bylo obdrženo následujících hodnot. Při filtraci s čerpadlem byl výtěžek za hodinu 178,119g, oproti tomu při použití bez čerpadla 149,992g. Z měření tedy jasně vyplývá, že lepšího výtěžku dosáhneme při použití odvodu filtrátu s čerpadlem. Samovolný výtok nemá dostatečnou sílu na odvod filtrované vody, kdy následující série testování toto tvrzení potvrzuje.



Obr. 16: Ukázka filtračního aparátu vlevo a membrány po následné filtraci vpravo.

Při druhé filtraci byl tlak zvýšen na 7,5 kPa spolu s podtlakem 1,2 kPa a průtokem 90l/hodinu. Tyto parametry byly maximální možnou hodnotou nastavení filtrace v našich laboratorních podmínkách, kterou se podařilo dodržet. Filtrace probíhala v čase 42 minut a výtěžek za hodinu v případě použití čerpadla byl 154,431 g a bez použití čerpadla 142,189g.

Třetí měření probíhalo za nejnižšího konstantního tlaku 3 kPa s podtlakem 3,8 kPa a průtokem 70l/hodinu za celkového času 57 minut. Výsledný výtěžek při použití čerpadla byl 117,549g a při použití bez čerpadla 83,647g.

Z předchozí úvahy (viz kapitola 6.1) uvažujeme maximálního možného výtěžku za použití nejvyšší hodnoty tlaku při procesu filtrace. Toto měření dokazuje tvrzení, kdy je pro filtraci částic, zejména pak pro výsledný průtok třeba určitého tlaku.

Vzorky filtrátu byli dále předány k rozboru mikrobiální čistoty. Pro lepší porovnání byla data filtračního procesu membrán převedena do tabulky.

Tabulka 4: Výsledky měření výtěžku.

Pokus č.	Tlak	Podtlak	Průtok cross flow	Výtěžek bez čerpadla	Výtěžek s čerpadlem
1	5 kPa	0,6 kPa	70 l/h	149,922 g/h	179,119 g/h
2	7,5 kPa	1,2 kPa	90 l/h	142,189 g/h	154,431 g/h
3	3 kPa	3,8 kPa	70 l/h	83,647 g/h	117,549 g/h

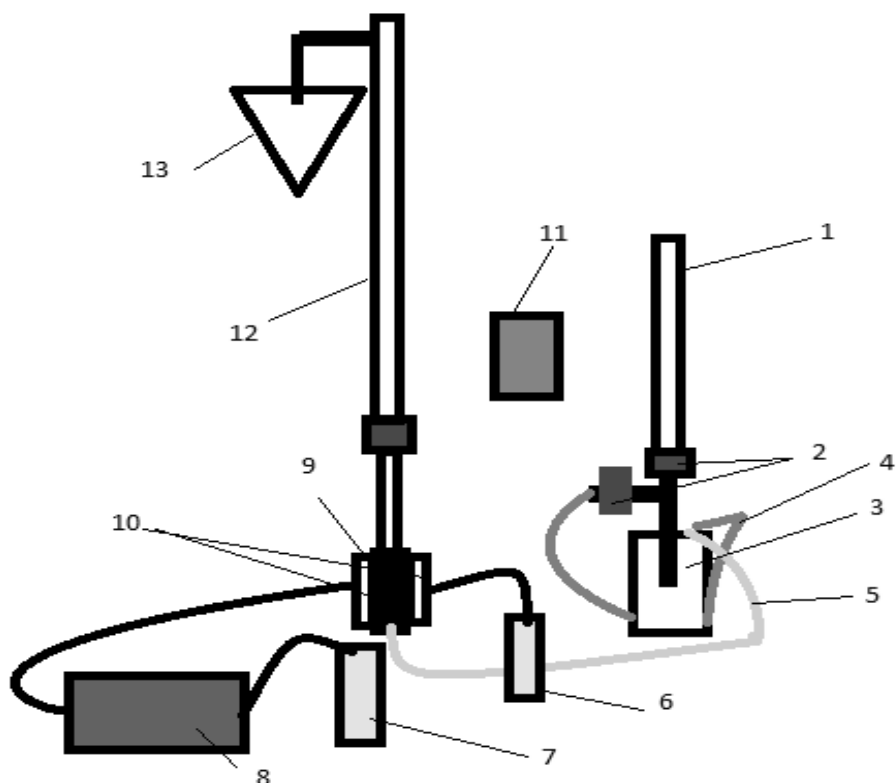
Pokud bychom vzali v úvahu větší filtrovanou plochu skládaného filtru, mnohonásobně jím zvýšíme výtěžek filtrované vody. Testovaná plocha byla 7x5cm s výtěžností okolo 150g/h. Navržený filtr má rozměry 200x10cm a odpovídá tedy zhruba výtěžku 8,5l/h. Tento předpoklad si ověříme v následující části.

Z rozboru mikrobiální čistoty je patrná funkčnost této membrány. Naměřené hodnoty ukazují přesný počet množství záchytu částic po průchodu filtrem. Na základě těchto hodnot bylo možné přistoupit k samotnému procesu výroby skládaného filtru.

Tabulka 5: Výsledky rozboru antimikrobiální čistoty.

Vzorek vody před filtrací				
Název stanovení	Jednotka	Naměřená hodnota	Limitní hodnota	Identifikace stanovení
Počty kolonií při 22C	KTJ/ml	362	Max. 200 (MH)	SOPč.32/06
Počty kolonií při 36C	KTJ/ml	156	Max. 20 (MH)	SOPč.32/06
Koliformní bakterie	KTJ/100	3	Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Escheria Colli	KTJ/100	0	Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Vzorek vody po filtraci				
Název stanovení	Jednotka	Naměřená hodnota	Limitní hodnota	Identifikace stanovení
Počty kolonií při 22C	KTJ/ml	12	Max. 200 (MH)	SOPč.32/06
Počty kolonií při 36C	KTJ/ml	4	Max. 20 (MH)	SOPč.32/06
Koliformní bakterie	KTJ/100	0	Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Escheria Colli	KTJ/100	0	Max. 0(MH)	SOPč.35/06

6.3.1 Popis filtračního zařízení LSD 115



- | | | |
|----------------------------|--------------------------------|------------------|
| 1 – Průtokoměr | 4 – Hadice pro bypass | 7 – Výtěžek |
| 2 – Ventily | 5 – Hadice pro přívod filtrátu | 8 – Čerpadlo |
| 3 – Filtrovaný vzorek vody | 6 – Výtěžek bez čerpadla | 9 – Filtr. patr. |
| 10 – Filtry | 12 – Sloupec vody | 13- Bezpeč. př. |
| 11 – Tlakoměr | | |

Obr. 17: Schéma filtračního přístroje.

Na filtrační patronu byla z obou stran umístěna testovaná membrána. Následně bylo nutné vše utěsnit tak, aby při zavedení tlaku voda samovolně nevytékala okolo membrány. Otevřením ventilu byl následně nastaven průtok vody za hodinu. Pro nastavení požadovaného tlaku byl přivřen ventil pro bypass, který vhání vodu zpět do oběhu a zároveň umožňuje zvýšení tlaku ve filtrační aparatuře. Tato operace vyžaduje jemné zacházení a je třeba zvolit vhodný poměr průtoku a otevření/uzavření ventilu u bypassu. Následně je voda vháněna do filtrační patrony, kde působením tlaku a specifického tvaru trysky dochází k tvorbě bublinek. Právě bublinky jsou nezbytné pro filtraci, naráží na povrch filtru a odstraňují z něj

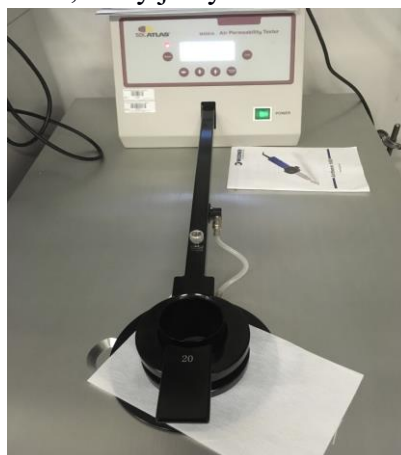
ulpělé nečistoty tak, aby došlo k zamezení růstu tlakového spádu. Tím zvyšují jeho účinnost a rovněž i životnost. Pokud by zde nedošlo k efektu, kdy se nám tvoří bublinky, filtr by se zanesl, snížila by se filtrační plocha a výsledný výtěžek by byl velmi malý. Následně je odveden přebytečný vzduch pryč, k tomuto účelu slouží sloupec vody, ve kterém je spolu s filtrovanou vodou také vzduch. Pokud by zde došlo k přesycení, voda smíšená se vzduchem by následně odtekla do bezpečnostního přepadu, který odvádí vodu pryč z celého oběhu. Průběh filtrace byl napojen na tlakoměr, který poskytl informace o použitém tlaku a podtlaku.

Výsledný filtrát je možné odvádět samovolným výtokem, nebo můžeme použít pumpu, která přefiltrovanou vodu odčerpá a zvýší tím výsledný výtěžek celého filtračního procesu.



Obr. 18: Snímek filtrační patrony (nalevo), pumpa (napravo).

Membrána byla dále otestována na prodyšnost pomocí přístroje firmy SDL Atlas - Air Permeability Tester M021A, který je vyobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 19: Snímek testování prodyšnosti membrány.

Tento přístroj změří za krátkou dobu prodyšnost membrány. Přístroj měří plochu předkládaného vzorku o velikosti 10x10cm. Bylo testováno celkem 10 vzorků s výslednou prodyšností 1.39 l/m²/s při tlakové ztrátě 200 Pa. Jeden z testovaných vzorků vykazoval mnohonásobně vyšší prodyšnost, která ukazuje pravděpodobné poškození membrány. Jeho výsledek není vzat v potaz do výsledné prodyšnosti, jelikož se jednalo o vadu membrány. V tabulce níže jsou patrné hodnoty série testování.

Tabulka 6: Výsledky měření prodyšnosti membrány.

Vzorek č.	Prodyšnost	Tlaková ztráta	Testovaná oblast
1	1.62 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
2	1.42 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
3	1.46 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
4	1.40 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
5	1.12 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
6	1.51 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
7	1.23 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
8	5.22 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
9	1.48 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²
10	1.32 l/m ² /s	200 Pa	20 cm ²

6.4 Skládání filtrační membrány

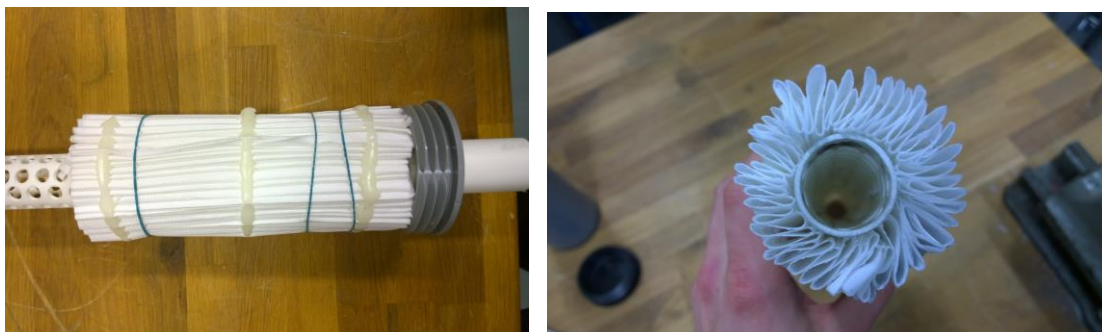
Na základě výsledných hodnot, zejména pak nízkého průtoku testované membrány bylo nutno mnohonásobně zvětšit filtrační plochu při zachování kompaktních rozměrů tak, aby autor splnil počáteční předpoklad vysokého průtoku filtrovaných částic.

Skládání filtrů probíhalo v prvotní fázi ručně. Bylo sestrojeno pouzdro, do kterého byly umístěny jednotlivé sklady tak, aby nedocházelo k samovolnému uvolnění. Konstrukce samotného pouzdra byla zhotovena z krabice dostatečně tuhé na to, aby se vlivem vkládání textilie pouzdro nepoškodilo. Ruční skládání bylo velmi obtížné a po složení všech skladů filtru bylo nutno fixace za pomoci tavné pistole. Ta slouží jako nosná konstrukce a zároveň drží jednotlivé sklady pohromadě.

Velikost skladu byla v případě ručního skládání okolo 2 cm, avšak reálně zde bylo nutno počítat s odchylkou okolo 50% z důvodu nepoddajnosti samotné membrány. Výsledný skládaný filtr byl následujících rozměrů: 23x12 cm.

Dalším krokem bylo vytvoření obalu filtračního zařízení, dále již kapsle, do kterého bude skládaný filtr následně umístěn. Tato kapsle byla složena z perforované dutinky, kterou autor vlastnoručně vytvořil vyvrtáním několika otvorů do trubičky z PVC. Skládaný filtr byl následně navinut na perforovanou dutinku a pomocí lepidla spojen tak, aby vytvořil kruhový tvar. Poté došlo k utěsnění skládaného filtru na obou stranách za pomoci silikonu. Právě pak silikon umožní fixaci tak, aby byl zamezen průtok vody mimo skládaný filtr.

Filtrační kapsle musí být zcela utěsněna. Proto byl proces utěsnění několikrát opakován, aby autor eliminoval pozdější netěsnost při následném testování filtračního zařízení. Na snímku č. 20 je viditelný průřez jednotlivých skladů a fixace na perforovanou dutinku. Pro lepší představu autor na obrázku vlevo záměrně ponechal vyčnívající perforovanou dutinku tak, aby čtenář pochopil toto strojní zařízení. Samotný princip filtrace bude vysvětlen podrobněji na následující kapitole.



Obr. 20: Snímek skládaného filtru navinutého na perforovanou dutinku před utěsněním.

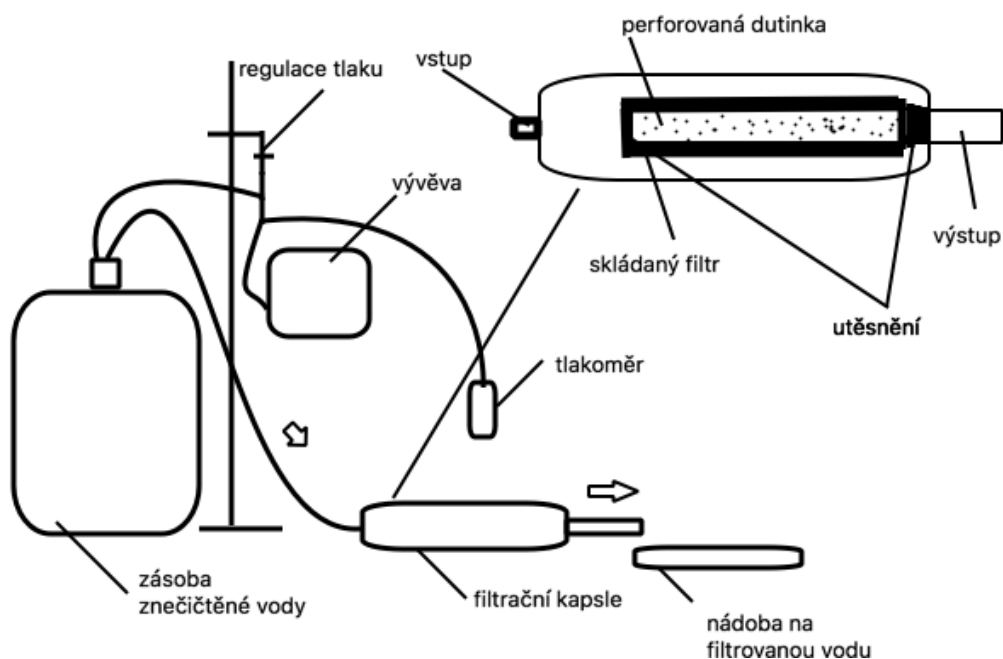
Utěsněná perforovaná dutinka společně se skládaným filtrem byla vložena do další PVC trubky, která slouží jako kapsle výsledného filtračního zařízení. Následně bylo nutno utěsnit oba konce kapsle víčkem, do kterého byl vyvrtán otvor pro hadičku na levé straně a otvor pro perforovanou dutinku na straně pravé. Přiložený obrázek znázorňuje výslednou podobu filtračního zařízení. Toto zařízení slouží pouze pro testování skládaného filtru a neodpovídá předchozím parametrům na filtr pro použití v přírodě z důvodu větších rozměrů. Za pomoci větších rozměrů filtračního zařízení chce autor zjistit pouhou funkčnost a následně rozměry zmenšit tak, aby dosáhl podobných výsledků.



Obr. 21: Ukázka hotové kapsle určené pro další testování.

6.4.1 Testování filtrační kapsle

Pro testování bylo použito stejné vody jako v předchozím testování membrány na filtračním zařízení (viz kapitola 6.3). Jedná se o povrchovou, biologicky znečištěnou vodu ze zoologické zahrady v Liberci, podle které předchozí rozbor ukázal obsah bakterií fekálního původu (labuť, kachny apod.). Kapsle byla připojena k zásobárně znečištěné vody a souběžně napojena na membránovou jednodukomorovou vývěvu KNF s rychlostí čerpání vody 6l/min a mezním tlakem 10kPa. Požadovaného tlaku procesních podmínek filtrace bylo zajištěno pomocí této vývěvy. Na vývěvu byl připojen tlakoměr, který zobrazuje aktuální tlak při filtračním procesu. Na následujícím schématu autor ukazuje výsledné složení testovacího procesu.



Obr. 21: Schéma filtrační aparatury.

Do filtrační kapsle bylo přiváděno z levé strany znečištěné vody pod zvýšeným tlakem. Filtrát poté prochází skládaným filtrem, který zachycuje částice větší než je průměr vláken použité membrány. Z pravé strany poté vytéká filtrovaná čistá voda. První testování probíhalo po dobu 1 minuty při tlaku 8kPa a průtoku 0,75l/min. Následně bylo testování opakováno za zvýšeného tlaku 12kPa po dobu 1 minuty s průtokem 1,5l/min.

Následně byli odebrané vzorky předány k rozboru do laboratoře. Výsledné hodnoty rozboru vod před a po filtraci autor uvádí v tabulce níže.

Tabulka 7: Výsledky rozboru filtrační kapsle – ručně skládaný filtr.

Vzorek vody před filtrací				
Název stanovení	Jednotka	Naměřená hodnota	Limitní hodnota	Identifikace stanovení
Počty kolonií při 22C	KTJ/ml	454	Max. 200 (MH)	SOPč.32/06
Počty kolonií při 36C	KTJ/ml	180	Max. 20 (MH)	SOPč.32/06
Koliformní bakterie	KTJ/100	8	Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Escheria Colli	KTJ/100	1	Max. 0(MH)	SOPč.35/06

Vzorek vody po filtraci				
Název stanovení	Jednotka	Naměřená hodnota	Limitní hodnota	Identifikace stanovení
Počty kolonií při 22C	KTJ/ml	238	Max. 200 (MH)	SOPč.32/06
Počty kolonií při 36C	KTJ/ml	90	Max. 20 (MH)	SOPč.32/06
Koliformní bakterie	KTJ/100	3	Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Escheria Colli	KTJ/100	0	Max. 0(MH)	SOPč.35/06

Výsledný rozbor mikrobiální čistoty ukázal nefunkčnost tohoto filtračního zařízení. Bakterie, které voda obsahovala před samotnou filtrací prošly skrz filtr a pouhý zlomek byl zachycen. Důvod nezdaru může mít na vině více vlivů, zejména pak protržení membrány při ručním procesu skládání filtru nebo samotná netěsnost skládaného filtru na perforované dutince. Jednotlivé sklady jsou při ručním namáhání vystaveny možnému mechanickému opotřebení způsobující protržení samotné membrány. Celý proces byl několikrát opakován s použitím nové membrány se shodným výsledkem.

Autor se domnívá nezdaru vlivem protržení membrány při operaci ručního skládání filtru. Z uvedeného důvodu bylo nutno nalézt způsob čistě mechanický. Technologie skládání textilií, známá jako STRUTO [Jirsák O., 2003], byla pak vhodným způsobem realizace. Ve spolupráci s doc., Ing. Rydlem a panem Ing. Hanušem, který přeprogramoval stávající nastavení tohoto přístroje, autor složil výsledný skládaný filtr.

Membrána byla při procesu skládání chráněna vrstvou NT, umístěnou z obou stran vkládané membrány. Jednotlivé sklady byly chráněny touto vrstvou, tak aby vlivem mechanického opotřebení při průchodu strojem nedošlo k protržení. Na počátku procesu výroby byla membrána při průchodu poškozena a bylo nutné stroj nadále seřídít tak, aby překládaný materiál neporušil. Po sérii několika nezdarů bylo nalezeno optimálního nastavení, které umožnilo vytvoření skládaného filtru s výškou skladu 2cm bez viditelného poškození.

Ochranná vrstva NT byla složena z PES o plošné hmotnosti 130g/m². Z technologického důvodu svázáním skladů bylo nutno tuto ochrannou vrstvu ponechat.

Autor uvažuje o ovlivnění výsledných filtračních vlastností, avšak z důvodu hlavního kritéria efektivity záchytu částic, kterého bylo při předchozím testování nedodrženo, ochrannou vrstvu ponechal.

Na snímku níže autor přikládá ukázkou hotových skládaných filtrů po průchodu ze STRUTO.



Obr. 22: Snímek skládaných filtrů.

Vzhledem k rozdílným velikostem výsledného materiálu bylo nutno hotové skládané filtry nařezat dle následujícího rozměru 20x10cm na pásové pile. Skládaný filtr byl poté navinut na perforovanou dutinku a utěsněn. Na snímku níže je patrné zlepšení výsledného vzhledu oproti předchozí ruční variantě skládaného filtru. Následně byl filtr složen a bylo ověřeno jeho funkčnosti.



Obr. 23: Snímek utěsněné perforované dutinky nalevo a snímek fixace filtru napravo.

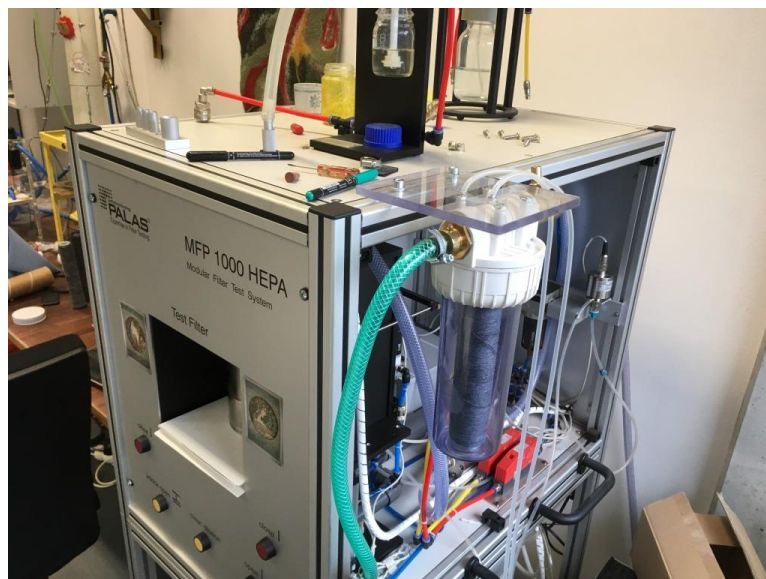
Proběhla celkem 3 měření při konstantním tlaku 12kPa po dobu 1 minuty. Výsledný průtok se pohyboval okolo 1,4l/min. Hodnota průtoku byla v porovnání s předchozím ručně skládaným filtrem nižší. S ohledem na nízkou hodnotu je však tento rozdíl zanedbatelný. Důvodem sníženého průtoku bylo přidání PES NT jako ochranné vrstvy.

Při testování autor použil pro výsledné porovnání vlastností přízový filtr, který slouží pro podobné účely. Vzorky byli následně odevzdány pro další rozbor. Bohužel ani tato metoda skládání filtru nepřinesla požadované výsledky. Všechny vzorky autorova filtračního zařízení obsahovali bakterie.

Tabulka 8: *Výsledky rozboru filtrační kapsle – strojně skládaný filtr a filtr přízový.*

Vzorek vody před filtrací					
Název stanovení	Jednotka	Naměřená hodnota		Limitní hodnota	Identifikace stanovení
Počty kolonií při 22C	KTJ/ml	457		Max. 200 (MH)	SOPč.32/06
Počty kolonií při 36C	KTJ/ml	231		Max. 20 (MH)	SOPč.32/06
Koliformní bakterie	KTJ/100	2		Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Escheria Colli	KTJ/100	1		Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Vzorek vody po filtraci					
Název stanovení	Jednotka	Naměřená hodnota – přízový filtr	Naměřená hodnota – skládaný filtr (1,2,3 vzorek)	Limitní hodnota	Identifikace stanovení
Počty kolonií při 22C	KTJ/ml	32	174, 196, 165	Max. 200 (MH)	SOPč.32/06
Počty kolonií při 36C	KTJ/ml	5	56, 59, 48	Max. 20 (MH)	SOPč.32/06
Koliformní bakterie	KTJ/100	0	1,1,1	Max. 0(MH)	SOPč.35/06
Escheria Colli	KTJ/100	0	1,1,1	Max. 0(MH)	SOPč.35/06

Překvapujícím výsledkem pro autora této práce bylo zjištění, kdy přízový filtr, který je z technologického hlediska jednodušší, vykazoval požadovaných hodnot na filtrační zařízení, které na začátku výroby stanovil. Porovnání těchto filtrů bude dále rozebráno v závěrečné debatě o výsledku úspěchu této práce.



Obr. 24: Přístroj na měření vlastností plošných vzorků.

Autor této práce hledal příčinu nezdaru měření, a proto skládaný filtr podrobil dalšímu testu. Zvolil metodu testování filtračních vlastností plošných vzorků dle normy EN 1822 na přístroji MFP 1000 HEPA, který dle jeho předpokladů odhalí případné protržení membrány.

Následně proběhlo měření celkem 4 předložených vzorků skládaného filtru. Celková plocha filtrovaného vzorku byla 100 cm^2 za použití atmosférického tlaku 1010 mbar, vlhkosti 54% s rozsahem filtrovaných částic $0,12\text{-}3,5 \text{ }\mu\text{m}$. Ostatní parametry testu autor přikládá do příloh této práce.

U jednoho ze vzorků bylo zjištěno zcela nevyhovujících hodnot. Testování proto proběhlo znovu, avšak se stejným výsledkem. Tyto hodnoty naznačují nefunkčnost filtru vlivem protržení membrány. Testování zbylých vzorků potvrdilo funkčnost filtru.

Na základě výstupu měření, které autor obdržel, stanovil filtrační třídu, která u testovaného filtru odpovídá normě H13.

7 ZÁVĚR

Filtrační zařízení autor vlastnoručně vytvořil pro účel antimikrobiální filtrace vody v polních podmínkách, které byly následně otestovány a výsledné hodnoty podrobněji rozebrány v příslušných kapitolách. Při hledání vhodného materiálu autor kladl důraz na uplatnění nových materiálů s nanovláknny pro danou aplikaci.

Sestrojené filtrační zařízení však nesplnilo požadované hodnoty, které autor na začátku své práce stanovil. Operace skládání nanovláknenné vrstvy byla v podmínkách autora velmi náročná. Jakákoliv neodborná manipulace s tímto materiálem mohla poškodit jeho výsledné vlastnosti. Autor se v této práci poměrně dlouho věnoval vhodnému způsobu skládání filtru a předpokládá špatné utěsnění výsledného filtru. Jednotlivé spoje nebyli dostatečně pevné, těsné na to aby znečištěné vodě zabránili v průchodu mimo skládaný filtr. Testování filtračních vlastností plošných vzorků prokázalo funkčnost vyrobeného skládaného filtru. Autor hledal možná konstrukční řešení, avšak na základě předchozích testů a podmínek, které měl pro samotnou tvorbu, konstatuje selhání výsledné experimentální části.

Autor dále uvádí možné využití nanovláken při procesu filtrace bakterií. Přízový filtr, který byl testován na mikrobiologickou čistotu splnil veškeré předpoklady spojené s filtrace vody v polních podmínkách. Jeho rozměry jsou takřka shodné. Jeho hlavní výhodou je technologicky jednodušší výroba oproti skládaným filtrům. Sestrojený skládaný filtr má oproti přízovému vyšší filtrační třídu a je schopen záchytu menších částic. Vzhledem k poškození, nedodržení přesných podmínek pro výrobu, však toto tvrzení nelze potvrdit a můžeme se pouze domnívat o lepších filtračních vlastnostech na základě testu plošných filtrů. Z celé experimentální části plyne vhodné použití nanovláknenných materiálů pro filtrační proces. Uplatnění nalezne zejména tam, kde je potřeba odstranit částice s velmi malým průměrem.

Autor je přesvědčen o vhodném uplatnění testované membrány, potažmo celého filtračního zařízení při polních podmínkách antimikrobiální čistoty vody.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MINISTERSTVO VNITRA. 2004: 252/2004Sb. Vyhláška pitné vody ČR.Portál veřejné správy.[cit. 01.02.2017].Dostupné z internetu:<https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=57875&nr=252~2F2004&rpp=15#local-content>.
- [2] SMĚRNICE EVROPSKÉ UNIE. 1993: EU 98/83/ES. Vyhláška pitné vody EU.[cit. 05.02.2017].Dostupné z internetu:http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/dokumenty/legislativa/EU/SR_CD_98-83.doc.
- [3] ANALYTICKÁ LABORATOŘ ZBRASLAV. *Problematika rozborů vody*[online].2017.[cit. 05.02.2017]. Dostupné z internetu:<http://rozbory.webnode.cz/sluzby/poradenstvi/casto-kladene-otazky-k-problematice-rozboru-vody/>
- [4] EUROCLEAN.CZ. *Bakterie ve vodě*[online].2016.[cit. 05.02.2017]. Dostupné z internetu: <http://euroclean.cz/bakterie-ve-vode/>
- [5] SLÁDEČEK,V. 1989: *Biologický rozbor vod: stanovení mikroskopického obrazu : komentář k ČSN 75 7711*. Praha: Vydavatelství norem, 1989.[cit. 05.02.2017].s. 34-36. ISBN 978-80-85111-05-7
- [6] POSPÍCHALOVÁ J. 2003: *Bakteriální původci průjmů – střevní patogeny*. Bakalářská práce, Masarykova univerzita v Brně 2003.[cit. 05.02.2017].Dostupné z internetu:https://is.muni.cz/th/381577/lf_b/Bakterialni_puvodci_prujmu_-_obligatni_strevni_patogeny.pdf
- [7] MASAROVA.L. 2000: *Fyziologie Bakterie*, prezentace. [cit. 08.02.2017]Dostupné z internetu: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2016/Bi7030/um/Bakterie_fyziologie_-_3.pdf
- [8] BAKTERIE.EU. *Bakterie – jednobuněčné organismy*[online].2016.[cit. 08.02.2017]. Dostupné z internetu: <http://www.bakterie.eu/koliformni-bakterie>
- [9] KATADYN. 2010: *Průvodce světem bezpečné pitné vody*. [cit. 10.02.2017]Dostupné z internetu: <http://files.bezpecnavoda.webnode.cz/200000193-010d70207e/PRŮVODCE%20SVĚTEM%20BEZPEČNÉ%20PITNÉ%20VODY.pdf>.
- [10] JANDA V. 2004: *Dezinfekce pitné vody a její vedlejší produkty*.1. vyd. České Budějovice: W&ET Team, 2004., s. 81-88. [cit. 12.02.2017] ISBN 80-239-2936-4
- [11] ČEŘOVSKÁ L., KOŽÍŠEK F.. 2004: *Současný stav vědomostí o zdravotních rizicích vedlejších produktů chlorace pitné vody*.1. vyd. České Budějovice: W&ET Team, 2004, s. 203-208.[cit. 17.02.2017] ISBN 80-239-2936-4
- [12] HRŮŽA, J. 2005: *Zlepšování filtračních vlastností vlákněných materiálů* . Kandidátská disertační práce, Technická univerzita v Liberci 2005.[cit. 20.02.2017].Dostupné z internetu: <http://files.jakub-hruza.webnode.cz/2000001122-ea57fec4bc/Zlepšován%C3%AD%20filtračn%C3%ADch%20vlastnost%C3%AD%20vlákněných%20materiálů.pdf>
- [13] KLEMENT J.2004: *Nové trendy při filtraci paliv pro vznětové motory*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně.[cit. 22.02.2017].Dostupné z internetu: http://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=66440;zp=42864;download_prace=1;lang=en
- [14] PICH, J. 1964: *Teorie filtrace*, Kandidátská disertační práce. Academia ČSAV Praha 1964.[cit. 20.02.2017]
- [15] ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA. 2003: *Fats and fatty oils to filtration*. 6st edition, Willey-vch 2003. [cit. 27.02.2017].ISBN: 3-527-30385-5
- [16] WALKEMAN, R.J.; TARLETON, E.S.1999: *Filtration*. First edition.Oxford: Elsevier Science Ltd.[cit. 27.02.2017].ISBN 1-856173453
- [17] PALATY,Z. aj. 2012: *Membránové procesy*. Praha: VŠCHT. [cit. 5.03.2017].ISBN: 978-80-7080-808-5
- [18] LEV, J. KALHOTKA, L. ČERNÝ, M. 2009: *Filtrace vody nanotextilií*. [cit. 5.03.2017]. ISBN 978-80-87294-13-0

- [19] JIRSÁK O., KALINOVÁ K.,2003: *Netkané textilie*. [cit. 8.04.2017]. ISBN 80-7083-746-2
- [20] CHVOJKA J.2012: *Přednáška 9 [Termické a chemické technologie výroby NT - přednášky]* Liberec. [cit. 8.04.2017]
- [21] PRODUCT SHEET: *Filtr Katadyn*. [cit. 10.04.2017]. Dostupné z internetu: <https://www.katadyn.com/en/de/89-2010000-katadyn-pocket>
- [22] PRODUCT SHEET: *Nanovláknenná vrstva*. [cit. 12.04.2017]. Dostupné z internetu: <http://www.elmarco.cz/upload/soubory/dokumenty/66-1-1-mrs-fall-boston-09.pdf>

9 PŘÍLOHA



Podrobnosti testu	
Kód testu	PAN_1 JHR EN1822/EN779
Typ testu	Testování filtračních vlastností iplošných vzorků podle normy EN 1822, nebo EN 779 – porovnávací vzorků
Zákazník/projekt:	
Pracoviště:	Technická univerzita v Liberci, OX1, Oddělení nanotechnologií a informatiky
Vypracoval:	Jakub Hruža
Datum testu:	

Parametry testu	Value	Unit
Filtrační plocha	100	cm ²
Filtrační rychlost	5.0	cm/sec
Prach/aerosol	DEHS	-
Náboj	no	-
Doba trvání testu	60	sec
Průtok vzduchu	30.0	l/min
Rozsah velikosti částic:	0.12 – 3.5	µm
počet měření jednoho vzorku	3,00	-
teplota	21	°C
vlhkost	54	%
atmosférický tlak	1010	mbar

Parametry vzorků a filtru	
Vzorek:	Popis vzorku:
type: wm090317.1	
type:	
	0
	0
	0
	0

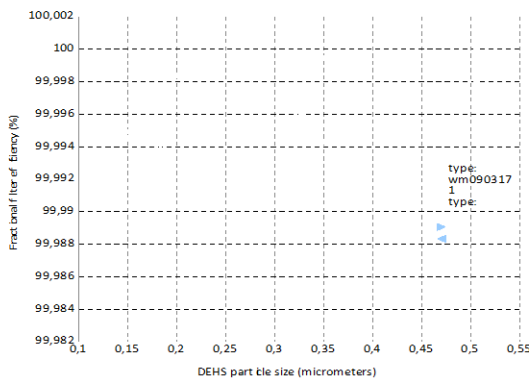
Testované veličiny	
Ap0 (Pa)	Tlakový spád na počátku filtrace
Ap1 (Pa)	Tlakový spád na konci filtrace (doba testu obvykle zhruba 1 minuta)
E mpps (%)	Účinnost záchytu částic s největším průřezem (minimální hodnota účinnosti). Obvykle to bývají částice o velikosti 0.1 – 0.3 µm.
E 0.4 (%)	Účinnost záchytu částic o velikosti 0.4 µm (vhodné pro EN 779)

Výsledky průměrných hodnot							
Vlastnost	Vzorek	type: wm090317.1	type:				
Ap ₀ (Pa)	1311 Pa	1142 Pa					
Ap ₁ (Pa)	1349 Pa	1162 Pa					
E mpps (%)	99,989	99,995					
E 0.4 (%)	99,995	100,000					
Filtrační třída	H13	H14					

sample	type: wm090317.1	type:				
X [µm]	E [%]	E [%]				
0,12	99,991998	99,99491				
0,129	99,992815	99,99491				
0,138	99,993652	99,99477				
0,149	99,994959	99,99453				
0,16	99,994593	99,99536				
0,172	99,994778	99,99688				
0,184	99,993866	99,99731				
0,198	99,990814	99,9982				
0,213	99,991193	99,99887				
0,229	99,990239	99,99892				
0,246	99,98875	99,99889				
0,264	99,98915	99,99921				
0,284	99,992801	99,99949				
0,305	99,99415	99,99955				
0,328	99,995972	99,99985				
0,352	99,994235	99,99944				
0,379	99,994557	99,99969				
0,407	99,994557	99,99969				
0,437	99,994557	99,99969				
0,47	99,993196	99,99961				
0,505	99,998104	100				

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Ústav pro nanotechnologii, polovodiče a technologií a inovace

Fract bnal f iter ef Efficiency of all test samples



min	99,99	99,99	0,00	0,00	0,00	0,00
mean	99,99	100,00	0,00/0!	0,00/0!	0,00/0!	0,00/0!

průměrné hodnoty

vzorek	type: wm090317.1	type:					
dP test sta	1311 Pa	1142 Pa					
dP test en	1349 Pa	1162 Pa					
E (MPPS)	99,98875	99,99453					
E (400 nm)	99,994557	99,99969					

směrodatné odchylky

vzorek	99,994778	99,99688					
dP test sta	0	0	0	0	0	0	
dP test en	0	0	0	0	0	0	
E (MPPS)	0	0	0	0	0	0	
E (400 nm)	0	0	0	0	0	0	