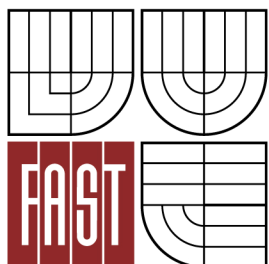




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# FILTRAČNÍ MATERIÁLY PRO VODÁRENKOU FILTRACI

THE FILTRATION MEDIA IN WATER TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ANETA NOVOTNÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2013



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby  
**Pracoviště** Ústav vodního hospodářství obcí

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Aneta Novotná

**Název** Filtrační materiály pro vodárenskou filtraci

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### Podklady a literatura

[1] American Water Works Association. Water Quality and Treatment : A Handbook of Community Water Supplies. Fourth Edition. New York : McGraw-Hill, 1990. 1193 s. ISBN 0-07-001540-6.

[2] Disinfection By-products in Water Treatment : The Chemistry of Their Formation and Control. Edited by Roger A. Minear and Gary L. Amy. Boca Raton : CRC Lewis, 1996. 502 s. ISBN 1-56670-136-8.

[3] American Water Works Association. Water Chlorination/Chloramination Practices and Principles : Manual of Water Supply Practices. Second Edition. Denver : AWWA, 2006. 176 s. ISBN 1-58321-391-0.

### Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

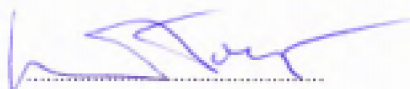
První část práce bude obsahovat podrobnou rešerši na téma vodárenská filtrace provedenou ze zahraniční literatury. Budou popsány dostupné a používané typy filtrů ve vodárenství, rovněž budou popsány používané filtrační materiály, a to jak běžně používané tak i moderní hmoty - (popis, obecné vlastnosti, sorpční účinnost při odstraňování látek z vody, atd...).

Ve druhé části práce bude proveden a popsán dílčí laboratorní pokus na modelovém filtru dle pokynů vedoucího práce.

### Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se především zabývá filtračními materiály pro úpravu pitné vody, jejich vlastnostmi, způsoby použití a snaží se představit nové možnosti při výběru filtračních materiálů na trhu. Pro lepší pochopení využití materiálů ve vodárenské filtraci se práce zabývá i vodárenskou filtrací obecně. Jde především o pomalou biologickou filtraci a rychlofiltraci, ale je zde popsána i další možnost filtrace přes zrnitý materiál jako je tlaková písková filtrace. V neposlední řadě je zde popsána také stále více se rozvíjející membránová technologie. V praktické laboratorní části se práce zaměřuje na tlakové ztráty na filtru, které byly u vybraných filtračních materiálů získány na modelovém zařízení filtrační kolony. Tyto údaje jsou v praxi důležitým ukazatelem pro výběr filtračního materiálu podle potřeb provozu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Filtrační materiál, tlaková ztráta, pomalá písková filtrace, rychlofiltr, praní filtru

## **ABSTRAKT**

This bachelor thesis mainly deals with filter media for treatment of drinking water, their properties, uses and try to imagine new possibilities for choosing of filter materials on the market. To better understand the use of materials in water filtration, the work deals with the local water filtration generally. These are mainly slow biological filtration and high-rate filtration, but there is also described the possibility of further filtration through a granular material such as sand filtration pressure. Finally, Here is described also increasingly developing membrane technology. In the laboratory practical part deals with on the pressure loss on the filter, which were selected by the filter material obtained device model filtration column. These data are, in practice, an important indicator for the selection of filter material according to traffic needs.

## **KEYWORDS**

Filtration media, pressure drop slow sand filtration, high-rate filter, filter backwashing

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

NOVOTNÁ, Aneta. *Filtrační materiály pro vodárenskou filtraci*. Brno, 2013. 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D..

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2013

.....

Aneta Novotná

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat:

- Vedoucímu práce Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D. za odbornou spolupráci, rady, připomínky, pomoc a trpělivost při realizaci této bakalářské práce.
- Mému spolužákovi Janu Kukolovi za technickou a praktickou pomoc při praktických zkouškách v laboratořích.
- Panu Jiřímu Malimánkovi, z firmy KOWA Ledec nad Sázavou, za poskytnutí informací a podkladů.

# OBSAH

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>1</b>    | <b>ÚVOD.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2</b>    | <b>VODÁRENSKÁ FILTRACE.....</b>                         | <b>4</b>  |
| <b>2.1</b>  | <b>Pomalá biologická filtrace (anglická) .....</b>      | <b>5</b>  |
| 2.1.1       | Uspořádání pomalého filtru .....                        | 7         |
| 2.1.2       | Regenerace filtrační náplně.....                        | 8         |
| 2.1.3       | Použití pomalé filtrace.....                            | 9         |
| <b>2.2</b>  | <b>Rychlá filtrace.....</b>                             | <b>10</b> |
| 2.2.1       | Filtrační cyklus.....                                   | 11        |
| 2.2.2       | Druhy rychlofiltrů .....                                | 11        |
| 2.2.3       | Regenerace rychlofiltru .....                           | 14        |
| 2.2.4       | Prací cykly .....                                       | 14        |
| <b>2.3</b>  | <b>Tlakové PÍSKOVÉ filtry.....</b>                      | <b>15</b> |
| 2.3.1       | Účinnost filtrace.....                                  | 16        |
| 2.3.2       | Praní pískového filtru .....                            | 16        |
| 2.3.3       | Hlavní přednosti tlakového pískového filtru.....        | 16        |
| <b>2.4</b>  | <b>Náplavná filtrace.....</b>                           | <b>16</b> |
| <b>2.5</b>  | <b>Membránové technologie.....</b>                      | <b>17</b> |
| <b>2.6</b>  | <b>Hodnocení provozu filtrů.....</b>                    | <b>20</b> |
| <b>3</b>    | <b>FILTRAČNÍ MATERIÁLY .....</b>                        | <b>23</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>VÝBĚR VHODNÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ.....</b>        | <b>23</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>Vodárenský křemičitý písek Dorsilit .....</b>        | <b>25</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>Aktivní uhlí Filtrasorb F100 .....</b>               | <b>26</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>Birm .....</b>                                       | <b>27</b> |
| <b>3.5</b>  | <b>Filtralite .....</b>                                 | <b>28</b> |
| <b>3.6</b>  | <b>Green sand .....</b>                                 | <b>29</b> |
| <b>3.7</b>  | <b>Bayoxide E33.....</b>                                | <b>30</b> |
| <b>3.8</b>  | <b>CFH 12.....</b>                                      | <b>31</b> |
| <b>3.9</b>  | <b>DOLOMIT HD (Semidol) a JURACORN CC .....</b>         | <b>32</b> |
| <b>3.10</b> | <b>HYDROANTRACIT H a N .....</b>                        | <b>33</b> |
| <b>4</b>    | <b>PRAKTICKÉ ZKOUŠKY TLAKOVÝCH ZTRÁT NA FILTRU.....</b> | <b>34</b> |
| <b>4.1</b>  | <b>Modelové zařízení a postup procesu .....</b>         | <b>34</b> |
| <b>4.2</b>  | <b>Výsledky.....</b>                                    | <b>36</b> |
| 4.2.1       | Kolona naplněná vodou .....                             | 36        |



---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.2.2    | Vodárenský písek Dorsilit .....                 | 37        |
| 4.2.3    | GAU Filtrasorb 100.....                         | 38        |
| 4.2.4    | Birm .....                                      | 39        |
| 4.2.5    | CFH 12 .....                                    | 40        |
| 4.2.6    | Green sand .....                                | 41        |
| 4.2.7    | Souhrn tlakových ztrát.....                     | 42        |
| <b>5</b> | <b>ZÁVĚR.....</b>                               | <b>44</b> |
| <b>6</b> | <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                 | <b>46</b> |
|          | <b>SEZNAM TABULEK .....</b>                     | <b>47</b> |
|          | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                     | <b>48</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b> | <b>50</b> |
|          | <b>SUMMARY .....</b>                            | <b>51</b> |

# 1 ÚVOD

Téma „Filtrační materiály pro vodárenskou filtraci“ jsem si pro svou bakalářskou práci vybrala především z důvodu, že bych se ve své budoucí profesi chtěla uplatnit právě v oboru úpravy čisté vody a vodárenství. Byla mi také nabídnuta možnost praktického zkoušení filtračních materiálů na modelovém zařízení v laboratoři, které jsem do bakalářské práce také zahrнула.

Celá práce je rozdělena do tří základních částí:

V první části je popsána obecně filtrace jako taková a poté různé druhy filtrace přes zrnitý materiál jako je pomalá biologická filtrace, rychlofiltrace, tlaková písková filtrace, náplavná filtrace a v neposlední řadě i v poslední době se rozvíjející membránová technologie filtrace. Nakonec jsou popsány možnosti hodnocení provozu filtrů, které zahrnují měření a záznam průtoku vody filtrem, měření celkové tlakové ztráty ve filtrační náplni a sledování a záznam alespoň jednoho ukazatele kvality filtrátu z každého filtru (například měření zákalu, měření absorpance a sledování částic počítačem).

Druhá část je zaměřena na výběr vhodných filtračních materiálů a jejich vliv na provoz filtrů. Jsou zde jednotlivě popsány dlouhodobě používané, ale i nové filtrační materiály s možností jejich použití a jejich specifickými vlastnostmi.

Poslední třetí část je praktická laboratorní práce s modelovým pískovým filtrem. V modelovém zařízení se postupně měnily filtrační materiály: vodárenský křemičitý písek Dorsilit, aktivní uhlí Filtrasorb F100, Birm, CFH 12 a Green sand . Zjišťovány byly tlakové ztráty na filtru při rovnoměrném zvyšování průtoku filtrem u každého z materiálů. Výsledky byly zapsány do tabulek a jejich průběh je zobrazen na grafech průběhu tlakové ztráty.

## 2 VODÁRENSKÁ FILTRACE

Filtrace se řadí do procesů s názvem separace. Tímto procesem se ze surové vody odseparovávají některé z pevných látek, a to ve formě suspendovaných, koloidních, či rozpuštěných látek. Při úpravě vody se s filtrací setkáme jak při jednostupňové, tak i při dvoustupňové a vícestupňové úpravě. Při jednostupňové úpravě je filtrace jediným článkem separace. U dvoustupňové úpravy může filtrace tvořit oba stupně separace a v tomto případě se jedná o dvoustupňovou filtraci.

Rozlišujeme dva základní druhy filtrace:

- Filtrace vrstvou zrnitého materiálu- objemová filtrace
- Filtrace na filtrační přepážce- náplavná filtrace

Objemovou filtrací se z vody separují částice nerozpuštěných látek, jejichž velikost je menší než velikost zrn filtrační náplně, tj. velikost 0,5 – 0,3 mm. Jako filtrační náplň se používá nejčastěji křemičitý písek a méně často antracit, aktivní uhlí, křemelina, plast atd. Materiál musí splňovat dva technické požadavky, a to dostatečná odolnost proti otěru a chemická stálost.

Při náplavné filtraci se částice nerozpuštěných látek zachytí na vrstvě jemného materiálu (velikost zrn 2-3 mm) naplaveného na filtrační přepážce, která je tvořena tkaninou ze syntetických vláken, jemného drátěného pletiva, plsti atd. Filtrační vrstva se tvoří za provozu díky zachycených částic a přidávaného naplavovaného materiálu, který tvoří například rozsivková zemina (diatomit), perlit, celulózové materiály, křemelina, drcený koks apod.

Další členění filtrů je podle odbourávání nečistot z vody, a to procesem fyzikálním a biologickým. S tímto je spojena i rychlost filtrace. Biologický způsob odbourávání nečistot vyjadřuje pomalou rychlost a fyzikální způsob naopak vyšší rychlost. Tyto způsoby pak nazýváme pomalou biologickou filtrací a rychlofiltrací. [2]

Když prochází upravovaná voda zrnitým nebo porézním materiálem, tak zachycování částic z vody nastává na základě těchto procesů:

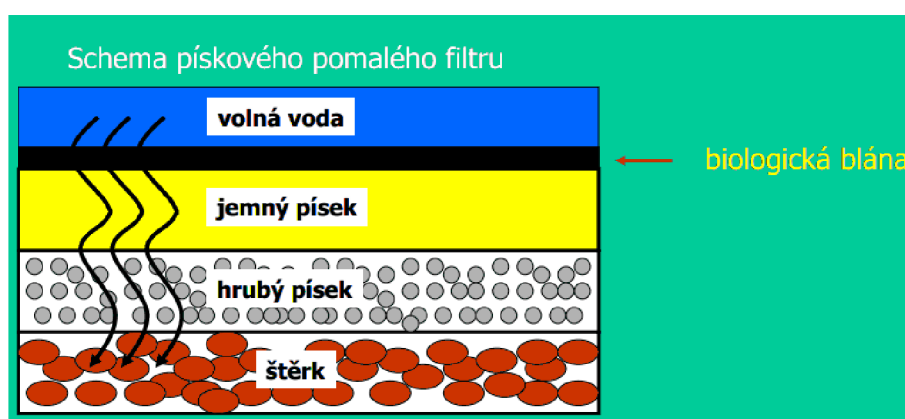
- mechanického cezení, přičemž větší částice nepronikají do menších mezer,
- adsorpce působením van der Waalových a elektrostatických Coulombových sil,
- chemického působení filtrační vrstvy u aktivních materiálů např. při odkyselování, odželezování a odmanganování vod,
- biologického, působením oživení na filtrační vrstvě, zejména u pomalé filtrace.[3]

## 2.1 POMALÁ BIOLOGICKÁ FILTRACE (ANGLICKÁ)

Úprava vody pomalou biologickou filtrací je analogií čistících procesů povrchových vod v přírodě. Proces odbourávání nečistot biologickým způsobem probíhá na povrchu a v horní vrstvě filtračního lože, kde vzniká tzv. biologická filtrační blána. Tato vrstva je složena z organických i anorganických nečistot a oživena aerobními mikroorganismy a řasami. Mikrobiální oživení je právě tím, co odstraňuje nečistoty biologickou cestou. Mikrobiální vrstva má mocnost od několika milimetrů po 1 - 2 cm. Pokud však vrstva dosáhne větší tloušťky, vytváří se tlakové ztráty na filtru a proces filtrace ztrácí na účinnosti nebo se úplně zastavuje.

Aerobní mikroorganismy jsou obsaženy ve filtračním loži až do hloubky 30-40 cm pod jeho povrch. Podmínkou pro působení aerobních organismů při biologické filtraci je přítomnost kyslíku v upravované vodě. Pokud tuto podmínku nesplňuje, používá se jednoduché provzdušnění, např. pouze hydraulickým skokem. Mikrobiální odstraňování nečistot aerobními mikroorganismy spočívá v destrukci organických nečistot při metabolickém procesu přítomných mikroorganismů za přítomnosti kyslíku. Dochází k mineralizaci organických nečistot. Biologickou vrstvou se separuje část organických látek, nežádoucích mikrobů a koliformních zárodků, a také jsou odstraňovány suspendované látky, koloidní látky, makroorganismy a mikroorganismy.

Pomalá biologická filtrace byla poprvé použita v roce 1829 v Anglii J. Simpsonem, který zkonstruoval tyto filtry. Díky tomu se vedle názvu pomalá a biologická používá název anglická filtrace. Do Evropy se anglická filtrace dostala v 2. polovině 19. století. V České republice byly první pomalé filtry vybudovány v Brně v roce 1892. V dnešní době se pomalá biologická filtrace používá z důvodu pomalé filtrační rychlosti pro malé zdroje vody, které splňují podmínky dostatečného množství kyslíku a nízkého zákalu.



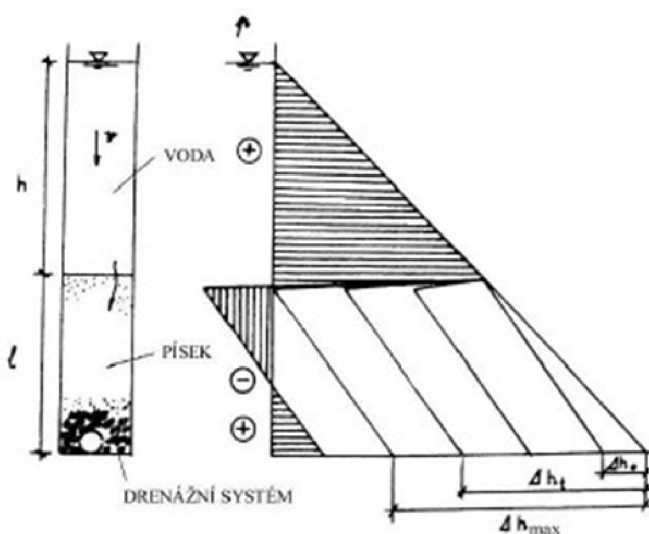
Obrázek 2.1: Schéma pomalého pískového filtru [12]

Voda vhodná pro pomalou filtraci nesmí přesáhnout hodnoty  $6 \text{ mg.l}^{-1} \text{ O}_2$  CHSK<sub>Mn</sub>,  $30 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt}$  barvy,  $50 \text{ mg.l}^{-1}$  nerozpuštěných látek a  $100 \text{ mg SiO}_2.\text{l}^{-1}$  zákalu. Filtrační

rychlost závisí na množství nerozpuštěných látek v surové vodě, při jejich koncentraci do  $25 \text{ mg.l}^{-1}$  je filtrační rychlost  $0,2 - 0,3 \text{ m.h}^{-1}$ , při koncentraci  $25 - 50 \text{ mg.l}^{-1}$  je rychlost  $0,1 - 0,2 \text{ m.h}^{-1}$ . Pomalá filtrace se používá ve vsakovacích nádržích pro umělou infiltraci.

Existují fáze pomalé filtrace, v nichž má biologická blána různou tloušťku a tím i jinou účinnost úpravy vody. Na počátku vzniku blány je účinnost nízká, protože vrstva čistících mikroorganismů není dostatečná. Naopak v rozhodující fázi je zde dostatek mikroorganismů a díky tomu je blána vitální a má dobrý separační efekt. V poslední fázi se blána bytí a stává se nepropustnou. Následkem zvyšování filtrační blány vzrůstá ztráta tlaku na filtru. Pokud se tlaková ztráta zvýší na  $0,5 \text{ m}$ , je třeba blánu odstranit. Po odstranění staré blány se nová musí vytvořit a tento proces nazýváme zapracování filtru. Čas, který je pro zapracování filtru potřeba, se v průběhu roku mění. V létě je to  $1 - 2$  týdny a v zimě cca  $4 - 6$  týdnů. Doba filtrace po zapracování blány je v létě  $1 - 3$  měsíce a v zimě může být dvojnásobná.

Při průchodu vody přes biologickou blánu narůstá tlaková ztráta a následně narůstá i při průchodu vody filtračním pískovým ložem v procesu filtrace. Na obrázku 2.2 je znázorněno postupné zanášení pomalého filtru. U pomalého filtru vzniká rozhodující ztráta na jeho povrchu neboli v biologické bláně. Při filtračním procesu je průběh křivek tlakových ztrát odlišný. Na začátku filtrace v čase  $t_0$  je tlaková ztráta  $\Delta\eta_0$  podobná jako u rychlofiltrů. Při postupném narůstání blány v čase  $t$  je tlaková ztráta  $\Delta\eta_t$ . Maximální přípustná tlaková ztráta je  $\Delta\eta_{\max}$  v čase  $t_{\max}$ . Při pokračování filtrace nad dobu  $t_{\max}$  je zanášení horní vrstvy filtru natolik velké, že se stává téměř nepropustnou. Dříve přefiltrovaná voda odtéká ze spodních vrstev lože a v loži nastává podtlak (na obrázku 2.2 vyznačeno svíslým šrafováním a záporným znaménkem). Tento proces filtrace je nepřijatelný. [2]

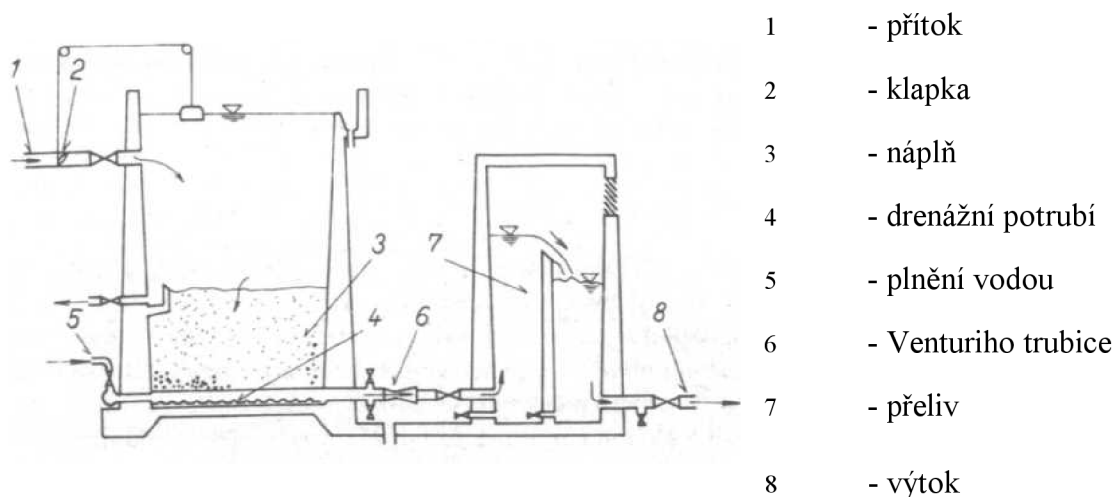


Obrázek 2.2: Zanášení pomalého filtru (tlakové ztráty) [2]

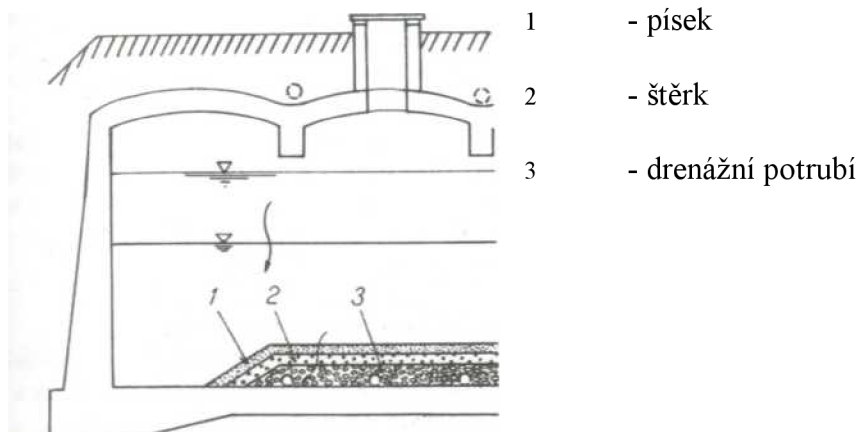
### 2.1.1 Uspořádání pomalého filtru

Z velké části se při pomalé filtraci využívá filtrační materiál křemičitý písek, který má zrnitost 0,1 - 1,0 mm (0,2 - 0,5 mm). Filtrační pískové lože by mělo mít výšku 1,0 - 1,2 m. Pod tímto ložem je drenážní vrstva, která je okolo drenáže. Na dně filtru je drenážní soustava, která sbírá přefiltrovanou vodu. Zpravidla se používají děrované nerezové trouby, kameninové trouby, prefabrikované betonové tvárnice s otvory při dně, kanálky ve dně filtru, přikryté betonovými tvárnici s mezerami, nebo kanálky vytvořené z cihlové rovnaniny. Rozdělovací vrstvu tvoří postupný obsyp s velikostí zrn 16 – 32 mm, 8 – 16 mm, 4 – 8 mm, 2 – 4 mm o výškách přibližně 100 mm. Drenážní obsyp má zabránit jemnému písku prostupu do drenáže. Doporučená výška vody nad filtrační náplň je 1,2 - 1,5m (minimálně 0,5m). Přívod vody do filtru se musí umístit tak, aby víření vody nad pískem bylo minimální. Filtrační kapacita pomalého filtru na 1 m<sup>2</sup> filtrační plochy je 0,5 – 1,0 kg suspendovaných látek. Potřebnou filtrační plochu je vhodné dělit do více filtračních jednotek, kvůli tomu, že část filtrační plochy při zapracování filtrů není využita pro filtraci vody. Schéma pomalého filtru je na obrázcích 2.3 a 2.4. [2]

Rychlost filtrace pomalých filtrů závisí na obsahu suspendovaných látek v upravované vodě. Navrhují se nejméně dvě filtrační jednotky. Rozsah rychlostí bývá 2 - 5 m za den. [3]



Obrázek 2.3: Otevřený pomalý filtr [3]



Obrázek 2.4: Zaklenutý pomalý filtr [3]

Celková vrstva filtrační náplně může mít složení, jak uvádí například následující tabulka:

Tabulka 2.1: Druh, velikosti zrn a tloušťka náplně [3]

| Druh néplně      | Velikost zrna (mm) | Tloušťka vrstvy (cm) |
|------------------|--------------------|----------------------|
| Filtrační vrstvy | 0,3 – 1,0          | 100 – 120            |
| Přechodné vrstvy | 1,0 – 2,0          | 5                    |
|                  | 2,0 – 4,0          | 10                   |
|                  | 4,0 – 8,0          | 10                   |
| Obložení drénů   | 8,0 – 16,0         | 10                   |
|                  | 18,0 – 32,0        | 15                   |

### 2.1.2 Regenerace filtrační náplně

Když dosáhne odpor filtru maximální hodnoty, musí se vrchní zanesená vrstva seříznout. Při ruční regeneraci se seškrábne svrchní biologická blána z povrchu filtračního lože a následně se odstraní na skládku. Seškrábnutá vrstva má výšku asi 2 – 4 cm. Pokud se výška filtrační vrstvy sníží na 50 - 60 cm, doplní se vrstva do původní výšky. Když byly pomalé filtry používané pro velké zdroje vody a měly velkou plochu, zkonstruovaly se různé systémy pro seškrabávání biologické blány mechanickým strojním systémem. V dnešní době se tyto případy nevyskytují.

Zpracování pomalého filtru trvá v létě 1 týden a v zimě 2 - 3 týdny. Přerušení přívodu kyslíku mikroorganismům v bláně lze maximálně 24 hod, a proto se nedoporučuje přerušovat filtraci, v případě potřeby je lepší snížit výkon. Při zpracování pomalého filtru se filtrovaná voda pouští do odpadu. [2]

### 2.1.3 Použití pomalé filtrace

Provozně je úprava povrchových vod pomalou filtrací jednoduchá, nenáročná, nemá speciální požadavky na kvalifikaci obsluhujícího personálu ani na spotřebu provozních hmot. Pomalá filtrace ponechává upravené vodě v největší míře její přirozený charakter.

Kvůli malé rychlosti filtrace je potřebná velká obestavěná plocha, která se musí chránit proti mrazu. Nadstavba s minimální konstrukční výškou (2 m od povrchu filtrační náplně) je investičně nákladná. Proto se u nás používají úpravní s pomalou filtrací jen pro malé výkony. V zahraničí se zejména v rozvojových zemích, stále využívají úpravní s pomalou filtrací pro výkony až  $1\ 000\ \text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Pomalé filtry se používají jako samostatný stupeň úpravy, nepřidává se před něj koagulace a sedimentace. Kromě vysokých nároků na provozní plochu vyžadují kvůli velké době zdržení i omezení přístupu světla, aby se zabránilo růstu řas. Při provozování je nutné brát i ohled na problematiku nízkých teplot upravované vody. [3]



## 2.2 RYCHLÁ FILTRACE

Rychlá filtrace je nejpoužívanější technologií při úpravě vody. Rychlofiltry se od pomalých filtrů zásadně liší hrubší zrnitostí náplně (podle typu konstrukce v rozmezí 1 - 5 mm), vyšší filtrační rychlostí a tím i menší potřebnou plochou. Doporučená filtrační rychlost u otevřených rychlofiltrů je  $3,6 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$  -  $7,2 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$  (většinou  $5 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Z hlediska různých aspektů můžeme rychlé filtry rozdělit:

- podle režimu proudění:
  - otevřené (gravitační),
  - tlakové,
- podle konstrukce:
  - evropské,
  - americké,
- podle směru proudění:
  - protékané shora dolů,
  - protékané zdola nahoru,
  - protékané obousměrné,
- podle způsobu provozu:
  - s cyklickým praním,
  - s kontinuálním praním,
- podle počtu vrstev:
  - jednovrstvé,
  - vícevrstvé. [3]

Poprvé byly rychlofiltry uvedeny do provozu v Somerville (New Jersey, USA) roku 1885 a v Evropě poté v roce 1895 v Curychu ve Švýcarsku. Většina současných konstrukcí je založena na stejném principu jako v minulosti, a to na průtoku vody zatopenou vrstvou písku směrem shora dolů gravitací.

Kolmatace, neboli zanášení vrstvy, se projevuje zvýšením ztrátové výšky ve filtrační vrstvě za určitý čas. Čas, po který je rychlofiltr schopen provozu, závisí na velikosti zrn a množství a druhu suspendovaných látek v upravované vodě. Je však mnohem kratší než doba provozu pomalého filtru. Filtrační cyklus rychlofiltru trvá zpravidla jeden až několik dní. [2]

## 2.2.1 Filtrační cyklus

Pro délku filtračního cyklu jsou kvalita filtrátu a ztrátová výška velice významnými aspekty filtrace. Pro zákal je to 5 NTU (nefelometrických jednotek). Velikost ztrátové výšky u otevřeného rychlofiltru se pohybuje do 2 m v.sl..

Dle kalové kapacity se přibližně určuje délka filtračního cyklu. Kalová kapacita je hmotnost nečistot zachycených v objemu vrstvy o ploše 1 m<sup>2</sup> po výšce vrstvy l a závisí na druhu suspenze, rychlosti a druhu náplně. Kalová kapacita rychlofiltru se pohybuje v rozmezí 2.103 - 4.103 g.m<sup>-2</sup>.

Délka filtračního cyklu t (s) dle kalové kapacity se vypočítá:

$$t = \frac{K}{c_0 \cdot v} \quad (2.1) [4]$$

K ... kalová kapacita (g.m<sup>-2</sup>)

c<sub>0</sub> ... hmotnostní koncentrace na přítoku (g.m<sup>-3</sup>)

v ... povrchová rychlost (m.s<sup>-1</sup>)

Kalová kapacita se určuje experimentálně, a to odebráním sond z různých vrstev náplně.[4]

## 2.2.2 Druhy rychlofiltrů

Podle směru proudění dělíme rychlofiltry na:

- protékané shora dolů,
- protékané zdola nahoru,
- protékané obousměrně,

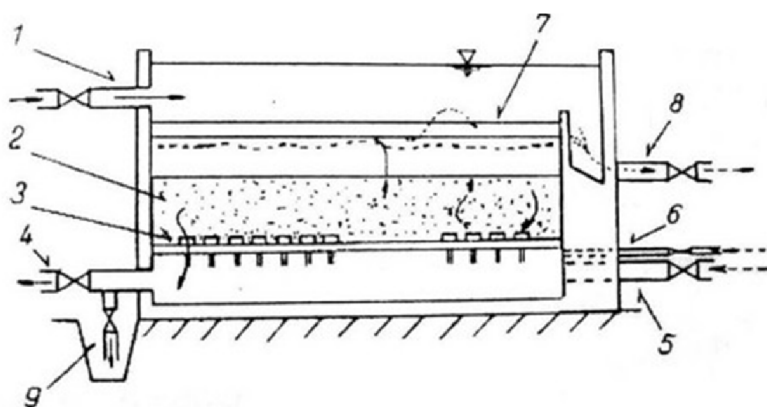
Nejpoužívanějším typem je otevřený rychlofiltr s průtokem shora dolů (obrázek 2.5). Suspenze přitéká potrubím pod hladinou vody. Protéká filtrační vrstvou a následně filtračními hlavicemi uloženými na mezidně do prostoru pod mezidnem. Odtud odtéká potrubím do akumulární nádrže. Čárkami je znázorněn postup praní filtru. Prací voda a prací vzduch se přivádí potrubím umístěným vedle sebe pod mezidno. Prací voda přepadá do žlabu, jímž odtéká do sběrného žlabu a odtud potrubím do odpadu, kam se rovněž po regeneraci filtru odvádí potrubím první filtrát.

Filtr s průtokem směrem zdola vzhůru (obrázek 2.6) vznikl, aby se lépe využilo mezer mezi hrubšími zrny ve spodní části filtrační vrstvy. Upravovaná voda se přivádí potrubím pod mezidno a odvodušnění tohoto prostoru pod mezidnem se provádí také potrubím

umístěným nad sebou. Na mezidnu je uložena vrstva štěrku a písku, přičemž nad úrovní písku je umístěna mříž, která zabraňuje vznesení horní vrstvy. Odtok přefiltrované vody je řešen potrubím v horní části filtru nad mříží.

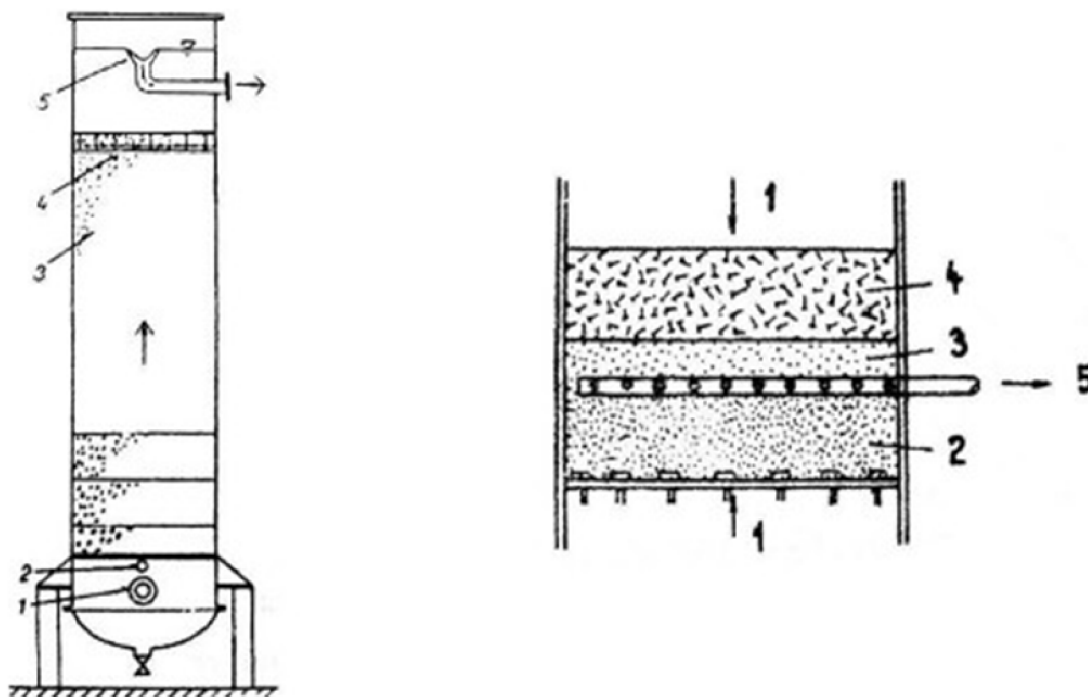
Ve srovnání s filtry s průtokem směrem shora dolů je objem mezer využitelný pro akumulaci kalu větší. Vzniká však nebezpečí, že při zanášení horní vrstvy složené z menších zrn dojde vlivem zvýšené rychlosti k jejich vznosu. To může mít za následek průnik kalu.

Nebezpečí vznosu horní vrstvy filtračního media při průtoku směrem zdola vzhůru se odstraní, když se odběr umístí ve filtrační vrstvě (obrázek 2.7). Průtok je obousměrný, spodní se přivádí do vrstvy pískových zrn a horní do vrstvy antracitu. Odtok filtrované vody v pískové vrstvě je řešen drenážním potrubím uvnitř vrstvy. Filtrační medium je dvoustranné. Antracitová zrna mají menší měrnou hmotnost a jsou větší než zrna písku.



Obrázek 2.5: Otevřený rychlofiltr [4]

- |                                |                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1- Přítok                      | 6- Přívod pracovního vzduchu         |
| 2- Filtrační vrstva            | 7- Žlab                              |
| 3- Zcezovací hlavice na mezdně | 8- Odpadní potrubí                   |
| 4- Odtok                       | 9- Odvod prvního filtrátu po vyprání |
| 5- Přívod pracovní vody        |                                      |



**Obrázek 2.6 a 2.7: Filtr protékáný obráceně (vlevo) a filtr s oboustranným průtokem (vpravo) [4]**

- |                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 1- Přívod                         | 1- Příklad              |
| 2- Odvzdušnění prostoru           | 2- Vrstvy pískových zrn |
| 3- Vrstva štěrku a písku          | 3- Děrované potrubí     |
| 4- Mříž proti vznosu horní vrstvy | 4- Vrstva antracitu     |
| 5- Odtok                          | 5- Odtok                |

Podle režimu proudění rozdělujeme filtry na: otevřené (gravitační),  
uzavřené (tlakové),

U otevřených rychlofiltrů je k dispozici pro překonání odporu filtračního prostředí výška vodního sloupce mezi hladinou nad povrchem filtrační náplně a na výtoku za filtrem. Rozdíl vodního sloupce slouží k překonání odporu vrstvy, drenážní soustavy, odporu regulačního uzávěru a ztrát při proudění potrubím. Největší ztrátová výška ve vrstvě bývá zpravidla 2 m. Otevřené filtry se používají v úpravách pitné vody přednostně, neboť jsou provozně zcela spolehlivé.

Dle způsobu praní se používají tři způsoby rozrušení vrstvy:

- Mechanickými pádly po celé výšce vrstvy (vyžaduje kruhový půdorys a složitý převodový mechanismu, dnes již nepoužívaný způsob)

- Vháněním bublin vzduchu vespod vrstvy (využití u otevřeného evropského rychlofiltru). Praní probíhá ve třech fázích:
  1. fáze - vzduchem o intenzitě  $14 - 18 \text{ l.s}^{-1}$  na  $\text{m}^2$  po dobu 3 - 5 minut,
  2. fáze - vodou o intenzitě  $4 - 5 \text{ l.s}^{-1}$  na  $\text{m}^2$  a současně vzduchem  $10 - 15 \text{ l.s}^{-1}$  na  $\text{m}^2$  podobu 3 - 6 minut,
  3. fáze - vodou o intenzitě  $6 - 8 \text{ l.s}^{-1}$  na  $\text{m}^2$  po dobu 5 - 10 minut.
- Prameny vody vytékající do horní vznesené vrstvy (využívá se u otevřeného amerického filtru, pere se shora i zdola) [4]

### 2.2.3 Regenerace rychlofiltru

Z části se o regeneraci filtru psalo v předešlé kapitole 2.2.2. Prvotní ukazatele pro zahájení regenerace filtru jsou:

- překročení tlakové ztráty (ztrátové výšky) ve filtrační náplni,
- překročení zákalu ve filtrované vodě,
- překročení limitního množství Al či Fe z koagulantu proniklého do filtrované vody,
- překročení teoreticky přípustné doby filtračního cyklu (zahnívání organických látek ve filtračním loži).

U otevřených filtrů se používá dolního a horního praní. Jsou dva druhy otevřených rychlofiltrů, a to americký a evropský, přičemž způsob regenerace je jedním z rozhodujících rozdílů těchto filtrů. U amerických filtrů je praní filtrů horní a dolní vodou, a není použit k praní vzduch. U evropských filtrů se nepoužívá horní způsob praní. Spodní praní je buď jen vodou, nebo kombinovaně vodou a vzduchem ve třech fázích.

### 2.2.4 Prací cykly

#### Americký filtr

1. cyklus praní je horní, kdy se vodními paprsky rozruší horní vrstva náplně. Doba praní je přibližně 2 - 4 minuty. Voda se rozstříkuje pomocí trysek umístěných na Segnerově kole, které je poháněno hydraulicky a je nad hladinou ve filtru.
2. cyklus je praní spodní a horní. Voda se vhání zdola do drenážního systému a rozrušuje pískové lože, zároveň pokračuje praní shora. Tento cyklus trvá přibližně 2 - 3 minuty.
3. cyklus je pouze praní ze spodu a trvá asi jen 1 - 3 minuty.

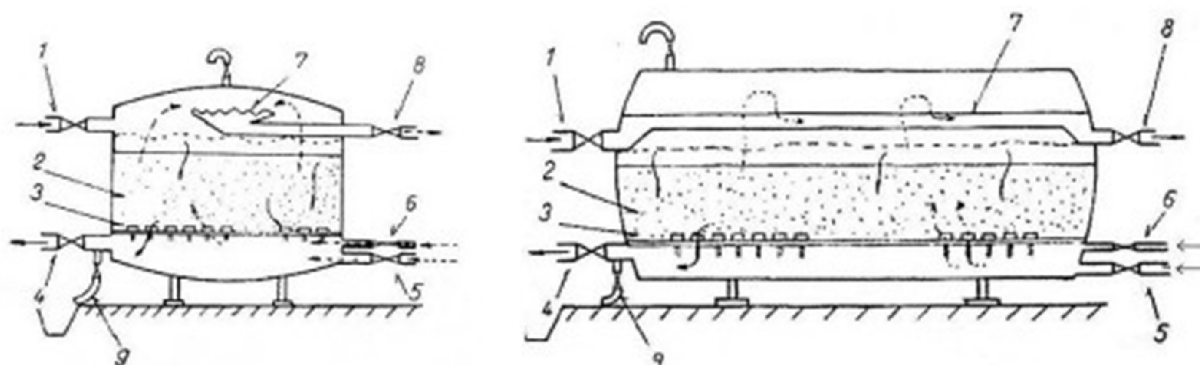
## Evropský filtr

1. cyklus je praní vzduchem. Vzduch, který je pod tlakem, se vhání vzduchovým roštem umístěným pod filtrační náplní. Doba praní je 3 - 5 minut s intenzitou  $17 - 22 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .
2. cyklus je praní vodou a vzduchem zároveň. Intenzita vzduchu je  $10 - 15 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  a intenzita prací tlakové vody je  $4 - 5 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . Ta se přivádí vodním roštem, který se nachází pod filtrační náplní. Doba praní je 5 - 10 minut.
3. cyklus praní je již pouze vodou a nazývá se dopírání. Uzavře se přívod vzduchu a zvýší se intenzita prací vody na  $6 - 8 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . Doba praní je 10 - 20 minut. [2]

Když je regenerace filtru dokončena, přivede se filtr do provozního režimu. Jelikož není filtrační náplň zpočátku dostatečně usedlá a obsahuje tak zbytky neodplavených nečistot, je proto vhodné asi 3 - 5 minut provádět tzv. zfiltrování. Filtrovaná voda je tedy pouštěna do odpadu a po ukončení tohoto procesu je filtr připraven k plnohodnotné filtraci. [2]

## 2.3 TLAKOVÉ PÍSKOVÉ FILTRY

Tlakové pískové filtry jsou vyvinuty pro úpravu a filtraci vody v provozech, kde vzniká potřeba udržení přetlaku vody. V průmyslových úpravnách vody se z ekonomických důvodů budují tlakové filtry. Jsou to vodotěsné uzavřené válcové nádoby s osou umístěnou ve svislé (obrázek 2.8) nebo vodorovné (obrázek 2.9) poloze. Ztrátová výška v tlakových filtrech bývá do 5 m v. sl., rychlost filtrace až  $40 \text{ m.h}^{-1}$ . Pro úpravu pitné vody se tlakové filtry používají při úpravě podzemní vody. Nevylučují se však v odůvodněných případech i pro úpravu povrchové vody. [4]



Obrázek 2.8 a 2.9: Stojatý (vlevo) a ležatý (vpravo) tlakový filtr [4]

Je nutné upozornit, že kolem tlakových filtrů je nutno zajistit dostatečný prostor nejen pro obsluhu a údržbu, ale i pro demontáž. Je to dáno tím, že tlakové filtry jsou na rozdíl od filtrů otevřených vždy zhotoveny z kovových materiálů a jejich životnost je kratší. Výhodou tlakových filtrů je i to, že neposkytují tolik možností pro riziko druhotné kontaminace upravované vody jako filtry otevřené. Nevýhodou tlakových filtrů je obtížná kontrola vnitřku filtru z hlediska jeho stavu, zejména pak z hlediska funkčnosti náplně, účinnosti praní a rovnoměrnosti průtoku. [3]

### 2.3.1 Účinnost filtrace

Filtrační lůžko pískového filtru je schopno odfiltrovat látky větší než 20  $\mu\text{m}$ . Během procesu filtrace se ve filtrační vrstvě vytvoří „filtrační koláč“, který umožňuje odfiltrovat i menší částice. Účinnost filtrace lze zvýšit použitím látek, které jsou schopné vytvořit se suspendovanými látkami vločky, které lze oddělit usazováním v čířiči s následnou filtrací nebo přímo filtrací na pískovém filtru.

### 2.3.2 Praní pískového filtru

Praní pískového filtru se provádí buď systémem střídaného praní vodou a vzduchem nebo velmi jednoduchým a výhodným praním současně vodou i vzduchem. Toho se využívá u praní jednosložkového pískového lůžka, načež hlavní výhodou je úspora prací vody o 30 až 40 % (to v praxi přináší úsporu při tvoření zásob prací vody a při akumulaci odpadních pracích vod). Systém praní pískového filtru se dá velmi jednoduše automatizovat s kratšími celkovými dobami praní.

### 2.3.3 Hlavní přednosti tlakového pískového filtru

- možnost zařazení filtrů do tlakových okruhů,
- použití vícevrstvé filtrační vrstvy zvyšuje filtrační kapacitu filtru,
- plná automatizace režimu praní filtru,
- 30 - 40 % úspora prací vody při současném praní filtru vodou a vzduchem,
- u dvoukomorových filtrů je možnost použití filtrované vody z jedné komory pro praní pískového lože komory druhé. [9]

## 2.4 NÁPLAVNÁ FILTRACE

Náplavná filtrace stejně jako pomalá filtrace vychází z procesů v přírodě a využívá převážně přírodní materiály. U náplavné filtrace je principem poznatek, že na zachycování částic zákalu má největší účinek vrstva naplavených částic. Před zahájením provozu se naplavuje na tkanivo mostící vrstva jemného materiálu (např. azbestová vlákna). Takto naplavená vrstva funguje podobně jako filtrační blána pomalého filtru- nečistoty se zachycují v mělké vrstvě. Mezery mezi zrny jsou tak malé, že umožňují zachytit i velmi

jemné zákalotvorné částice. Upravená voda je proto velmi čirá a koliformní bakterie jsou zcela odstraněny. [3]

## 2.5 MEMBRÁNOVÉ TECHNOLOGIE

Na rozdíl od klasické filtrace, která suspendované částice separuje pomocí filtrace přes zrnitý materiál, membránová filtrace využívá membránu jako ucelenou bariéru mezi vodou a látkami, které je z vody třeba odstranit.

Membránové procesy rozdělujeme na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. Tyto procesy jsou založeny na schopnosti semipermeabilních membrán zachycovat ve vodě přítomné částice určité velikosti nebo určitého elektrického náboje.

**Mikrofiltrací (MF)** se z vody odstraňují heterogenní částice o velikosti 0,1 až 10  $\mu\text{m}$ .

**Ultrafiltrace (UF)** umožňuje při tlacích 0,1 až 0,6 MPa odstraňovat z vody částice o velikosti 0,005 - 0,1  $\mu\text{m}$ . Jedná se především o organické látky s molekulovou hmotností 103 - 106, bakterie i viry. Tento způsob filtrace může nahradit klasické způsoby primární dezinfekce vody chlorem a jeho sloučeninami.

**Nanofiltrací (NF)** se z vody odstraňují při tlaku 0,5 až 0,7 MPa organické látky s relativní molekulovou hmotností 500 - 1000. Obsah monovalentních iontů ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) klesá o 40 - 70 %, bivalentních iontů ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) o 85 - 95 %, síranů o přibližně 60 %.

**Reverzní osmózou (RS)** je možno při tlacích vyšších než 5 MPa zbavit vodu veškerých rozpuštěných solí i organických látek, jejichž částice jsou menší než 0,001  $\mu\text{m}$ .



**Tabulka 2.2. : Odstranitelnost látek pomocí membránové technologie [3]**

| <b>Odsraněné lástky/ Druh filtrace</b> | <b>MF</b> | <b>UF</b> | <b>NF</b> | <b>RO</b> |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Suspendované látky</b>              | C         | C         | C         | C         |
| <b>Prvoci</b>                          | C         | C         | C         | C         |
| <b>Bakterie</b>                        | C         | C         | C         | C         |
| <b>Viry</b>                            | P         | C         | C         | C         |
| <b>Železo, Mangan</b>                  | D         | D         | C         | C         |
| <b>Huminové látky</b>                  | -         | P         | C         | C         |
| <b>CHSK</b>                            | -         | -         | P         | C         |
| <b>Pesticidy</b>                       | -         | -         | P         | C         |
| <b>Vápník + hořčík</b>                 | -         | -         | P         | C         |
| <b>Dusičnany</b>                       | -         | -         | -         | C         |
| <b>Amoniak</b>                         | -         | -         | -         | C         |

Použitelnost jednotlivých membránových procesů:

C- kompletní odstranění

D- odstranění v závislosti na chemické formě

P- částečné odstranění

Membrány jsou jak z látek přírodního původu např. z acetátové celulózy tak i ze syntetických materiálů např. polyamidů. V dnešní době se vyrábějí také membrány keramické a to na bázi  $Al_2O_3$  a  $ZrO_2$ . Mají vynikající mechanickou, chemickou, tepelnou i mikrobiologickou stálostí a snadno se regenerují. Nevýhodou je jejich náročná příprava, značná hmotnost a vyšší cena než membrány syntetické.

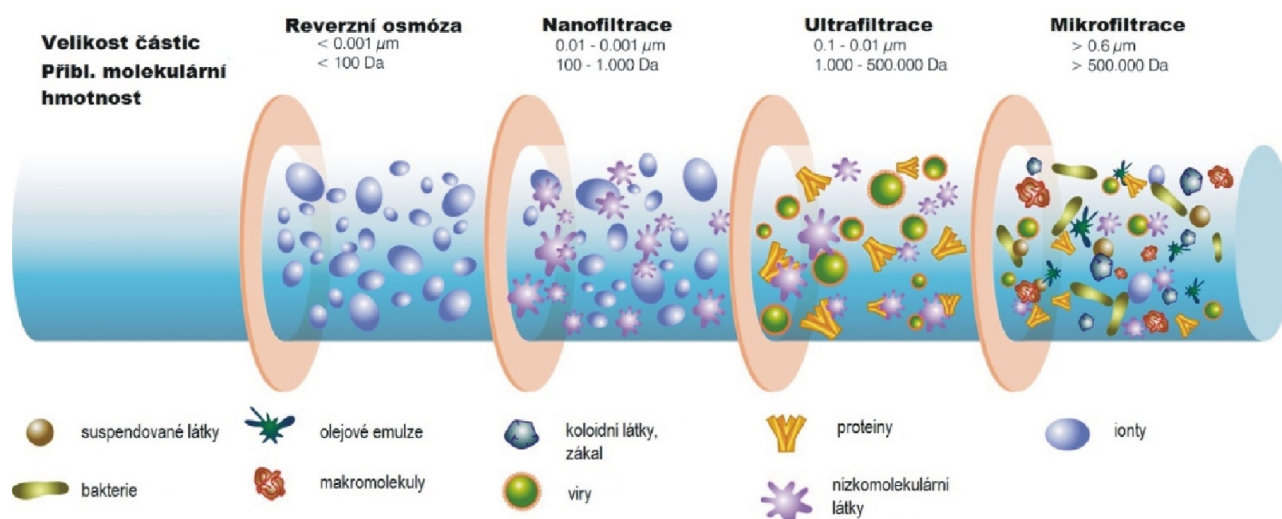
Membrány se dělí do tří skupin:

- Symetrické (izotropní) jako např. membrány z acetátové celulózy.
- Asymetrické (anizotropní): tvoří je dvě vrstvy - nosná a filtrační. Obě vrstvy jsou ze stejného materiálu. Jsou mechanicky odolnější než membrány symetrické, neoxidují, snášejí vyšší teploty i změny pH.
- Kompozitní: jejich struktura je asymetrická. Tvoří je několik vrstev (až 8) z různých materiálů organického i anorganického původu.

Výhody používání membránových procesů oproti úpravě vody koagulací a filtrací:

- velmi vysoká kvalita upravené vody,
- snížení spotřeby chemikálií (např. koagulantu a dezinfekčních látek) a snížení produkce kalu,
- v některých případech nižší spotřebu energie,
- vynikající odstranění bakterií, virů a prvků.

Investiční a provozní náklady jsou však dosud vysoké. [3]



Obrázek 2.10: Membránové separační procesy a jejich filtrační spektrum [11]

## 2.6 HODNOCENÍ PROVOZU FILTRŮ

Filtrace vrstvou zrnitého materiálu je dynamický proces, v němž se od začátku filtračního cyklu až do jeho ukončení neustále mění podmínky. Monitorování a hodnocení toho, co se ve filtru děje, je klíčem k poznání filtračního procesu a k jeho optimalizaci. Optimalizaci myslíme jak ve vztahu ke kvalitě upravené vody, tak ekonomice provozu. Pouze díky získávání a záznamu odpovídajícího rozsahu a četnosti dat o provozu filtrů má provozovatel použitelné podklady pro rozhodování o provozu filtrů. Například když si uvědomíme, že každý automobil, který je v provozu na našich silnicích má nepřeberné množství kontrolek a měřících přístrojů oproti vodárenskému filtru, a kdyby je neměl, nemohl by do silničního provozu. Proto nastává otázka, zda si v našem životě ceníme kvalitní pitné vody alespoň tak, jako automobilů, měli bychom vybavení pro sledování a hodnocení provozu filtrů na úpravárnách vody výrazně zlepšit.

Praxe v našich úpravárnách vody, je v oblasti hodnocení provozu filtrů velmi rozdílná. U starších úpraven vody je často hlavním hodnotícím kritériem jen kvalita filtrátu hodnocená až následně kontrolní laboratoří provozovatele. K tomuto můžeme ještě jako ukazatel připočítat pozorování, jestli filtry nepřetékají do odpadu. Pokud je voda v pořádku a je v „normě“, není prakticky žádná motivace k jakémukoli zlepšení řízení provozu filtrů. Je to sice v rozporu s tím, jak by měly být filtry (resp. všechny procesy úpravy) provozovány podle principů rizikové analýzy a systému kritických kontrolních bodů při výrobě pitné vody, ale zatím jsou tyto principy ve vodárenské filtraci uplatňovány jen ojediněle.

Dalo by se říct, že z výsledků analýz směsného filtrátu poznáme provoz jednotlivých filtrů asi tak, jako bychom řídili hospodaření každé domácnosti podle údajů statistik o průměrných mzdách. Zdá se, že problém může nastat i u znalosti tak všední proměnné, jakou je velikost průtoku vody jednotlivým filtrem a to i u filtrů, které by měly pracovat při tzv. konstantní filtrační rychlosti (resp. konstantní hladině vody nad filtrační náplní).

Většina moderních či rekonstruovaných úpraven vody již má podklady, které umožní dobrý provoz filtrů v případě, že tato měření většinu času pracují bez poruch a jsou využívána kvalifikovanou obsluhou.

Prvním požadavkem pro řízení provozu filtrů, který by měl být splněn je **měření a záznam průtoku vody filtrem**. Platí to jak u režimu filtrace s konstantní filtrační rychlostí, tak u režimu s klesající filtrační rychlostí, kde měření průtoku dává velmi užitečnou informaci pro řízení jejich postupného praní. Díky těmto informacím můžeme říct, že u filtrace s klesající filtrační rychlostí je vždy prán filtr, který má ze všech filtrů nejnižší filtrační rychlost. Z toho důvodu nedochází při jeho praní k tak výraznému dočasnému přetížení zbývajících filtrů a tím i k případnému zhoršování kvality filtrátu.

Hydraulicky přetížený filtr s konstantní filtrační rychlostí může být prán pozdě

ve srovnání s „průměrným“ filtrem konkrétní úpravný vody a tím pádem může docházet k průniku znečištění tímto separačním stupněm (který je u jednostupňových úpravěn tím jediným a vždy je také tím posledním). Naopak pokud je ve stejnou dobu prán filtr hydraulicky nevytížený, dochází tak ke zbytečnému vynakládání energie a vody na jeho předčasné praní.

Dalším vhodným fyzikálním měřením je **měření celkové tlakové ztráty ve filtrační náplni**. Některé úpravný vody mají dokonce sledování průběhu tlakových poměrů ve filtrační náplni na jednom nebo i několika filtrech. Tento poznatek jim umožňuje například optimalizovat způsob přípravy suspenze, aby byla co nejvhodnější pro konkrétní provozní podmínky určitých filtrů. Když se suspenze nadmíru zachycuje v nejsvrchnější části filtrační náplně, znamená to, že agregáty jsou příliš velké a naopak pokud suspenze výrazně proniká až do nejnižších míst vrstvy náplně (jednovrstvého filtru), není s velkou pravděpodobností dobře připravena a proces filtrace dobíhá až v loži filtru, což může mít za následek jeho nižší separační účinnost a snadnější únik znečištění do filtrátu.

Během zodpovědného sledování provozu filtrů by nikdy nemělo docházet k přerušování provozu filtrů bez jejich vyprání před novým spuštěním. Nové zapracování filtrů, ve kterých je již zachycená suspenze, způsobuje její vyplavování do filtrátu a prudké zhoršování kvality upravené vody. Vyplavení části zachycené suspenze do filtrátu je také způsobeno změnami výkonu úpravný (zejména zvyšování výroby) ve velkých skocích. Oba tyto problémy jsou známé z odborné literatury nebo je lze ověřit jak na modelových filtrech, tak i měřením na úpravnách vody. V praxi se s nimi na úpravnách můžeme setkat i dnes. V provozním řádu pro každou úpravnu vody by mělo být stanoveno, v jak velkých časových odstupech a krocích je možné zvyšovat výrobu úpravný. A pokud by obsluha úpravný nepostupovala podle tohoto řádu, kontinuální analýza filtrátu by měla ukázat, že nastala provozní chyba.

Moderní filtrace také vyžaduje kontinuální sledování a záznam alespoň jednoho ukazatele kvality filtrátu z každého filtru.

Z historického hlediska se nejvíce využívalo **měření zákalu**, protože hodně úsilí bylo v dobách začátku rozvoje vodárenských technologií věnováno odstranění zákalu (jako hlavnímu ukazateli problému, který je spotřebiteli evidentní). Také proto byl výzkum zaměřen na zákal jako hlavní modelové znečištění. Dobře se s ním pracovalo a měl stálé vlastnosti, které se daly dobře popsat.

Pokroky v teorii koagulace a tvorby suspenze upřely pozornost k přirozeným organickým látkám ve vodách. U vod s obsahem huminových látek je proto vhodnější zařadit **měření absorbance** při 254 nm. Díky tomu je možné vyhodnocovat i separační účinnost. Také se tímto způsobem dá využívat zdánlivě vyšší citlivost tohoto měření pro účel sledování filtrace. Hodnocení separační účinnosti u zákalu není tak úplně možné

provést, protože po přidání koagulantu do surové vody zákal tímto výrazně vzroste, a to následkem tvorby vloček. U vod téměř bez zákalu v surové vodě by byl po filtraci zákal vyšší než v surové vodě, čímž by mohla být účinnost separace záporná,

Asi nejlepší metodou hodnocení filtrace v dnešní době je **sledování počítací částic**. Již v roce 2002 jimi byly vybaveny filtry zhruba ve 40 % úpraven v USA a Velké Británii ve srovnání s těmi, které měřily zákal. Počítač částic umožňuje zároveň vyhodnocení velikostní šíření částic. To přináší do řízení a navrhování technologických procesů úpravy vody nové a velmi výhodné instrumentální možnosti. Výsledky ukazují, že jenom měření zákalu zdaleka nestačí pro dobré zmapování průběhu filtrace. Měření počtů částic je přibližně 20-25krát citlivější než měření zbytkového zákalu upravené vody. Zatímco zákal upravené vody se zvýšil jen 4krát, počty částic stouply 80-100násobně. To jasně ukazuje, že spoléhání se na měření zákalu může vést k výraznému podcenění zhoršení kvality filtrátu v průběhu filtračního cyklu. Zavedení počítací částic pro sledování filtrace přináší téměř novou éru do této oblasti, protože i velmi častým či zcela kontinuálním sledováním jiných parametrů například zákalu, absorbance,  $CHSK_{Mn}$  či zbytkového koagulantu není možné získat takové informace o kvalitě vody jako z počítací částic. [1]

### 3 FILTRAČNÍ MATERIÁLY

Mít volbu filtračního materiálu je jednou z významných možností například při úvahách o rekonstrukcích filtrů. Technologickým zhodnocením filtrů lze zjistit, zda používaná filtrační náplň vyhovuje nebo zda výměnou filtrační náplně za jinou by nebylo docíleno lepší funkce filtrů a vyšší kvality upravené vody.

Křemičitý písek je ve vodárenství, a to zejména u pomalé filtrace i rychlofiltrace, již dlouhá léta a je tradičním materiálem ve vodárenské filtraci. Jiné alternativní filtrační materiály jsou na trhu již řadu let a díky nim je možné používat dvouvrstvé filtry, kterými se v některých případech může docílit lepších separačních vlastností.

V kapitole 3.2 až 3.10 jsou uvedeny informace o klasických i alternativních filtračních materiálech a především ty, které jsou zatím u nás nové. Jejich filtrační charakteristiky ovlivňují koncipování celého filtru a také ekonomiku provozu.

#### 3.1 VÝBĚR VHODNÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ

Po celou řadu let byl výběr filtračních materiálů zaměřen pouze na jedinou volbu – křemičitý písek, označován jako FP2 s velikost zrn 1,0-1,6 mm. Použití dvouvrstvých filtračních náplní bylo spíše výjimkou.

Zásadním měřítkem pro kvalitní návrh či rekonstrukci filtrů je dosažení co nejvyšší čisté jednotkové výroby filtru. A to znamená, že z jednotky filtrační plochy získáme za jeden filtrační cyklus včetně praní filtru co největší objem filtrátu, který by se dal použít jako vyrobená pitná voda. Tento údaj by měl sloužit jako základ pro srovnávání různých variant filtrů a filtrace. Tím nejvhodnějším bude takové uspořádání, které poskytne jeho nejvyšší hodnotu. **Čistá jednotková výroba filtru** (anglicky net water production) za jeden filtrační cyklus se vypočítá jako

$$L = L_f - L_p \quad (3.1) \quad [7]$$

- $L_f$  ( $m^3/m^2$ ) je objem vody protečené jednotkovou plochou filtru od začátku filtrace.
- $L_p$  je objem spotřebované prací vody na jedno praní dělené plochou filtru ( $m^3/m^2$ )

Vysoké hodnoty parametru  $L$  je způsobeno mnoha okolnostmi, z nichž jedním je použítá filtrační náplň.

U výběru filtrační náplně se můžeme zaměřit:

- na dosažení vysoké kalové kapacity, neboli vysoké hodnoty  $L_f$
- aby se snížily požadavky na množství prací vody a tím se snížila hodnota  $L_p$

Pro dosažení vysoké kalové kapacity je důležité správně navrhnout složení velikostí zrn filtrační náplně. Ta by měla vyhovovat vlastnostem suspenze, která přichází z procesu flokulace. Pravděpodobně se bude jednat o návrh dvouvrstvé náplně. Bude záviset také na koeficientu stejnozrnnosti použitých náplní, jejich povrchových vlastnostech a tvaru zrn. V neposlední řadě je požadavek na dobrou pevnost filtračního materiálu a nízký otěr.

**Koeficient stejnozrnnosti** je definován poměrem

$$K_h = d_{60}/d_{10} \quad (3.2) [7]$$

- $d_{60}$  a  $d_{10}$  jsou zrna o velikosti ok síta, kterými projde 60 % a 10 % hmotnosti písku.

Tento koeficient určuje, jak se použitá náplň bude vzdalovat od požadavku „coarse to fine“ („od hrubého k jemnému“). Pokud je filtr prán prací rychlostí přesahující limitní hodnoty, nastává expanze vrstvy zrnitého materiálu. Částice se následně usadí podle jejich sedimentačních rychlostí, což není žádaný jev. Velké částice jsou místo nahoře dole a naopak, horní část filtrační náplně obsahuje převahu nejjemnější části této filtrační náplně. Hodnoty koeficientu stejnozrnnosti jsou většinou mezi 1,4 - 1,6. Materiály s nižšími koeficienty stejnozrnnosti by sice byly z hlediska filtrace výhodnější, ale větší požadavky na výrobce stoupají společně s cenou.

**Povrchové vlastnosti filtračního materiálu a tvarový koeficient** jsou také významné, ale bohužel nebyly rozsáhleji a dlouhodoběji zkoumány. U povrchových vlastností se ukazuje, že lepší separační účinnosti je možné dosáhnout u částic s hrubším povrchem. Tvarový koeficient má vliv na porositu, která ovlivňuje velikost tlakové ztráty čisté filtrační náplně a společně s tvarem zrn také charakter proudění kolem zrn náplně a tím účinnost záchytu suspenze.

**Pro snížení požadavků na množství prací vody** je dobré volit takovou náplň, která má nižší sedimentační rychlosti částic jednotlivých složek filtrační náplně. Protože velikost zrn filtrační náplně musí mít správnou kalovou kapacitu a tlakové ztráty. Jedinou účinnou možností je hledat takové materiály, které mají vhodnou hustotu.[7]

### 3.2 VODÁRENSKÝ KŘEMIČITÝ PÍSEK DORSILIT

Vodárenský křemičitý písek je nejdostupnější a nejlevnější filtrační materiál používaný při úpravě vody. Používá se na filtraci mechanických nečistot, vysrážených vloček při čiření vody a srážení železa. Vodárenským pískem lze plnit uzavřené i otevřené filtry, často se používá jako základní složka při vícevrstvé filtraci s hydroantracitem, křemelinou a aktivním uhlím.

#### Zrnitostní třídy

1. třída - velmi jemný velikost zrn 0,4 - 0,8 mm
2. třída - jemný velikost zrn 0,71- 1,25 mm
3. třída - standardní velikost zrn 1,0 - 2,0 mm
4. třída - jemný štěrk velikost zrn 2,0 - 3,15 mm
5. třída - štěrk velikost zrn 3,15- 5,60 mm [5]



Obrázek 3.1: Filtrační materiál Dorsilit [13]

Tabulka 3.1: Vlastnosti křemičitého písku Dorsilit [5]

| Typ filtrace                 | Jednovrstvá, uzavřený filtr     | Otevřený filtr | Vícevrstvá, uzavřený filtr      | Otevřený filtr    |
|------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|
| Výška filtr. vrstvy (mm)     | 1500-3000                       | 1000-2000      | 2. třída 400-800                | 2. třída 400-800  |
|                              |                                 |                | 3. třída 600-1200               | 3. třída 600-1200 |
| Rychlost filtrace (m/hod)    | 10 až 30                        | 5 až 15        | 10 až 3                         | 5 až 15           |
| Rychlost praní vodou (m/hod) | 1. třída 30                     |                | 2. třída 30                     |                   |
|                              | 2. a 3. třída 50                |                | 3. a 3. třída 50                |                   |
|                              | doba praní do odtoku čisté vody |                | doba praní do odtoku čisté vody |                   |



### 3.3 AKTIVNÍ UHLÍ FILTRASORB F100

Granulované aktivní uhlí FILTRASORB F100 se používá při úpravě pitné i užitkové vody. Je vyrobeno z vybraných druhů černého uhlí aktivací vodní parou podle příslušných norem jakosti. Kromě vlastního zachycení mechanických nečistot se u aktivního uhlí uplatňují sorpční a chemisorpční vlastnosti velkého specifického povrchu. To znamená, že dokáže zachycovat i ve vodě rozpuštěné látky organického charakteru. Aktivním uhlím můžeme dokonce z vody odstranit ropné látky, organické toxické sloučeniny a toxické těžké kovy, jako je například rtuť, kadmium a olovo. V neposlední řadě odstraňuje nežádoucí pachy a pachutě a oxiduje rozpuštěný chlor. Filtrace aktivním uhlím se obvykle zařazuje za filtraci mechanických nečistot.

Ve srovnání s práškovým uhlím se s granulovaným uhlím dosáhne lepší kvality vody při nižších provozních nákladech. Granulované uhlí FILTRASORB tlumí nárazová zvýšení množství škodlivin při haváriích, přetížení nebo výpadku jiných předúprav vody. Používá se jako ochrana u reverzní osmózy a u iontoměničových technologií. Změnou pískové filtrace za filtraci granulovaným uhlím se zachytí nejen pevné částice ale i rozpuštěné organické látky a těžké kovy. Na rozdíl od práškového uhlí lze granulované aktivní uhlí regenerovat a tím zvýšit hospodárnost procesu. [5]



Obrázek 3.2: Aktivní uhlí Filtrasorb F100

Tabulka 3.2: Technické a fyzikální parametry FILTASORB F100 [5]

| Základní vlastnosti                 |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|
| <b>hustota</b>                      | 500 kg/m <sup>3</sup> |
| <b>velikost částic</b>              | 0,8-1 mm              |
| <b>trdost</b>                       | 95                    |
| <b>doporučená rychlost proudění</b> | 5-20 m/hod            |
| <b>min. sypaná výška</b>            | 75 cm                 |

### 3.4 BIRM

Birm se používá ke snížení rozpuštěného železa a manganových sloučenin ze surové vody. Je velmi úsporným a efektivním médiem. Používá se jak v gravitačním, tak i v tlakovém systému úpravy vody. Účinně působí jako katalyzátor při reakci mezi sloučeninou železa a rozpuštěným kyslíkem. Rozpuštěné železo je v podzemních vodách obvykle ve formě hydrogenuhličitanu železnatého kvůli přebytku oxidu uhličitého, jenž není filtrovatelný. Zvyšuje oxidační stav  $Fe^{2+}$  na  $Fe^{3+}$  (z železnatého na železitý), jenž je lehce filtrovatelná sraženina.

Birm nabízí obrovskou ekonomickou úsporu oproti mnoha jiným metodám odstraňování tím, že se nespotebovává při provozu odstraňování železa. Jako další výhody můžeme uvést dlouhou životnost, nízkou oslabovací ztrátu, nízké náklady na obsluhu a navíc nepotřebuje regeneraci, pouze pravidelné promývání.

Abychom mohly Birm účinně použít pro odstranění železa, neměla by voda obsahovat: olej nebo sulfan, organické sloučeniny nesmí překročit 4 - 5  $mg.l^{-1}$ , obsah rozpuštěného kyslíku nejméně 15% obsahu železa a pH musí být 6,8 a více. [5]



Obrázek 3.3: Filtrační materiál Birm

Tabulka 3.3: Fyzikální vlastnosti Birm [5]

| Fyz. vlastnosti | Středně hrubý BIRM | Jemný BIRM          |
|-----------------|--------------------|---------------------|
| barva           | černá              | černá               |
| hustota         | 44 - 50 $kg/m^3$   | 1,2 - 1,4 $kg/cm^3$ |
| velikost ok     | 9 x 35             | 10 x 40             |
| zrnění          | 0,59 mm            | 0,48 mm             |
| koeficient      | 1,96               | 2,71                |

### 3.5 FILTRALITE

Filtralite je filtrační materiál, který byl vyvinut na základě dvacetiletého výzkumu v Norsku. Jeho aplikace je možné vidět již po celém světě. Jeho použití bylo podrobně ověřeno renomovanými institucemi a univerzitami jako jsou University College London, Thames Water Research & Development, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Mülheim, University of Duisburg-Essen, Safe Drinking Water Foundation Canada, Norwegian University of Science and Technology Trondheim a University of Rome „La Sapienza“. Historie tohoto materiálu není dlouhá, je to materiál nový a jeho použití v provozní praxi se datuje zhruba na deset let.

Filtralite, jako alternativní filtrační materiál, se vyrábí z jílu, který se vypaluje při 1200°C. Takto vyrobený materiál má pórovitou strukturu a velmi široké rozmezí hustot od 500 do 1000 kg/m<sup>3</sup>. Tento materiál lze použít nejen do jednovrstvých filtrů, ale hlavně do vícevrstvých filtrů. Unikátní je jeho použití pro sestavení dvouvrstvého filtru složeného ze dvou vzorků Filtralite, jenž se nazývá „MonoMulti“ filtr. Základní charakteristiky s možnostmi uplatnění jsou uvedeny v tabulce 3.4. Jelikož se jedná o částečně pórovitý materiál, je možné jej použít jak v gravitačních, tak i biologických filtrech. Uplatňuje se také jako materiál vhodný pro odstraňování železa a manganu. [6]



Obrázek 3.4: Filtrační materiál Filtralite a jeho zrnitosti [14]

Tabulka 3.4: Vlastnosti Filtralite a jeho typy[6]

| Typ                        | Hustota suchého materiálu [kg/m <sup>3</sup> ] | Převažující vhodnost aplikace                             |
|----------------------------|--|---|
| Filtralite NC 0,8 - 1,6 mm | 1000-1200                                      | Dvouvrstvá filtrace, biologická filtrace                  |
| Filtralite NC 1,5 - 2,5 mm | 1000-1200                                      | Dvouvrstvá filtrace, biologická filtrace                  |
| Filtralite MC 0,8 - 1,6 mm | 1300-1500                                      | Jednovrstvá nebo dvouvrstvá filtrace, biologická filtrace |
| Filtralite MC 1,5 - 2,5 mm | 1200-1400                                      | Jednovrstvá nebo dvouvrstvá filtrace, biologická filtrace |
| Filtralite MC 2,5 - 4 mm   | 1100-1300                                      | Biologická filtrace                                       |

### 3.6 Green sand

Ve většině podzemních vod se vyskytuje rozpuštěné železo spolu s manganem. Tyto kovy vylučují suspenze hydroxidů, které představují nebezpečí zanášení vodovodního potrubí. Vodě dodávají červené až hnědé zbarvení. Kvůli tomu není možné tuto vodu použít pro praní, textilní průmysl nebo například zpracování fotografického materiálu. Navíc i nízká koncentrace železa ve vodě způsobuje nadměrný vývin bakterií. Odumírání těchto bakterií následně ve vodě vytváří nepříjemný hnilobný zápach. Limitní hodnoty koncentrace železa v pitné vodě je  $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$  a manganu  $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ .

K eliminaci železa a manganu z vody je určen speciální filtrační materiál Green sand. Sestává z glaukonitického zeolitu a aktivního oxidu manganičitého. Železo a mangan obsažené ve vodě se přímo oxiduje aktivním kyslíkem oxidu manganičitého na nerozpustné vyšší oxidy a hydroxidy. Na rozdíl od filtračního materiálu Green sand se ve vodě nemusí vyskytovat rozpuštěný kyslík.

Voda pro použití materiálu Green sand nesmí obsahovat sulfan, protože váže železo a mangan do sulfidových komplexů, které jsou rozpustné, a také nesmí obsahovat vysoké koncentrace huminových látek (nad  $1 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Tyto huminové látky tvoří se železem a manganem organické komplexy, které jsou rozpustné. [5]



Obrázek 3.5: Filtrační materiál Green sand

Tabulka 3.5: Základní údaje Green sand [5]

| Fyzikální vlastnosti a provozní údaje |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| měrná hmotnost                        | $1350 \text{ kg/m}^3$ |
| velikost zrn                          | 0,25-1,00 mm          |
| efektivní velikost                    | 0,30-0,35 mm          |
| maximální teplota                     | $40^\circ\text{C}$    |
| aplikační pH vody                     | 6,5-8,5               |
| minimální výška vrstvy                | 700 mm                |

### 3.7 BAYOXIDE E33

Materiál Bayoxide E33 je průmyslovým standardem pro odstranění arsenu, který snižuje koncentraci arsenu až o 99% z celkového obsahu, včetně arsenu (III) a arsenu (V). Je účinný i při odstraňování jiných těžkých kovů jako je olovo, kadmium, chrom, antimon a molybden. Tento revoluční zrnitý adsorpční materiál na bázi železa má 4 - 10x větší schopnost odstraňování než jiná adsorpční média. Produkt je speciálně navržen pro komerční a civilní úpravu vody v místě vstupu vody do sítě a pro malé systémy, které splňují nové standarty EPA (Environmental Protection Agency, americká agentura v rámci ministerstva životního prostředí). V polovině devadesátých let byl tento produkt na bázi oxidu železitého úspěšně použit v rozsáhlých aplikacích pitné vody od roku 1999. Nový materiál Bayoxide E33 je možné po použití zlikvidovat a nevyžaduje žádné další chemikálie anebo regeneraci. Stal se předním produktem vhodným pro komerční úpravu pitné vody, pro spolehlivé, nákladově efektivní a osvědčené snížení arsenu.

Bayoxide E33 poskytuje cenově výhodné centralizované čištění arsenu s typickou životností 6 - 36 měsíců před výměnou. Materiál vykazuje vysokou provozní kapacitu v celé řadě pH, přitékajících koncentracích arsenu a průtoků. Je jednoduché jej použít ve standardních tlakových nádobách s průtoky v rozmezí 2,27 - 68,14 m<sup>3</sup>.hod<sup>-1</sup>. Jakmile je materiál vyčerpán, může být Bayoxide E33 zlikvidován nikoliv jako nebezpečný odpad. S materiálem je snadné pracovat a může se skladovat a dodávat suchý. [10]



Obrázek 3.6: Bayoxide E33

Tabulka 3.6: Fyzikální vlastnosti Bayoxide E33 [10]

| Fyzikální vlastnosti       |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| forma                      | suchý zrnitý materiál |
| barva                      | jantarově žlutá       |
| rozdělení velikosti částic | zrna 10x35 nebo 14x18 |
| obsah vlhkosti             | < 15% hmotnostních    |
| účinnost odstranění arsenu | do 99%                |

### 3.8 CFH 12

CFH 12 je účinný produkt na odstranění arsenu a dalších nečistot z vody adsorpcí. Tento materiál má snadné použití i jednoduchou předúpravu surové vody (oxidace  $\text{As}^{+3}$  na  $\text{As}^{+5}$ , snížení pH na 6,5). CFH 12 je hnědý až červenohnědý materiál ve formě granulí. Je to sorpční materiál do filtrů na odstraňování As, Se, P, Ag, Ni, Pb, Mo, Si, V, Cu a dalších kovů. Filtrační rychlost je maximálně  $0,033 \text{ l/min/cm}^2$  při tlaku 0,01 bar. Rychlost praní je maximálně  $0,065 \text{ l/min/cm}^2$  a četnost praní je podle kvality vody a velikosti filtrů. Po instalaci je nutné sorbent 48 hodin smáčet před vlastním praním. Doporučuje se zařazení dvou filtračních jednotek za sebou. [8]



Obrázek 3.7: Filtrační materiál CFH 12 v koloně [8]

Tabulka 3.7: Složení a vlastnosti CFH 12 [8]

|                   |      | Min | Max | Typická |
|-------------------|------|-----|-----|---------|
| $\text{Fe}^{3+}$  | %    | 39  | 48  | 44      |
| Vlhkost           | %    | 13  | 19  | 16      |
| Objemová hmotnost | kg/l |     |     | 1,2     |

Tabulka 3.8: Zrnitostní rozdělení CFH 12 [8]

|             |   |      |
|-------------|---|------|
| 2 – 0,85 mm | % | 92,7 |
| < 0,85 mm   | % | 5,9  |
| > 2 mm      | % | 1,4  |

### 3.9 DOLOMIT HD (SEMIDOL) A JURACORN CC

Nežádoucí jev způsobující korozi kovových potrubí i betonu je kyselost vody. Ta je způsobena horninovým podložím, kyselými dešti a rozpuštěným oxidem uhličitým ve formě kyseliny uhličitě. Jedním ze způsobů odkyselení pitné i užitkové vody je její filtrace přes odkyselovací materiály DOLOMIT CC neboli Semidol a JURAORN HD.

**Semidol** je vyroben z částečně páleného dolomitu. Chemickým složením odpovídá směsi uhličitanu vápenatého a oxidu hořečnatého. S kyselinou uhličitou reaguje dle rovnice:  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO} + 3\text{H}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

Tento materiál je reaktivnější a účinnější než mramor a odkyseluje i velmi měkké vody. Vzhledem k alkalické reakci MgO dolomitu se vedle odkyselení dosáhne i odželezování a odmanganování vody vysrážením na příslušné hydroxidy. V tomto případě je ovšem nutno filtr pravidelně prát, aby se odstranily vysrážené hydroxidy těchto kovů.

Jeho barva je bílá, zrno je homogenní, porézní, s drsným povrchem a bez prasklin. Jeho objemová hmotnost je v závislosti na velikosti zrna 1,1 - 1,2 t.m<sup>3</sup>. Jeho zrnitost je v rozmezích 0,5 - 1,2 mm, 0,5 - 2,5 mm, 2,0 - 4,5 mm a 4,0 - 7,0 mm. Přejít na tento filtrační materiál může být proveden kdykoliv, aniž by působil problémy.



Obrázek 3.8: Filtrační materiál Semidol

**Juracorn CC** je vyroben z kvalitního mramoru, což je téměř 100 % uhličitan vápenatý. S kyselinou uhličitou reaguje dle rovnice:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

Odstraněním 1 molu oxidu uhličitého vznikne 1 mol hydrogenuhličitanu vápenatého. Odkyselením tímto materiálem tedy stoupá uhličitanová tvrdost. Odkyselení probíhá uspokojivou rychlostí při uhličitanové tvrdosti od 2, 5 do 7,5 °dH. Pod touto mezí je odstranění CO<sub>2</sub> nedokonalé, nad touto mezí je rychlost reakce příliš malá. Juracorn CC se dodává v několika třídách zrnitosti. Obecně platí, že menší zrnitost reaguje rychleji díky většímu specifickému povrchu. Spotřebovaný materiál je nutno pravidelně dosypávat. [5]

### 3.10 HYDROANTRACIT H A N

HYDROANTRACIT H a N jsou filtrační materiály vyrobené z tepelně zpracovaného uhlí. Vyznačují se velmi drsným povrchem, to znamená, že oproti písku lépe zachycují mechanické nečistoty. Mezi jejich přednosti patří snížení spotřeby oplachových vod a prodloužení filtrační doby při zvýšení rychlosti filtrace a snížení tlakové ztráty.

HYDROANTRACIT H se používá v otevřených i uzavřených rychlofiltrech na filtraci užitkové vody a průmyslových kapalin.

HYDROANTRACIT N se používá v otevřených i uzavřených rychlofiltrech na filtraci pitné vody.

Ve spojitosti s katalytickou oxidací se též používá pro filtraci železa a manganu.

Fyzikální vlastnosti a provozní podmínky hydroantracitu H a hydroantracitu N jsou shodné.

Lze je použít všude tam, kde se používá vodárenský písek, výhodná je vícevrstvá filtrace ve spojení s dalšími filtračními materiály. [5]

**Tabulka 3.9: Fyzikální vlastnosti Hydroantracitu[5]**

| Fyzikální vlastnosti |                        |
|----------------------|------------------------|
| měrná hmotnost       | 1650 kg/m <sup>3</sup> |
| porozita             | 48,50%                 |
| zrnitostní třídy     | 0,6-1,6 mm             |
|                      | 1,4-2,5 mm             |
|                      | 1,8-4,0 mm             |

**Tabulka 3.10: Chemické složení Hydroantracitu[5]**

| Chemické složení (%) |      |
|----------------------|------|
| obsah uhlíku         | 86,2 |
| obsah síry           | 0,2  |
| obsah těkavých látek | 5,8  |
| obsah popele         | 6,0  |
| obsah vody           | 1,8  |



## 4 PRAKTICKÉ ZKOUŠKY TLAKOVÝCH ZTRÁT NA FILTRU

### 4.1 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ A POSTUP PROCESU

Modelové zařízení (obrázek 4.1) bylo vyrobeno ze skla s průměrem 5 cm, naplněno sorpčním materiálem a na obou koncích (na nátoku i výtoku) byly nainstalovány digitální barometry. Celé modelové zařízení bylo vysoké 200 cm, přičemž výšky filtrační náplně se vždy pohybovaly v rozmezí 50 - 70 cm (obrázek 4.4). Voda byla přiváděna pomocí hadic z vodovodní baterie.

Na ověření velikosti tlakových ztrát na filtru byly použity tyto filtrační materiály: křemičitý vodárenský písek Dorsilit, GAU Filtrasorb F100, Birm, CFH 12 a Greensand. Jako první však byla použita kolona naplněná pouze protékající vodou, abychom viděli jaké ztráty má samotná kolona.

Postup pokusu spočíval v naplnění kolony nejprve asi 5 cm kamenů velikosti 1 - 1,5 cm, vrstvy skleněných kuliček průměru 0,8 cm a nakonec poslední vrstvou filtračního materiálu výšky 50 - 70 cm. Kolona se poté uzavřela a plnila se ze zdola nahoru vodou a zároveň se tak i odvzdušňovala. Při samotném pokusu voda proudila shora dolů a na přítoku se upravoval průtok na požadované hodnoty pomocí ventilu na rotametri (obrázek 4.2). Rychlost vody byla postupně koordinována v rozmezí 20 - 100 l.hod<sup>-1</sup>. Při každém zvýšení průtoku kolonou se do tabulek zapsaly hodnoty tlaků na nátoku i výtoku, které byly odečteny z digitálních barometrů (obrázek 4.3). K hodnotám nátoku jsme museli ještě započítat výšku kolony 200 cm, která byla převedena na 2 m v.sl. a to se rovná 0,2 baru.



Obrázek 4.1: Modelové zařízení filtrační kolony



Obrázek 4.2: Rotametr s ventilem na přítoku



Obrázek 4.3: Digitální barometr



Obrázek 4.4: Kolona naplněná filtračním materiálem

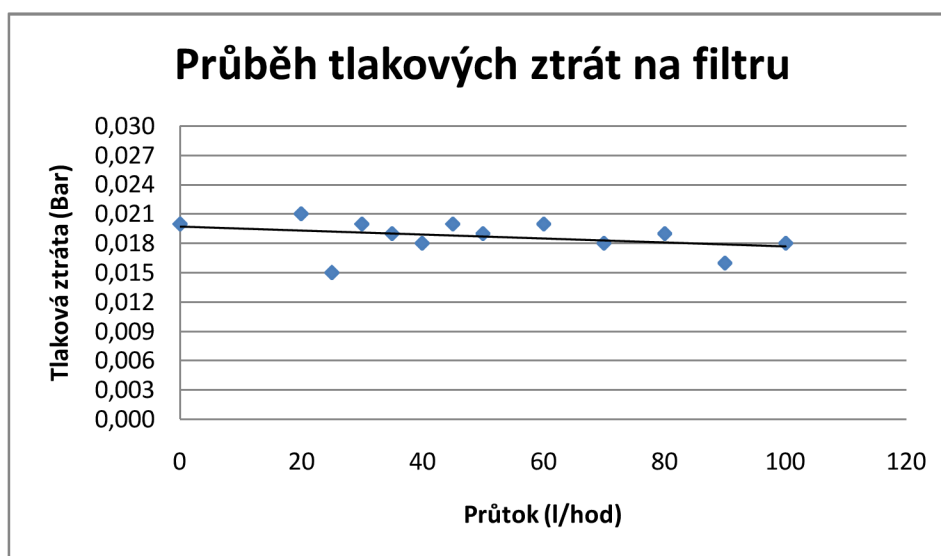
## 4.2 VÝSLEDKY

### 4.2.1 Kolona naplněná vodou

Abychom zjistily ztráty na samotné koloně bez filtračního materiálu, byla kolona naplněna vodou a protékána stejně jako by v ní byl sorpční materiál. Poté postupně přidával průtok a zapisovaly se hodnoty z barometrů, jako u pokusů s filtračními materiály. Podle předpokladů hodnoty tlakových ztrát jen mírně kolísaly okolo jedné hodnoty a v grafu 4.1 lze vidět, že průběh ztrát se podobá rovné čáře. Je však zvláštní, že její průběh je malinko klesající. Tuto skutečnost můžeme přisoudit nepřesnostem při ručním nastavování průtoku.

Tabulka 4.1: Hodnoty tlakové ztráty na koloně naplněné vodou

| Průtok<br>(l/hod) | Tlak (Bar)     |                | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|
|                   | Nátok<br>(Bar) | Odtok<br>(Bar) |                       |
| 0                 | 0,030          | 0,250          | 0,020                 |
| 20                | 0,032          | 0,253          | 0,021                 |
| 25                | 0,127          | 0,342          | 0,015                 |
| 30                | 0,150          | 0,370          | 0,020                 |
| 35                | 0,254          | 0,473          | 0,019                 |
| 40                | 0,320          | 0,538          | 0,018                 |
| 45                | 0,393          | 0,613          | 0,020                 |
| 50                | 0,494          | 0,713          | 0,019                 |
| 60                | 0,175          | 0,395          | 0,020                 |
| 70                | 0,250          | 0,468          | 0,018                 |
| 80                | 0,402          | 0,621          | 0,019                 |
| 90                | 0,500          | 0,716          | 0,016                 |
| 100               | 0,423          | 0,641          | 0,018                 |



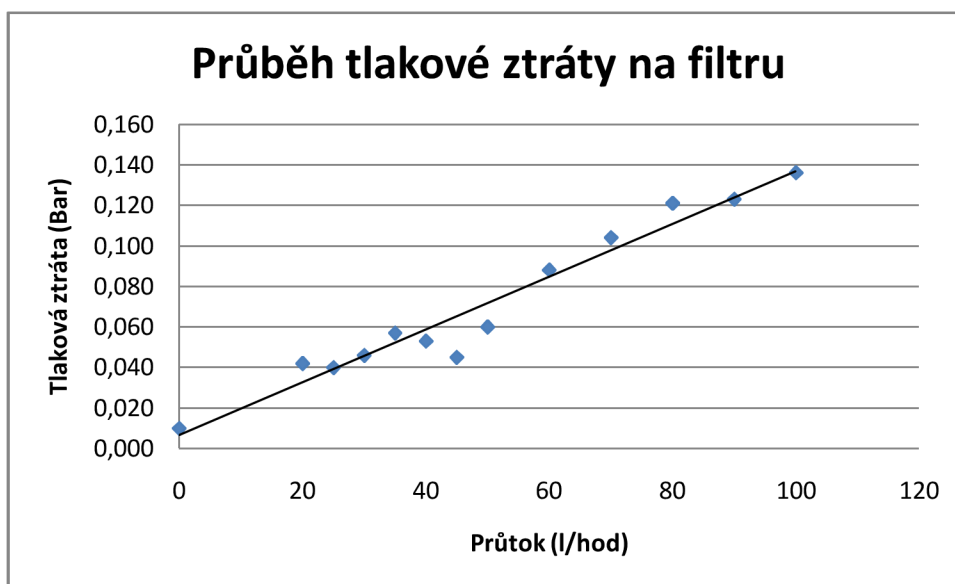
Obrázek 4.5: Graf průběhu tlakových ztrát kolony naplněné vodou

## 4.2.2 Vodárenský písek Dorsilit

Jako první z materiálů byl použit klasický, dlouho užívaný vodárenský křemičitý písek Dorsilit. Materiál byl navržen do výšky 53 cm.

Tabulka 4.2: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál Dorsilit

| Průtok<br>(l/hod) | Tlak (Bar)  |             | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
|-------------------|-------------|-------------|-----------------------|
|                   | Nátok (Bar) | Odtok (Bar) |                       |
| 0                 | 0,008       | 0,198       | 0,010                 |
| 20                | 0,332       | 0,490       | 0,042                 |
| 25                | 0,357       | 0,517       | 0,040                 |
| 30                | 0,503       | 0,657       | 0,046                 |
| 35                | 0,582       | 0,725       | 0,057                 |
| 40                | 0,715       | 0,862       | 0,053                 |
| 45                | 0,890       | 1,045       | 0,045                 |
| 50                | 1,035       | 1,175       | 0,060                 |
| 60                | 0,115       | 0,227       | 0,088                 |
| 70                | 0,164       | 0,260       | 0,104                 |
| 80                | 0,252       | 0,331       | 0,121                 |
| 90                | 0,260       | 0,337       | 0,123                 |
| 100               | 0,340       | 0,404       | 0,136                 |



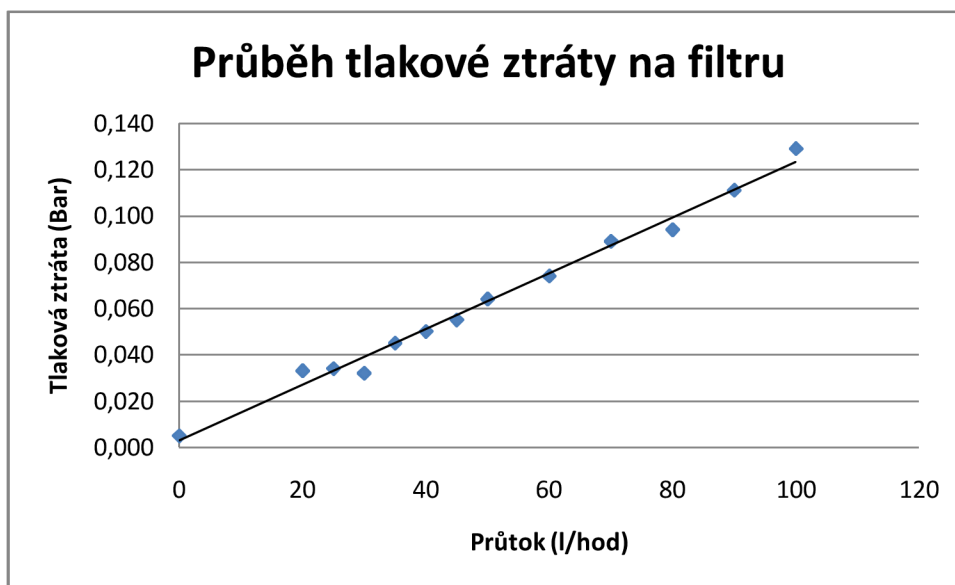
Obrázek 4.6: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál Dorsilit

### 4.2.3 GAU Filtrasorb 100

Jako druhý materiál bylo použito granulované aktivní uhlí. Výška filtrační náplně v koloně byla 76 cm.

Tabulka 4.3: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál GAU Filtrasorb F100

| Průtok<br>(l/hod) | Tlak (Bar)     |                | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|
|                   | Nátok<br>(Bar) | Odtok<br>(Bar) |                       |
| 0                 | 0,042          | 0,247          | 0,005                 |
| 20                | 0,338          | 0,505          | 0,033                 |
| 25                | 0,528          | 0,694          | 0,034                 |
| 30                | 0,745          | 0,913          | 0,032                 |
| 35                | 0,105          | 0,260          | 0,045                 |
| 40                | 0,140          | 0,290          | 0,050                 |
| 45                | 0,177          | 0,322          | 0,055                 |
| 50                | 0,259          | 0,395          | 0,064                 |
| 60                | 0,342          | 0,468          | 0,074                 |
| 70                | 0,470          | 0,581          | 0,089                 |
| 80                | 0,555          | 0,661          | 0,094                 |
| 90                | 0,726          | 0,815          | 0,111                 |
| 100               | 0,954          | 1,025          | 0,129                 |



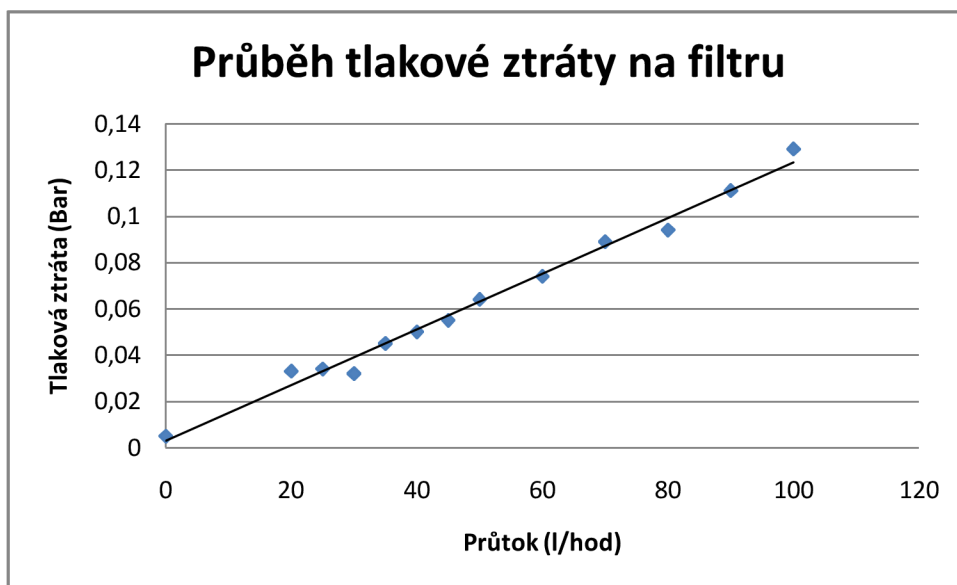
Obrázek 4.7: Graf průběhu tlakových ztrát u materiálu GAU Filtrasorb F100

## 4.2.4 Birm

Třetím v pořadí byl použit sorpční materiál Birm, který byl v koloně do výšky 68 cm.

Tabulka 4.4: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál Birm

| Průtok<br>(l/hod) | Tlak (Bar)     |                | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|
|                   | Nátok<br>(Bar) | Odtok<br>(Bar) |                       |
| 0                 | 0,011          | 0,212          | 0,001                 |
| 20                | 0,094          | 0,242          | 0,052                 |
| 25                | 0,151          | 0,290          | 0,061                 |
| 30                | 0,234          | 0,369          | 0,065                 |
| 35                | 0,333          | 0,457          | 0,076                 |
| 40                | 0,430          | 0,541          | 0,089                 |
| 45                | 0,485          | 0,597          | 0,088                 |
| 50                | 0,562          | 0,672          | 0,090                 |
| 60                | 0,094          | 0,173          | 0,121                 |
| 70                | 0,155          | 0,213          | 0,142                 |
| 80                | 0,204          | 0,241          | 0,163                 |
| 90                | 0,243          | 0,268          | 0,175                 |
| 100               | 0,352          | 0,366          | 0,186                 |



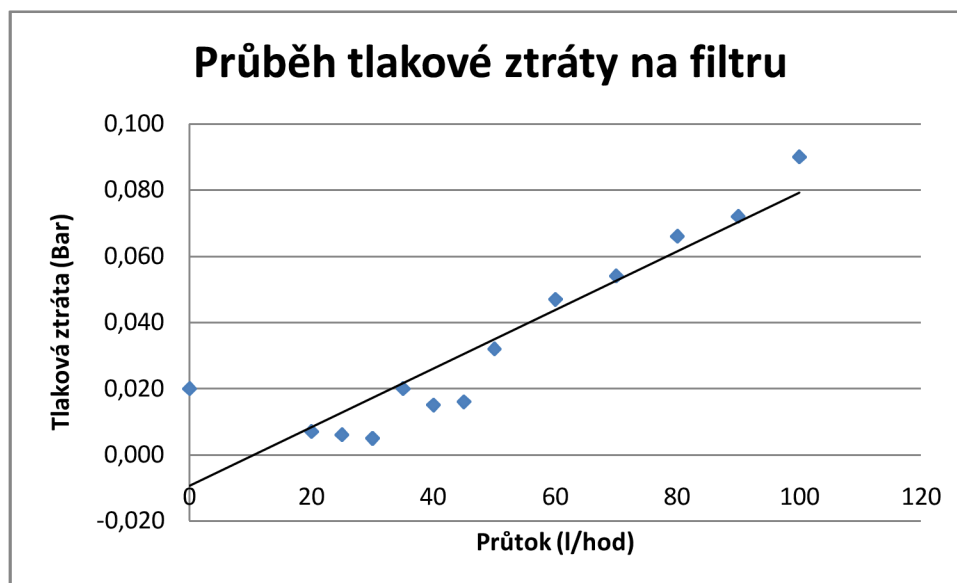
Obrázek 4.8: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál Birm

## 4.2.5 CFH 12

Jako předposledním byl do kolony instalován hydroxid železitý CFH 12. Filtrační náplň tohoto materiálu měla výšku 60 cm.

Tabulka 4.5: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál CFH 12

| Průtok<br>(l/hod) | Tlak (Bar)     |                | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|
|                   | Nátok<br>(Bar) | Odtok<br>(Bar) |                       |
| 0                 | 0,019          | 0,239          | 0,020                 |
| 20                | 0,162          | 0,355          | 0,007                 |
| 25                | 0,262          | 0,456          | 0,006                 |
| 30                | 0,340          | 0,535          | 0,005                 |
| 35                | 0,476          | 0,656          | 0,020                 |
| 40                | 0,597          | 0,782          | 0,015                 |
| 45                | 0,706          | 0,890          | 0,016                 |
| 50                | 0,803          | 0,971          | 0,032                 |
| 60                | 0,144          | 0,297          | 0,047                 |
| 70                | 0,150          | 0,296          | 0,054                 |
| 80                | 0,209          | 0,343          | 0,066                 |
| 90                | 0,268          | 0,396          | 0,072                 |
| 100               | 0,347          | 0,457          | 0,090                 |



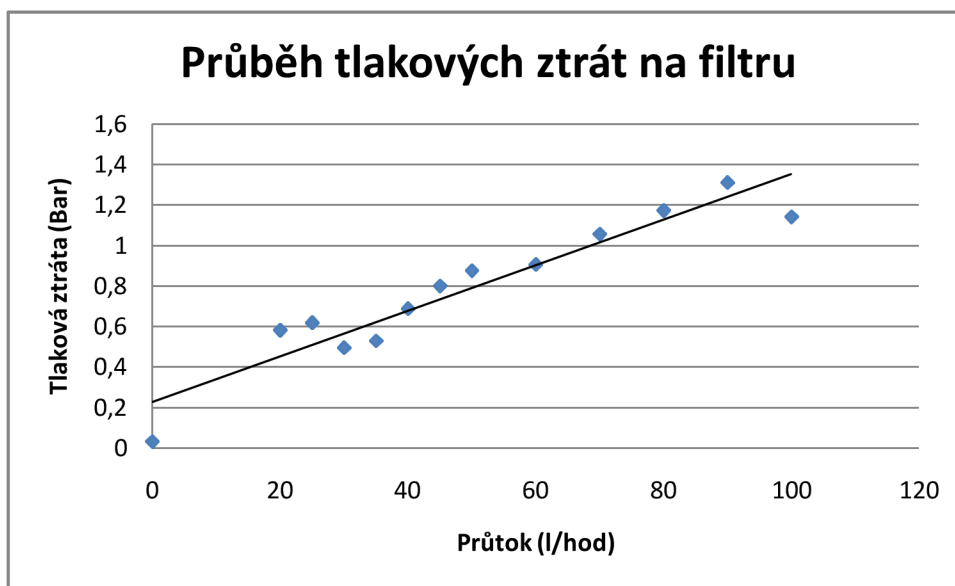
Obrázek 4.9: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál CFH 12

## 4.2.6 Green sand

Posledním zkoušeným materiálem byl Green sand a výška materiálu v koloně byla 64 cm.

Tabulka 4.6: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál Green sand

| Průtok<br>(l/hod) | Tlak (Bar)     |                | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|
|                   | Nátok<br>(Bar) | Odtok<br>(Bar) |                       |
| 0                 | 0,060          | 0,228          | 0,032                 |
| 20                | 0,513          | 0,131          | 0,582                 |
| 25                | 0,551          | 0,132          | 0,619                 |
| 30                | 0,421          | 0,126          | 0,495                 |
| 35                | 0,456          | 0,127          | 0,529                 |
| 40                | 0,616          | 0,128          | 0,688                 |
| 45                | 0,726          | 0,126          | 0,800                 |
| 50                | 0,800          | 0,124          | 0,876                 |
| 60                | 0,776          | 0,070          | 0,906                 |
| 70                | 0,920          | 0,063          | 1,057                 |
| 80                | 1,037          | 0,063          | 1,174                 |
| 90                | 1,176          | 0,065          | 1,311                 |
| 100               | 1,006          | 0,064          | 1,142                 |



Obrázek 4.10: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál Green sand



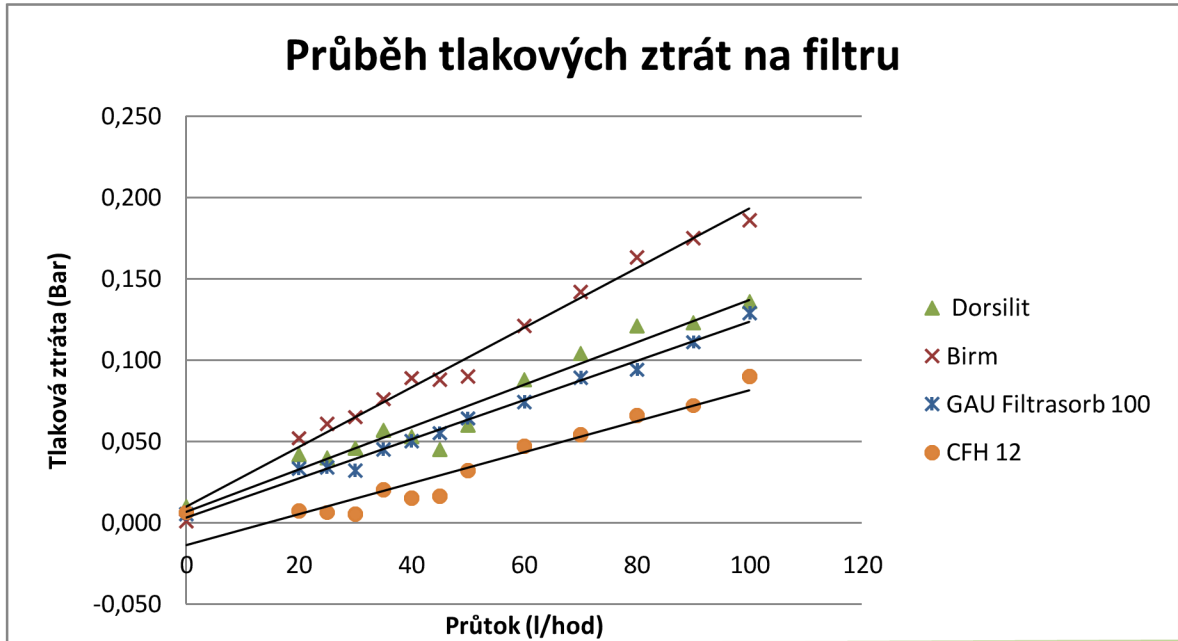
## 4.2.7 Souhrn tlakových ztrát

Pro větší přehlednost všech získaných výsledků byla vytvořena tabulka 18, ve které můžeme vidět, že nejvyšší dosažené hodnoty tlakových ztrát má filtrační materiál Green sand a naopak nejméně se zvyšující hodnoty ztrát má materiál CFH 12. Můžeme vidět, že zbylé tři materiály mají hodnoty podobně postupně se zvyšující a nijak extrémní.

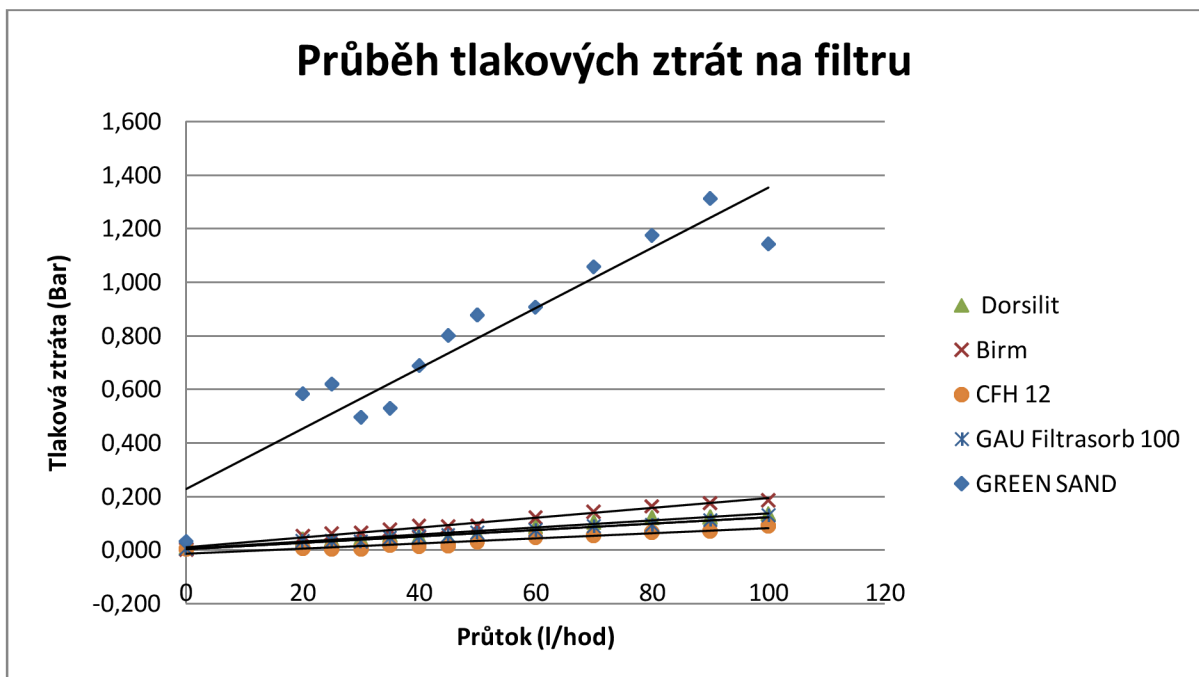
V grafu na obrázku 4.11 můžeme vidět průběh tlakových ztrát všech materiálů kromě materiálu Green sand. Tento materiál měl oproti ostatním materiálům natolik vysoké výsledky, že byl zařazen až do grafu na obrázku 4.12, aby průběh ostatních materiálů byl přehlednější. Na tomto grafu jde názorně vidět, jak odlišné výsledky jsme získali při měření na materiálu Green sand.

**Tabulka 4.7: Hodnoty tlakových ztrát pro všechny měřené materiály**

| Průtok<br>(l/hod) | Dorsilit              | GAU Filtrasorb<br>100 | Birm                  | CFH 12                | GREEN SAND            |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   | Tlak. ztráta<br>(Bar) | Tlak. ztráta (Bar)    | Tlak. ztráta<br>(Bar) | Tlak. ztráta<br>(Bar) | Tlak. ztráta<br>(Bar) |
| 0                 | 0,010                 | 0,005                 | 0,001                 | 0,020                 | 0,032                 |
| 20                | 0,042                 | 0,033                 | 0,052                 | 0,007                 | 0,582                 |
| 25                | 0,040                 | 0,034                 | 0,061                 | 0,006                 | 0,619                 |
| 30                | 0,046                 | 0,032                 | 0,065                 | 0,005                 | 0,495                 |
| 35                | 0,057                 | 0,045                 | 0,076                 | 0,020                 | 0,529                 |
| 40                | 0,053                 | 0,050                 | 0,089                 | 0,015                 | 0,688                 |
| 45                | 0,045                 | 0,055                 | 0,088                 | 0,016                 | 0,800                 |
| 50                | 0,060                 | 0,064                 | 0,090                 | 0,032                 | 0,876                 |
| 60                | 0,088                 | 0,074                 | 0,121                 | 0,047                 | 0,906                 |
| 70                | 0,104                 | 0,089                 | 0,142                 | 0,054                 | 1,057                 |
| 80                | 0,121                 | 0,094                 | 0,163                 | 0,066                 | 1,174                 |
| 90                | 0,123                 | 0,111                 | 0,175                 | 0,072                 | 1,311                 |
| 100               | 0,136                 | 0,129                 | 0,186                 | 0,090                 | 1,142                 |



Obrázek 4.11: Graf průběhu tlakových ztrát všech materiálů kromě materiálu Green sand



Obrázek 4.12: Graf průběhu tlakových ztrát všech materiálů

## 5 ZÁVĚR

Filtrace pro úpravu pitné vody je nejpoužívanější technologický proces ve vodárenství. Historie vodárenské filtrace se datuje od druhé poloviny 19. století. Mezi nejpoužívanější technologie filtrace patří pomalá biologická filtrace a rychlofiltrace. V dnešní době se čím dál více rozvíjí membránová technologie filtrace.

První pomalý filtr byl přiveden do provozu roku 1829 panem J Simpsonem, který zkonstruoval tyto filtry. Díky tomu se také používá název anglická filtrace. Do Evropy se dostala v 2. polovině 19. století. V České republice byly první pomalé filtry vybudovány v Brně v roce 1892. V dnešní době se pomalá biologická filtrace používá z důvodu pomalé filtrační rychlosti pro malé zdroje vody.

Úprava vody pomalou biologickou filtrací je analogií čistících procesů povrchových vod v přírodě. Proces odbourávání nečistot biologickým způsobem probíhá na povrchu a v horní vrstvě filtračního lože, kde vzniká tzv. biologická filtrační blána. Tato vrstva je složena z organických i anorganických nečistot a oživena aerobními mikroorganismy a řasami. Mikrobiální oživení je právě tím, co odstraňuje nečistoty biologickou cestou.

Rychlofiltry byly poprvé použity v Somerville (New Jersey, USA) roku 1885 a v Evropě poté v roce 1895 v Curychu ve Švýcarsku.

Rychlá filtrace je nejpoužívanější technologií při úpravě vody. Rychlofiltry se od pomalých filtrů zásadně liší hrubší zrnitostí náplně, vyšší filtrační rychlostí a tím i menší potřebnou plochou. Většina současných konstrukcí je založena na stejném principu jako v minulosti, a to na průtoku vody zatopenou vrstvou písku směrem shora dolů gravitací.

Na rozdíl od klasické filtrace membránová filtrace využívá membránu jako ucelenou bariéru mezi vodou a látkami, které je z vody třeba odstranit. Membránové procesy rozdělujeme na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reversní osmózu. Tyto procesy jsou založeny na schopnosti membrán zachycovat ve vodě přítomné částice určité velikosti nebo určitého elektrického náboje.

Monitorování a hodnocení toho, co se ve filtru děje, je klíčem k poznání filtračního procesu a k jeho optimalizaci. Optimalizaci myslíme jak ve vztahu ke kvalitě upravené vody, tak ekonomice provozu. Požadavky pro řízení provozu filtrů, které by měly být splněny, jsou: měření a záznam průtoku vody filtrem, měření celkové tlakové ztráty ve filtrační náplni, kontinuální sledování a záznam alespoň jednoho ukazatele kvality filtrátu jako je měření zákalu, měření absorbance a asi nejlepší metodou v dnešní době je sledování počítače částic.

Optimalizace filtračního procesu jde ruku v ruce s výběrem správného a efektivního filtračního materiálu. Mít volbu filtračního materiálu je jednou z významných možností například při úvahách o rekonstrukcích filtrů. Technologickým zhodnocením filtrů lze zjistit, zda používaná filtrační náplň vyhovuje nebo zda výměnou filtrační náplně za jinou by nebylo docíleno lepší funkce filtrů a vyšší kvality upravené vody. Takovou klasikou ve filtračních materiálech je křemičitý písek, ale na trhu jsou již alternativní filtrační

materiály, díky nimž je možné používat dvouvrstvé filtry, kterými se v některých případech může docílit lepších separačních vlastností.

Mezi nové alternativní materiály patří:

- Granulované aktivní uhlí Filtrasorb F100, které z vody odstraňuje ropné látky, organické toxické sloučeniny a toxické těžké kovy, jako je například rtuť, kadmium a olovo. V neposlední řadě odstraňuje nežádoucí pachy a pachutě a oxiduje rozpuštěný chlor.
- Birm, který se používá ke snížení rozpuštěného železa a manganových sloučenin ze surové vody. Je velmi úsporným a efektivním médiem.
- Filtralite, jenž se používá pro odstraňování železa a manganu z vody. Je to materiál nový a jeho použití se datuje zhruba na deset let.
- Green sand, který se používá také k eliminaci železa a manganu z vody.
- Bayoxide E33, který je průmyslovým standardem pro odstranění arsenu z vody. Je úspěšně používán od roku 1999.
- CFH 12, jenž je účinný produkt také na odstranění arsenu a dalších nečistot z vody adsorpcí.
- DOLOMIT CC neboli Semidol a JURAORN HD jsou materiály pro odkyselování pitné i užitkové vody.
- HYDROANTRACIT H a N jsou filtrační materiály pro filtraci železa a manganu.

Měření celkové tlakové ztráty ve filtrační náplni je fyzikální měření, které umožňuje například optimalizovat způsob přípravy suspenze, aby byla co nejvhodnější pro konkrétní provozní podmínky určitých filtrů. Na jednoduchém modelovém filtračním zařízení bylo toto měření vyzkoušeno. Pro tento pokus byly použity některé z již jmenovaných materiálů: křemičitý vodárenský písek Dorsilit, GAU Filtrasorb F100, Birm, CFH 12 a Green sand. Postup pokusu spočíval v odečítání hodnot tlaku z digitálních barometrů na přítoku a výtoku z kolony, přičemž rychlost vody byla postupně zvyšována v rozmezí 20 - 100 l.hod<sup>-1</sup>. Při každém zvýšení průtoku kolonou se do tabulek zapsaly hodnoty tlaků na nátok a výtoku. K hodnotám nátok se připočetla ještě výška kolony 200 cm ( 0,2 baru). Z výsledků, které byly zaneseny do grafů, lze vidět, že největší tlakové ztráty na koloně měl filtrační materiál Green sand. Jeho hodnoty jsou oproti ostatním zkoušeným materiálům opravdu vysoké. Nejméně se zvyšující hodnoty ztrát měl materiál CFH 12. Zbylé tři materiály mají hodnoty podobně postupně se zvyšující a nijak extrémní. Tyto výsledky ukazují na fakt, že když se suspenze nadmíru zachycuje v nejsvrchnější části filtrační náplně, znamená to, že agregáty jsou příliš velké a naopak pokud suspenze výrazně proniká až do nejnižších míst vrstvy náplně, není s velkou pravděpodobností dobře připravena a proces filtrace dobiehá až v loži filtru.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DOLEJŠ, CSC., Doc. Ing. Petr a Ing. Klára ŠTRAUSOVÁ, PH.D. Hodnocení provozu vodárenských filtrů a výběr vhodných filtračních materiálů. *Sovak: časopis oboru vodovodů a kanalizací*. Jílové u Prahy: J. Fučíková, 2011, č. 5
- [2] TUHOVČÁK, L.; ADLER, P.; KUČERA, T.; RACLAVSKÝ, J. *Vodárenství*. Vodárenství. 1. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006. s. 1-223
- [3] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravní pitné vody*. Vyd. 1. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, c2005, 206 s. ISBN 80-239-4565-3.
- [4] BIELA, Renata. *Úprava vody a balneotechnika*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [5] KOWA MATERIALY
- [6] Sborník konference Pitná voda 2010: 10. pokračování konferencí Pitná voda z úrodných nádrží: 17.5 - 20.5.2010 v Táboře. Editor Petr Dolejš, Nataša Kalousková. České Budějovice: W, 2010, 441 s. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [7] DOLEJŠ, CSC., Doc. Ing. Petr, Ing. Klára ŠTRAUSOVÁ, PH.D. a Ing. Pavel DOBIÁŠ. Výběr vhodných filtračních materiálů a jejich vliv na provoz filtrů. s. 6.
- [8] KEMWATER PROCHEMIE. *HYDROXID ŽELEZITÝ Kemira CFH 12 , CFH0818*. Dostupné z: <http://www.prochemie.cz/chem/tech-list-hydroxid-zelezity-kemira-cfh.pdf>
- [9] NTREL A.S. *Tlakové pískové filtry*. Dostupné z: [http://www.intrel.cz/tlakove\\_piskove\\_filtry.php](http://www.intrel.cz/tlakove_piskove_filtry.php)
- [10] ADEDGE TECHNOLOGIES, Inc. *SMALL WATER SYSTEM SOLUTIONS APU & MODULAR SYSTEM APPLICATIONS: Adsorption Media – Arsenic Reduction*. Dostupné z: [http://www.adedgetech.com/pdfs/litpdfs/E33%20literature/E33\\_MEDIA\\_0309.pdf](http://www.adedgetech.com/pdfs/litpdfs/E33%20literature/E33_MEDIA_0309.pdf)
- [11] hASIO, spol. s r.o. *Membránové procesy pro úpravu pitné vody*. 26.2.2012. Dostupné z: [/www.asio.cz/cz/74.membranove-procesy-pro-upravu-pitne-vody](http://www.asio.cz/cz/74.membranove-procesy-pro-upravu-pitne-vody)
- [12] *Aplikovaná Hydrobiologie - Vodárenská Biologie*. Dostupné z: <http://cs.pdfsb.com/readonline/5a3152466541743758584e2f4348316855513d3d>
- [13] DORFNER. *DORSILIT® quartz sand*. Dostupné z: <http://www.dorfner.de/en/products/industriefussboden.php?id=5>
- [14] ENVI-PUR, s.r.o. *Úprava vody: Filtralite*. Dostupné z: [14] <http://www.envi-pur.cz/cz/filtralite/>

## SEZNAM TABULEK

|   |     |
|---|-----|
| Tabulka 2.1: Druh, velikosti zrn a tloušťka náplně [3].....                 | 8   |
| Tabulka 2.2. : Odstranitelnost látek pomocí membránové technologie [3]..... | 188 |
| Tabulka 3.1: Vlastnosti křemičitého písku Dorsilit [5].....                 | 25  |
| Tabulka 3.2: Technické a fyzikální parametry FILTASORB F100 [5].....        | 26  |
| Tabulka 3.3: Fyzikální vlastnosti Birm [5] .....                            | 27  |
| Tabulka 3.4: Vlastnosti Filtralite a jeho typy[6].....                      | 28  |
| Tabulka 3.5: Základní údaje Green sand [5] .....                            | 29  |
| Tabulka 3.6: Fyzikální vlastnosti Bayoxide E33 [10] .....                   | 30  |
| Tabulka 3.7: Složení a vlastnosti CFH 12 [8] .....                          | 31  |
| Tabulka 3.8: Zrnitostní rozdělení CFH 12 [8].....                           | 31  |
| Tabulka 3.9: Fyzikální vlastnosti Hydroantracitu[5].....                    | 33  |
| Tabulka 3.10: Chemické složení Hydroantracitu[5].....                       | 33  |
| Tabulka 4.1: Hodnoty tlakové ztráty na koloně naplněné vodou.....           | 36  |
| Tabulka 4.2: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál Dorsilit .....             | 37  |
| Tabulka 4.3: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál GAU Filtrasorb F100.....   | 38  |
| Tabulka 4.4: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál Birm.....                  | 39  |
| Tabulka 4.5: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál CFH 12.....                | 40  |
| Tabulka 4.6: Hodnoty tlakové ztráty pro materiál Green sand .....           | 41  |
| Tabulka 4.7: Hodnoty tlakových ztrát pro všechny měřené materiály .....     | 42  |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 2.1: Schéma pomalého pískového filtru [12].....   | 5  |
| Obrázek 2.2: Zanášení pomalého filtru (tlakové ztráty) [2].....                                       | 6  |
| Obrázek 2.3: Otevřený pomalý filtr [3].....   | 7  |
| Obrázek 2.4: Zaklenutý pomalý filtr [3].....  | 8  |
| Obrázek 2.5: Otevřený rychlofiltr [4].....  | 12 |
| Obrázek 2.6 a 2.7: Filtr protékaný obráceně (vlevo) a filtr s oboustranným průtokem (vpravo) [4]..... | 13 |
| Obrázek 2.8 a 2.9: Stojatý (vlevo) a ležatý (vpravo) tlakový filtr [4].....                           | 15 |
| Obrázek 2.10: Membránové separační procesy a jejich filtrační spektrum [11].....                      | 19 |
| Obrázek 3.1: Filtrační materiál Dorsilit [13].....  | 25 |
| Obrázek 3.2: Aktivní uhlí Filtrasorb F100.....  | 26 |
| Obrázek 3.3: Filtrační materiál Birm.....   | 27 |
| Obrázek 3.4: Filtrační materiál Filtralite a jeho zrnitosti [14].....                                 | 28 |
| Obrázek 3.5: Filtrační materiál Green sand.....   | 29 |
| Obrázek 3.6: Bayoxide E33.....  | 30 |
| Obrázek 3.7: Filtrační materiál CFH 12 v koloně [8].....  | 31 |
| Obrázek 3.8: Filtrační materiál Semidol.....  | 32 |
| Obrázek 4.1: Modelové zařízení filtrační kolony.....  | 34 |
| Obrázek 4.2: Rotametr s ventilem na přítoku.....  | 35 |
| Obrázek 4.3: Digitální barometr.....  | 35 |
| Obrázek 4.4: Kolona naplněná filtračním materiálem.....   | 35 |
| Obrázek 4.5: Graf průběhu tlakových ztrát kolony naplněné vodou.....                                  | 36 |
| Obrázek 4.6: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál Dorsilit.....                                  | 37 |
| Obrázek 4.7: Graf průběhu tlakových ztrát u materiálu GAU Filtrasorb F100.....                        | 38 |
| Obrázek 4.8: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál Birm.....                                      | 39 |
| Obrázek 4.9: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál CFH 12.....                                    | 40 |
| Obrázek 4.10: Graf průběhu tlakových ztrát pro materiál Green sand.....                               | 41 |
| Obrázek 4.11: Graf průběhu tlakových ztrát všech materiálů kromě materiálu Green sand.....            | 43 |

---

Obrázek 4.12: Graf průběhu tlakových ztrát všech materiálů.....43



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|              |  |
|--------------|--|
| NTU...       | nefelometrické jednotky  |
| t...         | doba filtračního cyklu [s]   |
| K ...        | kalová kapacita [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]   |
| $c_0$ ...    | hmotnostní koncentrace na přítoku [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]                             |
| v ...        | povrchová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]  |
| C...         | kompletní odstranění   |
| D...         | odstranění v závislosti na chemické formě  |
| P...         | částečné odstranění  |
| pH...        | záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů   |
| L...         | čistá jednotková výroba filtru   |
| $L_f$ ...    | objem vody protečené jednotkovou plochou filtru [ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ]                    |
| $L_p$ ...    | objem spotřebované prací vody na jedno praní dělené plochou filtru [ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ] |
| $K_h$ ...    | koeficient stejnoyrnosti   |
| $d_{60}$ ... | zrna o velikosti ok síta, kterými projde 60 % hmotnosti písku                                  |
| $d_{10}$ ... | zrna o velikosti ok síta, kterými projde 10 % hmotnosti písku                                  |
| EPA...       | Enviromental Protection Agency, americká agentura v rámci ministerstva životního prostředí     |
| USA...       | Spojené státy americké   |

## SUMMARY

The theme of "The filtration media in water treatment" I get my bachelor thesis chosen primarily because it would be in their future profession wanted to exercise the rights in the field of clean water treatment and water supply. I was also offered practical testing of filter materials to model equipment in the lab, which I do thesis also included.

The thesis is divided into three basic parts:

The first section describes the general filtration as such and after various types of filtration through granular material such as slow biological filtration, high-rate filtration, pressure sand filtration and last but not least, recently developing membrane filtration technology. Finally, the possibilities of evaluation of the operation of filters, that include measuring and recording the flow of water through the filter, measuring the total pressure loss in the filter media and the monitoring and recording at least one indicator of quality of filtrate from each filter.

The second part focuses on the selection of suitable filter materials and their impact on the performance of filters. They are individually described long-term use, but also new filter materials with the possibility of their use and their specific properties.

The last part is a practical laboratory work with model sand filter. In the model the device is gradually changing filter materials: water supply silica sand Dorsilit, activated carbon Filtrasorb F100, Birm, CFH 12 and Green Sand. Were monitored pressure drop across the filter when uniformly increasing flow filter for each material. The results were tabled and their progress is shown in the graph of the pressure loss.