



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# VODÁRENSKÁ FILTRACE A FILTRAČNÍ MATERIÁLY

WATER FILTRATION AND FILTER MATERIALS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Světlana Moravčíková

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Studijní program</b>        | B3607 Stavební inženýrství                            |
| <b>Typ studijního programu</b> | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| <b>Studijní obor</b>           | 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby            |
| <b>Pracoviště</b>              | Ústav vodního hospodářství obcí                       |

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Student</b>         | Světlana Moravčíková                      |
| <b>Název</b>           | Vodárenská filtrace a filtrační materiály |
| <b>Vedoucí práce</b>   | Ing. Renata Biela, Ph.D.                  |
| <b>Datum zadání</b>    | 30. 11. 2017                              |
| <b>Datum odevzdání</b> | 25. 5. 2018                               |

V Brně dne 30. 11. 2017

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. Úprava vody a balneotechnika. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [4] GRÜNWARD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: Úprava vody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 103 s. ISBN 80-01-01658-7.
- [5] HLAVÁČ, Jaroslav, et al. Vodárenství - Jímání a úprava vody, procesy, výpočty, konstrukce. Multimediální učebnice. 1. vydání. Brno: VAS, a.s., 2003.
- [6] Odborné časopisy (Sovak, Vodní hospodářství, TZB-info).

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce bude v úvodní části pojednávat o všech druzích filtrace používaných ve vodárenství. V další části bude práce zaměřena na tradiční i moderní filtrační materiály, bude vypracován jejich přehled a popis vlastností. V rámci práce bude provedeno i posouzení účinnosti odstraňování vybraných znečišťujících látek z vody u filtračních materiálů, na nichž již proběhly laboratorní testy v rámci specifického vysokoškolského výzkumu.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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. Renata Biela, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá vodárenskou filtrací, dopodrobna popisuje především pomalou biologickou filtraci a rychlou filtraci. U těchto typů filtrace jsou detailněji popsány mechanismy filtrace, filtrační cykly, regenerace filtrační náplně a konstrukční uspořádání filtrů, v případě rychlofiltrů jsou pak shrnuty nejběžněji používané typy drenážních systémů. Stručněji jsou následně představeny náplavná filtrace a membránové procesy používané ve vodárenství. V další kapitole jsou uvedeny vybrané, nejběžněji používané, filtrační materiály a jejich základní vlastnosti. Praktická část práce je zaměřena na posouzení účinnosti vybraných filtračních materiálů při odstraňování znečištění.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Filtrační materiál, pomalá filtrace, rychlofiltrace, membránové procesy, drenážní systém, účinnost filtrace

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with water filtration. Primarily it describes slow sand filtration and rapid sand filtration. For these types of filtration, the filtration mechanisms, filtration cycles, filtration regeneration and filter layout are described in more detail. In case of the rapid filters, the most commonly used types of drainage systems are summarized. Further there is a brief introduction of diatomite filters and membrane processes used in water industry. The next chapter contains most commonly used filter materials along with their basic properties. Practical part of the thesis focuses on assessment of efficiency of selected filter materials in the removal of pollution.

## **KEYWORDS**

Filter material, slow sand filtration, rapid sand filtration, membrane processes, underdrain system, efficiency of filtration

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Světlana Moravčíková *Vodárenská filtrace a filtrační materiály*. Brno, 2018. 64 s.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního  
hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 22. 5. 2018

---

Světlana Moravčíková  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za rady a podnětné připomínky, vstřícný přístup a čas, který mi v průběhu psaní práce věnovala.

# 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 filtrace .....</b>                                     | <b>4</b>  |
| 2.1.1      | Mechanismus pomalé filtrace .....                                | 5         |
| 2.1.2      | Uspořádání pomalého filtru .....                                 | 6         |
| 2.1.3      | Regenerace filtrační náplně .....                                | 7         |
| 2.1.4      | Použití pomalé filtrace .....                                    | 7         |
| <b>2.2</b> | <b>Rychlá filtrace .....</b>                                     | <b>8</b>  |
| 2.2.1      | Mechanismus rychlé filtrace .....                                | 8         |
| 2.2.2      | Filtrační cyklus .....   | 9         |
| 2.2.3      | Filtrační náplň .....  | 10        |
| 2.2.4      | Dělení rychlofiltrů .....  | 10        |
| 2.2.5      | Konstrukční uspořádání rychlofiltrů .....                        | 15        |
| <b>2.3</b> | <b>Náplavná filtrace .....</b>                                   | <b>21</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Membránové procesy .....</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>3</b>   | <b>FILTRAČNÍ MATERIÁLY .....</b>                                 | <b>26</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Křemičitý písek .....</b>                                     | <b>26</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Hydroantracit .....</b>                                       | <b>27</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Filtralite .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Sorpční materiály .....</b>                                   | <b>29</b> |
| 3.4.1      | Granulované aktivní uhlí (GAU) .....                             | 29        |
| 3.4.2      | GEH .....  | 30        |
| 3.4.3      | CFH .....  | 31        |
| 3.4.4      | Bayoxide E33 .....   | 32        |
| 3.4.5      | Greensand .....  | 33        |
| 3.4.6      | Birm .....   | 34        |
| 3.4.7      | Semidol .....  | 35        |
| 3.4.8      | DMI-65 .....   | 36        |
| <b>3.5</b> | <b>Rozsivková zemina .....</b>                                   | <b>37</b> |
| <b>3.6</b> | <b>Membrány .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>4</b>   | <b>POSOUZENÍ ÚČINNOSTI VYBRANÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ .....</b> | <b>40</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Postup měření .....</b>                                       | <b>40</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Výsledky rozboru .....</b>                                    | <b>41</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Vyhodnocení naměřených hodnot .....</b>                       | <b>42</b> |
| <b>5</b>   | <b>ZÁVĚR .....</b>   | <b>46</b> |



---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>6</b> | <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                 | <b>49</b> |
|          | <b>SEZNAM TABULEK .....</b>                     | <b>53</b> |
|          | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                     | <b>54</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b> | <b>56</b> |
|          | <b>SUMMARY .....</b>                            | <b>57</b> |

# 1 ÚVOD

Voda je jednou z nejdůležitějších látek na Zemi, vyskytuje se nejen na jejím povrchu, ale také v atmosféře či podzemí. Její existence umožňuje veškerý život, od nejjednodušších organismů až po člověka, stojícího na vrcholu vývojové pyramidy. Právě člověk se naučil využívat vodu kromě biologické potřeby také pro řadu dalších procesů. [1]

Voda je ovlivňována přírodním prostředím, ve kterém se nachází a odnáší si z něj specifické fyzikální, chemické a také biologické vlastnosti. Charakter vody určený těmito vlastnostmi je tedy jedním z kritérií ovlivňujících úpravu vody. Dalším prvkem, dle kterého se volí proces úpravy, je účel, pro nějž je voda upravována. [1]

Nejvýznamnější motivací pro úpravu je získání vody pro pitné účely, produkt této úpravy se nazývá „pitná voda“. Pitná voda nesmí negativně ovlivnit zdraví, proto musí splňovat množství kvalitativních parametrů. [1]

Vodu odebíranou k úpravě můžeme dle prostředí odkud je odebírána rozdělit na vodu povrchovou a vodu podzemní, přičemž podzemní voda je pro své vlastnosti většinou vhodnějším zdrojem, avšak její zásoby jsou značně omezeny. Z tohoto důvodu existují snahy o větší využití vody povrchové. [1]

Na kvalitě a také množství upravované vody pak závisí technické řešení úpravy. U méně znečištěných zdrojů je často dostačující jednoduchá úprava vody bez separačního stupně, případně pak úprava v jednom separačním stupni. Tento stupeň je v případě jednostupňové úpravy vody představován filtrací. V případě většího obsahu suspendovaných látek používáme separaci dvoustupňovou, kde filtrace tvoří druhý separační stupeň. [1]

Filtrace spadá do procesů s názvem separace. Těmito procesy jsou ze surové vody odseparovány suspendované, koloidní a rozpuštěné látky. [1]

Filtry je možno rozčlenit dle způsobu odbourávání nečistot z vody, a to na filtry s procesem fyzikálním a s procesem biologickým. S tím je spojena i rychlost filtrace. Biologický způsob odbourávání nečistot vyžaduje pomalou rychlost, u fyzikálního způsobu může být rychlost vyšší. Tyto způsoby pak nazýváme pomalou biologickou filtrací a rychlofiltrací. [1]

Obor vodárenství se stále rozšiřuje a vyvíjí a stejně tak dochází také k postupnému vývoji filtračních metod a zařízení. Od nejstaršího druhu filtrace, jímž je filtrace biologická se tak ve velké míře postupně přešlo k rychlé filtraci, nejnovějšími typy filtrace jsou pak membránové technologie.

## 2 VODÁRENSKÁ FILTRACE

### 2.1 POMALÁ FILTRACE

Úprava vody pomalou biologickou filtrací je analogií čistících procesů zejména povrchových vod v přírodě, což je její největší předností. Snaha je tedy vytvořit umělé podmínky co nejpodobnější podmínkám přírodním. Nejdůležitější je proto vytvořit prostředí, v němž může beze zbytku fungovat biologické odbourávání nečistot. [1]

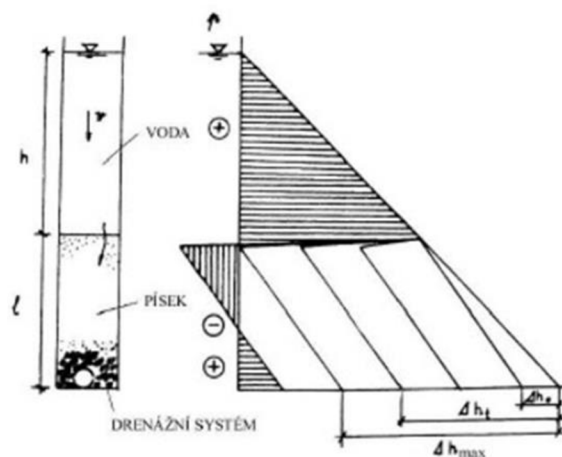
První pomalé filtry byly navrženy r. 1829 v Anglii J. Simpsonem pro úpravu vody z Temže. [2] Proto se pro tuto filtraci používá kromě názvů pomalá a biologická také název anglická. Do kontinentální Evropy se proces pomalé filtrace dostal poprvé ve 2. polovině 19. století. V roce 1892 prokázaly filtry svou účinnost v odbourávání bakterií a choroboplodných zárodků při epidemiích cholery v Německu. [1] Nejstarší biologické filtry na našem území byly vybudovány roku 1872 v Brně, později pak v Karlových Varech a v Plzni. Na některých místech je používána biologická filtrace dodnes, někdy v kombinaci s chemickým předčišťováním. V průběhu 150 let provozu nedoznal princip pomalé filtrace podstatných změn. [2] Současný trend v navrhování pomalé filtrace ovlivňuje zejména omezená kapacita filtrů. [1] Přestože se jedná spíše o historickou technologii, je použitelná i v moderní době, kdy nastává její částečná renesance, a to z důvodu významné biologické funkce. Příznivě ovlivňuje obsah živin v upravené vodě, zejména formy výskytu dusíku. Pomalá filtrace tak nadále nachází uplatnění pro menší kapacity úpraven a v podmínkách kdy není nutno limitovat výběr technologie plochou. [3]

Při pomalé filtraci probíhají v prostředí pískové filtrační vrstvy biologické, fyzikální a chemické čistící procesy. Technologicky nejúčinnější je horní vrstva písku v tloušťce 1 až 2 cm, tzv. biologická blána, s intenzivním oživením aerobními mikroorganismy a řasami. [4] Větší tloušťka blány způsobuje velkou tlakovou ztrátu, čímž proces filtrace ztrácí na účinnosti, eventuálně se zastavuje. Mikroorganismy působí i pod konzistentní biologickou blánou, ve filtračním loži se nacházejí až do hloubky 40 cm. [1]

Obsažené mikroorganismy jsou aerobní, proto je nutno, aby byla u filtrované vody dodržena podmínka dostatečného množství kyslíku. [1] Pokud je voda kyslíkem podsycena, používá se před filtrací jednoduché provzdušnění vody, např. hydraulickým skokem. [4] Mikrobiální odstraňování nečistot je založeno na destrukci organických nečistot působením metabolických procesů přítomných mikroorganismů. Organické nečistoty jsou tak mineralizovány. Kromě mineralizace organických látek dochází v biologické bláně také k odstraňování nežádoucích mikrobů, koliformních zárodků, suspendovaných látek, koloidních látek, makroorganismů a mikroorganismů. [1]

V průběhu filtračního procesu pomalé filtrace dochází k zvětšování mocnosti biologické blány, čímž se postupně mění účinnost procesu úpravy. V počátečním období při vzniku blány je účinnost z důvodu nedostatečného množství čistících mikroorganismů nízká. V rozhodující fázi je blána tvořena dostatečnou vrstvou mikroorganismů a má tedy dobrý úpravárenský efekt. Závěrečnou fází je bytnění blány, která se tak stává pro filtraci málo

propustnou a proces ztrácí na účinnosti. [1] Následkem zvyšování filtrační blány dochází k nárůstu tlakové ztráty na filtru. S tím souvisí i charakteristický průběh křivky ztrátových výšek. Na počátku provozu je tlaková ztráta  $\Delta h_0$ , v čase  $t$  je  $\Delta h_t$ , konečná ztrátová výška je  $\Delta h$ . Pokud je vrstva velmi kolmatovaná, může v horní vrstvě náplně dojít k podtlaku, čemuž je v provozu třeba zabránit. [4]



Obr. 2.1 Kolmatace pomalého filtru [1]

Maximální přírůstek ztrátové výšky od počáteční hodnoty regenerované náplně by neměl přesáhnout 0,5 m v. sl. Této hodnoty je podle obsahu koloidních a jemně suspendovaných látek dosaženo během 3 týdnů až 3 měsíců. [4] Při dosažení maximální hodnoty odporu pomalého filtru je nutno vrchní, nejvíce zanesenou vrstvu odstranit. [3]

Doba vytváření blány je nazývána dobou zapracování filtru a pohybuje se od 1–2 týdnů v létě po 4–6 týdnů v zimě. Po zapracování blány nastává doba filtrace, která je odvislá od řady podmínek u surové vody (teplota vody, množství organických látek, množství suspendovaných a koloidních anorganických látek apod.). V létě je doba filtrace 1–3 měsíce, v zimě může dosahovat až dvojnásobku této doby. [1]

### 2.1.1 Mechanismus pomalé filtrace

Dispergované částice se zachycují v mezerách nejjemnější frakce v horní vrstvě filtrační náplně, rychlost průtoku je přitom přibližně  $0,1 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ . Tímto způsobem se vytváří filtrační blána, na které se zachytí největší množství nečistot. [4]

Zachycování částic ve filtrační vrstvě způsobují tyto síly:

1. Mechanické cezení. Při průtoku mezerami vrstvy vznikají setrvačné síly umožňující spojení jemně suspendovaných a koloidních částic do větších celků. Tyto shluky jsou pak zachycovány v tenké vrstvě na povrchu filtrační náplně, čímž jsou zužovány mezery mezi zrny a mechanické síto se tak stává jemnějším a získává schopnost částečně zachycovat také bakterie.
2. Usazování je předpokládáno v místech styku zrn a na jejich vrchlících, tedy mimo proudnice. Povrchové rychlosti  $0,1 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$  odpovídá usazovací rychlost  $2,8\cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

3. Adsorbce na povrchu zrn způsobená molekulárními silami (van der Waalsovy síly). Do dosahu van der Waalsových sil mohou být koloidní částice vpraveny setrvačnými silami při proudění.
4. Působení elektrostatických sil (Coulombovy síly). Ionty koloidních částic v surové vodě na povrchu zrn mají většinou záporný náboj, a proto se navzájem odpuzují. V případě že se na povrchu zrn vytvoří vrstva složená z kladně nabitých částic, může dojít k zachycování. [1]

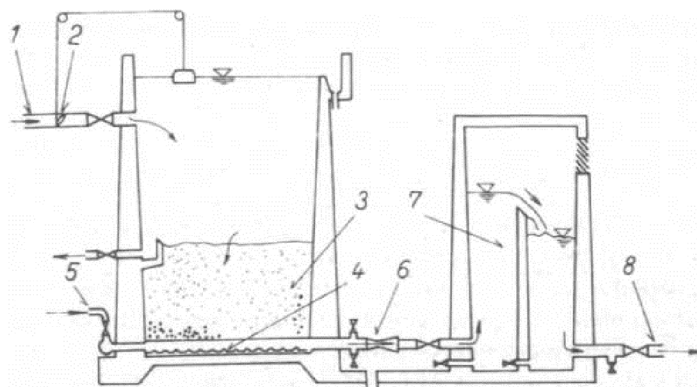
Biologický život v pomalém filtru je dále ovlivněn přítomností řas ve vodě nad filtrační náplní. Jelikož je jejich metabolismus ovlivňován fotosyntetickými pochody, potřebují řasy ke svému životu sluneční světlo. Proto je lze nalézt pouze v otevřených filtrech. V klimatických podmínkách naší republiky se vzhledem k použití zaklenutých filtrů vliv řas neuvažuje. [2]

### 2.1.2 Uspořádání pomalého filtru

Pomalý filtr je tvořen otevřenou či zaklenutou pravoúhloú nádrží, jejíž hloubka je 2,5 až 4 m. Hloubka vrstvy písku je 0,6–1,2 m. [4] Jako filtrační materiál pro pomalou filtraci se zpravidla používá jemný křemičitý písek se zrní velikosti 0,3–1,0 mm. Doporučená výška filtračního pískového lože je 1,0–1,2 m. Pod vrstvou filtračního lože se nachází rozdělovací vrstva drenáže, tvořící obsyp drenážního potrubí. To může být z pálených drenážních trubek, kameninových perforovaných trubek, plastových perforovaných trubek, perforované litiny apod. Rozdělovací vrstva je tvořena postupným obsypem s velikostí zrn 16–32 mm, 8–16 mm, 4–8 mm a 2–4 mm, o výškách přibližně 100 mm. Tento obsyp slouží k zabránění vniku jemného písku do drenážního systému. [1]

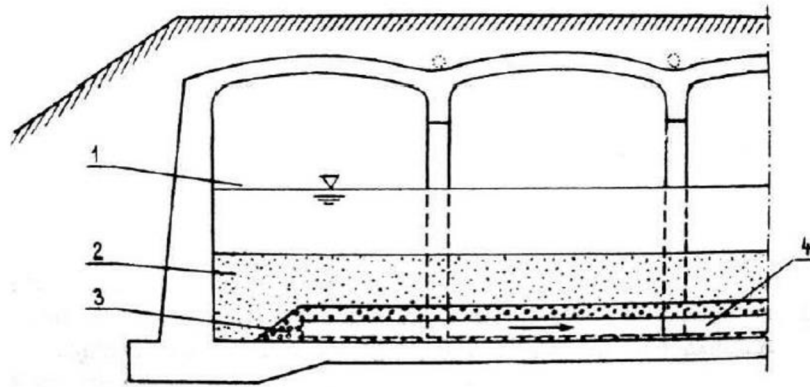
Minimální výška vody nad náplní by měla být 0,5 m, většinou je však v rozsahu 1,2–1,5 m. Přívod vody musí být umístěn tak, aby víření vody nad pískem bylo minimální. [3]

Rychlost filtrace pomalých filtrů je závislá na obsahu suspendovaných látek v upravované vodě. Pohybuje se v rozsahu 2–5 m za den. [3]



- 1 – přítok, 2 – klapka, 3 – náplň, 4 – drenážní potrubí, 5 – plnění vodou,  
6 – Venturiho trubice, 7 – přeliv, 8 - výtok

Obr. 2.2 Otevřený pomalý filtr [3]



1 – hladina vody, 2 – filtrační písek, 3 – drenážní obsypová vrstva, 4 – drenážní potrubí

Obr. 2.3 Zaklenutý pomalý filtr [1]

### 2.1.3 Regenerace filtrační náplně

V případě, že tlaková ztráta u pomalého filtru dosáhne zhruba 0,5 m, je nutno provést regeneraci filtru. Ta probíhá většinou ručně, jelikož v současnosti není pomalá filtrace budována pro větší zdroje vody, s odpovídající velkou plochou filtrů. Ruční regenerace spočívá v seškrábnutí filtrační blány z povrchu filtračního lože a jejím následném odstranění na skládku. Seškrábnutou vrstvu tvoří filtrační písek spolu s biologickou masou. Výška seškrábnuté vrstvy je cca 2–4 cm, po četném odstraňování tudíž dochází k úbytku filtračního písku. [1] Při snížení filtrační vrstvy na přibližně 60 cm je třeba doplnit ji do původní výšky. Byly vyvinuty také způsoby praní bez snímání horní vrstvy (hydraulicky) po celé šířce filtru nebo lokálně. [3] Při uvádění filtru zpět do chodu se filtr plní vodou odspodu, což slouží k vytěsnění vzduchu z průlin filtrační vrstvy. K zapracování regenerovaného filtru stačí v létě cca 5 dnů, v zimě pak dvojnásobek. Mikroorganismy v biologické vrstvě snesou přerušování dodávky kyslíku maximálně 24 hodin, což je tedy nejdelší přípustná doba přerušování provozu. Nedoporučuje se však filtraci přerušovat, ale pokud možno snížit výkon filtru a vodu pouštět do odpadu. [2]

### 2.1.4 Použití pomalé filtrace

V případě dostatečného nasycení vody před úpravou kyslíkem odstraňuje pomalý filtr dokonale suspendované látky a také kvantitativně odstraňuje dusitany a amonné sloučeniny, pokud jsou v povrchové vodě obsaženy v běžném množství. [1]

Pokud jsou v upravované vodě kromě kyslíku přítomny i asimilující organismy, tj. železité a manganové bakterie, odstraňuje se z vody kvantitativně menší množství železa a manganu. [4]

Množství nežádoucích mikroorganismů je při pomalé filtraci sníženo o 93 až 99 %. Pomalá filtrace však nedokonalě snižuje barvu vody a její oxidovatelnost a jen částečně odstraňuje pachy a pachuti. [1]

Úprava povrchových vod pomalou filtrací je provozně jednoduchá, nenáročná a požadavky jak na kvalifikaci obsluhujícího personálu, tak na spotřebu provozních hmot jsou minimální. [3] Ze zdravotního hlediska ponechává pomalá filtrace upravené vodě v největší míře její přirozený charakter, proto je hygieniky doporučována pro zásobování menších obcí s nedostatkem podzemní vody. [2]

Z důvodu malé rychlosti filtrace je vyžadována velká obestavěná plocha, kterou je třeba v našich klimatických poměrech chránit proti mrazu. Nadstavba, i v případě minimální konstrukční výšky, je investičně nákladná a vzhledem k tomu se u nás pomalá filtrace navrhuje pouze pro úpravny výkonem do  $6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . [2]

V zahraničí, v oblastech s vhodnými klimatickými podmínkami, zejména pak v rozvojových zemích jsou využívány úpravny s pomalou filtrací pro výkony až  $1000 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . [3]

## 2.2 RYCHLÁ FILTRACE

Limitující rychlost biologického způsobu úpravy společně se vzrůstající potřebou vody vedly k nalezení razantnějšího způsobu úpravy. Trend filtrace začal směřovat k odlišnému druhu filtrace, jímž je rychlá filtrace. Ta nevyužívá biologického způsobu úpravy a při využití pouze fyzikálního a chemického principu, tak může dojít ke zvýšení filtrační rychlosti. [1]

Koncem 19. století se začalo k zabezpečení dezinfekce používat chlorování. Touto dobou již byly známy pochody chemického srážení koloidních látek. Tyto poznatky přispěly k zavedení kvalitativní změny technologie separace a tím také zvětšení rychlosti. Povrchová rychlost v rychlofiltru je  $3,6$  až  $7,2 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ , zpravidla se pohybuje okolo  $5 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ . [4]

První rychlofiltry byly použity v Somerville (New Jersey, USA) roku 1885, v Evropě poté roku 1895 v Curyšské (Švýcarsko) úpravně vody. Uspořádání těchto rychlofiltrů bylo stejné jako u pomalých filtrů, voda tedy protékala zatopenou vrstvou písku gravitačně směrem shora dolů. Na stejném principu je založena také převážná většina současných konstrukcí. [2]

Rychlá filtrace je v současnosti vůbec nepoužívanější technologií ve vodárenství. [3]

Hlavním rozdílem oproti pomalé filtraci je velikost zrn, přičemž vrstva filtračního písku v rychlofiltru se skládá z větších zrn, většinou o velikosti  $0,5$  až  $2 \text{ mm}$ . Při průtoku směrem dolů protéká voda nejprve vrstvou s nejmenšími zrny a mezerami, zde dochází k ukládání nečistot. Spodní část filtrační vrstvy se k zachycování téměř nevyužívá. [4] Zahlcování vrstvy (kolmatace) se projeví zvýšením ztrátové výšky v průběhu času. Doba provozu rychlofiltru závisí zejména na velikosti zrn a množství a druhu suspendovaných látek obsažených ve vodě. Nicméně je podstatně kratší než doba provozu pomalého filtru. Filtrační cyklus rychlofiltru trvá většinou několik dní. [2] Cyklický průběh je charakteristickým rysem rychlofiltrace. [5]

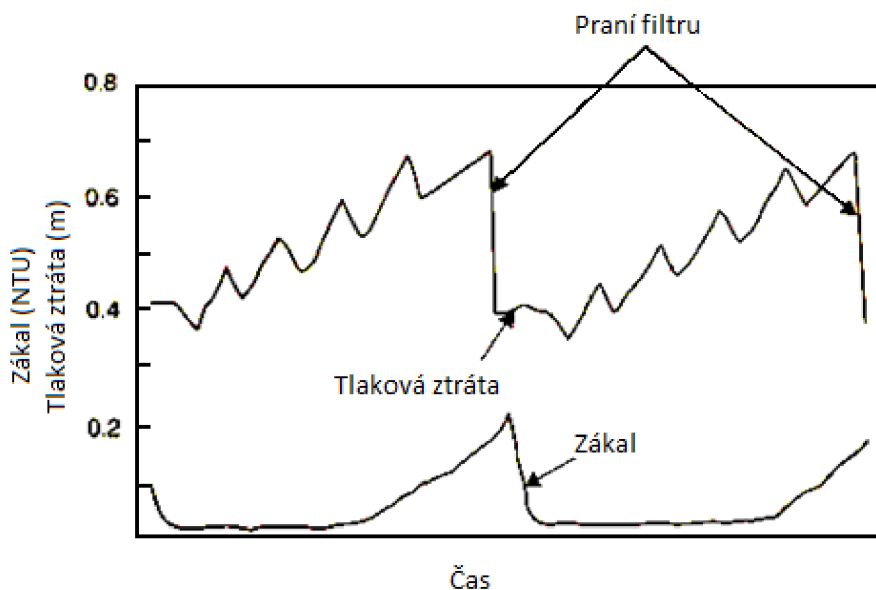
### 2.2.1 Mechanismus rychlé filtrace

Při proudění suspendovaných částic náplní rychlofiltru dochází k jejich zachycování na zrnech a v mezerách mezi nimi. Rozdílem oproti pomalé filtraci je pronikání částic do hloubky náplně, největší podíl zachycených částic je však v horní vrstvě. Zachycování

způsobují stejně jako v případě pomalého filtru mechanické cezení, usazování, adsorpce a elektrostatické síly. [1]

### 2.2.2 Filtrační cyklus

Délku filtračního cyklu ovlivňují zejména dva činitelé – kvalita filtrátu a ztrátová výška. Kvalita filtrátu je určena požadavkem vyhlášky pro pitnou vodu. Pro zákal je mezní hodnota 5 NTU (nefelometrických jednotek), ztrátová výška u otevřeného rychlofiltru pak bývá do 2 m v. sl. V případě, že doba provozu je při dosažení obou krajních hodnot stejná, jedná se o správný provoz rychlofiltru. [4] Významným ukazatelem, podle něhož se stanovuje zahájení regenerace filtru je průnik železa a hliníku do filtrované vody. [1]



Obr. 2.4 Graf zákalu a tlakových ztrát v průběhu filtračního cyklu [5]

Celková délka filtračního cyklu  $T$  je dána součtem doby filtrace  $t_f$ , doby praní  $t_p$  a doby zafiltrování  $t_z$ . [6] Délka filtračního cyklu je orientačně určována za pomoci kalové kapacity, což je hmotnost nečistot, jež jsou zachyceny v objemu vrstvy o ploše  $1 \text{ m}^2$  při výšce vrstvy  $l$ . Tato kapacita je závislá na rychlosti, druhu náplně a druhu suspenze. U rychlofiltrů bývá kalová kapacita v rozmezí  $2 \cdot 10^3$  až  $4 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ . [1]

Podle kalové kapacity je délka filtračního cyklu  $T$  [s]:

$$T = \frac{K}{c_0 \cdot v} \quad (2.1)$$

kde  $K$  ... kalová kapacita [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$c_0$  ... hmotnostní koncentrace na přítoku [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$v$  ... povrchová rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Kalová kapacita je určována experimentálně pomocí odebrání sond z různých vrstev náplně. [4]



### 2.2.3 Filtrační náplň

Nejčastějšími materiály používanými jako náplň filtrů jsou křemičitý písek a antracit. Mezerovitost písku je v rozmezí  $m = 0,38$  až  $0,42$ , u antracitu pak  $m = 0,50$ . Materiál, jež se používá k filtraci musí být chemicky stálý proti rozpuštění, mechanicky pevný a odolný proti otěru. Složení zrnité směsi filtrační náplně udává křivka zrnitosti. Touto křivkou je v procentech hmotnosti vyjádřeno množství zrn, která propadla určitou velikostí oka normalizovaného síta. Z této křivky je pak stanoveno  $d_{10}$  – účinné (efektivní) zrn, vyjadřující velikost oka síta, skrze něhož propadne 10 % hmotnosti zrn prosévaného materiálu a dále také koeficient stejnozrnnosti podle A. Hazena – poměr  $d_{60}/d_{10}$ . Hodnota  $d_{10}$  je charakteristická pro určení odporu celé vrstvy. [2]

Tab. 2.1 Vlastnosti nejčastějších filtračních médií používaných pro rychlofiltry [7]

| Vlastnost                 | Jednotka | Písek   | Antracit | GAU     |
|---------------------------|----------|---------|----------|---------|
| Efektivní zrn             | [mm]     | 0,4–0,8 | 0,8–2,0  | 0,8–2,0 |
| Koeficient stejnozrnnosti | [-]      | 1,3–1,7 | 1,3–1,7  | 1,3–2,4 |
| Hustota                   | [g/ml]   | 2,65    | 1,4–1,8  | 1,3–1,7 |
| Pórovitost                | [%]      | 40–43   | 47–52    | N       |
| Tvrdość                   | [Moh]    | 7       | 2–3      | Nížká   |

Pozn.: N – hodnota není dostupná

### 2.2.4 Dělení rychlofiltrů

#### Na základě filtrační rychlosti

Na základě filtrační rychlosti rozdělujeme rychlofiltry:

- se zdánlivou filtrační rychlostí,
- s proměnnou filtrační rychlostí. [1]

Jako filtrační rychlost je u **filtrů se zdánlivou filtrační rychlostí** označována povrchová rychlost, tj. plošné zatížení. Pokud je například plocha filtru  $S = 20 \text{ m}^2$  a množství filtrované vody  $Q = 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  povrchová rychlost se vypočte jako:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{20 \text{ m}^2} = 0,001 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{ tj. } 3,6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}. [1]$$

Tato rychlost však u filtru není skutečná, jelikož filtrovaná voda prochází pouze mezerami mezi zrny filtrační náplně. Skutečná rychlost je tak značně vyšší. Povrchová rychlost je tedy pouze zdánlivá. Je snaha při filtraci rozdělit množství filtrované vody rovnoměrně do počtu navržených jednotek. Aniž by byl brán ohled na zanesení filtru, je na každém filtru filtrováno množství vody, jež odpovídá aritmetickému průměru počtu filtrů. U filtru po regeneraci je přitom průchodnost mezerami mezi zrny písku značně vyšší než u zaneseného filtru, z čehož vyplývá, že kvalita vody je značně ovlivňována skutečnou filtrační rychlostí. Aritmetické

rozdělení průtoku na jednotlivé filtrační jednotky zabezpečuje odtoková regulace osazená u každého filtru. Tato regulace je zabezpečena regulační klapkou na odtoku filtrované vody a tato klapka je řízena podle tlakové ztráty ve filtru. U filtru po regeneraci je tak klapka pouze pootevřena, zatímco u filtru, jež má nízkou průchodnost je prakticky otevřena. Proces filtrace je tak řízen nehledě na rychlosti ve filtrech a kvalitu filtrované vody pouze na základě tlakové ztráty. [1]

V případě **rychlofiltrace s proměnnou filtrační rychlostí** dochází k přiblížení procesu skutečným podmínkám vsakování a filtrace v přírodě. [1]

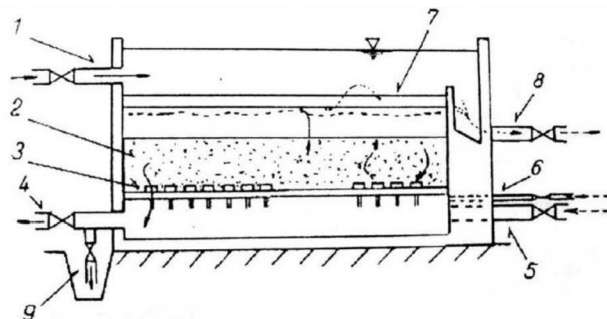
Rozdělení vody na jednotlivé filtry je asymetrické, každý filtr si z celkového množství filtrované vody odebírá množství odpovídající míře zanesení filtru. To znamená, že filtr po regeneraci odebírá větší množství vody a zanesený filtr menší množství. Filtrační rychlost uvnitř filtru tedy odpovídá stavu jeho zanesení. Tato rychlost je optimální a bez ovlivňování zásahy provozovatele. Tohoto procesu je docíleno shodnou hladinou vody nad náplní všech filtrů a společnou odtokovou regulací, jež udržuje úroveň hladiny, nikoliv však množství protéké vody pro jednotlivé filtry. Tímto způsobem filtrace se docílí lepší výsledné kvality filtrované vody. [1]

### ***Podle směru proudění***

Podle směru proudění rozdělujeme rychlofiltry na:

- protékané shora dolů,
- protékané zdola nahoru,
- protékané obousměrně. [3]

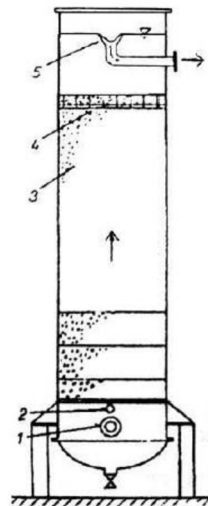
Nejběžnějším typem je otevřený rychlofiltr s průtokem shora dolů. Suspenze do něj přitéká potrubím pod hladinou vody, dále pak protéká skrze filtrační vrstvu a scezovací hlavice, jež jsou uloženy na mezidně a dále do prostoru pod mezidnem. Odtud přefiltrovaná voda odtéká do akumulární nádrže. Postup praní je na obrázku znázorněn čárkami. Prací voda a prací vzduch se přivádějí pod mezidno a to za pomoci vedle sebe umístěného potrubí. Prací voda pak přepadá do žlabu, z něhož dále odtéká do sběrného žlabu a odtud potrubím do odpadu. Do odpadu se odvádí rovněž první filtrát po vyprání filtru. [4]



- 1 – přívodní potrubí, 2 – filtrační vrstva, 3 – mezidno, 4 – přefiltrovaná voda,  
5 – potrubí prací vody, 6 – potrubí pracího vzduchu, 7 – žlab, 8, 9 – odpadní potrubí

**Obr.2.5 Otevřený rychlofiltr [1]**

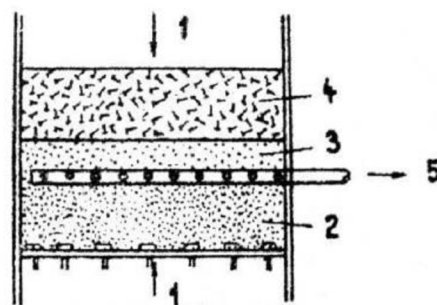
Filtr s průtokem směrem zdola vzhůru vznikl za účelem lepšího využití mezer mezi hrubšími zrnky ve spodní části filtrační vrstvy. Voda k úpravě je přiváděna potrubím pod mezidno. Pomocí dalšího potrubí je prováděno odzdušnění prostoru pod mezidnem. Na mezidnu je pak uložena vrstva štěrku a písku a pod úrovní písku dále mříž, zabraňující vznesení horní vrstvy. Odtok přefiltrované vody zajišťuje potrubí v horní části nádrže. Objem mezer, jenž lze využít k akumulaci kalu je u těchto filtrů větší, avšak při kolmataci horní vrstvy vzniká nebezpečí vznosu menších zrn, z nichž je tato vrstva složena. Důsledkem toho může být průnik kalu. [4]



- 1 – přívodní potrubí,
- 2 – odzdušňovací potrubí,
- 3 – vrstva štěrku a písku,
- 4 – mříž,
- 5 – přefiltrovaná voda

Obr. 2.6 Filtr protékající obráceně [1]

Kvůli odstranění rizika vznosu horní vrstvy filtračního media při průtoku zdola vzhůru, došlo k umístění odběru ve filtrační vrstvě. Průtok je obousměrný, přičemž zdola je voda filtrována pomocí vrstvy pískových zrn a shora skrze vrstvu antracitu. Děrované potrubí pro odtok upravené vody je uloženo v pískové vrstvě, která je vyšší. Je zde použito dvouvrstvé filtrační medium, v němž antracitová zrna mají menší měrnou hmotnost a jsou větší než zrna písku. [4]



- 1 – spodní průtok, 2 – vrstva pískových zrn, 3 – děrované potrubí,
- 4 – vrstva antracitu, 5 – odtok upravené vody

Obr. 2.7 Filtr s oboustranným průtokem [1]

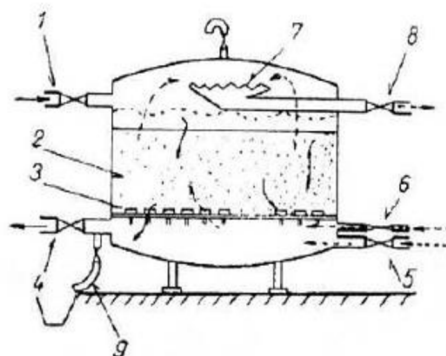
## **Podle tlakového režimu**

Podle tlakového režimu rozdělujeme rychlofiltry na:

- otevřené (gravitační),
- uzavřené (tlakové). [3]

U **otevřených rychlofiltrů** slouží k překonání odporu filtračního prostředí výška vodního sloupce mezi hladinou nad povrchem filtrační náplně a na výtoku, nacházejícím se za filtrem. Tento rozdíl vodního sloupce je důležitý pro překonání odporu vrstvy, drenážní soustavy, odporu regulačního uzávěru a ztrát při proudění potrubím. Zpravidla bývá ztrátová výška nanejvýš 2 m. Z naprosté provozní spolehlivosti otevřených filtrů vyplývá jejich přednostní používání v úpravnách pitné vody. [1]

**Tlakové** filtry se budují zejména v průmyslových úpravnách vody, a to zejména z ekonomických důvodů. Jedná se o vodotěsné uzavřené válcové nádoby, které mají osu umístěnou ve svislé či vodorovné poloze. Ztrátová výška se v tlakových filtrech pohybuje do 5 m v. sl., rychlost filtrace bývá až  $40 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ . Tlakové filtry se používají při úpravě podzemní vody na vodu pitnou. V odůvodněných případech je však možno je využít také pro úpravu vody povrchové. [1]



- 1 – přívodní potrubí, 2 – filtrační vrstva, 3 – mezidno, 4 – přefiltrovaná voda,  
5 – potrubí prací vody, 6 – potrubí pracího vzduchu, 7 – žlab, 8, 9 – odpadní potrubí

**Obr. 2.8 Stojatý tlakový filtr [1]**

## **Podle způsobu praní**

Podle způsobu praní dělíme rychlofiltry na:

- americké,
- evropské. [1]

Regeneraci filtru je nutno zahájit, pokud dojde k překročení:

- tlakové ztráty ve filtrační náplni,
- zákalu ve filtrované vodě,
- limitního množství Al či Fe z koagulantu proniklého do filtrované vody,

- teoreticky přípustné doby filtračního cyklu (může docházet k zahnívání organických látek ve filtračním loži). [1]

U amerických filtrů je praní prováděno bez použití pracího vzduchu, pouze pomocí horní a dolní vody. Evropské filtry naopak nepoužívají horní způsob praní, zato je zde využíváno praní vzduchem. [1]

Písková náplň amerického filtru je jemnější (0,5–1,0 mm). **Regenerace amerického filtru** se skládá ze 3 fází: [1]

1. Horní praní, kdy po snížení hladiny nad náplní dojde k rozrušení horní vrstvy náplně vodními paprsky. Tato fáze trvá přibližně 2–4 minuty. Voda je nad hladinou rozstříkována tryskami na hydraulicky poháněném Segnerově kole, jež je umístěno nad hladinou ve filtru.
2. Zároveň horní i spodní praní, zespodu je vháněna voda do drenážního systému, dochází k expanzi pískové náplně a horní praní zatím pokračuje do expandované náplně. Doba trvání této fáze je 2–3 minuty.
3. Spodní dopírání filtru po dobu 1–3 minut. [1]

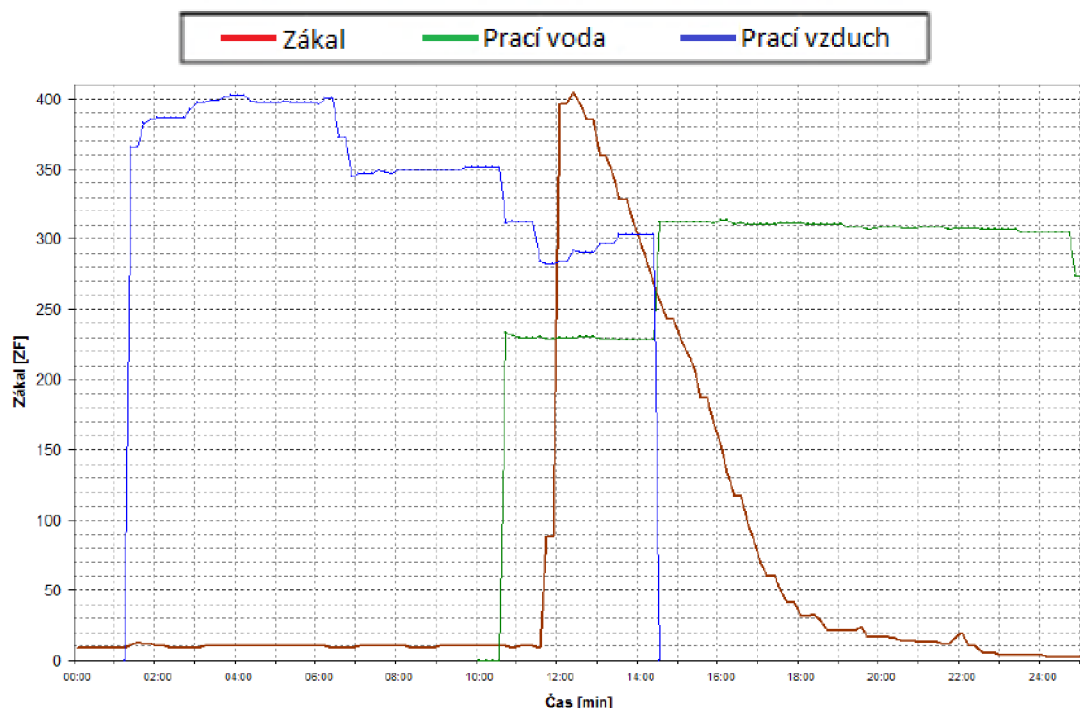
Filtrační náplň evropského filtru bývá většinou hrubší (1–2 mm). **Regenerace evropského filtru** má 3 etapy: [1]

1. Praní vzduchem, kdy je vzduchovým roštem, nacházejícím se pod filtrační náplní vháněn tlakový vzduch a tím dochází k mechanickému otěru zrn písku. [1] Praní trvá 3–5 minut a má intenzitu  $15\text{--}22\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . [3]
2. Praní vzduchem v kombinaci s vodou. Dochází ke snížení intenzity vháněného vzduchu na  $10\text{--}15\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  a zároveň se přidává tlaková voda o intenzitě  $4\text{--}5\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , vháněná vodním roštem umístěným pod filtrační náplní. Dochází tak k expanzi filtrační náplně. Tato etapa trvá 5–10 minut a po jejím ukončení prací voda odtéká do odpadu.
3. Dopírání, přičemž v této etapě je uzavřen přívod tlakového vzduchu a zvýšena intenzita prací vody na  $6\text{--}8\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Trvání etapy je 10–20 minut. [1]

K praní filtrů je používána zásadně upravená voda, která je dodávána ze sítě či z vyvýšeného vodojemu prací vody. [3]

Při praní dochází k expanzi filtrační vrstvy, závislé na intenzitě praní, teplotě vody a zrnitosti vrstvy. Zpravidla se pohybuje do 10 %, ale může být také větší a je nutné s touto expanzí počítat při řešení konstrukčního uspořádání filtru. [3]

Po vyprání se filtr vrací do provozního režimu. Je důležité, aby návrat do provozu probíhal pozvolna a je vhodné zpočátku odvádět filtrovanou vodu do odpadu. Důvodem je, že trvá, než dojde k usazení filtrační náplně a první filtrovaná voda tak obsahuje zbytky nečistot, jež nebyly odstraněny během regenerace. [7] Doba, po kterou se voda pouští do odpadu, tzv. zafiltrování, je 3–5 minut. Po období zafiltrování lze plnohodnotně realizovat filtrační proces. [1]



Obr. 2.9 Graf účinnosti praní v závislosti na době praní [1]

### *Další dělení*

Podle způsobu provozu dělíme rychlofiltry:

- s cyklickým praním,
- kontinuálním praním. [3]

Podle počtu vrstev dělíme rychlofiltry na:

- jednovrstvé filtry,
- vícevrstvé filtry. [3]

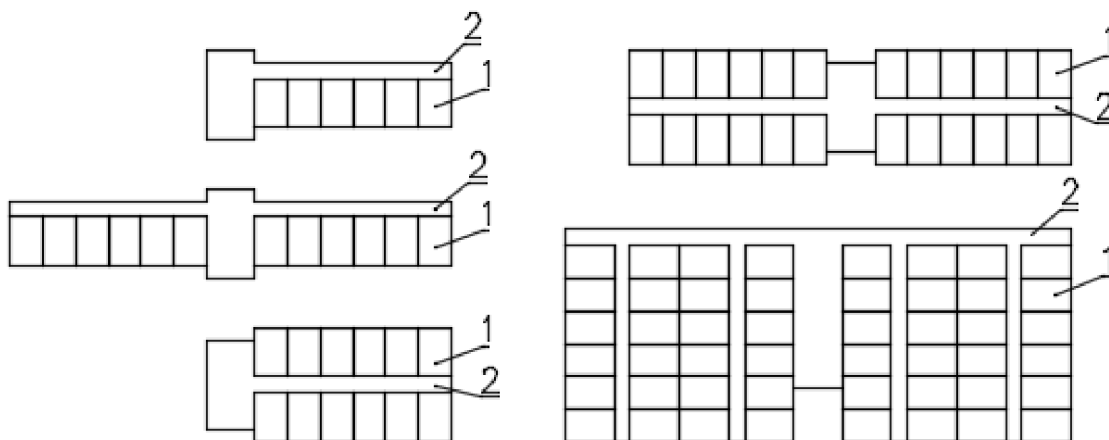
### **2.2.5 Konstrukční uspořádání rychlofiltrů**

Mezi základní funkční prvky otevřeného filtru se řadí filtrační nádrž a strojně technologické vybavení a zařízení pro kontrolu provozu. [4]

Součástí nádrže jsou pak filtrační náplň, drenážní soustava a žlaby na přívod vody a odvádění kalu. Výška filtrační nádrže závisí na zvoleném drenážním systému, filtrační vrstvě a výšce, která je požadována nad filtrační náplní. Horní okraj nádrže by měl být minimálně 40 cm nad maximální hladinou ve filtru. Konstrukční výška, pohybující se v rozmezí od 2,5 do 4 m, zabezpečuje potřebný hydraulický spád. [4]

Větší filtrační jednotky mají nádrže vyrobené ze železobetonu, u menších nádrží jsou časté také nádrže z plastů či kovového materiálu. [1] Mezidna a žlaby jsou prefabrikované. [4]

Nejčastěji mají nádrže obdélníkový půdorys, mohou však být i kruhové. [3] V případě nádrží s obdélníkovým půdorysem lícuje jejich kratší strana s armaturní chodbou. V úpravnách se budují nejméně dvě filtrační jednotky. Obvyklé rozmístění filtrů je patrné z obrázku 2.10. [4]



1 – filtr, 2 – trubní galerie

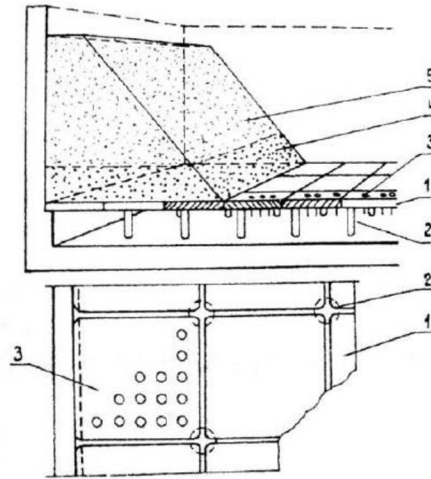
**Obrázek 2.10** Půdorysné uspořádání filtrů [2]

Drenážní soustava má následující funkce:

- rozděluje průtok prací vody a vzduchu,
- rozděluje průtok upravené vody,
- tvoří podloží filtrační vrstvy (u trubní drenáže). [4]

### ***Drenážní systém v mezidně filtru***

Drenážní systém v mezidně se skládá z plošného systému filtračních trysek (filtrační scezovací hlavice). Ty jsou osazeny do prefabrikovaného mezidna filtru. Mezidno bývá zpravidla umístěno 80–90 cm nade dnem filtru. Železobetonové filtrační desky jsou uloženy na železobetonových trámčích, ukotvených do stěn a dna filtrů. Celý systém je ve spárách filtračních desek a po obvodě stěn filtrů utěsněn tak, aby spárami při praní filtru neunikala prací voda ani prací vzduch. V deskách jsou plošně navrtány otvory pro osazení scezovacích hlavíc. [1] Počet hlavíc je ovlivněn hloubkou filtrační a šterkové vrstvy. Pokud je na mezidnu pouze vrstva písku, je zapotřebí větší počet hlavíc, konkrétně 60 až 80 na 1 m<sup>2</sup>. [4] Při filtračním procesu dochází prostřednictvím hlavíc k odvádění filtrované vody pod mezidno. Ve fázi regenerace je pod mezidno přiváděn tlakový vzduch i tlaková voda. Obě média prochází filtračními hlavicemi do filtrační náplně, která se tak dostává do vznosu a nastává proces praní filtru. [1]

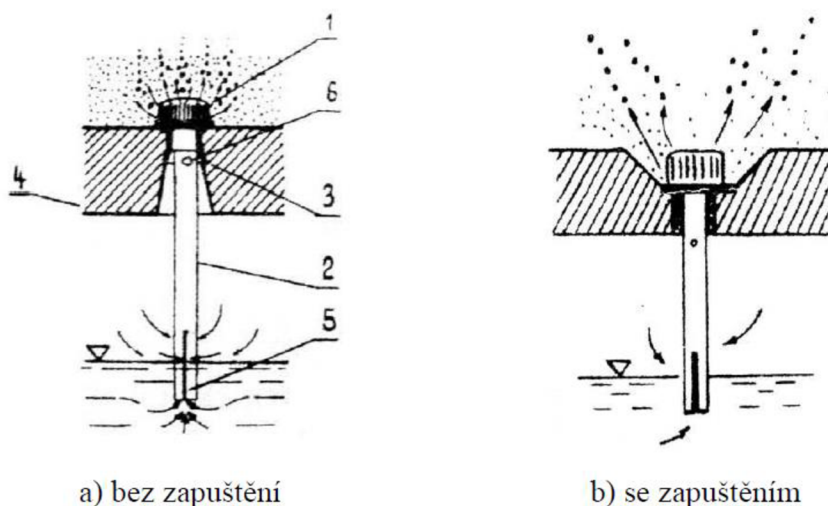


1 – desky, 2 – pilíře, 3 – filtrační hlavice, 4 – hrubozrný písek, 5 - písek

**Obr. 2.11 Mezidno z desek s filtračními hlavicemi zapuštěnými [2]**

Filtrační hlavice bývají vyrobeny z umělých hmot. Jsou složeny z vlastní hlavice, která je opatřena svislými nebo vodorovnými štěrbinami o šířce několik desetin mm a délce přibližně 1 až 3 cm. Šířka štěrbin musí být taková, aby skrze ni nemohla propadnout zrna filtrační náplně. Dalšími částmi jsou prodlužovací nástavec a objímka vyrobená z polystyrenu, uložená v otvoru desky mezidna. Dolní konec nástavce je opatřen štěrbinou udržující výšku sloupce vzduchu pod mezidnem. Pod závitem objímky se v nástavci nachází otvor o průměru zhruba 1 mm, kterým uniká po praní vzduch a celý prostor pod mezidnem se zaplní vodou. [4]

Některé ze zahraničních firem používají mezidna s prohlubněmi, do kterých se hlavice ukládají. Toto opatření zmenšuje nebezpečí mechanického poškození hlavice či zlomení nástavce. [4]



a) bez zapuštění

b) se zapuštěním

**Obr. 2.12 Filtrační hlavice [1]**



## ***Drenážní systém bez mezidna***

V současnosti je tento způsob drenáže ve většině případů tvořen systémem plastových trub s filtračními hlavicemi nasazenými na perforaci trub. Filtrovaná voda je pomocí hlavic scezována. Opačným směrem průtoku je do vody přiváděna prací voda a scezovacími hlavicemi proniká do filtračního lože. Vedle vodního roštu je ve dně osazen také vzduchový rošt, skrze nějž je do dna filtru pod filtrační náplň přiváděn prací vzduch. [1]

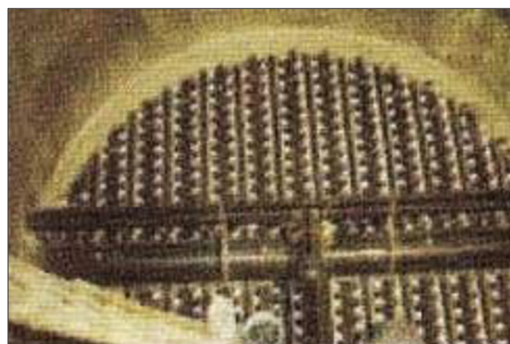
Užívají se zejména následující systémy roštů:

- Novák
- Leopold
- Triton

Drenážní systém **Novák** se skládá z horizontálně uložených trubních těles na vodu a na vzduch (viz obr. 2.13, 2.14). Tato tělesa jsou vyrobena z PVC a pokládají se společně s dalšími částmi na pravé dno filtru. Technickým a hydraulickým uložením je umožněno uložení tělesa s tolerancí +25 mm a -10 mm od projektované úrovně. Rychlá a snadná demontáž je zajištěna díky hrdlovým spojům těsněným gumovými kroužky. Systém má malou hmotnost, jeho nejtěžší prvek, jímž je trubní těleso, váží při šířce filtračního pole 3 m přibližně 20 kg. [3]



**Obr. 2.13** Obtusekovaný filtr [8]



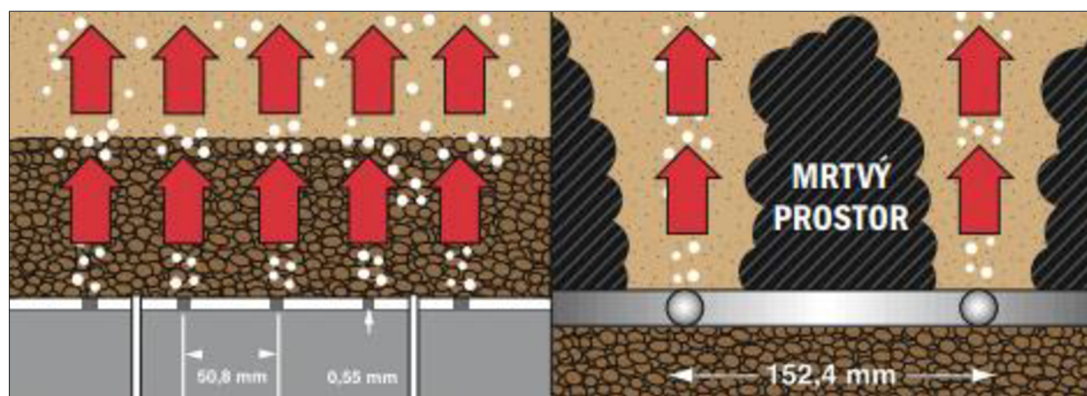
**Obr. 2.14** Kruhový filtr [8]

Firma **Leopold** vyvinula do drenážního systému kanál zajišťující vyvážené proudění vody po celé délce drenáže. Tento kanál dále pomáhá zajistit rovnoměrný a kontinuální proud pracích médií ze všech otvorů drenážního systému. Kanál byl navržen tak, aby umožnil prací vodě a vzduchu znovu vstoupit do drenážního systému a zpětný proud tak vyrovnal oblasti s nízkým tlakem. To podstatně zlepšuje činnost drenážního systému a zaručuje vynikající výsledky praní filtrů. [9]



Obr. 2.15 Drenážní systém Leopold Type S [10]

Charakteristikou drenážních systémů Leopold Type S je umístění otvorů pro práci vzduch a vodu velmi blízko u sebe. Otvory se tak neucpávají a je zajištěn rovnoměrný rozvod pracího vzduchu a prací vody při praní filtrů. V případě jiných konstrukcí drenážních systémů, které mají otvory pro práci média dále od sebe, může často docházet ke vzniku mrtvých koutů. V těchto místech vzduch neuvede do vznosu část filtračního média a praní filtru proto není dostatečně účinné. Technologie Leopold vznik mrtvých zón téměř znemožňuje, právě díky na husto umístěným otvorům pro distribuci pracího vzduchu a vody, čímž je dosaženo velmi efektivního praní. [9]



Obr. 2.16 Vzdálenost otvorů drenážního systému Leopold ve srovnání s jinými systémy [9]

Při sestavování jednotlivých podélných profilů drenážního systému do sebe bloky jednoduchým způsobem zapadnou a vytvoří dobře těsnící spojení po celé délce každého profilu. Drenážní systém může být namontován s tolerancí uložení až 6,5 mm. [9]

Univerzální typy drenáží firmy Leopold mohou být doplněny krytem drenážního systému IMS (Integral Media Support), který výrobcem dodává již nainstalovaný na horní části drenážních bloků. Při použití tohoto krytu není již potřebná vrstva šterku na dně filtru. [9]

Konstrukce drenážního systému **Triton** se skládá ze dvou samostatných ploch, plnících funkci gravitační drenáže dna filtru. Vnější drenážní povrch má parabolický tvar a jsou na něm navinuty dráty ve tvaru „V“, zabraňující ucpávání štěrbin mezi dráty mechanickými nečistotami. Tento povrch lze v případě potřeby velmi snadno očistit zpětným tokem filtrátu. Vnitřní povrch drenáže je vyroben z patentovaného U-profilu a poskytuje nutnou podpěru pro vnější povrch. [11]

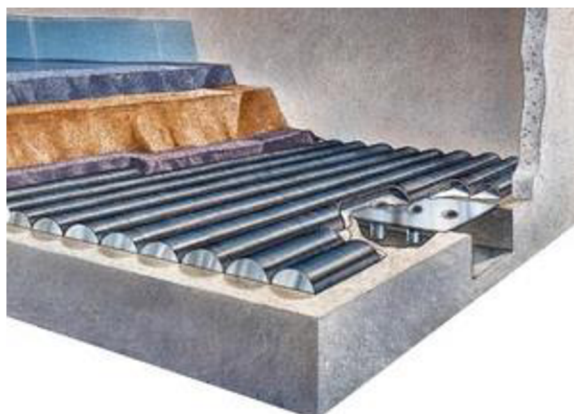


Obr. 2.17 Konstrukce segmentu drenážního systému Triton [12]

Výhody velmi pevné konstrukce montážních částí filtračních segmentů a různých průměrů průtočných otvorů na vnitřních U-profilech jsou následující:

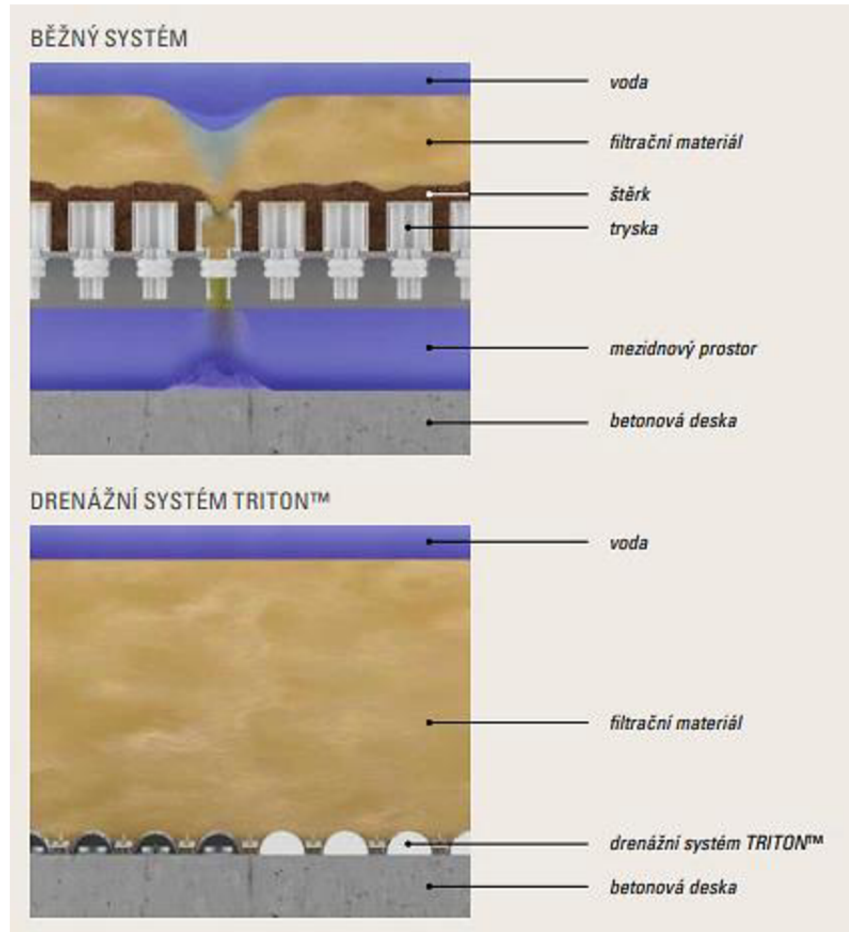
- rovnoměrná distribuce toku kapaliny v režimu filtrace i během fáze zpětného praní,
- rovnoměrné rozdělení vzduchu během fáze zpětného praní,
- vysoká mechanická pevnost konstrukce filtru.

Veškerý materiál, kromě těsnících podložek, je vyroben z oceli, což zajišťuje lepší odolnost proti korozi, mechanickou pevnost a delší životnost filtračního systému. Systém je převážně dodáván v nerez oceli 304 L nebo 316 L. [11]



Obr. 2.18 Filtr s drenážním systémem Triton [11]

Spodní vrstva hrubozrnného štěrku není při použití tohoto drenážního systému potřebná, lze totiž vyrobit filtr hodící se pro jakoukoli zrnitost filtračního média. Malá výška (cca 120 mm) segmentů Tritonu umožňuje zvýšení hloubky filtračního média a tím dochází k možnému snížení nákladů na instalaci a údržbu tohoto systému. Pokrytí vnější filtrační plochy je větší (o cca 25 %) než u plochého filtru s tryskami, což přispívá k redukci mrtvých zón. [11]



Obr. 2.19 Srovnání drenážního systému Triton s běžným systémem [13]

Drenážní systémy Triton mohou také odolávat větším tlakům vody a vzduchu oproti plochým drenážním systémům tryskového typu, je tak možné použití menších filtračních segmentů, čímž dojde ke snížení stavebních nákladů. Konstrukce jednotlivých filtračních modulů je samonosná, což umožňuje snadnou a rychlou instalaci. [11]

## 2.3 NÁPLAVNÁ FILTRACE

Podobně jako pomalá filtrace, také náplavná filtrace vychází z napodobení přírodních procesů a používá převážně přírodní materiály. [3] U náplavných filtrů se uplatňuje poznatek, že na zachycování částic zákalu je nejúčinnější vrstva naplavených částic. Nosnou konstrukcí pro tuto vrstvu bývá filtrační tkanina ze syntetických vláken, drátěného pletiva, plsti atd. V průběhu každého filtračního cyklu je na tkaninu naplavena mostící vrstva jemného materiálu o tloušťce 2–3 mm. [1]

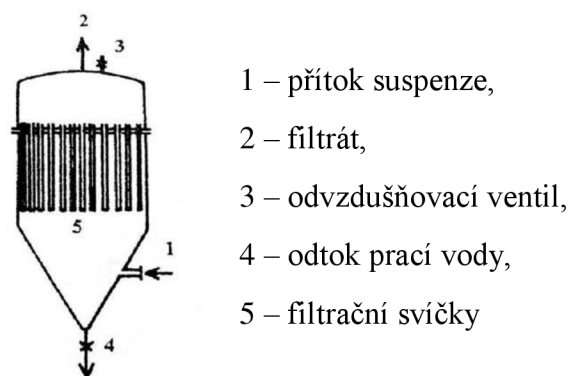
Vlastní filtrační vrstva je vytvářena až za provozu, z trvale přidávaného naplavovaného materiálu a zachycených částic. Mezi částicemi naplavené vrstvy jsou minimální mezery a může tak docházet k zachycování zákalotvorných částic o velikosti 1  $\mu\text{m}$ . [1]

Filtrační materiál se volí na základě charakteru nerozpuštěných látek ve vodě a pH vody. Obecně může být náplavná filtrace použita k filtraci povrchových vod, které mají nízký obsah nerozpuštěných látek. [4]

Úpravou surové vody, případně úpravou naplavovaných hmot může dojít ke zvýšení separační účinnosti náplavné filtrace. Tímto způsobem lze pak z vody odstranit koliformní bakterie o velikosti 1–5  $\mu\text{m}$ . [4] Dále lze dosáhnout odstranění parazitů, larev, mikroskopických organismů a řas, snížení obsahu nerozpuštěných látek pod 100  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  a snížení obsahu manganu a železa pod 80  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  resp. 50  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [6]

V průběhu provozu je k vodě dávkována suspenze rozsvíkové zeminy v dávce 10–20  $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . [1] Filtrační rychlost na povrchu pletiva se pohybuje v rozmezí od 2,5 do 7,2  $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ , filtrační cyklus trvá obvykle 10 až 50 hodin. Dochází k plynulému narůstání naplaveného koláče až do tloušťky 40 mm, přičemž ztrátová výška bývá 5–15 m. [6] V okamžiku dosažení maxima ztrátové výšky je zastaven provoz, dochází k oddělení koláče vzduchem a následně je tkanivo propráno opačně přiváděnou vodou. Oddělený koláč bývá vypouštěn ze dna zařízení. [1]

Mezi nejběžněji používané náplavné filtry patří tlakové filtry s talířovými elementy a svíčkové náplavné filtry. [4]



Obr. 2.20 Schéma svíčkového filtru [6]

Investiční náklady na náplavnou filtraci jsou přibližně poloviční oproti nákladům na rychlofiltraci, avšak provozní náklady jsou vyšší. [4]

## 2.4 MEMBRÁNOVÉ PROCESY

Tyto procesy jsou v současném vodárenství používány jen minimálně, častější je využití v oblasti výroby speciálních průmyslových vod v celé řadě odvětví. Současně se však objevuje neustále více zdrojů vody, jež je zapotřebí využívat, avšak není možno je upravit klasickou úpravou. Mezi tyto zdroje řadíme především vody zatížené přírodními solemi, jejichž hodnota přesahuje limity dané příslušnými směrnici. [1]

Do skupiny membránových procesů se řadí mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. [6] Základem těchto postupů jsou polopropustné membrány, které propouštějí molekuly vody a dále jen částice do určité velikosti (koloidní a rozpuštěné) nebo určitý elektrický náboj, s ohledem na typ membrány. [14]

**Mikrofiltrací (MF)** lze separovat částice s minimální velikostí 0,1  $\mu\text{m}$  a provozuje se při tlacích od 30 do 200 kPa. Její pomocí lze odstranit suspendované látky, zejména bakterie, řasy a protozoa. Obecně však tímto procesem nelze odstranit látky rozpuštěné, pouze ty, které jsou vázány na koloidy. [15]

**Ultrafiltrací (UF)** jsou z vody separovány částice o velikosti přibližně 0,005 až 0,1  $\mu\text{m}$ , a to při tlacích 0,1 až 0,6 MPa. Mezi odstraňované částice patří zejména organické látky s relativní molekulovou hmotností  $10^3$ – $10^6$ , bakterie a viry. Tímto způsobem separace tak lze nahradit klasické způsoby primární dezinfekce chlorem a jeho sloučeninami, při jejichž použití mohou vznikat haloformy a další nežádoucí sloučeniny. [3]

**Nanofiltrace (NF)** odstraňuje z vody při tlaku 0,5 až 0,7 MPa organické látky s relativní molekulovou hmotností 500–1000. Dochází ke snížení obsahu monovalentních iontů o 40 až 70 %, bivalentních iontů o 85 až 95 % a síranů přibližně o 60 %. [3]

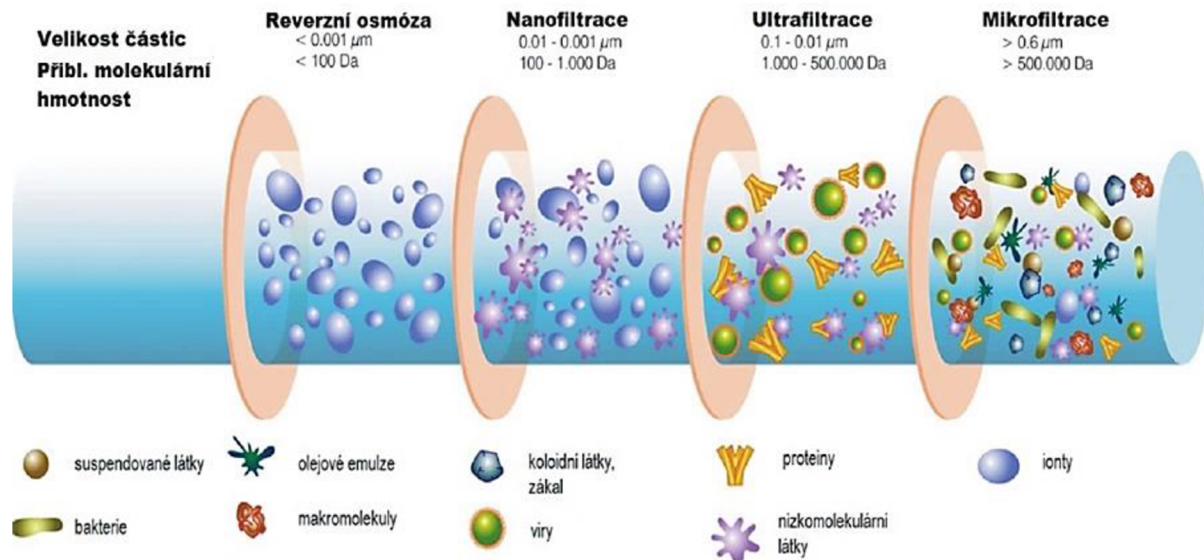
**Reverzní osmózou (RO)** lze z vody při tlacích vyšších než 5 MPa odstranit veškeré rozpuštěné soli i organické látky, jejichž částice jsou menší než 0,001  $\mu\text{m}$ . [1]

V následující tabulce je přehled použitelnosti jednotlivých membránových procesů společně s jimi dosažitelným stupněm odstranění daných druhů látek a organismů. [1]

**Tab. 2.2** Látky odstraňované z vody membránovými procesy [1]

| <i>Odstraňované látky/Membránový proces</i> | <i>MF</i> | <i>UF</i> | <i>NF</i> | <i>RO</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Suspendované látky                          | C         | C         | C         | C         |
| Prvoci                                      | C         | C         | C         | C         |
| Bakterie                                    | C         | C         | C         | C         |
| Viry  | P         | C         | C         | C         |
| Železo, mangan                              | D         | D         | C         | C         |
| Huminové látky (NOM)                        | -         | P         | C         | C         |
| CHSK  | -         | -         | P         | C         |
| Syntetické organické látky – pesticidy      | -         | -         | P         | C         |
| Vápník + hořčík                             | -         | -         | P         | C         |
| Dusičnany                                   | -         | -         | -         | C         |
| Amoniak                                     | -         | -         | -         | C         |

*Pozn.: C – kompletní odstranění, D – v závislosti na chemické formě, P – částečné odstranění*



Obr. 2.21 Znárodnění separačních vlastností v závislosti na zvolené technologii [16]

Membrána působí jako selektivní bariéra mezi dvěma fázemi. Těmito fázemi jsou fáze zachycovaných nečistot – retentát a fáze procházející membránou – permeát. Hlavní hnací síla, díky níž je dosaženo separace, je tlakový gradient ( $\Delta P$ ) na membráně. Výkon membrány je vyjádřen jako průtok membránou [ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ]. [15]

Pro čistou vodu je průtok ( $Q_w$ ) přímo úměrný tlaku ( $\Delta P$ ) na membráně. Pro RO a NF membrány je průtok roztoků ( $Q$ ), obsahujících malé molekuly (např. anorganické soli) zachycované membránou, funkcí rozdílu mezi  $\Delta P$  a osmotickým tlakem ( $\Delta \pi$ ) vytvářeným v průběhu filtrace:

$$Q = K \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \quad (2.2)$$

kde  $K$  je koeficient propustnosti vody charakteristický pro danou membránu. [15]

Vlivem zanášení je snižována účinnost membrány. Materiál, který se nahromadí na povrchu nebo uvnitř membrány lze částečně nebo úplně odstranit mechanickým či chemickým čištěním membrány. [15]

Míra, v jaké membrána zadržuje rozpuštěné látky je závislá na velikosti a tvaru částic těchto látek vzhledem k velikosti pórů membrány. Zadržování může být také ovlivněno chemickými vlastnostmi roztoku a interakcemi mezi membránou a rozpuštěnou látkou. [15]

V současnosti jsou již membránové procesy ekonomicky konkurenceschopné klasickým metodám úpravy vody. Důvodem je klesající cena membránových modulů a dále také zvyšování nákladů na klasické metody úpravy vody v souvislosti se zajištěním nových požadavků na kvalitu upravené vody. [1]

Mezi základní výhody membránových procesů ve srovnání s klasickou úpravou vody patří:

- vynikající kvalita vody,
- snížení potřeby chemikálií a produkce kalu,
- výborné odstranění bakterií, virů a prvoků,
- kompaktní systém s nižšími nároky na zastavěnou plochu. [1]

Jednou z hlavních výhod je téměř dokonalé odstranění patogenních organismů, které jsou odolné dezinfekci chlorem. Mezi tyto organismy patří např. *Cryptosporidium* a *Giardia* a jejich odstranění klasickými postupy je značně obtížné. Důležité však je sledování integrity membrány, i malé defekty totiž mohou způsobit značnou patogenní kontaminaci. Velmi úspěšné jsou membránové procesy také v odstraňování přirozených organických látek, jež jsou původci nežádoucího zabarvení vody, pachu a chuti a jsou také prekurzory vedlejších produktů, které vznikají dezinfekcí vody. [3]

Je však také zapotřebí vidět podstatně vyšší energetickou náročnost těchto procesů a také odlišný charakter provozu, než je u klasických úprav vody. V zahraničí už sice existují i velké úpravní (stovky l/s), v našich podmínkách se však tato technologie uplatňuje prozatím zejména pro malé jednotky. [3] Mezi větší úpravní u nás patří například ÚV Březová v Karlovarském kraji s maximálním výkonem 320 l/s. Tato úpravna využívá ultrafiltraci k lepšímu pokrytí sezonních výkyvů kvality vody v nádrži, z níž je voda pro úpravu odebírána. [41]



## 3 FILTRAČNÍ MATERIÁLY

### 3.1 KŘEMIČITÝ PÍSEK

Nejlevnějším filtračním materiálem používaným při úpravě vody je preparovaný křemičitý písek. Je využíván k základní filtraci mechanických nečistot a také k filtraci vloček vysrážených v průběhu čiření vody a srážení železa. Vodárenský písek může být použit jako filtrační náplň jak otevřených, tak i uzavřených filtrů. Často bývá používán také při vícevrstvé filtraci, a to jako základní složka kombinovaná s hydroantracitem, křemelinou a aktivním uhlím. [17]

Vodárenský písek DORSILIT se dodává v pěti základních třídách zrnitosti:

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. [17]



Obr. 3.1 Filtrační materiál Dorsilit [autor]

Tab. 3.1 Technické parametry možností aplikace písku DORSILIT [17]

| TYP FILTRACE                | Jednovrstvá uzavřený filtr | Jednovrstvá otevřený filtr | Vícevrstvá uzavřený filtr             | Vícevrstvá otevřený filtr             |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Výška filtrační vrstvy (mm) | 1500–3000                  | 1000–2000                  | 2. třída 400–800<br>3. třída 600–1200 | 2. třída 400–800<br>3. třída 600–1200 |
| Rychlost filtrace (m/hod)   | 10 až 30                   | 5 až 15                    | 10 až 30                              | 5 až 15                               |

### 3.2 HYDROANTRACIT

Hydroantracit je inertní filtrační materiál, který se vyrábí z tepelně zpracovaného uhlí. Charakteristickým znakem je velmi drsný povrch, díky němuž je ve srovnání s pískem schopný lépe zachycovat mechanické nečistoty. Jeho přednostmi jsou snížení spotřeby prací vody a prodloužení filtrační doby při zvýšení rychlosti filtrace a snížení tlakové ztráty. [18]

Používá se v otevřených i uzavřených rychlofiltrech k filtraci pitné nebo průmyslové vody. Ve spojitosti s katalytickou oxidací se používá také pro filtraci železa a manganu. Může být použit ve stejných případech jako křemičitý písek, výhodný je u vícevrstvé filtrace ve spojení s dalšími materiály. [19]

Měrná hmotnost hydroantracitu je  $1650 \text{ kg/m}^3$  a má pórovitost 48,5 %. Největší podíl obsahu tohoto filtračního materiálu tvoří uhlík s 86,2 %, zbylý podíl tvoří popel (6 %), těkavé látky (5,8 %), voda (1,8 %) a síra (0,2 %). Hydroantracit se dělí do tří tříd podle zrnitosti: I. (0,6–1,6 mm), II. (1,4–2,5 mm) a III. (2,6–4,0 mm). [18]



Obr. 3.2 Filtrační materiál Hydroantracit [39]

Tab. 3.2 Technické parametry možností aplikace hydroantracitu [18]

| <i>TYP FILTRACE</i>         | <i>Jednovrstvá uzavřený filtr</i> | <i>Jednovrstvá otevřený filtr</i> | <i>Vícevrstvá uzavřený filtr</i>       | <i>Vícevrstvá otevřený filtr</i>       |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Výška filtrační vrstvy (mm) | 1500–3000                         | 1000–2000                         | I. třída 400–800<br>II. třída 600–1200 | I. třída 400–800<br>II. třída 600–1200 |
| Rychlost filtrace (m/hod)   | 10 až 30                          | 5 až 15                           | 10 až 30                               | 5 až 15                                |

### 3.3 FILTRALITE

Filtralite je filtrační materiál vyvinutý v Norsku na základě dvacetiletého výzkumu. V technologii úpravy pitné vody se Filtralite používá od roku 1997. [36] Tento alternativní materiál je vyráběn z jílu vypálením při 1200 °C. Struktura materiálu je částečně pórovitá, hlavní výhodou je však volitelná hustota ve velmi širokém rozmezí (500-1600 kg·m<sup>-3</sup>). Díky variabilní hustotě existuje možnost aplikovat materiál nejen do různě koncipovaných jednovrstvých filtrů, ale hlavně do filtrů vícevrstvých. Jako unikát je možné sestavit také dvouvrstvý filtr skládající se ze dvou vzorků Filtralite, nazývaný „MonoMulti“ filtr. Základní charakteristiky s možnostmi aplikace jsou uvedeny v tabulce 3.3. Díky pórovitosti materiálu může být Filtralite použit jak v „klasických“, tak i v biologických filtrech. Uplatnění nachází také při odstraňování železa a manganu. [35]



Obr. 3.3 Filtrační materiál Filtralite [autor]

Tab. 3.3 Základní typy Filtralite a možnosti použití [36]

| 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 – 2,5mm  | 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 – 4,0 mm | 1100–1300                                       | Biologická filtrace                                       |
| Filtralite HC 0,8 - 1,6 mm | 1500–1700                                       | Jednovrstvá nebo dvouvrstvá filtrace                      |
| Filtralite HC 1,5 – 2,5 mm | 1400–1600                                       | Jednovrstvá filtrace, biologická filtrace                 |
| Filtralite HC 2,5 – 5,0 mm | 1400–1600                                       | Biologická filtrace, nitrifikace, jednovrstvá filtrace    |

## 3.4 SORPČNÍ MATERIÁLY

### 3.4.1 Granulované aktivní uhlí (GAU)

Granulované aktivní uhlí FILTRASORB se vyrábí z vybraných druhů černého uhlí aktivací vodní parou podle příslušných norem jakosti. [20] Kromě vlastního zachycení mechanických nečistot jsou u aktivního uhlí uplatňovány sorpční a chemisorpční vlastnosti specifického povrchu. GAU tak dokáže zachycovat i ve vodě rozpuštěné látky, především organického charakteru. Použití tohoto materiálu je jednou z mála možností odstranění ropných látek a organických toxických sloučenin z vody. Další výjimečnou vlastností je schopnost zachycení toxických těžkých kovy jako jsou rtuť, kadmium a olovo. Účinné je také při odstraňování nežádoucích pachů a pachutí a dále oxidaci rozpuštěného chloru. Filtrace na aktivním uhlí bývá obvykle zařazována až za základní filtraci mechanických nečistot. [21]

Granulované uhlí FILTRASORB výrazně tlumí nárazová zvýšení množství škodlivin při haváriích, přetížení nebo výpadku jiných předúprav vody. Dále bývá užíváno jako ochrana u reverzní osmózy a u iontoměničových technologií. Na rozdíl od práškového uhlí je možno granulované aktivní uhlí regenerovat a tím snížit provozní náklady a zvýšit hospodárnost procesu. [20] Filtrasorb 100 a 200 jsou vhodné pro dechloraci, odstraňování ozonu či chlordioxidu a zlepšování organoleptických vlastností, Filtrasorb 300 a 400 pak pro odstraňování organických látek v návaznosti na použití ozonu či chlordioxidu. [43]



Obr. 3.4 Aktivní uhlí Filtrasorb F100 [autor]

Tab. 3.4 Základní parametry aktivního uhlí FILTRASORB [44,45]

| Parametr           | Jednotka              | F100    | F200      | F300    | F400    |
|--------------------|-----------------------|---------|-----------|---------|---------|
| Efektivní velikost | [mm]                  | 0,8–1,0 | 0,55–0,75 | 0,8–1,0 | 0,6–0,7 |
| Sypná hmotnost     | [kg·m <sup>-3</sup> ] | 500     |           | 460     | 425     |
| Rychlost proudění  | [m/hod]               | 10–20   |           | 5–20    |         |
| Hloubka lože       | [m]                   | 1,5–3   |           | 1–3     |         |
| Barva              | [-]                   | Černá   |           |         |         |

### 3.4.2 GEH

Sorpční materiál GEH je založen na bázi granulovaného hydroxidu železa a je vhodný pro hospodárné a efektivní odstranění arsenu a antimonu z vody. Tento materiál vyvinuli na Berlínské univerzitě na katedře Kontroly kvality vody. Vyrábí jej německá firma GEH-Wasserchemie GmbH a do ČR je dovážen společností Inform-Consult Aqua s.r.o. Příbram. Technologie úpravy materiálem GEH je založena na adsorpci kontaminantu na granulovaný hydroxid železitý (GEH sorbent), uložený v reaktoru, skrze který protéká upravovaná voda. Adsorpční kapacita materiálu závisí na provozních podmínkách. [22]



Obr. 3.5 Filtrační materiál GEH [autor]

Tab. 3.5 Přehled vlastností materiálu GEH [22]

| <i>Parametr</i>    | <i>Jednotka</i>                 | <i>GEH</i>                                      |
|--------------------|---------------------------------|---|
| Hlavní složka      | [-]                             | $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \beta \text{Fe-O-OH}$ |
| Velikost částic    | [mm]                            | 0,2–2   |
| Objemová hmotnost  | $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$ | 1,25  |
| Pracovní rozsah pH | [-]                             | 5,5–6,5   |
| Pórovitost zrn     | [%]                             | 72–77   |
| Barva              | [-]                             | tmavě hnědá až černá                            |
| Popis materiálu    | [-]                             | vlhký zrnitý                                    |

### 3.4.3 CFH

Materiál CFH je adsorbent vyvinutý ve Finsku společností Kemira. Jedná se o granulované medium na bázi hydroxidu železa. Do České republiky jej dováží společnost Kemwater ProChemie s.r.o., sídlící v Bakově nad Jizerou. Na trhu se vyskytují 2 typy tohoto materiálu s označením CFH 12 a CFH 0818. [24] Rozdíl těchto materiálů je především v zrnitosti, přičemž materiál CFH 0818 je jemnější (viz obr. 3.6). CFH 0818 má 97,6 % frakce v rozmezí zrnitosti 2–0,5 mm, zatímco u CFH 12 se 92,7 % frakce pohybuje v rozmezí 2–0,85 mm. Materiál CFH slouží především k odstranění As, Se, P, Ag, Ni, Pb, Mo, Si, V, Cu a dalších kovů z vody. [23]



a) CFH 12



b) CFH 0818

Obr. 3.6 Filtrační materiál CFH [autor]

Tab. 3.6 Přehled vlastností materiálu CFH 0818 [24]

| <i>Parametr</i>   | <i>Jednotka</i>       | <i>CFH 0818</i>       |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Hlavní složka     | [-]                   | FeO(OH)               |
| Velikost částic   | [mm]                  | 1,2                   |
| Objemová hmotnost | [g·cm <sup>-3</sup> ] | 1,12                  |
| Pracovní obsah pH | [-]                   | 6,5–7,5               |
| Pórovitost zrn    | [%]                   | 72–80                 |
| Barva             | [-]                   | hnědá až hnědočervená |
| Popis materiálu   | [-]                   | suchý zrnitý          |

### 3.4.4 Bayoxide E33

Bayoxide je suchý krystalický granulovaný sorbent na bázi hydroxidu železa. Vyvinula jej společnost Severn Trent ve spolupráci se společností Bayer AG a vyrábí jej firma LANXESS Deutschland GmbH, Leverkusen v Německu. Je vyráběn ve dvou variantách, jimiž jsou Bayoxide E33 a Bayoxide E33P. Rozdílem je, že Bayoxide E33 je granulovaný, zatímco Bayoxide E33P má formu tablet. Materiál byl navržen k odstraňování arsenu, [23] odstraňuje až 99 % tohoto kovu v obou jeho formách ( $\text{As}^{\text{III}}$  a  $\text{As}^{\text{V}}$ ). Dále je velmi účinný při odstraňování dalších těžkých kovů, jakými jsou např. olovo, antimon a další, [25] odstraňuje také železo a mangan. Výrobce udává schopnost úpravy vody při obsahu arsenu  $11\text{--}5\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  a obsahu železa  $50\text{--}10\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . [23]



Obr. 3.7 Filtrační materiál Bayoxide E33 [autor]

Tab. 3.7 Přehled vlastností materiálu Bayoxide E33 [23]

| <i>Parametr</i>    | <i>Jednotka</i>       | <i>Bayoxide E33</i> |
|--------------------|-----------------------|---------------------|
| Hlavní složka      | [-]                   | FeO(OH)             |
| Velikost částic    | [mm]                  | 0,5–2               |
| Objemová hmotnost  | [g·cm <sup>-3</sup> ] | 0,45                |
| Pracovní rozsah pH | [-]                   | 6,0–8,0             |
| Pórovitost zrn     | [%]                   | 85                  |
| Barva              | [-]                   | jantarová           |
| Popis materiálu    | [-]                   | suchý zrnitý        |

### 3.4.5 Greensand

Filtrační materiál Greensand je určen především k eliminaci železa a manganu z vody. Vyrábí se z glaukonitického zeolitu a aktivního oxidu manganického. Přítomné železo a mangan jsou přímo oxidovány aktivním kyslíkem oxidu manganického na nerozpustné vyšší oxidy a hydroxidy. [26] Dále dochází k redukci sirovodíku na nerozpustnou sraženinu síry. Vysrážené částice jsou pak filtrovány a následně odstraněny zpětným praním. Když dojde k vyčerpání oxidační kapacity manganového Greensandu, je zapotřebí regenerovat filtrační lože pomocí slabého roztoku manganistanu draselného, čímž dojde k obnovení oxidační kapacity lože. [27]



Obr. 3.8 Filtrační materiál Greensand [autor]

Tab. 3.8 Přehled vlastností materiálu Greensand [26]

| <i>Parametr</i>    | <i>Jednotka</i>       | <i>Greensand</i> |
|--------------------|-----------------------|------------------|
| Měrná hmotnost     | [kg·m <sup>-3</sup> ] | 1 350            |
| Velikost zrn       | [mm]                  | 0,25–1,00        |
| Efektivní velikost | [mm]                  | 0,30–0,35        |
| Maximální teplota  | [°C]                  | 40               |
| Aplikační pH vody  | [-]                   | 6,5–8,5          |
| Min. výška vrstvy  | [mm]                  | 700              |



### 3.4.6 Birm

Materiál Birm se používá k odstranění rozpuštěného železa a manganu z vody. Principem je jeho působení ve funkci nerozpustného katalyzátoru reakce mezi rozpuštěným kyslíkem a sloučeninami železa a manganu. Filtrace vody pomocí hmoty Birm se zakládá na urychlení oxidace dvojmocného železa na trojmocné, které je pak zachycováno ve filtračním loži ve formě vloček. Tyto vločky jsou poté odstraněny během propíracího cyklu. [28]

Přednostmi této hmoty jsou především široký teplotní výkon, dlouhodobé použití s poměrně malým opotřebením a vysoká účinnost. Během provozu není hmota Birm spotřebována a odstraňování železa a manganu z vody je tak ekonomicky výhodné. Další výhodou je, že hmota nepotřebuje žádnou regeneraci, postačí pouze proplach. [28]

Pro úspěšné odstranění železa a manganu je zapotřebí, aby obsah kyslíku ve vodě dosahoval alespoň 15 % obsahu železa. Surová voda nesmí obsahovat oleje ani sirovodík, také vysoký obsah chloru působí negativně na kapacitu hmoty a může zničit katalytický povrch. [28]



Obr. 3.9 Filtrační materiál Birm [autor]

Tab. 3.9 Přehled vlastností materiálu Birm [29]

| <i>Parametr</i>    | <i>Jednotka</i>       | <i>Birm</i> |
|--------------------|-----------------------|-------------|
| Objemová hmotnost  | [kg·m <sup>-3</sup> ] | 550–650     |
| Efektivní velikost | [mm]                  | 0,48        |
| Maximální teplota  | [°C]                  | 38          |
| Provozní pH vody   | [-]                   | 6,8–9,0     |
| Výška vrstvy       | [mm]                  | 750–900     |
| Barva              | [-]                   | černá       |
| Rychlost filtrace  | [m/hod]               | 8,5-12,5    |

### 3.4.7 Semidol

Semidol neboli polovypálený dolomit, je filtrační materiál užívaný zejména k odkyselování (zvýšení pH) pitné vody, snížení agresivity či obohacování (zvýšení obsahu vápníku a hořčíku) vody. Semidol odpovídá chemickým složením ekvimolární směsi uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) a oxidu hořečnatého ( $\text{MgO}$ ). [30]

Tento materiál odkyseluje i velmi měkké vody. Díky alkalické reakci  $\text{MgO}$  dojde kromě odkyselení také k odželezování a odmanganování vody vysrážením na příslušné hydroxidy. Zvláště proto je tedy zapotřebí filtr pravidelně prát, aby se odstranily vysrážené hydroxidy těchto kovů. [30]

Semidol je dodáván ve třech zrnitostech – třída I (0,5–1,25), třída II (0,2–2,5) a třída III (2,5–4,5). [31]



Obr. 3.10 Filtrační materiál Semidol [autor]

Tab. 3.10 Přehled vlastností materiálu Semidol [31]

| <i>Parametr</i>        | <i>Jednotka</i>                 | <i>Semidol</i>                                      |
|------------------------|---------------------------------|---|
| Měrná hmotnost         | $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 1200  |
| Obsah CaO              | [hmot. %]                       | 40,3  |
| Obsah MgO              | [hmot. %]                       | 26,5  |
| Obsah $\text{CO}_2$    | [hmot. %]                       | 32,5  |
| Výška filtrační vrstvy | [mm]                            | otevřený filtr 800–1300<br>uzavřený filtr 1500–2500 |
| Průtoková rychlost     | [m/hod]                         | otevřený filtr 3–6<br>uzavřený filtr 8–12           |

### 3.4.8 DMI-65

Filtrační materiál DMI-65 je vyvíjen v Japonsku a vyrábí se v Austrálii. DMI-65 je křemičitý materiál ve formě písku, na jehož porézní povrch je louhováním nanese aktivní látka, schopná odstraňovat rozpuštěné sloučeniny kovů jako jsou železo, mangan, měď, zinek, hliník, olovo a také arsen a baryum. Povrch základního materiálu je porézní a aktivní látka je nanese tak, aby účinná plocha byla co největší. [32] Ke správné účinnosti je dále zapotřebí dávkovat chlornan sodný jako oxidační činidlo, přičemž DMI-65 pak v procesu filtrace plní funkci oxidačního katalyzátoru. Z dalších metod oxidace je možno využít například provzdušňování. [33]



Obr. 3.11 Filtrační materiál DMI-65 [autor]

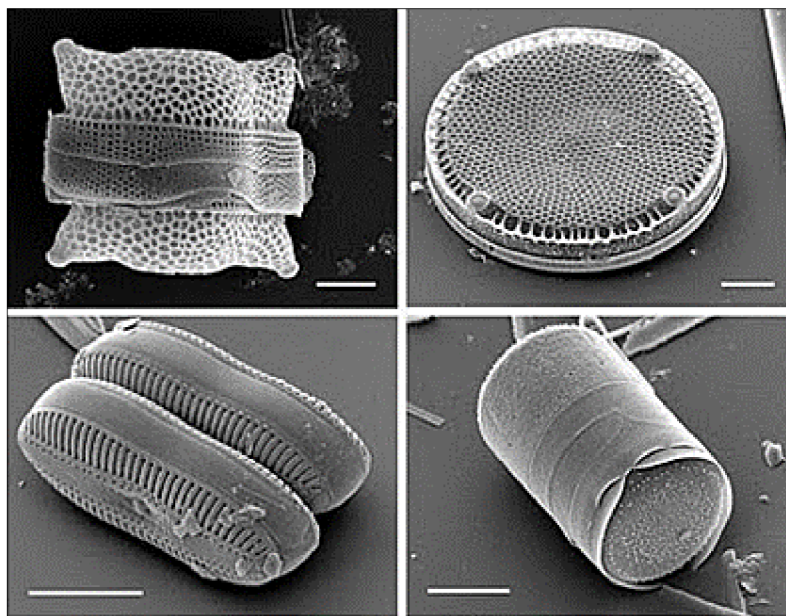
Tab. 3.11 Technické specifikace materiálu DMI-65 [34]

| <i>Fyzikální vlastnosti</i> |                        | <i>Provozní podmínky</i>    |  |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|--|
| Barva                       | Hnědá až černá         | Pracovní rozsah pH          | 5,8–8,6                                |
| Hustota                     | 1460 kg/m <sup>3</sup> | Max. přípustná teplota vody | 45°C                                   |
| Efektivní zrno              | 0.48 mm                | Minimální hloubka filtru    | 600 mm                                 |
| Roční opotřebení            | 1–5 %                  | Rychlost filtrace           | 5–30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h |

DMI-65 je cenově nejdostupnější médium pro průmyslové využití. Má nižší provozní náklady než náklady u srovnatelných médií a jeho předpokládaná životnost je delší než například u materiálů Bayoxide, GEH či Greensand. [32]

### 3.5 ROZSIVKOVÁ ZEMINA

Rozsivková zemina neboli diatomit je tvořena fosilizovanými pozůstatky schránek jednobuněčných vodních rostlin zvaných rozsivky. Tyto mikroskopické organismy, jako jsou např. plankton nebo řasy, mají jedinečnou schopnost extrahovat oxid křemičitý z vody za vzniku mikroporézního exoskeletu. Po dokončení životního cyklu se organická hmota rozkládá a skeletové zbytky se hromadí, čímž dojde k vytvoření anorganické usazeniny. [37]



Obr. 3.12 Rozsivky [40]

Diatomit je unikátní minerál díky nízké hustotě, vysoké poréznosti a relativní inertnosti, což z něj činí ideální filtrační médium. Velikost mikroskopických organismů se pohybuje v rozmezí přibližně od 5 do 100  $\mu\text{m}$  a jsou charakterizovány specifickou druhovou morfologií s vnitřními póry menšími než 0,1  $\mu\text{m}$ . [37]

Tento materiál má vynikající filtrační účinek v náplavných filtrech, z nichž je po pracovním cyklu praním odstraněno i filtrační médium a náplň tak musí být znovu naplavena. Rozsivková zemina dokáže zachytit i částice s velikostí 1-3  $\mu\text{m}$  a zachytí tak i jednobuněčné organismy jako jsou bakterie, plísňe či řasy. Při použití této filtrační náplně není nutné užití vločkovačů. [38]

### 3.6 MEMBRÁNY

Existuje množství membránových materiálů, přičemž neustále dochází k jejich vývoji a vylepšování. [5] Membrány jsou zhotovovány buď z látek, jež mají přírodní původ, např. z acetátové celulózy anebo ze syntetických materiálů, jakými jsou např. polyamidy. V současnosti se vyrábějí také membrány keramické, na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{ZrO}_2$ . Mají výbornou mechanickou, chemickou, tepelnou i mikrobiologickou stálost a snadno se regenerují. Značnou nevýhodou je však náročná příprava, značná hmotnost a vyšší cena, než je cena syntetických membrán. [1]

Chemická a tepelná odolnost membrán je pro různé materiály značně rozdílná. Mezi nejodolnější patří membrány keramické a membrány ze sintrovaných kovů. Membrány z derivátů celulózy, akrylátů, příp. polysulfonů pak mohou být použity ke zpracování neagresivních vod s teplotami blízcími se teplotě pokojové. [14]

Pro použití celulóзовých membrán je nevhodnější pH okolo 4,5, velké odchylky od této hodnoty vedou ke snížení stability a tím i dělicí schopnosti membrány. Přípustný rozsah pH však závisí také na teplotě, přičemž se zvyšující se teplotou rozsah pH klesá a neměla by být překročena teplota 40 °C. Např. při 15 °C je přípustné pH od 2 do 7,2. [14]

Polyamidové membrány jsou méně citlivé vůči pH, jejich pracovní rozsah je od pH 4 do pH 11. Teploty by se měly pohybovat od 10 do 35 °C. Tyto membrány mají také větší rezistenci vůči chemickým a biologickým účinkům, avšak jsou méně propustné. [14]

Membrány z polysulfonu, mají vyšší tepelnou odolnost, snášejí teplotu až 85 °C. [14]

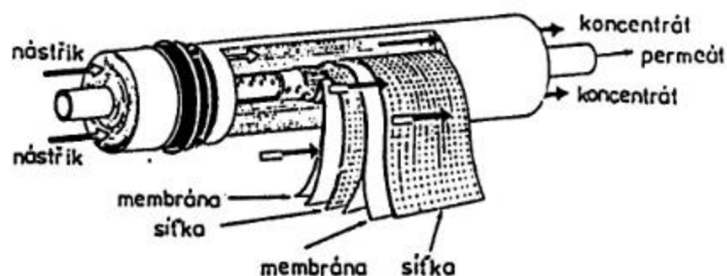
Membrány z anorganických materiálů mají nejmenší citlivost vůči vysokým teplotám a jsou také použitelné v celém rozsahu pH, tedy od 0 do 14. Mají však větší póry a jsou proto použitelné pouze pro ultrafiltraci. Oproti tomu u organických materiálů, zejména polyamidu a acetátu celulózy lze dosáhnout podstatně menší velikosti pórů, díky čemuž jsou použitelné i pro reverzní osmózu. [14]

Na základě struktury je možno membrány rozlišit na asymetrické, symetrické a kompozitní. Symetrické membrány tvoří materiál, jenž má po celé tloušťce stejnou velikost i tvar pórů. Asymetrické membrány utváří aktivní vrstva zhotovená na podpůrné vrstvě téhož materiálu, avšak s řádově větší velikostí pórů. Podpůrná vrstva zlepšuje mechanické vlastnosti filtrační přepážky. Kompozitní membrány jsou tvořeny tenkou aktivní vrstvou, podpůrná vrstva je však z jiného materiálu. [14]

Membránové materiály mohou vykazovat hydrofobní či hydrofilní vlastnosti. Např. polysulfony, polyefiny či fluorované polyefiny jsou hydrofobní a v některých případech je před filtrací nutná jejich předúprava nepolárními smáčedly. Mezi hydrofilní materiály pak patří deriváty celulózy, akryláty a keramické materiály. Provozní použitelnost membrán je prodlužována regenerací, jejíž způsob je závislý na filtračním procesu, kvalitě membrány i na ní zachycené disperze. [14]

Moduly, ve kterých probíhá úprava vody, je možno podle druhu a umístění membrány rozdělit na moduly:

- s plošnou membránou,
- se spirálovou membránou,
- s tubulární membránou,
- s dutými polyamidovými vlákny. [3]

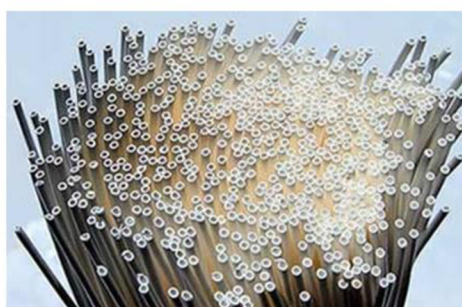


Obr 3.13 Schéma spirálově vinutého modulu [47]

Z těchto modulů jsou nejrozšířenější moduly s tubulární, případně spirálovou membránou. V případě modulů s tubulární membránou se membrány nacházejí na vnitřní straně nosných trubek z porézního materiálu o průměru 10 až 40 mm. Tyto trubky mohou být zapojeny paralelně či v sérii. U tohoto typu modulů není vyžadována předfiltrace a poměrně snadno se čistí. Moduly se spirálovou membránou tvoří dvě plošné membrány, které odděluje porézní vložka a jsou spirálovitě stočené kolem centrálního děrovaného potrubí, kterým je odváděn permeát. [3]



Deskové membrány - Flat sheet membrane



Dutá vlákna - Hollow fibre membranes



Tubulární membrány - Tubular membranes



Spirálně vinuté moduly - Spiral wound modules

Obr. 3.14 Typy membrán [16]

## 4 POSOUZENÍ ÚČINNOSTI VYBRANÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ

V rámci specifického vysokoškolského výzkumu byl koncem roku 2015 na Fakultě stavební VUT v Brně v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí proveden experiment, jehož cílem bylo sledovat v čase průběh odstraňování znečišťujících látek z vody na vybraných filtračních materiálech. Pro experiment byly zvoleny běžně používané filtrační materiály, jimiž jsou CFH 0818, Bayoxide E33 a GEH a dále u nás doposud nepříliš používaný materiál DMI-65. Materiál DMI-65 je na bázi oxidu křemíku, zatímco zbylé tři materiály jsou na bázi hydroxidu železa. Podrobnější popis těchto materiálů je v kapitole 3.

### 4.1 POSTUP MĚŘENÍ

Filtrace probíhala ve válcových filtračních kolonách, tvořených skleněnou trubicí s vnitřním průměrem 4,4 cm. Na spodní části této trubice bylo osazeno plastové koleno s kulovým ventilem, určeným k odběru. Ve spodní části trubice byla vytvořena drenážní vrstva z drobných kamínků, nad kterými se dále nacházela vrstva skleněných kuliček s průměrem 2–4 mm. Drenážní vrstva sloužila k zabránění odplavování filtračního materiálu do odpadního potrubí. Nad touto vrstvou byla samotná filtrační náplň o mocnosti v rozmezí od 0,58 do 0,7 m, v závislosti na filtračním materiálu. V horní části byla trubice utěsněna plastovým uzávěrem s kulovým ventilem. [46]

Jednotlivé kolony byly následně pomocí vrutů připevněny ke zdi laboratoře. Součástí filtrační soustavy byly kromě filtračních kolon nádoba na surovou vodu, čerpací jednotky, průtokoměr a přívodní, odpadní a prací potrubí. [46]

Před zahájením samotného procesu filtrace byly všechny materiály vyprány prací vodou. Voda při praní proudí opačným směrem, tedy zdola nahoru a dochází tak k vyplavování nečistot zachycených na zrnech filtračního materiálu a jejich následnému odnosu do odpadního potrubí. Rychlost prací vody byla zvolena tak, aby nedošlo ke vznosu filtračního materiálu, čímž by došlo k riziku jeho ztráty odplavením. Praní pobíhalo do doby, kdy z filtru začala vytékat čirá voda. [46]

Materiál DMI-65 bylo navíc před filtrací nutno aktivovat roztokem chlornanu sodného. Místo doporučeného 12,5% roztoku byl použit v laboratoři dostupný 11% roztok NaClO, jehož potřebné množství bylo získáno za pomoci jednoduchého přepočtu. Aktivace probíhala v laboratoři po dobu 41 dní, dle výrobce však aktivace probíhá již po jedné hodině. Delší dobou namáčení DMI-65 v roztoku se docílí lepšího zaktivování vrstvy oxidu manganu na povrchu tohoto materiálu. Následné praní probíhalo podobně jako u zbylých materiálů, s tím rozdílem, že v případě DMI-65 byl při procesu zpětného proplachu přimíchán do nádoby se surovou vodou roztok chlornanu sodného. Po proplachu byla započata filtrace, přičemž byl opět dávkován chlornan sodný. [46]

Surová voda byla během filtrace čerpána z nádoby přes průtokoměr do filtrační kolony, přičemž množství protékající vody bylo regulováno na průtokoměru se škrtkou. Z filtrační kolony poté voda odtékala do odpadní sítě, v požadovaných časech pak byly

pomocí ventilů na spodní straně filtrační kolony odebírány vzorky. Zvolené časy odběru byly 0,5, 1, 2, 3 a 5 minut od započetí filtrace a jejich měření bylo prováděno pomocí digitálních stopek. Odebrán byl také vzorek surové vody před filtrací. V odebraných vzorcích byly následně stanoveny koncentrace železa, manganu, mědi a arsenu (viz Tab. 4.1 – 4.5). Koncentrace železa a manganu byly měřeny přímo v laboratoři ÚVHO za pomoci spektrometru. Pro určení koncentrací mědi a arsenu byly vzorky odeslány do akreditované laboratoře Státního zdravotního ústavu. [46]

Při experimentu byla použita pitná voda z brněnské vodovodní sítě, přičemž k docílení simulace podzemní vody v laboratorních podmínkách byly do této vody přidány koncentrované roztoky železa, manganu, mědi a arsenu. [46]

## 4.2 VÝSLEDKY ROZBORU

Výsledné koncentrace měřených prvků zjištěné rozбором jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 4.1 – 4.5). Při měření koncentrace arsenu nebylo možno stanovit pro koncentrace menší než 1 mg/l přesné hodnoty, dá se však předpokládat pokles koncentrace tohoto prvku s časem.

**Tab. 4.1 Rozbor vody před filtrací**

| Surová voda    |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $c_{(Fe)}$<br>[mg/l] | $c_{(Mn)}$<br>[mg/l] | $c_{(Cu)}$<br>[mg/l] | $c_{(As)}$<br>[mg/l] |
| 0              | 2,770                | 0,501                | 2,040                | 62,3                 |

**Tab. 4.2 Rozbor vody po filtraci přes CFH 0818**

| CFH 0818       |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $c_{(Fe)}$<br>[mg/l] | $c_{(Mn)}$<br>[mg/l] | $c_{(Cu)}$<br>[mg/l] | $c_{(As)}$<br>[mg/l] |
| 0,5            | 0,607                | 0,035                | 0,180                | 2,6                  |
| 1              | 0,354                | 0,003                | 0,097                | 1,6                  |
| 2              | 0,237                | 0,000                | 0,066                | 1,0                  |
| 3              | 0,234                | 0,000                | 0,069                | < 1                  |
| 5              | 0,116                | 0,000                | 0,046                | < 1                  |

**Tab. 4.3 Rozbor vody po filtraci přes Bayoxide E33**

| Bayoxide E33   |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $c_{(Fe)}$<br>[mg/l] | $c_{(Mn)}$<br>[mg/l] | $c_{(Cu)}$<br>[mg/l] | $c_{(As)}$<br>[mg/l] |
| 0,5            | 0,176                | 0,016                | 0,063                | 1,2                  |
| 1              | 0,145                | 0,013                | 0,055                | 1,0                  |
| 2              | 0,118                | 0,011                | 0,045                | < 1                  |
| 3              | 0,112                | 0,008                | 0,043                | < 1                  |
| 5              | 0,096                | 0,005                | 0,038                | < 1                  |

**Tab. 4.4 Rozbor vody po filtraci přes GEH**

| GEH            |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $c_{(Fe)}$<br>[mg/l] | $c_{(Mn)}$<br>[mg/l] | $c_{(Cu)}$<br>[mg/l] | $c_{(As)}$<br>[mg/l] |
| 0,5            | 0,324                | 0,045                | 0,105                | 2,1                  |
| 1              | 0,299                | 0,044                | 0,101                | 1,8                  |
| 2              | 0,240                | 0,042                | 0,081                | 1,7                  |
| 3              | 0,230                | 0,025                | 0,074                | 1,4                  |
| 5              | 0,164                | 0,023                | 0,073                | 1,2                  |

**Tab. 4.5 Rozbor vody po filtraci přes DMI-65**

| DMI-65         |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $c_{(Fe)}$<br>[mg/l] | $c_{(Mn)}$<br>[mg/l] | $c_{(Cu)}$<br>[mg/l] | $c_{(As)}$<br>[mg/l] |
| 0,5            | 0,180                | 0,025                | 2,920                | < 1                  |
| 1              | 0,062                | 0,021                | 0,735                | < 1                  |
| 2              | 0,041                | 0,020                | 0,588                | < 1                  |
| 3              | 0,026                | 0,019                | 0,051                | < 1                  |
| 5              | 0,022                | 0,012                | 0,029                | < 1                  |



### 4.3 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Účinnost jednotlivých materiálů při odstranění daných kovů z vody v čase 0,5, 1, 2, 3 a 5 minut jsem vypočítala podle následujícího vzorce:

$$\eta = \frac{C_{RW} - C_F}{C_{RW}} \quad (4.1)$$

kde je  $\eta$  ... účinnost odstranění znečištění [-],

$C_{RW}$  ... koncentrace znečištění v surové vodě [mg/l],

$C_F$  ... koncentrace znečištění po filtraci [mg/l]. [42]

Výsledky těchto výpočtů jsou zaznamenány v tabulkách 4.6 – 4.9 a graficky znázorněny na obrázcích 4.1 – 4.4.

Tab. 4.6 Účinnost materiálu CFH 0818

| CFH 0818       |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $\eta_{(Fe)}$<br>[%] | $\eta_{(Mn)}$<br>[%] | $\eta_{(Cu)}$<br>[%] | $\eta_{(As)}$<br>[%] |
| 0,5            | 78,09                | 93,01                | 91,18                | 95,83                |
| 1              | 87,22                | 99,40                | 95,25                | 97,43                |
| 2              | 91,44                | 100,00               | 96,76                | 98,39                |
| 3              | 91,55                | 100,00               | 96,62                | > 98,39              |
| 5              | 95,81                | 100,00               | 97,75                | > 98,39              |

Tab. 4.7 Účinnost materiálu Bayoxide E33

| Bayoxide E33   |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $\eta_{(Fe)}$<br>[%] | $\eta_{(Mn)}$<br>[%] | $\eta_{(Cu)}$<br>[%] | $\eta_{(As)}$<br>[%] |
| 0,5            | 93,65                | 96,81                | 96,91                | 98,07                |
| 1              | 94,77                | 97,41                | 97,30                | 98,39                |
| 2              | 95,74                | 97,80                | 97,79                | > 98,39              |
| 3              | 95,96                | 98,40                | 97,89                | > 98,39              |
| 5              | 96,53                | 99,00                | 98,14                | > 98,39              |

Tab. 4.8 Účinnost materiálu GEH

| GEH            |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $\eta_{(Fe)}$<br>[%] | $\eta_{(Mn)}$<br>[%] | $\eta_{(Cu)}$<br>[%] | $\eta_{(As)}$<br>[%] |
| 0,5            | 88,30                | 91,02                | 94,85                | 96,63                |
| 1              | 89,21                | 91,22                | 95,05                | 97,11                |
| 2              | 91,34                | 91,62                | 96,03                | 97,27                |
| 3              | 91,70                | 95,01                | 96,37                | 97,75                |
| 5              | 94,08                | 95,41                | 96,42                | 98,07                |

Tab. 4.9 Účinnost materiálu DMI-65

| DMI-65         |                      |                      |                      |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Čas t<br>[min] | $\eta_{(Fe)}$<br>[%] | $\eta_{(Mn)}$<br>[%] | $\eta_{(Cu)}$<br>[%] | $\eta_{(As)}$<br>[%] |
| 0,5            | 93,50                | 95,01                | -                    | > 98,39              |
| 1              | 97,76                | 95,81                | 63,97                | > 98,39              |
| 2              | 98,52                | 96,01                | 71,18                | > 98,39              |
| 3              | 99,06                | 96,21                | 97,50                | > 98,39              |
| 5              | 99,21                | 97,60                | 98,58                | > 98,39              |

Pozn.: Z důvodu nedokonalého promíchání surové vody byla u vzorku surové vody naměřena nižší koncentrace mědi, než po půl minutě filtrace přes materiál DMI-65. Proto není v tabulce 4.9 uvedena účinnost materiálu DMI-65 při odstraňování mědi v čase 0,5 min, jelikož tato hodnota vyšla záporná.

Při odstraňování **železa** z vody měl jednoznačně největší účinnost materiál DMI-65, který v čase 5 minut odstranil 99,21 % tohoto prvku, přičemž již po půl minutě byla jeho účinnost 93,50 %. Z grafu 4.1 je patrné, že účinnost tohoto materiálu při odstraňování železa byla nejvyšší po celou dobu experimentu. Podobnou účinnost měl po půl minutě také Bayoxide E33, konkrétně 93,65 %, avšak zvýšení jeho účinnosti s časem bylo menší a při 5 minutách

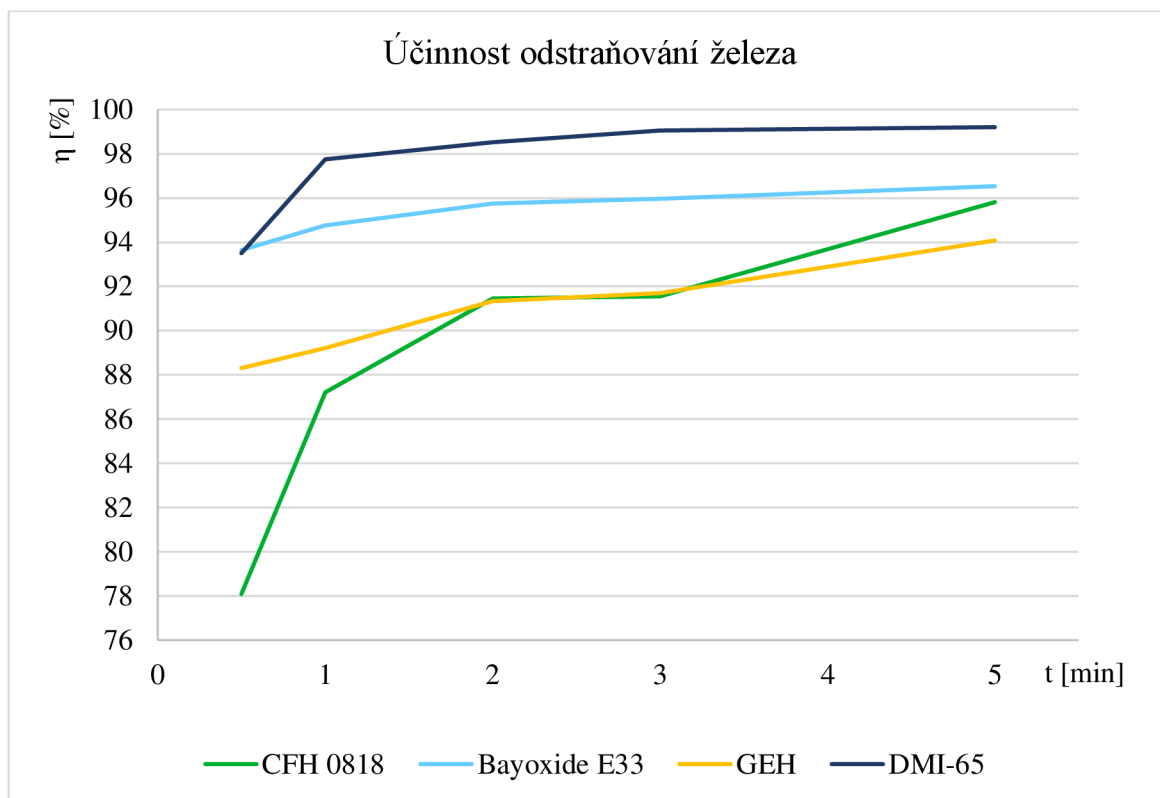
dosáhla hodnoty 96,53 %. Dobrých výsledků dosáhly také materiály CFH 0818 a GEH, avšak k dosažení účinnosti větší než 90 % byly zapotřebí 2 minuty.

V případě **manganu** došlo k nejdokonalejšímu odstranění znečištění materiálem CFH 0818, který dosáhl 100% účinnosti již v čase 2 minuty, k prudkému nárůstu účinnosti došlo především v první minutě. Velmi účinný byl také materiál Bayoxide E33, jehož účinnost odstranění manganu byla na konci experimentu 99 %. Materiál DMI-65 dosáhl po pěti minutách účinnosti 97,6 %, nejméně účinný byl v tomto případě materiál GEH s 95,41% účinností. I přes to, že byla jeho účinnost nejnižší, dosáhl velmi dobrých výsledků.

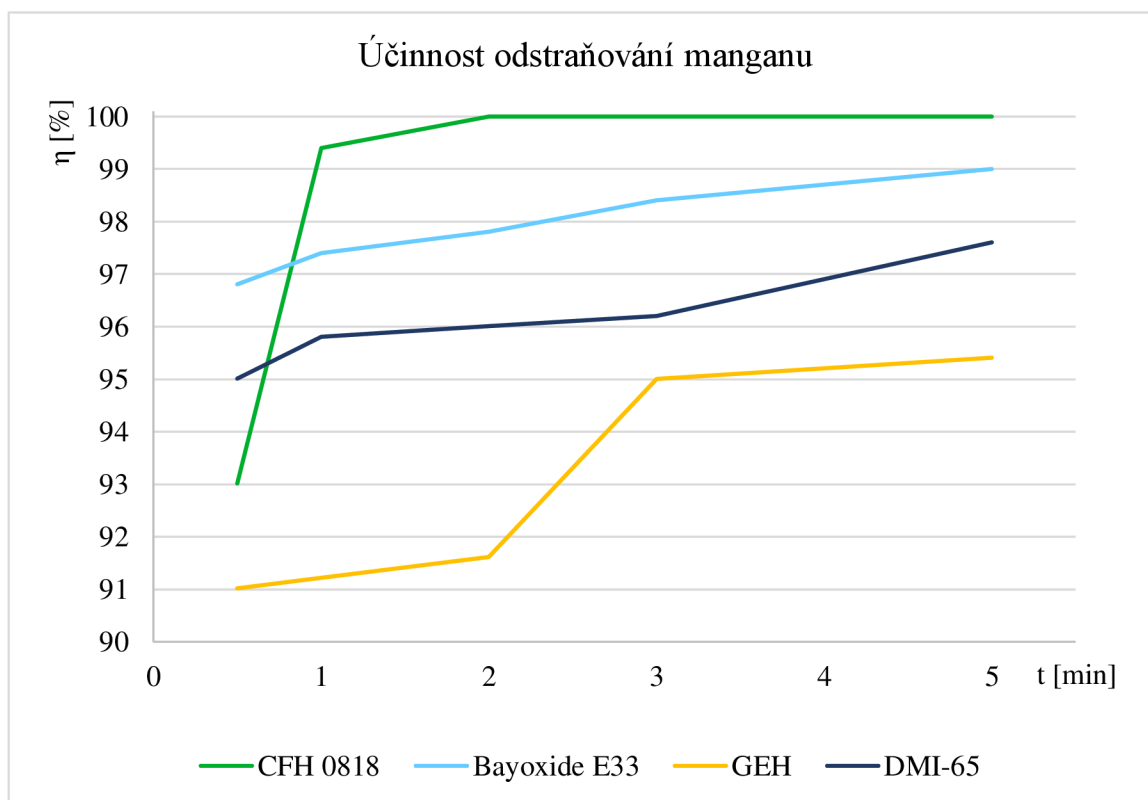
Průběhy účinnosti odstraňování **mědi** jsou u všech materiálů podobné, výjimku tvoří pouze materiál DMI-65, jehož účinnost v prvních 3 minutách je podstatně nižší než účinnosti zbylých materiálů, v první minutě dosahuje necelých 64 %. Tato skutečnost však může být s největší pravděpodobností způsobena nedokonalým promícháním surové vody. Hodnota účinnosti totiž dále prudce stoupá a od třetí minuty je již procento odstraněné mědi srovnatelné s ostatními materiály, v páté minutě dokonce zbylé materiály mírně převyšuje. Účinnost materiálů se po pěti minutách pohybuje v rozmezí od 96,40 % u materiálu GEH do 98,58 % materiálu DMI-65.

U odstraňování **arsenu** dosahoval od počátku experimentu nejlepších hodnot účinnosti materiál DMI-65, s odstraněním více než 98,39 % znečištění. Tento materiál byl těsně následován materiálem Bayoxide E33, který stejné hodnoty dosáhl v čase 1 minuta po začátku filtrace. Obdobné hodnoty dosáhl v konečné fázi také materiál CFH 0818, jeho účinnost však byla do druhé minuty poněkud nižší. U těchto tří materiálů lze předpokládat vyšší účinnosti, než je zde uvedeno, jejich hodnotu však nelze přesně stanovit kvůli nemožnosti stanovit konkrétní hodnoty koncentrace arsenu menší než 1 mg/l. Nejhůře si při odstraňování arsenu vedl materiál GEH, jehož účinnost se po dobu téměř celého pokusu pohybovala pod účinností zbylých materiálů, s konkrétní hodnotou v páté minutě 98,07 %. I přesto však lze odstranění více než 98 % nečistot považovat za velmi účinné.

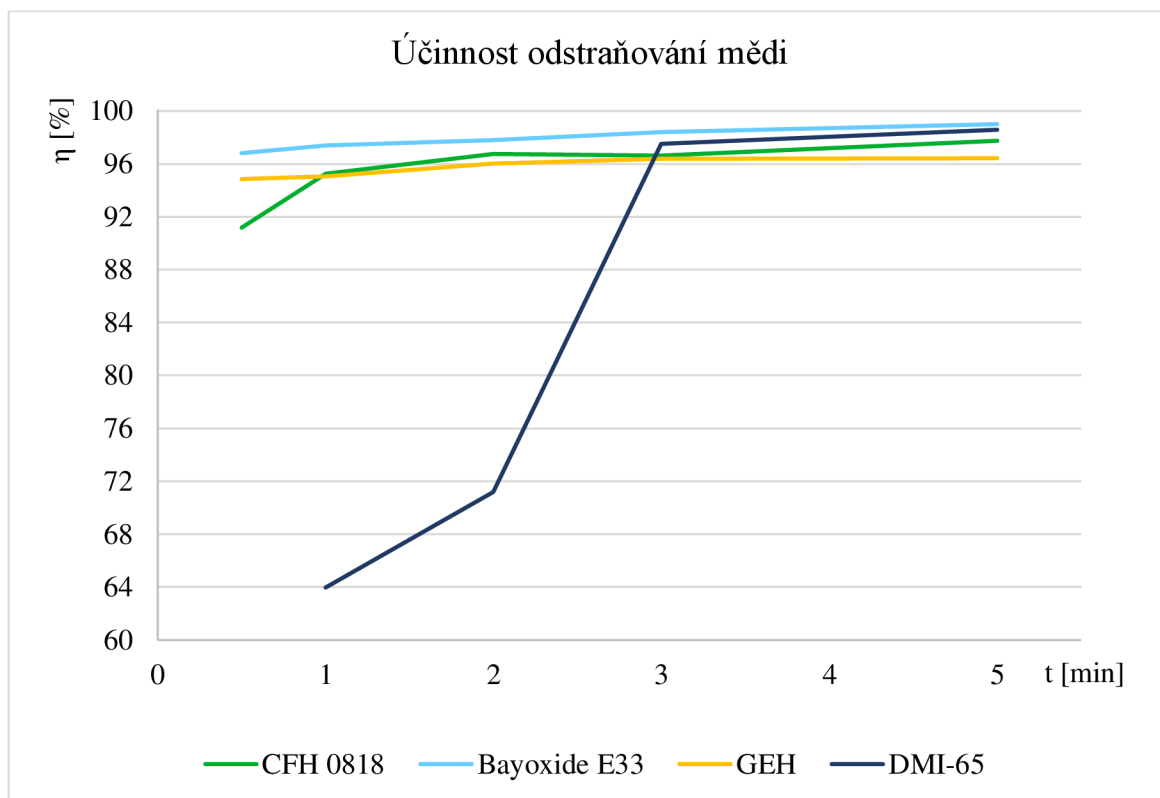
Vezmeme-li v úvahu účinnost jednotlivých materiálů při odstraňování všech zvolených prvků, materiál Bayoxide E33 měl ve všech případech velmi dobré a na čase nepříliš závislé výsledky, přesahující již od počátku experimentu 90% účinnost. Materiál DMI-65 také dosahoval výborných výsledků, především při odstraňování železa, pouze při odstraňování mědi byla k nárůstu účinnosti zapotřebí delší doba, což je však možno přikládat nedokonalému promíchání surové vody. Materiál CFH 0818 dosáhl vynikajících výsledků především při odstraňování manganu, skvěle však odstranil i zbylé prvky, byť u většiny bylo dosaženo vyšší účinnosti až po čase 2 minuty. Nejnižších hodnot pak dosahoval jednoznačně materiál GEH, i tento materiál však dosáhl ve všech případech uspokojivých výsledků s účinností v čase 5 minut přesahující 90 %.



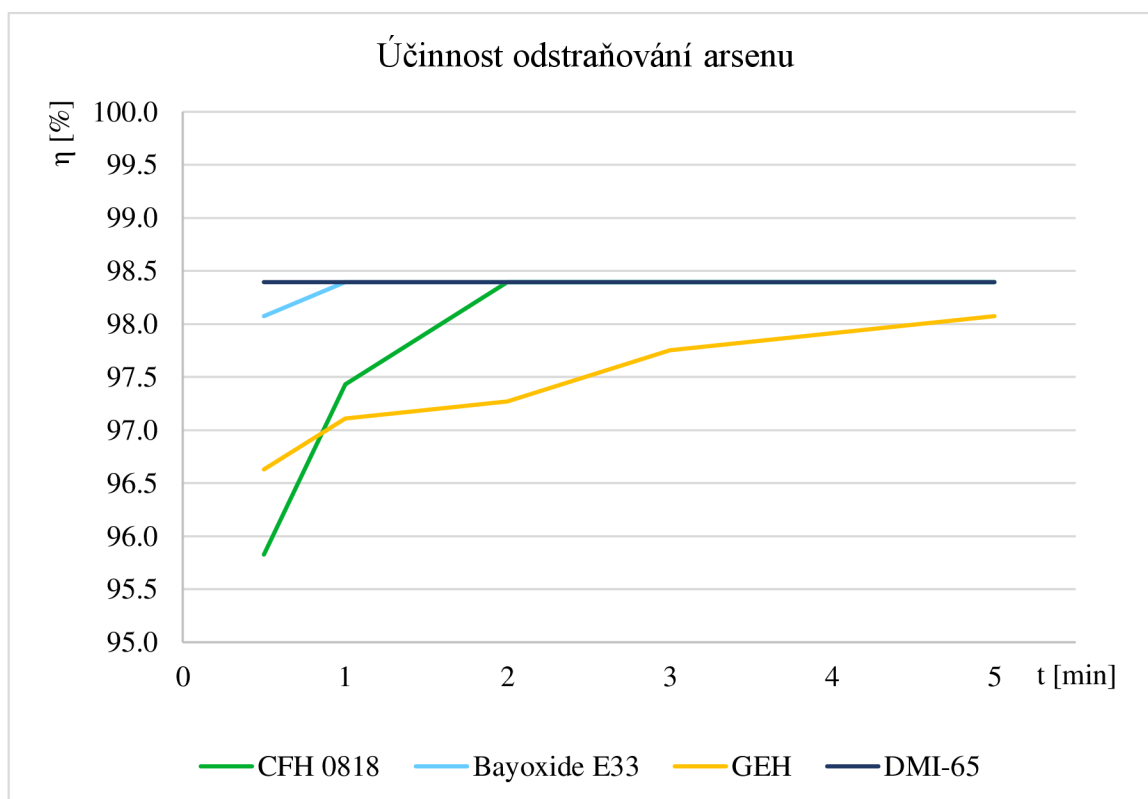
Obr. 4.1 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování železa



Obr. 4.2 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování manganu



Obr. 4.3 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování mědi



Obr. 4.4 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování arsenu

## 5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo shrnutí filtračních procesů sloužících k úpravě pitné vody ve vodárenství a také vytvoření přehledu materiálů nejčastěji používaných při těchto procesech. Kvůli ukázání účinnosti filtrace bylo v rámci práce dále provedeno vyhodnocení účinnosti vybraných filtračních materiálů při odstraňování znečištění z vody, konkrétně látek, jimiž byly železo, mangan, měď a arsen. Vyhodnoceny byly hodnoty naměřené v rámci specifického vysokoškolského výzkumu provedeného v roce 2015.

Filtrace patří ve vodárenství mezi nejčastěji používané procesy při úpravě pitné vody. Dochází při ní k odseparování suspendovaných, koloidních i rozpuštěných látek vyskytujících se v upravované vodě. Její historie sahá do první poloviny 19. století, kdy byly navrženy první pomalé filtry. Koncem téhož století se objevily také první rychlofiltry. Zejména rychlá filtrace je hojně používána dodnes, poslední dobou však dochází rovněž k rozvoji membránových procesů.

První pomalé filtry byly navrženy v Anglii roku 1829. Při pomalé filtraci je snaha vytvořit umělé podmínky co nejpodobnější přírodnímu prostředí a pomalá filtrace je tak analogií čistících procesů vod v přírodě. Přestože je tento typ filtrace spíše historickou technologií, stále nachází své uplatnění, zejména v úpravách s menší kapacitou. K odbourávání nečistot dochází z největší části v horní vrstvě písku, kde vzniká tzv. biologická blána, intenzivně oživená aerobními mikroorganismy a řasami. K odstraňování organických nečistot biologickým způsobem dochází díky působení metabolických procesů těchto mikroorganismů. Jelikož jsou tyto organismy aerobní je nutno zajistit při filtraci dostatečné množství kyslíku.

Rychlá filtrace byla především reakcí na vzrůstající potřebu pitné vody, došlo tak k nalezení razantnějšího způsobu úpravy, který již nepoužívá biologický způsob úpravy. První rychlofiltry byly použity roku 1885 v USA. Díky tomu bylo možné zvýšení filtrační rychlosti, povrchová rychlost se v rychlofiltru pohybuje od 3,6 do 7,2 m·h<sup>-1</sup>. Kromě vyšší rychlosti filtrace jsou hlavními rozdíly oproti pomalé filtraci větší velikost zrn filtračního písku a také menší potřebná plocha. Charakteristickým rysem rychlofiltrace je její cyklický průběh, kdy filtrační cyklus trvá většinou několik dní. Celková délka cyklu je součtem doby filtrace, doby praní a doby zafiltrování. Nejběžněji používané jsou otevřené rychlofiltry protékané shora dolů, dále existují filtry protékané obráceně, obousměrně, či tlakové filtry.

Rychlofiltry mají nejčastěji nádrže obdélníkového půdorysu, jejichž součástí je kromě filtrační náplně drenážní soustava a žlaby sloužící k přívodu vody a odvádění kalu. Funkce drenážní soustavy jsou rozdělení proudu vody a vzduchu, rozdělení průtoku upravené vody a v případě trubní drenáže tvoří drenáž podloží filtrační vrstvy. Drenážní systém může být umístěn buď v mezidně filtru nebo může být použita drenáž bez mezidna. Mezi drenážními systémy roštů bez mezidna používané u nás patří zejména systémy Novák, Leopold či Triton.

Náplavná filtrace stejně jako pomalá napodobuje přírodní procesy a používá přírodní materiály. K zachycování částic zákalu však využívá vrstvu naplavených částic, jejíž nosnou konstrukcí je filtrační tkanina. Filtrační vrstva je v tomto případě vytvářena za provozu, kdy

dochází k dávkování rozsivkové zeminy. Náplavný koláč, který narůstá až do tloušťky 40 mm je následně oddělen a tkanivo je propráno opačně přiváděnou vodou.

Mezi membránové procesy se řadí mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Základem těchto postupů jsou polopropustné membrány propouštějící molekuly vody a dále jen částice do určité velikosti či určitý elektrický náboj, a to podle typu membrány. Membrány působí jako selektivní bariéra mezi dvěma fázemi – fází zachycovaných nečistot a fází procházející membránou. Hlavními výhodami ve srovnání s klasickou úpravou vody jsou především vynikající kvalita vody, snížení potřeby chemikálií, nižší nároky na zastavěnou plochu a výborné odstranění bakterií, virů a prvoků.

Dlouhou dobu byl jako náplň klasických filtrů využíván výhradně křemičitý písek, který se do současnosti řadí mezi nejlevnější filtrační materiály. Tento materiál slouží k základní filtraci mechanických nečistot a vloček vysrážených v průběhu čiření vody a srážení železa. Postupem času však začaly být užívány alternativní materiály, mezi nejběžněji používanými patří hydroantracit a Filtralite, ze sorpčních materiálů pak granulované aktivní uhlí, GEH, CFH, Bayoxide E33, Greensand, Birm, Semidol a relativně nový, a proto také u nás doposud nepříliš užívaný materiál DMI-65.

U náplavných filtrů je jako filtrační materiál nejčastěji volena rozsivková zemina, kterou tvoří fosilizované pozůstatky schránek jednobuněčných vodních rostlin, zvaných rozsivky neboli diatomity. Tyto mikroskopické organismy mají schopnost extrahovat z vody oxid křemičitý. Po pracovním cyklu dochází společně s nečistotami také k odstranění filtračního média, díky čemuž musí být náplň opětovně naplavena.

Membrány jsou vyráběny z množství jak přírodních (např. acetátové celulózy), tak syntetických materiálů, jimiž jsou např. polyamidy. Na zvoleném materiálu pak závisí chemická a tepelná odolnost membrán. Mezi nejodolnější patří keramické membrány a membrány ze sintrovaných kovů. Pro zpracování neagresivních vod mohou být použity membrány z derivátů celulózy, akrylátů, příp. polysulfonů.

Jedním z cílů práce bylo také srovnání účinnosti odstranění železa, manganu, mědi a arsenu z vody filtrací přes vybrané materiály.

Při odstraňování železa dosáhly všechny materiály vysoké účinnosti přes 90 %, nejúčinněji bylo odstraněno jednoznačně materiálem DMI-65. Tento materiál dosáhl účinnosti dokonce přes 99 %. Také materiál Bayoxide E33 měl od počátku výbornou účinnost, která se v průběhu pokusu změnila jen nepatrně.

Nejdokonalejšího odstranění manganu dosáhl materiál CFH 0818, jehož účinnost byla již v čase 2 minuty 100 %. Naopak nejslabší byly výsledky materiálu GEH, avšak i tento materiál dosahoval už od počátku více než 90% účinnosti při odstraňování znečištění manganem.

Průběhy účinností při odstraňování mědi jsou v případě všech materiálů velmi podobné s hodnotami již od počátku přesahujícími 90 %. Výjimkou je materiál DMI-65 s nástupem účinnosti až po necelé minutě, jelikož po půl minutě filtrace byla naměřena vyšší koncentrace

mědi než v surové vodě, což však lze přisuzovat nedokonalému promíchání surové vody. Materiál DMI-65 v konečné fázi dosáhl účinnosti srovnatelné se zbylými materiály.

U odstraňování arsenu dosahoval od počátku nejvyšší účinnosti materiál DMI-65, srovnatelných hodnot dosáhl při zdržení přes 1 minutu také Bayoxide E33. Nejnižší byla po dobu celého experimentu účinnost materiálu GEH, avšak i tato účinnost přesáhla při zdržení 5 minut 98 %.

Shrneme-li účinnosti odstraňování všech prvků, nejlepších výsledků dosahovaly materiály Bayoxide E33 a DMI-65. Nejnižší byly hodnoty účinností materiálu GEH. Za dostatečně účinné však lze považovat odstranění nečistot pomocí všech vybraných materiálů. Filtrační materiál by tak bylo vhodné volit na základě rozboru upravované vody.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: A. Úprava vody*. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006.
- [2] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství - Úprava vody*. 2., nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.
- [3] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravny pitné vody*. Líbeznice: Medim, 2005. ISBN 80-239-4565-3.
- [4] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. *Úprava vody a balneotechnika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2563-6.
- [5] BINNIE, Chris, Martin KIMBER and George SMETHURST. *Basic water treatment*. 3rd ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2002, 291 p. ISBN 0-85404-989-4.
- [6] GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998, 189 s. ISBN 80-902460-7-9.
- [7] CRITTENDEN, John. *Water treatment: principles and design*. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2005, 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [8] NOVÁK, Vladimír. Univerzální vodárenské filtry bez mezidna s trubním drenážním systémem z plastů. *Technika* [online]. 2010, (07-08) [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.techpark.sk/technika-782010/univerzalni-vodarenske-filtry-bez-medidna-s-trubnim-drenaznim-systemem-z-plastu.html>
- [9] Drenážní systém Leopold: Technologie Leopold® Type S<sup>TM</sup> a Type SL<sup>TM</sup>. In: *Envipur* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: [http://www.envipur.cz/download/dokument\\_7\\_drenazni\\_system\\_cz.pdf](http://www.envipur.cz/download/dokument_7_drenazni_system_cz.pdf)
- [10] Leopold® Type S® Technology Underdrain. In: *Xylem: Let's Solve Water* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.xylem.com/siteassets/brand-specific-content-including-catalog/leopold/leopold-resources/1326-leopold-types-filtration.pdf>
- [11] BIELA, Renata. *Filtrace s drenážním systémem Triton a její použití při úpravě vody v ČR* [online]. 14.4.2014 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/11080-filtrace-s-drenaznim-systemem-triton-a-jeji-pouziti-pri-uprave-vody-v-cr>
- [12] Johnson Screens Triton Underdrain<sup>TM</sup> System. In: *Aqseptence Group* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.aqseptence.com/app/en/products/johnson-screens-triton-underdrain-system/>
- [13] JOHNSON SCREENS® Drenážní systém TRITON<sup>TM</sup>. In: *Kunst* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: [http://www.kunst.cz/media/dokumenty/cz/zastoupeni/bwt\\_pbl\\_jos\\_systeme\\_triton\\_4\\_s\\_cz\\_rz-web.pdf](http://www.kunst.cz/media/dokumenty/cz/zastoupeni/bwt_pbl_jos_systeme_triton_4_s_cz_rz-web.pdf)



- [14] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: Ardec, 2006, 331 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [15] DOLEJŠ, Petr, Nataša KALOUSKOVÁ a Zuzana NOGOVÁ. *Využití membránových procesů při úpravě pitné vody* [online]. In: [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/archive/014/001646.pdf>
- [16] ŠKORVAN, Ondřej. Tlakové membránové procesy ve vodním hospodářství. In: *Asio: Čištění a úprava vod* [online]. 24. 4. 2014 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/264.tlakove-membranove-procesy-ve-vodnim-hospodarstvi>
- [17] Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody: Vodárenský tříděný písek DORSILIT. In: *Kowa spol. s r.o.* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie/vodarensky-pisek>
- [18] Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody: Hydroantracit N. In: *Kowa spol. s r.o.* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie/hydroantracit>
- [19] Hydro – antracit N. In: *Sand system* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.sandsystem.cz/wp-content/uploads/2017/02/TL-Hydro-Antracit-N-III-cz.pdf>
- [20] Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody: Aktivní uhlí FILTRASORB. In: *Kowa spol. s r. o.* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie/aktivni-uhli>
- [21] Aktivní uhlí F100 50 L. In: *AQUACON* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.aquacon.cz/prislusenstvi/filtracni-hmoty/aktivni-uhli-f100-50-l.html>
- [22] BIELA, Renata, Tomáš KUČERA a Mojmír PĚKNÝ. Účinnost sorpčních materiálů na odstranění niklu i jiných kovů z vody. *TZB-info* [online]. 24. 6. 2013 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/10071-ucinnost-sorpcnich-materialu-na-odstraneni-niklu-i-jinych-kovu-z-vody>
- [23] BIELA, Renata a Lucie ŠOPÍKOVÁ. Sledování účinnosti sorpčních materiálů na odstranění olova z vody. *TZB-info* [online]. 2. 5. 2016 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/14139-sledovani-ucinnosti-sorpcnich-materialu-na-odstraneni-olova-z-vody>
- [24] BIELA, Renata a Tomáš KUČERA. Arsenic removal from water by using sorption materials. In: *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies: Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies*. Tatranská Štrba, High Tatras Mountains - Slovak Republic: CRC Press, 2015, 245 - 250. ISBN 9781138029071
- [25] Bayoxide E33 Granular GRANULAR FERRIC OXIDE MEDIA: For Arsenic and Heavy Metals Removal. In: *AdEdge: water technologies* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://adedgetech.com/wp-content/uploads/2017/09/E33-Spec-Sheet.pdf>

- [26] Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody: Odželezovací materiál GREEN SAND. In: *Kowa spol. s r. o.* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie/greensand>
- [27] Manganese Greensand. In: *Country Water Systems* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [http://countrywatersystems.com/wp-content/uploads/Greensand\\_manganese.pdf](http://countrywatersystems.com/wp-content/uploads/Greensand_manganese.pdf)
- [28] Filtrační hmota Birm. In: *Deto: Deto Brno - Technologie pro úpravu vody* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://deto.cz/uploads/Soubory%20PDF/106-2%20Birm.pdf>
- [29] Birm®. In: *Pure Aqua, Inc.* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.pureaqua.com/content/pdf/clack-birm-filtration-media.pdf>
- [30] Odkyselovací náplň Semidol K1 (25KG). In: *AQUACON* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.aquacon.cz/prislusenstvi/filtracni-hmoty/odkyselovaci-napl-n-semidol-k1-25kg.html>
- [31] Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody: Odkyselovací materiály Polovypálený dolomit (SEMIDOL). In: *Kowa spol. s r. o.* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie/polovypaleny-dolomit-semidol>
- [32] DMI-65. In: *DPT: Design centrum* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.dptdesigncentrum.cz/cz/dmi-65>
- [33] BIELA, Renata, Tomáš KUČERA a Petr MARTIŇÁK. Poloprovozní testování filtračního materiálu DMI-65. *Plynár - vodár - kúrenár + klimatizácia*. V. O. Č. Slovakia, 2016, 14(1), 24–25.
- [34] Iron and Manganese Removal Quantum DMI-65 Media. In: *Kabana Water Consulting* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.k2oconsulting.com/iron-manganese-removal.htm>
- [35] DOLEJŠ, Petr, Klára ŠTRAUSOVÁ a Pavel DOBIÁŠ. Modelové ověření nového filtračního materiálu Filtralite ve dvouvrstvých filtrech. In: *Pitná voda 2010*. České Budějovice: W&ET Team, 2010, 83-88. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [36] Filtralite – nový filtrační materiál. In: *Envi-pur* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: [http://www.envi-pur.cz/download/dokument\\_119\\_filtralite-novy\\_filtracni\\_material\\_cz.pdf](http://www.envi-pur.cz/download/dokument_119_filtralite-novy_filtracni_material_cz.pdf)
- [37] MARSH, John H. Water filtration using diatomaceous earth. *WaterWorld* [online]. 2004, 1. 6. 2004, 20(6) [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-20/issue-6/editorial-focus/water-filtration-using-diatomaceous-earth.html>
- [38] HOUŽVIČKA, Jiří. *Filtrační média a iontoměniče* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.bazenyandor.sk/images/dokumenty/filtracni-media-a-iontomenice.pdf>
- [39] Akdolit® Hydro-anthrasit N: Natural anthracite for single- or multi-layer filtration. In: *Akdolit®* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.akdolit.com/en/product-range/filtration#!/akdolitr-hydro-anthrasit-n>

- [40] Mikroskopiska skönheter. In: *Hovbergs blog* [online]. 8. 5. 2010 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://hovberg.blogspot.cz/2010/05/mikroskopiska-skönheter.html>
- [41] SPRATKOVÁ, Aneta. *Využití membránových procesů při úpravě vody*. Brno, 2016. 46 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [42] BIELA, Renata and Lucie ŠOPÍKOVÁ. Efficiency of sorption materials on the removal of lead from water. *Applied Ecology and Environmental Research* [online]. 2017, 15(3), 10 [cit. 2018-05-09]. ISSN 1785 0037. Dostupné z: [http://aloki.hu/indvol15\\_3.htm](http://aloki.hu/indvol15_3.htm)
- [43] KOPECKÝ, Jaroslav. Kdo jsme. In: *Jako, s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.jako.cz/kdojsme.htm>
- [44] Filtrasorb 100 and 200. In: *Cwenga: Chemical and Water Engineering Associates* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.cwenga.com/upload/W-2050%20-%20Filtrasorb%20100%20&%20200.pdf>
- [45] Filtrasorb 300 and 400. In: *Cwenga: Chemical and Water Engineering Associates* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.cwenga.com/upload/FILTRASORB%20300%20and%20400.pdf>
- [46] KONEČNÝ, Jiří. *Posouzení účinnosti filtračního materiálu DMI-65 na odstraňování kovů z vody*. Brno, 2015. 85 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2016, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [47] MIKULÁŠEK, Petr. *Tlakové membránové procesy a jejich využití v oblasti likvidace odpadních vod* [online]. In: [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/5882703-Tlakove-membranove-procesy-a-jejich-vyuziti-v-oblasti-likvidace-odpadnich-vod.html>

## SEZNAM TABULEK

|  |    |
|--|----|
| Tab. 2.1 Vlastnosti nejčastějších filtračních médií používaných pro rycjlofiltry ..... | 10 |
| Tab. 2.2 Látky odstraňované z vody membránovými procesy .....                          | 23 |
| Tab. 3.1 Technické parametry možností aplikace písku DORSILIT .....                    | 26 |
| Tab. 3.2 Technické parametry možností aplikace hydroantracitu.....                     | 27 |
| Tab. 3.3 Základní typy Filtralite a možnosti použití .....                             | 28 |
| Tab. 3.4 Základní parametry aktivního uhlí FILTRASORB.....                             | 29 |
| Tab. 3.5 Přehled vlastností materiálu GEH.....   | 30 |
| Tab. 3.6 Přehled vlastností materiálu CFH 0818 .....                                   | 31 |
| Tab. 3.7 Přehled vlastností materiálu Bayoxide E33 .....                               | 32 |
| Tab. 3.8 Přehled vlastností materiálu Greensand .....                                  | 33 |
| Tab. 3.9 Přehled vlastností materiálu Birm .....                                       | 34 |
| Tab. 3.10 Přehled vlastností materiálu Semidol.....                                    | 35 |
| Tab. 3.11 Technické specifikace materiálu DMI-65 .....                                 | 36 |
| Tab. 4.1 Rozbor vody před filtrací .....   | 41 |
| Tab. 4.2 Rozbor vody po filtraci přes CFH 0818.....                                    | 41 |
| Tab. 4.3 Rozbor vody po filtraci přes Bayoxide E33 .....                               | 41 |
| Tab. 4.4 Rozbor vody po filtraci přes GEH .....  | 41 |
| Tab. 4.5 Rozbor vody po filtraci přes DMI-65.....                                      | 41 |
| Tab. 4.6 Účinnost materiálu CFH 0818 .....   | 42 |
| Tab. 4.7 Účinnost materiálu Bayoxide E33 .....   | 42 |
| Tab. 4.8 Účinnost materiálu GEH.....   | 42 |
| Tab. 4.9 Účinnost materiálu DMI-65 .....   | 42 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obr. 2.1 Kolmatace pomalého filtru.....   | 5  |
| Obr. 2.2 Otevřený pomalý filtr.....   | 6  |
| Obr. 2.3 Zaklenutý pomalý filtr .....   | 7  |
| Obr. 2.4 Graf zákalu a tlakových ztrát v průběhu filtračního cyklu.....                   | 9  |
| Obr. 2.5 Otevřený rychlofiltr.....  | 11 |
| Obr. 2.6 Filtr protékaný obráceně .....   | 12 |
| Obr. 2.7 Filtr s oboustranným průtokem .....  | 12 |
| Obr. 2.8 Stojatý tlakový filtr .....  | 13 |
| Obr. 2.9 Graf účinnosti praní v závislosti na době praní.....                             | 15 |
| Obr. 2.10 Půdorysné uspořádání filtrů .....   | 16 |
| Obr. 2.11 Mezidno z desek s filtračními hlavicemi zapuštěnými .....                       | 17 |
| Obr. 2.12 Filtrační hlavice.....  | 17 |
| Obr. 2.13 Obdélníkový filtr.....  | 18 |
| Obr. 2.14 Kruhový filtr .....   | 18 |
| Obr. 2.15 Drenážní systém Leopold Type S 19 .....   | 19 |
| Obr. 2.16 Vzdálenost otvoru drenážního systému Leopold ve srovnání s jinými systémy ..... | 19 |
| Obr. 2.17 Konstrukce segmentu drenážního systému Triton .....                             | 20 |
| Obr. 2.18 Filtr s drenážním systémem Triton .....   | 20 |
| Obr. 2.19 Srovnání drenážního systému Triton s běžným systémem .....                      | 21 |
| Obr. 2.20 Schéma svíčkového filtru.....   | 22 |
| Obr. 2.21 Znázornění separačních vlastností v závislosti na zvolené technologii.....      | 24 |
| Obr. 3.1 Filtrační materiál Dorsilit.....   | 26 |
| Obr. 3.2 Filtrační materiál Hydroantracit.....  | 27 |
| Obr. 3.3 Filtrační materiál Filtralite .....  | 28 |
| Obr. 3.4 Aktivní uhlí Filtrasorb F100 .....   | 29 |
| Obr. 3.5 Filtrační materiál GEH.....  | 30 |
| Obr. 3.6 Filtrační materiál CFH .....   | 31 |
| Obr. 3.7 Filtrační materiál Bayoxide E33 .....  | 32 |
| Obr. 3.8 Filtrační materiál Greensand.....  | 33 |
| Obr. 3.9 Filtrační materiál Birm.....   | 34 |
| Obr. 3.10 Filtrační materiál Semidol.....   | 35 |
| Obr. 3.11 Filtrační materiál DMI-65 .....   | 36 |
| Obr. 3.12 Rozsivky.....   | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 3.13 Schéma spirálově vinutého modulu .....                              | 39 |
| Obr. 3.14 Typy membrán .....  | 39 |
| Obr. 4.1 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování železa.....   | 44 |
| Obr. 4.2 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování manganu ..... | 44 |
| Obr. 4.3 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování mědi .....    | 45 |
| Obr. 4.4 Graf účinnosti jednotlivých materiálů při odstraňování arsenu .....  | 45 |

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| v. sl. ...                  | vodní sloupec  |
| NTU...                      | nefelometrické jednotky  |
| USA...                      | Spojené státy americké   |
| K ...                       | kalová kapacita [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]                       |
| $c_0$ ...                   | hmotnostní koncentrace na přítoku [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]     |
| v ...                       | povrchová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]                    |
| Q ...                       | průtok [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ]                              |
| GAU...                      | granulované aktivní uhlí   |
| PVC...                      | polyvinylchlorid   |
| IMS...                      | Integral Media Support   |
| pH...                       | záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů                 |
| MF...                       | mikrofiltrace  |
| UF...                       | ultrafiltrace  |
| NF...                       | nanofiltrace   |
| RO...                       | reverzní osmóza  |
| $\Delta P$ ...              | tlakový gradient   |
| $\Delta\pi$ ...             | osmotický tlak   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ ... | oxid hlinitý   |
| $\text{ZrO}_2$ ...          | oxid zirkoničitý   |
| ÚVHO...                     | Ústav vodního hospodářství obcí  |
| $\eta$ ...                  | účinnost odstranění znečištění [-]                                     |
| $C_{\text{RW}}$ ...         | koncentrace znečištění v surové vodě [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ] |
| $C_{\text{F}}$ ...          | koncentrace znečištění po filtraci [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]   |

## SUMMARY

Filtration is one of the most used processes in drinking water treatment. Its course involves the separation of suspended, colloidal and dissolved substances occurring in the treated water. Its history dates back to the 19<sup>th</sup> century, when the first filters were constructed.

Slow filtration is analogous to water purification processes in nature. Even though this type of filtration is more of a historical technology, it still finds its use in smaller water treatment plants. The degradation of impurities occurs in the upper part of the sand, where the so-called biological membrane is formed, intensively revived by aerobic microorganisms and algae.

Rapid filtration was a reaction to the increasing requirement for drinking water. It no longer uses the biological treatment and thanks to this it was possible to increase the filtration speed. In addition to higher filtration rates, another advantage is that rapid filters require smaller area. A characteristic feature of rapid filtration is its cyclic pattern, where the filter cycle lasts for several days.

Diatomite filters, similarly to slow sand filters, simulate natural processes and use natural materials. However, to capture the turbidity particles, they use a layer of flooded particles, supported by a filter cloth. The filter layer is formed during operation by dosing of diatomaceous earth.

Membrane processes include microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis. The basis of these processes are semi-permeable membranes permeating only water molecules and particles of certain size or specific electrical charge, depending on the type of membrane. The main advantages in comparison to the classic water treatment are excellent water quality, reduction of the need for chemicals, lower demands on the built-up area and excellent removal of bacteria, viruses and protozoa.

For a long time, the quartz sand has been used as a sole media for classical filters, as it is one of the cheapest filter materials. Over time, however, alternative materials have become increasingly used, among the most commonly used there are hydroanthracite and Filtralite, granular activated carbon, GEH, CFH, Bayoxide E33, Greensand, Birm, Semidol and also relatively new and therefore not so commonly used DMI-65 material.

Diatomaceous earth, used in diatomite filters consists of fossilized remains of unicellular aquatic plants, called diatoms.

The membranes are made from both natural and synthetic materials. The chemical and heat resistance of the membranes depends on the material chosen.

One of the objectives of the work was comparison of the efficiency of removing iron, manganese, copper and arsenic from water by filtration through selected materials.

Summarizing the removal efficiency of all elements, Bayoxide E33 and DMI-65 showed the best results, followed by CFH 0818. The values of GEH material efficiency were the lowest. However, removal of impurities by all selected materials can be considered as effective. It would therefore be suitable to choose the filter material based on the analysis of the treated water.