



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGENT

## ÚPRAVA VODY S TERCIÁLNÍM STUPNĚM

WATER TREATMENT WITH TERTIARY DEGREE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kristýna Marzinová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2019



# 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>	Kristýna Marzinová
<b>Název</b>	Úprava vody s terciálním stupněm
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Renata Biela, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

---

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, R., BERÁNEK, J. 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)

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude zabývat možnostmi úpravy vody s terciálním stupněm, kdy v případě značně znečištěných vod nebo při mimořádném požadavku na kvalitu upravené vody je možno po dvoustupňové separaci zařadit stupeň třetí. Studentka vytvoří přehled zařízení, která jsou vhodná za určitých podmínek jako terciální stupeň a zaměří se především na filtraci s aktivním uhlím (výroba AU, typy, parametry, reaktivace, atd.). Součástí práce bude i návrh filtru s aktivním uhlím pro zadaný průtok.

## 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

Bakalářská práce se zabývá úpravou pitné vody s terciálním stupněm za pomoci aktivního uhlí. V první části jsou popsány druhy úpravy vody pomocí jednostupňové úpravy bez separačního stupně, následně úprava vody se separačním stupněm jednostupňová a dvoustupňová. V druhé části je popsána úprava vody z povrchového zdroje pomocí třetího separačního stupně. V poslední části se práce zaměřuje na aktivní uhlí, jeho historii, druhy a strukturu, dále na výrobu a reaktivaci. V závěru práce je navržen filtr s aktivním uhlím a také dimenzováno potrubí filtru. K práci je přiložena i příloha zobrazující řez a půdorys filtrem s aktivním uhlím.

## KLÍČOVÁ SLOVA

úprava pitné vody, vodárenské procesy, povrchová voda, aktivní uhlí, návrh filtru

## ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the treatment of drinking water with tertiary degree using activated carbon. In the first part there are described the types of water treatment by a single-stage treatment without separation stage, followed by water treatment with a single-stage and two-stage separation stage. The second part describes the treatment of water from a surface source by means of a third separation stage. In the last part it focuses on activated carbon its history, types and structure, then on production and reactivation. At the end of the thesis, an activated carbon filter is designed as well as a filter pipe. The work is accompanied by an attachment showing the cut and ground plan with activated carbon filter.

## KEYWORDS

portable water treatment, water treatment processes, surface water, active carbon, design of filter

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Kristýna Marzinová *Úprava vody s terciálním stupněm*. Brno, 2019. 68 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Úprava vody s terciálním stupněm* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2019

---

Kristýna Marzinová  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Úprava vody s terciálním stupněm* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

---

Kristýna Marzinová  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za cenné rady, připomínky, věnovaný čas a za poskytnuté materiály při zpracování této bakalářské práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>TYPY ÚPRAVY VODY .....</b>	<b>4</b>
2.1	Jednoduchá úprava vody bez separačního stupně.....	4
2.2	Úprava vody s jednostupňovou separací.....	4
2.3	Úprava vody s dvoustupňovou separací.....	5
2.4	Úprava vody s vícestupňovou separací .....	6
<b>3</b>	<b>ÚPRAVA VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE S TERCIÁLNÍM STUPNĚM....</b>	<b>8</b>
3.1	Možnosti prvního separačního stupně .....	8
3.1.1	Sedimentace.....	8
3.1.2	Čiření .....	13
3.1.3	Flotace .....	19
3.2	Druhý separační stupeň.....	22
3.2.1	Mechanismus rychlé filtrace .....	23
3.2.2	Druhy rychlofiltrů .....	24
3.2.3	Regenerace rychlofiltrů.....	27
3.2.4	Konstrukční uspořádání filtrů .....	28
3.3	Možnosti třetího separačního stupně .....	31
3.3.1	Pomalá biologická filtrace .....	31
3.3.2	Filtrace s aktivním uhlím .....	36
<b>4</b>	<b>AKTIVNÍ UHLÍ.....</b>	<b>39</b>
4.1	Historie využití aktivního uhlí .....	39
4.2	Druhy aktivního uhlí.....	40
4.3	Struktura aktivního uhlí.....	40
4.4	Granulované aktivní uhlí.....	41
4.4.1	Výroba GAU.....	41
4.4.2	Chemické složení GAU .....	42
4.4.3	Chemie povrchu aktivního uhlí.....	42
4.5	Reaktivace aktivního uhlí.....	42
4.6	Současné využití aktivního uhlí .....	43
4.6.1	Cabot Norit Activated Carbon .....	43
4.6.2	Chemviron Carbon.....	45
4.6.3	Envi-pur .....	46
<b>5</b>	<b>NÁVRH FILTRU S AKTIVNÍM UHLÍM .....</b>	<b>48</b>

---

<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>60</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>61</b>

# 1 ÚVOD

Voda je základní podmínkou pro život na Zemi. Surovou vodu je nutné upravit různými upravárenskými procesy na vodu pitnou. U vody podzemní volíme jiný postup úpravy vody než u vody povrchové. Podzemní vody jsou jako zdroj pitné vody vhodnější, obvykle jsou méně znečištěné než povrchové zdroje. Avšak v podzemní vodě se může vyskytovat zvýšené množství síranů, vápníku, sodíku a hořčíku, při odběru z větší hloubky i větší koncentrace železa a manganu, radonu či uranu. Povrchové zdroje vyžadují vyšší stupeň úpravy, neboť obsahují větší obsah organických látek, suspendovaných částic, dále je nutno zbavit vodu zákalu, pachu a pachutě. Postupným rozvojem zemědělství, průmyslu a dalších aspektů již nestačí surovou vodu upravovat pouze upravárenskými procesy s jedноступňovou a dvoustupňovou separací. Nároky na kvalitu pitné vody jsou stále vyšší, rozborů vody jsou díky dnešním moderním laboratorním přístrojům více podrobnější, než tomu bylo dříve, a přitom je potřeba dodržet vyhlášku ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., která hodnotí kvalitu pitné vody.

Povrchová i podzemní voda obsahuje větší množství nežádoucích látek, které i za pomoci dvoustupňové úpravy vody někdy nedokážeme zcela odstranit. Jedná se o přírodní organické látky, například zbytky léčiv, pesticidy, kosmetické přípravky, čisticí přípravky a dále látky způsobující pachut' a pach.

V dnešní době některé úpravny vody kvůli kvalitě vody ve zdroji jsou nuceny zařadit i třetí separační stupeň. Jako třetí separační stupeň se nejčastěji používá adsorpce na aktivním uhlí. Jedná se o aktivní uhlí s velkým měrným povrchem, které díky svým výborným sorpčním vlastnostem na sebe dokáže poutat a odstranit z pitné vody ropné látky, tenzidy, fenoly nebo již zmiňované organické látky.

V rámci bakalářské práce se proto zaměřím na úpravu vody třetím separačním stupněm, a to pomocí aktivního uhlí, které se jako třetí separační stupeň používá nejčastěji.

## 2 TYPY ÚPRAVY VODY

Složitost či způsob úpravy vody ovlivňuje kvalita surové vody a účel, pro který je voda upravována. Dle rozsahu úpravy vody existují čtyři typy úpravené vody [3]:

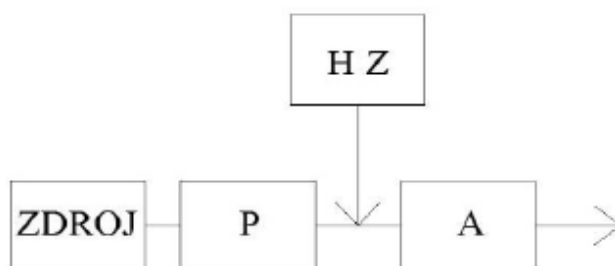
- jednoduchá úprava vody bez separačního stupně,
- úprava vody s jednostupňovou separací,
- úprava vody s dvoustupňovou separací,
- úprava vody s vícestupňovou separací.

### 2.1 JEDNODUCHÁ ÚPRAVA VODY BEZ SEPARAČNÍHO STUPNĚ

Jednoduchou úpravou bez potřeby separace produktů znečištění se upravují vody z minimálně znečištěných zdrojů či minimálně přírodně negativně ovlivněných vod. Takovou úpravou je například mechanické provzdušnění neboli aerace vody, jež se provádí hlavně u vod podzemních s minimálním obsahem organických látek a rovněž s minimálním obsahem dvojmocného železa a manganu. Voda musí mít i vhodné množství aniontů, jež odpovídají požadavkům na kvalitu upravené vody. [3]

Aerací upravujeme vodu, abychom odstranily nepříjemné plyny a pachy. Především odstranění volného oxidu uhličitého, sirovodíku, bahenního plynu či methanu a dalších plynů. Aerace vody může být navrhována i pro opačný efekt, oxidaci vody, která je chudá na kyslík (bezokyslíkaté vody), což má negativní vliv na organoleptické vlastnosti vody (chuť, pach), ale i na materiál spotřebičů nebo rozvodného potrubí. [3]

V praxi se tyto úpravny hojně nazývají odkyselovací úpravny neboli odkyselovací stanice. Schéma je znázorněno na obrázku 2.1. [3]



P – provzdušnění vody, A – akumulace vody, HZ – hygienické zabezpečení

Obr. 2.1 Blokové schéma jednostupňové úpraveny vody bez separačního stupně [3]

### 2.2 ÚPRAVA VODY S JEDNOSTUPŇOVOU SEPARACÍ

Za začátku je potřeba vysvětlit pojem separace, tedy odstranění nežádoucích látek z upravené vody. [3]

Týká se to především tří látek, první možností jsou přírodní látky, které jsou v přírodních vodách obsaženy, dále látky, jež vstoupily do vody v důsledku znečištění. Posledním typem látek jsou látky, které byly do vody přidány při úpravě vody, jedná je především o tyto látky: flokulanty, koagulanty, pomocné koagulanty, látky pro úpravu pH vody apod. [3]

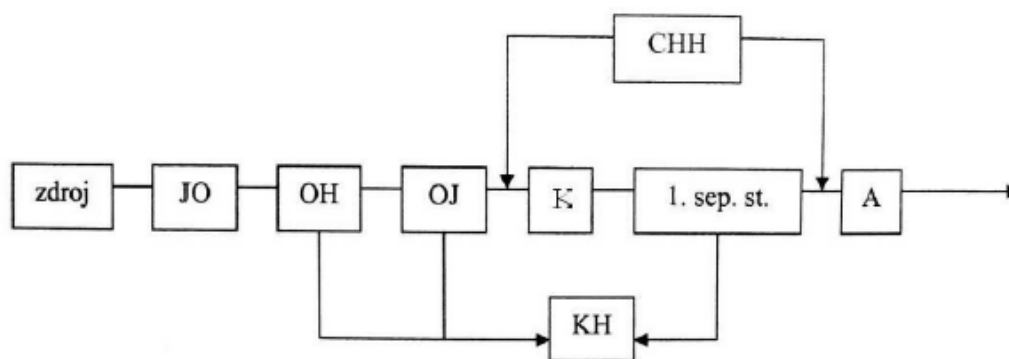
Úprava vody jednostupňovou separací závisí na druhu vody. Úprava bude rozdílná u vody pitné, podzemní, ale i u povrchové vody.

Při úpravě surové vody na vodu pitnou je prvním stupněm separace vždy filtrace, jde o [3]:

- pomalou biologickou filtraci,
- mechanickou prostou filtraci s filtrovanou vodou bez aplikace koagulantu,
- koagulační filtraci s dávkováním koagulantu (kde je však nutné vodu nejen předupravit, ale následně i doupravit a z vody tak odstranit látky, které byly do vody nadávkovány při filtraci).

Pro předúpravu podzemních vod se většinou využívá mechanická aerace vody, jež používáme pro oxidaci dvojmocného železa a manganu do oddělitelné formy. Po zvýšení pH vody nebo také lepší separaci manganu v 1. separačním stupni můžeme použít dávku alkalizačního činidla. Při doupravě vody vždy využíváme dezinfekci před její akumulací a následnou distribucí do spotřebiště, dále můžeme využít i zušlechtění vody. [3]

U povrchových vod je předúpravou před prvním separačním stupněm koagulace a flokulace, poté probíhá koagulační filtrace v již zmíněném separačním stupni. Pro doupravení vody volíme vždy dezinfekci vody před její akumulací a distribucí do spotřebiště. Nebo pro úpravu pH vody může být využita alkalizace vody. [3]



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace,  
A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství

Obr. 2.2 Schéma jednostupňové separace úpravy vody [3]

## 2.3 ÚPRAVA VODY S DVOUSTUPŇOVOU SEPARACÍ

Předúprava vody je většinou stejná jako pro jednostupňovou separaci, vše závisí na množství a druhu znečištění. V případech vyšší dávky koagulantu a vyšší koncentrace

suspendovaných látek ve vodě používáme dvoustupňovou separaci. Jako druhý separační stupeň je navrhována vždy filtrace. [3]

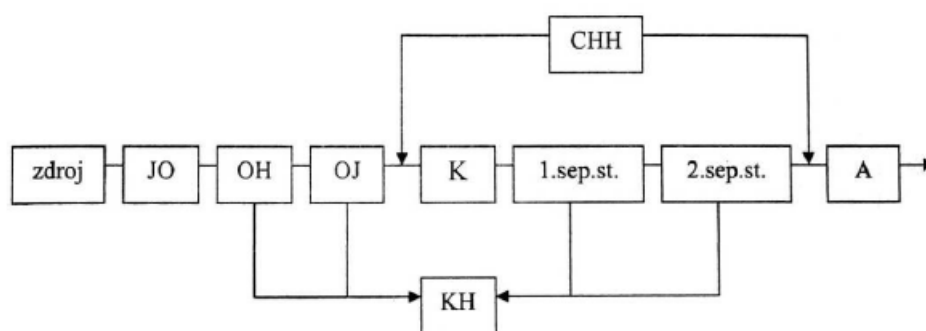
Pro první stupeň separace lze použít [3]:

- mikrofiltr,
- filtr,
- sedimentační nádrž,
- čířič s vločkovým mrakem,
- flotaci vody.

O počtu separačních stupňů rozhodují tyto kritéria [3]:

- jestliže je u podzemní vody součet množství železa a manganu obsažených v surové vodě  $\Sigma \text{Fe} + \text{Mn} < 5 \text{ mg.l}^{-1}$ , volíme jednostupňovou úpravu vody,
- jestli je při úpravě povrchové vody množství nadávkovaného koagulantu  $< 20 - 25 \text{ mg.l}^{-1}$ , použijeme jednostupňovou úpravu.

Doúprava u dvoustupňové úpravy je stejná jako pro jednostupňovou úpravu.



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace,  
A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství

Obr. 2.3 Schéma dvoustupňové separace úpravny vody [3]

## 2.4 ÚPRAVA VODY S VÍCESTUPŇOVOU SEPARACÍ

Terciální úpravu vody je možno využít v případě velmi znečištěných vod, kdy se nám nepovede při dvoustupňové separaci vodu dostatečně upravit. Nebo při požadavku na vyšší kvalitu vody. [3]

Terciální úprava může mít například tyto stupně [3]:

- sedimentace – 1. separační stupeň,
- odželezovací filtry – 2. separační stupeň,
- odmanganovací filtry – 3. separační stupeň

u vody podzemní,

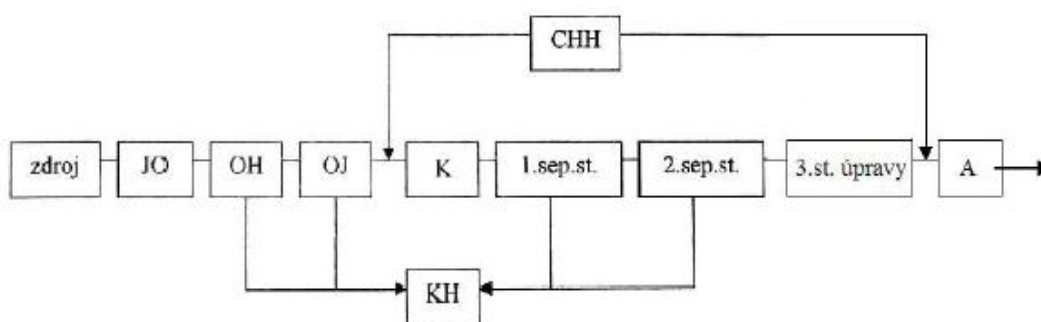
nebo

- sedimentace nebo čířič nebo flotace – 1. separační stupeň,
- písková filtrace – 2. separační stupeň,
- filtrace s aktivním uhlím – 3. separační stupeň v rámci doúpravy vody

nebo

- sedimentace (číření, flotace) – 1. separační stupeň,
- písková filtrace – 2. separační stupeň,
- pomalá, biologická filtrace – 3. separační stupeň v rámci doúpravy

u vody povrchové.



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace,  
A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství, 3. stupeň úpravy –  
(3. stupeň separace, doúprava vody, zušlechťování vody)

Obr. 2.4 Schéma víceúrovňové separace úpravny vody [3]

Třetí separační stupeň může být nahrazen doúpravou vody bez separace. Touto doúpravou může být například provzdušnění vody, zušlechťování vody ozonizací apod. [3]

## 3 ÚPRAVA VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE S TERCÍÁLNÍM STUPNĚM

### 3.1 MOŽNOSTI PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

Při 1. separačním stupni využíváme zejména úpravu vody sedimentací, čířením nebo flotací.

#### 3.1.1 Sedimentace

Při sedimentaci neboli usazování dochází k separaci tuhé fáze směsi od kapalně fáze. Tuhými látkami mohou být látky vzniklé při koagulaci či přírodní suspendované látky. [3] [2]

Sedimentace je nejrozšířenější úprava využívaná pro 1. separační stupeň, ale nelze ji navrhnout samostatně, pouze jako jediný separační stupeň. Účinnost sedimentace závisí především na velikosti suspendovaných látek vyskytujících se ve vodě. Nejlépe se odstraňují hrubé suspendované látky, hůře jsou na tom jemné suspendované látky, ty se usazují pomalu, a tudíž je účinnost sedimentace nižší. [3] [2]

U povrchových vod se sedimentace navrhuje hlavně u vod s vysokým stupněm zkalu. Voda však musí být před vstupem do sedimentace předupravena například nadávkováním koagulantu, ozonizací, oxidací. U podzemních vod se sedimentace navrhuje, jestliže je celkový obsah železa a manganu v surové vodě vyšší než 5 mg.l<sup>-1</sup>. Předúpravou pro podzemní vody je oxidace železa a manganu mechanickým nebo chemickým způsobem. [2]

#### *Proces sedimentace*

Při usazování působí na částice tři hlavní síly: tíha, vztlak a odpor prostředí. Tíha i vztlak jsou konstantní. Odpor prostředí je však závislý nejen na hustotě kapaliny, ale i na dalších faktorech, jimiž jsou například viskozita kapaliny, tíhové zrychlení, tvar a rozměr částic, s rychlostí pádu se zvyšuje. V kapalném prostředí působí na částice nepravidelného tvaru větší odpor než na částice kulového tvaru. [3] [2]

Dle Stokesova zákona je možno teoreticky vypočítat rychlost usazování částic kulovitěho tvaru v kapalině, kdy je tekutina nestlačitelná a vazká [2]:

$$u = \frac{1}{18} \times \frac{\rho_p - \rho}{\rho} \times \frac{gd^2}{\nu} \quad (3.1)$$

kde u... rychlost klesání částice [m.s<sup>-1</sup>],  
 $\rho_p$ ... měrná hmotnost částice [kg.m<sup>-3</sup>],  
 $\rho$ ... měrná hmotnost kapaliny [kg.m<sup>-3</sup>],  
 g... gravitační zrychlení [m.s<sup>-2</sup>],

- d... průměr částice [m],  
 v... kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Stokesův zákon platí v oblastech zanedbatelného tvarového odporu i odporu třením při Reynoldsově čísle  $Re \leq 0,1$ . [2]

V praxi je však rozhodujícím kritériem povrchové zatížení nádrže. Účinnost usazovací nádrže v průtočném usazovacím systému je závislá pro daný druh suspenze na povrchovém zatížení – Hazenův zákon povrchového zatížení [2]:

$$u_o = \frac{Q}{S} \quad (3.2)$$

- kde  $u_o$ ... usazovací rychlost částice [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 Q... průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 S... plocha [ $\text{m}^2$ ].

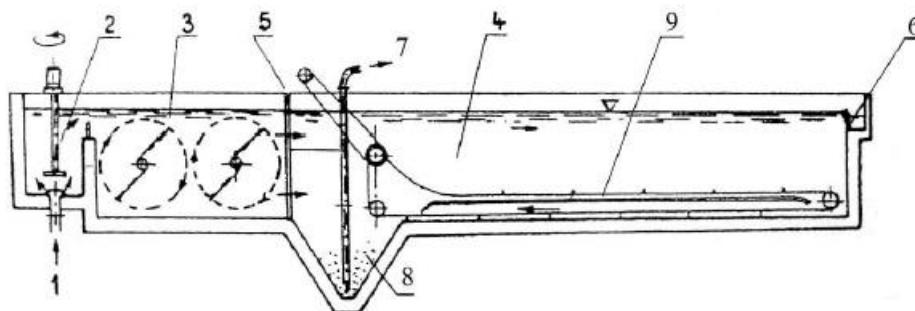
Dle tohoto vztahu se v usazovacím prostoru odseparují pouze ty částice, jenž mají usazovací rychlost stejnou nebo větší, než je povrchové zatížení usazovacího prostoru. Závislost platí při rovnoměrném plošném zatížení a při laminárním proudění. Ideální hodnota Reynoldsova čísla v usazovací nádrži je 100 až 200, v turbulentní oblasti se Reynoldsovo číslo pohybuje v rozmezí od 500 do 3000. [3]

Usazovací nádrže se konstrukčně i provozně rozdělují na [2]:

- obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem,
- patrové a lamelové usazovací nádrže.

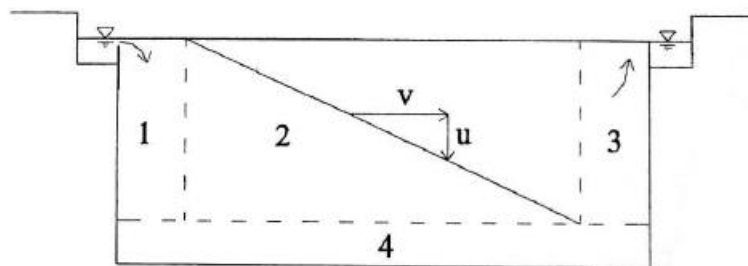
### ***Obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem***

V úpravě pitných vod se nejčastěji využívají obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem, hlavním důvodem je možnost spojení s předřazenými vločkovacími nádržemi, z nichž pak vločkovitá suspenze natéká přímo do usazovací nádrže. Na obrázku 3.1 znázorňuje 1 – přítok vody do rychlomísiče – 2, 3 – vločkovací nádrž, 4 – usazovací nádrž, 5 – systém děrovaných přepážek, 6 – odtok vody ze sedimentace, 7 – odkalování kalového prostoru, 8 – kalový prostor, 9 – řetězový shrabovák. [2] [3]



Obr. 3.1 Spojení vločkovací a usazovací nádrže [3]

Obdélníkové usazovací nádrže se navrhují pro průtočné rychlosti  $v = 4 - 15 \text{ mm.s}^{-1}$ , rychlost závisí na druhu separované suspenze. Jakoukoliv usazovací nádrž lze rozdělit na hlavní čtyři prostory jimiž jsou: 1 – vtokový prostor, 2 – vlastní usazovací prostor, 3 – výtokový prostor, 4 – prostor usazeného kalu. [3]



Obr. 3.2 Prostory obdélníkové usazovací nádrže [3]

Mezi hlavní důvody použití právě těchto nádrží patří snadné řešení konstrukce, jednoduchost strojně technického vybavení a jednoduchá možnost kombinace s vločkovací nádrží. Spojení usazovací nádrže s flokulací je výhodné zejména pro jednoduchý a krátký přenos vody s vločkami do sedimentační nádrže. [3]

Přítok z vločkovacího do usazovacího prostoru se provádí [2]:

- **žlabem s otvory**, kterými voda vytéká zpět proti směru proudění a naráží na čelní stěnu,
- **svislou přepážkou s otvory**, proti kterým bývají umístěny nárazky sloužící k tlumení kinetické energie a k rovnoměrnému rozdělení průtoku,
- **česly**, jež sahají až ke dnu usazovací nádrže,
- **svodidly ve dně**.

Výtok z obdélníkové usazovací nádrže se realizuje obvykle žlabem, který je položen při hladině napříč nádrže na výtokové straně. Mohou se využívat také soustavy několika vzájemně propojených žlabů napříč a podél nádrže na jejím konci. Přepadová hrana žlabů bývá často osazena pilovitými výřezy výšky okolo 3 cm, nebo může být vodorovná. Přítok plovoucích nečistot zamezuje svislá normá stěna, která se umísťuje před přelivnou hranu. [2]

Důležitým parametrem pro návrh obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem je vždy správné určení usazovací rychlosti. Tu je možné stanovit pomocí teoretického výpočtu, pomocí empirických hodnot nebo také experimentálně provedeným usazovacím pokusem. Pro běžnou kvalitu vod povrchových se doporučuje usazovací rychlost  $u_s = 0,4$  až  $0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . [2]

Dále se stanovuje počet usazovacích nádrží, ty se volí většinou dvě a více. Doba zdržení se navrhuje 1,5 až 2 hodiny, a to z důvodu odsazení přibližně až 90 % usaditelných látek. Výška hladiny nade dnem těchto nádrží se rozlišuje podle druhu kalu, pro zrnitý kal je tato výška 2 m a pro vločkovitý kal 2 – 4 m, nejvyšší šířka nádrže je 6 m. Můžeme však nádrž dělit podélnými stěnami, a tím docílíme lepšího laminárního proudění. Ideální poměr délky k šířce nádrže se uvádí 6:1 až 8:1. Plocha obdélníkové usazovací nádrže se počítá dle vztahu [2]:

$$F = \frac{k \cdot Q}{u_s} \quad (3.3)$$

kde  $F$ ...                      půdorysná plocha účinné části nádrže [ $\text{m}^2$ ],  
 $k$ ...                              součinitel vertikálního vlivu [-],  
 $Q$ ...                              průtočné množství [ $\text{m}^3$ ],  
 $u_s$ ...                              usazovací rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

Účinná délka usazovací nádrže se počítá jako [3]:

$$l = v \cdot t \quad (3.4)$$

kde  $l$ ...                              účinná délka usazovací nádrže [m],  
 $v$ ...                              vodorovná postupová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $t$ ...                              doba zdržení [s].

Sklon dna obdélníkových usazovacích nádrží se volí 1 až 2 %, u nádrží bez mechanického odstraňování kalu bývá příčný sklon 1 až 4 % směrem k podélné ose nádrže. [2]

U vtokové části nádrže jsou umístěny kalové jímky, do kterých se odstraňuje kal shrnutím. Kalové jímky mají tvar čtyřbokého jehlanu se stěnami ve sklonu 1,7:1. V nejhlubším místě je výtok odkalovacím potrubím. Usazený kal se shrnuje podélně projíždějícím shrabovákem vždy jednou za několik hodin. Kalové jímky jsou dimenzovány na objem usazeniny, která odpovídá této době, případně větší. [3]

### ***Kruhové usazovací nádrže s horizontálním průtokem***

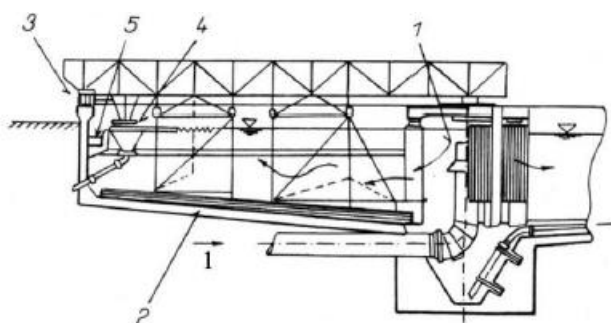
U těchto usazovacích nádrží bývá vtok umístěn zejména v ose válce, výtok pak po obvodu. Prostory nádrže jsou stejné jako u obdélníkových usazovacích nádrží, tj. vtokový, usazovací, výtokový a kalový prostor. [2] [3]

Radiální rychlost ve směru od vtoku k obvodu klesá, tudíž průběh trajektorií usazujících částic v kruhových nádrží tvoří křivku. Byly vybudovány i kruhové usazovací nádrže s tangenciálním vtokem na obvodu a odběrem v ose nádrže. Toto uspořádání se ale neosvědčilo,

neboť radiální rychlost od obvodu ke středu vzrůstá a u výtoku vznikalo turbulentní proudění, které vynášelo usazené vločky. [2] [3]

Materiál kruhových usazovacích nádrží se nejčastěji volí monolitický železobeton s tloušťkou stěn a dna 20 až 30 cm. Ocelovým potrubím se přivádí voda pode dnem nádrže do osy nádrže a do středního válce, zde může končit přelivným kalichem, a to dvěma způsoby: těsně pod hladinou nebo u dna středního válce. [2] [3]

Odběr vody se vykonává na obvodě nádrže přepadem přes přelivnou hranu do sběrného žlabu. Před tímto žlabem se osazuje norná stěna. Ze dna nádrže se usazené kaly shrabují shrabovacím zařízením do střední kalové jímky, z níž se posléze odstraňují kalovým potrubím. Odkalování a shrabování kalu bývá obvykle nepřetržité, u méně znečištěných vod může být i přerušované. [2] [3]



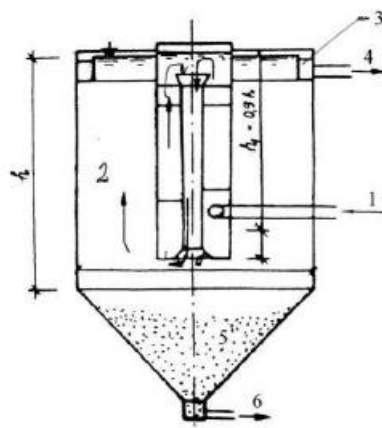
1 – vtok, 2 – shrabovák, 3 – pojezdová dráha, 4 – stírač pěny, 5 – obvodový žlab

**Obr. 3.3 Radiální usazovací nádrž [3]**

### ***Kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem***

Kruhové usazovací nádrže mají velkou stavební výšku, ale jsou plošně výhodné. U těchto nádrží máme dva prostory: vnitřní vločkovací a obvodový usazovací, prostory jsou od sebe odděleny válcovitou přepážkou. Potrubím přitéká voda do středu nádrže a pohybuje se směrem dolů ve středním usazovacím válci (obr. 3.4) Pakliže je usazovací hloubka nádrže  $h$ , má střední válec pouze hloubku  $0,8$  až  $0,9 h$ . Průtoková rychlost ve středním válci bývá  $20$  až  $25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na obvod usazovací nádrže se umísťuje sběrný žlab. [2]

V kalovém prostoru se hromadí kal, který se vypouští z vrcholu kužele, v době, kdy jeho hladina dosáhne válcovité části. Na větší průměry kruhových nádrží používáme železobeton, případně v kombinaci s ocelovými částmi, které umožňují snadné přizpůsobení při změně technologického postupu úpravy vody. [2]



1 – Přítok nadávkované vody z flokulace, 2 – Usazovací prostor, 3 – Odběrný žlab vody po sedimentaci, 4 – Odtok vody po sedimentaci, 5 – Kalový prostor, 6 – Odkalování kalového prostoru

**Obr. 3.4 Kruhová usazovací nádrž s vertikálním průtokem [2]**

### 3.1.2 Čiření

Čiřením se značí souhrn procesů, jimiž se z vody odstraňují hlavně částice koloidně dispergovaných látek organického i anorganického původu. [1]

Čiřiče s vločkovacím mrakem jsou zařízení, která používají efekt průchodu upravené vody přes vločkový mrak, ten je hydraulicky či mechanicky udržován ve vznosu. [3]

Při úpravě pitné vody jsou čiřiče využívány pro 1. stupeň separace nečistot z vody a nikdy neslouží jako finální úprava pitné vody. Vznik čiřičů vznikal v době, kdy proces sedimentace již nebylo možné dále zlepšovat a narůstající potřebu produkované vody bylo nutné zajistit jiným způsobem. [3]

Upravovaná voda proniká přes vločkový mrak. Dochází k separaci vloček, které vznikly při koagulaci a jejich zachycení ve vločkovém mraku. Po hydraulické stránce je vločkový mrak vznášena vrstva vloček různých tvarů a velikosti, které vznikly chemickým srážením. Vznášení vločkového mraku probíhá v mírně turbulentní oblasti proudění. Vločky nečistot se při turbulentních výkyvech přibližují k vločkám, které jsou obsaženy ve vločkovém mraku. Díky tomuto kontaktu se vločky vzájemně shlukují a zvětšují se. Do přelivných žlabů odtéká voda, která je zbavena většiny vloček. Vlivem nabalování vloček vločkový mrak houstne a stárne. Tyto vlastnosti nemohou probíhat navždy, je potřeba staré a přebytečné vločky, nebo komplexy vloček z mraků odstraňovat. Velká hustota mraků by neumožnila průnik upravené vody přes mrak, stáří vloček by pak zapříčinilo jejich nevhodnou kvalitativně-zdravotní kondici. Vločky totiž obsahují organické látky, které by se mohly v průběhu stárnutí zahnit a to může mít dopad na kvalitu upravované vody. [2] [3]

Výška vznášeného vločkového mraku bývá 1,5 až 4 m. Nejběžnější výška vločkového mraku bývá 2 m. Hladina vločkového mraku se udržuje v konstantní výšce za pomoci přelivné hrany, přes kterou přepadá kal do zahušťovacího prostoru. Měrná hmotnost vloček se liší

v závislosti na druhu použitého koagulantu nebo dle kvality vody. Je však malá, a to v rozmezí 1,001 až 1,010 kg.m<sup>-3</sup>. Vločky vytvořené železitým koagulantem mají větší měrnou hmotnost oproti vločkám z hlinitého koagulantu. Ztrátová výška při průtoku vznášenou vrstvou je nepatrná v mm v. sl. [2] [3]

Vrstva vloček je udržována ve vznosu hydraulicky nebo mechanicky. K hydraulickému vznášení dochází vlivem odporu vznášených vloček vůči vodě, která protéká svisle vzhůru. Tomuto jevu se říká dokonalé vznášení. [2] [3]

Dalším jevem je rušená sedimentace, ke které dochází při poklesu rychlosti vody pod hodnotu 0,6 mm.s<sup>-1</sup> a následné sedimentaci vznášeného vločkového mraku na dno čířiče. Při rušené sedimentaci se vločky u dna koncentrují a zahušťují. Po určitém čase si protékající voda v této vrstvě vytvoří kanálky. Toto je naprosto nevyhovující a účinnost čířiče klesá. [2] [3]

Usazování vrstvy se udržuje mechanicky vložením pohybové energie například pádel, shrabováku či kyvadla. [3]

Režim proudění uvnitř vločkového mraku charakterizuje Reynoldsovo číslo pro obtékání částice [2]:

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (3.5)$$

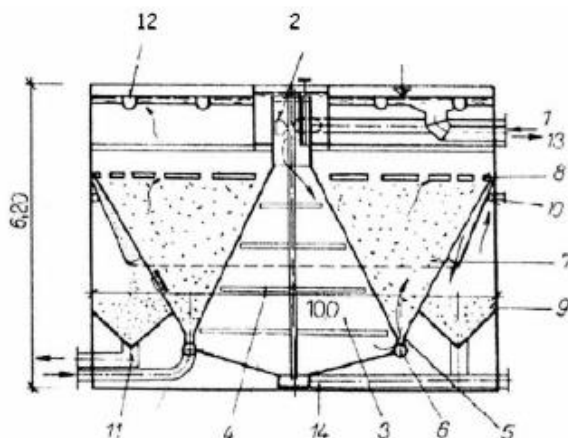
kde  $u \dots$  povrchová rychlost [m.s<sup>-1</sup>],  
 $d \dots$  rozměr vločky [m],  
 $\nu \dots$  kinematická viskozita [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>].

Základní rozdělení čířičů [3]:

- čířiče s hydraulickým vznosem vločkového mraku,
- čířiče s mechanickým vznosem vločkového mraku,
- čířiče s cirkulací kalu,
- čířiče s periodicky se měnícím průtokem.

### ***Čířiče s hydraulickým vznosem vločkového mraku***

Tento typ čířičů disponuje velkou škálou typů, tvarů, velikostí či konstrukčním provedením. Svislým vtokem paprsku vody do suspenze v čířícím prostoru se docílí vznášení. Vtok je uspořádán šterbinou, tryskami nebo děrovaným potrubím. Aby nedocházelo k usazování kalu na stěnách, volíme sklon stěn čířícího prostoru 60°. Čířiče se staví do výšky 10 m. [2]



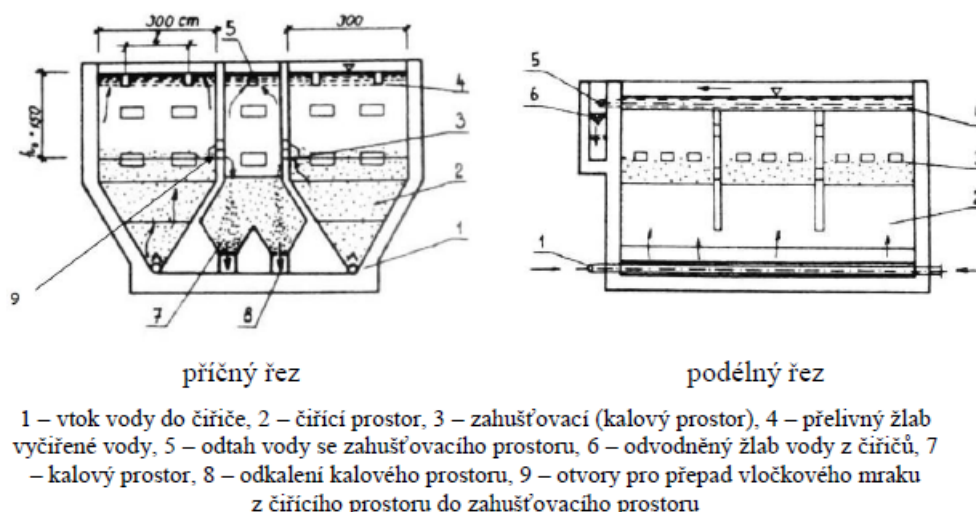
1 – vtok, 2 – lopatka pohonu míchadla, 3 – vločkovací prostor, 4 – pádlo, 5 – štěrbinina, 6 – proplachovací potrubí, 7 – čiřicí prostor, 8 – přeliv kalu, 9 – zahušťovací prostor, 10 – nucený odtah, 11 – odkalovací žlab, 12 – žlab, 13 – výtok, 14 – vyprazdňování

**Obr. 3.5 Čiřič se vtokem štěrbinou [3]**

Na obrázku 3.3 je znázorněn řez čiřičem vyvinutý Ústavem pro hydrodynamiku ČSAV o výkonu  $100 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tento čiřič má kruhový půdorys, je vyroben z oceli. Můžeme ho spatřit v úpravně vody v Brně Pisárkách, kde však čiřiče již nejsou v provozu. [2] [3]

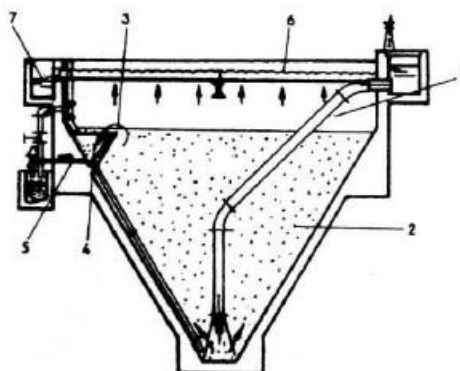
Čiřiče mají většinou vestavbu pro rychlé i pomalé míchání. V prostoru 2 je pomocí lopatkových míchadel provádělo rychlé míchání. Pomalé míchání s pádlovými míchadly se nachází v prostoru 3. [2]

Mezi další typy patří galeriový čiřič, jenž byl vyvinut v bývalém SSSR. Čiřič má pravoúhlý půdorys. Z důvodu klesajícího průtoku po délce potrubí a rostoucích ztrát tlaku třením se navrhuje oboustranný přítok do děrovaného potrubí a nad ním usměrňovací zařízení. V galeriových čiřičích bývá pouze čiřicí a zahušťovací prostor, vločkování se obvykle provádí v předřazených nádržích. Galeriové čiřiče se staví ze železobetonu do délky až 12 m a šířky v hladině vločkového mraku 3 m. [2] [5]



Obr. 3.6 Galeriový čířič [3]

Dále k čířičům s hydraulickým vznosem vločkového mraku patří také čířič firmy Candy z Velké Británie. Půdorys čířiče může být kruhový či čtvercový o délce strany do 7 m a tvaru nálevky – viz obr. 3.6. Čířiče Candy vyžadují časté odkalování, neboť nemají vločkovací prostor a zahušťovací prostor je malý. [2] [3]



Obr. 3.7 Čířič Candy [2]

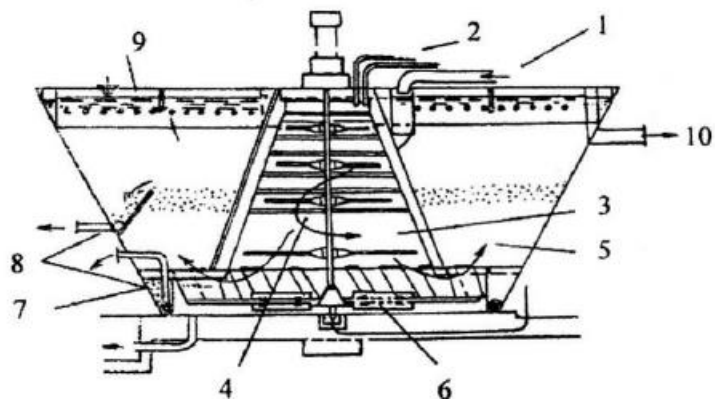
### Čířiče s mechanickým vznosem vločkového mraku

U čířičů s mechanickým vznosem se vznášení vrstvy docílí díky pomalému pohybu deskového pádla nade dnem. Za pádlem se tvoří vír, jenž po určitou dobu udržuje suspenzi ve vznosu. Vír disipuje<sup>1</sup> vlivem viskozity. Povrchové zatížení může být menší, než je rychlost usazovací vrstvy, která je  $0,6 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . U těchto čířičů bývá průtok menší než u čířičů s hydraulickým vznosem vločkového mraku. Nádrže se dimenzují do průměrů 40 m. Deskové pádlo se pohybuje obvodovou rychlostí asi  $2 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . [4]

Obrázek 3.6 znázorňuje jeden z prvních typů čířičů Precipitátor, vyroben v USA. Vtok surové vody je potrubím – 1, srážedla se přidávají – 2 do horní části vločkovacího prostoru – 3.

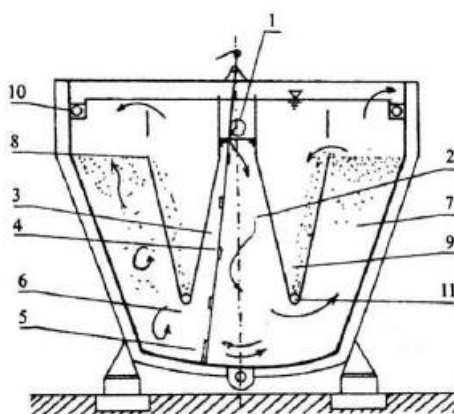
V něm se otáčejí vodorovná pádla – 4. Vločkovací prostor je spojen širokou mezerou s čiřícím prostorem – 5. Do mezery zasahují šikmé desky – 7 pádel upevněných na spodním rameni – 6. Upravená voda přepadá bočními otvory do sběrných žlabů – 9. Kal se zahušťuje v bočních prostorech – 8 a vypouští se periodicky. [4]

Čiřič tohoto typu můžeme najít v úpravně vody v Praze Podolí, výkon zařízení je  $300 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . [4]



Obr. 3.8 Čiřič Precipitátor [2]

Na obr. 3.7 je znázorněno uspořádání čiřiče s pravoúhlým půdorysem, které jsou výhodnější hlavně kvůli obestavěnému prostoru. Míchání se provádí pomocí kyvadlového pohybu pádla. Voda se srážedly se přivádí do rovnovážného žlabu – 1, protéká štěrbinami ve dně do vločkovacího prostoru – 2, ve kterém se pohybuje na dolním rameni vahadla – 3 soustava vodorovných pádel – 4. Spodní pádlo – 5 je širší a zasahuje do mezery – 6 mezi vločkovacím a čiřícím prostorem – 7. Hladina mraku se udržuje na přelivové hraně – 8 zahušťovacího prostoru – 9. Upravená voda odtéká žlabem – 10 a zahuštěný kal je vypouštěn periodicky potrubím – 11. [3]

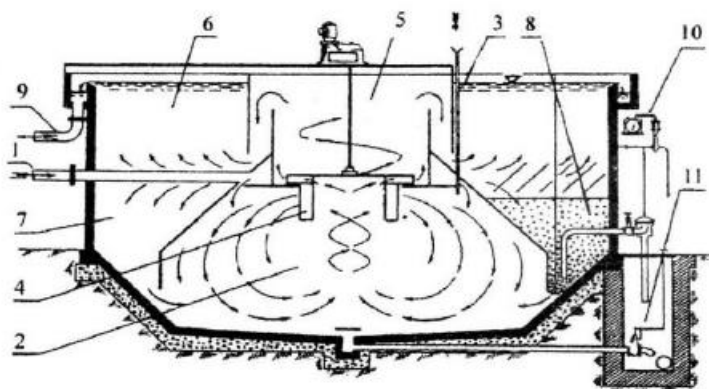


Obr. 3.9 Čiřič s kyvadlovým pádlem [2]

## Čiřice s cirkulací kalu

Za provozu čičičů, které změkčují vodu se odhalilo, že na tvorbu vloček pozitivně působí přítomnost recirkulovaných částic. Tohle zjištění vedlo k využití při konstrukci některých druhů čičičů. Recirkulace se výrazně neprojevuje při úpravě vody za účelem odstranění zákalu. [2]

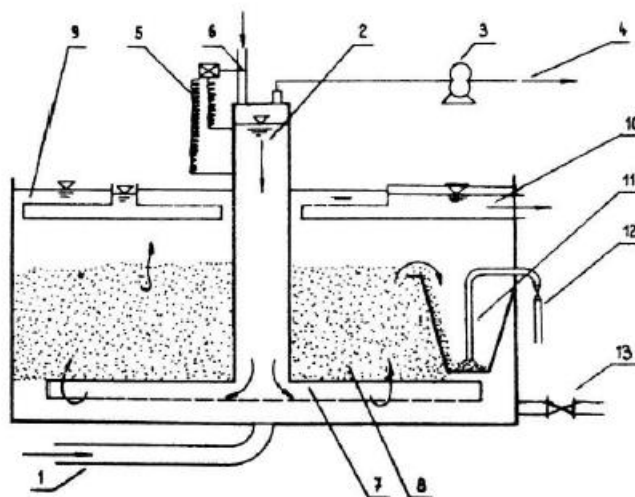
Accelátor je nejrozšířenějším čičičem s kruhovým půdorysem, byl vyvinut americkou firmou Infilco (obr. 3.10.) Potrubím je přiváděna surová voda – 1 do vrcholu primárního vločkového prostoru – 2, kde se přivádí srážedla – 3. Míchání je mechanické pomaloobrátkovým míchadlem – 4, které přečerpává suspenzi do sekundárního vločkovacího prostoru – 5. V čičičím prostoru – 7 se oddělují vločky od upravované vody – 6, ta přepadá do sběrného žlabu a odtéká z čičiče potrubím – 9. Mezerou v dolní části čičiče proudí suspenze do primárního vločkovacího prostoru. Určitá skupina vloček přepadá do zahušťovacího prostoru – 8. Odkalování se řídí pomocí spínacích hodin – 10, periodicky. Ve dně potrubí se nachází uzávěr – 11, jímž se provádí úplné vyprázdnění. [2]



Obr. 3.10 Čičič Accelátor [3]

## Čičiče s periodicky se měnícím průtokem

Periodicky se opakujícího průtoku ve vtoku lze využít pro udržování vrstvy vloček ve vnosu. Na téhle myšlence byl ve Francii vytvořen čičič Pulsátor firmy Degremont. Čičič může mít kruhový či pravoúhlý půdorys, staví se v délkách stran do 50 m. Schéma čičiče je vyobrazeno na obrázku 3.9. [2] [5]



Obr. 3.11 Čiřič Pulsátor [3]

Na obrázku je zobrazen: 1 – přítok surové vody, 2 – sací zvon, 3 – vývěva, 4 – výfuk vzduchu, 5 – spínací elektrody, 6 – uzávěr pro spojení s atmosférou, 7 – rozdělovací potrubí a štěrbin, 8 – čišťovací prostor, 9 – přepadový žlab upravené vody, 10 – sběrný žlab vody upravené, 11 – zahušťovací jímka, 12 – odkalovací potrubí s uzávěrem, 13 – uzávěr k vyprazdňování čišťovacího. [3]

Vývěva pracuje neustále. Spínací elektrody jsou situovány v různých výškách. Při dosažení úrovně hladiny, která je nastavena na elektrodě, se otevře uzávěr k atmosféře a hladiny v čišťovací a ve zvonu se vyrovnají. Výhodou tohoto uspořádání je, že při provozu se štěrbin narázovým průtokem proplachují. Nevýhodou však je náročné provedení automatiky přerušování a dále vysoká spotřeba energie ve vývěvě. [3] [5]

### 3.1.3 Flotace

Princip flotace byl prvotně využíván mimo oblast vodárenství, k úpravě a zpracování kovových rud. Využíval se již od šedesátých let 19. století a pro tento účel jej využíváme dodnes. V šedesátých letech 20. století se flotace začala využívat v oblasti úpravy pitné vody, a to nejprve na úpravárnách vod v Kanadě, USA a Velké Británii. První flotace na našem území byla realizována až o několik let později, přesněji koncem roku 2005, kdy byla do provozu uvedena první vodárenská flotace na ÚV Mostiště. [3] [7]

Flotace se využívá zejména při úpravě vody povrchové s nižším stupněm znečištění. Dále je vhodná pro odstraňování řas a sinic s eutrofizované vody, rovněž pro úpravu povrchové vody s vysokým podílem organických látek nebo látek huminových. Při úpravě užitkové a pitné vody je flotace zařazena jako první separační stupeň, není však pouze jediným stupněm. [3][8]

Účinnost flotace závisí na specifické hmotnosti, čím je větší rozdíl mezi specifickou hmotností flotace vzniklých agregátů a vody, tím je účinnost vyšší. Když srovnáme účinnost

flotace a sedimentace, v porovnání těchto dvou procesů z toho vychází násobně lépe flotace, a to případně až o řád. Nejrozšířenějším způsobem flotace je flotace s rozpuštěným vzduchem. [3] [9]

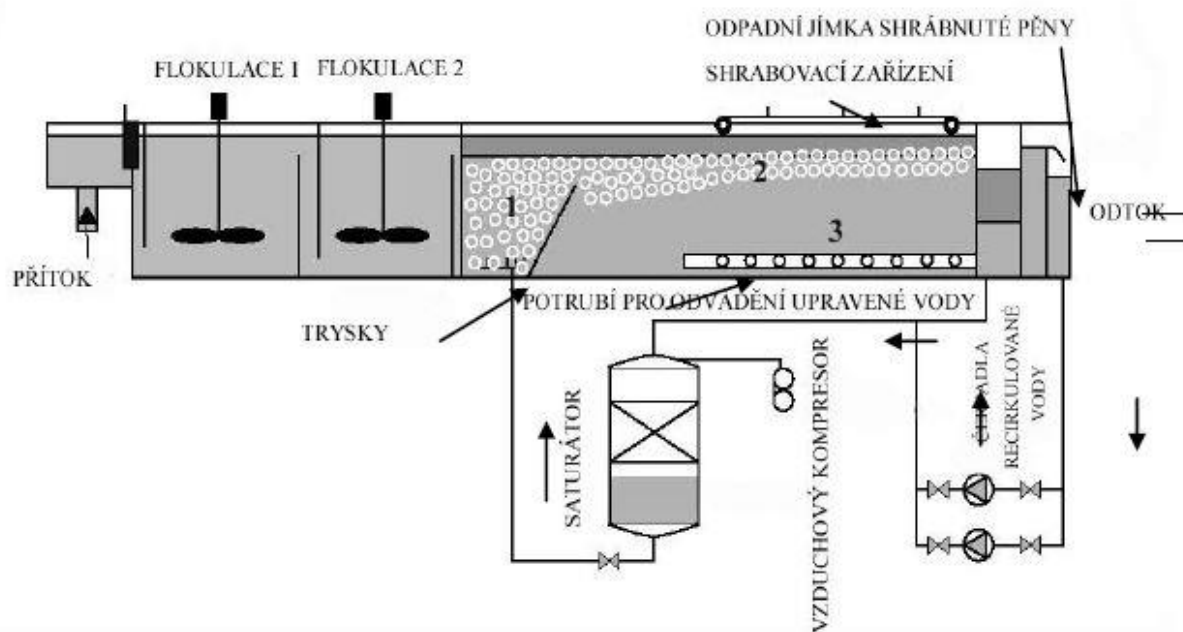
Nevýhodou flotace je vysoká energetická náročnost a zvýšené nároky na servis zařízení. Mezi výhody se řadí především vysoká účinnost odstranění  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , zákalu, barvy nebo vysoká účinnost odstranění biologických látek a v neposlední řadě také vysoká sušina kalu. Flotace je vhodná při rekonstrukci úpraven vody, neboť nemá tak vysoké nároky na plochu. [3] [8]

### ***Princip flotace***

Jde o technologický proces, jehož podstatou je separace tuhých nebo kapalných částic z kapalně fáze, jenž se provádí zavedením jemných vzduchových bublin do kapalně fáze. Dochází ke spojení částic s mikrobublinkami vzduchu, v důsledku tohoto spojení mají nižší specifickou hmotnost než voda. Vztlaková síla způsobí, že vzniklé agregáty stoupají k hladině kapaliny. Částice jsou z hladiny kapaliny odstraněny sběrným zařízením jako v případě sběrného kalu. [3] [8]

Flotace probíhá ve flotační nádrži, která se skládá z několika zón. V první reakční (kontaktní) zóně dochází ke kontaktu přitékající upravované vody a vhaněného stlačeného vzduchu. V této zóně dochází ke vzniku agregátů spojením vloček nebo suspendovaných látek s mikrobublinkami vzduchu, které jsou unášeny směrem k hladině vody (zóna bílé vody). Na hladině vody je zóna vyflotované pěny, které se odstraňuje pomocí shrabováku do odpadní jímky, přes kterou odtéká do kalového hospodářství. Jímku do odpadového hospodářství je nutné pravidelně proplachovat. [3] [8]

Pod zónou vyflotované pěny nalezneme zónu vyflotované vody, vody k odseparování nečistot. U dna je nainstalován rošt, díky kterému je voda odebírána a přes odtokovou jímku se odvádí na filtraci, která tvoří druhý separační stupeň. Do saturátoru se část vyflotované vody čerpá a odebírá vedlejším okruhem. V saturátoru se vyrábí směs vody a vzduchu (bílá voda). Tento přístroj je nedílnou součástí flotace a tvoří vedlejší tlakový okruh. Do saturátoru je kompresorem přiváděn stlačený vzduch. Z celkového objemu vody se ve vedlejším okruhu spotřebuje 6-12 %. [3]



1 – Reakční zóna (zóna bílé vody), 2 – Zóna vyflovované pěny, 3 – Zóna vody po separaci flotaci

Obr. 3.12 Schéma klasického uspořádání zařízení flotace [7]

Tab. 3.1 Návrhové parametry flotace [3]

Návrhový parametr	rozměr	hodnota parametru
povrchové zatížení	m/h	10 – 20
doba zdržení v kontaktní zóně	s	60 – 240
doba zdržení v separační zóně	min.	5 – 15
hloubka	m	1,5 – 3,2
pracovní tlak v saturátoru	kPa	400 – 620
recirkulační poměr	%	6 – 15
velikost mikrobublin	μm	10 – 100
koncentrace mikrobublin	bublin/ml	1,0 – 2,0 · 10 <sup>5</sup>
účinnost saturátoru s náplní	%	90
sušina kalu	%	0,5 – 6,0

## ***Využití v České republice***

První úprava vody s flotační jednotkou v České republice byla zavedena na úpravně vody Mostišť v kraji Vysočina, jak již bylo uvedeno výše. Správce povodí je Povodí Moravy, s. p. Brno. Mostišť zásobuje pitnou vodou asi 85 000 obyvatel z oblasti Velké Meziříčí, Velká Bíteš, Olší nad Oslavou a Měřín a dále přivaděče do Žďáru nad Sázavou a Třebíče. Po rekonstrukci bylo vyhodnoceno zlepšení jakosti vody a zlepšení dopadu na životní prostředí. [8]

V roce 2009 byla dokončena rekonstrukce úpravní vody Souš, kde také zavedli flotaci rozpuštěným vzduchem. Úprava vody je hlavním zdrojem pro Jablonecký kraj. Při této rekonstrukci se přišlo s myšlenkou využití flotace pro zahuštění vodárenských kalů. Důvodem bylo obrovské množství odpadních vod z praní filtrů, což vedlo k nedostatečné kapacitě kalových lagun. [10]

Dalším projektem byla rekonstrukce úpravní vody v Bedřichově, jejímž provozovatelem jsou Severočeské vodovody a kanalizace. Důvodem rekonstrukce bylo zhoršení kvality surové vody díky zvýšenému výskytu mikroorganismů ve vodě, které původní linka nedokázala dostatečně odseparovat. K rekonstrukci došlo v roce 2014, na jejím začátku byla zahájena rekonstrukce filtrace a vestavby prvního separačního stupně, flotační jednotky. Úprava je nyní v provozu a pracuje v pořádku. [10] [12]

Úprava vody Meziboří je významnou úpravnou, která zásobuje pitnou vodou obce Meziboří, Duchcov, Bílina, Teplice a přilehlé obce. Zčásti dodává vodu také městům Most, Litvínov a Ústí nad Labem. Na jednostupňové úpravně vody se stále častěji vyskytovaly potíže s kvalitou surové vody. A to především nárůst  $CHSK_{Mn}$ , výskyt huminových látek a mikroorganismů. V zimních měsících pak byla potíž s nízkou teplotou vody a občasným výskytem Mn. Rekonstrukce probíhala v letech 2014-2016. Přínosná byla zejména implementace flotace v prvním separačním stupni. Po rekonstrukci funguje linka spolehlivě i při zhoršené kvalitě surové vody. [10] [11]

## **3.2 DRUHÝ SEPARAČNÍ STUPEŇ**

Jako druhý separační stupeň při úpravě povrchové vody se používá především rychlofiltrace. Rychlá filtrace je jednou z nejpoužívanějších technologií ve vodárenství. Technologie se vyvinula z pomalé filtrace. Je to proces, při kterém dochází k separaci suspendovaných částic z vody průtokem přes hlubokou vrstvu písku. [13]

První rychlofiltry byly v provozu v roce 1885 v Somerville ve státě New Jersey (USA), v Evropě k tomu došlo přesně o deset let později v roce 1895 ve Švýcarsku pro úpravnu vody ve městě Curych. Uspořádání průtoků u obou těchto filtrů bylo stejné jako u pomalých filtrů. Voda protékala přes zatopenou vrstvu písku, gravitačně směrem dolů. Většina nynějších konstrukcí je koncipována na stejném principu. [3]

Rychlofiltry se od pomalých filtrů liší především hrubší zrnitostí vrstvy filtračního písku (0,5 až 2 mm), vyšší filtrační rychlostí a také menší potřebnou plochou. Zanášení vrstvy se projevuje zvýšením ztrátové výšky ve filtrační vrstvě během času. Doba provozu rychlofiltru

je závislá především na velikosti zrn, množství a druhu suspendovaných látek ve vodě. Doba provozu je kratší než u pomalé filtrace. Filtrační cyklus rychlofiltru trvá několik dní. [3] [13]

### 3.2.1 Mechanismus rychlé filtrace

Během proudění suspendovaných částí v náplni rychlofiltrů se částice zachycují na zrnech a také v mezerách mezi zrny. Oproti pomalé filtraci částice pronikají do větší hloubky náplně, nejvíce zachycených částic je v horní vrstvě. Zadržování způsobují tyto hlavní druhy sil [2]:

- **Mechanické cezení**, zachytí větší částice, které nemohou proniknout mezi zrny. Tyto zachycené částice vytvoří na povrchu náplně vrstvu. Na rychlofiltr přilétají vločkovité částice, které jsou zpravidla menší než mezery mezi zrny, tudíž se mechanickým cezením odstraní pouze část suspendovaných látek.
- **Usazování**, při laminárním proudění v mezeře jsou značné rozdíly v rychlostech unášecí vody v ose a na okraji kanálku. Proto je účinek usazovací rychlosti na povrchu výraznější. Při aplikaci větší rychlosti a hrubozrnější náplně lze předpokládat zachycení vločkovitých částic v rychlofiltru do velikosti 30 $\mu$ m.
- **Absorpce**, probíhá vlivem působení hmotnostních sil (Van der Waalsovy síly), které se prosazují v nepatrných vzdálenostech pod 0,01 $\mu$ m. Částice se do této vzdálenosti dostanou díky působením jiných sil: gravitací, setrvačností, odstředivou silou v proudnicích nebo elektromagnetickými silami. Absorpci je obtížné rozlišit od působení elektrostatických sil.
- **Elektrostatické síly (Coulombovy síly)** jsou zapříčiněny náboji iontů, jenž jsou zachyceny na zrnech a suspendovaných částicích. Křemičitý písek má při neutrálním pH záporný náboj, proto zachycuje kladně nabitě částice. Dobře se v náplni písku zachycují třeba vločky hydroxidů hliníku a železa, protože mají kladný náboj.

### *Filtrační cyklus*

Pro délku filtračního cyklu jsou důležití dva činitelé: kvalita filtrátu a ztrátová výška. Kvalita filtrátu je stanovena požadavkem z vyhlášky pro pitnou vodu. Pro zákal je to 5 ZF. Ztrátová výška bývá u otevřeného rychlofiltru do 2 m v. sl. V případě, že doba provozu při dosažení obou krajních hodnot je totožná, jde o správný provoz rychlofiltru. [2]

Délka filtračního cyklu se přibližně určuje pomocí kalové kapacity, což je hmotnost nečistot, které jsou zachyceny v objemu vrstvy o ploše 1 m<sup>2</sup> po výšce vrstvy. Kalová kapacita je závislá na druhu náplně, rychlosti a druhu suspenze. Hodnota kalové kapacity rychlofiltru bývá 2.10<sup>3</sup> až 4.10<sup>3</sup> g.m<sup>-2</sup>. [3]

Délku filtračního cyklu  $t$  [s] lze určit podle kalové kapacity [3]:

$$t = \frac{K}{c_0 \times v} \quad (3.6)$$

kde  $K$ ... kalová kapacita [g.m<sup>-2</sup>],

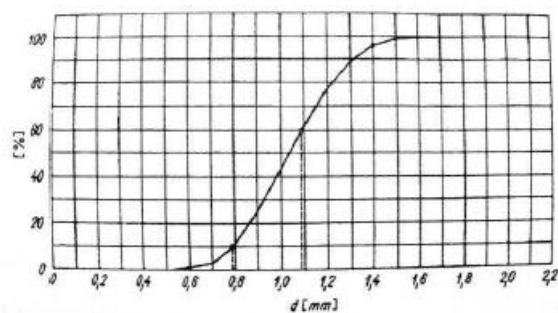
$c_0$ ... hmotnostní koncentrace na přítoku [g.m<sup>-3</sup>],

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

Kalová kapacita se určuje experimentálně odebráním sond z různých vrstev náplně. [2]

### ***Filtrační náplň***

Nejčastější materiály, které se používají pro náplně filtrů jsou křemičitý písek a antracit. Mezerovitost písku bývá v rozmezí  $m = 0,38 - 0,42$ , mezerovitost antracitu  $m = 0,50$ . Materiál využívaný k filtraci musí splňovat určité požadavky, musí být chemicky stálý proti rozpouštění, mechanicky pevný a odolný proti otěru. Na obrázku 3.13 je znázorněna křivka zrnitosti, jež udává složení zrnité směsi filtrační náplně. Křivka vyjadřuje v procentech hmotnosti množství zrn propadlých určitou velikostí oka normalizovaného síta. Z křivky se vyjádří  $d_{10}$  – účinné (efektivní) zrno, které vyjadřuje velikost oka síta, kterým propadne 10% hmotnosti zrn prosévávaného materiálu a koeficient stejnozrnosti – poměr  $d_{60}/d_{10}$ . [3]



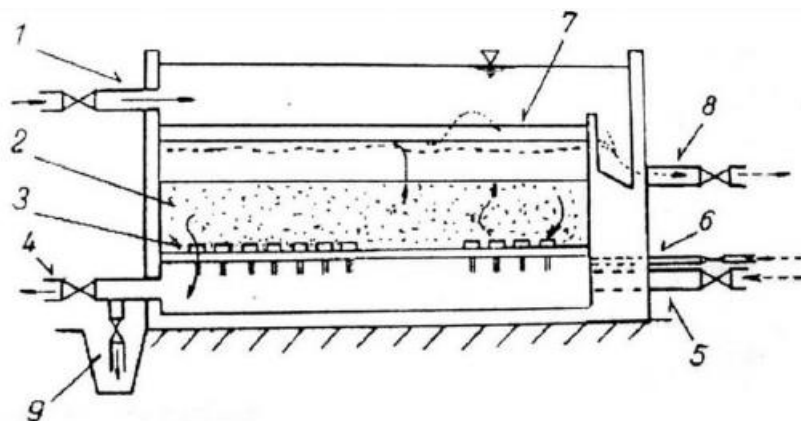
Obr. 3.13 Křivka zrnitosti [3]

### **3.2.2 Druhy rychlofiltrů**

Konstrukci rychlofiltrů lze rozdělit podle směru průtoku, tlakového režimu a způsobu praní.

**Dle směru průtoku** lze dále rychlofiltry rozdělit na: s průtokem shora dolů, zdola nahoru a oboustranným průtokem. [13]

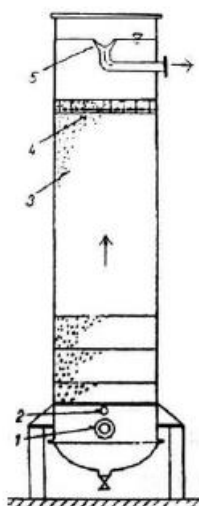
Nejpoužívanějším typem je otevřený rychlofiltr s průtokem shora dolů, který je znázorněn na obrázku 3.14. Suspenze přitéká potrubím – 1 pod hladinou vody, protéká filtrační vrstvou – 2 a poté zcezovacími hlavicemi uloženými na mezidně – 3 do prostoru pod mezidnem. Odtud odtéká potrubím – 4 do akumulární nádrže. Čárkami je znázorněn postup praní. Prací voda se přivádí pod mezidno potrubím – 5, prací vzduch pak potrubím – 6. Prací voda přepadá do žlabu – 7, odtéká do sběrného žlabu a odtud potrubím – 8 do odpadu. Po vyprání (regeneraci) se první filtrát odvádí rovněž potrubím – 9 do odpadu. [2]



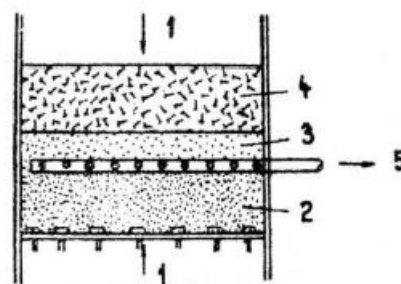
Obr. 3.14 Otevřený rychlofiltr [2]

Kvůli potřebě lepšího využití mezer mezi hrubšími zrny ve spodní části filtrační vrstvy, vznikl filtr s průtokem směrem zdola vzhůru obr. 3.15. Upravovaná voda se přivádí potrubím – 1 pod mezidno. Potrubím – 2 se provádí odzdušnění prostoru. Mezidno je vyplněno vrstvou štěrku a písku – 3. Nad úroveň písku je umístěna mříž – 4, jež zabraňuje vznesení horní vrstvy. Odtok přefiltrované vody je řešen potrubím – 5. [2]

Při porovnání s filtry s průtokem shora dolů, je objem mezer využitelný pro akumulaci kalu větší. Při kolmataci horní vrstvy, která je složena z menších zrn, hrozí nebezpečí, že kvůli zvýšené rychlosti dojde ke vznosu zrn, důsledkem může být průnik kalu. [3]



Obr. 3.15 Filtr protékáný obráceně [2]



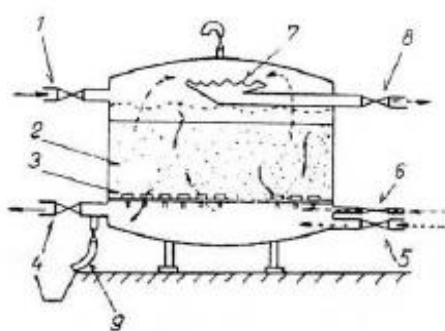
Obr. 3.16 Filtr s oboustranným průtokem [2]

Nebezpečí vznosu horní vrstvy filtračního média při průtoku směrem zdola vzhůru lze odstranit umístěním odběru ve filtrační vrstvě obr. 3.16. Průtok je obousměrný, spodní – 1 do vrstvy pískových zrn – 2 a horní do vrstvy antracitu – 4. V pískové vrstvě, která je vyšší, je

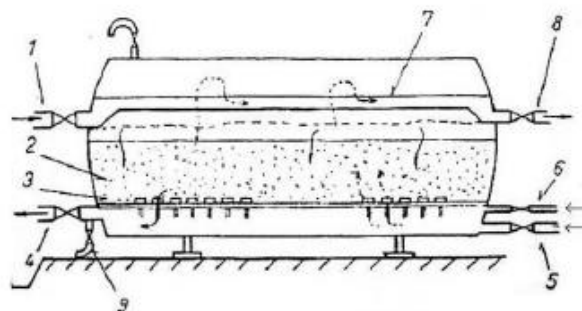
uloženo děrované potrubí – 3 pro odtok upravené vody – 5. Filtrační médium je dvouvrstvé, antracitová zrna mají menší měrnou hmotnost a zároveň jsou větší než zrn písku. [2]

**Podle tlakového režimu** rozdělujeme filtry na otevřené a uzavřené neboli tlakové. U otevřených rychlofiltrů je k dispozici pro překonání odporu filtračního prostředí výška vodního sloupce mezi hladinou nad povrchem filtrační náplně a na výtoku za filtrem. Rozdíl vodního sloupce slouží k překonání odporu vrstvy, drenážní soustavy, odporu regulačního uzávěru a ztrát při proudění. Největší ztrátová výška ve vrstvě bývá 2 m. Otevřené filtry se nyní používají k odstranění suspenzí z vody jak při jednostupňové, tak při dvoustupňové úpravě, neboť jsou provozně zcela spolehlivé. [1] [15]

Tlakové filtry se z ekonomických důvodů budují v průmyslových úpravnách vody. Filtry jsou vodotěsné a jedná se o válcovou nádobu, osa může být umístěna ve svislé (obr. 3.17) nebo vodorovné (obr. 3.18) poloze. Filtraci je možno provozovat s vyšším vstupním tlakem než u otevřených filtrů. Ztrátová výška v uzavřených filtrech bývá do 5 m v.sl, rychlost filtrace až  $40 \text{ m.h}^{-1}$ . Uzavřené filtry využíváme zejména při úpravě podzemní vody a v menších úpravnách povrchových vod. [13]



Obr. 3.18 Stojatý tlakový filtr [3]



Obr. 3.17 Ležatý tlakový filtr [3]

**Podle způsobu praní** se používají ke zvětšení účinku praní vodou tři způsoby rozrušení filtrační vrstvy. [2]:

- Mechanickými pádly po celé výšce vrstvy, způsob požaduje kruhový půdorys a složitý převodový mechanismus. Dnes se již nepoužívá.
- Vháněním bublin vzduchu vespod vrstvy, využívá se u otevřeného evropského rychlofiltru. Praní probíhá ve třech fázích:
  1. fáze – praní vzduchem o intenzitě  $14 \text{ až } 18 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  po dobu 3 až 5 minut,
  2. fáze – praní vzduchem o stejné intenzitě a vodou o průtoku  $4 \text{ až } 5 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  po dobu 3 až 6 minut,
  3. fáze – praní vodou o průtoku  $6 \text{ až } 8 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  po dobu 5 až 10 minut.
- Paprsky vody vytékající do horní části vznesené vrstvy, využívá se u otevřeného amerického rychlofiltru. Praní filtru probíhá zdola i shora, pro horní praní se používají trysky, které jsou umístěny na Segnerově kole.

### 3.2.3 Regenerace rychlofiltrů

Zahájit regeneraci filtru je nutné při [3]:

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

Hlavním rozdílem mezi americkými a evropskými filtry je způsob regenerace. U amerických filtrů je praní filtrů hodní a dolní vodou, a není použito praní vzduchem, neboť mají jemnější náplň. Drenážní systém slouží i ke sběru přefiltrované vody. Evropské rychlofiltry mají hrubší náplň, nevyužívá se horní způsob praní, spodní praní je buď jen vodou nebo kombinací vody a vzduchu ve třech fázích. [3][13]

#### *Regenerace amerického filtru*

Americký filtr má jemnější pískovou náplň (0,5 – 1,0 mm). Prací cykly [3]:

1. cyklus praní je horní, kdy se vodními paprsky rozruší horní vrstva náplně. Doba praní je 2 – 4 minuty. Voda se nad hladinou rozstříkuje pomocí trysek na hydraulicky poháněném Segnerově kole, které je umístěno nad hladinou ve filtru,
2. cyklus praní je spodní a horní, voda je do drenážního systému vháněna spodem a dochází k expanzi pískové náplně, horní praní dále pokračuje do expandované náplně. Doba praní trvá 2 – 3 minuty,
3. cyklus, nyní probíhá pouze spodní praní, filtr se tzv. dopírá po dobu 1 – 3 minut.

#### *Regenerace evropského filtru*

Evropský filtr má hrubší filtrační náplň (1 – 2 mm). Klasické praní má tři cykly [3]:

1. cyklus praní vzduchem. Vzduch pod tlakem se vhání vzduchovým roštem umístěným pod filtrační náplní. Dochází k mechanickému otěru zrn písku. Doba praní je 3 – 5 minut s intenzitou  $17 - 22 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ,
2. cyklus je praní vzduchem a zároveň vodou. Intenzita vzduchu je  $10 - 15 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$  a přidává se tlaková voda, která je vháněna vodním roštem umístěným pod filtrační náplní. Dochází k expanzi filtrační náplně. Intenzita prací vody je přibližně  $4 - 5 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Doba praní je 5 – 10 minut, poté prací voda odtéká do odpadu prací vody,
3. cyklus praní je již pouze vodou, nazývá se dopírání. Uzavře se přívod vzduchu a zvýší se intenzita prací vody na  $6 - 8 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Doba praní je 10 – 20 minut. Expanze písku je 10 – 20 %.

Popsané doby praní jsou teoretické, neboť závisí na množství kalu, který je zachycen ve filtrech a také jeho struktuře. Doba praní je proto vhodné nejprve poloprovodně odzkoušet. Účinnost praní musí být 80 – 90 %. Doba praní ovlivňuje ekonomiku provozu, zejména spotřebu prací vody. [3]

Když skončí praní, je třeba provést zafiltrování, které trvá po dobu 3 – 5 minut. Filtrovaná voda je pouštěna do odpadu. Zafiltrování se provádí, neboť v prvních minutách filtrace není filtrační náplň dostatečně usedlá, a tudíž v ní zůstávají nečistoty, proto filtrovaná voda nespĺňuje požadavky na kvalitu filtrované vody. [3]

### 3.2.4 Konstrukční uspořádání filtrů

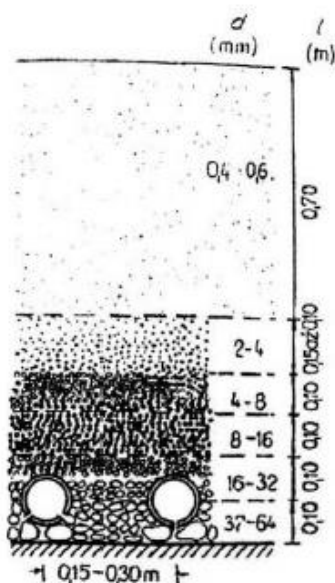
Rozhodující součásti filtru jsou [3]:

- vlastní nádrž filtru a její konstrukce,
- drenážní systém filtru,
- žlaby, či trouby pro přívod surové vody a odvod odpadní prací vody,
- trubní rozvody a armatury vně filtru,
- zařízení pro měření a regulaci.

Větší nádrže se staví především ze ŽB, žlaby a mezidna jsou prefabrikované. U menších nádrží volíme kovový materiál nebo plast. [2]

#### *Drenážní systém na dně filtru*

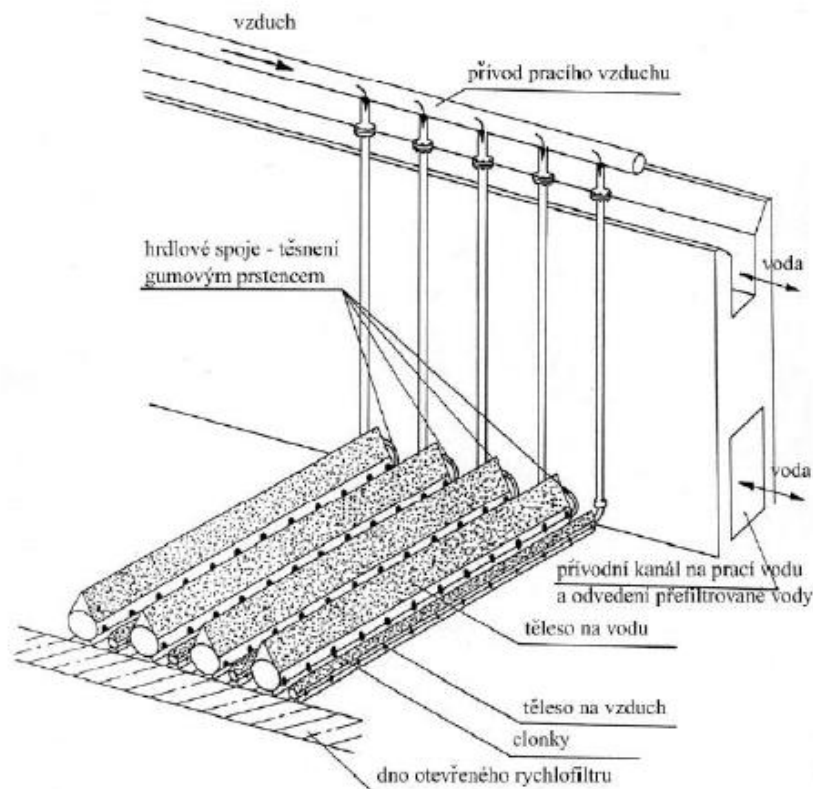
Princip klasického způsobu drenážního systému je shodný s drenážním systémem u pomalých filtrů. Systém se nevyužívá u středních a větších filtrů a je znázorněn na obr. 3.19. Trubní drenáž je součástí amerického rychlofiltru, je složena z příváděcího potrubí a z drenážních potrubí s otvory. Jako materiál drenážního potrubí se využívá litina, keramické materiály a plasty, příváděcí potrubí bývá litinové, ocelové, plastové nebo ŽB. [3]



Obr. 3.19 Klasický drenážní systém [2]

Drenážní systém na dně filtru je také nazýván jako systém bez mezidna. Sestava se skládá z plastových trub s filtračními hlavicemi, které jsou nasazeny na perforované trouby.

Hlavicemi se filtrovaná voda zcezuje. Při obráceném směru průtoku vody se do roštu přivádí prací voda, jež proniká do filtračního lože zcezovacími hlavicemi. Ve dně filtru je dále osazen vzduchový rošt, jímž se do dna filtru přivádí prací vzduch. V ČR jsou využívány dva systémy roštů, český systém Aquafilter a americký firmy Leopold (obr. 3.20). [3]

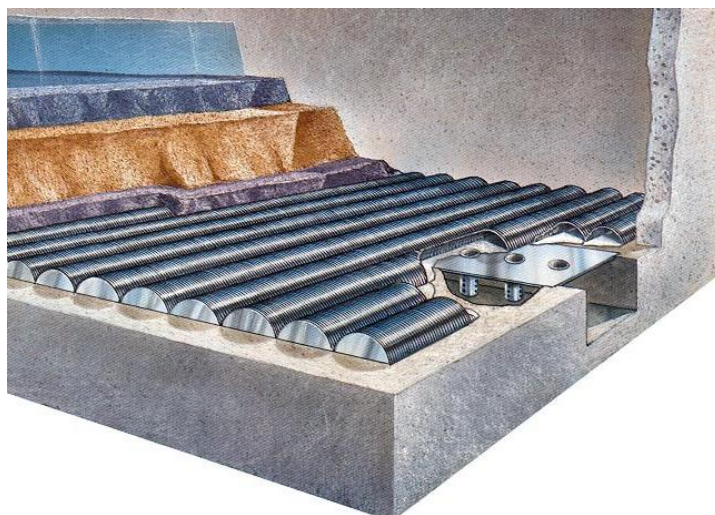


Obr. 3.20 Rychlofiltr bez mezidna [3]

V současné době přichází v úvahu i drenážní systém **Triton**, který je patentován francouzskou společností Screens. Vnitřní povrch drenáže je vyrobený z U-profilu. Vnější povrch s navinutými dráty, které zamezují ucpávání štěrbin mezi dráty a mechanickými nečistotami má parabolický tvar. Vnější povrch se může velmi snadno očistit zpětným tokem filtrátu. [16]

Materiál kromě těsnících podložek je vyroben z nerez oceli a tímto je zaručena lepší odolnost proti korozi, mechanická pevnost a delší životnost filtračního systému. Systém odolává větším tlakům vody a vzduchu, tudíž je možné použít menší rozměr filtračních segmentů a snížit tak stavební náklady. Během filtrační i prací fáze je zabezpečena rovnoměrná distribuce toku kapaliny a vzduchu. [16]

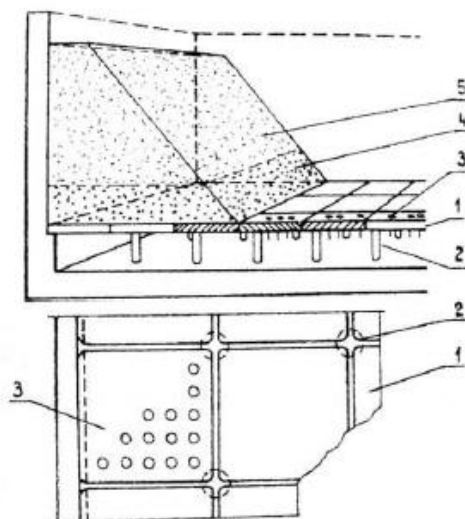
Drenážní systém Triton byl poprvé v České republice použit v roce 2010 při rekonstrukci úpravy vody Štítná nad Vláří na dvou filtrech. V roce 2012 pak byla zahájena další rekonstrukce úpravy vody Kroměříž, kde při inovaci filtrů byl použit systém Triton. [17] [18]



Obr. 3.21 Filtr s drenážním systémem Triton [16]

### *Drenážní systém v mezidně filtru*

Drenážní systém v mezidně je tvořen filtračními hlavicemi, které jsou uspořádány na mezidnu. Tento systém se používá u otevřených evropských rychlofiltrů. Mezidno je umístěno obvykle 80 cm nade dnem filtru a je složeno z ŽB desek, které jsou uloženy na průvlacích, šroubech, jež jsou kotveny do dna filtru. V ŽB deskách jsou otvory pro filtrační hlavice. Počet hlavic závisí na hloubce filtrační a štěrkové vrstvy. Jestliže je na mezidnu pouze vrstva písku, je nutný větší počet hlavic, 60 – 80 na 1 m<sup>2</sup>. [2]

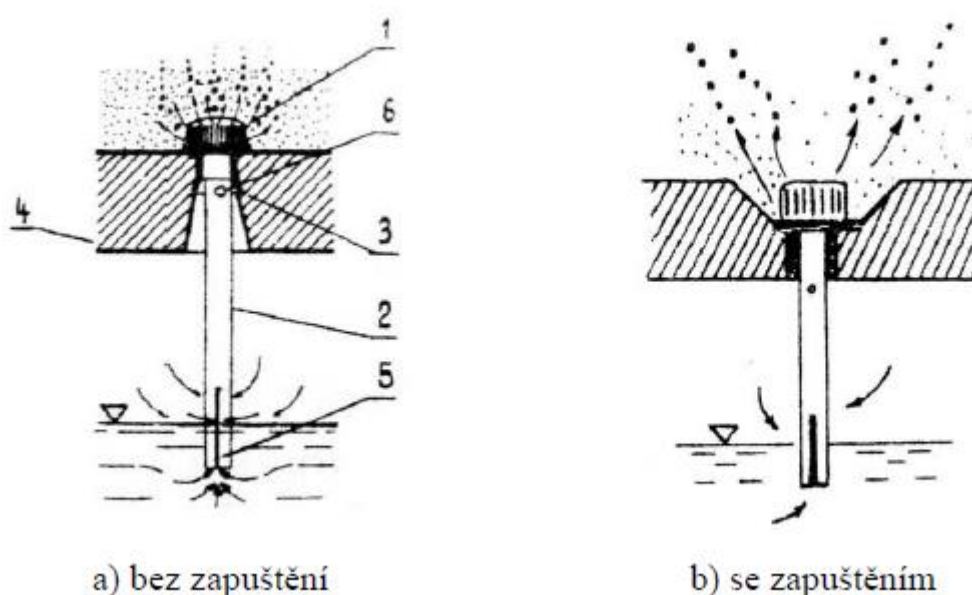


1 – filtrační desky z ŽB, 2 – ŽB nosné trámy filtračních desek, 3 – filtrační hlavice, 4 – hrubší frakce písku, 5 – jemnější frakce písku

Obr. 3.22 Filtr s mezidnem se zapuštěnými hlavicemi [2]

Filtrační hlavice (obr. 3.23) se vyrábějí z umělých hmot. Sestávají se z vlastní hlavice – 1 opatřené svislými nebo vodorovnými štěrbinami širokými několik desetin mm, dlouhými asi 1 až 3 cm. Šířka štěrbin se musí navrhnout tak, aby zrna filtrační náplně nemohla propadnout. Mezi další části patří prodlužovací nástavec – 2 a objímka – 3, která je uložena v otvoru desky mezidna – 4. Je vyrobena z polystyrenu. Dolní konec nástavce je opatřen podélnou štěrbinou – 5, jež udržuje výšku sloupce vzduchu pod mezidnem. Pod závitem objímky je v nástavci otvor – 6 o průměru asi 1 mm, jímž uniká po praní vzduch a celý prostor pod mezidnem se zaplní vodou. [2]

Další způsob je ukládání hlavice do mezidna s prohlubněmi, díky čemuž se zmenší nebezpečí mechanického poškození hlavice nebo zlomení nástavce. Tyto hlavice využívají zejména zahraniční firmy. [2]



Obr. 3.23 Filtrační hlavice [2]

### 3.3 MOŽNOSTI TŘETÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

#### 3.3.1 Pomalá biologická filtrace

Pomalá neboli anglická filtrace patří k nejstarším typům filtrace, filtry byly projektovány již v roce 1829 v Anglii. V České republice byly první filtry vybudovány v Brně v roce 1892. V dnešní době se jedná již o historickou technologii, avšak i dnes se využívá z důvodu pomalé filtrační rychlosti pro malé zdroje vody, jenž splňují podmínky pro pomalou biologickou filtraci tzn. dostatečné množství kyslíku a nízký zákal. [3] [13]

Úprava vody pomalou biologickou filtrací je analogií čistících procesů povrchových vod v přírodě, což je největší výhoda těchto filtrů. V náplni filtru probíhají čistící procesy biologické, fyzikální a chemické. Proces biologického odbourávání nečistot probíhá

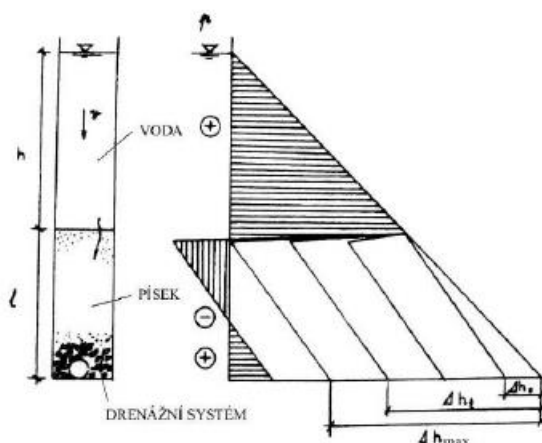
v technologicky nejúčinnější horní vrstvě písku, kde v hloubce 1 až 2 cm se vytvoří takzvaná biologická blána, ta je oživena aerobními mikroorganismy, převážně řasami. Vrstva s mikrobiálním osídlení dosahuje hloubky až 40 cm, díky tomuto oživení se odstraňují nečistoty biologickou cestou. [2]

Podmínkou pro příznivé působení aerobních organismů při biologické filtraci je přítomnost kyslíku v upravovaných vodách. Pokud je voda podsyčena kyslíkem, je potřeba vodu nejprve provzdušnit např. hydraulickým skokem. Biologickou vrstvou se separuje část organických látek, organických mikrobů a coliformních zárodků, současně se odstraňují také jemnější suspenze, minerální koloidy, makroorganismy a mikroorganismy. [13]

Tento druh filtrace je vhodný pro filtrace vod s  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  do  $6 \text{ mg.l}^{-1}$ , barvou do  $30 \text{ mg.l}^{-1}$ , obsahem nerozpuštěných látek do  $50 \text{ mg.l}^{-1}$  a zákalem do 100 ZF. Filtry naopak nejsou vhodné pro odstraňování nerozpuštěných látek z vody po koagulaci, odželezování a odmanganování. [1]

V průběhu filtračního procesu existují fáze, ve kterých má biologická blána různou tloušťku a tím i jinou účinnost úpravy vody. Na počátku vzniku blány je její účinnost nejnižší, neboť ještě nemá potřebnou vrstvu čistících mikroorganismů. Ve fázi rozhodující je zde dostatek mikroorganismů, blána je dostatečně silná, je vitální, díky čemuž má dobrý úpravárenský efekt. Ve fázi poslední blána bytí (pevná nepropustná) a tím se stává nepropustnou. Ztráta tlaku na filtru vzrůstá se zvyšováním filtrační blány. Pokud blána navýší tlakovou ztrátu nad 0,5 m od původní hodnoty regenerované náplně, je třeba ji odstranit. V létě je doba vytváření blány 1 – 2 týdny, v zimě je doba delší, přibližně 4 – 6 týdnů. Doba filtrace po zapracování blány je v létě 1 – 3 měsíce, v zimě může být hodnota i dvojnásobná. [3]

Při průchodu vody skrz biologickou blánu tlaková ztráta narůstá a poté roste i při průchodu vody filtračním pískovým ložem v procesu filtrace. Obrázek 3.13 znázorňuje postupné zanášení pomalého filtru. Rozhodující ztráta u biologického filtru vzniká na jeho povrchu neboli v biologické bláně. S tímto je spjat také průběh křivek tlakových ztrát, který je v průběhu filtrace různý. Na začátku filtrace je ztrátová výška  $\Delta h_0$  v čase  $t_0$ , při nárůstu blány v čase  $t$  je tlaková ztráta  $\Delta h_t$ . Maximální tlaková ztráta je  $\Delta h_{\text{max}}$  v čase  $t_{\text{max}}$ . Při pokračování filtrace nad dobu  $t_{\text{max}}$ , je kolmace natolik velká, že se vrstva stává téměř nepropustnou. Dříve přefiltrovaná voda odtéká ze spodních vrstev lože, v ní nastává podtlak (podtlak je na obrázku vyznačen svislým šrafováním a záporným znaménkem), tento proces filtrace je nepřijatelný. [3]



Obr. 3.24 Kolmatace pomalého fitru [3]

### *Mechanismus pomalé filtrace*

Ideální filtrační rychlost u pomalých biologických filtrů je od 0,1 m.h<sup>-1</sup> po 0,2 m.h<sup>-1</sup>. Většina nečistot se zachytí v horní části filtru v tzv. filtrační bráně. K zachycení nečistot může docházet i v hlubších vrstvách, ale v nižším množství. Zachycení částic ve filtrační vrstvě způsobují tyto síly [2]:

- **mechanické cezení**, při průtoku mezerami vrstvy dojde ke vzniku setrvačných sil, jenž povolí spojení koloidních a jemně suspendovaných částic do větších celků. Shluky se zadržují v tenké vrstvě na povrchu filtrační náplně a zmenšují mezery mezi zrnny,
- **usazování** se předpokládá v místech styku zrn a na vrchlících zrn, tedy mimo proudnice. Povrchové rychlosti 0,1 m.hod<sup>-1</sup> odpovídají rychlosti usazovací  $u = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dle Stokesova zákona je rychlost usazovací kulovité částice v neohraničené kapalině při laminárním proudění:

$$u = \frac{1}{18} \times \frac{\rho_p - \rho}{\rho} \times \frac{gd^2}{\nu} \quad (3.7)$$

kde  $\rho_p \dots$  měrná hmotnost částice [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],  
 $\rho \dots$  měrná hmotnost kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],  
 $g \dots$  gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ],  
 $d \dots$  průměr kulovité částice [m],  
 $\nu \dots$  kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

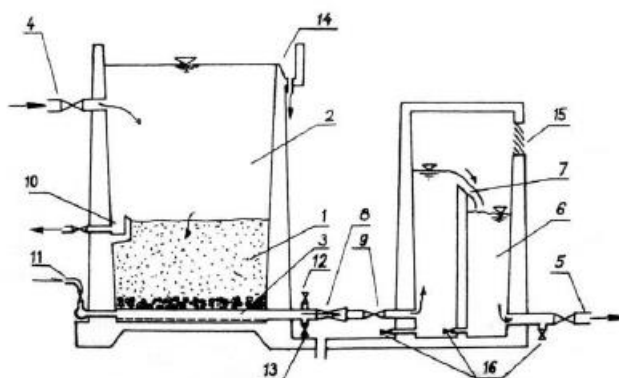
- **adsorbce**, která je na povrchu zrn náplně způsobená molekulárními silami (Van der Waalsovy síly), koloidní částice se mohou dostat do dosahu těchto sil pomocí setrvačných sil při proudění,
- **působení elektrostatických sil** (Coulombovy síly), ionty koloidních částic v surové vodě mají záporný náboj, jestliže se na povrchu zrn vytvoří vrstva kladně nabitých částic, může dojít k zachycení.

Na biologický život v anglickém filtru má značný vliv výskyt řas ve vodě nad filtrační náplní, ty potřebují k životu sluneční světlo, a proto se vyskytují pouze ve filtrech otevřených. V našem klimatickém pásmu se využívají pouze filtry zakřivené, a tudíž se vliv řas neprojevuje.[3]

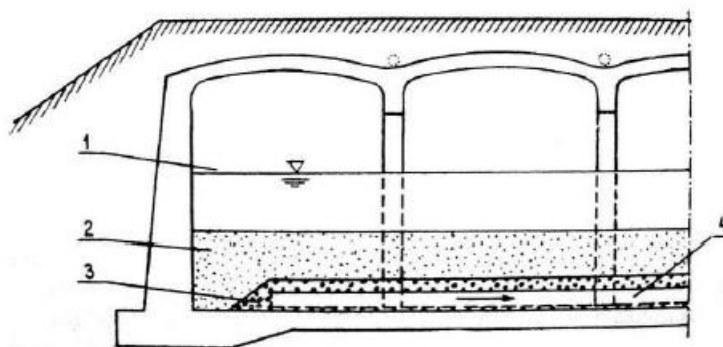
### ***Uspořádání pomalého filtru***

Jako filtrační materiál se při anglické filtraci používá především křemičitý písek se zrnky 0,2 až 0,4 mm. Výška filtračního pískového lože by měla být 1,0 až 1,2 m. Pod ložem je rozdělovací drenážní vrstva, která tvoří obsyp drenáže. Drenáž může být z kameninových perforovaných trubek, pálených drenážních trubek, plastových perforovaných trubek nebo například z perforované litiny. Rychlost filtrace je závislá na obsahu suspendovaných látek v upravované vodě a také na množství filtračních jednotek, vždy se navrhuje nejlépe dvě filtrační jednotky.[2] [13]

Na obrázku 3.14 je znázorněno schéma uspořádání anglického filtru, kde je 1 – hloubka vrstvy písku (bývá v rozmezí 0,6 až 1,2 m), nad touto vrstvou je voda – 2, která bývá hluboká 1 až 1,5m. Drenáž – 3 je uložena na dně nádrže. Potrubím – 4 se přivádí surová voda, která je odváděna potrubím – 5 z jímky – 6. Pomocí přelivné hrany – 7 se udržuje minimální hladina. Venturiho trubicí – 8 se měří průtok, který se reguluje uzávěrem – 9. Žlabem – 10 se odvádí voda před odběrem horní naplavené vrstvy písku k regeneraci. Aby se vytlačil vzduch z mezer mezi zrnky naplňuje se potrubím – 11 písková vrstva vodou po regeneraci. Drenážní systém je odvodušňován potrubím – 12, k odvodnění drenáže slouží výtok – 13. Hladina surové vody se udržuje na úrovni přelivné hrany – 14, přes kterou přepadá případně se vyskytující pěna do bočního žlabu. Prostor nad přepadem upravené vody je opatřen ventilací – 15. Při přerušení provozu na delší dobu se celá soustava vypouští uzávěry 13 a 16. [2]



**Obr. 3.25 Otevřený pomalý filtr [3]**



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

Obr. 3.26 Zaklenutý filtr [2]

### ***Regenerace pomalého filtru***

Jestliže dosáhne odpor filtru maximální hodnoty, je zapotřebí vrchní vrstvu seříznout. Seškrábnutá vrstva má výšku asi 2 – 4 cm. Pokud se filtrační vrstva sníží na 60 – 70 cm, je nutné písek do filtru doplnit. [3]

Zpracování filtru je odlišné, v létě je to zhruba 1 týden, v zimě 2 – 3 týdny. Přerušení přívodu kyslíku snesou mikroorganismy v bláně maximálně na 24 hodin, proto se nedoporučuje přerušovat filtraci, pouze v akutním případě je výhodnější snížit výkon. Při zpracování biologického filtru se filtrovaná voda pouští do odpadu. [3]

### ***Použití pomalé biologické filtrace***

Provozně je úprava povrchových vod pomalou filtrací jednoduchá, nenáročná, nemá speciální požadavky na kvalifikaci obsluhujícího personálu ani na spotřebu provozních hmot. Anglická filtrace zanechává upravené vodě v největší míře její přirozený charakter. Proto se doporučuje pro zásobování menších obcí s nedostatkem podzemních vod. Kvůli malé rychlosti filtrace je třeba velká obestavěná plocha, jenž se musí v našich podmínkách chránit proti mrazu. Nadstavba s minimální konstrukční výškou (2 m od povrchu filtrační náplně) je investičně nákladná. Tudíž se u nás využívají úpravní s pomalou filtrací jen pro malé výkony. [13]

Jestliže je voda před úpravou dostatečně nasycena kyslíkem, pak pomalý filtr dokonale odstraňuje suspendované látky, a také kvantitativně odstraňuje dusitany a amonné sloučeniny, pokud jsou ve vodě obsaženy v normální míře. [3]

V přítomnosti železitých a manganových bakterií tzv. asimilujících organismů a kyslíku ve vodě se biologickou filtrací z vody odstraňuje také menší množství železa a manganu. Množství nežádoucích mikroorganismů odstraňuje pomalá biologická filtrace o 93 až 99 %, částečně pak odstraňuje pachy a chutě, barvu vody a její oxidovatelnost. [2]

### 3.3.2 Filtrace s aktivním uhlím

Při odstraňování nečistot u velmi znečištěných povrchových vod se využívá adsorpce na aktivní uhlí. Tento technologický stupeň je většinou zařazen až za pískovou filtraci, výjimkou je adsorpce na práškovém aktivní uhlí, zde proces řadíme před filtraci. [19]

V provozech úpraven povrchové vody na pitnou se aktivní uhlí aplikuje dvojitým způsobem [20]:

- dávkováním práškového uhlí do upravené vody v průtočném profilu úpravny,
- ve filtru se zrnitým nebo granulovaným uhlím přes které upravovaná voda protéká.

První způsob je investičně méně náročný a spočívá v dávkování práškového aktivního uhlí spolu s koagulanty, přičemž společně s vysráženými hydroxidy je také z vody separováno. [20]

Druhý, dynamický způsob je realizován ve filtru, který je umístěn v technologické lince úpravny vody. Na sorbent je přiváděna voda, která je zbavená většiny nečistot. Za tímto stupněm následuje hygienizace. [20]

Práškové aktivní uhlí se používá při sezónně zhoršené jakosti vody pro odstranění zápachu a příchutě vody. Zatímco filtrace přes zrněné aktivní uhlí se využívá při trvalé zhoršené jakosti vody, kdy již nelze dosáhnout vyhovující jakosti vody pouze dvěma separačními stupni. [19]

#### *Adsorpce*

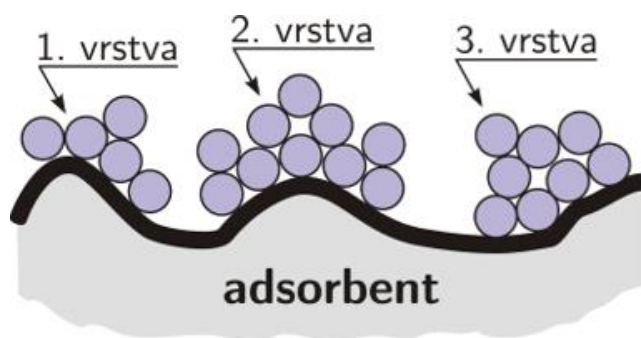
Adsorpce je jev, ke kterému dochází na mezifázovém rozhraní. Adsorbát je látka, která se adsorbuje, naopak látka, na které probíhá adsorpce, se nazývá adsorbent. [20]

Adsorpci lze popsat adsorpční izotermou, je to závislost specifické adsorpce na koncentraci adsorbátu v roztoku. Adsorpční izotermy odvodil Langmuir a Freundlich. [19]

V jednodušších případech lze adsorpci popsat adsorpční **Freundlichovou izotermou**, jedná se o vícevrstvou adsorpci [19]:

$$a_s = k * c_r^{1/n} \quad (3.8)$$

V rovnici je  $a_s$  specifická adsorpce [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ],  $c_r$  je rovnovážná koncentrace adsorbátu v roztoku [ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ],  $k$ ,  $n$  jsou konstanty.



Obr. 3.27 Příklad vícevrstvé adsorpce [25]

**Langmuirova izoterma**, adsorpce v molekulární vrstvě [19]

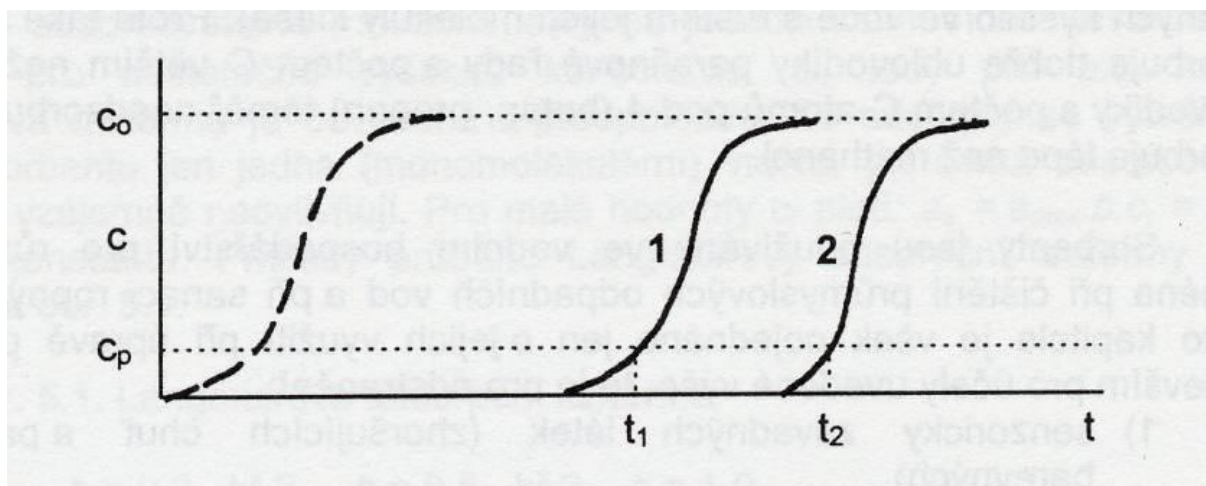
$$a_s = a_{max} * \frac{b * c_r}{1 + b * c_r} \quad (3.9)$$

V uvedené rovnici je  $b$  konstanta,  $a_{max}$  je maximální adsorpce [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ] tj. maximální adsorbované množství látky na jednotku hmotnosti adsorbentu.



Obr. 3.28 Příklad jednovrstvé adsorpce [25]

Při druhém, dynamickém způsobu aplikace aktivního uhlí, dochází po průtoku určitého množství vody k nasycení adsorpčních center adsorbentu a k průniku adsorbátu do upravované vody. Při konstantním povrchovém zatížení lze pozorovat závislost mezi koncentrací adsorbátu (látky, která je adsorbována) v odtoku z adsorpční kolony v čase tzv. průniková křivka. [20]



Obr. 3.29 Průniková křivka pro výšku náplně  $h_1$  a  $h_2$  [20]

Kde  $c \dots$  koncentrace adsorbátu na odtoku,  
 $c_0 \dots$  koncentrace adsorbátu na přítoku,  
 $t \dots$  doba průtoku vody,  
 $t_1, t_2 \dots$  doby průniku pro výšku náplně  $h_1$  a  $h_2$ .

Závislost mezi dobou průniku  $t_p$  na výšce kolony  $h$  je vyjádřena vztahem [20]:

$$t_p = t_0 + \frac{h-h_0}{u} \quad (3.8)$$

kde  $u$  je rychlost průtoku vody kolonou [ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ] a  $t_0$  je doba potřebná k rozvinutí průnikové křivky na koloně o  $h_0$ .

## 4 AKTIVNÍ UHLÍ

Aktivní uhlí je nepolární sorbent, který sorbuje dle předpokladů hlavně nepolární organické látky a neelektrolyty. Jeho měrný povrch je zvláště velký ( $1000 - 2000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ), ve styku s vodou nabývá polárního charakteru. [21]

Adsorpční vlastnosti aktivního uhlí jsou silně závislé na způsobu jeho přípravy. Vlastnosti povrchu aktivního uhlí určuje druh suroviny, složení aktivační atmosféry, doba a teplota aktivačního procesu. O adsorpčních vlastnostech rozhoduje velikost pórů, měrný povrch a chemická reaktivita povrchu. [21]

Aktivní uhlí je soubor grafitových destiček, jejichž vzájemná vzdálenost tvoří vnitřní povrch, který se nazývá póry. Vznikají [23]:

- **mikropóry**, jejich velikost je menší než 2 nm, adsorbují hlavně organické látky,
- **transportní póry** rozdělujeme na makropóry, jejichž velikost je větší než 50 nm a mezopóry, velikost 2 až 50 nm, umožňují přístup organických molekul k aktivním centrům aktivního uhlí, mikropórum.

### 4.1 HISTORIE VYUŽITÍ AKTIVNÍHO UHLÍ

Sorpční vlastnosti aktivního uhlí jsou známy velice dlouho, první použití se uskutečnilo v 18. století v cukrovarnickém průmyslu. Později kolem roku 1910 v Anglii se začalo používat ve vodárenství jako dechlorační prostředek. [22]

V minulosti bylo zrněné aktivní uhlí použito na některých úpravnách povrchové vody zejména pro zlepšení sensorických vlastností vody. Jedná se o úpravný vodárny Klíčava, Třetí Mlýn, Radošov, Jirkov, Zábřeh a další. [22]

V pozdější době bylo aktivní uhlí z některých těchto úpraven vyřazeno a zařízení bylo upraveno na filtry s náplní křemičitého písku. Důvodem přestavby byla potřeba zvýšení výkonu úpraven vody a dále fakt, že u zrněného aktivního uhlí docházelo k rychlé inaktivaci druhotně vyloučenými hydroxidy základní složky koagulačního činidla. V důsledku toho pak aktivní uhlí přestane účinkovat jako sorpční materiál a uplatňuje se pouze jako velmi drahý filtrační materiál. Toto byl později jeden z důvodů, proč se zrněné aktivní uhlí přestalo v úpravnách vody využívat. [22]

V ČSSR se aktivní uhlí vyrábělo ve Slovenských lučebních závodech n.p. Hnúšťa a v Moravských chemických závodech, n.p., závod Dukla v Ostravě. Využití aktivního uhlí bylo hlavně v průmyslu. Pro zajímavost jsou v tabulce 4.1 uvedeny tehdejší ceny výrobců za různé druhy aktivního uhlí. Uvedené ceny jsou k 31. 7. 1987. [22]

**Tab. 4.1 Cenové relace aktivního uhlí [22]**

Výrobce	Označení aktivního uhlí	Druh	Orientační cena Kč/t
Moravské chemické závody, n.p. Ostrava	Hydrafin H I	granulované	34 500
	Carborafin normal C	práškové	13 300
Slovenské lučební závody, n.p. Hnúšťa	Dezorec KD 6	granulované	44 000
	Dezorex HYS N	zrněné	63 100
	Colorex K	práškové	43 200

## 4.2 DRUHY AKTIVNÍHO UHLÍ

Aktivní uhlí pro sorpci se využívá pro úpravu povrchové vody s vyšším organickým znečištěním nebo také při úpravě povrchových a podzemních vod, u kterých je velké riziko znečištění například ropnými produkty, fenoly, tenzidy, pesticidy nebo škodlivými stopovými prvky. Díky svým sorpčním vlastnostem umožňuje aktivní uhlí snížení nízkomolekulárního organického znečištění a v případě průběhu koagulace mimo její optimum i vysokomolekulárního organického znečištění. Sorpci se snižuje také reziduální mikroznečištění, obsah huminových látek, škodlivých stopových prvků a látek, které způsobují nežádoucí sensorické vlastnosti upravené vody. [22]

Podle tvaru a velikosti dělíme aktivní uhlí na [23]:

- práškové (PAU),
- granulované (GAU),
- extrudované (válečkové),
- tkaninové.

Pro úpravu pitných a také bazénových vod se převážně používá granulované aktivní uhlí. Práškové aktivní uhlí se používá pro nárazové odstranění organických polutantů. Extrudované a tkaninové aktivní uhlí se využívá pro čištění plynné fáze. [23]

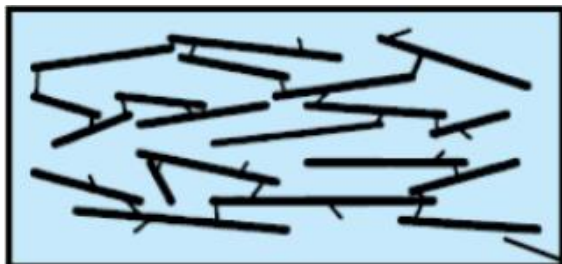
## 4.3 STRUKTURA AKTIVNÍHO UHLÍ

Aktivní uhlí se vyrábí z černého uhlí, kokosových skořápek a také zuhelnáváním dřeva, pilin a rašeliny. [15] [23]

Struktura aktivního uhlí však není stejná u všech materiálů, z nichž může být vyrobeno. Aktivní uhlí vyrobené z černého uhlí má většinou vhodný poměr mikropórů a transportních pórů, u aktivního uhlí vyrobeného z kokosových skořápek převažují mikropóry. Makropóry převažují u aktivního uhlí vyráběného ze dřeva. [23]

Ve vodárenství je výhodnější aktivní uhlí vyrobené z černého uhlí, neboť má vyšší sorpční schopnost, a tudíž i vyšší účinnost a životnost. [23]

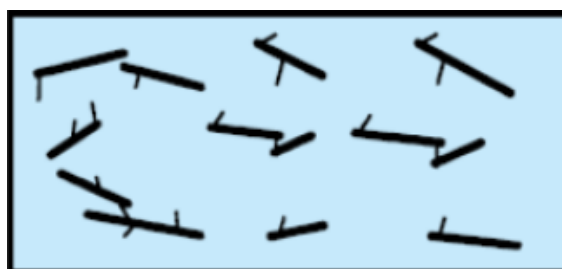
Struktury aktivního uhlí dle druhu výrobní suroviny jsou znázorněny na obrázcích 4.1 až 4.3:



Obr. 4.2 Struktura AU z černého uhlí [23]



Obr. 4.1 Struktura AU z kokosových skořápek [23]



Obr. 4.3 Struktura AU ze dřeva [23]

## 4.4 GRANULOVANÉ AKTIVNÍ UHLÍ

Granulované aktivní uhlí (GAU) se kromě využití při úpravě pitné vody používá i v potravinářském průmyslu, hlavně pro záchyt rozpuštěných organických látek. Ve většině těchto aplikací je hlavním procesem fyzikální adsorpce, jenž je klíčovým mechanismem záchytu nečistot. Při výběru GAU zohledňujeme tyto kritéria [24]:

- adsorpční vlastnosti,
- hydrodynamické vlastnosti,
- mechanickou odolnost,
- čistotu,
- vhodnost reaktivace,
- vhodnost jako nosič biomasy.

### 4.4.1 Výroba GAU

Základní materiály pro výrobu granulovaného aktivního uhlí jsou dřevo, kokosové skořápky, uhlí a rašelina. V průběhu aktivace těchto materiálů se vytváří porozita uhlíkatého materiálu. Pro aplikaci GAU v pitné vodě se využívají dva základní procesy aktivace, jimiž jsou aktivace párou a chemická aktivace. [24]

**Tab. 4.2 Druhy aktivace u GAU používaných při úpravě pitné vody [24]**

Surovina	Uhlí	Rašelina	Dřevo	Kokosové skořápky
Typ GAU	dřevěné	extrudované	dřevěné	dřevěné
Aktivace	pára	pára	chemická	pára

#### 4.4.2 Chemické složení GAU

Typické chemické složení aktivního uhlí obsahuje více jak 90 % uhlíku. V grafitové struktuře obsahuje i jiné prvky, především kyslík. Do 10 % je obsažený popel z oxidu křemičitého, oxidu vápenatého, oxidu hořečnatého, oxidu železitého a zbytků fosforu z aktivace. [24]

#### 4.4.3 Chemie povrchu aktivního uhlí

Atomy uhlíku vázané v základních strukturách destiček vykazují nízkou reaktivitu. Na rozdíl od atomů v rozích a příčných vazbách jsou mnohem víc reaktivní. Na povrchu GAU se reakcí s kyslíkem vytvoří různé oxidy. Tento jev zapříčiní zvýšení pH při počátečních fázích nasazení čerstvého GAU ve filtrech. Po určité době se oxidy vyplaví a pH se stabilizuje. [24]

### 4.5 REAKTIVACE AKTIVNÍHO UHLÍ

Po vyčerpání sorpčních vlastností je potřeba aktivní uhlí vyměnit za nové nebo ho reaktivovat. Reaktivací nebo přepracováním se rozumí odběr aktivního uhlí v úpravně vody obvykle speciální autocisternou, transport do reaktivačního závodu vlastní reaktivací prováděnou zahříváním na různé teploty, doplnění úbytku aktivního uhlí při reaktivaci novým aktivním uhlím, transport zpět k zákazníkovi speciální autocisternou a naplnění do filtrů. [23]

Vlastní reaktivace zahrnuje čtyři stupně [23]:

- sušení,
- desorpci těkavých organických sloučenin při teplotách do 250 °C,
- pyrolýzu,
- karbonizaci netěkavých organických sloučenin do teplot 750 °C,
- aktivaci při cca 800 °C.

Reaktivované aktivní uhlí má téměř stejné sorpční vlastnosti jako nové aktivní uhlí. Reaktivace bývá levnější než pořízení nového aktivního uhlí, cena zahrnuje celý postup od odebírání uhlí přes transport, vlastní reaktivaci, transport zpět až po doplnění uhlí do filtrů. [23]

## 4.6 SOUČASNÉ VYUŽITÍ AKTIVNÍHO UHLÍ

V současné době jsou na trhu některé zahraničních ale i tuzemských firmy, které nabízí širokou škálu aktivního uhlí. V následujících kapitolách budou některé z těchto firem zmíněny.

### 4.6.1 Cabot Norit Activated Carbon

Firma Cabot Norit Activated Carbon je největší a nejzkušenější výrobce aktivního uhlí, firma byla založena již v roce 1918. Firma vyrábí více než 150 typů aktivního uhlí používaného k odstranění kontaminantů a nežádoucích příměsí z vody, ovzduší, potravin, nápojů nebo farmaceutických produktů. Prodejní síť firmy je rozšířená ve více než 100 zemích světa. [26]

Firma nabízí širokou škálu aktivního uhlí ve třech hlavních produktových skupinách, jimiž jsou [27]:

- práškové aktivní uhlí,
- granulované aktivní uhlí,
- extrudované aktivní uhlí.

V následujících podkapitolách budou představeny některé druhy aktivního uhlí, které firma Cabot Norit Activated Carbon vyrábí.

#### *Norit PK 1-3*

Je granulované aktivní uhlí, které je vhodné pro čištění pitné vody a průmyslových provozních kapalin. [28]

Tab. 4.3 Vlastnosti GAU Norit PK 1-3 [28]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Specifický povrch BET	875	m <sup>2</sup> /g
Jodové číslo	min. 700	mg/g
Adsorpce methylenové modři	11	g/100 g
Hustota po vyprání a vysušení	255	kg/m <sup>3</sup>
Efektivní velikost částic D <sub>10</sub>	1,2	mm
Koeficient stejnoměrnosti	1,8	-
Popel	8	%
pH	alkalické	-
Vlhkost při balení	2	%

#### *Norit GAC 1240 W*

Jedná se o granulované aktivní uhlí vhodné pro čištění pitné vody a průmyslových provozních kapalin. Dále je také velmi vhodné pro odstranění přírodních organických látek,

pesticidů, čistících prostředků, chlorovaných rozpouštědel a sloučenin, které způsobují chuťové a pachové problémy. [29]

Tab. 4.4 Vlastnosti GAU Norit GAC 1240 W [29]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Specifický povrch BET	1100	m <sup>2</sup> /g
Jodové číslo	min. 950	mg/g
Adsorpce methylenové modři	20	g/100 g
Hustota po vyprání a vysušení	455	kg/m <sup>3</sup>
Efektivní velikost částic D <sub>10</sub>	0,6 - 0,7	mm
Koeficient stejnoměrnosti	1,7	-
Popel	12	%
pH	alkalické	-

### *Norit W 35*

Je práškové aktivní uhlí s extra jemnou velikostí částic. Toto práškové aktivní uhlí má vysokou adsorpční kapacitu. Je vhodný k odstraňování rozpuštěného organického materiálu s nízkou i vysokou molekulovou hmotností při úpravě pitné vody, dále k nežádoucímu odstranění chutě a pachu, pesticidů, čistících prostředků a fenolů. [30]

Tab. 4.5 Vlastnosti PAU Norit W 35 [30]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Specifický povrch BET	875	m <sup>2</sup> /g
Jodové číslo	min. 750	mg/g
Adsorpce methylenové modři	15	g/100 g
Efektivní velikost částic D <sub>50</sub>	15	μm
Koeficient stejnoměrnosti	1,8	-
Popel	10	%
pH	alkalické	-
Vlhkost při balení	3	%

Tab. 4.6 Další druhy aktivního uhlí nabízené firmou Cabot [31]

Charakteristiky	HYDRODARCO 4000 actived carbon	NORIT GAC 400 actived carbon	NORIT GAC 400 PLUS actived carbon	NORIT GCN 1240 actived carbon
Surovina	Lignitové uhlí	Asfaltové uhlí	Asfaltové uhlí	Kokos
Typ AU	Granulované	Granulované	Granulované	Granulované

## 4.6.2 Chemviron Carbon

Chemviron Carbon je Evropská pobočka Calgon Carbon Corporation, USA, která je strategicky umístěna v srdci Evropy v Belgii, hlavním městě Bruselu. Obchodní síť společnosti je zastoupena v mnoha státech, jimiž jsou například Německo, Francie, Švédsko, Spojené království. Společnost má rozsáhlou síť zástupců a distributorů v celé Evropě, Africe a na Středním východě. Výrobní kapacita firmy je přes 75 000 tun ročně. [32]

Chemviron vyrábí více než 100 typů aktivního uhlí, které je k dispozici ve formě práškového, granulovaného a extrudovaného nebo peletizovaného aktivního uhlí. Aktivní uhlí je také k dispozici ve speciálních formách, jako jsou látky a vlákna. [32]

Jakmile je granulované aktivní uhlí nasyceno, může být recyklováno tepelnou reaktivací na opětovné použití. Ve městě Feluy v Belgii má společnost největší reaktivační centrum na světě, které umožňuje kontinuální recyklaci granulovaných či extrudovaných aktivních uhlí. Další reaktivační centrum se nachází ve Velké Británii. [33]

### *Filtrisorb 100, Filtrisorb 200*

Granulované aktivní uhlí Filtrisorb 100 a Filtrisorb 200 jsou instalovány ve více než 500 úpravárnách vody v Evropě, Spojených státech a Asii. Je vyrobeno z vybraných druhů asfaltového uhlí aktivací vodní parou. To zajišťuje vysokou čistotu produktů s ideální porézností. [34]

Tato aktivního uhlí velkého specifického povrchu vykazují sorpční a chemisorpční vlastnosti. Proto dokáží zachytit i ve vodě rozpustné látky organického charakteru. Aktivním uhlím můžeme odstranit ropné látky, organické toxické sloučeniny a toxické těžké kovy, například rtuť, kadmium a olovo. Dále jsou vhodné k odstranění látek, které způsobují pachů a zápach. [34]



Obr. 4.4 Aktivní uhlí Filtrisorb 100

## ***Filtrisorb 300, Filtrisorb 400***

Granulované aktivní uhlí Filtrisorb 300 a Filtrisorb 400 jsou instalovány ve více než 500 úpravárnách vody v Evropě, Spojených státech a Asii. Jsou vyrobeny z vybraných druhů asfaltového uhlí aktivací vodní parou, což zajišťuje vysokou čistotu produktů s ideální porézností. [35]

Tato aktivní mají vysokou adsorpční kapacitu a vysoký počet transportních pórů, díky čemuž mají větší schopnost odstraňovat mikropolutanty jako jsou např. pesticidy.

Všechny druhy aktivního uhlí Filtrisorb mají vysokou odolnost proti otěru, což umožňuje opakované promývání. Aktivní uhlí Filtrisorb je speciálně vyráběna pro tepelnou reaktivaci, aby mohly být znovu použity. [35]

Tab. 4.7 Vlastnosti aktivních uhlí Filtrisorb [34] [35]

Specifikace	Jednotky	F 100	F 200	F 300	F 400
Specifický povrch BET	m <sup>2</sup> /g	900	900	1000	1100
Jódové číslo	mg/g	min. 850	min. 850	min. 950	min. 1050
Hustota	kg/m <sup>3</sup>	500	500	460	425
Koeficient stejnoměrnosti	-	1.9	1.7	1.9	1.7
Efektivní velikost	mm	0.8 - 1.0	0.6 - 0.7	0.8 - 1.0	0.6 - 0.7

### **4.6.3 Envi-pur**

Další společností je tuzemská firma ENVI-PUR, s.r.o. Vznik společnosti sahá do počátku 90. let, firma se zabývá vývojem, výrobou a dodávkami zařízení pro ekologii, zaměřená je hlavně na oblast čištění a úpravu vody a vzduchu. [36]

### ***Granulované aktivní uhlí WG 12***

Firma nabízí granulované aktivní uhlí WG 12, které je vyráběno z jednoho typu černého uhlí z vybraných uhelných dolů. Černé uhlí je napřed lisováno do válcových zrn a pak vysušeno, karbonizováno a nakonec aktivováno vodní párou. Výhodou při provozu, praní filtrů i reaktivaci a znovuvyužití aktivního uhlí je vysoká mechanická pevnost a odolnost proti otěru. [37]

Granulované aktivní uhlí WG 12 je známé také pod názvem aglomerované nebo extrudované aktivní uhlí. Může být využito v otevřených, tlakových filtrech či kontejnerových zařízeních. Díky velkému specifickému povrchu a také vhodné velikostní struktuře pórů účinně odstraňují všechny druhy organického znečištění, jimiž jsou zbytky léčiv, pesticidy a další mikropolutanty včetně toxinů přírodního původu, jako jsou sinicové toxiny. Jeho využití je často pro dechloraci a zlepšení sensorických vlastností vody. [37]

Tab. 4.8 Vlastnosti granulovaného aktivního uhlí WG 12 [37]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Specifický povrch BET	min. 1 000	m <sup>2</sup> /g
Jodové číslo	min. 1 001	mg/g
Provozní hustota	450 ± 30	kg/m <sup>3</sup>
Methylenové číslo	min. 30	cm <sup>3</sup>
Velikost částic	1,0 - 1,5	mm
> 2,00 mm	0,02	%
< 0,75 mm	max. 3	%
Koeficient stejnozrnosti	max. 1,3	-
Otěr	min. 85	-
Tvrdost	min. 95	-
Obsah vody při balení	max. 2	%
Obsah plovoucích nečistot	max. 0,1	%
Intenzita praní při expanzi 20 % a teplotě 20 °C	30	m/h
Froma: Pevné válcové granule černé barvy		



Obr. 4.5 Granulované aktivní uhlí WG 12

### *Reaktivace a balení*

Granulované aktivní uhlí WG 12 je vhodné k reaktivaci a jeho znovupoužití. Firma v případě zájmu zákazníka nabízí provedení zhodnocení kvality použitého aktivního uhlí, zvolí podmínky a uskuteční se vlastní reaktivace. [37]

Aktivní uhlí je baleno v pytlích po 20 – 30 kg na paletách nebo v žocích po 1 m<sup>3</sup>. [37]

## 5 NÁVRH FILTRU S AKTIVNÍM UHLÍM

### ***Vstupní hodnoty:***

$$\begin{aligned} \text{Návrhový průtok } Q_n \dots &= 40 \text{ l.s}^{-1} = 144 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} \\ \text{Filtrační rychlost } v_f \dots &= 5,5 \text{ m.hod}^{-1} (5,0 - 10,0 \text{ m.hod}^{-1}) \end{aligned}$$

### ***Výpočet:***

Celková plocha všech filtrů  $F_C$ :

$$F_C = \frac{Q_n}{v_f} = \frac{144}{5,5} = 26,18 \text{ m}^2$$

Počet filtračních jednotek  $n$ :

$$n = 0,5 * \sqrt{F_C} = 0,5 * \sqrt{26,18} = 2,56 \Rightarrow 3,0$$

Návrh půdorysné plochy jedné jednotky:

$$l = 3,0 \text{ m} \quad b = 2,7 \text{ m}$$

Skutečná celková filtrační plocha  $F_{sk}$ :

$$F_{sk} = l * b * n = 3,0 * 2,7 * 3 = 24,30 \text{ m}^2$$

Skutečná střední filtrační rychlost  $v_{fsk}$ :

$$v_{fsk} = \frac{Q_n}{F_{sk}} = \frac{144}{24,30} = 5,93 \text{ m.hod}^{-1}$$

Maximální filtrační rychlost  $v_{fmax}$ :

$$v_{fmax} = \frac{Q_n}{l * b * (n-1)} = \frac{144}{3,0 * 2,7 * (2-1)} = 8,88 \text{ m.hod}^{-1}$$

### ***Posouzení:***

Maximální filtrační rychlost  $v_{fmax}$  musí být menší než  $10,0 \text{ m.hod}^{-1}$ .

$$v_{fmax} = 8,88 \text{ m.hod}^{-1} < 10,0 \text{ m.hod}^{-1} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## Dimenzování potrubí filtru s aktivním uhlím

Tab. 5.1 Návrhové charakteristiky potrubí

Typ potrubí		v [m/s]	Q
1	přívod vody	< 0,6	$Q = Q_n / (n-1)$
2	odběr přefiltrované vody	1 - 1,5	
3	zafiltrování		
4	přívod prací vody	2 - 4	$Q = F_1 * i_3$
5	odběr prací vody		
6	přívod pracího vzduchu	15 - 20	$Q = F_1 * i_1$

Kde je	$F_1 \dots$	plocha jednoho filtru [ $m^2$ ],
	$i_1 \dots$	intenzita při praní vzduchem ( $8 - 12 \text{ l.s}^{-1} \cdot m^{-2}$ ),
	$i_3 \dots$	intenzita při praní vodou ( $5 - 8 \text{ l.s}^{-1} \cdot m^{-2}$ ),
	$v \dots$	průřezová rychlost [ $m.s^{-1}$ ],
	$n \dots$	počet filtračních jednotek [-],
	$Q \dots$	průtok potrubím [ $m^3.s^{-1}$ ],
	$Q_n \dots$	návrhový průtok [ $m^3.s^{-1}$ ].

Pro výpočet jsem si dopočetla hodnotu  $F_1$  a zvolila počáteční hodnoty  $i_1$  a  $i_3$ :

$F_1 \dots$	8,1 $m^2$ ,
$i_1 \dots$	10 $\text{l.s}^{-1} \cdot m^{-2}$
$i_3 \dots$	7 $\text{l.s}^{-1} \cdot m^{-2}$ .

Tab. 5.2 Dimenzování potrubí

Typ potrubí		Q [ $m^3/s$ ]	v [m/s]	S [ $m^2$ ]	d [m]	DN [mm]	$v_{sk}$ [m/s]
1	přívod vody	0.020	0.5	0.040	0.226	250	0.41
2	odběr přefiltrované vody	0.020	1.3	0.015	0.140	150	1.13
3	zafiltrování	0.020	1.3	0.015	0.140	150	1.13
4	přívod prací vody	0.057	4	0.014	0.134	150	3.21
5	odběr prací vody	0.057	2	0.028	0.190	150	3.21
6	přívod pracího vzduchu	0.081	17	0.005	0.078	80	16.1

Kde je	$Q \dots$	průtok potrubím [ $m^3.s^{-1}$ ],
	$v \dots$	průřezová rychlost [ $m.s^{-1}$ ],
	$S \dots$	plocha průřezu potrubí [ $m^2$ ],
	$d \dots$	průměr potrubí [m],
	$DN \dots$	jmenovitá světlost [mm],

$v_{sk} \dots$  skutečná průřezová rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Návrh filtrační náplně bych zvolila na základě kvality surové vody ve zdroji. Podle typu látek, které by byly ve vodě obsaženy, (pesticidy, léčiva, fenoly, ropné látky) by se zvolil nejvhodnější typ aktivního uhlí pro efektivní odstranění daných nežádoucích látek.

Následně by se provedla nejprve laboratorní a posléze i poloprovozní zkouška daného typu aktivního uhlí na úpravě vody. Pokud by byly výsledky obou zkoušek v pořádku pak by se daný typ aktivního uhlí využil jako třetí stupeň separace.

## 6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat procesy úpravy vody se zaměřením především na třetí stupeň separace, zejména na nejčastěji využívané aktivní uhlí. Součástí práce je návrh a dimenzování potrubí filtru s aktivním uhlím. Vypracován byl také výkres znázorňující řez a půdorys filtru s aktivním uhlím.

Na začátku práce jsou popsány typy úpravy vody od nejjednodušší úpravy bez separačního stupně, která se využívá při úpravě vody minimálně znečištěných zdrojů. Další možností je jednostupňová úprava vody se separací, kde je jediným stupněm vždy filtrace. Úpravu vody z povrchového zdroje s dvoustupňovou separací používáme v případech vyšší koncentrace suspendovaných látek a vyšší dávky koagulantu. Při vyšším požadavku na kvalitu vody nebo v případě velmi znečištěných vod volíme úpravu vody s třístupňovou separací.

Dále je popsána úprava vody z povrchového zdroje s terciálním stupněm. Možnosti prvního separačního stupně jsou v tomto případě sedimentace, číření či flotace. Nejprve je zmíněna sedimentace, neboť je nejstarší, nejrozšířenější a dnes již nejběžnější. Uvedeny jsou různé druhy usazovacích nádrží, nejčastěji se využívají obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem, dále usazovací nádrže s kruhové s horizontálním nebo vertikálním průtokem. Další možností je číření, které vzniklo v době, kdy sedimentaci již nebylo možné dále zlepšovat. Opět jsou zmíněny nejčastěji využívané typy čířičů, jimiž jsou čířiče s hydraulickým či mechanickým vznosem vločkového mraku, čířiče s recirkulací kalu nebo s periodicky se měnícím průtokem. Nejnovější možností prvního separačního stupně je flotace, kde jsou uvedeny i příklady využití v České republice.

Druhým separačním stupněm pro úpravu povrchové vody je hlavně rychlofiltrace. V této kapitole je popsán filtrační cyklus, filtrační náplň, kterou je nejčastěji křemičitý písek a antracit. Druhy rychlofiltrů, jejich rozdělení na otevřené a uzavřené neboli tlakové filtry, další dělení je na americký a evropský filtr. Zmíněn je i způsob praní filtrů. V práci je uvedeno také konstrukční uspořádání filtru, kde je popsán klasický způsob drenážního systému na dně filtru (v České republice se využívá drenážní systém Aquafilter, Leopold či systém Triton) a drenážní systém v mezidně filtru.

Následně jsou popsány možnosti třetího separačního stupně, jimiž může být pomalá biologická filtrace nebo filtrace na aktivním uhlí. V práci je vylíčen mechanismus, uspořádání, regenerace a použití pomalé biologické filtrace. Při úpravě velmi vod se specifickým znečištěním používáme adsorpci na aktivním uhlí, vysvětlen je pojem adsorpce, kterou lze popsat Freundlichovou nebo Langmuirovou izotermou.

Ke konci práce je popsána historie aktivního uhlí, druhy aktivního uhlí, které dělíme dle tvaru a velikosti na práškové, granulované, extrudované a tkaninové. Rozvedena je také struktura aktivního uhlí. V kapitole 4.4 je pojednáváno o granulovaném aktivním uhlí, jeho výrobě, chemickém složení a poté o reaktivaci aktivního uhlí. Další kapitoly jsou věnovány současnému využití aktivního uhlí, jsou uvedeny některé zahraniční ale i tuzemské firmy, které vyrábí aktivní uhlí.

V závěru bakalářské práce je navržen filtr s aktivním uhlím pro návrhový průtok  $Q_n = 40 \text{ l.s}^{-1}$  a filtrační rychlost  $5,5 \text{ m.hod}^{-1}$ . Zvoleny jsou tři filtrační jednotky a návrh půdorysné plochy jedné jednotky je  $l = 3,0 \text{ m}$ ,  $b = 2,7 \text{ m}$ . Skutečná filtrační plocha všech filtrů, je navržena na  $24,30 \text{ m}^2$ , skutečná filtrační rychlost je  $5,93 \text{ m.hod}^{-1}$  a maximální filtrační rychlost je  $8,88 \text{ m.hod}^{-1}$ . Bylo nadimenzováno i šest potrubí filtru s aktivním uhlím – viz tabulka 5.2. Součástí návrhu je i řez a půdorys filtru s aktivním uhlím – viz příloha č. 1.

Přínosem práce je pro mě rozšíření poznatků o problematice úpravě vody se třetím separačním stupněm. Domnívám se, že díky stále častějšímu výskytu léčiv, čistících a kosmetických přípravků, pesticidů a fenolů ve zdrojích vod bude potřeba na úpravny vody zařadit třetí separační stupeň, a to například filtry s aktivním uhlím.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902460-7-9.
- [2] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. *Úprava vody a balneotechnika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2563-6.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. *Vodárenství: Studijní opory*. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [4] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství: úprava vody*. 1982. Praha: SNTL, 1978.
- [5] ŠTÍCHA, Václav a Atanas Georgiev CUREV. *Vodárenství: zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969. Řada stavební literatury.
- [6] SUKOVITÝ, Augustin. *Vodárenství: úprava a akumulace vody, zásobování průmyslu a zemědělství vodou*. Praha: SNTL, 1971.
- [7] DOLEJŠ, Petr. Flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) pro úpravu pitné vody a její první provozní realizace v ČR. *Vodní hospodářství 4* [online], 2006, s. 99–102. Dostupné z: [www.wet-team.cz](http://www.wet-team.cz).
- [8] BIELA, Renata. Vodárenská flotace a její použití při úpravě pitné vody v ČR. *TZB-info*, 2012, roč.14, č.32, s. 1-6. ISSN 1801-4399.
- [9] SUKOPOVÁ, M. Odstraňování různých druhů fytoplanktonu flotací rozpuštěným vzduchem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2008. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
- [10] LITSCHMANN, P. Využití flotace v úpravách vody. Brno, 2018. 62 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [11] FEDOR F., ŘÍHA J. STŘEDA P. Provozní poznatky ze zkušebního provozu ÚV Meziboří, Sborník konference Pitná voda 2016, 23. – 26. 5., Tábor, str. 191 – 194, W&ET Team, Č. Budějovice 2016. ISBN 978-80-905238-2-1.
- [12] DRDA M., DRBOHLAV J., STŘEDA P., BLAŽEK K., RAINIŠ L. ÚV Bedřichov – testování filtrace a flotace, projektování a zahájení rekonstrukce. Sborník konference Pitná voda 2014, s. 133-138. W&ET Team, Č. Budějovice 2014. ISBN 978- 80- 905238-1-4.
- [13] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 8001035344
- [14] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. Příručka provozovatele úpravny pitné vody. Vyd. 1. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, c2005, 206 s. ISBN 80-239-4565-3.
- [15] KOZEL, Oldřich, Rudolf VYSKOČIL a Jiří HÁDEK. *Úprava vody ve vodárenství*. Praha: Ministerstvo zemědělství, lesního a vodního hospodářství, 1961.

- [16] RIVET, Christian, Fabrice COURAGEOT a Zdeněk HRADIL. Nerezové drenážní systémy Triton ve filtrační technologii pitných vod. In: Voda Zlín 2008. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2008. s. 51–59. ISBN: 978-80-254-1348-7.
- [17] HRADIL, Zdeněk a Pavel ADLER. Zkušenosti s provozem šterbinového drenážního systému Triton na ÚV Štítná nad Vláří. In: Voda Zlín 2011. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2011. s. 109–115. ISBN: 978-80-254-9113-3.
- [18] ADLER, Pavel a Zdeněk HRADIL. Zhodnocení dosavadních zkušeností s instalací a provozem drenážního systému TRITON na filtrech č. 1 a 2 úpravny vody Kroměříž. In: Voda Zlín 2013. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2013, s. 141–148. ISBN 978- 80-260-3739-2.
- [19] HLAVÁČ, Jaroslav et al. Vodárenství - Jímání a úprava vody, procesy, výpočty, konstrukce. Multimediální učebnice. 1. vydání. Brno: VAS, a.s., 2003.
- [20] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-13-4.
- [21] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [22] *Aktivní uhlí při úpravě vody*. Pardubice: Dům techniky ČSVTS, 1987. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR.
- [23] KOPECKÝ Jaroslav. Aktivní uhlí – technologie pro úpravu pitných a bazénových vod. *Vodní hospodářství*. 2003, 2003(7), 183-185.
- [24] BOERE J., VAN DEN DIKKENBERG J., JOON G.: Granulované aktivní uhlí a jeho biologická aktivita. In: *Pitná voda 2008*, s. 123-128. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [25] MALÁ, Jitka. Vodárenství – zušlechťování pitné vody [prezentace] 2017 [cit. 2019- 05-18].
- [26] *Cabot Norit activated carbon, Norit actived carbon*, Cabot Norit Nederland B.V. Astronaut 34, 3824 MJ Amersfoort, THE NETHERLANDS,2017. Product information.
- [27] *Cabot: Norit Activad Carbon* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.cabotcorp.com/>
- [28] *Cabot Norit activated carbon, Norit PK I-3*, Cabot Norit Nederland B.V. Astronaut 34, 3824 MJ Amersfoort, THE NETHERLANDS,2017. Product information.
- [29] *Cabot Norit activated carbon, Norit GAC 1240 W*, Cabot Norit Nederland B.V. Astronaut 34, 3824 MJ Amersfoort, THE NETHERLANDS,2017. Product information.
- [30] *Cabot Norit activated carbon, Norit W 35*, Cabot Norit Nederland B.V. Astronaut 34, 3824 MJ Amersfoort, THE NETHERLANDS,2017. Product information.

- [31] *Cabot Norit activated carbon, Hydrodarco® 4000 and Norit® GAC 400 Activated Carbons*, Cabot Norit Nederland B.V. Astronaut 34, 3824 MJ Amersfoort, THE NETHERLANDS, © 2017. Product information.
- [32] *Chemviron Carbon, World leader in actived carbon*, Boulevard de la Woluwe 60, bte 7 B – 1200 Bruxelles: Product information.
- [33] *Activated Carbon Purification Systems - Chemviron Carbon* [online]. [cit. 2019- 05- 18]. Dostupné z: <https://www.chemviron.eu/>
- [34] *Chemviron Carbon, Filtrasorb® 100 and 200*, Boulevard de la Woluwe 60, bte 7 B – 1200 Bruxelles: Product information.
- [35] *Chemviron Carbon, Filtrasorb® 300 and 400*, Boulevard de la Woluwe 60, bte 7 B – 1200 Bruxelles: Product information.
- [36] *ENVI-PUR: Čistírny odpadních vod a úpravny vody* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/cz/>
- [37] *ENVI-PUR, Granulované aktivní uhlí WG 12*, ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6, Česká republika. Prospektový materiál.

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Návrhové parametry flotace [3] .....	21
Tab. 4.1 Cenové relace aktivního uhlí [22] .....	40
Tab. 4.2 Druhy aktivace u GAU používaných při úpravě pitné vody [24] .....	42
Tab. 4.3 Vlastnosti GAU Norit PK 1-3 [28] .....	43
Tab. 4.4 Vlastnosti GAU Norit GAC 1240 W [29] .....	44
Tab. 4.5 Vlastnosti PAU Norit W 35 [30].....	44
Tab. 4.6 Další druhy aktivního uhlí nabízené firmou Cabot [31] .....	44
Tab. 4.7 Vlastnosti aktivních uhlí Filtrasorb [34] [35] .....	46
Tab. 4.8 Vlastnosti granulovaného aktivního uhlí WG 12 [37] .....	47
Tab. 5.1 Návrhové charakteristiky potrubí.....	49
Tab. 5.2 Dimenzování potrubí.....	49

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Blokové schéma jednostupňové úpravny vody bez separačního stupně [3] .....	4
Obr. 2.2 Schéma jednostupňové separace úpravny vody [3] .....	5
Obr. 2.3 Schéma dvoustupňové separace úpravny vody [3] .....	6
Obr. 2.4 Schéma vícestupňové separace úpravny vody [3] .....	7
Obr. 3.1 Spojení vložkové a usazovací nádrže [3] .....	10
Obr. 3.2 Prostory obdélníkové usazovací nádrže [3] .....	10
Obr. 3.3 Radiální usazovací nádrž [3] .....	12
Obr. 3.4 Kruhová usazovací nádrž s vertikálním průtokem [2] .....	13
Obr. 3.5 Čiřič se vtokem štěrbinou [3] .....	15
Obr. 3.6 Galeriiový čiřič [3] .....	16
Obr. 3.7 Čiřič Candy [2] .....	16
Obr. 3.8 Čiřič Precipitátor [2] .....	17
Obr. 3.9 Čiřič s kyvadlovým pádlem [2] .....	17
Obr. 3.10 Čiřič Accelátor [3] .....	18
Obr. 3.11 Čiřič Pulsátor [3] .....	19
Obr. 3.12 Schéma klasického uspořádání zařízení flotace [7] .....	21
Obr. 3.13 Křivka zrnitosti [3] .....	24
Obr. 3.14 Otevřený rychlofiltr [2] .....	25
Obr. 3.15 Filtr protékavý obráceně [2] .....	25
Obr. 3.16 Filtr s oboustranným průtokem [2] .....	25
Obr. 3.17 Ležatý tlakový filtr [3] .....	26
Obr. 3.18 Stojatý tlakový filtr [3] .....	26
Obr. 3.19 Klasický drenážní systém [2] .....	28
Obr. 3.20 Rychlofiltr bez mezidna [3] .....	29
Obr. 3.21 Filtr s drenážním systémem Triton [16] .....	30
Obr. 3.22 Filtr s mezidnem se zapuštěnými hlavicemi [2] .....	30
Obr. 3.23 Filtrační hlavice [2] .....	31
Obr. 3.24 Kolmatace pomalého fitru [3] .....	33
Obr. 3.25 Otevřený pomalý filtr [3] .....	34
Obr. 3.26 Zaklenutý filtr [2] .....	35
Obr. 3.27 Příklad vícevrstvé adsorpce [25] .....	37
Obr. 3.28 Příklad jednovrstvé adsorpce [25] .....	37

---

Obr. 3.29 Průniková křivka pro výšku náplně $h_1$ a $h_2$ [20] .....	38
Obr. 4.1 Struktura AU z kokosových skořápek [23].....	41
Obr. 4.2 Struktura AU z černého uhlí [23].....	41
Obr. 4.3 Struktura AU ze dřeva [23].....	41
Obr. 4.4 Aktivní uhlí Filtrasorb 100.....	45
Obr. 4.5 Granulované aktivní uhlí WG 12.....	47

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Al	hliník
AU	aktivní uhlí
BET	celkový povrch (total surface area)
ČR	Česká republika
ČSAV	Československá akademie věd
ČSSR	Československá socialistická republika
d <sub>10</sub>	zrna o velikosti ok síta, kterými projde 10 % hmotnosti písku
d <sub>60</sub>	zrna o velikosti ok síta, kterými projde 60 % hmotnosti písku
DN	jmenovitá světlost (Diameter Nominal)
Fe	železo
Filtrisorb 100	filtrační materiál vyrobený z aktivního uhlí
GAU	granulované aktivní uhlí
CHSK <sub>Mn</sub>	chemická spotřeba kyslíku pomocí KMnO <sub>4</sub>
KMnO <sub>4</sub>	manganistan draselný
Mn	mangan
PAU	práškové aktivní uhlí
pH	záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku (power of hydrogen)
Re	Reynoldsovo číslo
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
USA	Spojené státy americké (United States of America)
ÚV	úpravna vody
VUT	Vysoké učení technické
ZF	zákal jedné formazinové jednotky
ŽB	železobeton

## SEZNAM PŘÍLOH

P1. Řez a půdorys filtrem s aktivním uhlím M 1:50

## SUMMARY

The aim of this bachelor thesis was to describe water treatment processes with a mainly focus on the third stage of separation, especially on the most frequently used activated carbon.

At the beginning of the work there are described types of water treatment from the simplest one-stage treatment without separation stage or with separation stage. Water treatment from surface source with two-stage separation is used in cases of higher concentration of suspended substances and higher doses of coagulant. With a higher requirement for water quality or in the case of very polluted waters, we choose water treatment with three-stage separation.

Further, water treatment from a surface source with a tertiary degree is described. The possibilities of the first separation stage in this case are sedimentation, clarification or flotation. Various types of settling tanks and types of clarifiers are listed. The latest option of the first separation stage is flotation, where examples of use in the Czech Republic are given.

The second separation stage for surface water treatment is mainly rapid filtration. This chapter describes the filtration cycle, the filtration charge, the types of quick filters and their distribution, the method of washing and regeneration.

Subsequently, the possibilities of the third separation stage, which can be slow biological filtration or filtration on activated carbon, are described. At the end of this work is described the history of activated carbon, types, structure, production and reactivation of activated carbon. Other chapters are devoted to the current use of activated carbon, some foreign but also domestic companies that produce activated carbon are listed.

At the end of the bachelor thesis is designed activated carbon filter for design flow  $Q_n = 40 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  and filtration rate  $5.5 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ . Three filter units are selected and the design of a plan area of one unit is  $l = 3,0 \text{ m}$ ,  $b = 2,7 \text{ m}$ . Six active carbon filter pipes have been dimensioned – tab. 5.2. Part of the design is also cut and plan of filter with activated carbon – annex number 1.

The benefit of the work for me is an extension of the knowledge about water treatment with the third separation stage. I suppose that due to the increasing frequency of medicines, cleaners, cosmetics, pesticides and phenols in water sources, a third separation stage will need to be added to the water treatment plants, such as activated carbon filters.