

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Technologie čištění odpadních vod

Wastewater treatment technologies

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Gabriela Jírová

Bakalant: Lukáš Králík

Mnichovice 2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Králík

Vodní hospodářství

Název práce

**Technologie čištění odpadních vod**

Název anglicky

**Wastewater treatment technologies**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše na téma čištění odpadních vod. V úvodní části budou charakterizovány odpadní vody a jejich nebezpečné vlastnosti. Bakalářská práce se zaměří na odpadní vody ze zdravotnictví. Student podrobně popíše technologie čištění odpadních vod v historii a současnosti. V literární rešerši bude dále zahrnuta kapitola o regeneraci odpadních vod.

### Metodika

Zpracování rešerše odborné literatury k tématu.

Provede analýzu současných technologií čištění odpadních vod ve zdravotnictví.

Provede screeningové šetření čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v ČR.

Zpracování výsledků a návrhu opatření k zlepšení čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v ČR.

## Doporučený rozsah práce

cca 30 normovaných stran textu bez příloh

## Klíčová slova

Odpadní voda, čistírna odpadních vod, odpadní voda ze zdravotnictví, regenerace odpadních vod

---

## Doporučené zdroje informací

DRINAN, J. – SPELLMAN, F R. *Water and wastewater treatment : a guide for the nonengineering professional*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. ISBN 9781439854006.

H. M. A. Asghar, E. P. L. Roberts , S. N. Hussain, A. K. Campen, N. W. Brown: *Wastewater treatment by adsorption with electrochemical regeneration using graphite-based adsorbents*. Springer Science+Business Media B.V. 2012

Kümmerer K (2004) *Pharmaceuticals in the environment*, 2nd edn. Springer Verlag, Heidelberg-Berlin

LOFRANO, G. *Green technologies for wastewater treatment*. New York: Springer, 2012. ISBN 9789400714298.

RIFFAT, R. *Fundamentals of wastewater treatment and engineering*. Boca Raton, Fla. ; London: CRC Press/Taylor & Francis, 2013. ISBN 9780415669580.

---

## Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Gabriela Jírová

## Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

## Konzultant

MUDr. Magdaléna Zimová, CSc.

---

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2016

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 7. 11. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 20. 04. 2017

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Technologie čištění odpadních vod“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce paní Ing. Gabriely Jírové. Další informace mi poskytla paní MUDr. Magdaléna Zimová, CSc. V přehledu literatury a použitých zdrojů jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Mnichovicích dne 25.4.2017

---

Lukáš Králík

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Gabriele Jírové za její cenné rady, náměty a připomínky, které přispěly ke zkvalitnění celé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval pracovníkům nemocnic za prohlídky a za poskytnutí cenných informací.

V Mnichovicích dne 25.4.2017

---

Lukáš Králík

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zaměřuje na téma čištění odpadních vod. A to jak z pohledu historie, tak i současnosti.

Vychází z norem, zákonů a jiných právních předpisů platných pro Českou republiku.

Představuje a prezentuje nebezpečné vlastnosti odpadních vod. Jsou zde též uvedeny možnosti regenerace odpadních vod. Formou screeningového šetření je zde prezentováno čištění a odvádění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v ČR.

Tato bakalářská práce by měla být přínosem v orientaci, jak problematiky odpadních vod, tak i technologií na jejich čištění.

**Klíčová slova:**

Odpadní voda, čistírna odpadních vod, odpadní voda ze zdravotnictví, regenerace odpadních vod.

**Abstract:**

This thesis focuses on the topic of wastewater treatment. And in terms of both history and the present.

Based on standards, codes, other laws and regulations applicable in the Czech Republic.

Presents presents hazardous properties of waste water. There are also mentioned the possibility of regeneration wastewater. Through screening survey is presented here Wastewater from health facilities in the country.

This work should be beneficial according to the orientation as wastewater issues and the technology for their cleaning.

**Keywords:**

Wastewater, wastewater treatment, wastewater from health, regeneration wastewater.

# Obsah

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>CÍLE PRÁCE .....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1      | CÍL PRÁCE .....  | 2         |
| 2.2      | METODIKA .....   | 2         |
| <b>3</b> | <b>HISTORIE .....</b>  | <b>3</b>  |
| 3.1      | VÝVOJ A SOUČASNÝ STAV ČISTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V EVROPĚ A V ČR .....        | 6         |
| <b>4</b> | <b>ODPADNÍ VODY.....</b>   | <b>13</b> |
| 4.1      | DŮLEŽITÉ POJMY A UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ VOD .....                          | 14        |
| 4.1.1    | Teoretická spotřeba kyslíku (TSK) .....                                  | 14        |
| 4.1.2    | Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) .....                                 | 14        |
| 4.1.3    | Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) .....                                   | 15        |
| 4.1.4    | Stanovení organického uhlíku ( $C_{org}$ ) .....                         | 15        |
| 4.1.5    | Amoniační dusík (N-amon) .....   | 15        |
| 4.1.6    | Koncentrace celkového dusíku a fosforu ( $N_{celk}$ a $P_{celk}$ ) ..... | 16        |
| 4.1.7    | Neutralizační kapacita vody (NK) .....                                   | 16        |
| 4.1.8    | Zvláště ekologicky závažné látky .....                                   | 16        |
| 4.2      | DRUHY ODPADNÍCH VOD .....  | 19        |
| 4.2.1    | Splaškové odpadní vody .....   | 19        |
| 4.2.2    | Infekční odpadní vody .....  | 20        |
| 4.2.3    | Průmyslové odpadní vody .....  | 23        |
| 4.2.4    | Odpadní vody ze zemědělství a zemědělské výroby .....                    | 25        |
| 4.2.5    | Srážkové (dešťové) odpadní vody .....                                    | 25        |
| 4.2.6    | Městské odpadní vody .....   | 25        |
| 4.2.7    | Balastní odpadní vody .....  | 26        |
| 4.3      | ODVÁDĚNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD ZE ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ.....         | 27        |
| <b>5</b> | <b>TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....</b>                            | <b>28</b> |
| 5.1      | MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....                                    | 30        |
| 5.1.1    | Česle a síta .....   | 30        |
| 5.1.2    | Lapáky písku.....  | 32        |
| 5.1.3    | Lapák štěrku.....  | 33        |
| 5.1.4    | Lapáky tuků.....   | 34        |
| 5.1.5    | Usazovací nádrže.....  | 34        |
| 5.1.6    | Zahušťovací nádrže .....   | 36        |
| 5.2      | BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....                                   | 37        |
| 5.2.1    | Obecné základy biochemických procesů – terminologie.....                 | 37        |
| 5.2.2    | Aktivační proces .....   | 39        |
| 5.2.3    | Systémy s biomasou ve vznosu .....                                       | 40        |
| 5.2.4    | Aerace aktivačních nádrží .....  | 41        |
| 5.2.5    | Selektorová aktivace .....   | 43        |
| 5.2.6    | Systémy se směsnou kulturou ve formě nárostu – biofilmové reaktory ..... | 43        |
| 5.2.7    | Systémy kombinující kultivaci biomasy v suspenzi a v biofilmech .....    | 45        |
| 5.2.8    | Odstraňování nutrientů.....  | 46        |
| 5.3      | CHEMICKÉ A FYZIKÁLNĚ CHEMICKÉ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....        | 49        |
| 5.3.1    | Filtrace .....   | 49        |
| 5.3.2    | Membránové separační procesy .....                                       | 52        |
| 5.3.3    | Difúzní procesy.....   | 54        |
| 5.3.4    | Termické procesy čištění odpadních vod.....                              | 58        |
| 5.3.5    | Chemická oxidace a redukce.....  | 60        |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.3.6    | Dezinfekce .....   | 62        |
| 5.4      | REGENERACE ODPADNÍCH VOD .....   | 65        |
| 5.4.1    | Membránový biologický reaktor (MBR).....   | 65        |
| 5.4.2    | Terciární čištění odpadních vod .....  | 66        |
| 5.4.3    | Legislativa .....  | 66        |
| <b>6</b> | <b>SCREENINGOVÉ ŠETŘENÍ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD ZE ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ V ČR.....</b> | <b>68</b> |
| <b>7</b> | <b>DISKUZE .....</b>   | <b>74</b> |
| <b>8</b> | <b>ZÁVĚR – NOVÉ POZNATKY A ZPŮSOBY ŘEŠENÍ DANÉHO PROBLÉMU .....</b>                    | <b>76</b> |
| <b>9</b> | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>  | <b>77</b> |
| 9.1      | SEZNAM OBRÁZKŮ.....  | 80        |
| 9.2      | SEZNAM TABULEK.....  | 82        |

# 1 ÚVOD

Bakalářská práce je řešena postupně od historie čištění odpadních vod (jak ve světě, tak i v České republice), po současné technologie v této oblasti.

Pro odpadní vody jsou důležité ukazatele znečištění vod (jako jsou například teoretická spotřeba kyslíku TSK, biochemická spotřeba kyslíku BSK, chemická spotřeba kyslíku CHSK apod.). Nesmí se opomenout zvláště ekologicky závažné látky jako jsou antibiotika, cytostatika apod. Neméně důležitá je zde specifikace druhů odpadních vod a dle toho dobře zvolená technologie pro čištění odpadních vod.

Základní dělení technologií pro čištění odpadních vod je následující:

- mechanické čištění (primární) – odstranění plovoucích, vláknitých látek, zrnitých suspenzí, tuků a emulzí.

- biologické čištění – odstranění rozložitelných organických látek, dusíkatých látek a biologické odstranění fosforu

- fyzikálně – chemické procesy (terciální čištění) – odstranění zbytkového znečištění a zvýšení jakosti vyčištěné vody

Při nakládání s odpadními vodami vycházíme ze zákona č. 254/2001 Sb., o vodách. Odpadní voda je ta, která se znečištěním dále nehodí pro svůj původní účel – její kvalita byla narušena lidskou činností. Specifikace znečišťujících látek vedoucích ke znečištění vody zahrnuje širokou škálu chemických, patogenních a fyzických zdrojů. Odpadní vody ze zdravotnických zařízení zahrnují komponenty různého fyzikálního, chemického a biologického materiálu, který vyžaduje zvláštní nakládání a odstraňování vzhledem ke specifickému riziku (infekční, genotoxické váhy, léčiva, radioaktivní látky).

Odpadní vody mohou být nebezpečné, neboť obsahují velké množství zdravotně závadných látek, ale po procesu čištění a úpravy mohou být využity na zalévání (odpadní vody), pro produkci energie (aktivovaný kal pro anaerobní bakterie – bioplyn) anebo jako hnojivo (vyhnilý, anaerobní stabilizovaný kal).

Ze screeningového šetření, které jsem prováděl ve vybraných zdravotnických zařízeních vyplývá stav odvádění odpadních vod z nemocničních zařízení.

## **2 CÍLE PRÁCE**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše na téma čištění odpadních vod.

V úvodní části budou charakterizovány odpadní vody a jejich nebezpečné vlastnosti. Bakalářská práce se zaměří na odpadní vody ze zdravotnictví. Student podrobně popíše technologie čištění odpadních vod v historii a současnosti. V literární rešerši bude dále zahrnuta kapitola o regeneraci odpadních vod.

### **2.2 Metodika**

Byla provedena literární rešerše na téma technologie čištění odpadních vod a byly popsány jednotlivé typy odpadních vod.

Bylo provedeno screeningové šetření čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v ČR.

Bylo provedeno zpracování výsledků a návrh opatření ke zlepšení čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v ČR.

### 3 Historie

Průmyslová revoluce přinesla společnosti mnoho prospěchu, ale vzrůstající vývoj přinášel řadu problémů. Jak se civilizace vyvíjela, lidé se kumulovali na menší území, města a průmyslové části byly provázány upadajícími sanitárními podmínkami a rozmachem vodou roznášených nemocí. Cholera, mor a další nemoci byly nejvíce rozšiřovány znečištěvanou vodou.

Odvádění odpadních vod tak, jak je známo dnes, neexistovalo. Byly už suché klozety, ale nebyly ještě známy vodní klozety a splachovací klozety. Bylo obvyklé, že voda byla přivedena do domu, ale byla přiváděna ze studny nebo vodního toku. Jedinou kanalizací byly příkopy, které odváděly špinavou vodu z ulic do nejbližšího vodního toku. Velmi málo vody bylo používáno pro hygienické účely a odpadky byly často vyhazovány přímo z domu na ulici. V takových podmínkách byly lidé a jejich domy špinavé a ulice byly zaplněny zapáchajícími odpadky, které přitahovaly hmyz a krysy. Nemoci byly tehdy velmi časté a řada nemocí byla způsobena znečištěnou vodou, mlékem, zdrojem pitné vody a nepříznivými sanitárními podmínkami.

Prvním krokem k nápravě této situace byla úvaha, že je nutno zajistit pro domácnost zdroj čisté vody a instalovat splachovací záchody.

Dalším požadavkem byly stoky a organizovaný sběr odpadu. Na začátku 19. století mělo velmi málo domů vlastní koupelnu. Splachovací záchod byl vyvinut na začátku 19. století, ale paradox byl, že rozšíření stokových systémů, které odváděly vodu způsobilo další problémy v řekách a změnilo je v podstatě ve stoky. Nekontrolované vypouštění městských průmyslových vod do vodního toku často přesahovalo možnosti přírody čistit vodu. Kvalita většiny řek se začala snižovat.

Čištění odpadních vod jako takové před rokem 1900 existovalo pouze závlahou odpadními vodami. Toto čištění bylo prováděno na tzv. farmách, kde odpadní voda byla používána k zavlažování a růstu obilí. Tento způsob nebyl vždy úspěšný a velkým problémem bylo ucpávání. Protože schopnost půdy přijímat vodu byla limitována, bylo stále těžší najít dostatečné množství půdy na zavlažování odpadními vodami. Na jednoho obyvatele bylo třeba asi 10 m<sup>2</sup> půdy. Rozvoj průmyslu a chemických procesů vedl navíc k problémům se vzrůstem rozmanitosti odpadních vod.

Jako alternativa čištění odpadních vod bylo tenkrát považováno, že pevné látky mohou být extrahovány chemickou precipitací a přeměněny na hnojivo a aplikovány do půdy. Chemická precipitace nebyla docela úspěšná, protože odváděl-li se čištěný odtok do toku, stále obsahoval spoustu organické hmoty. Bylo tedy nutné začít s koagulací. Velké množství kalu způsobovalo problémy a výroba hnojiva z kalu nebyla profitující. Chemická precipitace tedy jako metoda čištění postupně ztratila smysl a přestala se používat. Je až obdivuhodné, že počátky konečného rozřešení efektivního čištění se objevily již v roce 1870 s prací sira Erwina Franklina, který stanovil základní principy filtrace přes půdu, od kterých byla moderní praxe čištění odpadních vod vyvinuta.

V roce 1882 Warrington napsal: “Odpadní voda obsahuje organismy pro svou vlastní destrukci a tyto mohou být pro tento efekt kultivovány.“ Jako první doporučil ideu filtračního lože, které bude mít větší oxidační kapacitu než běžná půda. Diodyn v roce 1887 řekl, že pravděpodobně správná cesta čištění odpadní vody je nejprve separovat kal a potom vybrat správný organismus, speciálně jej kultivovat, držet tuto vodu přes určité období, přes které bude voda aerována a dále bude vypouštěna do toku jako vyčištěná. Idea, že se jednou bude čistit kal biologicky byla v té době revoluční, ale farmy na čištění odpadních vod ukázaly, že odpadní voda, která protéká přes písčitou štěrkovou půdu se stává méně znečištěnou a z toho vznikla idea přirozené půdy, která dále vedla přes kompaktní lože k moderním biologickým filtrům.

U velkých měst vznikaly čistírny odpadních vod, které odstraňovaly přerušovanou sedimentací usaditelné látky. Usazovací nádrž byla naplněna, pak byla stažena voda, a nakonec byl vyhrnut usazený kal. Vypouštěná voda měla však neuspokojivé vlastnosti, proto byla ještě podrobena filtraci přes pískové lože. Jestliže přítok odpadních vod nebyl velký, nebylo hospodárné pečovat o plnění a prázdnění dekantačních nádrží a byla použita usazovací nádrž průtočná bez soustavného vyklizení kalu. Z tohoto způsobu čištění se vyvinulo anaerobní tříkomorové čištění a septiky. Snaha po separaci hnijící vody od vody čerstvé vedla k vynálezům šterbinových nádrží a v zdokonalené formě k emšerským studnám. První pokusy s vyhníváním kalu začaly v roce 1910 a v roce 1914 byla postavena první velká ČOV s vyhníváním kalu. Vyhnívaná vyhnívací nádrž byla vyvinuta v Německu v 20-tých letech. Z tohoto vývoje vyplynula dodnes uznávaná zásada o postupném odstraňování jednotlivých druhů látek v čistírenských celcích.

V roce 1912 byly v Anglii poprvé stanoveny standardy na vypouštění odpadních vod do řeky. Královská společnost stanovila, že odtok nesmí obsahovat více než 30 mg. l<sup>-1</sup> suspendovaných látek a více než 20 mg. l<sup>-1</sup> BSK<sub>5</sub>. Podle tohoto známého 30-20 standardu jsou dodnes v Anglii projektovány některé ČOV.

Od té doby zaznamenalo čištění odpadních vod obrovský rozmach. Orientovat se v nabízených technologiích čištění odpadních vod je stále obtížnější. (Hlavínek, Hlaváček, 1996)

### 3.1 Vývoj a současný stav čištění odpadních vod v Evropě a v ČR

Úroveň odvádění splaškových vod od obyvatelstva i kapalných odpadů vznikajících při průmyslové a zemědělské činnosti vypovídá mnohdy více o kulturním, sociálním, technickém a ekonomickém stupni rozvoje dané společnosti, než počet vystavěných chrámů, tuny produkce určité, komodity na hlavu či počet prosperujících bankovních domů v zemi. Stokování a čištění odpadních vod je odrazem péče dané společnosti o to, co se dnes nazývá poněkud módním termínem trvale udržitelný rozvoj. Zasedání řídicího výboru projektu Evropské unie COST 682 Integrované hospodaření s odpadními vodami v lednu 1996 v Budapešti sice ukázalo, že zejména z energetického hlediska nejsou současné způsoby odvádění a čištění odpadních vod vhodné pro rozšíření v celosvětovém měřítku i za hranici r. 2000, ale představují z technického i ekonomického hlediska ten nejschůdnější způsob hygienicky přijatelného nakládání s odpadními vodami na současném stupni rozvoje civilizované společnosti.

Velké metropole starověkého světa, ať již ve Středomoří či v Asii, byly z hlediska stokování vybaveny; mnohem dokonaleji než hlavní města ranně středověkých křesťanských států. Z historie antiky jsou známy i pokusy čistit centrálně odvedené splaškové vody metodami, které jsou dnes znovu zaváděny pod hlavičkou „příroda, metody čištění odpadních vod.“ Vezme-li Prahu jako příklad evropského města vzniklého na úsvitu středověku, pak otázka odvádění splaškových vod nehrála v prvních stoletích její existence žádnou významnou roli. První doloženou zmínkou je zpráva o odkanalizování domu hradčanského probošta z r. 1310 v dnešní Nerudově ulici. Úřad čističe městských struh byl v Praze zaveden v r. 1340. V r. 1660 je dokončeno odvodnění areálu jezuitské koleje v Klementinu proplachovací kanalizací jako první větší dílo zdravotního inženýrství v Praze. Až do začátku 19. století se však nedá hovořit o systematickém odkanalizování města.

O mnoho lepší nebyla situace ani v jiných metropolích „osvícené“ Evropy. Systematičtěji je budována stoková síť až na přelomu 18. a 19. století.

Ani Praha nezůstala pozadu za velkými evropskými městy a začíná v té době cílevědomě odvodňovat své území. V letech 1818-1828 je zde vybudováno z popudu

místodržícího Chotka prvních 44 km stokové sítě. V r. 1865 vzniká úřad spravující pražskou kanalizaci a r. 1876 Komitét pro řešení kanalizačních otázek.

Odváděním odpadních vod stokovou sítí se sice zlepšily hygienické podmínky ve městech, ale problém znečištění se přenesl do recipientů. To nevedlo do té doby, než se říční voda stala významným zdrojem průmyslové i pitné vody. Např. v Praze byly studny rozhodujícím zdrojem pitné vody až do 1.1.1914, kdy byla do Prahy přivedena nezávadná jizerská voda z Káraného.

Nejvíce se problémy se znečištěním toků projeví v Anglii, která byla v té době zemí s největší koncentrací obyvatelstva a průmyslu, a tedy i znečištění, ve velkých městských aglomeracích. Opakované hygienické problémy v anglických městech (např. velké epidemie cholery v Londýně ještě v 60. letech 19. století), ale zejména požadavky průmyslu na kvalitní vodu, vedly k nutnosti se kvalitou vody v řekách systematicky zabývat. V r. 1865 byla založena první Royal Commission on River Pollution, jejíž činnost (a její nástupkyně z r. 1874) vedla k vydání zákona na ochranu řek před znečištěním (Rivers Pollution Prevention Act, 1876). Samotný zákon však neměl valné účinnosti bez příslušných technických prostředků na ochranu řek. Za zlom ve vývoji čistírenských technologií je považováno založení Royal Commission on Sewage Disposai r. 1898. Tato komise koordinovala úsilí věnované poznání faktorů ovlivňujících kvalitu vody v recipientech i vývoji a ověřování čistírenských postupů. Výsledkem těchto snah jsou např. metoda doporučená r.1908 pro hodnocení organického znečištění recipientu stanovením BSK<sub>5</sub>, používaná dodnes, či různé modifikace biofiltrů od periodicky pracujících s ponořovanou náplní až po kontinuální zkrápěné biofiltry.

Vývoj čištění odpadních vod v Anglii dospěl až k vynálezu aktivačního procesu v r. 1914. S tímto objevem jsou spojena jména Ardem, Lockett a Fowler. Podle sdělení prof. Maděry, který měl možnost se s Fowlerem setkat při své studijní cestě po anglických čistírnách v r. 1936, byla velkým impulsem k tomuto vynálezu předcházející Fowlerova cesta do experimentální stanice Lawrence ve státě Massachusetts v r. 1912. Tato stanice byla ve své době jedinečným zařízením, kde se vyvíjely a ověřovaly různé čistírenské postupy, mj. i aerace odpadní vody. Je však neoddiskutovatelnou zásluhou britských inženýrů, že pochopili význam a funkci suspenze vznikající při této aeraci, a dokázali této suspenze („aktivovaného kalu“) využít k intenzifikaci čistícího procesu. Určitou zajímavostí byl fakt, že autoři svůj



proces nepatentovali, ale pouze publikovali jeho principy, tak aby mohl být volně používán. Přesto se však našla firma (Activated Sludge Co., Ltd.), které se podařilo proces patentovat a požadovanými vysokými poplatky za využívání patentu „úspěšně“ bránit šíření aktivačního procesu mimo Anglii po dobu platnosti patentu (tj. až do začátku 2. světové války).

Na evropském kontinentě se stokování a čištění odpadních vod rozvíjelo nejvíce v Německu, kde působila i řada anglických odborníků. Z našeho pohledu bylo nesporně významné působení rodiny Lindleyů. Otec, Sir William Lindley, nar. 1808 v Londýně, vybudoval kanalizaci např. pro města Hamburk, Frankfurt n. Mohanem, Varšava, Bělehrad či Petrohrad. Jeho syn, Sir William H. Lindley, nar. 1854 v Hamburku, studoval nejdříve na londýnské univerzitě práva, později však, "nemaje záliby v tomto povolání, oddal se studiu věd technických na téže universitě". Jako inženýr dokončoval některé důležité otcovy projekty (např. kanalizace Varšavy), a poté zaujal významnou pozici stavebního rady a ředitele kanalizační kanceláře ve Frankfurtě n. Mohanem. V této době se jeho osud kříží s vývojem čistírenství v českých zemích. Tehdy ještě prozíraví otcové kr. hl. města Prahy usoudili, že další rozvoj města z ospalého provinčního hnízda v moderní, průmyslovou evropskou metropoli není myslitelný bez řádně fungující stokové soustavy i následného čištění odvedených odpadních vod. V r. 1883 byl zřízen Samostatný stavební úřad kanalizační a v r. 1888 byla ustavena Kanalizační kancelář magistrátu města Prahy, která plnila svou funkci až do poloviny 20. století. V r. 1884 vypisuje magistrát soutěž na odkanalizování historického jádra města. Soutěž je opakovaně vypsána v r. 1889 jako mezinárodní a podmínky soutěže jsou doplněny o výstavbu čistírny odpadních vod. Vyhodnocením soutěže je pověřen rada Lindley, který dochází k závěru, že žádný ze soutěžních návrhů neodpovídá potřebám kr. hl. m. Prahy. Přes ostré námitky české odborné veřejnosti, zejména z řad profesorů Českého vysokého učení technického, je rada Lindley pověřen r. 1893 vypracováním generálního plánu pražské stokové sítě i projektu „kanalizační“ čistírny. Stoková síť postavená dle projektu rady Lindleye slouží městu Praze dodnes. Progresivním prvkem v projektu Lindleyově byl fakt, že do generálního plánu zahrnul nejen historická města pražská, ale i tehdejší pražská předměstí, která se posléze rychlým vývojem města Prahy stala jeho nedílnou součástí. Díky prozíravosti plánu rady Lindleye tak byl zajištěn nerušený plošný rozvoj pražské aglomerace až do 2. poloviny 20. století. Lindleyův projekt ovšem nekončil vyústí

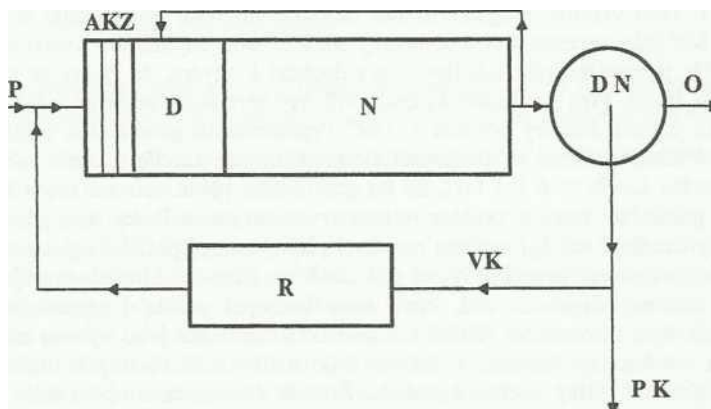
stok do řeky. Naopak, Lindley vyprojektoval, a pod jeho dozorem byla postavena čistírna odpadních vod, která svou koncepcí patřila k nejmodernějším na kontinentě. Jádrem použité technologie bylo mechanické čištění s možností intenzifikace jeho výkonu chemickým srážením. Tato unikátní stavba byla uvedena do provozu v červnu 1906 a díky řadě šťastných okolností byla uchována v původním stavu do dnešních dnů. Díky iniciativě podniku Pražské kanalizace a vodní toky, Asociace čistírenských expertů ČR a Nadace ekotechnického muzea se mohla česká vodohospodářská veřejnost seznámit s historií i stavem této památky v rámci oslav uskutečněných 4. a 5. září 1996. Realizací projektu rady Lindleye se Praha stala i jednou z prvních metropolí na kontinentě vybavených nejen stokovou sítí, ale i odpovídajícím čištěním odpadních vod. Předstihla tak i ostatní sídelní města v rámci tehdejšího Rakousko-Uherského mocnářství. V rámci objektivní historické pravdy nutno ovšem zmínit čistírnu pro město Modling u Vídně, vybavené již v r. 1904 mechanicko-biologickou čistírnou odpadních vod s využitím biofiltrů s přerušovaným provozem, projektovanou opět anglickými odborníky.

Působením rady Lindleye však vývoj čistírenství u nás nekončí. V r. 1910 je uveden do provozu první zkrápěný biofiltr v rámci Rakouska-Uherska zpracovávající odpadní vody z paláce Rádium v lázních Jáchymov; zhruba ve stejné době je realizován velký zemní filtr v Mariánských Lázních. Zásluhou Ing.-Dr. Maděry, pozdějšího profesora ČVUT a VŠCHT, tehdejšího referenta a poté rady i přednosta kanalizační kanceláře magistrátu hl. m. Prahy, je v r. 1929 založena na pražské ČOV první laboratoř pro chemii a mikrobiologii odpadních vod ve střední Evropě. Prof. Maděra je rovněž autorem technologického návrhu prvních aktivací v Československu v Praze v Jinonicích a v Hostivaři i prvního vysokozatěžovaného biofiltrů s recirkulací v Kaznějově v 30. letech.

Vývoj čistírenství u nás neustává ani po druhé světové válce. V letech 1965-1967 je uvedena do provozu na Císařském ostrově v Praze největší aktivační čistírna ve střední Evropě. Pod vedením prof. Maděry vzniká na VŠCHT Praha dodnes věhlasná škola aktivačního procesu, mezi jejíž ve světě nejznámější práce patří studie o kinetické selekci, akumulaci a regeneraci a metabolické selekci. Mocným impulsem pro další rozvoj československého čistírenství bylo přijetí nového zákona o vodách (vodního zákona) č. 138/1973 Sb., v němž je vypouštění odpadních vod upraveno paragrafem 23, který v odstavci 1 říká: "Kdo vypouští odpadní nebo zvláštní vody do

vod povrchových nebo podzemních, je povinen dbát, aby jakost povrchových nebo podzemních vod nebyla ohrožena nebo zhoršena. Za tím účelem je povinen zejména zajišťovat zneškodnění vypouštěných vod způsobem odpovídajícím současnému stavu technického pokroku." Toto ustanovení bylo formulováno natolik prozíravě, že dodnes poskytuje základní právní rámec pro vypouštění odpadních vod. Protože není možné zákonem upřesnit požadavek vyslovený v druhé větě odst. 1 §23, neboť současný stav technického pokroku by se měl měnit rychleji, než bývá zvykem za normálních okolností měnit zákony, je současný stav technického pokroku v oblasti vypouštění odpadních vod v našem právním řádu definován nepřímou, a to prostřednictvím přípustného znečištění vod, ke kterému smí v důsledku vypouštění odpadních vod dojít. V odst. 2 §23 se proto říká: "Při povolování vypouštění odpadních a zvláštních vod (§8) je vodohospodářský orgán vázán ustanovením tohoto zákona, ukazateli přípustného znečištění vod a předpisy o zdraví lidu. Ukazatele přípustného stupně znečištění vod stanoví vláda republiky."

Prvním takovým ustanovením bylo nařízení vlády České socialistické republiky č. 25/1975 Sb., nahrazené později nařízením vlády České republiky č. 171/1992 Sb. Rozbor těchto právních norem, který provedla Asociace čistírenských expertů ČR v rámci grantu MŽP ČR č. GA MŽP/1686/94 ukázal, že se jednalo v obou případech o principiálně progresivní legislativní normy, mající pozitivní dopad do sféry vývoje čistírenských technologií. Hlavní slabinou nař. vl. č. 25/1975 Sb. tak zůstaly neadekvátní ekonomické možnosti tehdejší společnosti uvést tuto právní normu v život bez výjimek. Nicméně snaha technologů vypořádat se s požadavky této právní normy vedla k tomu, že do naší čistírenské praxe byly zaváděny nejprogresivnější technologie v té době dostupné, či byly věnovány dostatečné prostředky na vývoj původních československých technologií. Kromě již výše zmíněných aplikací poznatků o kinetické a metabolické selekci lze za hlavní přínos české čistírenské školy v 80. letech považovat vývoj tzv. R-D-N procesu. Tento proces, schematicky znázorněný na obr. 1, je dnes používán nejen na řadě českých ČOV (z posledních instalací např. Pacov, Liberec, Plzeň, Pelhřimov), ale je běžný i v zahraničí (Švédsko, Španělsko, Francie).



Obr. 1: Schéma R-D-N Procesu (Hlavínek a kol., 2003)

P – přítok; O – odtok; IR – interní recirkulace, VK – vratný kal, PK – přebytečný kal, AKZ – anoxická kontaktní zóna, D – denitrifikační zóna, N – nitrifikační zóna, R – regenerační zóna

Rovněž další čistírenské technologie používané v České republice snesou srovnání s běžným technologickým standardem v zemích EU či v USA. Na rozdíl od obecného povědomí pěstovaného sdělovacími prostředky lze tedy konstatovat, že úroveň stokování i čištění odvedených odpadních vod snese srovnání s řadou členských zemí EU. K podobným závěrům dospěl i Somlyódy v roce 1993 ve své zprávě pro Světovou banku. Srovnání s ostatními zeměmi střední a východní Evropy, které připravil, je uvedeno v Tabulce 1.

| Země                      | Polsko | ČR   | SR  | Maďarsko | Bulharsko |
|---------------------------|--------|------|-----|----------|-----------|
| Obyvatelstvo [mil.]       | 38,2   | 10,3 | 5,3 | 10,4     | 9         |
| Zásobováno vodou [%]      | 90     | 96   | 76  | 92       | 98        |
| Odkanalizováno [%]        | 80     | 94   | 51  | 51       | 67        |
| Čištěno odpadních vod [%] | 60     | 82   | 42  | 42       | 59        |
| Počet měst                | 152    | 51   | 27  | 52       | 45        |

Tabulka 1: Stokování a čištění odpadních vod ve střední a východní Evropě pro města s více než 25 tis. obyvatel (Hlavínek a kol., 2003)

Na již výše zmíněném zasedání řídicího výboru projektu Evropské unie COST 682 Integrované hospodaření s odpadními vodami (leden 1996, Budapešť) se mohl autor tohoto příspěvku přesvědčit, že podíl čištěných městských odpadních vod v ČR je vyšší, než zde bylo uváděno pro členské země EU jako Belgie, Itálie, Portugalsko, Řecko a Španělsko. Specializované konference IAWQ o Navrhování a provozu

velkých čistíren odpadních vod, konané v posledních letech v Praze (1991) a ve Vídni (1995) ukázaly, že v oblasti návrhových postupů, aplikovaných technologií i v řešení provozních problémů není ČR nikterak pozadu za mezinárodním

vývojem. Rostoucí počet čistíren odpadních vod u nás dává i jedinečnou příležitost získávat rozsáhlé soubory provozních dat, které nám umožní zvyšovat spolehlivost návrhových postupů i verifikovat nové matematické modely čistírenských procesů. (Hlavínek a kol., 2003)

## 4 Odpadní vody

Odpadní vody jsou vody použité v průmyslových, obytných, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (teplotu nebo složení), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost podzemních nebo povrchových vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních. Dále jsou odpadními vodami průsakové vody ze skládek odpadů. (Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách)

Odpadní vodou lze nazývat vodu, která po použití mění svoje vlastnosti - fyzikální (teplota, barva, vodivost apod.), chemické (pH, tvrdost vody apod.). Zejména pokud může ovlivnit jakost povrchových nebo podzemních vod.

Mezi odpadní vody řadíme:

- všechny druhy odpadních vod odváděných stokovou sítí (ať už se tam dostaly jakkoliv),
- vody z drenážních systémů jako součásti zařízení k odvodnění pozemních staveb,
- odčerpávané podzemní vody z hydraulické ochrany u průmyslových objektů – sklady ropných látek, rafinérie, odkaliště z energetických, rudných nebo chemických výrobních, průzkumy těžební činnosti,
- vody, jakkoliv znečištěné z výrobního provozu příp. v důsledku vlhkosti suroviny,
- tekuté odpady (např. kejda).

(Hlavínek a kol., 2003)

## 4.1 Důležité pojmy a ukazatele znečištění vod

Většina odpadních vod obsahuje pestrá směs různých organických látek. Kvantitativní i kvalitativní stanovení jednotlivých sloučenin by bylo velmi pracné a zdlouhavé, a proto se neprovádí. Jen v málo případech se stanovují některé látky, například těkavé mastné kyseliny, fenoly, anionaktivní tenzidy a podobně. Obvykle se stanovuje skupina příbuzných látek pomocí jednoho standardu, proto se toto stanovení nazývá skupinové. Do skupinových stanovení řadíme metody, kterými se stanovuje suma všech organických látek pomocí kyslíku spotřebovaného na jejich oxidaci. První základní metoda používající chemické oxidace se nazývá chemická spotřeba kyslíku a druhá základní metoda založená na biochemické oxidaci se nazývá biochemická spotřeba kyslíku. Tyto dvě základní metody se používají po celém světě a vývoj směřuje k jejich sjednocení. (Chudoba, 1991)

### 4.1.1 Teoretická spotřeba kyslíku (TSK)

Specifickou hodnotu teoretické spotřeby kyslíku je možné vypočítat pro každou organickou sloučeninu. TSK udává množství kyslíku v gramech potřebného na úplnou oxidaci (podle stechiometrie) jednoho gramu dané látky. Specifická hodnota TSK obecně závisí na elementárním složení dané sloučeniny a na předpokládaných produktech oxidace. (Dohányos a kol., 2007)

### 4.1.2 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

BSK se používá jako míra znečištění odpadních vod. To nám dává představu o množství biologicky rozložitelných organických látek, které jsou přítomné v odpadní vodě. BSK je definováno jako množství rozpuštěného kyslíku spotřebovaného mikroorganismy při aerobní oxidaci organických látek při kontrolované teplotě 20 °C po stanovenou dobu. (Riffat, 2013)

Doba, po kterou test probíhá, vyjádřená počtem dnů se uvádí do dolního indexu za zkratku BSK (např. BSK<sub>5</sub>, BSK<sub>7</sub> atd.). V angličtině se pro vyjádření BSK využívá zkratka BOD (Biochemical Oxygen Demand). Udává se v mg/l.

Stanovení se provádí ve vhodných inkubačních nádobách. Do nádob je umístěn vzorek nasycený kyslíkem. Sleduje se koncentrace kyslíku, která postupně klesá v důsledku jeho spotřeby mikroorganismy rozkládajícími organické látky.

Spotřebu na oxidaci organických látek určíme pomocí rozdílu na počátku (nultý den) a na konci (pátý den) testu. (Švehla, 2012)

#### 4.1.3 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) znázorňuje množství chemicky oxidovatelných látek, přítomných v odpadní vodě. (Drinan, 2013)

CHSK se stanovuje jako množství kyslíku, potřebné na chemickou oxidaci všech organických látek. Při stanovení chemické spotřeby kyslíku se do vzorku vody přidá známé množství oxidačního činidla, vzorek se umístí do varné nádoby uzavřené zpětným chladičem a vaří se dvě hodiny. Oxidovatelné látky (prakticky všechny organické látky) chemicky oxidují. Následně se se zjišťuje zbytkový obsah oxidačního činidla a ze zjištěných hodnot se vypočítá CHSK. Jako oxidační činidla se používají dvojchroman draselný ( $K_2Cr_2O_7$ ) při analýze odpadních vod nebo manganistan draselný ( $KMnO_4$ ) při analýzách pitných vod. Použitá metoda se značí dolním indexem za CHSK ( $CHSK_{Cr}$ ,  $CHSK_{Mn}$ ). (Pošta a kol., 2005)

#### 4.1.4 Stanovení organického uhlíku ( $C_{org}$ )

Organický uhlík ( $C_{org}$ ) se stanovuje jako další skupinový ukazatel celkového organického znečištění. Použití tohoto ukazatele je (bylo) podmíněno rozvojem analyzátorové techniky. (Pošta a kol., 2005)

Organické látky se vyjádří nepřímo jako organický uhlík. Princip stanovení je založen na oxidaci organického uhlíku na  $CO_2$ . Oxidaci je možné realizovat mokřím nebo termickým způsobem. (Chudoba, 1991)

#### 4.1.5 Amoniaální dusík (N-amon)

Amoniaální dusík, je i v malých koncentracích jedovatý pro ryby a další vodní organismy. Toxicky působí především jeho nedisociovaná forma výskytu N-amon –  $NH_3$ . Při rostoucí hodnotě pH roste i procento výskytu amoniaálního dusíku. (Švehla a kol., 2004)



#### 4.1.6 Koncentrace celkového dusíku a fosforu ( $N_{\text{celk}}$ a $P_{\text{celk}}$ )

Při vypouštění vyčištěných odpadních vod má obrovský význam koncentrace celkového dusíku a fosforu. Při vysokých koncentracích celkového fosforu a dusíku může v přírodních vodách docházet k eutrofizaci.

Přísun anorganických živin porušuje biologickou rovnováhu. Vede k zvýšené produkci fytoplanktonu. Tím vzniká sekundární znečištění vody organickými látkami. Dochází ke zhoršení organoleptických vlastností vody, a i k tvorbě toxických organických látek. (Švehla a kol., 2004)

#### 4.1.7 Neutralizační kapacita vody (NK)

Neutralizační kapacita vody – NK udává množství jednosytné silné zásady (zásadová neutralizační kapacita – ZNK) resp. jednosytné silné kyseliny (kyselinová neutralizační kapacita – KNK) potřebné k dosažení určité hodnoty pH sledované vody. Hodnota pH se vždy uvádí v dolním indexu za zkratkou ZNK (ZNK4,5, ZNK8,3) resp. KNK (KNK4,5, KNK8,3). Velmi cenný údaj je hodnota ZNK a KNK především při zpracování odpadní vody neutralizací. (Švehla a kol., 2004)

#### 4.1.8 Zvláště ekologicky závažné látky

Rozvíjející se ekologicky závažné jsou ve stále větší míře uvolňovány do životního prostředí, což vyvolává obavy o kvalitu životního prostředí a lidské zdraví. Tyto sloučeniny, které patří do několika kategorií dosud nebyly regulovány. Lofrano (2012) tvrdí, že důvodem může být buď nedostatek informací o jejich výskytu a dopadů na životní prostředí, nebo nedostatek vhodných analytických metod pro jejich stanovení v komplexních vzorcích z životního prostředí, nebo obojí. Mnoho rozvíjejících se nečistot jsou produkovány a používány v hlavních oblastech lidského života, jako je průmysl, zemědělství a spotřební zboží. Jiné jsou neúmyslně vypouštěny a vzniknou jako vedlejší produkty průmyslových procesů, pokročilých oxidačních procesů, produktů rozkladu a transformačních procesů původních sloučenin obecně. (Lofrano, 2012)

- Antibiotika – pro Českou republiku působí antibiotika významný problém svým vysokým výskytem zbytků v nejrůznějších typech vod. (Fojtů M., 2012)

- Cytostatika – Běžně je při chemoterapii v nemocnicích používáno přes 50 druhů cytostatických látek. Přibližně 75 % cytostatik je podáváno pacientům na ambulantních odděleních, zbytek hospitalizovaným pacientům. V dalších letech se pravděpodobně bude zvyšovat podíl cytostatik podávaných v domácím léčení i počet dávek takto aplikovaných cytostatik. Ačkoli nově patentovaná léčiva již budou podle nových zákonů testována jako látky potenciálně nebezpečné pro životní prostředí, léčiva dnes běžně v terapii užívaná takovými testy neprošla a informace o ekotoxilogických rizicích těchto látek (např. 5-fluorouracilu zavedeného 1957) tak nejsou dostupné. Nejčastěji se koncentrace cytostatik v odpadních vodách pohybují v řádu  $\text{ng. l}^{-1}$ . Biodegradovatelnost cytostatických léčiv je malá a zcela nezávislá na jejich chemické struktuře a mechanismu účinku. Tyto aktivní sloučeniny pak často procházejí komunálními čistírnami odpadních vod v nezměněné podobě. Jednou z možností, jak zachytit kontaminanty v čistírnách odpadních vod, je jejich adsorpce na sphaškový aktivovaný kal. (Šídlová a kol., 2011)
- Desinfekční prostředky – Čistící a desinfekční prostředky obsahují chlornan sodný, který způsobuje zpomalení aktivity aktivovaného kalu. (Kol. zaměstnanců firmy GOOL s.r.o., 2013)
- Bělící prostředky – Při bělení je lepší dát přednost perkarbonátu (perkarbonát sodný, peroxouhličitan sodný) před perborátem (peroxoboritanem), který více zatěžuje životní prostředí. (Hally a kol., 1997)
- Chlorfenoly – jsou odpadními produkty chloračních procesů, dosud jsou vyráběny i jako prostředky na ochranu dřeva. Jsou produkovány při výrobě pesticidů, případně mohou vznikat při metabolizaci. Tvoří se rovněž při spalování organických látek obsahujících chlor. (Korba, 1993, Pitter, 1999)

- Kontrastní látky – Smrčková a kol. (2015) tvrdí, že asi od 70. let minulého století je celosvětová pozornost vědeckých týmů zaměřena na přítomnost různých forem výskytu léčivých látek ve vodním prostředí. K této skupině organických polutantů vody lze přiřadit také jodované kontrastní látky (ICM). ICM jsou exogenní organické látky používané k úpravě kontrastu (stupnice šedi od bílé po černou dle míry absorpce ionizujícího záření tkání) skiagramu, zlepšují tímto jeho čitelnost a usnadňují diagnostiku patologických změn.

Zdá se, že za efektivní metodu pro eliminaci ICM může být považována fyzikálně-chemická separační metoda, kterou je reverzní osmóza. (Smrčková, a kol., 2015)

- Těžké kovy – Těžké kovy se vyznačují vysokou toxicitou a karcinogenitou. V odpadních vodách jsou dle typu povrchové úpravy zpravidla zastoupeny kadmium, chrom, měď, nikl, stříbro, zinek nebo olovo. Pro jejich odstranění jsou nejčastěji aplikovány metody koagulace, flokulace a sedimentace. Každý krok probíhá v samostatné nádrži a v celém procesu čištění je nutné v několika stupních upravovat hodnotu pH. (ČSN 75 6505 Zneškodňování odpadních vod z povrchových úprav kovů a plastů, 1991, Sanjay K. Sharma, 2015, Kummerer,2001)

## 4.2 Druhy odpadních vod

Podle původu a způsobu znečištění můžeme dle ČSN 75 6101 odpadní vody členit na:

- splaškové (domovní) odpadní vody (odpadní vody obsahující splašky z kuchyní, koupelen, prádelen, WC, technické občanské vybavenosti apod.);
- infekční odpadní vody (odpadní vody z infekčních oddělení nemocnic, z tuberkulózních sanatorií, z mikrobiologických laboratoří, z výroben očkovacích látek z infikovaných zvířat, z přidružených provozů apod.). Tyto odpadní vody obsahují choroboplodné zárodky takového druhu a v takové míře, že vyžadují zvláštní opatření před vypuštěním do stokové sítě;
- průmyslové odpadní vody (např. odpadní vody z technických provozů, chladicí vody). Jejich znečištění je nejrůznějšího druhu podle technologie výroby, koncentrační limity obsahuje příslušný předpis;
- odpadní vody ze zemědělství a zemědělské výroby;
- znečištěné srážkové vody z extrémně znečištěných ploch (dešťové vody včetně vod z tání sněhu a ledu);
- městské odpadní vody, které obecně tvoří směs splaškových odpadních vod, průmyslových odpadních vod a případně srážkových vod;
- ostatní odpadní vody (odpadní vody, které nelze zařadit do některé z předchozích skupin nebo které se dostaly do stokové sítě za nepředvídaných okolností). (ČSN 75 6101)

### 4.2.1 Splaškové odpadní vody

Splaškové odpadní vody jsou vody z domácností, hygienických zařízení, objektů společného stravování, ubytování atd... Jsou znečištěny organickými a anorganickými látkami. Obsahují též řadu mikroorganismů. Jedná se o živé i neživé organismy přicházející do odpadní vody s fekáliemi, popř. i jinou cestou (nedostatečně dezinfikovaná voda pocházející z úklidu nemocničních prostor apod.). Proto je tento druh odpadních vod velice rizikový z hlediska jejich infekčnosti.

Objem splaškové odpadní vody je během dne, týdne i roku kolísá. Ve střeoevropských poměrech se maxima dosahuje v poledních hodinách.

Splaškové odpadní vody je možné charakterizovat takto: BSK<sub>5</sub> 400 mg/l, CHSK<sub>Cr</sub> 800 mg/l, N<sub>celk</sub> do 70 mg/l, P<sub>celk</sub> do 15 mg/l, veškeré látky 1200 mg/l, rozpuštěné látky 830 mg/l, nerozpuštěné látky 370 mg/l. (Švehla a kol., 2004)

#### 4.2.2 Infekční odpadní vody

Infekční odpadní vody jsou vody z infekčních oddělení humánních i veterinárních nemocnic, TBC léčeben, veterinárních asanačních ústavů a jiných infekčních provozů. Mohou se v nich ve zvýšených koncentracích vyskytovat etiologická agens infekčních onemocnění. (Hlavínek, Hlaváček, 1996)

Odpadní vody z infekčního oddělení zdravotnického zařízení musejí být zásadně vždy desinfikovány, a to i v případě, jsou-li vypouštěny do veřejné kanalizace, která je následně zaústěna do městské (obecní) čistírny odpadních vod.

Desinfekce vody se provádí chlorováním pomocí chlorovacího zařízení v chlorovací jímce, kdy je předepsána koncentrace zbytkového chloru a stanovena minimální doba zdržení vody v jímce.

Zachycené kaly z infekční odpadní vody jsou zvláště desinfikovány termicky párou ve sterilizátoru kalů. Tato zařízení bývají umístěna zpravidla ve vlastní čistírně odpadních vod (ČOV), kam jsou infekční vody přiváděny přímo oddílnou infekční kanalizací, aniž by se smísily s běžnými splaškovými nebo dešťovými vodami.

Podrobné podmínky zacházení a desinfekce infekčních vod stanoví Krajská hygienická stanice. Povolení k vypouštění odpadních vod a k provozu ČOV vydává příslušný vodoprávní úřad. Budou-li vypouštěny odpadní vody do veřejné kanalizace, je nutný souhlas a smluvní vztah s provozovatelem veřejné kanalizace, v případě vypouštění do vodního toku je nutný souhlas správce vodního toku.

Povinnost provozovatele zdravotnického zařízení činit hygienická a protiepidemická opatření k předcházení vzniku a šíření nemocničních nákaz ukládá zákon č.258/2000 Sb. (zákon o ochraně veřejného zdraví), v § 15 a dále v § 17 stanoví povinnost desinfekce. V zákoně č.254/2001 Sb. (zákon o vodách), ukládá ustanovení § 38, odst.3, povinnost „zajišťovat zneškodňování odpadních vod tomu, kdo je vypouští do povrchových a podzemních vod“ a ustanovení § 39 ukládá „každému, kdo zachází se závadnými látkami učinit přiměřená opatření, aby neunikly do povrchových

a podzemních vod a neohrozily jejich prostředí“. Infikovaná odpadní voda je bezesporu závadnou látkou, přestože není výslovně uvedena ve výčtu nebezpečných a zvláště nebezpečných látek v příloze č.1 zákona o vodách. Předchozí čištění odpadních vod, vypouštěných do kanalizace dle povolení vodoprávního úřadu ukládá § 18 zákona č.274/2001 Sb., (zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu). Problematiku vypouštění infekčních odpadních vod by měl také obsahovat a upřesňovat místní Kanalizační řád veřejné kanalizace. (Klen J., 2007)

Výskyt nebo propuknutí infekční nemoci je tehdy, když dojde k přenosu nakažlivého zprostředkovatele či jeho toxických produktů z nakaženého člověka, zvířete nebo rezervoáru na náchylného hostitele. Mezi infekční původce patří viry, bakterie, prvoci nebo i červi (ty však již neřadíme mezi mikrobiologické). Přítomnost samotných zprostředkovatelů nemusí být po celý průběh nemoci. Rozhodující je hlavně spuštění patologického procesu, který může pokračovat i po vymizení původce nemoci. (Straif-Bourgeois S. a kol., 2014)

Přehled podmíněně patogenních a patogenních mikroorganismů vyskytujících se v odpadních vodách znázorňuje následující tabulka:

| <b>Mikroorganismus</b>                   | <b>Onemocnění</b>   |
|--|---|
| <b>1. Bakterie</b>                       |   |
| Salmonella spp.                          | salmonelózy   |
| Shigella spp.                            | bacilární dysenterie  |
| Escherichia coli (enteropatogenní)       | gastroenteritidy  |
| Pseudomonas aeruginosa                   | onemocnění močových cest, sepse<br>zánětlivá a hnisavá onemocnění |
| Yersinia enterocolitica                  | akutní gastroenteritidy   |
| Clostridium – perfringens<br>- botulinum | alimentární intoxikace  |
| Listeria monocytogenes                   | listerióza  |
| Vibrio cholerae                          | cholera   |
| Mycobacterium spp.                       | tuberkulózy   |
| Leptospira sp.                           | leptospirózy  |
| Campylobacter spp.                       | gestroenteritidy  |
| Brucella sp.                             | brucelóza   |

|                                 |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Bacillus anthracis              | antrax                               |
| Staphylococcus<br>Streptococcus | hnisavé infekce                      |
| <b>2. Viry</b>                  |                                      |
| Enteroviry                      | např. meningitidy, angíny            |
| Adenoviry                       | respirační infekce                   |
| Reoviry                         | respirační infekce, gastroenteritidy |
| Virus inf.hepatitidy            | infekční peatitida                   |
| Rotaviry                        | průjmy                               |
| Caliciviry                      | inf. onemocnění                      |
| Coronaviry                      | respirační infekce encefalitidy      |
| <b>Vývojová stádia parazitů</b> |                                      |
| <b>Protozoa</b>                 |                                      |
| Entamoeba histolytica           | akutní enteritida                    |
| Giardia lamblia                 | giardiáza                            |
| Toxoplasma gondii               | toxoplasmóza                         |
| Sarcocystis spp.                | sarkocystóza                         |
| Balantidium coli                | diarhoe, dysentérie                  |
| <b>Cestoda</b>                  |                                      |
| Taenia - saginata<br>- solium   | taeniáza<br>taeniáza                 |
| Diphyllobothrium latum          | taeniáza                             |
| Echinococcus granulosus         | echinokokóza                         |
| <b>Nematoda</b>                 |                                      |
| Ascaris lumbricioides           | askarióza                            |
| Ancylostoma duodenale           | ankylostomiáza                       |
| Toxocara - canis<br>- cati      | toxokaróza<br>toxokaróza             |
| Trichuris trichiura             | trichiuráza                          |
| <b>Houby a mykózy</b>           |                                      |
| <b>Houby</b>                    |                                      |
| Aspergillus spp.                | aspergilóza                          |

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Phialophora richardsii      |                         |
| Geotrichum candidum         |                         |
| Trichophyton spp.           | trichofytóza            |
| Epidermophyton spp.         | onemocnění kůže a nehtů |
| <b>Kvasinkové organismy</b> |                         |
| Candida apod.               | kandidóza               |
| Cryptococcus neoformans     | kryptokokóza            |
| Trichosporon                |                         |

*Tabulka 2: Podmíněně patogenní a patogenní mikroorganismy vyskytující se v odpadních vodách (Hlavínek, Hlaváček, 1996)*

Celkový počet mikroorganismů v surové odpadní vodě je  $6.8 \cdot 10^8$  bakterií v 1 ml. a  $3.5 \cdot 10^4$  virů v 1 ml vyšetřovaného vzorku. Při stanovení indikátorových mikroorganismů jsou zjištěny následující údaje:

| <b>Indikátor</b>    | <b>Množství ve 100 ml</b>         |
|---------------------|-----------------------------------|
| Koliformní          | $1.0 \cdot 10^6$                  |
| Fekální koliformní  | $3.4 \cdot 10^5 - 4.9 \cdot 10^7$ |
| Fekální streptokoky | $6.4 \cdot 10^4 - 4.5 \cdot 10^6$ |
| Viry                | $0.5 \cdot 10^0 - 1.0 \cdot 10^4$ |

*Tabulka 3: Indikátorové mikroorganismy (Hlavínek, Hlaváček, 1996)*

Klasickými čistírenskými procesy dochází v tekuté frakci k devitalizaci většiny patogenních mikroorganismů především při její chemické úpravě před odtokem do recipientu.

Je také známo, že se vývojová stadia endoparazitů vyznačují, v porovnání s ostatními patogeny, vyšší tenacitou ve vnějším prostředí. V poslední době se objevuje řada imunodeficientních onemocnění u lidí a zvířat, na kterých se podílejí prvoci *Cryptosporidium* a *Giardia* vyvolávající především průjmová onemocnění a snížení obranyschopnosti organismu. (Hlavínek, Hlaváček, 1996)

#### 4.2.3 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody jsou kapalné odpady vznikající při zpracování nebo těžbě anorganických a organických surovin a při výrobním procesu. V některých případech nelze hovořit o vodě v obvyklém slova smyslu (např. mateční louhy z



krystalizace, sulfitové výluhy při výrobě sulfitové celulosy, prasečí kejda aj.). (Chudoba, 1991)

Složení i vlastnosti průmyslových odpadních vod jsou značně proměnlivé. Znečištění je ovlivněno uspořádáním a charakterem výrobních procesů v průmyslovém podniku. Tím, že se vyvíjí technologie průmyslové výroby se mění i produkce znečištění, některé složky, obsažené v odpadní vodě, se přestanou vyskytovat, jí se naopak objeví. Další důležité je rovněž kolísání koncentrace i množství odpadních vod v krátkých časových intervalech.

Ve většině průmyslových odvětví se vyskytuje několik druhů odpadních vod, které mají rozdílné vlastnosti. Základní a nejčastěji se vyskytující druhy jsou:

- technologické odpadní vody
- chladicí vody
- srážkové vody ze znečištěných ploch
- splaškové vody
- srážkové vody z neznečištěných vod
- podzemní vody z hydrogeologických systémů ochrany

V technologických vodách je obsaženo hlavní znečištění je to z důvodu, že se voda dostává do styku s výrobky v průběhu výrobního procesu. Technologické vody mohou obsahovat v různých kombinacích:

- organické látky biologicky rozložitelné
- radioaktivní látky
- organické látky biologicky nerozložitelné, přitom netoxické
- toxické organické nebo anorganické sloučeniny
- nerozpuštěné látky organické a anorganické
- ropné látky
- anorganické rozpuštěné soli (neutrální)
- vyšší koncentrace anorganických živin (rozpuštěné sloučeniny dusíku nebo fosforu)
- anorganické rozpuštěné látky s kyselým nebo zásaditým chováním (kyseliny nebo louhy a obdobně reagující soli.
- mikrobiologické znečištění
- tepelné znečištění (Dohányos a kol., 2007)

#### 4.2.4 Odpadní vody ze zemědělství a zemědělské výroby

Odpadní vody ze zemědělství jsou druhem vod průmyslových, pocházejí ze zemědělské výroby. (Pošta a kol., 2005)

Znečištění vody v zemědělské výrobě může být způsobeno neúměrným či nesprávným používáním některých látek (např. pesticidy a hnojiva z rostlinné výroby nebo ropné látky z mechanizace). Jako další zdroj znečištění je živočišná výroba, resp. odpadní vody z chovů hospodářských zvířat (Bindzar a kol., 2009).

Do této kategorie odpadních vod zejména přísluší odpadní vody z provozoven zemědělské živočišné výroby, jako jsou například oplachové vody z mléčnic, připraven krmiva apod. Odpadními vodami z těchto provozů nejsou ale kejda, močůvka a silážní šťávy, které mají charakter tekutých odpadů a které nesmějí být do veřejné kanalizace a na ČOV vypouštěny. (Chejnovský, 2010)

#### 4.2.5 Srážkové (dešťové) odpadní vody

Dešťové odpadní obsahují samotnou dešťovou vodu, splachy a drenážní vodu. Srážková voda (která je většinou poměrně čistá) se při průchodu atmosférou a při splachování různých ploch (při omývání venkovských a městských staveb, při likvidaci nánosů vytvořených v suchém období na chodnicích, střeších a v kanalizační síti) kontaminuje různými nečistotami. (Švehla a kol., 2004)

Srážkové vody mají proměnlivou kvalitu, která závisí na mnoha okolnostech. Silně znečištěny bývají dešťové odpadní vody po dlouhém bezdeštném období, kdy sebou přinášejí první podíl ze splachu vozovek. V zimě se dostává se srážkovými vodami z tajícího sněhu velké množství solí ze sypaných vozovek, což vede k velkému nárůstu chloridů. (Hlavínek a kol., 2003)

#### 4.2.6 Městské odpadní vody

Městské odpadní vody jsou směsí průmyslových odpadních vod, splaškových odpadních vod, popř. též balastních a dešťových. (Švehla a kol., 2004)

Nejvýznamnější složkou při posuzování kvality městských odpadních vod je BSK<sub>5</sub>. Průměrné BSK<sub>5</sub> bývá 150 až 400 mg/l, koncentrace CHSK<sub>Cr</sub> bývá dvojnásobná.

Nerozpuštěné látky se vyskytují v koncentracích 100 až 500 mg/l, rozpuštěné látky se vyskytují v koncentracích 500 až 1000 mg/l. V hodnotách desítek mg/l bývá obsažen amoniakální dusík i dusík vázaný do organických sloučenin, kdežto dusík

dusičnanový a dusitanový řádově mg/l. V jednotkách mg/l bývá obsažen celkový fosfor, v hodnotách desítek mg/l se vyskytují koncentrace K, Na, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup> a SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. (Hlavínek a kol., 2003)

#### 4.2.7 Balastní odpadní vody

Balastní odpadní vody jsou vody, které byly zachyceny mimovolně v síti. Mezi balastní vody patří přítok infiltrující vody z podzemních horizontů, dešťové odpadní vody v oddílných sítích dostávající se do kanalizace apod. (Švehla a kol., 2004)

Balastní odpadní vody jsou zpravidla málo znečištěné, a proto jejich přítomnost v městských odpadních vodách je příčinou jejich naředování. Někdy bývá naředění tak velké, že pro nízkou koncentraci BSK<sub>5</sub> pod 50 mg/l je biologické čištění na čistírně odpadních vod problematické. (Hlavínek a kol., 2003)

### 4.3 Odvádění a čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení

Jakost odpadních vod z nemocničních zařízení je podobná středně znečištěným odpadním vodám z domácností. Nemocniční odpadní vody však mohou mít jako součást různý potenciálně nebezpečný obsah jako radioaktivní izotopy, dezinfekce, mikrobiologické patogeny, léky, farmaceutika a chemické sloučeniny (Mesdaghinia AR. a kol., 2009)

Způsob čištění a zneškodňování odpadních vod a kalů ze zdravotnických zařízení se navrhuje podle výskytu, charakteru a množství choroboplodných zárodků a/nebo radioaktivních látek v těchto odpadních vodách a kalech podle místních podmínek. Z hlediska předpokládaného výskytu choroboplodných zárodků v odpadních vodách se zdrav. zař. dělí do dvou kategorií:

- Do I. kategorie se zařazují zdravotnická zařízení určená k izolaci a léčbě přenosných onemocnění a k manipulaci nebo zpracování infekčního materiálu, který obsahuje vodou přenosné původce chorob.

- Do II. kategorie se zařazují zdravotnická zařízení, která nejsou určená k izolaci a léčbě přenosných onemocnění a manipulaci nebo zpracování infekčního materiálu, který obsahuje vodou přenosné původce chorob a kde se nepředpokládá významný výskyt těchto zárodků (např. neinfekční lůžková oddělení, zdravotnická střediska, lékařské ordinace, lázeňská zařízení, či nemocniční prádelny).

- Zdravotnická zařízení I. Kategorie: odcházející odpadní vody nutno čistit a dezinfikovat, i když jsou v souladu s kanalizačním řádem vypouštěny do veřejné stokové sítě napojené na ČOV.

- Zdravotnická zařízení II. Kategorie: odcházející odpadní vody mohou být v souladu s kanalizačním řádem vypouštěny přímo a bez čištění do veřejné stokové sítě napojené na ČOV. Není-li stoková síť napojena na ČOV, musí být pro odpadní vody vybudována samostatná čistírna. (Zimová M. a kol., 2011)

## 5 Technologie čištění odpadních vod

Švehla a kol. (2004) uvádějí, že technologie čištění odpadních vod vychází ze samočisticího procesu probíhajícího v přírodních vodách. V přírodních vodních tocích a nádržích dochází k zachycování části nerozpuštěných látek na různých překážkách, kde se nahromaděné látky dále biologicky rozkládají. Ostatní nerozpuštěné látky v přírodních tocích a vodních nádržích postupně sedimentují a k jejich biologickému rozkladu dochází v bahnitých usazeninách většinou bez přístupu kyslíku (anaerobně). Nerozpuštěné anorganické látky ve vodě pouze sedimentují a tvoří spolu se zbytky nerozpuštěných organických látek sedimenty na dně vodního toku, popř. nádrže.

Rozpuštěné organické látky jsou zdrojem potravy pro mikroorganismy, které se tak významnou měrou podílejí na jejich odstraňování z vody. Biochemický rozklad rozpuštěných organických látek může probíhat anaerobně (pokud mikroorganismy ve vodě nemají k dispozici rozpuštěný kyslík) i aerobně (pokud se ve vodě vyskytuje rozpuštěný kyslík). V přítomnosti kyslíku ve je amoniakální dusík oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusičnany a dusitany, které mohou být za nepřístupu vzduchu redukovány na plynný dusík ( $N_2$ ).

Z procesů v přírodních vodách, které jsou popsány výše jsou odvozeny postupy používané v technologii čištění odpadních vod. Člověk v podstatě okoukal od přírody, jak se vypořádat se znečištěním vod, a procesy pouze optimalizací podmínek urychlil a zvýšil jejich efektivitu.

Technologie čištění odpadních vod má několik fází. Jako první fáze v čištění odpadních vod se většinou zařazuje předčištění, kde se surová vody zbavuje hrubých nerozpuštěných předmětů a látek, jejichž přítomnost není žádoucí v následujících procesech čištění. Předčištění obvykle zahrnuje lapák šterku, česle a lapák písku. U zvláštních případů se za lapák písku zařazují ještě lapáky tuků.

Po předčištění se vody přivádí na tzv. mechanické čištění. Hlavní jednotkovou operací je zde sedimentace v usazovacích nádržích, ve kterých se zachytí převážné množství usaditelných látek. Materiál oddělený v usazovacích nádržích od odpadní vody se nazývá primární kal.

Odpadní voda zbavená hrubých nečistot předčištěním (lapáky písku, česle) a tuků a většiny usaditelných látek mechanickým čištěním (usazovací nádrže). Se

přivádí na biologické aerobní čištění. Biologické aerobní čištění je tvořeno z vlastní biologické jednotky (reaktory se suspenzní kulturou ve vzosu – aktivační nádrže nebo biofilmové reaktory s kulturou přisedlou na náplni) a z nádrže separační – dosazovací. Biologické aerobní čištění se často označuje také jako sekundární čištění. Přebytná biomasa v obou systémech (označována jako sekundární kal) se zahušťuje v zahušťovací nádrži.

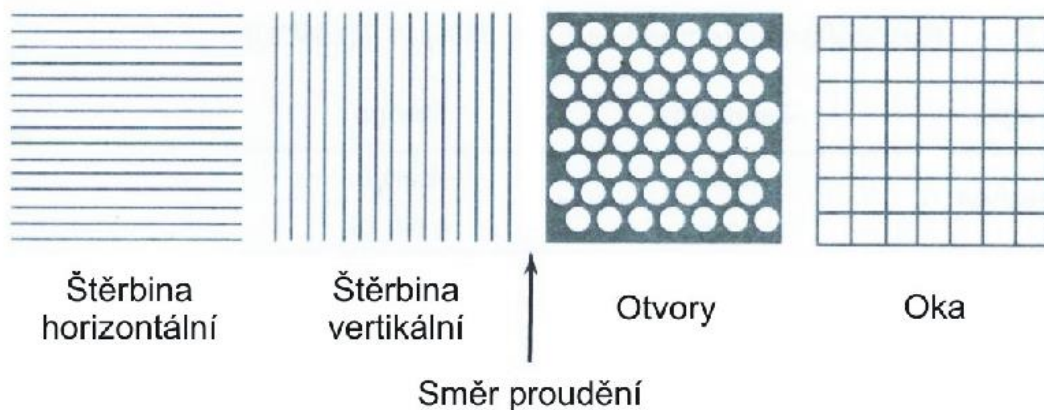
Mechanicko-biologicky vyčištěná odpadní voda se někdy podrobuje dalšímu, tzv. terciárnímu čištění. Terciární čištění lze definovat jako jakékoliv zpracování odtoků z mechanicko-biologických čistíren za účelem snížení zbylého chemického nebo mikrobiologického znečištění. Nejčastější způsoby při terciárním čištění jsou chlorace, biologické dočišťování ve stabilizačních nádržích, filtrace (písek, mikrosíta, náplň z plastů aj.) adsorpce na aktivním uhlí a srážení. (Švehla a kol., 2004)

## 5.1 Mechanické čištění odpadních vod

Mechanické čištění slouží pro odstranění nerozpuštěných látek, které tvoří podstatnou část znečištění odpadních vod. Mechanické čištění umísťujeme v čistírně vždy jako první stupeň čištění, někdy se používá i jako třetí stupeň, třetí stupeň však může být i čištění biologické. (Pošta a kol., 2005)

### 5.1.1 Česle a síta

Česle a síta slouží na odstranění hrubých nečistot z odpadní vody. Mají různé konstrukce a rozličné velikosti otvorů, příp. průlin, které určují velikost zachycených částic. Používají se jako první čistící článek v ČOV. Jejich hlavní funkcí je chránit vybavení ČOV (zejména čerpadla) proti poškození. Česle se rozlišují na jemné a hrubé. Produkt vznikající na česlích se nazývá shrabky. Shrabky se stírají strojně nebo ručně.



Obr. 2: Geometrie česlí a sít (<http://www.asio.cz/cz/97.intenzifikace-cov>, 2012)

Hrubé česle mají velikost průlin 5 až 10 cm. Průliny jsou umístěny napříč žlabu, kterým protéká odpadní voda. Hrubé česle jsou tvořeny česlicemi (vertikální nebo nakloněné ocelové tyče).

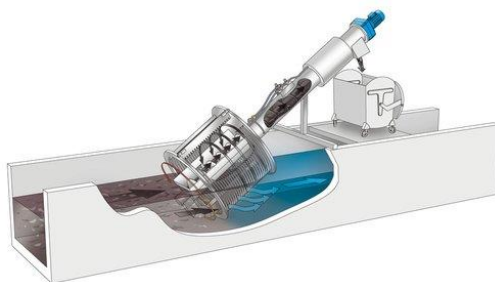


Obr. 3: Strojně stírané hrubé česle (<http://www.fontanar.cz/mechanicke-predcistení.php>, 2017)

Průliny jemných česlí bývají obvykle široké 5 až 20 mm. V příčném profilu mají tvar části kruhu nebo jsou přímé se sklonem ve směru proudu vody, příp. svislé. Zpravidla jsou strojně stírané. (Švehla a kol., 2004)

U spádových sít je podstatou filtrační plocha, která má vůči poloze v horní části velký sklon a ten se směrem dolů zmenšuje. Tuto plochu tvoří dráty z nerez oceli, mezi nimiž jsou velikosti kolem 1 mm.

Bubnová pohyblivá a nepohyblivá síta tvoří buben a česlice, v případě pohyblivých se buben pohybuje. Česlice se směrem dovnitř bubnu rozšiřují.



Obr. 4: Jemné bubnové síto s integrovaným lisem na shrabky (<http://www.huber.cs.cz/produkty/cesle-a-sita/cesle-a-sita-rotamatr/huber-rotacni-cesle-rotamatr-ro1.html>, 2017)



Dezintegrátory (mělníci čerpadla) se kombinují s česlemi a dopravními zařízeními pro shrabky. Pracují jako odstředivé čerpadlo a vracejí rozmělněné shrabky do přítoku surové vody před česle. (Hlavínek a kol., 2003)

### 5.1.2 Lapáky písku

Řešetka (1983) uvádí ve své publikaci, že odpadní vody obsahují kromě zahnívajících organických látek těžký a inertní materiál jako popílky, škváru, skořápky, úlomky kostí a za přívalového deště také značné množství písku. (Řešetka, 1983)

Lapáky písku pracují na principu snížení průtočné rychlosti vody. V ideálním lapáku písku by se měl zachytit pouze minerální podíl suspenze do velikosti zrn 0,1 až 0,2 mm bez organických příměsí. (Dohányos a kol., 2007)

Lapáky písku lze dělit dle odstraňování písku na ruční (čištění 1 - 2x týdně) a strojní. Dále je lze dělit dle směru průtoku písku na horizontální a vertikální lapáky písku.

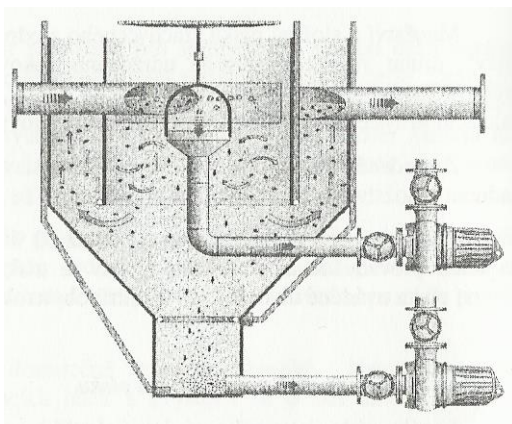
**Horizontální lapáky** písku jsou např. komorový, štěrbinový a lapák písku s kontrolovanou rychlostí.

Komorový lapák písku je podélný usazovací žlab s akumulacním prostorem na zachycování písku. Navrhuje se pro odpadní vody obsahující pouze minerální částice. Musí mít neměnný průtok, proto se navrhují vždy paralelní žlaby vedle sebe.

Štěrbínový lapák písku tvoří žlab obdélníkového nebo trojúhelníkového průřezu. Sklon dna je takový, aby rychlost při nejnižších průtocích neklesla pod 0.15 m/s a za největších nepřesáhla hodnotu 0.4 m/s. Dno je tvořeno podélnými štěrbinami, kterými propadá písek.

Lapák písku komorový s kontrolovanou rychlostí využívá k zachování konstantní rychlosti proudění odpovídající profil odtoku.

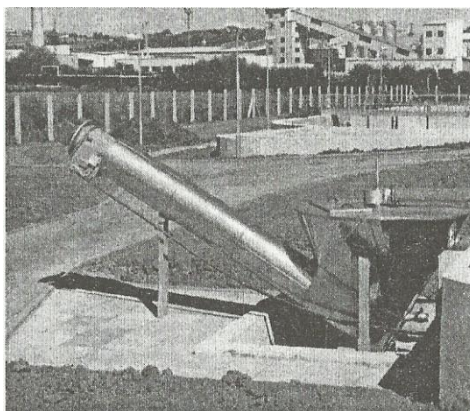
**Vertikální lapáky písku** jsou založeny na přivádění vody na dno lapáku. Ze dna voda stoupá určitou rychlostí. Rychlost nesmí být větší než rychlost, kterou jsou vynášena nejmenší písková zrna.



*Obr. 5: Vertikální lapák písku (Hlavínek a kol., 2003)*

Vírový lapák písku je založen na základě odstředivé síly. Odpadní voda je přiváděna tangenciálně do válcové nádrže, písek je vynášen na odvod nádrže a vířivým pohybem vody je strháván na dno kuželovité prohlubně.

Provzdušněný lapák písku je horizontální žlab, v němž se příčná cirkulace vytváří umělým provzdušněním. Hlavní výhodou je nezávislost na kolísání průtoku. (Hlavínek a kol., 2003)



*Obr. 6: Separace a praní písku (Hlavínek a kol., 2003)*

### 5.1.3 Lapák šterku

Lapák šterku má význam především v období přívalových dešťů, kdy se odstraní velké a těžké předměty. Lapák písku je jímka situována těsně před čistírnou na přiváděči odpadních vod. (Bindzar a kol., 2009)

#### 5.1.4 Lapáky tuků

V lapáku tuků je možné odstranit tuky, oleje a další plovoucí nečistoty vyskytující se v odpadní vodě. Zařazení lapáku tuku je nutno zvážit podle koncentrace tuků, olejů a jiných plovoucích nečistot v odpadní vodě.

V lapacích tuku se voda přivádí na dno separační nádrže, při snížené průtokové rychlosti stoupají látky lehčí než voda ke hladině, kde se hromadí a jsou ručně nebo strojně stírány do sběrného žlabu. (Švehla a kol., 2004)

#### 5.1.5 Usazovací nádrže

Usazovací nádrže jsou zařízení, které slouží ke gravitační separaci suspendovaných látek obsažených v odpadní vodě. (Hlavínek, Hláváček a kol., 1996)

Usazovací nádrže pracují většinou kontinuálně = průtočné usazovací nádrže. Usazovací nádrže mají kruhový nebo pravoúhlý tvar s vertikálním nebo horizontálním průtokem. (Pošta a kol., 2005)

Usazovací nádrže dělíme:

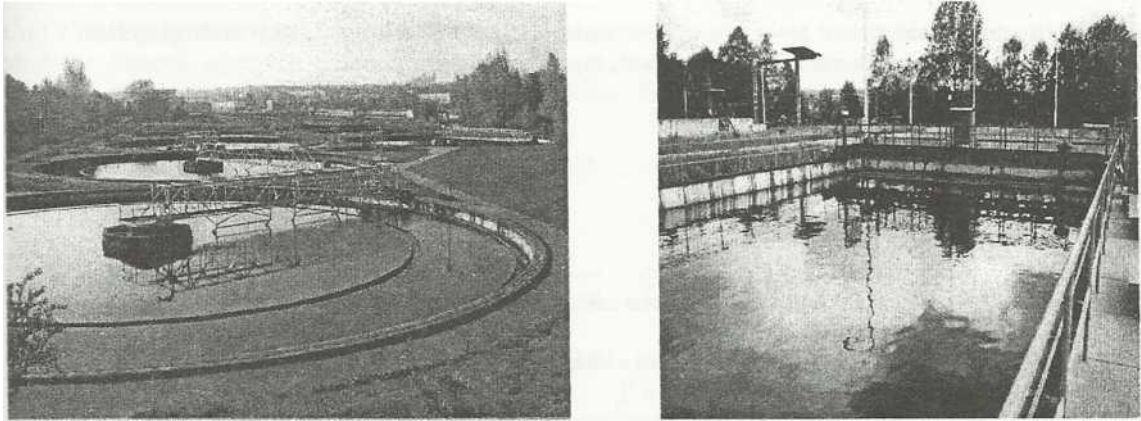
dle zařazení v technologické lince:

- primární – separace suspendovaných částic z odpadní vody (mechanické čištění),
- sekundární – separace biologického kalu při biologickém čištění (dosazovací nádrže),

dle tvaru a průtoku v nádrži:

- pravoúhlé s horizontálním průtokem,
- kruhové s horizontálním průtokem.

Jsou to ploché nádrže kruhového půdorysu, do nichž přitéká odpadní voda přes uklidňovací válec, a potom radiálně protéká usazovacím prostorem k přepadovému žlabu. Výhodou je dlouhá přepadová hrana při odtoku a poměrně jednoduchý mechanismus na stírání kalu.



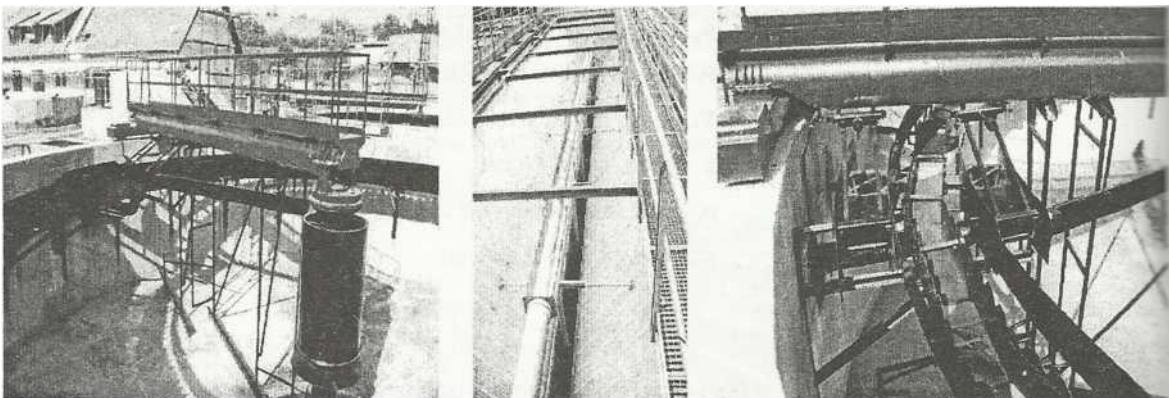
*Obr. 7: Kruhová a pravoúhlá nádrž s horizontálním průtokem (Hlavínek a kol., 2003)*

- kruhové s vertikálním průtokem,

Odpadní voda se přivádí do středu nádrže přímo do vtokového válce, který usměrňuje průtok vody zdola směrem k hladině. Odtah kalu je řešen čerpáním.

- štěrbinové usazovací nádrže (s kalovým prostorem),

Zvláštním typem usazovacích nádrží je štěrbinová nádrž (dříve též emšerská nádrž). Je to hluboko založený objekt, výškově rozdělený dnem se štěrbinou. V horní části probíhá usazování, kal pak propadá štěrbinou do níže položeného kalového prostoru. Kal se vyváží zpravidla dvakrát ročně a je uspokojivě anaerobně stabilizován. Výhodou je oddělení obou prostorů.



*Obr. 8: Nádrž kruhová s vertikálním průtokem (levý obrázek), štěrbinová UN (prostřední obrázek) a odtokový žlab (pravý obrázek) (Hlavínek a kol., 2003)*

### Vybavení usazovacích nádrží

- vtokový objekt – usměrnění vtoku tak, aby nenarušoval laminární proudění v usazovacím prostoru,
- odtokový žlab – na obvodu nádrže (u kruhových),  
– na konci nádrže (u pravoúhlých),
- zařízení na stírání kalu – shrabovák (mostový, řetězový).

Usazovací nádrže je nutno odkalovat, a to buď nepřetržitě nebo v pravidelných cyklech. Při nedostatečném odkalování, kal obsahující organické látky, v nádrži zahnívá a tím zhoršuje kvalitu odtoku. Někdy se při tom zahustí tak, že jeho odčerpání je značně obtížné. (Hlavínek a kol., 2003)

Bender a Crosby (1984) tvrdí, že variace v průtocích mohou způsobit výrazné zhoršení výkonu usazovacích nádrží. Variace průtoku způsobují turbulence, což má za následek další množství usaditelných látek unášených do odtoku. Variace průtoku jsou obvykle způsobeny čerpací stanicí. Tyto problémy mohou být vyřešeny instalací čerpadel s proměnnými otáčkami. (Bender, Crosby, 1984)

#### 5.1.6 Zahušťovací nádrže

V dekantacích zahušťovacích nádržích se suspenze po napuštění nechá v klidu. Dochází k usazování a následně k zahuštění suspenze. Po skončení zahušťovacího procesu a dekantaci zůstává v nádrži zahuštěný kal a napouštění čerstvé suspenze se několikrát opakuje.

Zahušťovací průtočné nádrže mají zpravidla 3 pracovní zóny. Horní tvoří zóna relativně čisté kapaliny, ve které probíhá proces sedimentace, pod ní se nachází přechodná oblast, ve které probíhá rušené usazování a v nejspodnější části nádrže se nachází zóna zahušťovací. (Dohányos a kol., 2007)

## 5.2 Biologické čištění odpadních vod

Cílem biologického čištění je koagulovat a odbourat neusaditelné koloidní látky a stabilizovat organické látky. U komunálních odpadních vod je to redukce organických látek a v mnoha případech též nutrientů (N a P). Téměř všechny odpadní vody mohou být čištěny biologicky. (Hlavínek, Hlaváček a kol., 1996)

Základním principem všech biologických čistírenských procesů jsou biochemické oxidačně-redukční reakce. Rozhodujícím faktorem pro rozdělení těchto reakcí je konečný akceptor elektronů a s tím související hladiny oxidačně redukčních potenciálů. (Dohányos a kol., 2007)

Procesy biologického čištění odpadních vod probíhají v biologickém reaktoru působením mikroorganismů. Aktivním činidlem v tomto procesu je funkční polykultura kultivovaná nejčastěji ve formě suspenze (aktivovaný kal) v aktivační nádrži nebo ve formě nárostu (biofilm) ve zkrápěných biologických kolonách – biofiltrech nebo v rotačních biofilmových reaktorech.

Základ zmíněné polykultury tvoří bakterie, v menším množství mikromycety (mikroskopické houby), plísně, kvasinky, bezbarvé sinice a tzv. vyšší osídlení. (Pošta a kol., 2005)

### 5.2.1 Obecné základy biochemických procesů – terminologie

#### **Substrát**

Substrát je definován jako zdroj energie. Ve vodním prostředí lze principiálně rozlišovat dva základní typy substrátu a následně i dvě skupiny organismů. Zásluhou asimilačních barviv získávají organismy energii pomocí přeměny energie světelné na chemickou a jsou označovány jako fototrofní. Organismy, které získávají energii z oxidace anorganických (např. N, S, Fe nebo Mn) nebo organických sloučenin se označují jako chemotrofní.

#### **Zdroj uhlíku**

Zdroj uhlíku využije každá buňka pro syntézu nové biomasy. Uhlík může být metabolizován jako uhlík anorganický litotrofními organismy nebo jako uhlík organický organotrofními organismy. U většiny mikroorganismů podílejících se na biologickém čištění odpadních vod je k syntéze nové biomasy využíván organický uhlík. Podle typu substrátu a zdroje uhlíku pro syntézní účely jsou pak

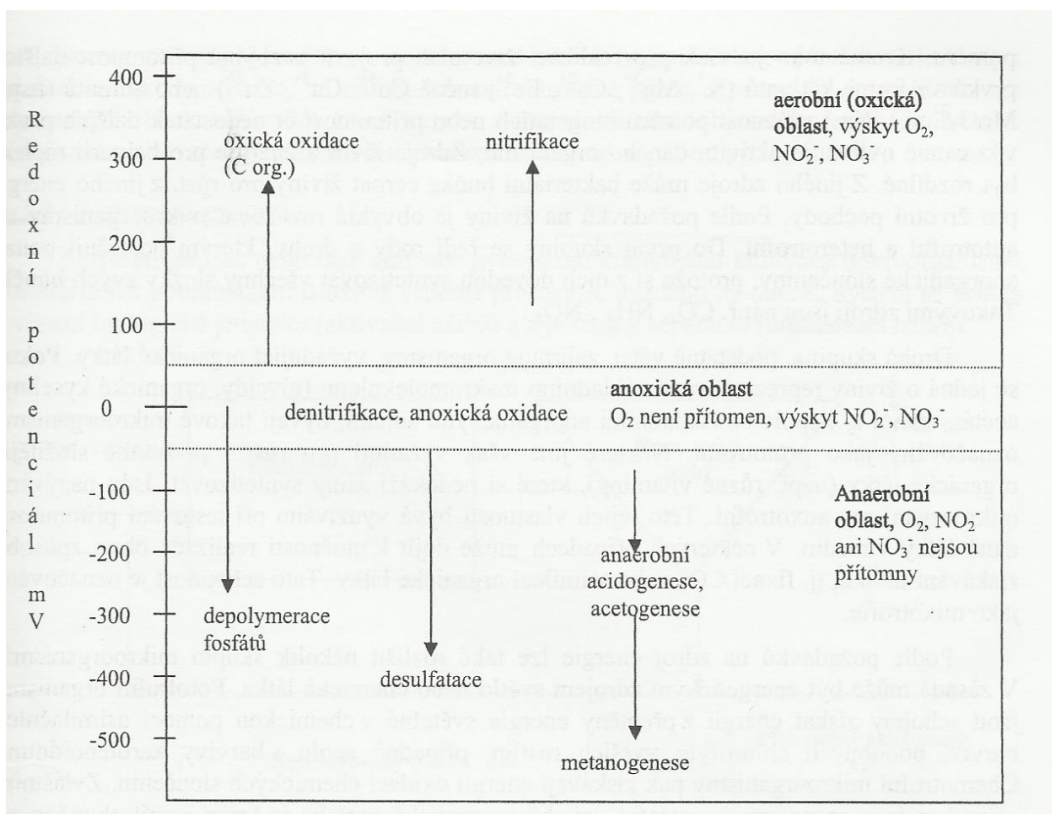
mikroorganismy označovány složenými názvy jako např. chemoorhanotrofní, fotolithotrofní apod.

### **Nutrienty**

Termínem nutrienty v obecné mikrobiologii lze označit všechny chemické prvky používané jako stavební materiál pro syntézu buněk. Obvykle jsou dle svého obsahu v biomase rozdělovány na makronutrienty (N, P, S) a mikronutrienty (Fe, Ca, Mg, K, Mo, Zn, Co, atd.). V technologii vody, hovoříme-li o „odstraňování nutrientů“, jsou za tyto považovány pouze dusík a fosfor.

### **Kultivační podmínky**

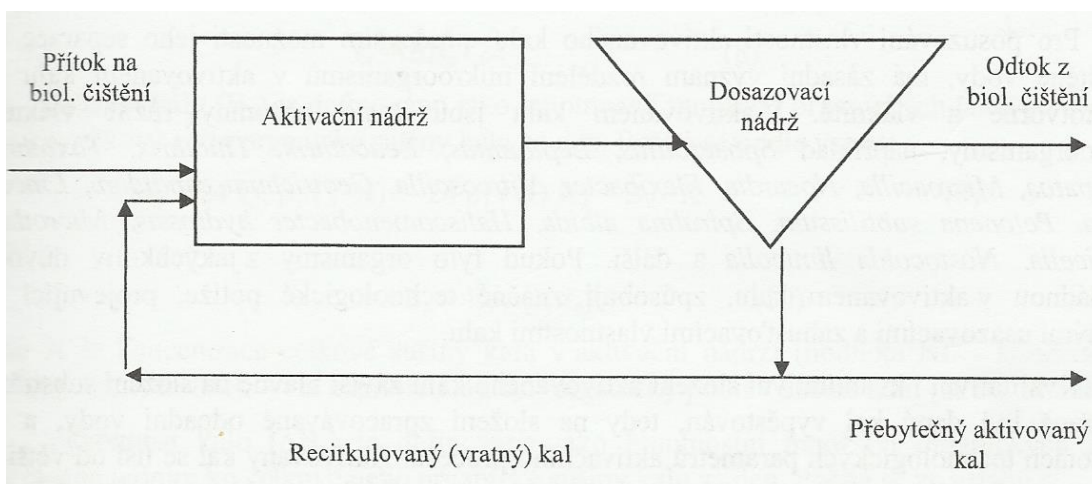
Terminologie kultivační podmínky je založena na typu akceptoru elektronů, který v jednotlivých biochemických procesech participuje. Kultivační podmínky lze rozlišit na oxické, anoxické a anaerobní. V oxických (aerobních) kultivačních podmínkách slouží jako akceptor elektronů molekulární kyslík  $O_2$ , který je redukován a vázán v molekule vody; oxidačně – redukční potenciál (ORP) se pohybuje nad +50 mV. V anoxických podmínkách slouží jako akceptor elektronů dusičnanový ( $N^{+V}$ ) nebo méně často dusitanový ( $N^{+III}$ ) dusík, který se redukuje na molekulární dusík  $N_2$ ; hodnota ORP se nachází v intervalu -50 až +50 mV. Anaerobní podmínky jsou charakterizovány absencí jak molekulárního kyslíku, tak dusičnanového/dusitanového dusíku. Akceptorem elektronů je v tomto případě organická látka; pro anaerobní oblast je charakteristická hodnota ORP pod -50 mV. (Švehla a kol., 2004)



Obr. 9: Hladina redoxního potenciálu charakterizující biologické čistírenské procesy (Švehla a kol., 2004)

## 5.2.2 Aktivační proces

Aktivační proces nebo také aktivace je nejstarší kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách říká Chudoba a kol. (1991). Blokové schéma procesu je uvedeno na obr. 10 Skládá se z vlastní biologické jednotky (aktivační nádrž) a z jednotky separační (dosazovací nádrž). (Chudoba a kol., 1991)



Obr. 10: Blokové schéma aktivačního procesu (Švehla a kol., 2004)



Surová voda přitéká po aktivační nádrže, ve které se mísí s recirkulovaným (vratným) aktivovaným kalem. Směs se intenzivně provzdušňuje tlakovým vzduchem nebo mechanickými aerátory. Recirkulaci kalu se dosahuje vyšší koncentrace biomasy v biologickém reaktoru.

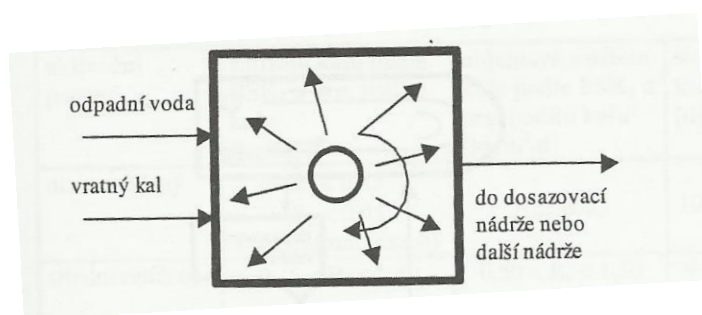
Po projití směsi aktivační nádrží se aktivovaný kal separuje od vyčištěné vody v dosazovací nádrži. Zahuštěný aktivovaný kal se recirkuluje zpět na začátek aktivační nádrže. (Švehla a kol., 2004)

Aktivovaný kal je termín pro směsnou kulturu mikroorganismů. V aktivovaném kalu se vyskytují bakterie (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achrommobacter*, *Chromobacterium*, *Acinetobacter*, *Nocardia*), houby, plísně, kvasinky, nitrifikační bakterie (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), vláknité mikroorganismy (*Sphaerotilus*, *Nocardia*, *Spirulina albida*), vyšší organismy (Protozoa, Vřítníci, Hlístnice) a prvoci (*Vorticella*, *Epistylis*). (Hlavínek, Hlaváček a kol., 1996)

### 5.2.3 Systémy s biomasou ve vznosu

#### Směšovací aktivace

Je realizována v nádrži, zpravidla čtvercového tvaru, která je provzdušňována a promíchávána. Rozložení koncentrace aktivovaného kalu i rozpuštěného kyslíku je v celé nádrži konstantní. Výhodou je odolnost proti toxickým látkám díky okamžitému zředění koncentrace na přítoku, nevýhodou je skutečnost, že podporuje růst vláknitých mikroorganismů, které mají negativní vliv na usazovací schopnosti kalu. (Hlavínek, Hlaváček a kol., 1996)

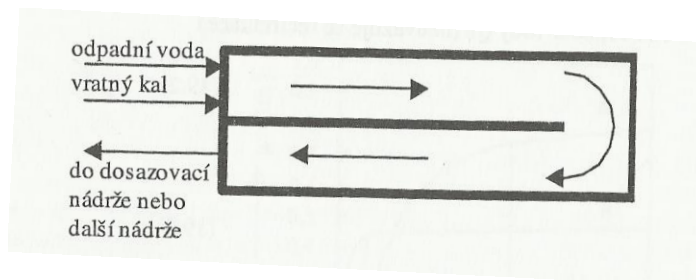


Obr. 11: Směšovací aktivace (Hlavínek a kol., 2003)

#### Aktivace s postupným tokem

Je realizována dlouhým korytem s relativně malým průtočným profilem. Na začátku této nádrže se odpadní voda mísí s vratným aktivovaným kalem, směs ji pak protéká a opouští ji na konci. Koncentrace aktivovaného kalu v nádrži se podstatně

neliší. Koncentrace rozpuštěných organických látek po délce nádrže směrem k odtoku klesá, stejně jako spotřeba kyslíku. (Hlavínek, Hlaváček a kol., 1996)



Obr. 12: Aktivace s postupným tokem (Hlavínek a kol., 2003)

#### 5.2.4 Aerace aktivačních nádrží

##### **Pneumatická aerace**

Při pneumatické aeraci se vzduch do aktivačních nádrží dodává kompresory turbodmychadly nebo ventilátory. Na čistírnách v ČR se nejvíce používá středobublinná aerace pomocí děrovaných trubek s otvory o průměru 4 až 6 mm. Trubky jsou obvykle ve formě jednostranného nebo dvoustranného roštu umístěny podél jedné stěny aktivační nádrže a jsou situovány cca 0,25 m nade dnem. Tlakový vzduch je dodáván turbodmychadly. Pro možnost regulace intenzity aerace je třeba, aby na přívodním potrubí ke každému roštu byl osazen ventil. (Chudoba a kol., 1991)

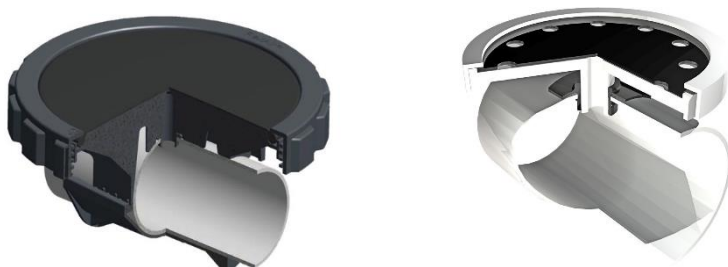
Podle velikosti průměru ( $d$ ) vzduchových bublin se rozlišují tři druhy pneumatické aerace:

- hrubobublinná –  $d > 10$  mm,
- středobublinná –  $d = 4-10$  mm,
- jemnobublinná –  $d < 4$  mm.

Hrubobublinná aerace aktivačních nádrží, při které se vzduch dodává zejména ventilátory a jako aerační elementy se používají otevřené nebo děrované trubky, se dnes používá již jen minimálně.

Při středobublinné aeraci je dodávka tlakového vzduchu zajišťována převážně piškotovými čerpadly nebo zubovými turbodmychadly. Nejrozšířenějším typem aeračních elementů je v tomto případě aerační děrovaný rošt s otvory na spodní straně. Pro možnost regulace intenzity aerace je třeba, aby na přívodním potrubí ke každému roštu byl osazen ventil.

Jednoznačným trendem v oblasti aerace je používání jemnobublinné aerace. Důvodem je vysoká energetická účinnost, dobré podmínky pro regulaci vnosu kyslíku podle aktuální spotřeby a malé mechanické namáhání vloček aktivovaného kalu. (Bindzar a kol., 2009)



Obr. 13: Diskové aerační elementy jemnobublinné (levý obrázek), středně a hrubobublinné (pravý obrázek) (<http://www.envi-pur.cz/cz/aeracni-systemy/>, 2017)

### **Mechanická aerace**

Mechanické aerátory dělíme na aerátory s osou horizontální (aerační válce) a na aerátory s osou vertikální (aerační turbíny). Jejich značné rozšíření bylo způsobeno jejich ekonomickou výhodností ve srovnání se středně bublinnou aerací. Ve srovnání s pneumatickou aerací však mají řadu nevýhod:

1. Častá poruchovost převodovek, které jsou nejslabším místem mechanických aerátorů s vertikální osou.
2. Tvorba aerosolů.
3. Aktivační nádrže nemohou být hluboké (max. 2,5 až 3,0 m) takže se zabírá větší plocha.
4. Mechanické aerátory silně prochlazují aktivační směs, což se negativně projevuje zvláště v zimním provozu

(Dohányos a kol., 2007)

### **Hydropneumatická aerace**

U nás se pro hydropneumatickou aeraci používá prstencového skoku a ejektorů. Hlavní předností tohoto způsobu aerace je mobilní kompaktní a jednoduché provedení, a tudíž i nízké nároky na obsluhu a údržbu. Nevýhodou jsou relativně nízké výtěžky (okolo  $0,5 \text{ kg kWh}^{-1}$ ). (Dohányos a kol., 2007)

### **Kyslíková aktivace**

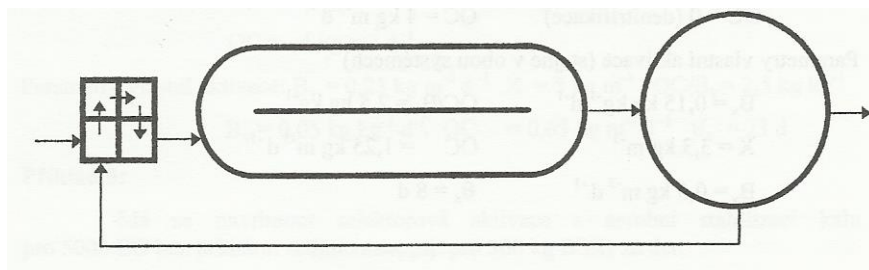
Vstup čistého kyslíku do aktivace lze zajistit dvěma základními způsoby. První možností je zvýšení koncentraci kyslíku ve vzduchu z dmyhadla u jemnobublinných

systemů až do 100 % (vypuštění dmychadel). Druhou možností je ejektorový systém. Ejektorový modul se skládá z příslušného počtu ejektorů typu kapalina – kapalina, které zajišťují smísení okysličeného proudu s odpadní vodou v poměru 1:5. (Wanner, 1997)

### 5.2.5 Selektorová aktivace

Selektor může být definován jako ta přítoková část aeračního systému, ve které je udržována vyšší koncentrace substrátu za účelem podpoření růstu rychle rostoucích mikroorganismů (nevláknitých) a potlačení růstu pomalu rostoucích (vláknitých). (Chudoba a kol., 1991)

Selektor se doporučuje na čtyři stejné sekce. Měl by být navržen tak, aby směs mohla přitékat do libovolné sekce. (Hlavínek, Hlaváček a kol., 1996)



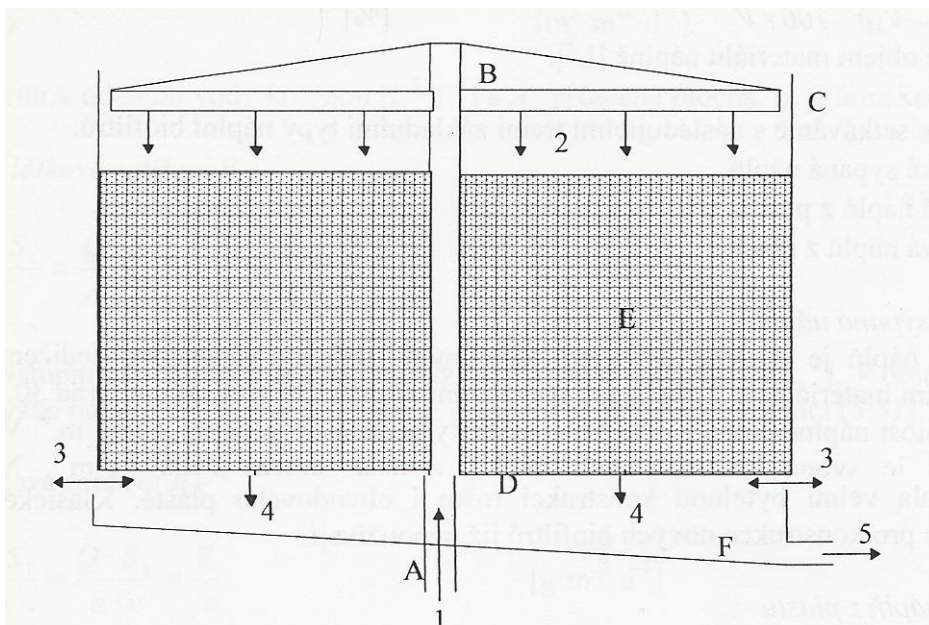
Obr. 14: Schéma selektorového systému s mechanickou aerací ve vlastní aktivaci (Hlavínek, Hlaváček, 1996)

### 5.2.6 Systémy se směsnou kulturou ve formě nárostu – biofilmové reaktory

Pro biofilmové reaktory je charakteristická kultivace funkční polykultury ve formě nárostu (biofilmu). Biofilmový systém je výsledkem složité interakce fyzikálních, fyzikálně-chemických a biochemických procesů. V praxi se používají dva základní biofilmové reaktory.

#### **Zkrápěné biologické kolony**

Klasické zkrápěné biologické kolony mají kruhový půdorys a těleso je tvořeno obvodovým pláštěm. Vlastní náplň spočívá na roštu, jehož otvory může vytékat vyčištěná voda a proudit jimi vzduch. Přítok do biofiltru je rozstříkovan po povrchu náplně z rotujícího zkrápěcího zařízení (Segnerovo kolo). V praxi se setkáváme se třemi základními typy naplní biofiltrů: klasická sypaná náplň, sypaná náplň z plastu, bloková náplň z plastu.



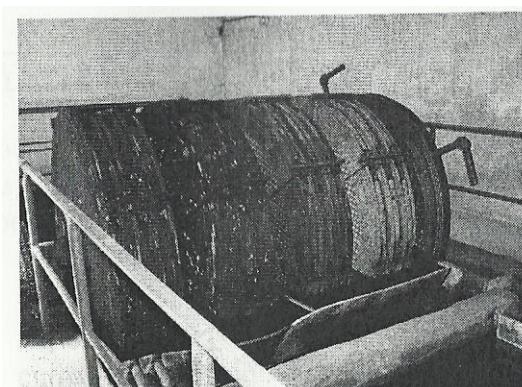
A – středový sloup, B – Šegnerovo zkrápěcí kolo, C – obvodový plášť, D – roštové dno, E – náplň, F – skutečné dno s odtokovým objektem, 1 – přítok odpadní vody, 2 – odpadní voda rozstříkovaná po povrchu náplně, 3 – přívod vzduchu větracími otvory, 4 – stékající odpadní voda a stržená biomasa, 5 – odtok do dosazovací nádrže

Obr. 15: Schéma zkrápěné biologické kolony (Bindzar a kol., 2009)

### Rotační biofilmové reaktory

Konstrukčně lze tyto reaktory rozdělit do dvou skupin: rotační diskové reaktory – RDR a rotační klecové reaktory – RKR.

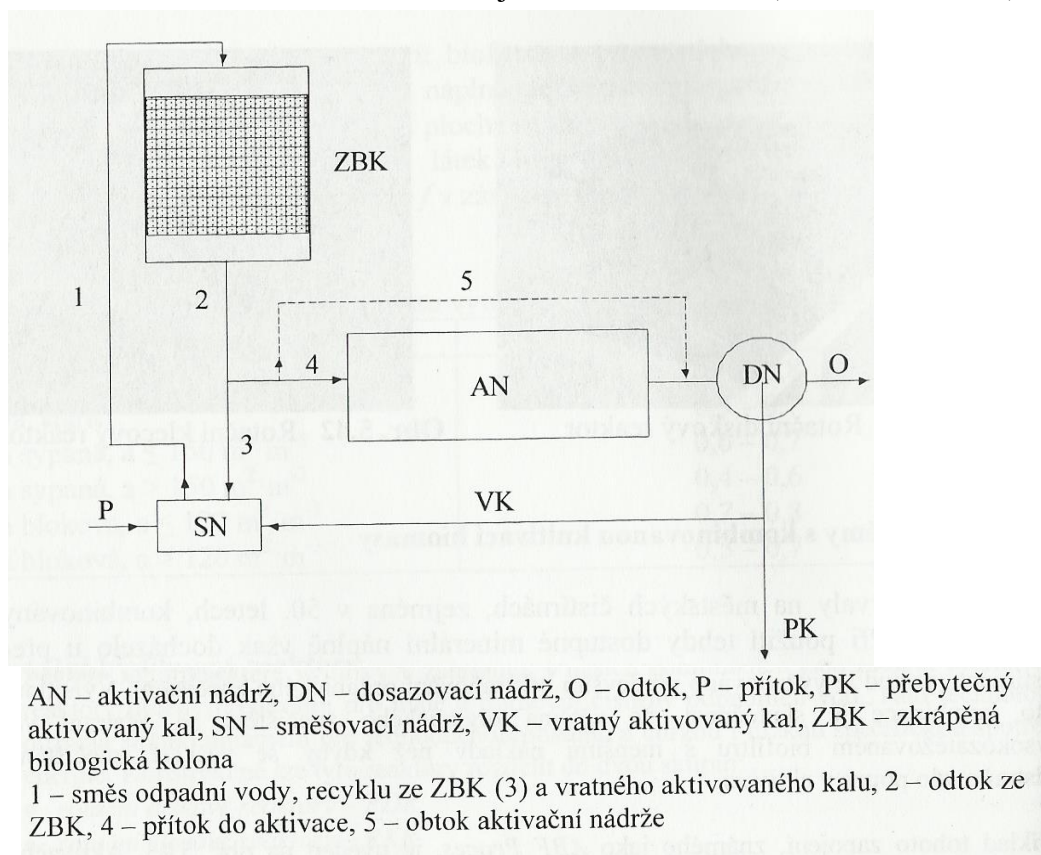
V RDR jsou nosičem biofilmu disky z plastu, umístěné na společné hřídeli. Hřídel pomalu rotuje ve žlabu, kterým protéká čistěná odpadní voda. Díky rotaci se biomasa fixovaná na discích dostává střídavě do kontaktu jak s odpadní vodou, tak se vzduchem. U RKR se místo balení disků otáčí v odpadní vodě klec plněná sypanou náplní do biofiltrů. (Bindzar a kol., 2009)



Obr. 16: Rotační diskový reaktor (Bindzar a kol., 2009)

### 5.2.7 Systémy kombinující kultivaci biomasy v suspenzi a v biofilmech

Tradičně bývaly na městských čistírnách, zejména v 50. letech, kombinovány biofiltry s aktivací. Při použití tehdy dostupné minerální náplně však docházelo u předřazených biofiltrů často k ucpávání. Vývoj blokových náplní z plastu s usměrněným průtokem odpadní vody však umožnil toto kombinované uspořádání opět používat, a to i na velkých čistírnách, pokud je vyžadováno především odstraňování organického znečištění. Výhodou této kombinace je skutečnost, že většina organického znečištění se odstraní ve vysoko zatěženém biofiltru s menšími náklady, než kdyby se veškeré znečištění odstraňovalo pouze v aktivaci. Příklad tohoto zapojení, známého jako ABF Proces, je uveden na obr. 16. Aktivační stupeň slouží pouze k dočištění na požadovanou kvalitu odtoku a navrhuje se s velmi krátkou dobou zdržení. Použití blokové náplně s vysokou mezerovitostí umožňuje recirkulovat vratný kal do aktivace přes biofiltr. Tím se zvyšuje účinnost tohoto předřazeného stupně, který se z hlediska aktivovaného kalu chová jako kontaktní zóna. (Pošta a kol., 2005)



Obr. 17: Schéma zapojení zkrápěné biologické kolony s aktivací se společnou biomasou (Bindzar a kol., 2009)

## 5.2.8 Odstraňování nutrientů

Účinnost čištění OV může být ovlivněna i nutriční nevyvážeností makrobiogenních prvků, zejména N a P. V městských OV je většinou dostatek těchto prvků, ale u průmyslových vod někdy chybí nebo je špatný poměr.

Potřebná množství N a P jsou dány následujícími vztahy:

$$\text{BSK}_5: \text{N}: \text{P} = 100: 5: 1 \quad (5.1)$$

Přitom  $\text{BSK}_5$  supluje C.

Tyto poměry jsou dány skutečností, že biomasa aktivovaného kalu obsahuje asi 10 % N a 2 % P. U středně zatížené aktivace přechází asi 50 % z odstraněného  $\text{BSK}_5$  na syntézu. Tzn., že na každých 100 kg odstraněného  $\text{BSK}_5$  je potřeba 5 kg N a 1 kg P.

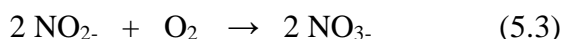
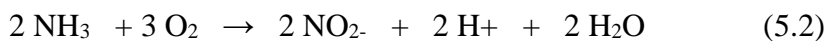
Vysoké obsahy N a P umožňují růst zelených organismů a tím se podílejí na eutrofizaci vody. Amoniakální dusík má vysokou spotřebu  $\text{O}_2$  na biochemickou oxidaci a tím spotřebovává kyslík ve vodě. Vyšší koncentrace N v pitné vodě jsou pro člověka nebezpečné (methemoglobinemie).

### **Odstraňování dusíku**

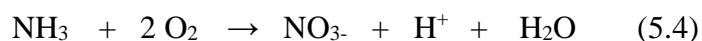
Je několik metod, kterými je možné N z vody odstranit (iontoměniče, stripování vzduchem, vysrážení jako fosforečnan amonnohořečnatý). Pro odpadní vodu je nejvýhodnější biologické odstraňování. Spočívá v biochemické oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany (nitrifikace) a jejich následná biochemická redukce na plynný dusík (denitrifikace).

#### **NITRIFIKACE**

probíhá ve dvou stupních. V prvním se amoniakální N oxiduje pomocí bakterií Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira a Nitrosocystis. V druhé fázi jsou vzniklé dusitany oxidovány na dusičnany mikroorganismy Nitrobacter a Nitrocystis.



Sumárně:

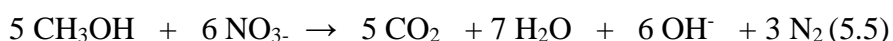


O nitrifikačních bakteriích se tvrdí, že jsou striktně aerobní. Ale jejich nálezy v denitrifikačních sekcích to vyvrací. Jsou schopny přežít i několikahodinový pobyt v DN sekcích. Průběh nitrifikace je ovlivněna koncentrací kyslíku, pH, teplotou, zatížením kalu a složením OV. U pH je známo, že nitrobakterie lépe snáší lehce alkalické prostředí (7,2 – 8,2) než kyselé. Optimální teplota pro nitrifikační kultury je 28 – 32°C. Takže v letních měsících probíhají tyto procesy nejlépe.

## DENITRIFIKACE

Je opakem nitrifikace a znamená redukci dusičnanů a dusitanů na N<sub>2</sub> příp. N<sub>2</sub>O.

Rovnice denitrifikace:



Uvolňující se OH<sup>-</sup> ionty mohou mít tlumivou kapacitu a zvýšené pH může vést až k inhibici procesu (alkalická oblast).

V technologické sestavě ČOV je možné různé střídání nitrifikačních a denitrifikačních sekcí. Nitrifikační jsou provzdušňované a denitrifikační jen míchané. Denitrifikační bakterie si musí potřebný kyslík brát ze skupiny NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

### **Odstraňování fosforu**

Fosfor jako druhý prvek, který je v OV nežádoucí lze odstranit metodami fyzikálně chemickými nebo biologickými.

V biocenóze aktivovaného kalu se nacházejí bakterie schopné zvýšené akumulace fosforu do buněk. Tyto organismy jsou souhrnně označovány jako poly-P bakterie (polyfosfát kumulující). Jsou převážně z rodu Acinobakter. Fosfor není v těchto bakteriích vázán nijak pevně a poměrně snadno se z nich uvolňuje, jakmile je vystaven anaerobním podmínkám. Proto nesmí být dlouho v DN nádrži vratný kal, kde by mohlo dojít k jeho zpětnému uvolnění do vyčištěné vody.

Biologické odstraňování P je velmi citlivé na poměr složek a vhodné podmínky, proto se většinou přistupuje k chemickému srážení fosforu.

Provádí se to přidávkem železitých, železnatých nebo hlinitých solí, případně vápna. Činidla se dávkuje buď na konec lapáku písku, aby došlo k promíchání a část navázaného fosforu se odtahuje s primárním kalem.



Simultánní srážení je dávkování činidla na konec aktivované nádrže, kdy kal sedimentuje v DN. Jako srážecí činidla se používají chloridy nebo sírany.

Nejběžnější činidlo se používá 40 % roztok síranu železitého (Preflok).  
(Česalová, M., 2017)

## 5.3 Chemické a fyzikálně chemické způsoby čištění odpadních vod

Náklady na fyzikálně chemické dočištění biologicky úplně vyčištěné odpadní vody téměř stejné jako náklady na úplné jedno – stupňové biologické čištění aktivovaným kalem.

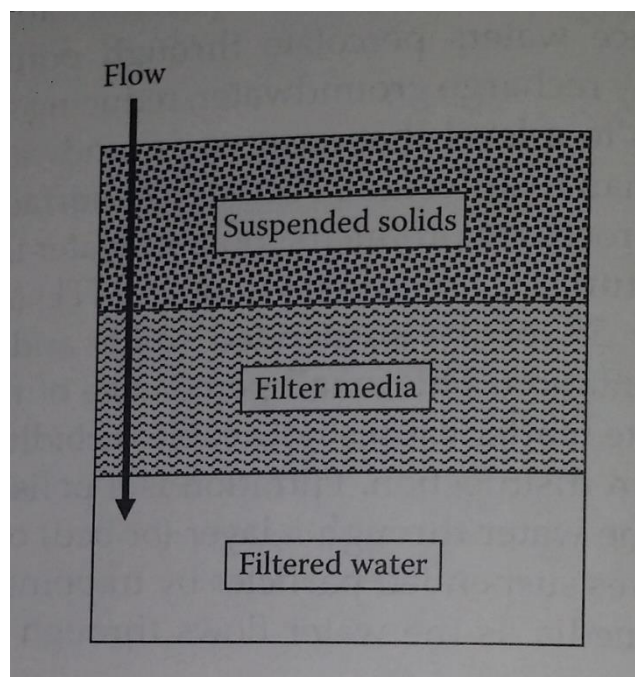
Ačkoliv má dobře biologicky vyčištěná odpadní voda natolik malou hodnotu zbytkového znečištění podle BSK<sub>5</sub>, že téměř neovlivňuje kyslíkový režim recipientu (a tím i biologický život v něm), její zbytková hodnota CHSK je pro některé účely stále poměrně velká. Někdy bývá silně zbarvená, až neprůhledná. Zabarvení dosahuje až 1 200 stupňů standardní kobaltové stupnice.

Proto se často navrhuje fyzikálně chemické dočištění zbarvených biologicky vyčištěných odpadních vod chlorací nebo na aktivním uhlí, čímž se obvykle odstraní i zápach. K odstranění zabarvení se doporučuje oxid chloričitý.

(Jakovlev, Chudoba a kol., 1988)

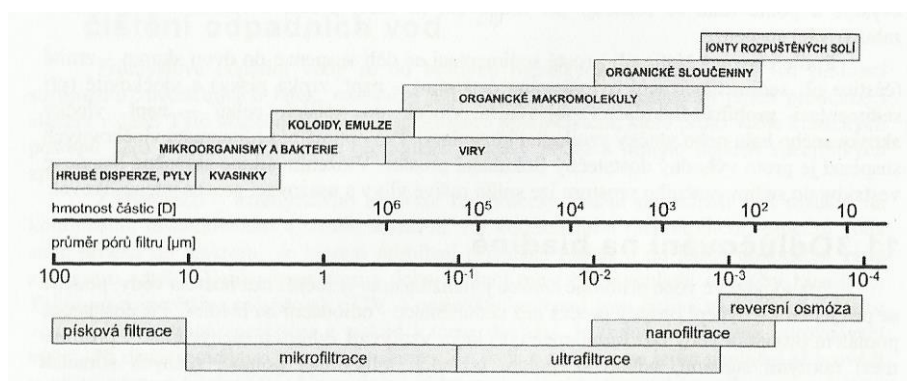
### 5.3.1 Filtrace

Filtrace je proces čištění, kdy dochází k průchodu vody přes vrstvu (nebo lože) porézního granulovaného materiálu. Tím se odstraní suspendované částice, které setrvávají v prostoru pórů filtračních médií, voda proudí přes filtrační vrstvy (viz obr. 17). (Drinan, 2013)



Obr. 18: Proudění vody přes filtrační vrstvy (Drinan, 2013). Flow = Směr proudění, Suspend solids = Usazeniny, Filter media = Filtrační médium, Filtered water = Vyčištěná (Filtrovaná) voda.

Souhrn filtračních procesů uspořádaných podle velikosti zachycených částic a jejich molekulové hmotnosti (jednotka molekulové hmotnosti D – Dalton) je uveden na následujícím obrázku. (Pošta a kol., 2005)



Obr. 19: Přehled filtrace (Pošta a kol., 2005)

Filtrace přes zrnitý materiál se používá pro čištění málo koncentrovaných suspenzí a výsledkem je vyčištěná voda s velmi malým obsahem nerozpuštěných látek. Pro tento typ filtrace se v průmyslu používají tlakové filtry, voda je přiváděna shora a ze dna filtru je odváděná filtračními tryskami. Obvyklé parametry těchto filtrů jsou: průměr do 3 m, filtrační rychlost 10–20 m/hod. přetlak 0,6 MPa a tlaková ztráta 0,1 MPa. Jako filtrační materiál se nejčastěji používá křemičitý písek. Tlaková filtrace je

semikontinuální proces, neboť po vyčerpání kapacity filtru se musí zachycené částice odstranit vypráním náplně, které se provádí směsí vzduchu a vody. Vyšší kapacitu mají filtry DDF (dvouproudé dvouvrstvé), kde spodní filtrační vrstva je písek, horní antracit. Voda se přivádí současně dvěma proudy shora a zdoob a odvádí se zcezovacím roštem uprostřed filtru. Jako je obvyklé u většiny běžných filtrů, praní se provádí zespolu. (Pošta a kol., 2005)

### **Filtrace přes aktivní uhlí**

Filtrace přes aktivní uhlí je technologie pro odstranění rozpustných organických látek z předčištěné odpadní vody. Byla používána v kombinaci s primárním usazením. Aktivní uhlí bylo používáno k odstranění rozpustných organických látek, včetně odbouratelných. S touto technologií byla spojena celá řada problémů. Nejvýznamnější byl výrazný biologický růst ve filtru a anaerobní podmínky způsobené odbouráním absorbované organické hmoty v podmínkách nedostatku kyslíku. Aktivní uhlí je s úspěchem používáno v konvenčních mechanicko-biologických čistírnách k odstranění těžce odbouratelných nebo biologicky neodbouratelných rozpustných organických látek. Je také používáno pro snížení koncentrací potenciálně toxických, neodbouratelných organických látek na odtoku z mechanicko-biologické ČOV. (Metcalf a Eddy, 1991)

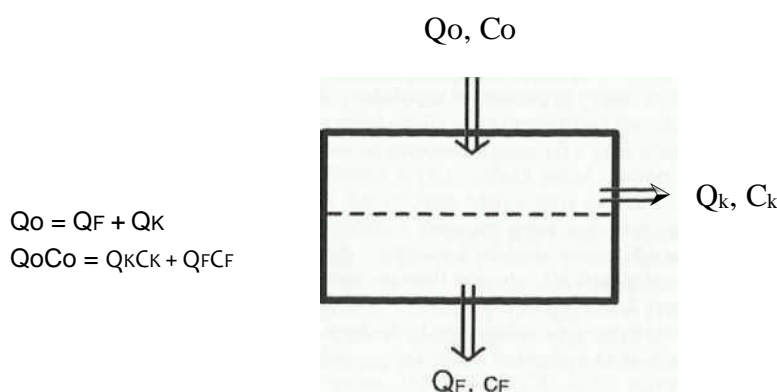
Aktivní uhlí je uměle vyrobený materiál, který má takovou strukturu, která dovoluje absorbovat rozpustný materiál z roztoku a má schopnost pohlcovat těžké kovy. Principem je fyzikální proces – pohlcené kontaminanty nejsou ani zničeny, ani není změněna jejich forma. Protože jejich adsorbční kapacita je fixní, musí být regenerovány. Pro regeneraci se obvykle používají termální procesy. Za vysoké teploty a s limitní dodávkou kyslíku je absorbovaná organická hmota desorbována a oxidována. Aktivní uhlí může být použito jako granulované aktivní uhlí nebo práškové aktivní uhlí. Práškové aktivní uhlí se dávkuje přímo do aktivace. Použité práškové aktivní uhlí je odebíráno ze systému s přebytečným kalem. Přebytečný kal je pak možno čistit za vysokého tlaku a teploty. Ztráta při regeneraci je zpravidla 10-15 % aktivního uhlí.

Primárním vlivem bude redukce rozpustných organických látek v odtoku z ČOV. Zároveň jsou vody filtrovány – vyšší kvalita odtoku. Filtrace je nutná i pro práškové aktivní uhlí pro minimalizaci ztrát aktivního uhlí do odtoku. (Hlavínek, Novotný, 1996)

### 5.3.2 Membránové separační procesy

Při tomto způsobu úpravy a čištění odpadních vod se používají speciální semipermeabilní (polopropustné) membrány. Tyto procesy zahrnují elektrodialýzu a speciální filtrační postupy, lišící se velikostí pórů membrán, nazývané ultrafiltrace, nanofiltrace a reversní osmóza.

Separací procesy dělí vstupující vodu nejčastěji do dvou, ve speciálních případech i více výstupních proudů, lišících se objemem a koncentrací látek.



Obr. 20: Separací proces a látková bilance (Pošta a kol., 2005)

Z látkové bilance znázorněné na obr. 20 lze vypočítat výtěžnost  $Y$  a účinnost  $E$  podle následujících rovnic.

$$Y = \frac{Q_F}{Q_0} * 100 \quad (5.6)$$

$$E = \frac{Q_0 * c_0 - Q_F * c_F}{Q_0 * c_0} * 100 \quad (5.7)$$

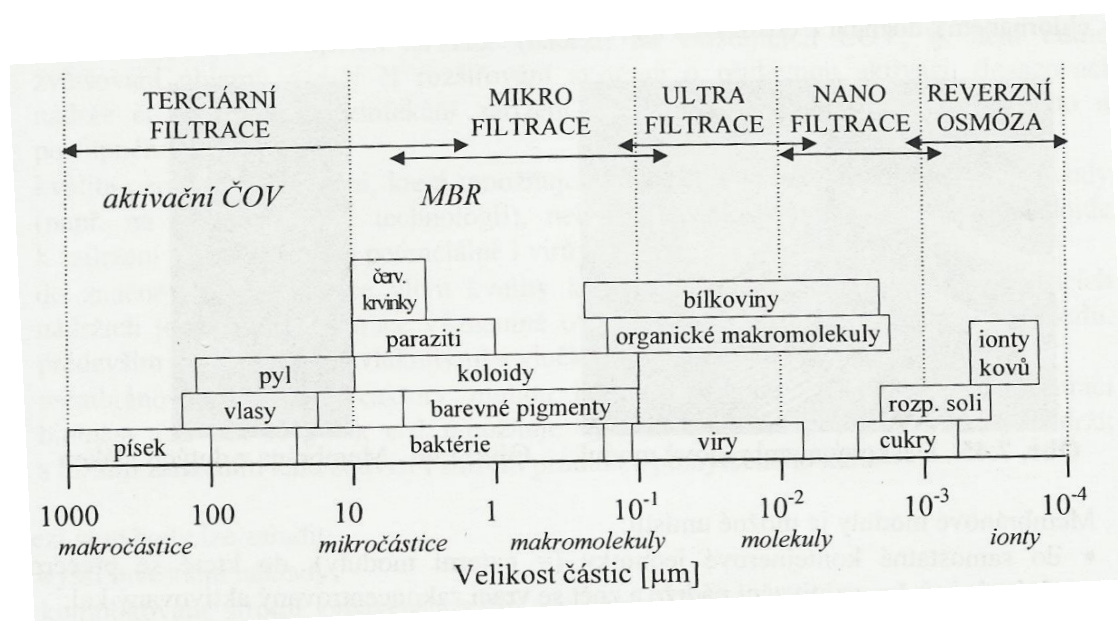
$$E = \frac{c_K * (c_0 - c_F)}{c_0 * (c_K - c_F)} * 100 \quad (5.8)$$

#### **Ultrafiltrace, nanofiltrace, reversní osmóza**

Tyto procesy patří mezi progresivní a v současné době stále častěji aplikované technologie. Mají řadu výhod, mezi které patří nízká energetická náročnost, úprava vody nevyžaduje změnu teploty a nepřidávají se žádné chemikálie, vzhledem k vysokému výkonu jsou malé nároky na prostor. Jako hnací síla se používá tlak vody. Jelikož voda je prakticky nestlačitelná kapalina, pro vytvoření poměrně velkých tlaků používaných jako hnací síla při těchto procesech (0, 1–10 MPa) je potřeba relativně malé množství energie.

| Typ filtrace    | Velikost pórů [ $\mu\text{m}$ ] | Pracovní tlak |
|-----------------|---------------------------------|---------------|
| mikrofiltrace   | 10 – 0,1                        | <0,5          |
| ultrafiltrace   | 0,1 – 0,01                      | 0,5–1         |
| nanofiltrace    | 0,01 – 0,001                    | 1–4           |
| reversní osmóza | 0,001 – 0,0001                  | 3–10          |

Tabulka 4: Typy filtrace podle velikosti odseparovatelných částic (Bindzar a kol., 2009)



Obr. 21: Přehled typů filtrace a příklady odseparovatelných částic (Bindzar a kol., 2009)

Ultrafiltrace používá membrány s největšími otvory (průměr pórů 0,1 - 5  $\mu\text{m}$ ) a proto probíhá při nižším tlaku vody (0,1 - 1 MPa). Membrány pro reversní osmózu mají póry daleko menší, takže umožňují separovat i ionty rozpuštěných solí a upravit vodu na kvalitu demineralizované vody. Pracovní tlak je obvykle trojnásobek osmotického tlaku upravovaného roztoku. Osmotický tlak je přímo úměrný koncentraci solí nebo rozpuštěných látek v upravovaném roztoku.

Membrány jsou uspořádány tak, aby bylo dosaženo co největší plochy v jednotkovém objemu prostoru (100 - 20 000  $\text{m}^2/\text{m}^3$ ). Používají se moduly s plochými membránami, tubulární, svitkové a moduly z dutých vláken. Objem filtrátu je u UF 0,8 - 2  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , u RO 0,4  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Ultrafiltrace se používá pro odstranění koloidních částic, mikroorganismů a bakterií. Asi nejzajímavější aplikací je použití ultrafiltrace pro separaci biomasy při biologickém čištění odpadních vod místo dosazovací nádrže. Používá se buď separátní jednotka, nebo jsou membrány ponořeny přímo v aktivaci. Existuje již několik set úspěšných aplikací ve světě, z toho dvě v České republice a jedna (UF Rhodia) na lodi Queen Mary II.

Reversní osmóza se používá pro čištění a úpravu vody i jiné technologické procesy prakticky ve všech průmyslových odvětvích. Největší objemy vody jsou produkovány pro úpravu mořské vody na vodu pitnou a na úpravu napájecí vody v energetice. Tyto jednotky mají kapacity přesahující  $50\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ . (Pošta a kol., 2005)

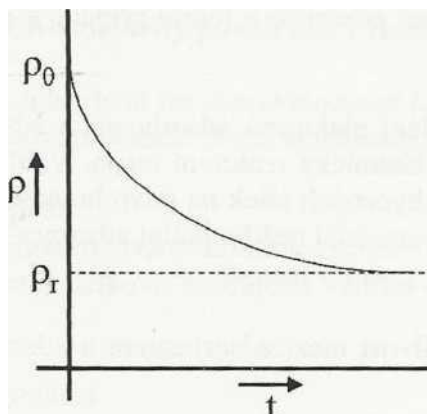
### 5.3.3 Difúzní procesy

Pro difúzní procesy je charakteristický intenzivní kontakt a interakce molekul mezi fází odstraňující znečištění a čištěnou odpadní vodou, potřebný pro dosažení rovnovážné koncentrace. Pokud se pro čištění odpadní vody použije pevná fáze, jedná se o adsorpci, kapalná fáze – extrakce, plynná fáze – desorpce. Z technologického hlediska mohou všechny tři procesy probíhat jako diskontinuální (vsádkové) nebo kontinuální. (Pošta a kol., 2005)

#### **Adsorbce**

Adsorpce je technologický proces, při kterém odstraňujeme látky z roztoku jejich vazbou na povrch tuhé látky – adsorbentu. Přidáme-li k roztoku nějaké látky adsorbent, začne její koncentrace v kapalině klesat, tak jak dochází k adsorpci na povrchu přidané tuhé fáze. Čím je k dispozici větší povrch, tím je pokles výraznější. Proto jsou nejlepší adsorbenty porézní látky, které mají velký měrný povrch (např. aktivní uhlí).

Postupem času se ustaví v roztoku rovnováha – pokles koncentrace se zastaví. Hmotnostní koncentrace rozpuštěné látky z počáteční hodnoty  $\rho_0$  dosáhne nižší rovnovážné hodnoty  $\rho_r$ . Velikost hodnoty  $\rho_r$  závisí na poměru mezi množstvím látky, které odstraňujeme adsorpci, a na množství přidaného adsorbentu. Čím více adsorbentu přidáme, tím je k dispozici větší povrch, na kterém se může uplatnit adsorpce a tím nižší je výsledná rovnovážná koncentrace  $\rho_r$ . Křivka ukazující průběh poklesu koncentrace v závislosti na čase znázorněna na obrázku.



Obr. 22: Závislost hmotnostní koncentrace rozpuštěné látky  $\rho$  v kapalná fázi na čase  $t$  po přidání absorbentu (Bindzar a kol., 2009)

Přesný popis této křivky je komplikovaný, neboť souvisí se složitými difúzními jevy, které se při adsorpci uplatňují. V praxi ji zjišťujeme jednoduchým pokusem, abychom se ujistili že doba, kterou jsme pro adsorpci použili, je dostatečná pro ustálení adsorpční rovnováhy.

Množství látky  $a$ , které se při adsorpci zachytí na  $m$  gramech přidaného adsorbentu, lze vyjádřit jako hmotnost nebo počet molů (koncentraci adsorbované látky lze vyjadřovat jak koncentrací hmotnostní  $\rho$ , tak látkovou  $c$ ) na hmotnostní jednotku adsorbentu. Pro výpočet adsorbovaného množství  $a$  používáme vztah:

$$a = (\rho_0 - \rho_r) / m \quad (5.9)$$

kde  $v$  je objem roztoku [l],  $\rho_0$  a  $\rho_r$  jsou koncentrace před a po adsorpci [ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ],  $m$  je množství přidaného adsorbentu [g] a  $a$  je adsorbované množství [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ].

Pokud se při adsorpci jedná o odstranění směsi organických znečišťujících látek (v technologii vody nejčastější případ), používáme pro vyjádření koncentrací  $\rho_0$  a  $\rho_r$  skupinová stanovení jako jsou CHSK<sub>c,r</sub>, TOC, BSK<sub>5</sub>.

### Extrakce

Bindzar a kol. (2005) tvrdí, že extrakce je proces, při kterém se odpadní voda, ze které je třeba oddělit určitou složku, uvede do intenzivního styku se vhodným rozpouštědlem (extrahovadlem, extrakčním činidlem). Podmínkou úspěšného průběhu je to, že separovaná složka je podstatně lépe rozpustná v přidaném extrakčním činidle než v původním rozpouštědle (odpadní vodě). Další podmínkou je co nejnižší rozpustnost původního rozpouštědla v extrakčním činidle a naopak. Při styku zpracovávané kapaliny s extrahovadlem dochází k přestupu extrahované látky přes



fázové rozhraní, které se vytváří v důsledku omezené mísitelnosti obou kapalin (původního a přidaného rozpouštědla). Rychlost přestupu se urychluje intenzivním mícháním. Výsledkem kontaktu je vznik dvou fází, extraktu a rafinátu, ve kterých je zastoupení oddělované složky jiné než před jejich smícháním. Extrakt vzniká z přidaného rozpouštědla a oddělovaná složka je zde koncentrována, rafinát vzniká z původní kapaliny (odpadní vody) a oddělovaná složka má nižší koncentraci než před extrakcí.

Oddělení extraktu od rafinátu se uskutečňuje na základě rozdílných hustot obou fází. Extrahovaná složka (odstraňované znečištění) opět odchází ze systému ve směsi jako roztok v přidaném extrakčním činidlo a je proto nutněji ze systému oddělit. K tomu se nejčastěji používá destilace extraktu.

Každé prakticky použitelné extrakční činidlo musí mít vhodné chemické a fyzikální vlastnosti.

### **Desorbce**

Desorpce (nazývaná také stripování, stripping, odvětrávání, odhánění) je fyzikální proces, při kterém jsou těkavé látky odstraňovány z vody přiváděním vodní páry, vzduchu nebo dalších plynů.

Rozpustnost plynů a těkavých látek v kapalinách se řídí Henryho zákonem:

$$p_i = K_H \cdot x_j \quad T = \text{konst.} \quad (5.10)$$

kde  $K_H$  je Henryho konstanta,  $p_i$  je parciální tlak plynu nad kapalinou a  $x_j$  je jeho molární zlomek v kapalině. Henryho zákon říká, že rozpustnost určitého plynu je při konstantní teplotě úměrná parciálnímu tlaku tohoto plynu nad kapalinou. Přivádíme-li proto jiný plyn nebo vodní páru do kapaliny, měníme (snižujeme) parciální tlak ostatních plynů, rozpuštěných v kapalině. Tím je porušena fyzikální rovnováha a tyto plyny z kapaliny unikají.

Desorpci můžeme odstranit z vody  $H_2S$ ,  $CS_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ , organická rozpouštědla, chlorované uhlovodíky a další těkavé látky. Ve většině případů, kdy provádíme desorpci, se jedná o odstraňování závadných látek, jejichž rozptyl v ovzduší je nežádoucí a škodlivý. Proto je třeba kombinovat desorpci s absorpcí (záchyt látky pohlcením v kapalině), adsorpcí na vhodném sorbentu nebo přímou kondenzací. Zde dochází k zachycení a zkoncentrování závadných složek a k vyčištění plynu, kterým provádíme desorpci. Odstraňovaná složka se zakoncentruje a poté ji lze využít nebo

zneškodnit vhodným způsobem. Jinou možností je přímá termická nebo katalytická oxidace desorbovaných látek nebo jejich záchyt a rozklad v biofiltrech.

Některé plyny ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) se v závislosti na pH vody vyskytují v disociované (iontové) formě ( $\text{HS}^-$ ,  $\text{HSO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , ...), ve které nejsou schopny desorpce. V takových případech musíme upravit pH vody tak, aby disociace těchto látek byla potlačena a převládající formou výskytu byla nedisociovaná forma – rozpuštěný plyn.

K desorpci se používají především tyto plyny:

- vodní pára (vyvarování, propařování),
- vzduch (odvětrávání),
- dusík,
- kouřové plyny.

Rychlost desorpce se výrazně zvyšuje s teplotou. Proto se snažíme pracovat s vodou co nejteplejší, nebo používáme pro desorpci media s vyšší teplotou (vodní pára, kouřové plyny). Dále desorpci ovlivňují tlak (s klesajícím tlakem klesá rozpustnost plynů) a technologické parametry, jako jsou rychlost přívodu plynu nebo doba kontaktu plynné a kapalné fáze.

Desorpci lze realizovat ve vsádkovém i kontinuálním zařízení. Konstrukčně nejjednodušší jsou diskontinuální stripovací nádrže, ve kterých je stripovací plyn vháněn do vody tak dlouho, dokud koncentrace odstraňované složky neklesne na požadovanou úroveň. Pro kontinuální desorpci se používají různé typy desorpčních kolon:

- výplňové,
- rozprašovací,
- patrové,
- probublávané.

Výplňové desorbéry pracují nejčastěji v atmosférickém, někdy i ve vakuovém režimu. Jedná se o desorpční věž s výplní umístěnou na děrovaném dně. Výplní jsou Raschigovy kroužky nebo speciálně tvarované deskové výplně. Odpadní voda je rozdělovacím systémem rozstříkována v horní části a stéká dolů. U atmosférické kolony se vhání plyn pod děrované dno ventilátorem, u vakuové kolony se odsává plyn a vodní pára vývěvou v horní části kolony.

Rozprašovací desorbéry rozptylují vodu na malé kapičky do proudu plynu tlakovými tryskami nebo rotujícími rozstříkovači.

Patrové desorbéry jsou rozděleny na patra různých konstrukcí (zvonkové, talířové, síťové, ...) a voda stéká z patra na patro. Jejich příkladem jsou pěnové desorbéry. Patra jsou tvořena sítě, po kterých se voda pohybuje horizontálně a na kraji síta přepadá o patro níž. Plyn se přivádí ze spodu takovou rychlostí, která zabezpečuje na každém patře tvorbu pěny a zabraňuje protékání vody přes síto. Rozměry otvorů jsou 2 - 12 mm a tvoří 12–35 % plochy patra.

U probublávaných kolon proud plynu prochází sloupcem kapaliny.

Desorpce se může provádět i expanzí z přehřátých roztoků. Voda se zahřeje v tlakovém zařízení na 120 °C a pak se vede přes redukční ventil do expandéru, kde se mžikově uvolňují rozpuštěné plyny. Výhodou tohoto postupu je, že se získá desorbovaná látka v koncentrovaném stavu. Tento proces se používá např. pro zpracování odpadních kondenzátů při výrobě sulfátové buničiny.

K odvětrávání dochází díky aeraci i v aktivačních nádržích. Aby se zabránilo neřízenému úniku těkavých látek do ovzduší, bývají nádrže některých průmyslových biologických čistíren navrhovány jako zakryté s odvodem a následným čištěním odpadních plynů. (Bindzar a kol., 2009)

#### 5.3.4 Termické procesy čištění odpadních vod

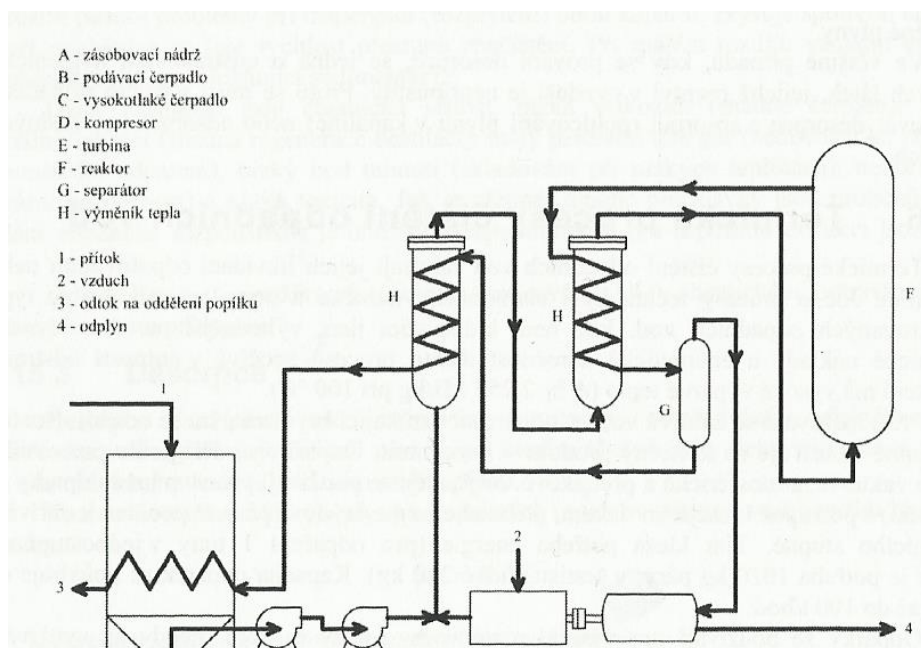
Termické procesy čištění odpadních vod zahrnují jejich likvidaci odpařováním nebo spalováním. Jde o procesy technicky i ekonomicky náročné, a proto se volí pro ty typy koncentrovaných odpadních vod, kde není k dispozici jiná, výhodnější metoda. Vysoké ekonomické náklady a energetická náročnost těchto procesů spočívá v nutnosti odstranit vodu, která má vysoké výparné teplo ( $A_{HL} 2,257 \text{ MJ/kg}$  při 100 °C).

Při odpařování se zahřívá voda v odparce a vznikající brýdová pára se odvádí. Roztok se postupně zahušťuje na konečný produkt – koncentrát. Odparky se dělí podle pracovního (laku na vakuové, atmosférické a přetlakové. Nejčastěji se používají vícestupňové odparky (4 a 6 stupňů) s postupně klesajícím tlakem, přičemž energie brýdové páry se používá k ohřívání následujícího stupně. Tím klesá potřeba energie (pro odpaření 1 tuny v jedностupňové odparce je potřeba 1020 kg páry, v šestistupňové 240 kg). Kapacita odparek se pohybuje od kg/hod až do 100 t/hod.

Odparky se používají pro výrobu pitné vody z vody mořské (někdy se využívá i sluneční energie), k zahušťování roztoků v chemickém, papírenském, textilním a potravinářském průmyslu, při zpracování radioaktivních odpadů.

Spalování odpadních vod a koncentrovaných odpadů patří mezi nejnáročnější způsoby jejich likvidace. Tekuté odpady vhodné pro likvidaci spalováním jsou koncentrované roztoky nebo suspenze biologicky nerozložitelných nebo toxických látek, olejové emulze, znehodnocená rozpouštědla, zbytky po čištění nádrží a další látky tohoto charakteru. Výhřevnost tekutých odpadů závisí na obsahu vody a organických látek a může být - 6000 až + 44000 kJ/kg. V případě záporné hodnoty u odpadů s vyšším podílem vody je třeba krýt potřebu energie přídatným palivem. Spalování odpadních vod a kapalných odpadů je komplikováno jejich chemickým složením. Při obsahu síry, fosforu, chlóru, těžkých kovů a anorganických solí musí být spalovací jednotka bezpodmínečně vybavena zařízením na likvidaci exhalací. Bezpečné zneškodnění exhalací se zajistí mechanickým čištěním spalin (záchyt popílku) a mokrou vypírkou (alkalická nebo kyselá a alkalická absorpce). Vznikající odpadní vody je třeba vhodně likvidovat. Aby došlo k úplnému rozkladu spalovaných látek, musí být ve spalovacím prostoru dostatečná teplota a doba zdržení spalin. Pokud tomu tak není, vznikají exhalace obsahující supertoxické látky, např. při spalování chlorovaných látek dioxiny a dibenzofurany. Teploty potřebné pro úplnou likvidaci resistantních organických látek jsou 1400–1800 °C. Ještě vyšších teplot, 4000–6000 °C, se dosahuje při plasmovém spalování.

Mokrá oxidace (Zimmermannův proces) je postup při kterém probíhá oxidace organických látek v koncentrovaných odpadech bez odpaření vody. Používá se pro spalování sulfitových výluhů v papírenském průmyslu, likvidaci odpadů ve farmaceutickém průmyslu a pro oxidaci kalů z městských ČOV. Proces probíhá za přídavku vzduchu nebo O<sub>2</sub> při teplotách nižších, než je kritická teplota vody 374 °C a odpovídajících tlacích, kdy voda ještě je kapalná. Obvykle jsou teploty 300–350 °C a tlak 10-20 MPa. Doba zdržení v tlakovém reaktoru z nekorosivního materiálu je kratší než 1 hodina. Jelikož je oxidace exotermní reakce, mokrá oxidace je energeticky zisková. Produkty oxidace jsou CO<sub>2</sub>, voda, nerozpuštěné látky – popílek a organické kyseliny. Odtok má pH 3,5 - 5, CHSK až 5000 mg/l a silně páchne. Proto je nutné jeho biologické dočištění. (Pošta a kol., 2005)



Obr. 23: Mokrú oxidace (Pošta a kol., 2005)

Velmi koncentrované kapalnú odpady z výroby antibiotik lze spalovat s vhodným palivem. V jednom závodě pro výzkum antibiotik, kde některé druhy odpadních vod obsahují velká množství antibiotik, detergentů a od 0,5 do 2 % zbytkových rozpouštědel, zejména butylacetát, byly pokusně spalovány, protože organické znečištění, vyjádřené hodnotami BSK<sub>5</sub>, se pohybovalo v rozmezí od 30 do 150 g l<sup>-1</sup>. (Fiedler B, 1985)

Výhřevnost spalování byla 627 až 1 045 kJ kg<sup>-1</sup>.

Pokusně bylo spalováno 800 až 1 000 l odpadu za hodinu, při objemovém poměru nafty k odpadu v rozmezí od 1: 6 do 1: 6,5. Později bylo mezi zařízení zabudováno dávkovači čerpadlo na odpadní vodu a provedeny úpravy umožňující spalování odpadní vody s obsahem 27 % NaCl a samostatné nastříkávání odpadních rozpouštědel. Upravenými dvěma tryskami bylo vstříkováno 800 l h<sup>-1</sup> odpadních vod a 150 až 200 l odpadních rozpouštědel o výhřevnosti od 16 700 do 20 900 kJ kg<sup>-1</sup>. Objemový poměr nafty k odpadům byl 1: 7,4. (Jakovlev, Chudoba a kol., 1988)

### 5.3.5 Chemická oxidace a redukce

Pošta (2005) ve své publikaci píše, že oxidace a redukce jsou dvě vzájemně spojené chemické reakce, při kterých dochází k výměně elektronů mezi účastníky reakce a zároveň se mění jejich oxidační stupeň. Při oxidaci daný atom nebo ion elektrony ztrácí a jeho oxidační stupeň roste, při redukci je tomu naopak. Obě reakce

probíhají současně, aby se jedna látka oxidovala, musí se jiná redukovat. Proto se tyto reakce nazývají redoxní.

Kinetika redox reakcí závisí na typu reagujících látek a jejich redox potenciálu, teplotě, hodnotě pH a eventuálně použitím katalyzátoru.

Technické provedení je jednoduché. Jedná se o míchaný reaktor z materiálu, odolného proti působení reagujících látek a vznikajících produktů. Protože většina látek, tvořících znečištění průmyslových odpadních vod, se vyskytuje v nízkém oxidačním stupni, je čištění jejich oxidací daleko častější než použití redukce.

Pro chemickou oxidaci se používají tato činidla: sloučeniny chlóru (plynný chlor, chlornan sodný a vápenatý, oxid chloričitý) ozon, vesměs jako směs vzduchu a ozonu peroxid vodíku manganistan draselný kyslík

vzdušný kyslík, jehož účinky se zesilují vhodnými katalyzátory (oxidy těžkých kovů).

Chlor je silné a účinné oxidační činidlo. Jeho použití pro čištění odpadních vod s obsahem organických látek je limitováno faktem, že vedle oxidace probíhá i chlorace a vznikají zdravotně závadné chlorované organické látky (AOX). Proto se dnes používá v průmyslu hlavně pro oxidaci alkalických vod obsahujících kyanidy, přičemž jako produkt reakce podle dávky vznikají netoxické kyanatany, nebo dochází k úplné oxidaci  $CN^-$  až na  $CO_2$  a  $N_2$ .

Ozon je silné oxidační činidlo, neboť jeho standardní redox potenciál je 2 V. Nevýhodou je, že se nedá skladovat a transportovat, a proto se musí připravovat přímo v místě spotřeby. K jeho výrobě se používá ozonizátorů, kde suchý vzduch nebo kyslík proudí trubicí ve které je napětí 5–40 kV, a přitom z kyslíku  $O_2$  vzniká ozon  $O_3$ . Vystupující směs plynů obsahuje 1–2 % ozonu. Ozon je silně toxický plyn (NPK v ovzduší je  $0,1 \text{ mg/m}^3$ ) a proto při jeho aplikaci musí být přísně dodržovány bezpečnostní předpisy. V současnosti se nejčastěji používá pro desinfekci pitné vody a pro oxidaci persistentních organických látek procesy AOP.

Peroxid vodíku  $H_2O_2$  je k dispozici jako koncentrovaný cca 30 % roztok, který se při použití ředí na nižší pracovní koncentrace. Při nedostatku rozpuštěného  $O_2$  ve stagující odpadní vodě ve stokové síti vzniká redukcí  $SCh^{2-}$  toxický sulfan  $H_2S$ . Přídavek malých dávek  $H_2O_2$  tento jev potlačí.  $H_2O_2$  dokáže oxidovat organické látky v kyselé, neutrální i alkalické oblasti pH.

Manganistan draselný  $\text{KMnO}_4$  se používá pro likvidaci anorganických ( $\text{CN}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ) i organických látek. Výhodou je jeho universálnost, neboť působí v rozmezí pH 3–12.

Kyslík se dává místo vzduchu do aktivace v některých průmyslových biologických čistírnách.

Při katalytické oxidaci čistým nebo vzdušným kyslíkem se urychluje reakce přidávkem vhodného katalyzátoru. Používají se soli nebo oxidy Mn, Cu, Ni, Fe i dalších kovů, přidávané buď jako jemný prášek, nebo vázané na povrch nosičů (silikagel, hlínky) nebo sorbentů (aktivní uhlí).

AOP (Advanced Oxidation Processes) - procesy pokročilé nebo zesílené oxidace se používají pro likvidaci persistentních organických látek jako jsou některé pesticidy a další toxické látky, odolávající běžným oxidačním činidlům. Mezi tyto procesy patří Fentonova reakce (účinek  $\text{H}_2\text{O}_2$  se zesiluje  $\text{Fe}^{2+}$ ), nebo kombinace  $\text{H}_2\text{O}_2$  a ozonu posílené intenzivním UV zářením, eventuálně katalyzované  $\text{TiO}_2$ . (Pošta a kol., 2005)

Pro chemickou redukci se používají činidla, která se snadno oxidují. Jsou to látky, obsahující  $\text{Fe}^+$  nebo sloučeniny síry v nižším oxidačním stupni (oxid siřičitý a siřičitany). Účinným redukčním činidlem je plynný vodík.

Chemická redukce se používá pro dechloraci odpadních vod, nebo pro odstranění toxických sloučenin  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  ze strojírenských a koželužských vod. Redukce organických nitrosloúčenin vodíkem zlepšuje jejich biologickou rozložitelnost a provádí se v chemickém průmyslu. (Pošta a kol., 2005)

### 5.3.6 Dezinfekce

Drinan (2013) píše, že dezinfekce je proces (obvykle chemický), který deaktivuje prakticky všechny uznané patogenní mikroorganismy, ne však nutně všechny mikrobiální život. Proces dezinfekce dosáhne dvou věcí. Primární dezinfekce nejprve zabije cysty, bakterie a viry. Sekundární dezinfekce udržuje dezinfekční prostředek zbytkový, který zabraňuje opětovnému růstu mikroorganismů.

Zatímco dezinfekce chlorem je nejznámější a nejčastěji používaný způsob dezinfekce, jsou k dispozici i jiné metody.

## **Chlorace**

Obecně platí, že chlorace je efektivní, relativně levná, a poskytuje účinné hladiny dezinfekčního rezidua. Aplikován je jako plyn (elementárního chloru,  $\text{Cl}_2$ ), kapalina (chlornan sodný), nebo pevná látka (chlornan vápenatý), přičemž každá z těchto forem má své výhody a nevýhody. Z hlediska nákladů a efektivnosti je nejvýhodnější plynný chlor. Vytváření plynného z kapalného chlóru uloženého na místě probíhá ve vysokotlakých ocelových lahvích s vysokou pevností. (Drinan, 2013)

Chlornan vápenatý (bílá pevná látka dostupný ve formě tablet, prášku, nebo ve formě granulátu), obsahuje 65 % aktivního chloru. Balený chlornan vápenatý je stabilní, i když se do něj snadno absorbuje vlhkost ze vzduchu. Je také korozivní, silně voní a vyžaduje správné zacházení. Při styku s organickými materiály (včetně dřeva, tkaniny a výrobky z ropy) mohou chemické reakce způsobit požár nebo výbuch. (Drinan, 2013)

## **UV záření**

Účinek UV záření je v působení na disperzní systém protoplazmy mikroorganismů (strukturu DNA), v němž vyvolává změnu struktury, a to vede k jejich usmrcení.

UV záření vykazuje ve spektrální oblasti 200–300 nm účinný germicidní efekt. K umrtvení patogenních zárodků s účinkem snížení jejich počtu o 4 řády je potřebná intenzita záření  $400 \text{ J/m}^2$  ( $40 \text{ mJ/cm}^2$ ). Zdrojem záření jsou rtuťové výbojky.

V běžném provedení zařízení na UV ošetření vody sestává z reaktoru, ve kterém je zabudovaná trubice z křemenného skla. Do trubice je vložen vlastní zářič – zdroj UV záření. Voda protéká reaktorem a je ozářena dávkou UV záření, která závisí na intenzitě záření a době osvitů (době průchodu vody reaktorem).

Z hlediska účinnosti dezinfekce je důležitá intenzita UV záření a doba expozice. Je účinnější vysoká intenzita ozáření (středotlaké polychromatické vysoce účinné UV lampy) a krátká doba expozice než nízká intenzita (nízkotlaké monochromatické UV lampy) a dlouhá expoziční doba.

Účinek UV záření, tedy i kvalitu dezinfekce, negativně ovlivňuje zvýšený obsah hliníku (nad  $0,2 \text{ mg/l}$ ), železa (nad  $0,05 \text{ mg/l}$ ) a manganu (nad  $0,02 \text{ mg/l}$ ) v ošetřované vodě.

Pro zajištění čistoty vody a plné účinnosti UV záření je tedy nutno, aby do reaktoru vstupovala voda zbavená zákalu a pevných částic. Proto je standardně před



UV úpravou instalován potrubní filtr se schopností zachytit částice o velikosti 1-5 mikronů.

Dalším faktorem, který ovlivňuje účinnost UV-lampy, je teplota upravované vody. (Vacík S., 2017)

### **Ozonizace**

Ozon ( $O_3$ ) použit jako dezinfekční prostředek, nezanechává žádnou chuť a vůni v upravené vodě, je ve skutečnosti účinnější než chlor proti některým virům a cystám, a je závislý na hodnotách pH nebo amoniaku ve vodě. Ozon je plyn při normálních teplotách a tlacích, a dezinfikuje rozbitím molekuly ve vodě. Když ozón reaguje s organickými materiály a anorganických sloučenin ve vodě, přidá se kyslík (namísto atomu chloru), což vede k ekologicky přijatelným sloučeninám. Nestabilita ozónu, nicméně, znamená, že ho nelze skladovat a musí být vytvářen na místě. Což vytváří vyšší náklady než u dezinfekce chlorem. (Drinan, 2013)

## 5.4 Regenerace odpadních vod

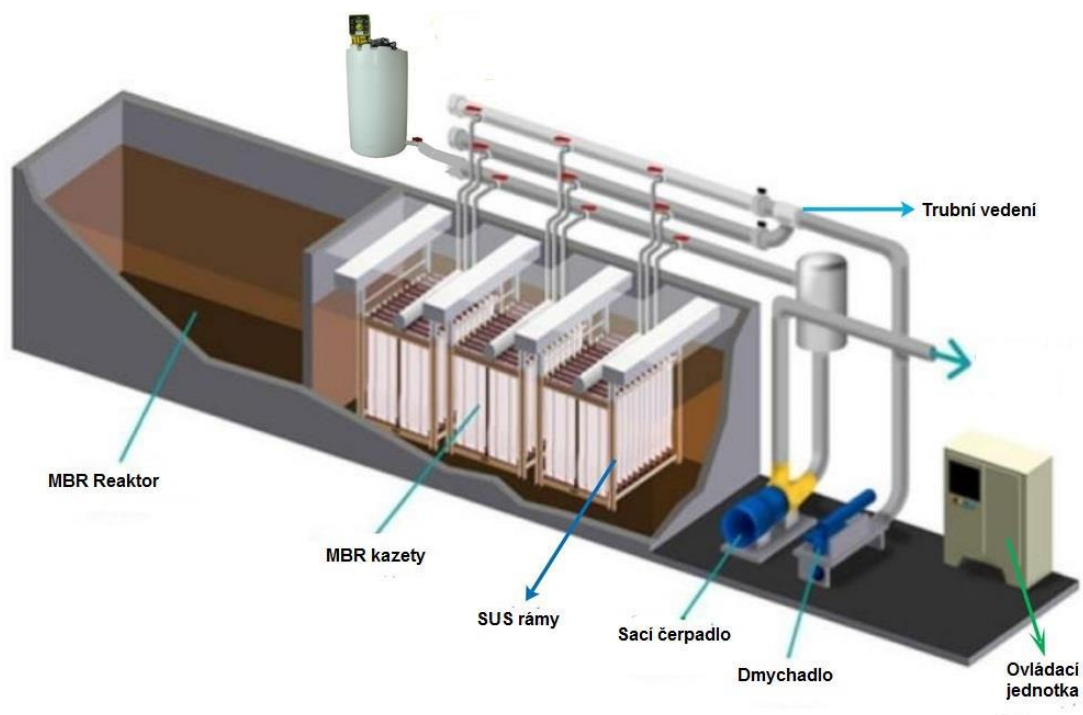
Pod pojmem regenerace odpadních vod si lze představit proces, který uvede odpadní vodu do stavu, než byla znečištěna a stala se z ní odpadní voda. Regenerované odpadní vody lze znovu využít a recyklovat je.

### 5.4.1 Membránový biologický reaktor (MBR)

MBR je do značné míry nová technologie. Tato technologie se často využívá pro odpadní vody z domácností. Kombinuje se zde proces aktivace s nízkotlakou membránovou filtrací, díky které není potřeba usazovacích nádrží. (Ahsan J, Ahsan N., 2012).

Membránové reaktory jsou založeny na principu procezení odpadních vod skrze syntetické membrány (vyrobené z PVDF, PE, PES) sestavené do jednotek (modulů, kazet), na kterých se zachycují bakterie, pevné částice, a dokonce i většina virů. Kvalita vyčištěné vody je přímo závislá na velikosti pórů membrán. Je tedy důležité hledat kompromis mezi ekonomickou náročností procesu a efektivitou čištění (Ahsan J, Ahsan N., 2012, CZEMP – Česká membránová platforma, 2010-2016).

I přes značný problém se zanášením membránového povrchu MBR reaktory zajišťují vysokou kvalitu odtoku a možné znovu využití vyčištěné odpadní vody jako závlahovou nebo užitkovou. (Ahsan J, Ahsan N., 2012, CZEMP – Česká membránová platforma, 2010-2016)



Obr. 24: 3 D Model membránového bio-reaktoru

([https://www.alibaba.com/product-detail/MBR-Membrane-Bioreactor-Bio-reactor\\_60023084659.html](https://www.alibaba.com/product-detail/MBR-Membrane-Bioreactor-Bio-reactor_60023084659.html), 2017)

#### 5.4.2 Terciární čištění odpadních vod

Pro širší využití vyčištěných vod, které je ekonomicky velice výhodné, například v zemědělství pro závlahy, je vyžadována především minimalizace zdravotních rizik a hygienická čistota. Toho lze dosáhnout důkladným mechanicko-biologickým procesem. Vhodným dezinfekčním prostředkem je chlór pro jeho nízkou cenu a dobrou dostupnost. Je nutné dávkovat dostatečné množství a zajistit dostatečnou reakční dobu, což zajistí požadovanou kvalitu vody. Obsah chloru ovlivňuje pozitivně i další procesy probíhající při následném využití, např. zabraňuje vzniku povlaků v rozvodném potrubí či působí preventivně proti sekundárnímu růstu mikroorganismů. V případě, že zbytkový chlór v dalším využití není žádoucí, přidávají se dechlorační činidla. (Šrámková, Wanner, 2010)

#### 5.4.3 Legislativa

Z hlediska využití vyčištěné odpadní vody je třeba velmi citlivě řešit legislativní pozadí celé situace, a především specificky zhodnotit oblast využití.

Ve světovém měřítku se situací zabývají směrnice Světové zdravotnické organizace WHO, které upravují především zdravotní a hygienické otázky nakládání s vyčištěnou odpadní vodou. Je třeba postupovat tak, aby nebylo ohroženo zdraví široké veřejnosti a nedošlo ke kontaminaci území. (Šrámková, Wanner, 2010)

Způsob nakládání s vyčištěnou odpadní vodou v ČR se řídí zákonem 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů, nařízením vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Legislativa upravující nakládání s vyčištěnou odpadní vodou se nyní v ČR řídí nařízením vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech (ve znění novely č. 229/2007 Sb.). Povolení k vypouštění odpadních vod vydává osoba s odbornou způsobilostí podle § 38 zákona 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů. Nevýhodou této právní úpravy je skutečnost, že při vodoprávním řízení se rozhoduje pouze o jakosti (a množství) vypouštěné vyčištěné odpadní vody, nikoli o jejím možném využití. Přípustná kvalita vypouštěné odpadní vody se smí ve sledovaných ukazatelích pohybovat v rozmezí od emisních standardů po koncentrace odpovídající imisním standardům, resp. dosažitelných koncentrací při aplikaci BAT (nejlepších dostupných technologií čištění odpadních vod). (Šrámková, Wanner, 2010)

Na druhou stranu, opětovné využití vyčištěné odpadní vody neomezuje v ČR žádný zákon, vyhláška ani předpis. Pro konkrétní oblast využití by se taková voda zkoumala z hlediska ukazatelů kvality pitné vody, tedy podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Posouzení, zda je vhodné využít vyčištěnou odpadní vodu, by probíhalo individuálně se zohledněním požadavků na kvalitu vody v dané oblasti využití a dále sociálních faktorů. (Šrámková, Wanner, 2010)

## 6 Screeningové šetření čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v ČR

Screeningové šetření zaměřené na čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v České republice jsem provedl ve mnou vybraných nemocničních zařízeních.

Zde uvádím seznam všech oslovených nemocničních zařízení:

Oblastní nemocnice Kolín, a.s., Nemocnice Rudolfa a Stefanie Benešov, a.s., Krajská nemocnice T. Bati, a.s., Nemocnice Kutná Hora, Nemocnice Havlíčkův Brod, Všeobecná fakultní nemocnice v Praze, Oblastní nemocnice Náchod, a.s., Nemocnice Nové Město na Moravě, Nemocnice Sušice, Nemocnice Český Brod, Oblastní nemocnice Jičín, a.s., Nemocnice Šumperk, Nemocnice Jablonec nad Nisou, p. o., Nemocnice Chrudim, Svitavská nemocnice, a.s., Nemocnice Vyškov, p. o., Fakultní nemocnice Ostrava, Nemocnice Tábor, a.s., Vojenská fakultní nemocnice Praha, Nemocnice Jihlava, Vysokomýtská nemocnice, Nemocnice Sokolov, Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Fakultní nemocnice v Motole a Thomayerova nemocnice, Nemocnice Na Bulovce.

Celkový počet těchto nemocničních zařízení byl 27.

V rámci screeningového šetření jsem mnou vybraná nemocniční zařízení nejprve oslovil prostřednictvím e-mailu. Poté jsem navštívil ta nemocniční zařízení, která souhlasila s osobní schůzkou a zodpovězením mého dotazu. Nicméně mnoho nemocničních zařízení odmítlo schůzku či odpovědět na můj dotaz. Řada nemocničních zařízení na zasláný e-mail vůbec nereagovalo.

Při screeningovém šetření jsem se zajímal o to, jakým způsobem jsou odváděny odpadní vody z nemocničních zařízení.

Zde uvádím výsledky screeningového šetření z oslovených nemocničních zařízení.

### **Oblastní nemocnice Kolín, a.s.**

Při návštěvě tohoto nemocničního zařízení mi bylo sděleno, že odpadní vody jsou svedené do městské kanalizace.

### **Nemocnice Rudolfa a Stefanie Benešov, a.s.**

V nemocnici v Benešově mi bylo sděleno, že odpadní vody z jejich zařízení odvádějí do kanalizace.

#### **Krajská nemocnice T. Bati, a.s.**

Toto nemocniční zařízení nesděljuje informace.

#### **Nemocnice Kutná Hora**

V nemocnici v Kutné Hoře jsem hovořil o dané problematice a dozvěděl jsem se, že jednou za ¼ roku odebírají vzorky vody a zatím se neobjevil žádný problém. Odpadní vody jsou odváděny do městské kanalizace.

#### **Nemocnice Havlíčkův Brod**

V rámci návštěvy tohoto zdravotnického zařízení jsem se setkal s velmi příjemným pracovníkem, který mi ochotně zodpověděl můj dotaz. Z jeho odpovědi vyplynulo, že odpadní vody svádějí do kanalizace. Infekční vody z plicního oddělení dekontaminují. V roce 2016 prošlo zařízení modernizací. Hygiena odebírá každý měsíc vzorky odpadní vody.

#### **Všeobecná fakultní nemocnice v Praze**

Z návštěvy Všeobecné fakultní nemocnice v Praze jsem odešel s informací, že toto zařízení odvádí odpadní vody do městské kanalizace. Mají instalovaný tukový lapač na odpadní vody z kuchyně.

#### **Oblastní nemocnice Náchod, a.s.**

Toto nemocniční zařízení bohužel nesděljuje informace.

#### **Nemocnice Nové Město na Moravě**

V rámci sjednané schůzky s kompetentní osobou na danou problematiku jsem se dozvěděl, jak jsou z tohoto zařízení odváděny odpadní vody. Tyto odpadní vody jsou sváděny do městské kanalizace, a to do splaškové. Z oddělení patologie jsou odpadní vody odváděny do čistírny, kde se dává chlornan a je zde předepsané zdržení a odpadní voda je probublána. Jednou za měsíc jsou prováděny rozbory na výtoku.

#### **Nemocnice Sušice**

V tomto nemocničním zařízení byli odpovědní pracovníci velmi vytíženi, ale můj dotaz mi zodpověděli alespoň telefonicky. Z jejich odpovědi vyplynulo, že odpadní vody ze zařízení jsou odváděny do městské kanalizace.

#### **Nemocnice Český Brod**

Při domluvené schůzce v nemocnici v Českém Brodě jsem se setkal s velmi příjemným a ochotným fundovaným pracovníkem. Na můj dotaz mi sdělil, že odpadní vody jsou nejprve hrubě předčištěny. Poté jsou odváděny na Centrální čistírnu odpadních vod v Českém Vrbném. Dále je do odpadních vod z tohoto zařízení dávkován chlor.

#### **Oblastní nemocnice Jičín, a.s.**

V oblastní nemocnici v Jičíně jsem hovořil o dané problematice a dozvěděl jsem se, že odpadní vody jsou odváděny do městské kanalizace. V tomto zařízení jsou prováděny rozborů odpadní vody.

#### **Nemocnice Šumperk**

Při návštěvě tohoto nemocnice v Šumperku mi bylo sděleno, že odpadní vody jsou svedené do městské kanalizace.

#### **Nemocnice Jablonec nad Nisou, p. o.**

V rámci domluvené schůzky tohoto zdravotnického zařízení jsem se setkal s ochotným pracovníkem na danou problematiku, který mi vstřícně zodpověděl můj dotaz. Z jeho odpovědi vyplynulo, že odpadní vody svádějí do kanalizace.

#### **Nemocnice Chrudim**

Toto nemocniční zařízení odvádí jejich odpadní vody do městské kanalizace, přičemž nemají infekční oddělení.

#### **Svitavská nemocnice, a.s.**

Ze Svitavské nemocnice mi dorazil e-mail, že bohužel nesdělují informace.

#### **Nemocnice Vyškov, p. o.**

V tomto nemocničním zařízení, jak jsem se dozvěděl během naplánované návštěvy, odvádějí odpadní vody do kanalizace. Pravidelně jednou za ¼ roku jsou prováděny rozborů vody. Tyto rozborů zajišťuje město Vyškov.

#### **Fakultní nemocnice Ostrava**

V rámci tohoto nemocničního zařízení nesdělují informace.

#### **Nemocnice Tábor, a.s.**

Nemocnice Tábor dle sdělení kompetentního pracovníka nesdělují informace k dané problematice.

#### **Vojenská fakultní nemocnice Praha**

Toto nemocniční zařízení vůbec nereagovalo na jakýkoli kontakt, ať již telefonický či prostřednictvím elektronické pošty.

### **Nemocnice Jihlava**

Z Jihlavské nemocnice mi dorazilo vyjádření prostřednictvím e-mailu, ve kterém mi bylo sděleno, že toto zařízení neposkytuje informace.

### **Vysokomýtská nemocnice**

V tomto nemocničním zařízení jsem s kompetentní osobou komunikoval prostřednictvím telefonu, ale bohužel moje otázka zůstala bez odpovědi. Na dotaz neznali odpověď a nechtěli podávat mylné či zavádějící informace.

### **Nemocnice Sokolov**

Na sjednané schůzce v nemocnici v Sokolově mi odpovědný pracovník sdělil, že odpadní vody z jejich zařízení jsou odváděny městskou kanalizací.

### **Nemocnice Na Františku**

Z této nemocnice mi přišel e-mail s omluvou, a to z důvodu nedostatku volných časových kapacit.

### **Fakultní nemocnice Královské Vinohrady**

Při návštěvě mi bylo sděleno, že v FNKV se nenachází žádná automatizovaná čistírna odpadních vod. Pouze pod pavilonem P je FNKV vybavena dávkovací chlorovací stanicí a pod pavilonem W je instalován jímací lapol.

### **Fakultní nemocnice v Motole**

Ve Fakultní nemocnici v Motole byl pracovník velice vstřícný a provedl mě místní čistírnu infekčních odpadních vod.

ČOV Fakultní nemocnice v Motole je anaerobní samospádová čistírnu určená k čištění infekčních splaškových vod z těch objektů nemocnice, které jsou zařazeny dle ČSN 756406 jako zdravotnická zařízení I. kategorie. Čistírna je umístěná v hospodářské části nemocnice. V hlavní budově ČOV je umístěna chlorovna s chlorační jímkou, jímkou zdržení, zařízení na pasterizaci kalu, strojovna čerpadel, laboratoř, technické a sociální zázemí a denní místnost obsluhy. Česlovna infekčních splaškových vod je umístěna v samostatném objektu na okraji areálu, česlovna neinfekčních splaškových vod je umístěna v samostatném objektu před hlavní budovou ČOV. Ostatní technologické soubory jsou umístěny na volné ploše.

Výtok vyčištěných a desinfikovaných infekčních splaškových vod je zaústěn do městské kanalizace.



Neinfekční splaškové vody jsou objektem čistírny vedeny odděleně, na vlastní česlovně se zbavují hrubých nečistot a jejich odtok je vyveden samostatným potrubím do městské kanalizace.

Technologický soubor čistírny infekčních odpadních vod tvoří:

- česlovna infekčních splaškových vod
  - do česlovny jsou zaústěny tyto infekční odpadní vody:
    - pavilon infekčních hepatitid
    - infekční část pavilonu TRN
    - pitevna
    - komplex laboratoří dětské části nemocnice a laboratoře II. Lékařské fakulty UK
    - vymírací jímky kliniky nukleární medicíny
- měření přítoku infekčních splaškových vod
- štěrbínové nádrže
- biologický filtr
- dosazovací nádrže
- chlorovna s chlorační jímkou a jímkou zdržení
- zařízení na pasterizaci kalu
- strojovna čerpadel
- česlovna neinfekčních splaškových vod

Bohužel většina zařízení ČOV je v havarijním stavu.

#### **Thomayerova nemocnice**

V Thomayerově nemocnici v Krči jsem měl možnost navštívit další čistírnu infekčních odpadních vod. ČOV byla v odstávce z důvodu rekonstrukce. ČOV byla v havarijním stavu.

ČOV v Thomayerově nemocnici v Krči pochází z roku 1964, má 10x větší navrhovanou kapacitu. Česle jsou řešena jako čerpadla s řeznými noži. Následuje aktivační nádrž, která má dvě komory o objemu 150 m<sup>3</sup>. Aktivace se plánuje ve středu nádrží jemnobublinná a na okrajích a na okrajích středobublinná. Dosazovací nádrž je osazena flokulačním válcem a shrabkami na kal. Následuje nádrž o objemu 350 m<sup>3</sup> na zdržení po chlorátoru. Nyní při odstávce je voda vypouštěna do kanalizace. Před

vypuštěním se do vody dávkuje chlornan sodný. Velký problém zde byl s přebytečným kalem, ve kterém byl pozitivní nález rtuti ze zubního oddělení.

### **Nemocnice Na Bulovce**

Bohužel tuto nemocnici jsem nestihl z nedostatku časových kapacit navštívit, a tak mi bylo něco mále sděleno telefonicky. Mají zde čistírnu infekčních odpadních vod. Tato ČIOV je v havarijním a plánuje se rekonstrukce. Nyní se do vody přidává chlor, který mají stlačený v tlakových lahvích. Chloraci chtějí v následujících letech vyměnit za UV záření.

## 7 Diskuze

Na životní prostředí jsou v posledních letech kladeny přísnější požadavky, což se dotýká i požadavků na kvalitu čištění odpadních vod, nakládání s nimi a jejich opětovné využití nebo navrácení do recipientu. Ukazatelem vyspělosti dané společnosti vždy byla úroveň odkanalizování, zásobování vodou a čištění odpadních vod.

Z tohoto důvodu je správně zvolená technologie čištění odpadních vod, které jsou popsány v této práci velice přínosné. V dnešní době je velmi důležitá správná funkčnost čistírny odpadních vod. ČOV jsou navrhovány na výhledový stav ekvivalentních obyvatel. Bohužel když tyto ČOV byly vystaveny před několika lety jejich výhledový stav a kapacita byly naplněny. Proto je velmi důležitá jejich intenzifikace a navýšení provozních schopností v rámci ekvivalentních obyvatel. Dalším důvodem k intenzifikaci ČOV může být například snížení množství toxických látek nebo řízení přepadajícího množství vody přes odlehčovací komory na jednotné stokové síti. Technologie, které jsou popsány v této práci jsou vybrány z důvodu jejich rozmanitého využití v čistírnách odpadních vod.

Odvádění vod ze zdravotnických zařízení a následně jejich čištění se provádí ve velmi málo nemocničních zařízeních. Ve většině zařízení je odvod odpadních vod přímo do městské kanalizace, kde se na vyústění z nemocnice odebírají jednou za ¼ roku vzorky, které musejí splňovat předepsané normy a limity. Tyto nemocniční zařízení nemají většinou infekční oddělení, V nemocničních zařízeních, kde jsou infekční oddělení a jsou instalovány čistírny infekčních vod jsou tyto ČIOV v havarijním stavu. ČIOV v ČR pocházejí převážně z 60. let 20. století a jsou předimenzované. Bohužel jejich nynější havarijní stav neumožňuje jejich provoz. Z tohoto důvodu jsou ČIOV rekonstruovány a modernizovány. V průběhu rekonstrukce nebo odstávky jsou infekční odpadní vody odváděny do městské kanalizace bez čištění. Před zaústěním do městské kanalizace se infekční vody dezinfikují, a to převážně chlorací. Tyto vody, jak mi bylo řečeno po odebrání vzorků splňují limity. Jediný problém, který se často vyskytuje v odpadních vodách ze zubařských je rtuť.

Regenerace a recyklací odpadních vod by se člověk v současné době měl zabývat nejvíce. V poměrech ČR, kdy k nám nepřitéká žádná řeka a vodu rozdělujeme do ostatních států, je nakládání s vodami velmi důležité. Dříve byly brány odpadní vody jako odpad, ale nyní, v době relativně větších sušších období člověk začíná s odpadními vodami nakládat a recykluje je. Recyklace například šedých vod, které pocházejí ze sprch, umyvadel, praček a technologických procesů přináší úsporu pitné vody, je to málo náročná technologie, prostorové nároky jsou také nízké. Tyto vody mají mnoho využití, a to počínaje zaléváním nebo využitím na splachování toalet.

## **8 Závěr – nové poznatky a způsoby řešení daného problému**

Význam a závažnost vody pro život na Zemi si lidé již dlouho uvědomují, přesto nejsou vody dosud důsledně chráněny. Do vod (řek, potoků, nádrží) jsou přímo vypouštěny odpadní vody bez předchozího čištění a není zde brán zřetel na následky, které tyto počiny způsobují. Například v listopadu roku 2016, kdy byl vytráven úsek Labe u Poděbrad a takovýchto situací lze jmenovat nespočet.

Odpadní vody byla vždy brána jako nepotřebný odpad. Tato skutečnost se vývojem technologií změnila a odpadní voda je brána jako zdroj další energie a je recyklována. V recyklování a v technologických procesech na terciární čištění odpadních vod jako jsou například nanofiltrace a reversní osmóza je velká budoucnost čistírenství a nakládání s odpadními vodami.

V oblastech technologií čištění odpadních vod je základ intenzifikace čistíren odpadních vod. Jednou z budoucností, někde již současností, jsou membránové technologie.

Čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení je dle mého mínění nedostatečné, a to pramení již z legislativy. Lze si všimnout ze screeningového šetření, že převážná většina zdravotnických zařízení odvádějí odpadní vodu do kanalizace. Největší riziko těchto vod jsou patogenní organismy. Tyto patogenní organismy se mohou vyskytovat i ve vodách z neinfekčních oddělení nemocnic, a to například z oplachu (mytí) nemocničních zařízení. Jedna z věcí, která by se měla změnit jsou normy pro vypouštění vod z nemocničních zařízení, zpřísnění limitů a jejich kontrola.

## 9 Seznam použité literatury

1. Ahsan J., Ahsan N., 2012: Study of widely used treatment technologies for hospital wastewater and their comparative analysis. *International Journal of Advances in Engineering and Technology*, Pennsylvania, 227 s.
2. Bender J.L., Crosby R. M., 1984: *Hydraulic Characteristics of Activated Sludge Clarifiers*. EPA, Cincinnati.
3. Bindzar J. a kol., 2009: *Základy úpravy a čištění vod*. VŠCHT, Praha, 251 s.
4. Dohányos M., Koller J., Strnadová N., 2007: *Čištění odpadních vod*. VŠCHT, Praha, 177 s.
5. Drinan J., Spellman F R., 2013: *Water and wastewater treatment: a guide for the nonengineering professional*. FL: CRC Press, Boca Raton, 300 s.
6. Fiedler B., 1985: *Kolokvium o výzkumu a realizaci čištění odpadních vod*. VŠCHT, Praha.
7. Hally J., Vulterin J., Holada K. a kol., 1999: *Problematika životního prostředí ve vztahu k pracím prostředkům*. České sdružení výrobců mýdla, čisticích a pracích prostředků, Praha, 80 s.
8. Hlavínek P., Hlaváček J., 1996: *Čištění odpadních vod – praktické příklady výpočtů*. NOEL, Brno, 196 s.
9. Hlavínek P., Novotný D., 1996: *Intenzifikace čistíren odpadních vod*. NOEL, Brno, 250 s.
10. Hlavínek P., Hlaváček J., 1996: *Nové trendy v čištění odpadních vod*. NOEL, Brno, 85 s.
11. Hlavínek P., Mičín J., Prax P., 2003: *Stokování a čištění odpadních vod*. CERM, Brno, 283 s.
12. Chejnovský P., 2010: *Zdravotní vodohospodářské stavby*. Sobotáles, Praha, 172 s.
13. Chudoba J., 1991: *Odpadní vody a jejich čištění*. Praha, 121 s.
14. Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991: *Biologické čištění odpadních vod*. SNTL, Praha, 468 s.
15. Jakovlev Sergej Vasil'jevič Jakovlev, Chudoba J., 1988: *Čištění odpadních vod chemicko-farmaceutického průmyslu*. Nakladatelství techn. lit., Praha, 288 s.

16. Korba T., Popi M., 1993: Chem. Listy 87. 332-347.
17. Kümmerer K., Al-Ahmad A., 2001: Cancer Det. Prev. 25,102.
18. Lofrano G., 2012: Green technologies for wastewater treatment. Springer, New York, 92 s.
19. Mesdaghinia AR, Naddafi K, Nabizadeh R a kol., 2009: Wastewater characteristics and appropriate method for wastewater management in the hospitals. J Publ Health, In: Iranian vol. 38.
20. Metcalf & Eddy, 2003: Wastewater engineering: treatment and reuse 4th ed. /. McGraw-Hill. New York. 1336 s.
21. Pitter P., 1999: Hydrochemie. VŠCHT, Praha 315-333 s.
22. Pošta J. a kol., 2005: Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Praha, 211 s.
23. Riffat R., 2013: Fundamentals of wastewater treatment and engineering. CRC Press/Taylor & Francis, London, 359 s.
24. Riffat R., 2013: Fundamentals of wastewater treatment and engineering. CRC Press/Taylor & Francis, London, 359 s.
25. Řešetka D., 1983: Stokování a čištění odpadních vod – II. Čištění odpadních vod. SNTL, Praha, 160 s.
26. Sanjay K. Sharma, 2015: Heavy Metals In Water: Presence, Removal and afety. JECRC University, Jaipur, 357 s.
27. Smrčková Š., Bindzar J., Halamová M., 2015: Chem. Listy 109 – Jodované kontrastní látky jako polutanty vody, Referát 898.
28. Šídlová P., Podlipná R., Vaněk T., 2011: Chem. Listy 105 – Cytostatická léčiva v životním prostředí. 8-14
29. Šrámková M., Wanner J., 2010: Opětovné využití vyčištěné odpadní vody. Sborník konference Pitná voda 2010. W&ET Team, Č. Budějovice, s. 259-264
30. Straif-Bourgeois S., Retard R., Kretzchmar M., 2014: Infectious Disease Epidemiology. Springer Science+Business Media, New York.
31. Švehla P., 2012: Cvičení z předmětu čištění odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin, Praha, 115 s.
32. Švehla P., Tlustoš P., Balík J., 2004: Odpadní vody. Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin, Praha, 107 s.
33. Wanner J., 1997: Odpadní vody '97: Sborník přednášek 2. mezinárodní konference AČE ČR, Jihlava, 26-27.5.1997. NOEL, Brno, 166 s.
34. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění.

35. ČSN 75 6101: Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012. 44 s.
36. ČSN 75 6406: Odvádění a čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení. Český normalizační institut, Praha, 1996. 20 s.
37. ČSN 75 6505: Zneškodňování odpadních vod z povrchových úprav kovů a plastů. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1991. 28 s.
38. Česalová, M., 2017: 8. Odstraňování nutrientů (online) [cit. 2017.03.20], dostupné z <<http://chemikalie.upol.cz/skripta/tv/index.htm>>
39. Vacík S., 2017: Dezinfekce vody, UV lampy (online) [cit. 2017.03.18], dostupné z <<http://www.harsoft.cz/harsoft/eshop/12-1-Dezinfekce-vody-UV-lampy>>
40. Zimová M., Podolská Z., Matějů L., Melicherčík J., 2011: Zdravotní rizika při nakládání s odpady ze zdravotnických zařízení (online) [cit. 2017.03.22], dostupné z <[http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz\\_dny\\_a\\_seminare/2011/8\\_zimova\\_odpady.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2011/8_zimova_odpady.pdf)>
41. Klen J., 2007: Odvádění odpadních vod z infekčního oddělení. (online) [cit. 2017.02.25], dostupné z <<http://www.steril.cz/2007/04/zdravim-mam-dotaz-ohledne-odpadnich-vod-ze-zdrav-zarizeni-konkr-z-infekcniho-odd-existuje-legislativa-navod-dle-ceho-postupovat-dekuji-za-odpoved/>>
42. Fojtů M., 2012: Ani čistá voda není tak úplně čistá. (online) [cit. 2017.04.12], dostupné z <<https://www.online.muni.cz/tema/3227-ani-cista-voda-neni-tak-uplne-cista>>
43. Kol. zaměstnanců fitmy GOOL s.r.o., 2013: Nejčastější dotazy k provozu Čističky odpadních vod. (online) [cit. 2017.02.24], dostupné z <[http://www.gool.cz/files/gool/pdf\\_cov/nejcastejsi\\_dotazy\\_cov.pdf](http://www.gool.cz/files/gool/pdf_cov/nejcastejsi_dotazy_cov.pdf)>
44. CZEMP – Česká membránová platforma, 2010-2016: Membránové reaktory. (online) [cit. 2017.02.22] dostupné z <<http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-reaktory>>



## 9.1 Seznam obrázků

- Obr. 1: Schéma R-D-N Procesu (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 2: Geometrie česlí a sít (http://www.asio.cz/cz/97.intenzifikace-cov, 2012)
- Obr. 3: Strojně stírané hrubé česle (http://www.fontanar.cz/mechanicke-predcistení.php, 2017)
- Obr. 4: Jemné bubnové síto s integrovaným lisem na shrabky (http://www.huberco.cz/cz/produkty/cesle-a-sita/cesle-a-sita-rotamatr/huber-rotacni-cesle-rotamatr-ro1.html, 2017)
- Obr. 5: Vertikální lapák písku (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 6: Separace a praní písku (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 7: Kruhová a pravoúhlá nádrž s horizontálním průtokem (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 8: Nádrž kruhová s vertikálním průtokem (levý obrázek), štěrbinová UN (prostřední obrázek) a odtokový žlab (pravý obrázek) (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 9: Hladina redoxního potenciálu charakterizující biologické čistírenské procesy (Švehla a kol., 2004)
- Obr. 10: Blokové schéma aktivačního procesu (Švehla a kol., 2004)
- Obr. 11: Směšovací aktivace (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 12: Aktivace s postupným tokem (Hlavínek a kol., 2003)
- Obr. 13: Diskové aerační elementy jemnobublinné (levý obrázek), středně a hrubobublinné (pravý obrázek) (http://www.envi-pur.cz/cz/aeracni-systemy/, 2017)
- Obr. 14: Schéma selektorového systému s mechanickou aerací ve vlastní aktivaci (Hlavínek, Hlaváček, 1996)
- Obr. 15: Schéma zkrápěné biologické kolony (Bindzar a kol., 2009)
- Obr. 16: Rotační diskový reaktor (Bindzar a kol., 2009)
- Obr. 17: Schéma zapojení zkrápěné biologické kolony s aktivací se společnou biomasou (Bindzar a kol., 2009)
- Obr. 18: Proudění vody přes filtrační vrstvy (Drinan, 2013).
- Obr. 19: Přehled filtrace (Pošta a kol., 2005)
- Obr. 20: Separací proces a látková bilance (Pošta a kol., 2005)
- Obr. 21: Přehled typů filtrace a příklady odseparovatelných částic (Bindzar a kol., 2009)
- Obr. 22: Závislost hmotnostní koncentrace rozpuštěné látky  $\rho$  v kapalná fázi na čase  $t$  po přidání absorbentu (Bindzar a kol., 2009)
- Obr. 23: Mokrý oxidace (Pošta a kol., 2005)

- *Obr. 24: 3D Model membránového bio-reaktoru ([https://www.alibaba.com/product-detail/MBR-Membrane-Bioreactor-Bio-reactor\\_60023084659.html](https://www.alibaba.com/product-detail/MBR-Membrane-Bioreactor-Bio-reactor_60023084659.html), 2017)*

## 9.2 Seznam tabulek

- *Tabulka 1: Stokování a čištění odpadních vod ve střední a východní Evropě pro města s více než 25 tis. obyvatel (Hlavínek a kol., 2003)*
- *Tabulka 2: Podmíněně patogenní a patogenní mikroorganismy vyskytující se v odpadních vodách (Hlavínek, Hlaváček, 1996)*
- *Tabulka 3: Indikátorové mikroorganismy (Hlavínek, Hlaváček, 1996)*
- *Tabulka 4: Typy filtrace podle velikosti odseparovatelných částic (Bindzar a kol., 2009)*