

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



**Fakulta životního
prostředí**

Technologie čištění nemocničních odpadních vod

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Zdeňka Wittlingerová, CSc.

Konzultant: Ing. Gabriela Jírová

Bakalant: Adéla Gogová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adéla Gogová

Územní technická a správní služba

Název práce

Technologie čištění nemocničních odpadních vod

Název anglicky

The treatment of hospital wastewater

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše na téma čištění odpadních vod se zaměřením na odpadní vody z nemocnic. Bakalářská práce se bude věnovat technologii čištění nemocničních odpadních vod nemocnicí s vlastní ČOV – způsobům odstraňování reziduí léčiv z odpadních vod.

Práce bude dále pojednávat o průniku odpadních vod se zbytky léčiv do povrchových vod a možném riziku pro člověka a životní prostředí.

Metodika

Bakalářská práce bude zpracována formou literární rešerše a dále bude popsána technologická linka čišrných odpadních vod z FN Motol.

Doporučený rozsah práce

cca 30 normovaných stran textu bez příloh

Klíčová slova

odpadní voda, léčiva v odpadních vodách, rizika pro životní prostředí, odpadní voda z nemocnic

Doporučené zdroje informací

Další odborná literatura a odborná periodika

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

KÜMMERER, K. (ed.), Pharmaceuticals in the environment: sources, fate, effects and risks. Springer Science & Business Media, 2008. ISBN 9783540746645.

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

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Zdeňka Wiingerová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Ing. Jírová Gabriela

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2018

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Zdeňky Wittlingerové, CSc. Další informace mi poskytla Ing. Gabriela Jírová. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 17.03.2018

Adéla Gogová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala prof. Ing. Zdeňce Wittlingerové, CSc. za vedení práce, konzultantce Ing. Gabriele Jírové za ochotu a cenné rady při zpracování této práce, pánům technikům ze zdravotnického zařízení za jejich čas a poskytnuté informace a v neposlední řadě svým rodičům za podporu během studií.

V Praze 17.03.2018

Adéla Gogová

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou znečištění odpadních vod pocházejících ze zdravotnických zařízení, infekčními vodami, technologiím využívaným k jejich čištění a možnostmi kontaminace životního prostředí při nedostatečném čištění odpadních vod.

Téma znečištění odpadních vod patogeny ohrožující nejen lidské zdraví, ale i životní prostředí a organismy v něm, je velice aktuální zejména kvůli rezistentnosti těchto patogenů vůči tradičnímu čištění odpadních vod. Mimo to dochází k neustálému nárůstu druhů a spotřeby léčiv, která se do odpadní vody dostávají nejen ze zdravotnických zařízení, ale i (kvůli nezodpovědnému chování uživatelů léčiv) z domácností. Technologie čištění odpadních vod však zůstávají zastaralé a vůči některým druhům takového znečištění neúčinné. Dosud však není zcela jisté, jaká rizika mohou takto znečištěné vody představovat pro životní prostředí.

V závěru práce jsou popsány inovativní technologie metod čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení a některé technologie využívané v praxi.

Klíčová slova: odpadní voda, léčiva v odpadních vodách, rizika pro životní prostředí, odpadní voda z nemocnic

Abstract

The bachelor thesis deals with problems of pollution of wastewater from medical facilities, infectious waters, technologies used for their sanitation and possibility of contamination of the environment in case of insufficient wastewater treatment.

The topic of contamination of wastewater with pathogens that pose a threat not only to human health, but also the environment and organisms therein, is particularly relevant due to the resistance of these pathogens to traditional wastewater treatment. In addition, there is a steady increase in variety and consumption of pharmaceuticals that go into wastewater not only from healthcare facilities but also from households due to the irresponsible behavior of drug users. Wastewater treatment technologies, however, remain obsolete and ineffective for some types of such pollution. However, it is not yet entirely certain what risks the polluted water can pose to the environment.

At the end of the thesis are described innovative technologies of wastewater treatment methods from medical facilities and some technologies used in practice.

Keywords: wastewater, drugs in wastewater, environmental risks, hospital wastewater

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce	11
3. Vymezení důležitých pojmů a legislativa	12
3.1 Farmaka	12
3.2 Zdravotnická zařízení I. kategorie.....	12
3.3 Zdravotnická zařízení II. kategorie.....	12
3.4 Infekční odpadní vody	13
3.5 Česká legislativa v oblasti infekčních vod	13
4. Odpadní vody.....	14
4.1 Druhy odpadních vod	14
4.2 Ukazatele znečištění odpadních vod	16
4.3 Patogeny šířené vodou.....	19
4.4 Zásady předcházení vzniku a šíření nákaz ve vodě.....	21
5. Odpadní vody ze zdravotnických zařízení.....	23
5.1 Farmaka v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení	24
5.2 Dezinfekční prostředky v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení ..	25
5.3 Těžké kovy v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení	25
5.4 Odvádění nemocničních odpadních vod	26
5.5 Rizika spojená s odpadními vodami z nemocnic	26
5.6 Ekotoxické účinky léčiv	27
5.7 Snížení emisí léčiv do životního prostředí	29
6. Technologie biologického čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení... 30	
6.1 Proces aktivace	30
6.2 Aerobní stabilizace	31
6.3 SBR systémy (Sequential Batch Reaction)	32
6.4 Systém FBR (Fluidized Bed Reactor).....	33
6.5 SAFF reaktor (Submerged Aeration Fixed Film Reactor)	34
6.6 Membránové bioreaktory (MBR).....	36
7. Metody dezinfekce odpadních vod z nemocnic.....	37
7.1 Dezinfekce chlorem.....	38
7.2 Dezinfekce chlornanem sodným	38

7.3	Dezinfekce oxidem chloričitým	39
7.4	Dezinfekce ozonem	39
7.5	Dezinfekce ultrafialovým zářením	40
8.	Výsledné zhodnocení	40
8.1	Čistírna odpadních vod ve Fakultní nemocnici Motol	41
8.1.1	Základní údaje o čistírně odpadních vod.....	41
8.1.2	Hlavní technologické soubory čistírny a jejich funkce	41
8.2	Čištění odpadních vod ve vybrané nemocnici.....	47
8.3	Porovnání metod čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení.....	48
9.	Diskuze	49
10.	Závěr	50
11.	Přehled literatury a použitých zdrojů	51
12.	Přílohy	55

Seznam použitých zkratek

AOX	halogenové organické sloučeniny
BSK	biochemická spotřeba kyslíku
C _{org}	organický uhlík
ČSN	Česká technická norma
DNA	deoxyribonukleová kyselina
EC ₅₀	střední efektivní koncentrace (koncentrace, která negativně ovlivní 50 % testovaných jedinců v daném časovém úseku)
FBR	fluidized bed reactor (reaktor s fluidizovaným ložem)
FN	fakultní nemocnice
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
MBR	membránový bioreaktor
NL	nerozpuštěné látky
PAU	polyaromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyly
PE	polyethylen
PES	polyester
PVDF	polyvinylidenfluorid
Q ₂₄	průměrný denní průtok
RAS	rozpuštěné anorganické soli
RL	rozpuštěné látky
RNA	ribonukleová kyselina
SAAF	submerged aeration fixed film (reaktor s upevněným ponořeným biofilmem)
SBR	sequential batch reactor (sekvenční reaktor)
THM	trihalogenmethany
UV	ultrafialové záření
VL	veškeré látky

1. Úvod

Voda jako základ života a podmínka jeho existence je na Zemi tím nejvzácnějším produktem přírody. Vzhledem k jejímu omezenému množství se čím dál více stává předmětem byznysu a nakládání s ní přestává splňovat principy trvale udržitelného rozvoje, ačkoliv by tomu mělo být právě naopak.

S rostoucí a vyvíjející se společnostmi stoupají také nároky na spotřebu vody. Právě z tohoto hlediska je nutné cílit na co nejmenší znečišťování vody, jejích zdrojů a důkladné čištění, jelikož kontaminací a nedostatečným čištěním odpadní vody přispíváme k její nevyužitelnosti, čímž se její zásoby ještě více ztenčují.

Kontaminaci vod, kterou způsobují patogeny a léčiva obsažená ve vodě se dá zabránit právě účinným čištěním odpadních vod. Toho se dá dosáhnout především využitím novějších technologií. Jelikož ale doposud neexistuje zákon, který by stanovoval limity mikrobiálního znečištění, jsou stále využívány zastaralé tradiční metody čištění odpadních vod, které nejsou schopny takové druhy znečištění odbourat.

2. Cíle práce

Cílem práce je zpracování literární rešerše o znečištění infekčních vod, které musí být předčišťovány v místě vzniku a o technologiích k tomu využívaných. Dále budou zpracovány informace o čištění odpadních vod z nemocnic na konkrétních příkladech z praxe.

3. Vymezení důležitých pojmů a legislativa

3.1 Farmaka

Farmaka jsou látky, které slouží k předcházení, léčení nebo zmírnění projevů chorob. Tyto látky lidstvo zná a užívá zhruba od 5. století před naším letopočtem, kdy jsou datovány prvotní zmínky o farmacii. V těchto dobách se však jednalo spíše o látky rostlinného a živočišného původu. Jejich používání se vymezovalo znalostmi tehdejší chemie. Obrovský rozvoj v tomto odvětví nastal po 2. světové válce a stále trvá (Kotyza et al., 2009). V Evropské unii je dnes používáno na 3000 různých látek, a to jen co se humánní medicíny týče. S vyšším počtem farmak a vzrůstající výrobou zákonitě roste i jejich spotřeba (Šídlová et al., 2011). Léčiva se vyrábějí průmyslově ve velkém a jejich užívání není povětšinou nikterak omezeno. To má samozřejmě dopad na životní prostředí, ve kterém se zejména v posledních letech výskyt farmak a jejich reziduí zvyšuje (Kotyza et al., 2009).

3.2 Zdravotnická zařízení I. kategorie

Do I. kategorie řadíme zařízení určená k izolaci a léčbě přenosných onemocnění či k manipulaci s infekčním materiálem, ve kterém se mohou vyskytovat vodou přenosní původci chorob (střevní patogeny, infekční hepatitidy, enteroviry a další) (ČSN 75 6406).

Voda pocházející z takových zařízení musí být vyčištěna a vydezinfikována tak, aby odpovídala jakostním nárokům v kanalizačním řádu. Dále voda může pokračovat veřejnou stokou do městské čistírny odpadních vod nebo být se souhlasem vodohospodářských orgánů vypouštěna do recipientu. Odpadní vodu této kategorie lze také dekontaminovat přímo v místě jejího vzniku a následně ji vypouštět do veřejné stokové sítě v souladu s kanalizačním řádem. Choroboplodné zárodky musí být před vypuštěním do veřejné stokové sítě vždy zcela zneškodněny (ČSN 75 6406).

3.3 Zdravotnická zařízení II. kategorie

Do II. kategorie patří ostatní zdravotnická zařízení, která nejsou určena k účelům jako zdravotnická zařízení I. kategorie. Výskyt choroboplodných zárodků

se u těchto zařízení nepředpokládá. Řadíme sem neinfekční lůžková oddělení, lékařské ordinace, patologická oddělení a další (ČSN 75 6406).

Odpadní voda pocházející z takových zařízení může být v souladu s kanalizačním řádem bez předčištění vypouštěna přímo do veřejné stokové sítě, pokud je tato síť napojena na čistírnu odpadních vod. V případě přímého vypouštění vody do recipientu je nutné vybudovat samostatnou čistírnu (ČSN 75 6406).

3.4 Infekční odpadní vody

Infekční odpadní vody jsou dle ČSN 75 6406 takové odpadní vody, které obsahují choroboplodné zárodky takového druhu a v takovém množství, že vyžadují zvláštní opatření před vypuštěním do veřejné stokové sítě.

Konkrétní druhy zárodků ani jejich množství však tato norma neuvádí. Mělo by však platit, že každé zdravotnické zařízení nakládající s infekčními materiály by mělo disponovat vlastní čistírnu odpadních vod, neboť není možné takto znečištěné odpadní vody vypouštět na klasickou čistírnu odpadních vod, která neumožňuje eliminaci choroboplodných zárodků.

3.5 Česká legislativa v oblasti infekčních vod

Seznam nebezpečných látek nebo skupin látek, které nesou velmi vysoké riziko ve vodním prostředí zejména z důvodu perzistence a schopnosti bioakumulace, je uvedený v zákoně č.254/2001 Sb. (zákon o vodách). Stejně tak je zde zmíněna kategorie zvlášť nebezpečných látek, které představují významné riziko pro vodní prostředí a související ekosystémy. Každý, kdo s látkami spadajícími do těchto kategorií zachází, má povinnost učinit odpovídající opatření, aby zabránil vniknutí těchto látek do povrchových či podzemních vod a kanalizací.

Provozovatelé, kteří vypouštějí odpadní vodu do veřejné kanalizace, jsou vázáni zákonem č.274/2001 Sb. (zákon o vodovodech a kanalizacích) a to ve smyslu odvádění odpadních vod, které musí splňovat požadavky limitů maximálního znečištění v daném kanalizačním řádu.

Zákon o ochraně veřejného zdraví č.258/2000 Sb. popisuje povinnosti poskytovatelů zdravotnických služeb při výskytu infekčního onemocnění nebo při podezření na jeho výskyt. V takovém případě je nutné naříditi izolaci vždy na infekčním oddělení, popř. převoz pacienta k poskytovateli zdravotních služeb, jež takové oddělení zřízené má.

Velmi obsáhle se problému odpadních vod pocházejících ze zdravotnických zařízení věnuje norma ČSN 75 6406 o Odvádění a čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení z roku 1996. Tato norma stanovuje zásady pro navrhování, výstavbu a provoz stokových sítí, kanalizačních přípojek, ale i samostatných čistíren odpadních vod pro zdravotnická zařízení produkující infekční nebo radioaktivní odpadní vody. Přestože tato norma poskytuje velké množství informací k problému závadnosti odpadních vod ze zdravotnických zařízení, její více než dvacetiletá platnost hlásá po aktualizaci, zejména kvůli neaktuálnosti v dnešních trendech čištění infekčních zárodků z odpadních vod.

4. Odpadní vody

4.1 Druhy odpadních vod

Splaškové odpadní vody

Mezi vody splaškové řadíme odpadní vody z domácností, sociálních zařízení, kuchyní, umýváren, restaurací, hotelů a nemocnic (Pošta et al., 2005). Tyto vody jsou znečištěny jak organicky (až 80 % organických látek pochází z moči a fekálií), tak anorganicky. Mimo to také obsahují velké množství mikroorganismů. Tyto organismy se do odpadní vody dostávají fekáliemi, ale například i z nedostatečně dezinfikované vody pocházející z úklidu nemocničních prostorů. Proto jsou splaškové vody velice rizikové, co se infekčnosti týče (Švehla et al., 2004).

Splaškové vody jsou vždy závadné hygienicky a ve většině případů též sensoricky (vzhledově a pachově). Jejich barva je silně zakalená šedá až hnědá. Obsahují vysoké množství nerozpuštěných i rozpuštěných látek. Teplota je výrazně vyšší než teplota vod povrchových (Švehla et al., 2004). V našich klimatických podmínkách se pohybuje v rozmezí od 5 do 20 °C v závislosti na ročním období.

Hodnota pH je 6,8 až 7,5 (Dohányos et al., 1998).

Průmyslové odpadní vody

Odpadní průmyslové vody pochází z technologických procesů výroby, z chlazení či z mytí výrobních zařízení. Jsou to například vody pivovarské, jateční, mlékárenské, z lakoven, z textilního průmyslu a jiné (Pošta et al., 2005). Mezi průmyslové odpadní vody obvykle zahrnujeme i odpadní vody ze zemědělské výroby. Biologicky dobře rozložitelné organické znečištění v odpadní vodě pocházející z průmyslu se zpravidla čistí společně s vodou splaškovou (Švehla et al., 2004).

Průmyslové odpadní vody, které se svým složením a charakterem liší od vod splaškových, je potřeba čistit nejlépe přímo u zdroje vzniku (v podnikových čistírnách) (Pošta et al., 2005). Vypouštění průmyslových odpadních vod do veřejné kanalizace se řídí kanalizačními řády. Do kanalizace zásadně nesmí být vypouštěny látky, které nejsou odpadními vodami:

- látky radioaktivní, infekční, nadměrně páchnoucí nebo ohrožující bezpečnost a zdraví obyvatelstva
- látky narušující materiál stokové sítě nebo čistírny odpadních vod
- látky hořlavé, výbušné, látky tvořící smísením se vzduchem dusivé nebo otravné směsi
- látky, které se smísením s jinými látkami vyskytujícími se v kanalizaci rozkládají na jedy
- pesticidy, jedy, omamné látky a žíraviny
- soli, ropné produkty a nerozpuštěné látky v nadměrném množství (Švehla et al., 2004).

Srážkové odpadní vody

Srážkové vody jsou vody odváděné do kanalizačního systému z urbanizovaného povodí (ulice, střechy, veřejná prostranství, parkoviště, nezpevněné plochy) (Pošta et al., 2005). Poměrně čistá dešťová voda je kontaminována při průchodu atmosférou a dále splachováním různých ploch. Kvalita dešťových vod velice kolísá a je ovlivněna řadou parametrů, jako jsou:

- intenzita srážek
- předchozí průběh srážek (jak moc je smyto znečištění z nepropustných ploch)
- charakteristika sběrné oblasti stoky (povrch, spád, rozloha) (Švehla et al., 2004).

Balastní vody

Balastními vodami rozumíme vody mimovolně zachycené v síti. Řadíme mezi ně přítoky vody z podzemních horizontů (prameny svedené do kanalizace), dešťové vody v oddílných sítích dostávající se do splaškové kanalizace (netěsnost stokových sítí) apod. (Švehla et al., 2004; Pošta et al., 2005).

Městské odpadní vody

Jedná se o směs splaškových odpadních vod, průmyslových odpadních vod, srážkových odpadních vod a vod balastních. Tato směs přichází kanalizací na čistírnu odpadních vod (Švehla et al., 2004). U velkých měst převládá podíl vod splaškových, u malých měst závisí složení odpadní vody na podílu průmyslu (Pošta et al., 2005).

4.2 Ukazatele znečištění odpadních vod

V této kapitole jsou uvedeny nejdůležitější ukazatele znázorňující množství a druh znečištění odpadní vody. Volí se vždy takové, které jsou pro daný účel nejvhodnější (pro pitnou vodu, pro průmyslovou vodu, pro splaškovou vodu).

Ukazatele lze rozřadit do několika skupin:

- Fyzikální ukazatele – teplota, barva, zákal, průhlednost, vodivost, REDOX potenciál
- Chemické ukazatele – pH, chemické složení, tvrdost vody
- Radiologické ukazatele – celková aktivita alfa, beta, aktivita Rn
- Mikrobiologické ukazatele – koliformní bakterie, fekální bakterie, enterokoky, mezofilní a psychofilní bakterie
- Biologické ukazatele – saprobní index
- Ekologické ukazatele – podmínky pro život ryb, samočistící schopnost

- Skupinové (technologické) ukazatele – BSK₅, CHSK, C_{org}, NL, RL, VL, formy N, P, Cl, S, Fe, Mn, Ca, Mg, toxické kovy, PCB, PAU, RAS a jiné (Pošta et al., 2005).

Většina odpadních vod disponuje velkým množstvím různorodých směsí organických látek. Stanovení kvantity a kvality jednotlivých sloučenin by bylo jednak velmi nákladné a jednak časově náročné. Z tohoto důvodu se obvykle stanoví skupina příbuzných látek pomocí jednoho standardu a tato stanovení jsou nazývána jako skupinová (Švehla et al., 2004). Následující řádky se věnují nejdůležitějším a běžně používaným stanovením, která charakterizují odpadní vodu.

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

BSK vyjadřuje množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy při biochemických pochodech na rozklad organických látek přítomných ve vodě za přístupu kyslíku. Její hodnota se udává v mg/l. Organické látky stanovené touto hodnotou jsou důležité při odčerpávání rozpuštěného kyslíku z vody. Ten je limitujícím faktorem pro většinu organismů žijící ve vodním prostředí. Index připojený za symbolem BSK charakterizuje délku testu ve dnech. Nejčastěji se pro stanovení BSK užívá BSK₅ (Švehla et al., 2004).

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Pomocí CHSK se stanovuje množství organických látek obsažených ve vodě, které jsou chemicky oxidovatelné. Tyto látky jsou oxidovány dichromanem draselným (CHSK_{Cr}) – zejména pro hodnocení organického znečištění odpadních vod nebo manganistanem draselným (CHSK_{Mn}) – při chemických rozborech pitné vody (Švehla et al., 2004).

Nerozpuštěné látky (NL)

Koncentrace NL se určuje jako rozdíl koncentrací látek veškerých a rozpuštěných. Využívá se zejména pro hodnocení vlastností kalů. Hodnoty NL obsažených ve vodě vyjadřují především množství znečištění, které lze teoreticky zachytit fyzikálními postupy (sedimentací, filtrací). Proto je nutné znát alespoň

přibližnou koncentraci NL při projektování čistírny odpadních vod (Švehla et al., 2004). NL patří k jednomu z nejzávažnějších druhů znečištění odpadních vod. Je to zejména kvůli jejich schopnosti se usazovat, čímž mohou ve vodních tocích vytvářet kalové lavice. Organické látky v takových kálech anaerobně vyhnívají za vývinu plynů a při jejich rozvíření mohou náhlým zvýšením spotřeby kyslíku způsobit kalamitní situaci (úhyn ryb, hnilobné poměry vody). Větší nečistoty způsobují především estetickou a hygienickou závadnost vody (Pošta et al., 2005).

Koncentrace celkového dusíku a fosforu (N_{celk} a P_{celk})

Koncentrace N a P má při vypouštění vyčištěných odpadních vod velký význam. Při vysokých koncentracích totiž v přírodě dochází k eutrofizaci vod, tedy vysokému obsahu minerálních živin ve vodě. Přísun těchto živin (zejména P a N) narušuje biologickou rovnováhu ve vodě a dochází k přemnožení fytoplanktonu. To může vyvolat sekundární znečištění vody organickými látkami. Dochází ke zhoršení organoleptických vlastností vody a k tvorbě toxických organických látek (Švehla et al., 2004).

Tabulka 1: Přehled znečišťujících látek v odpadních vodách (Dohányos et al., 1998)

rozpuštěné	organické	biologicky rozložitelné	cukry, mastné kyseliny	
		biologicky nerozložitelné	barviva	
	anorganické		těžké kovy, sulfidy	
nerozpuštěné	organické	biologicky rozložitelné	škrob, bakterie	
		biologicky nerozložitelné	plasty, papír	
		usaditelné		celulosová vlákna
		neusaditelné	koloidní	bakterie
	plovoucí		papír	
	anorganické	usaditelné		písek, hlína
		neusaditelné		brusný prach

Tabulka 2: Průměrné hodnoty ukazatelů znečištění v přepočtu na jednoho obyvatele za den (Chudoba et al., 1991)

Ukazatel znečištění	Údaj	Jednotka
NL	55	g
BSK ₅	60	g
CHSK	109	g
C _{org}	40	g
BSK ₅ /CHSK	0,55	-
C _{org} /CHSK	0,37	-
BSK ₅ /C _{org}	1,50	-
Celkový dusík (N _{celk})	12	g
Celkový fosfor (P _{celk})	2-4	g

4.3 Patogeny šířené vodou

Jednou z bakterií způsobující životně nebezpečné onemocnění cholera je *Vibrio cholerae*. Její přítomnost v těle vyvolává těžké vodnaté až krvavé průjmy. Světově se během jednoho roku vyskytne zhruba jedna miliarda případů onemocnění cholerou, z níž zhruba 0,3 % lidí v důsledku nemoci zemře. Největší výskyt cholery je v Asii, Africe a Jižní Americe. V České republice se objevuje každý rok jen několik málo případů. Pacienti si nákazu přivážejí z exotických zemí (Kožíšek et al., 2007).

Salmonella enterica typhi, bakterie vyvolávající břišní tyfus. Tato nemoc byla ještě v minulém století jednou z nejčastějších příčin epidemií způsobených vodou v rozvinutých zemích. Projevem nemoci bývá náhlá horečka, bolest břicha a hlavy, celková únava a nevolnost doprovázená průjmy, které mohou zapříčinit dehydrataci či perforaci střeva (Kožíšek et al., 2007).

V České republice se roku 1894 nakazilo tyfem 1 235 lidí, z nichž 131 onemocnění podlehl (Muzeum pražského vodárenství, 2017).

Nemoc zvanou salmonelóza vyvolává bakterie *Salmonella typhimurium*. V jejím důsledku dochází k závažným průjmovitým onemocněním, která se inkubují během krátkého časového rozmezí (zhruba 8 hodin). Výskyt této nemoci v Evropě se v posledních letech zvyšuje. Pitná voda však není hlavní příčinou přenosu (Kožíšek et al., 2007).

Escherichia coli je bakterie, jejíž početná přítomnost ve střevech lidí a zvířat je zcela běžná. Avšak zahrnuje mnoho patogenních rodů, které mohou způsobit epidemie z pitné vody s velice vážnými následky. U lidí se kromě krvavých průjmů může objevit i hemolyticko-uremický syndrom, jež může mít smrtelné následky. Také dochází k selhání ledvin (Kožíšek et al., 2007).

Skupiny virů *hepatitidy A, E a F* způsobují zánětlivá onemocnění jater, která jsou přenášena fekálně-orální cestou (nemoc špinavých rukou). Tyto viry se vyskytují po celém světě včetně České republiky. Dokonce zde byly v minulém desetiletí příčinou několika epidemií způsobených pitnou vodou (Kožíšek et al., 2007).

Mezi virové příčiny způsobující těžké průjmy doprovázené horečkami u kojenců a malých dětí jsou *rotaviry*. Děje se tomu jak v rozvojových, tak v rozvinutých zemích. Tento druh virů byl objeven teprve v 70. letech 20. století. Cestou přenosu je osobní kontakt (fekálně-orální cesta) (Kožíšek et al., 2007).

Cryptosporidium je prvok, jehož odolné vývojové stadium (tzv. oocysta) se často vyskytuje v povrchových vodách. Proto bez důkladné filtrace může proniknout i do pitné vody. Chemická dezinfekce je totiž proti oocystám cryptosporidií zcela neúčinná. Jeho přítomnost v pitné vodě způsobuje nemoc zvanou kryptosporidióza. Jedná se o průjmovité onemocnění. Ve Velké Británii a USA je v dnešní době nejčastější příčinou epidemiologického onemocnění z pitné a rekreační vody (Kožíšek et al., 2007).

Podobné problémy jako výše zmíněné *Cryptosporidium* způsobuje i prvok *Giarda intestinalis*, známá jako lamblie lidská. Vyvolaná nemoc se jmenuje giardióza. Jedná se opět o průjmové onemocnění, méně často může postihnout i játra (Kožíšek et al., 2007).

Legionella, bakterie způsobující legionelózu, může mít dvě klinické formy. Jedna z nich se projevuje těžkým zápallem plic, ta druhá vyvolává mírnější horečnaté onemocnění. Ve vodách se tato bakterie vyskytuje běžně, ovšem ve vodě teplé se může velmi snadno přemnožit. Cesta přenosu je nejčastěji inhalační, a to například při sprchování vdechnutím infikovaného aerosolu (Kožíšek et al., 2007).

Dalšími obávanými původci průjmových onemocnění přenášených vodou jsou bakterie rodu campylobacter, adenoviry, enteroviry, noroviry a další (Kožíšek et al., 2007).

Tabulka 3: Patogeny šířené vodou a jejich význam (World Health Organization, 2004; Kožíšek et al., 2007 podle Světové zdravotnické organizace)

Patogen	Zdravotní riziko	Přežívání ve vodě	Rezistence vůči chloru	Relevance v ČR
Bakterie				
<i>Escherichia coli</i> – patogenní	vysoké	střední	nízká	vysoká
<i>Legionella spp.</i>	vysoké	rozmnožují se	nízká	vysoká
<i>Salmonella typhi</i>	vysoké	střední	nízká	vysoká
Jiné salmonely	vysoké	mohou se rozmnožovat	nízká	vysoká
<i>Vibrio cholerae</i>	vysoké	krátké	nízká	střední
Viry				
Adenoviry	vysoké	dlouhé	střední	vysoká
Enteroviry	vysoké	dlouhé	střední	vysoká
Virus hepatitidy A	vysoké	dlouhé	střední	vysoká
Virus hepatitidy E	vysoké	dlouhé	střední	střední
Noroviry a sapoviry	vysoké	dlouhé	střední	střední
Rotaviry	vysoké	dlouhé	střední	střední
Protozoa (prvoci)				
<i>Cryptosporidium spp.</i>	vysoké	dlouhé	vysoká	střední
<i>Giarda intestinalis</i>	vysoké	střední	vysoká	střední

4.4 Zásady předcházení vzniku a šíření nálezů ve vodě

Chce-li provozovatel zajistit pitnou vodu bez infekčních zárodků, které by mohly být příčinou onemocnění, nesmí se spoléhat pouze na průběžnou dezinfekci

vody chlorem, ta totiž není účinná proti všem druhům choroboplodných zárodků. Také může negativně ovlivňovat rozbor vody a to tak, že zahubí citlivé indikátorové bakterie, ale odolné patogeny zůstanou životaschopné. Výsledek rozboru pak bude chybně negativní (Kožíšek et al., 2007).

Aby byla voda mikrobiologicky nezávadná, je nutné uplatňovat tzv. multibariérový přístup, což znamená vytvoření tolika stupňů opatření v průběhu dopravy vody od zdroje ke spotřebiteli, kolik existuje po cestě nebezpečných míst vstupu infekčních zárodků do vody.

První bariérou je důsledná ochrana zdroje surové vody, tzv. funkční ochranné pásmo (Kožíšek et al., 2007). Tato ochranná pásma vodních zdrojů stanoví vodoprávní úřad opatřeními obecné povahy pro ochranu vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních a povrchových vod využívaných nebo využitelných pro zásobování pitnou vodou s průměrným odběrem větším než 10 000 m³ za rok a zdrojů podzemní vody pro výrobu balené kojenecké nebo pramenité vody. Při závažných odůvodněních lze však tato pásma stanovit i pro vodní zdroje s nižší kapacitou (Tuháček et al., 2015).

Další bariérou zabraňující kontaminaci systému zásobování pitnou vodou po ochraně zdroje jsou procesy úpravy vody. Pokud se jedná o povrchovou vodu nebo podzemní vodu ovlivněnou vodou povrchovou, jako nejúčinnější opatření je považována filtrace s následnou koagulací. To bývá velice efektivním dezinfekčním prvkem zejména kvůli zachycení většiny virů a bakterií, ale také prvoků a jejich stádií, na které nemá chemická dezinfekce téměř žádný vliv. Je-li nutné po úpravě vody provést ještě její dezinfekci, je opět zapotřebí vybrat vhodný způsob vzhledem ke kvalitě vody. Může se jednat o různé chemické látky (plynný chlor, ozon, chlornan, peroxid vodíku), jejich kombinaci nebo například UV záření či mikrofiltraci (Davison et al., 2005; Kožíšek et al., 2007).

Třetí bariérou je ochrana vody před sekundární kontaminací během distribuce ke spotřebiteli. Zejména je zde důležité udržovat přetlak v celé distribuční síti (aby nemohlo dojít k nasátí kontaminované vody z podloží při podtlaku), kterou je mimo jiné také nutné udržovat biologicky stabilní. Dále je systém třeba vhodně zabezpečit proti neoprávněnému přístupu a narušení. Měla by být také zajištěna příslušná

ochrana vody při akumulaci na vodojemech (Davison et al., 2005; Kožíšek et al., 2007).

Poslední bariérou je domovní (vnitřní) rozvod vody u spotřebitele. Ten by měl být navržený tak, aby zde nedocházelo ke zbytečné stagnaci vody. Materiál potrubí by měl být hygienicky nezávadný a nepodporující množení bakterií. Samozřejmě zde nesmí dojít k žádnému křížení s jinými rozvody, kudy protéká nepitná, užitková voda nebo např. technologická voda (Kožíšek et al., 2007).

5. Odpadní vody ze zdravotnických zařízení

Odpadní vody ze zdravotnických zařízení definuje ČSN 75 6406 jako infekční a radioaktivní odpadní vody odtékající ze zdravotnických zařízení, kterými se rozumí lůžková oddělení nemocnic, laboratoře pracující s infekčním materiálem, prosektury a další.

Zde je nutné podotknout, že ne každá odpadní voda odtékající ze zdravotnických zařízení, musí být nutně infekční či radioaktivní. Takové odpadní vody se vyskytují zejména v zařízeních, která s infekčními či radioaktivními materiály pracují.

Mezi nejpoužívanější chemické látky v nemocnicích patří léčiva, radionuklidy, rozpouštědla a dezinfekční prostředky. Do odpadních vod se dostávají po použití k léčebným, dezinfekčním nebo výzkumným účelům (Emmanuel et al., 2005).

Nejvíce zastoupené prvky nebo sloučeniny v odpadních vodách z nemocnic jsou antibiotika, cytostatika, anestetika, dezinfekční prostředky, těžké kovy a jódované kontrastní látky používané pro rentgenová vyšetření (Kümmerer, 2001; Pauwels et Verstraete, 2006).

Velký význam má mikrobiální znečištění odpadní vody ze zdravotnických zařízení, a to zejména kvůli přítomnosti rezistentních kmenů bakterií, které mohou šířit rezistenci vůči antibiotikům (Pauwels et Verstraete, 2006).

5.1 Farmaka v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení

V odpadních vodách z nemocnic je možné nalézt pestrou škálu léčiv. Může se jednat o antibiotika, cytostatika, kontrastní látky, lipidové regulátory, analgetika, antidepresiva, antiepileptika, antipyretika, antirevmatika, β -blokátory, broncholytika, estrogeny a mnoho dalších (Sacher et al., 2011; Ternes, 2001). Výskyt farmak v odpadních vodách je limitován množstvím spotřebovaných léčiv (liší se v různých státech a vyvíjí se v čase), cestou vstupu do odpadních vod, rozložitelností v čistírnách odpadních vod a výskytem v povrchových a podzemních vodách (Váňa et al., 2010).

V České republice byl vytvořen seznam pěti nejvýznamnějších farmak vyskytujících se v odpadních vodách:

- Diklofenak – analgetikum a nesteroidní protizánětlivé léčivo. Zhruba 70 % je spotřebovááno ve formě mastí (volně prodejné). Mimo Evropu se používá převážně perorálně. V České republice je ročně spotřebováno přibližně 20 tun.
- Ibuprofen – nesteroidní protizánětlivé léčivo. Standardně se užívá perorálně. Za rok se v České republice spotřebuje až 200 tun tohoto léčiva.
- Karbamazepin – antiepileptikum, antidepresivum. Používá se výhradně perorálně a pouze na lékařský předpis. Spotřeba tohoto léku se v České republice pohybuje okolo 7,5 tuny/rok.
- Kyselina salicylová – základní metabolit kyseliny acetylsalicylové, známý jako Aspirin. Ročně je ho v České republice spotřebováno až 600 tun.
- Kyselina klofibrová – základní metabolit fibrátů užívaných ke kontrole hladiny lipoproteinů v krvi. Roční spotřeba v České republice je cca 10 tun (Svoboda et al., 2009).

Data ke spotřebovaným léčivům jsou od roku 2008 k dispozici na stránkách Státního ústavu pro kontrolu léčiv (Fuksa et al., 2010). Je však nutné podotknout, že mohou existovat i nekontrolovatelné cesty spotřeby (Váňa et al., 2010).

5.2 Dezinfekční prostředky v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení

Nejpoužívanější dezinfekční prostředky v nemocnicích bývají prostředky založené na bázi chloru. Mohou obsahovat aldehydy včetně jejich derivátů (jako je například glutaraldehyd), které jsou toxické jak pro člověka, tak i pro životní prostředí (Panouilleres et al., 2007).

K zabránění šíření patogenních mikroorganismů se k dezinfekci nemocničních odpadních vodách často používá chlornan sodný. Problém nastává po reakci chloru s organickými látkami ve vodním prostředí, kde dochází ke vzniku halogenových organických sloučenin (AOX), které jsou perzistentními kontaminanty životního prostředí. Tyto sloučeniny jsou také svou toxicitou nebezpečné vodním organismům (Emmanuel et al., 2004).

Dalšími dezinfekčními činidly obsaženými v nemocničních odpadních vodách jsou prostředky založené na bázi kyseliny peroctové. Přestože jsou účinnější již při nižších koncentracích a jejich toxický účinek není tak velký jako u chlornanu sodného, jsou tyto prostředky využívány zřídka (Panouilleres et al., 2007).

5.3 Těžké kovy v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení

Koncentrace těžkých kovů v odpadních vodách z nemocnic jsou obdobné jako koncentrace v městských odpadních vodách. Pouze u tří prvků (rtuť, gadolinium, platina) jsou koncentrace v nemocničních odpadních vodách vyšší (Kümmerer, 2001).

Rtuť je obsažena v diagnostických činidlech, dezinfekčních prostředcích a diureticích používaných ve zdravotnických zařízeních. Gadolinium je uplatňováno jako kontrastní látka pro magnetickou rezonanci. Platina se do nemocničních odpadních vod dostává zejména jejím vylučováním pacienty, kteří jsou léčeni cytostatiky. V menších množstvích pocházejí její emise také ze zubních chirurgií (Kümmerer, 2001).

5.4 Odvádění nemocničních odpadních vod

Principy odvádění a následného čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení v České republice jsou ukotveny v ČSN 75 6406. Způsoby čištění odpadních vod a kalů se dále upravují dle výskytu, charakteru a množství choroboplodných zárodků, radioaktivních látek a podle místních podmínek (ČSN 75 6406).

Obecně se však používají čtyři základní způsoby nakládání s odpadní vodou pocházející ze zdravotnických zařízení:

- přímé vypouštění do životního prostředí
- čištění v komunální čistírně odpadních vod
- čištění v čistírně odpadních vod dané nemocnice a následné vypouštění do životního prostředí
- čištění v čistírně odpadních vod dané nemocnice a následné čištění v komunální čistírně odpadních vod

Pokud čištění odpadních vod probíhá pouze v místě vzniku (v čistírně odpadních vod dané nemocnice), účinnost čištění se pohybuje kolem 90 %. Maximálního efektu čištění je dosaženo při dvojitým čištění nemocniční odpadní vody, tedy v místě vzniku nemocniční čistírnou a následné dočištění čistírnou komunální (Pauwels et Verstraete, 2006).

5.5 Rizika spojená s odpadními vodami z nemocnic

Velká část již zmíněných nebezpečných látek nacházejících se v nemocničních odpadních vodách je rezistentní vůči klasickému čištění odpadních vod v komunálních čistírnách (Gautam et al., 2007). Léciva, která nejsou eliminována, mohou následně způsobovat kontaminaci řek, jezer, zátok, spodních vod ba dokonce i pitné vody. Riziko je zde spojené i se splaškovými kaly, které mohou být upotřebovávány na zemědělských polích jako hnojiva. Touto cestou může dojít ke kontaminaci půdy, odkud mohou být nebezpečné látky spláchnuty do vod povrchových, či prosakovat do vod spodních (Kümmerer, 2008). Odtud se tyto nebezpečné látky dostávají dále do životního prostředí, čímž ohrožují nejen zdraví některých druhů, ale i život celých ekosystémů. Tyto látky mohou také disponovat genotoxicitou, což vzbuzuje podezření, že jsou možnou příčinou vzniku rakoviny, která se v posledních desetiletích objevuje stále častěji (Gautam et al., 2007).

V dnešní době je zaznamenáno zhruba 160 druhů léčiv vyskytujících se v podzemních a povrchových vodách, kam se dostaly z odpadní vody vypuštěné čistírnou odpadních vod. Koncentrace léčiv se řádově pohybovaly v ng/l až µg/l (Kümmerer, 2009). Některá léčiva byla dokonce nalezena v pitné vodě. Přestože technologie úpravy pitných vod by měla výrazným způsobem snižovat výskyt takových látek, nedochází k jejich úplnému odstranění (Cleuvers, 2003). Množství nebezpečných látek potenciálně obsažených v pitné vodě je však zanedbatelné, tudíž se dá požití pitné vody s obsahem takových látek považovat za bezvýznamné (Kümmerer, 2009).

Je nezbytné si uvědomit, že nemocnice nejsou jediným původcem odpadních vod obsahující léčiva. Významným původcem jsou také domácnosti, kde je hlavní cestou léčiv do životního prostředí odpadní voda, v níž jsou obsaženy exkrementy. Léčiva jsou z organismu vyloučena v nezměněné podobě nebo jako metabolity. Dalšími zdroji takto znečištěných odpadních vod mohou být také vody průmyslové, či průsaky skládek, které mohou taktéž obsahovat značné množství léčiv (Holm et al., 1995).

5.6 Ekotoxické účinky léčiv

V současnosti se nám bohužel stále nedostává dostačujících informací ohledně ekotoxických účinků léčiv na vodní a suchozemské organismy. Zejména chybí komplexní zhodnocení těchto účinků. Důležitou cílovou skupinou jsou v první řadě vodní organismy, neboť jsou po celý svůj život vystaveny reziduíům obsaženým v odpadních vodách. Dle doposud známých informací lze konstatovat, že farmaka, která se dostala do životního prostředí, představují pouze nízké riziko akutní toxicity. Data o akutní toxicitě jsou známa pro celou řadu léčiv (Zwiener et Frimmel, 2000), ovšem tyto informace nevyjadřují skutečnou toxicitu v reálných podmínkách různých ekosystémů (Van Gompel et al., 2005). Také nelze opomenout možný synergický účinek různých léčiv obsažených v odpadních vodách (Šídlová et al., 2011).

Přes neustále rostoucí množství léčiv, které je uvolňováno do životního prostředí, stále chybí příslušné regulace a předpisy pro komplexní zhodnocení ekotoxikologických rizik. Regulační instituce vydaly detailní metodické pokyny pro hodnocení léčiv z hlediska možného nežádoucího dopadu na životní prostředí jen

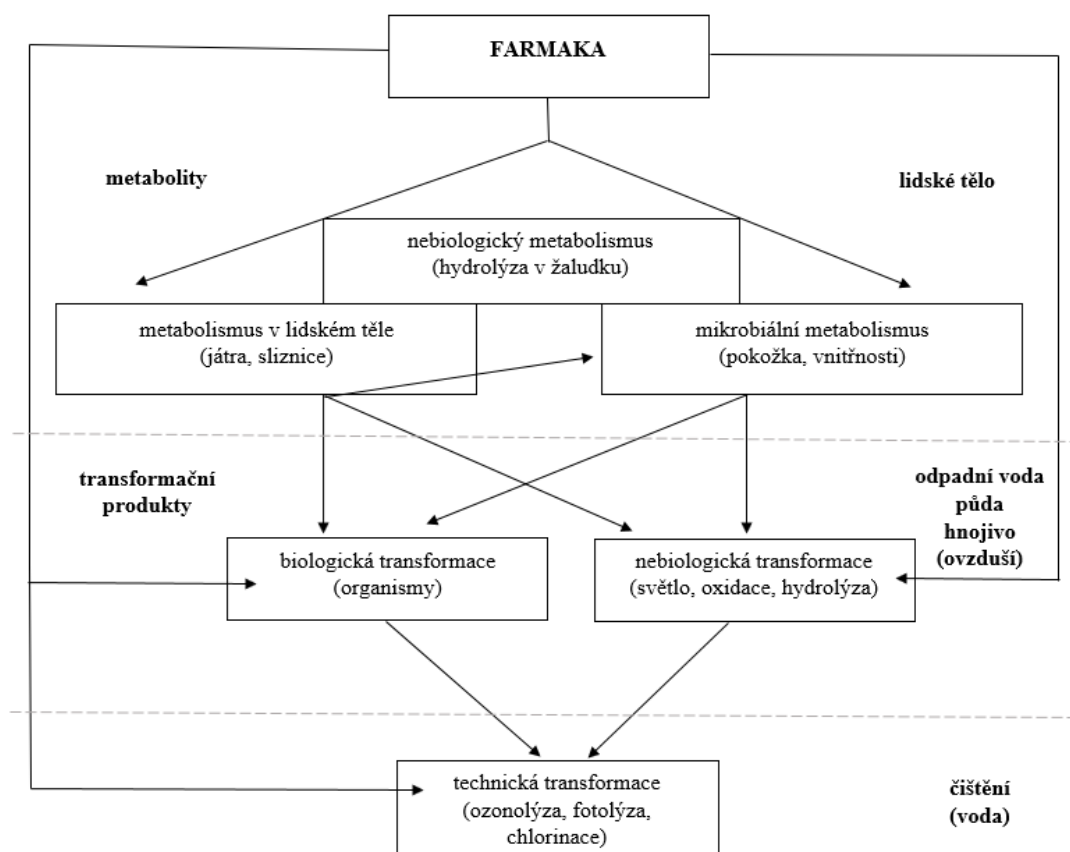
v několika málo případech. V Evropě jsou udělovány licence pro cytotoxické látky Evropskou lékovou agenturou (EMA). Touto agenturou byla ustanovena hraniční hodnota (tedy předpokládaná koncentrace v prostředí) pro stanovení rizika pro životní prostředí koncentrací 10 ng/l pro jednotlivé léčivo (Giuliani et al., 1996). První doporučení pro testování ekotoxicity nezbytné pro registraci léčiv bylo vydáno v roce 1995 Směrnicí Evropské unie 92/18/EEC a „Not for Guidance“ pro veterinární léčiva. Evropská komise poté vydala směrnici (direktiva 2001/83/EC), která nařizuje, aby povolení pro humánní léčiva bylo doprovázeno zhodnocením rizikovosti pro životní prostředí (Šídlová et al., 2011).

Klasifikační systém pro kategorizaci léčiv a jejich toxicity používaný CSTE (Evropským vědeckým výborem pro toxicitu, ekotoxicitu a životní prostředí) byl převzat od OECD (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj). Evropská směrnice 93/67/EEC klasifikuje sloučeniny dle jejich hodnoty EC_{50} (střední efektivní koncentrace) následovně:

- <0,1 mg/l extrémně toxické pro vodní organismy
- 0,1-1 mg/l velmi toxické pro vodní organismy
- 1-10 mg/l toxické pro vodní organismy
- 10-100 mg/l škodlivé pro vodní organismy
- > 100 mg/l netoxické pro vodní organismy (Šídlová et al., 2011)

Hrozbou pro životní prostředí je nejen vysoká produkce léčiv, ale i jejich rezistence, vytrvalost a kritická biologická aktivita (vysoká toxicita, vysoký potenciál ovlivňovat biologické funkce, jako například reprodukce a podobně) v prostředí. Příkladem mohou být syntetické steroidní hormony v kontraceptivech jako například 17 α -ethynylestradiol. Jeho roční produkce v EU se pohybuje v řádech stovek kilogramů. Jedná se o vysoce účinnou látku, která se vyznačuje perzistentností v životním prostředí a její vliv je znatelný i u ryb, kde vykazuje estrogení účinky již v koncentracích 1-4 ng/l (Šídlová et al., 2011).

Obrázek 1: Tok farmak a jejich metabolitů v životním prostředí (Kümmerer, 2008)



5.7 Snížení emisí léčiv do životního prostředí

Jedním z možných řešení, jak účinně snížit průnik léčiv do životního prostředí je využití kořenových čistíren odpadních vod, které fungují na principu rhizofiltrace (Kotyza et al., 2009). Při rhizofiltraci dochází ke srážení kontaminantu na kořenovém systému nebo k absorpci přímo v kořenech (Soudek et al., 2008). Kořenové čistírny odpadních vod mají v dnešní době v oblasti odstraňování organického znečištění a nerozpuštěných látek vynikající výsledky (Vymazal, 2004). Jsou schopny degradovat například antibiotika ve vysokých koncentracích. Tato technologie se vyznačuje nízkými náklady v případech, kdy jsou velké objemy vody znečištěny nízkými koncentracemi polutantu, což je pro odpadní vody znečištěné farmaky specifické (Kotyza et al., 2009).

Co se týče řešení úniku léčiv do životního prostředí jako takového, je důležité se zaměřit na tři hlavní pilíře tohoto problému. Jedná se o:

- optimalizaci stávajících technologií čistíren odpadních vod
- vylepšení samotného čištění na čistírnách odpadních vod přidáním dalšího čistícího stupně
- kontrolu a separaci zdrojů

Optimalizaci stávajících technologií na čistírnách odpadních vod lze provést za relativně krátkou dobu, bez větších zásahů do technologického a hospodářského uspořádání a z finančního hlediska je minimální zátěží (Kotyza et al., 2009).

Druhý bod je ovšem problémem právě v rovině finanční, kdy je zařazení dalšího čistícího procesu velice nákladné nejen kvůli investicím, ale zároveň i nemalým provozním nákladům. Realizace takového projektu je navíc úzce spjata s legislativou, což má za následek dlouhé schvalovací řízení (Kotyza et al., 2009).

Kontrolu zdrojů znečištění je možné provést přes osvětu veřejnosti, a to ve smyslu zodpovědného nakládání s prošlými léky. Princip je naprosto stejný, jako při třídění komunálního odpadu. (Kotyza et al., 2009). Další možností, jak eliminovat obrovský zdroj kontaminace, je separátní odběr moči pacientů v nemocnicích. Nutrienty z moči mohou být navíc recyklovány a následně využity. Během recyklace dojde k odstranění mikropolutantů včetně farmak za pomoci membránové separace (Larsen et Gujer, 1996).

6. Technologie biologického čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení

Odpadní voda ze zdravotnických zařízení může obsahovat množství nebezpečných látek jako jsou mikrobiální patogeny, radioaktivní látky nebo různá léčiva. Takové látky mohou nepříznivě ovlivnit lidské zdraví. Proto je velice důležité vybrat vhodnou a účinnou technologii čištění těchto odpadních vod (Ahsan, 2012). Některé příklady těchto technologií jsou uvedeny v této kapitole.

6.1 Proces aktivace

Proces aktivace neboli proces aktivovaného kalu je tradičním nástrojem čištění nemocničních odpadních vod. Při tomto procesu je odpadní voda čištěna

v tzv. aktivačních nádržích, kam je dodáván vzduch důležitý pro život mikroorganismů. Tyto mikroorganismy zužitkují kyslík ze vzduchu k přeměně organických látek na stabilizované sloučeniny (dusičnany, sírany, oxidy uhlíku). Po dostatečně dlouhé době, což je asi 12-15 hodin, se vzniklá směs odvádí do dosazovacích nádržích, kde se oddělí aktivovaný kal (shluk mikroorganismů) od vyčištěné odpadní vody. Část usazeného kalu se poté vrací zpět do aktivačních nádržích, kde se opět mísí s přitékající znečištěnou vodou (Ahsan, 2012).

Mezi výhody této hojně využívané technologie patří zejména:

- účinnost odstranění BSK₅, která je vyšší než 90 %
- oxidace a nitrifikace se při tomto procesu dosáhne bez chemikálií
- nerozpuštěné látky jsou odstraněny až z 97 %
- technologie není náročná na provoz a údržbu
- velikost nádrží je, co se zástavby týče, přijatelná

Mezi nevýhody patří:

- větší množství kalu, které se pak usazuje s většími problémy
- metoda je neúčinná v odstraňování zbarvení a zápachu odpadní vody
- vysoké náklady na provzdušňování
- velká spotřeba energie
- globálně je tato technologie považována za zastaralou v důsledku vývoje novějších a pokrokovějších technologií (Ahsan, 2012)

6.2 Aerobní stabilizace

Aerobní stabilizace kalu nebo také prodloužená aerace je ve své podstatě úplně stejnou technologií jako výše zmíněný proces aktivace. Jediné, v čem se tyto dvě technologie liší, je doba retence v aktivačních nádržích. Ta se v tomto případě pohybuje mezi 18 a 24 hodinami pro úplný biologický rozklad. Hlavním cílem zvýšení retenčního času je redukce problému se zápachem rozpracovaného kalu a menší množství kalu recirkulovaného do aktivačních nádrží (Ahsan, 2012).

Za výhody je považováno:

- menší objem vyprodukovaného kalu bez zápachu
- technologie nevyžaduje odbornou obsluhu
- snadná údržba
- vyšší kvalita vody oproti klasické aktivaci

Mezi nevýhody patří:

- vysoké provozní náklady zapříčiněné vyššími požadavky na oxidační procesy
- velmi vysoká spotřeba energie
- nelze dosáhnout denitrifikace ani odstranění fosforu
- požadavek na větší prostor pro aktivační nádrže (Ahsan, 2012).

6.3 SBR systémy (Sequential Batch Reaction)

Jedná se o sekvenční biologické čištění, které je založeno na stejném principu, jako využívá aerobní stabilizace. Rozdíl je v tom, že biodegradace, usazování pevných látek i odstraňování kalu probíhá pouze v jedné nádrži (Ahsan, 2012).

Proces SBR je charakterizován pěti procesními fázemi – plnění, aktivace, sedimentace, čerpání vyčištěné vody a dekantací fáze (prázdňení). Každá z těchto fází trvá vymezenou dobu. Některé SBR systémy dovolují určité fáze vynechat, to však záleží na jejich provedení. Existují i systémy, ve kterých může mít plnění a aktivace několik dalších dílčích fází. Ty jsou závislé na přívodu energie do systému, což vede k různým strategiím těchto fází (je to např. statické plnění, smíšené plnění, provzdušněná aktivace a další) (Wilderer et al., 2001). Ovládání systému se provádí pomocí snímačů hladiny a časovače nebo mikroprocesoru (Ahsan, 2012).

Výhodami této metody jsou:

- možnost použití pouze jedné nádrže jak pro aktivaci, tak pro sedimentaci
- sofistikovaný kontrolní systém umožňující stálý přítok vody během všech fází cyklu

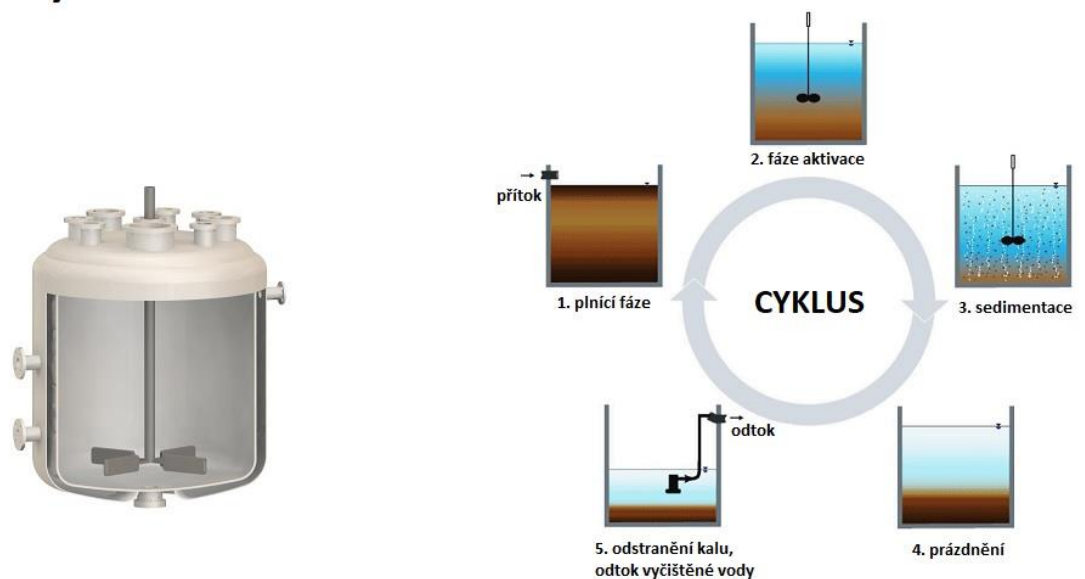
- minimální množství kalu
- schopnost dosáhnout biologické oxidace, nitrifikace, denitrifikace i odstranění fosforu
- velká provozní flexibilita
- bez zápachu

Mezi nevýhody patří:

- vyšší spotřeba energie
- časté odstraňování kalu
- obtížnější nastavení doby trvání cyklů
- potřeba zkušeného personálu (Ahsan, 2012)

Obrázek 2: Popis cyklu SBR systému (Absun Palayesh Eng. Co., ©2015)

SBR systém



6.4 Systém FBR (Fluidized Bed Reactor)

Proces FBR (reaktory s fluidním ložem) je nejnovějším pokrokem v technologii biologického aerobního zpracování odpadních vod. Využitím této technologie je možné dosáhnout velice dobrých hodnot BSK₅ a CHSK.

V reaktorech s fluidním ložem se kapalina, která má být ošetřena, čerpá skrze lože malých nosičů biofilmu dostatečnou rychlostí, která způsobí následnou fluidizaci. Bakterie v tomto prostředí se přidrží pevných částí (nosičů), čehož využívají FBR systémy k jejich znehybnění. Následuje jejich likvidace mikroorganismy. Koncentrace biomasy na nosičích je pak několikanásobně větší, než je tomu u aktivace. To výrazně zvyšuje efektivitu čištění.

Kyslík je do procesu čištění dodáván z oxygenerátoru. U FBR reaktorů není nutné vrácení aktivovaného kalu do procesu k zajištění živin pro mikroorganismy. Nadbytečná biomasa se automaticky odstraní v procesu, zároveň napomáhá udržet vysoce aktivní biofilm (Ahsan, 2012).

Výhodou metody FBR je:

- mnohem menší doba zdržení oproti aerobní stabilizaci k dosažení stejné hodnoty BSK₅
- vysoká koncentrace rezidentní biomasy
- mechanická nenáročnost
- téměř bezobsluhová technologie (žádné problémy s kalem)
- nižší náklady na provoz a údržbu
- malá instalační plocha
- efektivní a spolehlivá technologie

Nevýhody spočívají v:

- menší účinnosti při měnících se přítocích
- nepřetržitém měření koncentrace pevných látek v kalu
- problémových situacích (hnilobné procesy) po výpadku proudu (Ahsan, 2012)

6.5 SAFF reaktor (Submerged Aeration Fixed Film Reactor)

Inovativní technologie SAFF (reaktory s upevněným ponořeným biofilmem) byla zavedena teprve v posledních letech. Jedná se o nosiče biofilmu fixované

v aktivačních nádržích, kde zlepšují výkonnost a tím minimalizují rozšiřování stávajících zařízení. V čistírnách, ve kterých je prováděna nitrifikace a denitrifikace, je nosič umístěn do aerobní zóny za účelem lepší nitrifikace při nízkých teplotách (Ahsan, 2012).

Technologie je založena na biologickém čištění pomocí připevněné biomasy. Aerobního prostředí v SAFF je dosaženo použitím zařízení s jemným bublinovým difuzním provzdušňovačem, které také slouží k míchání roztoku. Směs nových a starých buněk přetéká do sekundární sedimentační nádrže, kde jsou odděleny od odpadní vody. Část usazených buněk se recykluje pomocí horizontálních a ponořených čerpadel, aby byla zachována požadovaná koncentrace organismů v SAFF reaktoru. Zbylá část je odvedena do kalových nádrží k dalšímu zpracování (Ahsan, 2012).

Nepřetržitá dodávka kyslíku do systému společně se zdroji potravy podporují růst mikroorganismů na povrchu ponořeného nosiče. Přebytečné mikroorganismy se následně oddělí v jiné sedimentační fázi (Ahsan, 2012).

Mezi výhody metody SAFF patří:

- nenáročná údržba (absence pohyblivých částí)
- nízká spotřeba energie (efektivní a vysoký přenos kyslíku)
- nízká produkce kalu a s tím spojená menší potřeba jeho likvidace
- nízké provozní náklady
- oproti technologii FBR zde nemůžou nastat komplikace s hnilobnými procesy po výpadku proudu, neboť zde dochází k zachování biomasy i při nepravidelné dodávce energie

Za nevýhody považujeme:

- nadbytečný kal v reaktoru SAFF, který může zanášet biofilm (je potřeba důsledně sledovat jeho koncentraci) (Ahsan, 2012)

6.6 Membránové bioreaktory (MBR)

Jedná se o nejnovější technologii, která se hojně využívá i pro čištění odpadních vod z domácností. V tomto procesu je čištění odpadní vody prováděno pomocí syntetických membrán nebo pomocí difúze přes membránu v kombinaci s běžným zpracováním aktivního kalu (Ahsan, 2012).

Membránový bioreaktorový systém pracuje na principu filtrace odpadní vody přes membrány vyrobené z polymerních organických látek (PE, PVDF, PES), které jsou sestaveny do jednotek (moduly, kazety, stohy). Na membránách dochází k zachycení mikroorganismů a systém tak zajišťuje vysokou kvalitu vyčištěné vody, jež může být znovu využita např. jako závlahová (Ahsan, 2012). Podmínky v MBR dokonce umožňují odstranění některých látek pocházejících z hormonální antikoncepce. Technologie MBR umožňuje produkovat vodu o libovolné kvalitě, záleží zde pouze na velikosti pórů použitých membrán (CZEMP, ©2016).

Výhody technologie MBR jsou následující:

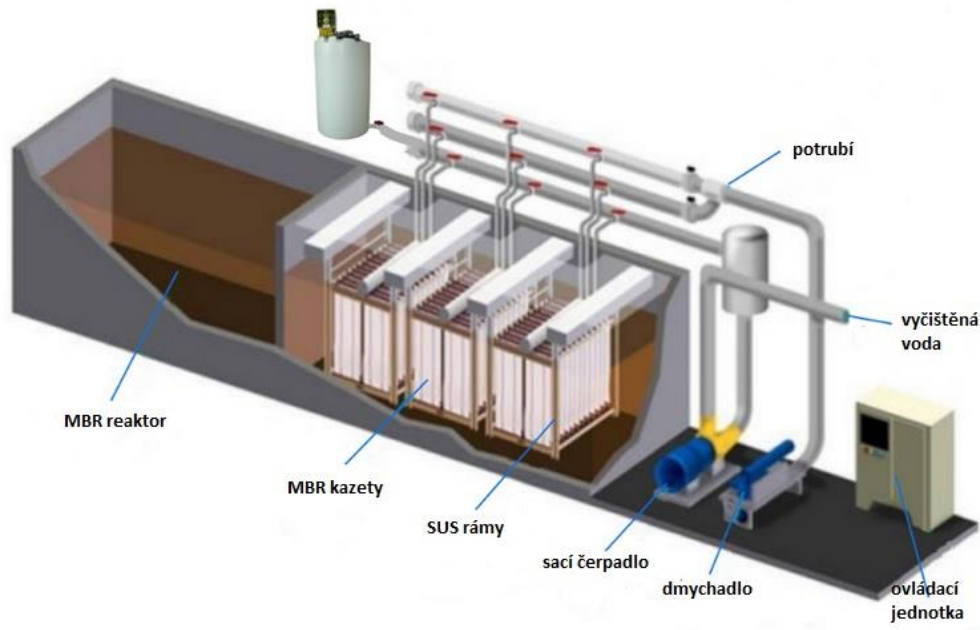
- schopnost splnit nejpřísnější normy na kvalitu vody
- možnost znovuvyužití modulů membrán
- čištění je vyžadováno pouze jednou za 3-6 měsíců
- produkce kalu je o 60-80 % nižší než u konvenčních způsobů čištění
- zabírá o 75 % menší prostor než běžné technologie
- vysoce kvalitní voda na odtoku i přes velice zjednodušený proces čištění odpadní vody
- dálkové ovládání a monitoring systémů
- kal může být odstraňován přímo z aerační nádrže

Mezi nevýhody lze řadit:

- limitovaná tolerance pro abrazivní a vláknité materiály (písek, vlasy)
- zanášení membrán
- duální provzdušňovací systém (míchání, zamezení zanášení membrán)
- vyšší spotřeba energie (vysoká spotřeba vzduchu)
- časově náročné čištění membrán

- vysoké investiční náklady (Ahsan, 2012)

Obrázek 3: Model membránového bio-reaktoru (Alibaba.com, ©1999-2018)



7. Metody dezinfekce odpadních vod z nemocnic

Odpadní vody z nemocnic obsahují (jak již bylo zmíněno) specifické znečištění jako jsou různé čisticí a dezinfekční prostředky, ale i mikroorganické patogeny. Taková odpadní voda se může stát přímým zdrojem šíření nemocí, množení patogenů nejen v kanalizačních sítích ale i povrchových vodách, což může znamenat vysoké riziko pro lidské zdraví a životní prostředí. Z tohoto důvodu je velice důležitá účinná dezinfekce těchto odpadních vod (Chen et al., 2014).

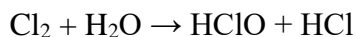
V České republice nařizuje ČSN 75 6406 zdravotnickým zařízením 1. kategorie odpadní vodu pocházející z těchto zařízení dezinfikovat před vypuštěním do stokové sítě nebo recipientu za účelem likvidace choroboplodných zárodků, které byly vůči předešlým stupňům úpravy vody rezistentní.

Nejpoužívanějšími metodami dezinfekce nemocničních odpadních vod je dezinfekce chlorem, chlornanem sodným, oxidem chloričitým, ultrafialovým zářením, nebo ozonizací. (Drinan et Spellman, 2012; Chen et al., 2014).

7.1 Dezinfekce chlorem

Aktivní chlor (Cl_2) je velmi silným oxidačním činidlem a k dezinfekci nemocničních odpadních vod se používá již dlouho. Obsah volného chloru v Cl_2 se blíží 100 % (obsahuje i nečistoty), tudíž je jeho schopnost sterilizovat vysoká.

Mechanismus dezinfekce chlorem popisuje následující rovnice:



(Chen et al., 2014)

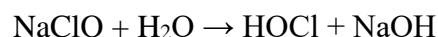
Účinnými složkami dezinfekce chlorem je kyselina chlorná (HClO) a chlornan (ClO^-). Kyselina chlorná je díky svému neutrálnímu náboji schopna šířit se do povrchu bakterií s negativním nábojem, kde za silné oxidace likviduje systém enzymů bakterií, což má pro bakterie eliminační účinek. Pro dezinfekci odpadních vod ze zdravotnických zařízení se při použití čistého chloru obvykle používá dávka 5-20 mg/l a reakční doba se uvažuje pod 1,5 hodiny (Chen et al., 2014).

Čistý chlor je výhodný svou schopností silně a plynule sterilizovat, poměrně nízkou cenou a dlouhodobým osvědčením se. Přesto se ale jedná o velice toxickou látku, která vytváří vedlejší produkty jako jsou například karcinogenní trihalogenmethany (THM). Nízká stabilita chloru také ovlivňuje jeho rozpustnost a hydrolytickou reakci několika faktory jako jsou například teplota vody, kvalita vody, pH, či doba zdržení. To vše přímo ovlivňuje stabilitu dezinfekčního efektu (Chen et al., 2014; Janeba et Kopecký, 2002).

7.2 Dezinfekce chlornanem sodným

Chlornan sodný obsahuje zhruba 5-20 % volného chloru. Jeho toxicita je v porovnání s čistým chlorem nižší, přesto ji ale nelze zanedbat, zejména kvůli množství vytvořených THM. Výhody chlornanu sodného dále spočívají ve vyšší stabilitě, triviální obsluze a nižších provozních nákladech. Ovšem je nutné zmínit i jeho negativa, mezi něž řadíme vyšší spotřebu energie, silnou korozivitu a celkově nižší účinnost dezinfekce (Chen et al., 2014).

Mechanismus dezinfekce chlornanem sodným:



(Chen et al., 2014)

7.3 Dezinfekce oxidem chloričitým

Za nejvhodnější dezinfekční chemikálii na bázi chloru pro odpadní vody z nemocnic lze považovat oxid chloričitý (ClO_2). Jedná se o velmi silné oxidační činidlo, které se za kyselých podmínek rozpouští ve vodě výrazně lépe než čistý chlor. Jeho vlastnosti mu umožňují denaturovat mikrobiální enzymy a jiné proteiny, což způsobuje úhyn choroboplodných zárodků. Oxid chloričitý je schopný zahubit většinu mikroorganismů (viry, spory, plísňe, bakterie, houby a jiné). Mimo to je s jeho použitím možno dosáhnout odstranění zbarvení a zápachu vody, či její oxidace (Chen et al., 2014).

Oxid chloričitý je nevhodný pro skladování a transport, proto je nutné ho vyrábět v prostorách čistírny. Velká výhoda však spočívá v tom, že při procesu dezinfekce nevznikají téměř žádné vedlejší produkty, ani THM. V alkalických podmínkách mohou ovšem při jeho reakci vznikat nebezpečné vedlejší produkty (ClO_3^- a ClO_2^-), které mohou být nebezpečné jak pro lidské zdraví, tak pro životní prostředí (Chen et al., 2014).

7.4 Dezinfekce ozonem

Ozon (O_3) patří k jednomu z alternativních způsobů dezinfekce, které se během posledních pár let spolu s UV zářením rozšiřují. Nelze říci, že by tyto dvě metody byly ideálním řešením jako náhrada chloru. Zabraňují sice tvorbě THM, oba způsoby však vyžadují sekundární dezinfekci (obvykle chlorem) kvůli udržení kvality vody při distribuci (Drinan et Spellman, 2012).

Molekula ozonu je složena ze tří atomů kyslíku velice nestabilního charakteru. Tyto atomy se při rozpuštění ve vodě uvolňují a s vysokým oxidačním účinkem rychle rozkládají mikroorganismy ve vodním prostředí (Chen et al., 2014). Proti některým virům a cystám je ozon dokonce účinnější než chlor. Navíc není ovlivněn hodnotami pH nebo množstvím amoniaku ve vodě. Při procesu dezinfekce

také eliminuje zápach a zbarvení vody. Pro reakci s organickými a anorganickými sloučeninami ve vodě se místo chloru přidává kyslík, což vytváří ekologicky přijatelnou sloučeninu. Nestabilita ozonu však znamená, že nemůže být skladován, a tudíž musí být vyráběn přímo na místě, což způsobuje vyšší náklady, než je tomu u dezinfekce chlorem (Drinan et Spellman, 2012).

7.5 Dezinfekce ultrafialovým zářením

Dezinfekce ultrafialovým zářením (UV) je další alternativní metodou dezinfekce odpadních vod z nemocničních zařízení. UV záření (elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší, než má viditelné světlo) je fyzikální proces, nikoliv chemický proces, což je významným plusem oproti chloru a ozonu jako dezinfekčním prostředkům (Drinan et Spellman, 2012).

Proces dezinfekce UV zářením je založen na inaktivaci bakterií a virů (Drinan et Spellman, 2012). Inaktivace probíhá vlivem poškození DNA a RNA patogenů, tím ovšem nedochází k jejich usmrcení (Chen et al., 2014). Genetický materiál v mikroorganismech absorbuje UV záření (UV světlo má vyšší energetickou hladinu než světlo viditelné), čímž zasahuje do reprodukce a schopnosti přežití mikroorganismů (Drinan et Spellman, 2012).

Germicidní zařízení se běžně skládá ze série ponořených nízkotlakých rtuťových lamp. Tato metoda je považována za technologický pokrok zejména díky své životaschopnosti, efektivnosti a nízkým nákladům (Drinan et Spellman, 2012).

8. Výsledné zhodnocení

V této části bakalářské práce bude popsána technologická linka čistírny odpadních vod Fakultní nemocnice Motol. Dále bude tato část věnována alternativní technologii čištění infekčních odpadních vod z nemocnic v reálném prostředí.

Obecně platné zásady o nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení, její jakosti a limity můžeme dohledat v české legislativě a v normách. Nalezneme zde i návrhy čistíren určené pro čištění takových vody. Nicméně konkrétní informace o existujících čistírnách odpadních vod ze zdravotnických zařízení či jiných stávajících technologiích čištění odpadních vod v nemocnicích

nejsou v dnešní době dohledatelné téměř vůbec. Tato kapitola se bude snažit přiblížit základní principy čištění nemocničních odpadních vod.

8.1 Čistírna odpadních vod ve Fakultní nemocnici Motol

V této části práce budou zpracovány informace o technologii čištění odpadních vod ve vlastní čistírně odpadních vod Fakultní nemocnice Motol.

8.1.1 Základní údaje o čistírně odpadních vod

Trvalý provoz čistírny odpadních vod FN Motol byl schválen dne 4.2.1994 a byly mu stanoveny podmínky dle kanalizačního řádu (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Splašková kanalizace a odpadní vody jsou v areálu nemocnice děleny na infekční splaškové odpadní vody a prosté splaškové odpadní vody. Prosté splaškové vody jsou odváděny samostatně, mechanicky předčištěny a dále vypouštěny do městské kanalizace (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Infekční splaškové vody jsou separovány a zpracovávány samostatně v biologické čistírně. Jejich denní produkce se pohybuje v rozmezí 50-100 m³/den. Čistírna je dvoustupňová samospádová s následnou dezinfekcí a je určena k čištění infekčních odpadních vod z objektů, které jsou dle ČSN 75 6406 vedeny jako zdravotnická zařízení I. kategorie (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Předčištěná dezinfikovaná voda je vedena samostatnou stokou do městské kanalizace (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

8.1.2 Hlavní technologické soubory čistírny a jejich funkce

Technologický soubor čistírny infekčních odpadních vod má tyto části:

- česlovna infekčních odpadních vod
- měření přítoku infekčních splaškových vod
- štěrbinové nádrže

- biologický filtr
- dosazovací nádrže
- chlorovna s chlorační jímkou a jímkou zdržení
- zařízení na pasterizaci kalu
- strojovna čerpadel (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001)

Česlovna infekčních odpadních vod

Česlovna je situována v samostatné zděné budově. Příklad na česlovnu je přiváděn krytým žlabem, který se rozděluje na dvě části. Každá z částí je osazena česlemi, které jsou strojně stírány. V provozu jsou pouze jedny česle, druhé slouží jako záložní. Shrabky z česlí jsou vynášeny šnekovým podavačem a následně se komprimují, ukládají do igelitových pytlů a jsou likvidovány v nemocniční spalovně. Průměrné množství shrabků činí 5-20 kg/den (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Měření přítoku infekčních splaškových vod

Měření je prováděno ultrazvukovou sondou ve Venturiho žlabu za česlovnou. Dno a stěny tohoto žlabu je důležité udržovat čisté (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Naměřené hodnoty jsou graficky zaznamenávány a zobrazovány na displeji měřícího přístroje v denní místnosti obsluhy. Naměřené hodnoty kolísají od 0,7 do 30 l/s. Průměrný denní přítok je 1,2 l/s, dopolední maximum 3,0 l/s a noční minimum 0,7 l/s. Průměrné množství vyčištěné vody za den $Q_{24} = 100 \text{ m}^3$ (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Štěrbínové nádrže

Ve štěrbínových nádržích začíná biologický stupeň čištění odpadní vody. Dochází zde k zachycení a sedimentaci pevných sedimentovatelných látek a k jejich následnému rozkladu za pomoci anaerobních bakterií. Rozkladem organických látek vznikají jednak jednodušší rozpustné látky, které jsou dále odváděny na biologický filtr, a jednak nerozpustné látky ve formě vyhnílého kalu. Při tomto procesu vzniká

jako vedlejší produkt metan a další kalové plyny. Pokud jsou při procesu přítomny těžké kovy, přechází taktéž do kalu, a to ve formě sulfidů (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Štěrbínové nádrže jsou situovány do jednoho betonového bloku, kde jsou přepážkami odděleny na čtyři nádrže. Voda z česlovny přitéká do všech nádrží současně. Po usazení pevných částic je voda odváděna na biologický filtr (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Každá štěrbínová nádrž se skládá ze sedimentačního a vyhnívacího prostoru. Tyto prostory jsou v každé nádrži odděleny plastovou vestavbou. Usazovací prostor se nachází v horní části nádrže. Je tvořen dvěma šikmými stěnami osazenými do tvaru V, přičemž je jedna stěna delší za účelem zamezení průniku plynů z vyhnívacího prostoru pod ním. Přivedená voda se sedimentací zbavuje usaditelných pevných částic, které vlastní vahou klesají do vyhnívacího prostoru přes štěrbinu. Po usazení částic voda odtéká přes přelivnou hranu na biologický filtr (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

V níže položeném vyhnívacím prostoru dochází k biologickému odbourávání organického znečištění za působení anaerobních bakterií. Vzniklý kal je odváděn kalovým potrubím, které je umístěno na boku každé nádrže, odkud je kal veden na zpracování v zařízení na pasterizaci kalu. Pohyb kalu v kalovém potrubí je zajištěn hydrostatickým tlakem (vypouštěcí otvor do jímky se nachází pod hladinou nádrže). To zaručuje vypouštění kalu z nejnižších vrstev vyhnívacího prostoru, kde se nachází kal nejlépe vyhnílý. Vzniklý kalový plyn není dále využíván a je vypouštěn do ovzduší (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Obrázek 4: Štěrbínové nádrže čistírny odpadních vod FN Motol



Biologický filtr

V biologickém filtru probíhá aerobní biologický stupeň čištění infekčních odpadních vod. Nachází se pod štěrbinovou nádrží a jeho úkolem je odstranění rozpuštěných biologicky rozložitelných látek a organických látek, které nejsou usaditelné. Vlastní filtr je tvořen betonovou konstrukcí. Dno filtru je dvojité, přičemž vrchní část dna je děrovaná, spodní kuželovitá s odtokovou rourou ve středu. Filtrační náplň tvoří tříděné kamenivo. Ze štěrbinové nádrže přetéká voda samospádem do dvouramenného skrápěče, který rotačním pohybem rovnoměrně skrápí povrch filtrační náplně (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Obrázek 5: Biologický filtr čistírny odpadních vod FN Motol



Dosazovací nádrže

V dosazovacích nádržích dochází k zachycení jemných sedimentovatelných látek (odumřelé části povlaku filtrační náplně a další nerozpuštěné biologicky stabilní látky), které se nacházejí ve vodě odtékající z biologického filtru. Dosazovací nádrže jsou dvě a obě jsou v provozu současně. Nádrže mají kuželovitý tvar a v jejich středu je umístěn uklidňovací válec, který přivádí proud přitékající vody do nejhlubšího místa. Odtékající voda přetéká přes přelivnou hranu do sběrných žlabů umístěných podél uklidňovacího válce a je dále vedena do chlorovny. Usazený kal je přečerpáván do usazovacího prostoru šterbinové nádrže, kde sedimentuje společně s ostatním kalem. Princip kalového potrubí a pohybu kalu v něm je založen na stejném principu, jako tomu je u šterbinové nádrže (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Chlorovna s chlorační jímkou a jímkou zdržení

V této části čistírny se přitékající vyčištěná infekční voda zdravotně zabezpečuje. Dezinfekce vody probíhá v chlorační jímce, kde dochází ke smísení vyčištěné vody s vodou obsahující rozpuštěný chlornan sodný. Objem jímky je navržen tak, aby bylo dosaženo dokonalého promísení. Z chlorační jímky je voda odváděna přes přelivnou hranu do jímky zdržení. V této jímce dochází ke zdržení vody po tak dlouhou dobu, aby bylo zajištěno dostatečně dlouhé působení chloru na bakterie obsažené ve vodě. Za jímkou zdržení je umístěna sonda pro měření volného chloru (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Zařízení na pasterizaci kalu

Toto zařízení tvoří komplex nádrží, pomocných čerpadel a vlastního pasterizačního zařízení, ve kterém dochází k pasterizaci kalu po dobu minimálně 90 minut při teplotě 88°C. Celý proces pasterizace je zajištěn automatickým řízením (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Kal z kalové jímky šterbinové nádrže natéká samospádem do zásobníku o objemu 4 m³. Pomocí čerpadla je kal dopravován do výměníku s párou, kde se kal zahřívá a poté se vrací zpět do zásobníku. Takto kal cirkuluje, dokud není dosaženo požadované teploty 88°C. Poté je cirkulace udržována dalších 90 minut. Po provedené pasterizaci je kal vypouštěn do jímky pasterizovaného kalu a celý cyklus se znovu opakuje. V této jímce dochází ke zchlazení kalu, jeho sedimentaci a v určených intervalech je kal odvážen fekálním vozem. Před odvozem je změřena výška kalu a odsazená kalová voda se přečerpá zpět do dosazovacích nádrží (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

Strojovna čerpadel

Ve strojovně jsou umístěna veškerá čerpadla pro recirkulační okruh infekční splaškové vody (Provozní řád ČOV FN Motol, 2001).

8.2 Čištění odpadních vod ve vybrané nemocnici

Snažila jsem se zkontaktovat několik pražských nemocnic i několik nemocnic mimo Prahu. Pokud už se mi podařilo navázat kontakt, dostávalo se mi odpovědí, že nemocnice nedisponuje vlastní čistírnou, infekčním oddělením nebo její vedení neumožnilo poskytnout o své čistírně informace. Nakonec se mi podařilo domluvit si schůzku v jedné nemocnici s panem vedoucím technického provozu. Protože tato nemocnice nemá vlastní čistírnu, budou zde popsány informace o další technologii čištění infekčních odpadních vod, kterou je odpadní jímka.

Schůzka s panem technikem proběhla dne 9.2.2018 v nejmenované krajské nemocnici. Zde jsem se dozvěděla několik informací o odpadních vodách z nemocnice.

Zdejší nemocnice je napojena na veřejnou stokovou síť, kudy je voda odváděna na městskou čistírnu odpadních vod. Z nemocnice však odtékají jak infekční, tak neinfekční vody. Z toho důvodu je voda z infekčního oddělení odváděna zvlášť na předčištění, a to přímo v místě vzniku, tedy přímo v areálu nemocnice.

Čištění infekčních vod zde probíhá v odpadní jímce. Celá technologie je zde zavedena teprve 2 roky, tudíž je moderní a automatizovaná. Vše se odehrává v malé místnosti, pod kterou jsou umístěny dvě nádrže, každá o objemu 4 m³. První z nádrží je naplňována odpadní vodou, která je provzdušňována a zároveň zde dochází k sedimentaci kalů. Kaly se vyváží zhruba jednou za půl roku fekálním vozem na městskou čistírnu odpadních vod, kde se likvidují v kalovém hospodářství.

Při dosažení určité hladiny vody v první nádrži se sepne čerpání do druhé nádrže, kam už je přečerpávána pouze voda bez kalu. Po naplnění druhé nádrže vodou do určité výšky se sepne čidlo a dochází k automatickému dávkování chemikálií. Do nádrže se dávkuje dvě látky, které jsou samostatně neškodné, avšak jejich směs je toxická. Jedná se kyselinu chlorovodíkovou (HCl – 9 % roztok) a chloritan sodný (NaClO₂ – 7,5 % roztok). Zároveň v této nádrži opět dochází k provzdušňování. Doba přečerpání vody z jedné nádrže do druhé, nadávkování činidel a vyprázdnění druhé nádrže trvá celkem 1 hodinu. Vyčištěná odpadní voda je odváděna do veřejné stokové sítě a dále na městskou čistírnu odpadních vod.

Celá technologie je velice jednoduchá a zároveň účinná. Nároky na plochu nejsou nijak velké, stejně jako na obsluhu. Automatizace technologie je také nespornou výhodou. Každý zdroj je zde opatřen záložním zdrojem (i každá z nádrží může plnit funkci té druhé). Revize a měření zde probíhají jednou ročně. Při obsluze zařízení a manipulaci s chemikáliemi zde musí být dodržována základní bezpečnostní pravidla jako je speciální obuv, rukavice a podobně.

Obrázek 6: Pohled do technologické místnosti, ve které probíhá čištění infekčních vod



8.3 Porovnání metod čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení

Obě zmíněné nemocnice odvádějí infekční vodu odděleně od vody neinfekční. Vzhledem k objemu odpadní vody vyprodukované FN Motol musí infekční odpadní

voda putovat na vlastní čistírnu, kde je předčišťována. V druhém zdravotnickém zařízení je infekční voda odváděna pouze do odpadní jímky, kde se celý proces předčištění odehrává. Technologie čištění odpadních vod v odpadních jímkách je jistě výhodná v minimálních nárocích na prostor, stejně jako na obsluhu, která díky automatizaci procesu není nijak náročná. Ovšem v případě tak velkých objemů odpadní vody, která je produkována ve větších nemocnicích, jako je například FN Motol, by tato metoda byla jen stěží proveditelná. V obou nemocnicích je využíváno tradičních metod čištění odpadní vody s následnou dezinfekcí čidly na bázi chloru. V obou zařízeních je po předčištění voda odváděna dále na městskou čistírnu odpadních vod, čímž by mělo být zajištěno maximální vyčištění před vypuštěním vody do recipientu.

9. Diskuze

Odpadní voda z nemocnic disponuje velkým množstvím látek jako jsou léčiva, radionuklidy, dezinfekční prostředky a další (Emmanuel et al., 2005). Svého významu nabývají zejména kvůli své rezistenci vůči současným trendům čištění odpadních vod. Pokud tyto látky nebudou dostatečně odstraňovány, bude docházet ke stále silnější kontaminaci vodního prostředí, které ovlivňuje životní prostředí a ekosystémy v něm (Gautam et al., 2007).

V současnosti existuje již mnoho nových a účinných technologií čištění odpadních vod z nemocnic. Mezi ty nejúčinnější patří například systém MBR, který pracuje na principu filtrace odpadní vody přes membrány (Ahsan, 2012). Začlenění této metody by pomohlo čistit vodu tím nejefektivnějším způsobem a zlikvidovat tak mikrobiální znečištění, které tradičními čistírenskými postupy eliminovat nelze. Problémem jsou však vysoké investiční náklady, které provozovatele čistíren od této metody odrazují. Způsobem, jak je k tomuto kroku inspirovat, by bylo bezesporu vytvoření zákona o limitech mikrobiálního znečištění vody. Nápomocná by mohla být i osvěta veřejnosti, díky které by se dalo dosáhnout mimo jiné snížení znečištění vody obsahem léčiv (Kotyza et al., 2009).

Dalším krokem pro zkvalitnění vyčištěné vody je nahrazení způsobu zdravotního zabezpečení, tedy její dezinfekce. Té se v dnešní době využívá především za pomoci činidel na bázi chloru, která jsou riziková z hlediska tvorby

vedlejších produktů, jako je například THM. Jako nejvhodnější způsob náhrady se jeví dezinfekce UV zářením. Podstatnou výhodou této metody je dosažení zdravotně nezávadné vody bez použití chemie (Drinan et Spellman, 2012).

10. Závěr

V práci byly formou literární rešerše shromážděny informace o infekčních vodách, problémech, které mohou nastat při jejich nedostatečném čištění a technologiích, které mohou kvalitu čištění odpadních vod maximalizovat.

Následně byly popsány technologie čištění odpadních vod na dvou zdravotnických zařízeních.

Fakultní nemocnice Motol, jakožto velký původce infekčních odpadních vod, využívá k čištění odpadní vody vlastní čistírnu. Tato čistírna funguje na klasickém principu mechanicko-biologické čistírny s následnou dezinfekcí čínidly na bázi chloru. Následně jsou vody odváděny stokovou sítí na městskou čistírnu odpadních vod. Tím by mělo být, co se odvádění nemocničních odpadních vod týče, zajištěno maximálního možného efektu čištění. Avšak technologie čištění a metoda dezinfekce se řadí mezi staré a méně účinné oproti inovativním způsobům. Přesto existují i zdravotnická zařízení, která stále vlastní čistírnu nedisponují. Příkladem je vybraná krajská nemocnice, ve které čištění odpadních vod probíhá pouze v odpadních jímkách, ve kterých je následně provedena i dezinfekce (taktéž čínidly na bázi chloru). Vzhledem k množství vyprodukovaných infekčních odpadních vod se ale tato metoda jeví jako dostačující. Po předčištění v jímkách je voda, stejně jako u FN Motol, odváděna na městskou čistírnu.

Abychom předešli problémům s kontaminací vody patogeny a léčivý, bylo by vhodné zejména začlenit limity pro bakteriální znečištění do legislativy a zařazení novějších technologií do procesu čištění. Neméně podstatné je zajištění dostupnosti informací o rizicích spojených se znečišťováním vod pro širší veřejnost.

11. Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborné publikace

Ahsan, N., 2012: Study of widely used treatment technologies for hospital wastewater and their comparative analysis.

Cleuvers, M., 2003: Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology letters* 142(3). 185-194.

Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell, L., Deere, D., Bartram, J., et World Health Organization, 2005: Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer.

Dohányos, M., Koller, J., Strnadová, N., 1998: Čištění odpadních vod. Vydavatelství VŠCHT, Praha.

Drinan, J. E., et Spellman, F., 2012: Water and wastewater treatment: A guide for the nonengineering professional. Crc Press.

Emmanuel, E., Keck, G., Blanchard, J. M., Vermande, P., et Perrodin, Y., 2004: Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater. *Environment international* 30(7). 891-900.

Emmanuel, E., Perrodin, Y., Keck, G., Blanchard, J.-M. et Vermande, P., 2005: Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *Journal of hazardous Materials* 117(1). 1-11.

Fuksa, JK., Váňa, M. et Wanner, F., 2010: Znečištění povrchových vod farmaky a možnosti jejich nálezu ve zdrojích pitné vody. In Ambrožová J. (ed.) *Vodárenská biologie 2010* (v tisku).

Gautam, A. K., Kumar, S. et Sabumon, P. C., 2007: Preliminary study of physico chemical treatment options for hospital wastewater. *Journal of Environmental Managment* 83(3). 298-306.

Giuliani, F., Koller, T., Würzler, F. E., et Widmer, R. M., 1996: Detection of genotoxic activity in native hospital waste water by the umuC test. *Mutation Research/Genetic Toxicology* 368(1). 49-57.

Holm, J. V., Ruegge, K., Bjerg, P. L., et Christensen, T. H., 1995: Occurrence and distribution of pharmaceutical organic compounds in the groundwater downgradient of a landfill (Grindsted, Denmark). *Environmental science & technology* 29(5). 1415-1420.

- Chen, L., Zhou, H., Yu, B., et Huang, Z. W., 2014: Comparison Study on Hospital Wastewater Disinfection Technology. In *Advanced Materials Research* 884. 41-45. Trans Tech Publications.
- Chudoba, J., Dohányos, M., Wanner, J., 1991: Biologické čištění odpadních vod. SNTL Praha.
- Janeba, Z., Kopecký, J., 2002: Pokroky technologie úpravy pitných vod – dezinfekce pitné vody UV-zářením v úpravně vody Mokošín. *SOVAK* 11. 17-18.
- Kotyza, J., Soudek, P., Kafka, Z., et Vaněk, T., 2009: Léčiva – „nový“ environmentální polutant. *Chemické listy* 103. 540-547.
- Kožíšek, F., Kos, J., Pumann, P., 2007: Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství. Praha, SZÚ.
- Kümmerer, K., 2001: Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. *Chemosphere* 45(6-7). 957-969.
- Kümmerer, K., ed., 2008: Pharmaceuticals in the environment: sources, fate, effects and risks. Springer Science & Business Media.
- Kümmerer, K., 2009: The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. *Journal of Environmental Management* 90(8). 2354-2366.
- Larsen, T. A., et Gujer, W., 1996: Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34(3-4). 87-94.
- Panouillères, M., Boillot, C., et Perrodin, Y., 2007: Study of the combined effects of a paracetic acid-based disinfectant and surfactants contained in hospital effluents on *Daphnia magna*. *Ecotoxicology* 16(3). 327-340.
- Pauwels, B., Verstraete, W., 2006: The treatment of hospital wastewater: an appraisal. *Journal of Water and Health* 4(4). 405-416.
- Pošta, J. et al., 2005: Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze
- Sacher, F., Lange, F. T., Brauch, H. J., et Blankenhorn, I., 2001: Pharmaceuticals in groundwaters: analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Württemberg, Germany. *Journal of chromatography A* 938(1-2). 199-210
- Soudek, P., Petrová, Š., Benešová, D., Kotyza, J., et Vaněk, T., 2008: Fytoremediace a možnosti zvýšení jejich účinnosti. *Chemické listy* 102. 346-352.
- Svoboda, J., Fuksa, JK., Matoušová, L., Schönbauerová, L., Svobodová, A., Váňa, M. et Šťastný, V., 2009: Léčiva a čistírny odpadních vod – možnosti odstraňování a reálná data. *VTEI* 51(2). 9–12, příloha *Vodního hospodářství* 59(4).

Šídllová, P., Podlipná, R., et Vaněk, T., 2011: Cytostatická léčiva v životním prostředí. *Chemické listy* 105. 8-14.

Švehla, P., Tlustoš, P., Balík, J., 2004: *Odpadní vody*. Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin.

Ternes, T. A., 2001: Analytical methods for the determination of pharmaceuticals in aqueous environmental samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 20(8). 419-434.

Tuháček, M., Jelínková, J. et al., 2015: *Právo životního prostředí: praktický průvodce*. Grada Publishing as.

Van Gompel, J., Woestenborghs, F., Beerens, D., Mackie, C., Cahill, P. A., Knight, A. W., Billinton, N., Tweats, D.J., Walmsley, R. M., 2005: An assessment of the utility of the yeast GreenScreen assay in pharmaceutical screening. *Mutagenesis* 20(6). 449-454.

Váňa, M., Wanner, F., Matoušová, L., et Fuksa, J. K., 2010: Možnosti odstraňování vybraných specifických polutantů v ČOV. *Vodohospodářské technologicko-ekonomické informace* 52. 1-16.

Vymazal, J., 2004: *Kořenové čistírny odpadních vod*. ENKI ops Třeboň, MSM.

Wilderer, P. A., Irvine, R. L., Goronszy, M. C., eds., 2001: *Sequencing batch reactor technology*. IWA publishing.

World Health Organization, 2004: *Guidelines for drinking-water quality (Vol. 1)*. World Health Organization.

Zwiener, C. F. F. H., et Frimmel, F. H., 2000: Oxidative treatment of pharmaceuticals in water. *Water Research* 34(6). 1881-1885.

Internetové zdroje

CZEMP – Česká membránová platforma, ©2016: *Membránové reaktory* (online) [cit.2017.12.03], dostupné z <<http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-reaktory>>.

MBR Membrane Bioreactor Bio reactor (online) [cit.2018.03.08]. Alibaba.com ©1999-2018., dostupné z <https://www.alibaba.com/product-detail/package-portable-Wastewater-Treatment-Plant-MBR_60480940733.html>.

SBR Sequencing Batch Reactor (online) [cit.2018.03.08]. Absun Palayesh Eng. Co. ©2015, dostupné z <<http://absunpalayesh.com/en/2015/12/30/sequencing-batch-reactor-sbr/>>.

Legislativní zdroje

ČSN 75 6406: Odvádění a čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1996. 20 s.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/83/EC ze dne 6. listopadu 2001 o kodexu Společenství týkajícím se humánních léčivých přípravků.

Směrnice Komise 93/67/EEC ze dne 20. července 1993, kterou se stanoví zásady posuzování rizik pro člověka a životní prostředí u látek oznámených v souladu se směrnicí Rady 67/548/EHS.

Směrnice Komise 92/18/EEC ze dne 20. března 1992, kterou se mění příloha směrnice Rady 81/852/EHS o sbližování právních předpisů členských států týkajících se analytických, farmakologicko-toxikologických a klinických standardů a protokolů s ohledem na zkoušení veterinárních léčivých přípravků.

Zákon č.254/2001 Sb., o vodách, v platném znění.

Zákon č.274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích, v platném znění.

Zákon č.258/200 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v platném znění.

Ostatní zdroje

Muzeum pražského vodárenství, 2017.

Provozní řád ČOV FN Motol, 2001.

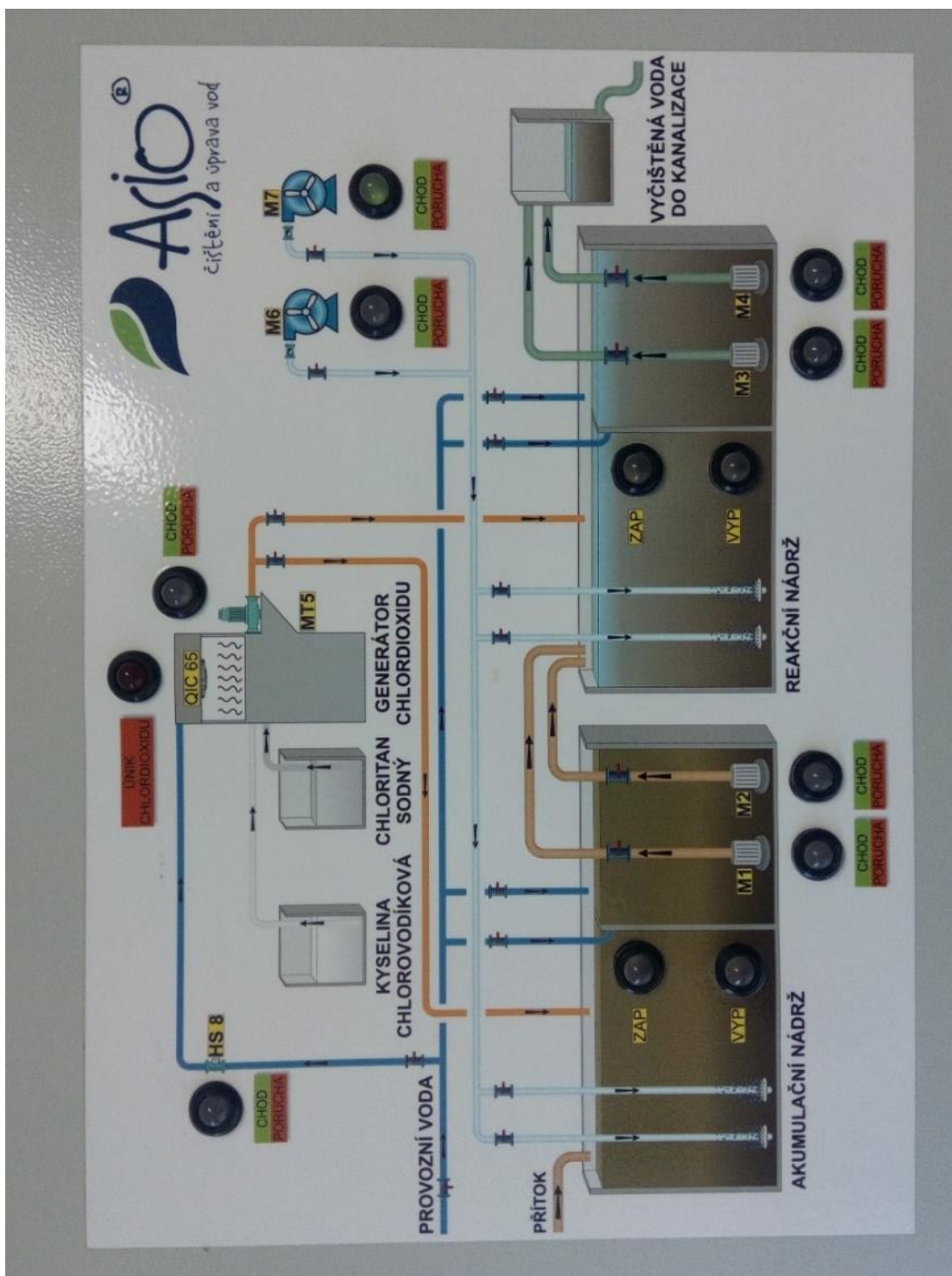
12. Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 – Schéma technologie čištění infekčních odpadních vod v odpadní jímce

Příloha 2 – Chlorovna čistírny odpadních vod FN Motol

Příloha 1 – Schéma technologie čištění infekčních odpadních vod v odpadní jímce



Příloha 2 – Chlorovna čistírny odpadních vod FN Motol

