

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**INFEKČNÍ VODY VYPOUŠTĚNÉ DO
STOKOVÉ SÍTĚ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

JAN HEGAR

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Květen 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hegar Jméno: Jan Osobní číslo: 410759
Zadávající katedra: K144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Infekční vody vypouštěné do stokové sítě

Název bakalářské práce anglicky: Infectious waters entering sewer net

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešeršní zpracování problematiky infekčních vod vypouštěných do stokové sítě, definice, limitní vymezení infekčnosti, možnosti čištění a dezinfekce kontinuálních vstupů infekčních vod do kanalizace.
- 2) Popis problematiky infekčních vod v kanalizaci na reálné aglomeraci, kde se vyskytuje několik významných potenciálních zdrojů uvedeného znečištění
- 3) Formulace doporučení pro ČOV konkrétního zdravotnického zařízení a pro provozovatele kanalizace směřujících k eliminaci infekčních vod ve stokové síti

Seznam doporučené literatury:

- 1) Straif-Bourgeois, S., Ratard, R. and Kretzschmar, M. (2014) Infectious Disease Epidemiology. Handbook of Epidemiology, 2nd edition, Springer Science+Business Media New York
- 2) Mphande, F.A. (2016) Infectious Diseases. Diseases and Rural Livelihood in Developing Countries- Chapter 3. Springer Science+Business Media Singapore
- 3) Kožíšek, F., Kos, J., Pumann, P. (2007) Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství. SZÚ a Krajská hygienická stanice Středočeského kraje, Praha

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne _____

Jan Hegar



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Poděkování

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucí bakalářské práce doc.Mgr.Janě Nábělkové, Ph.D. za odborné vedení, rady a pomoc v průběhu psaní této práce, pánům vodohospodářům z pražských zdravotnických zařízení za ochotu a poskytnuté informace a v neposlední řadě také rodičům za trpělivost a podporu během studií.



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

ANOTACE:

Infekční vody vypouštěné do stokové sítě

Bakalářská práce si klade za cíl vyjasnit problematiku infekčních odpadních vod ze zdravotnických zařízení, které jsou vypouštěny do stokové sítě. Zabývá se příslušnými českými zákony a normami spojenými s touto tématikou, vymezuje limity infekčnosti vypouštěných vod, analyzuje dostupné tradiční i nové metody čištění a dezinfikování odpadních vod ze zdravotnických zařízení. Dále se tato práce věnuje událostem kontaminace pitné vody na reálné aglomeraci způsobené infekční odpadní vodou. Zaměřuje se na pravděpodobné zdroje znečištění, detaily kontaminace a problematiku infekčních vod v kanalizaci. Práce se také snaží doporučit čistírnám odpadních vod zdravotnických zařízení postupy vedoucí k eliminaci choroboplodných zárodků ve stokové síti.

KLÍČOVÁ SLOVA

infekční odpadní vody, kontaminace pitné vody, čištění a dezinfekce odpadních vod ze zdravotnických zařízení, kanalizace, patogenní mikroorganismy

SUMMARY

Infectious waters entering sewer net

Intention of this bachelor thesis is to clarify the issues of infectious wastewater discharged into sewer net from health facilities. It deals with relevant laws and technical standards associated with this subject, provides limits of discharged infectious wastewater, analyses available common and new methods of hospital wastewater treatment and disinfection. In addition, this work also focuses on recent affair of drinking water contamination by infectious wastewater in real agglomeration. It concentrates on probable pollution sources, contamination details and issues of infected wastewater in sewerage system in general. This thesis also recommends solutions for wastewater plants of health facilities in the matter of pre-elimination of germs in sewerage nets.

KEYWORDS

infectious wastewater, drinking water contamination, health facilities wastewater treatment and disinfection, sewerage system, pathogenic microorganisms



OBSAH

Úvod	8
1. Mikrobiologické znečištění jako příčina infekčnosti odpadních vod	9
2. Infekční vody v české legislativě	13
2.1 Důležité definice	14
2.2 Rozdělení zdravotnických zařízení dle infekčnosti	15
2.3 Navrhování stokové sítě a čistírny odpadních vod pro zdravotnická zařízení	17
2.4 Čištění a dezinfekce odpadních vod ze zdravotnických zařízení	18
2.5 Kalové hospodářství	20
2.6 Provoz čistírny odpadních vod ze zdravotnického zařízení	21
3. Limity mikrobiologického znečištění vody vypouštěné do povrchových vod a do veřejné stokové sítě ze zdravotnických zařízení I. kategorie	23
3.1 Limity mikrobiologického znečištění povrchových vod	23
3.2 Limity mikrobiologického znečištění odpadních vod vypouštěných ze zdravotnických zařízení 1. kategorie do veřejné kanalizace	25
4. Metody biologického čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení I. kategorie	27
4.1 Popis metod biologického čištění odpadních vod pro zdravotnická zařízení 1. kategorie ..	27
4.1.1 Proces aktivovaného kalu neboli aktivace	27
4.1.2 Prodloužená aerace	29
4.1.3 SBR reaktory	30
4.1.4 FBR reaktory	31
4.1.5 SAFF reaktory	32
4.1.6 Membránové bio-reaktory (MBR)	33
4.2 Porovnání metod biologického čištění OV	35
5. Metody dezinfekce odpadních vod ze zdravotnických zařízení I. kategorie	36
5.1 Popis metod dezinfekce odpadních vod pro zdravotnická zařízení 1. kategorie	36
5.1.1 Dezinfekce chlorem	36
5.1.2 Dezinfekce chlornanem sodným	37
5.1.3 Dezinfekce oxidem chloričitým	37
5.1.4 Dezinfekce ozónem	38
5.1.5 Dezinfekce ultrafialovým zářením	38
5.1.6 Termická dezinfekce	39



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

5.2 Porovnání metod dezinfekcí	40
6.Reálný stav čištění infekčních odpadních vod v České republice.....	41
6.1 Epidemiologické šetření	41
6.1.1 Důvod uskutečnění epidemiologického šetření.....	41
6.1.2 Výsledky epidemiologického šetření	42
6.1.3 Vyhodnocení výsledků epidemiologického šetření	42
6.2 Případová studie : Popis stavu čistíren odpadních vod ze zdravotnických zařízení I. kategorie v Praze	44
6.2.1 Popis stavu čištění odpadních vod ze zdravotnického zařízení č.3	44
6.2.2 Popis stavu čištění odpadních vod ze zdravotnického zařízení č.4	46
7. Závěr	49
Použité zdroje.....	51
Seznam obrázků.....	54
Seznam tabulek	54
Seznam zkratk:	55



ÚVOD

Na konci května 2015 se vyskytly komplikace po opravě vodovodního řadu v pražských Střešovicích, které bez varování vyústily v jednu z největších epidemií kontaminovanou vodou u nás v ohledu desítek let. Vlivem patogenních zárodků v kontaminované vodě onemocněly tisíce lidí z Prahy 6 průjmovými a zažívacími potížemi. Velmi rychle se tedy začaly hledat příčiny a možné zdroje kontaminace spolu s osobami zodpovědnými za katastrofu.

V rádech dnů po vypuknutí epidemie se v médiích začalo spekulovat, jak se dostaly choroboplodné zárodky do vodovodní sítě. Nakonec až speciálně sestavená komise z českých odborníků potvrdila, že za dejvickou aférou stála souhra různých událostí. Při odstávce vodovodu a jeho opravách natekly do řadu asi 3 kubíky odpadní vody z kanalizačního řadu, který byl nedaleko místa kontaminace uložen v úrovni nad vodovodem, což popírá základní pravidla pokládání stokových profilů. Po následovném uvedení vodovodu do provozu se tato voda dostala až přímo ke spotřebitelům a způsobila jim zdravotní potíže, neboť byla infekčního charakteru. Epidemiologické šetření čistíren odpadních vod pražských nemocnic potvrdilo, že zdrojem norovirů a bakterií, které způsobily dejvickou kontaminaci, byla pravděpodobně Ústřední vojenská nemocnice, která je napojena na již zmiňovaný špatně uložený kanalizační řad.

Když pomíneme fakt, že netěsnosti, stáří a absence dostatečné dokumentace o existenci některých vodovodních a kanalizačních řadů na území města Prahy i jiných obcí jsou velkým problémem, dostaneme se k neméně závažné problematice, a tou je právě infekční voda ze zdravotnických zařízení.

V České republice je čištění infekčních odpadních vod (dále jen IOV) ze zdravotnických zařízení (dále jen ZZ) stejně jako v jiných státech pro provozovatele těchto zařízení ze zákona povinné. V roce 1996 vyšla norma ČSN 75 6406: Odvádění a čištění odpadních vod (dále jen OV) ze ZZ, která se této problematice přímo věnuje. Tuto normu je však třeba zaktualizovat nejen kvůli její již dvacetileté platnosti, ale hlavně kvůli nedostatečnému čištění IOV ze ZZ v Česku, které se projevilo právě během dejvické kontaminace.

Hlavním cílem této bakalářské práce je tedy vystihnout problematiku infekčních OV ze ZZ v České republice, zaměřit se na konkrétní body z normy ČSN 75 6406 (limity vypouštění, závaznost normy, konkrétní metody čištění a dezinfekce, metody sledování parametrů odpadní vody, ...) a doporučit změny pro revizi stávající zastaralé normy tak, aby se zlepšila kvalita vody vytékající z nemocničních čistíren OV. Součástí je také vyhodnocení aktuálního stavu pražských čistíren OV ze ZZ vyplývající z epidemiologického šetření a osobních návštěv některých z těchto zařízení.



1. MIKROBIOLOGICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ JAKO PŘÍČINA INFEKČNOSTI ODPADNÍCH VOD

Odpadní vody z infekčních zdravotnických zařízení se musí před vypuštěním do stokové sítě předčišťovat především kvůli výskytu patogenních mikroorganismů, které způsobují u lidí infekční onemocnění. U některých stačí již velmi malá dávka k propuknutí choroby, a tak je jejich přítomnost ve veřejných stokách a vodních zdrojích nepřijatelná. Snahou této kapitoly je blíže seznámit čtenáře s mikroorganismy, které se běžně i výjimečně vyskytují v OV ze ZZ.

Infekční nemoci propukají tehdy, když dojde k přenosu nakažlivého zprostředkovatele či jeho toxických produktů z nakaženého člověka, zvířete nebo rezervoáru na náchylného hostitele. Mezi infekční původce patří bakterie, viry, prvoci nebo i červi (ty však již neřadíme mezi mikrobiologické). Samotní zprostředkovatelé nemusí být přítomni po celý průběh nemoci. Rozhodující je hlavně spuštění patologického procesu, který může pokračovat i po vymizení původce nemoci. U lidí s oslabenou imunitou jsou předpoklady k podlehnutí infekční nemoci větší než u zcela zdravých jedinců [1].

Cestou přenosu patogenních mikroorganismů mohou být jídlo, voda (pitná voda, voda v bazénu,...), půda, léky, lékařské přístroje a vybavení. Do lidského těla se také mohou dostat skrze kontakt s jiným jedincem (přímý i nepřímý), skrze kapénkovou infekci či částice vzduchu [1,2].

V tomto případě se zajímáme o infekce přenášené kontaminovanou vodou. Jídlo či voda mohou být kontaminovány skrze výkaly nebo moč, které si najdou cestu do vodního zdroje. Pokud je pak voda konzumována bez patřičného ošetření, napadená osoba může onemocnět. Pak se jedná o tzv. fekálně-orální přenos. Dalšími možnostmi nakažení jsou orální přenos nebo cesta ruce-ústa [2].

V minulosti za výskytu velmi špatných hygienických podmínek (vypouštění odpadů do vodních zdrojů, špatná osobní hygiena,...) docházelo k obrovským pandemiím moru, neštovic, cholery, tyfu a jiných infekčních chorob, které zanechávaly velké oběti na životech. Dodnes na tyto i jiné infekční nemoci umírá velké množství lidí především v chudých rozvojových zemích (Indie, sub-saharské země) kvůli chabým životním podmínkám podpořeným nedostatečnými příjmy, hygienicky nezabezpečenou vodou a toaletami spolu se špatným stavem zdravotnických zařízení. U vyspělých zemí je situace daleko příznivější, avšak často chybí technologie či metody, které by byly schopny se zbavovat mikrobiologického znečištění v dostatečné míře. Česká Republika je toho příkladem [1].

Během posledních tří dekád bylo rozpoznáno více než 40 nových patogenů. Jmenujme například bakterii Legionellu (způsobuje hořčnaté onemocnění), prvoka Cyclospora (způsobuje průjem cestovatelů) nebo konkrétní rotaviry/noroviry (původci průjmů, horeček, zvracení). Zástupci patogenů mohou časem měnit svůj charakter a v nové formě znovu napadat populaci, která může



být již vůči původnímu choroboplodnému zárodku rezistentní. To je typické zejména pro virus chřipky [1].

Původci nemocí u pitné vody mohou být biologické, chemické nebo radiologické povahy. Infekční voda ze ZZ je bohatá hlavně na mikrobiologické znečištění. V případě kontaminace pitné vody právě infekčními vodami se můžeme setkat s těmito nejznámějšími choroboplodnými zárodky [3]:

a) Vibrio Cholerae

Jedná se o bakterii způsobující cholera, což je životu nebezpečné onemocnění, které se projevuje těžkými vodnatými a krvavými průjmy. Způsobuje problémy zejména v Asii, Africe a Jižní Americe. V ČR se každoročně vyskytne několik případů importovaných z exotických zemí [3].

b) Salmonella Enterica Typhi

Tato bakterie je příčinou břišního tyfu. Tato nemoc byla ještě před sto lety velmi častým následkem vodních epidemií v průmyslově rozvinutých zemích. Mezi příznaky patří náhlý nástup horečky, bolesti břicha a hlavy s celkovou nevolností a průjmy, které mohou vést až k životu ohrožující dehydrataci nebo perforaci střeva [3].

c) Salmonella typhimurium a jiné druhy

Bakterie *Salmonella typhimurium* a jí podobné vyvolávají salmonelózu, což je akutní průjmové onemocnění s velmi krátkou inkubační dobou. Typické jsou explozivní epidemie. Pitná voda však není hlavní cestou přenosu [3].

Bakterie *Salmonella* jsou jediným zástupcem patogenních zárodků, které mají v kanalizačních řádech některých českých obcí své limitní vymezení vypouštění do stokové sítě. Výsledek musí být negativní. Kanalizační řád města Prahy parametr *Salmonella sp.* nezahrnuje.

d) Shigella Dysenteriae, Shigella Flexneri a Shigella Sonnei

Jedná se o bakterie, které zapříčiňují bacilární úplavici, tedy vážné a vysoce nakažlivé průjmové, hořčnaté onemocnění spojené s až krvavými průjmy. Hlavní cestou je osobní kontakt. Přesto jsou známy i případy přenosu skrze pitnou vodu [3].

e) Escherichia Coli

Mluvíme o bakterii, která žije ve střevech lidí a zvířat ve velkých počtech a většinou je neškodná. Existují však i patogenní kmeny (*E.C. O157:H7*), které v minulosti způsobily řadu epidemií z pitné vody s velmi vážnými následky (může dojít ke krvácivým průjmům i selhání ledvin). Využívá se často jako indikátor fekálního znečištění ve vodě [3].

f) Viry Hepatitidy A,E a F

Tyto viry jsou příčinou zánětlivých onemocnění jater. Přenáší se zejména fekálně-orální cestou (nemoc nemocných rukou). Způsobují zdravotní problémy po celém světě včetně České Republiky [3].



g) Rotaviry

Rotaviry jsou hlavními původci těžkých hořčnatých průjmů u kojenců a malých dětí ve vyspělých i rozvojových zemích. Ve skupině choroboplodných zárodků se jedná o poměrně nedávno objevené zástupce. Přenáší se hlavně fekálně-orální cestou, přičemž přenos pitnou vodou je také možný. Jejich diagnostika je velmi náročná [3].

h) Cryptosporidium

Jedná se o prvoka, jehož odolné vývojové stádium se často vyskytuje v povrchových vodách. Chemická dezinfekce chlorem v úpravnách vody je zcela neúčinná, a tak se spoléhá hlavně na důkladnou filtraci. Cryptosporidium je příčinou průjmového onemocnění kryptosporidiózy, které je nejčastější příčinou epidemií z vody ve Velké Británii a USA [3].

i) Giardia Intestinalis

Prvok, kterému se říká i Lamlie lidská způsobuje ve vodárenství a zdravotnictví podobné problémy jako Cryptosporidium. Nemoc giardióza je průjmového charakteru, přičemž postihuje i játra [3].

j) Legionella

Tato bakterie zapříčiňuje nemoc legionelózu, která se projevuje buď těžkým zápalem plic, nebo v lehčí formě mírným hořčnatým onemocněním. Její výskyt ve vodách je běžný. Problém nastává v jejím spojení s teplou vodou nebo klimatizacemi, ve kterých se může množit ve velkých počtech. Legionella se přenáší inhalační cestou například vdechnutím infikovaného aerosolu při sprchování [3].

k) Noroviry

Noroviry se řadí mezi patogeny, které byly objeveny v nedávné minulosti. Způsobují žaludeční a střevní onemocnění doprovázená silnými průjmy a zvracením. Jsou nejčastější příčinou akutní virové gastroenteritidy a zároveň velmi odolné proti dezinfekčním přípravkům. Inkubační doba je cca 24-28 hodin [3,4].

l) Ostatní patogeny

Dalšími neméně závažnými patogenními organismy jsou adenoviry, enteroviry, polioviry, bakteriofágy, Campylobacter, Cyclospora, helminti, ...

Z přehledu patogenů šířených vodou (viz tab.1.1), se kterými se můžeme setkat v naší republice, vyplývá, že viry a prvoky je daleko těžší zlikvidovat dezinfekcí než bakterie, které nejsou oproti nim schopny vydržet ve vodě tak dlouho. I když všechny skupiny choroboplodných zárodků vykazují vysoké zdravotní riziko, hostitelé jsou náchylnější k infekčním nemocem způsobeným viry a prvoky.



Tab. 1.1: Patogeny šířené vodou a jejich význam [3]

Patogen	Výskyt v ČR	Míra nakažlivosti	Rezistence vůči chloru	Přežívání ve vodě
Bakterie				
<i>Campylobacter jejuni, C. Coli</i>	střední	střední	nízká	střední
<i>Escherichia Coli (patogenní)</i>	vysoký	nízká	nízká	střední
<i>Legionella spp.</i>	vysoký	střední	nízká	rozmnožuje se
<i>Salmonella typhi</i>	vysoký	nízká	nízká	střední
Jiné salmonely	vysoký	nízká	nízká	rozmnožují se
<i>Shigella spp.</i>	vysoký	střední	nízká	krátké
<i>Vibrio cholerae</i>	střední	nízká	nízká	krátké
Viry				
Adenoviry	vysoký	vysoká	střední	dlouhé
Enteroviry	vysoký	vysoká	střední	dlouhé
Virus hepatitidy A	vysoký	vysoká	střední	dlouhé
Virus hepatitidy E	střední	vysoká	střední	dlouhé
Noroviry a sapoviry	střední	vysoká	střední	dlouhé
Rotaviry	střední	vysoká	střední	dlouhé
Protozoa (prvoci)				
<i>Cryptosporidium spp.</i>	střední	vysoká	vysoká	dlouhé
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	nízký	vysoká	vysoká	dlouhé
<i>Giardia intestinalis</i>	střední	vysoká	vysoká	střední

Největší koncentrace choroboplodných zárodků šířených skrze vodu se nachází v infekčních OV. Jakým způsobem jsou vlastně v České republice definovány a jak řeší česká legislativa nakládání s nimi? Na tyto otázky se snaží zodpovědět následující kapitola.



2. INFEKČNÍ VODY V ČESKÉ LEGISLATIVĚ

V kanalizačním řádu města Prahy stojí, že látky infekčního charakteru obsažené v infekční odpadní vodě nesmí vniknout do veřejné stokové sítě, čímž zpřesňuje seznam látek ze zákona č.254/2001 Sb. (zákon o vodách), které jsou zvláště nebezpečné. Stejný zákon pak přikazuje zneškodňovat odpadní vody tomu, kdo je následně vypouští do povrchových nebo podzemních vod. Důležitá je také zmínka o závadných látkách a takovém nakládání s nimi, aby nevníkly do povrchových nebo podzemních vod a neohrožily jejich prostředí.

Zákon č.274/2001 Sb. (zákon o vodovodech a kanalizacích) pak dává provozovatelům vypouštějícím odpadní vodu do veřejné kanalizace za povinnost odvádět OV, která je v souladu s limity znečištění danými platným kanalizačním řádem.

Další důležitou součástí v české legislativě věnující se IOV je zákon č.258/2000 Sb. (zákon o ochraně veřejného zdraví). V něm je psáno, že poskytovatelé zdravotní péče musí učinit hygienická a protiepidemická opatření k předcházení vzniku a šíření infekce spojené se zdravotní péčí. Stejně tak je v něm stanovena i povinnost dezinfekce a sterilizace.

Z popsané legislativy vyplývá, že IOV ze ZZ patří mezi nebezpečné látky, které se do veřejné kanalizační sítě nesmí vypouštět. Každé ZZ nakládající s infekčním materiálem, který přichází do styku s vodou, tedy musí svoji vodu předčistit tak, aby voda vypouštěná do kanalizace putující k městské čistírně odpadních vod odpovídala limitům kanalizačního řádu města a zbytečně tak nenamáhala čistírnu.

V České republice se problematice samostatně věnuje nezávazná norma ČSN 75 6406: Odvádění a čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení, ze které můžeme zjistit definiční vymezení důležitých pojmů týkajících se infekčních vod, která zdravotnická zařízení musí vodu předčišťovat a která nikoli, jakým způsobem čistit a dezinfikovat infekční odpadní vody, jak postupovat při návrhu stokové sítě a čistírny odpadních vod pro zdravotnická zařízení, jak tyto stavby poté provozovat a mnoho jiného.

Tato norma je platná již 20 let a svým obsahem je bohužel nedostačující k návrhu čistírny odpadních vod (dále jen ČOV) pro ZZ o dostatečné eliminaci choroboplodných zárodků z OV. Následující řádky tedy popisují nejdůležitější body této normy a snaží se poukázat na nutné změny vedoucí k větší efektivitě čistírenského procesu. Nejdůležitější aktuální informace z normy ČSN 75 6406 jsou zvýrazněny kurzívou, zatímco poznámky a komentáře k jejich vylepšení si zachovávají formát běžného textu.



2.1 Důležité definice

Infekční odpadní vody

„jsou takové odpadní vody, které obsahují choroboplodné zárodky takového druhu a v takovém množství, že vyžadují zvláštní opatření před vypuštěním do veřejné stokové sítě [5].“

Tato definice přímo neodkazuje na konkrétní druhy choroboplodných zárodků (bakterie, viry, prvoci, ...) ani na jejich konkrétní množství, které již vyžaduje zvláštní opatření. V pozdějších částech práce zjistíme, že limity vypouštěného mikrobiologického znečištění do veřejné stokové sítě (dále jen VSS) či vodního recipientu v této normě vlastně vůbec nenajdeme.

Odpadní vody ze zdravotnických zařízení

„jsou infekční a/nebo radioaktivní odpadní vody odtékající ze zdravotnických zařízení (těmi se rozumí lůžková oddělení nemocnice a laboratoře, pracující s infekčním materiálem, prosektury, veterinární zařízení, ...) [5].“

K této definici by se hodilo dodat, že OV ze ZZ nemusí být nutně infekční ani radioaktivní. Záleží na tom, zda ZZ nakládá s infekčním či radioaktivním materiálem či ne.

Dle Světové zdravotnické organizace (WHO) je OV ze ZZ složením velmi podobná středně znečištěným odpadním vodám z domácností, přičemž však může obsahovat různé potenciálně nebezpečné komponenty jako mikrobiologické patogeny (bakterie, viry, prvoky, ...), nebezpečné chemikálie, farmaceutika, radioaktivní izotopy a jiné [6].

Z porovnání parametrů OV ze ZZ a z domácností v tabulce 2.1 je zřejmé, že velké rozdíly ve znečištění mezi nimi nejsou. Indikátorů fekálního znečištění nalezneme v nemocniční vodě dokonce méně.

Tab.2.1: Porovnání odpadní vody ze ZZ a z domácností [7]

Parametr	Odpadní voda ze ZZ	Odpadní voda z domácností
pH	7,7-8,1	7,5-8,5
BSK5 (mg/l)	300-400	200-300
CHSK (mg/l)	800-1000	600-800
NL (mg/l)	400-600	150-300
Celkový N (mg/l)	5,0-80	20-70
Celkový P (mg/l)	0,2-13	4,0-10
Tuky, oleje (mg/l)	5,0-60	50-100
Celkové tenzidy	3,0-7,2	4,0-8,0
E.Coli MPN/100 ml	$10^3 - 10^6$	$10^6 - 10^7$
Fekální kolif.bakt. MPN/100 ml	$10^3 - 10^7$	$10^6 - 10^8$
Celkové kolif.bakt. MPN/100 ml	$10^5 - 10^8$	$10^7 - 10^9$



2.2 Rozdělení zdravotnických zařízení dle infekčnosti

Norma ČSN 756406 rozděluje ZZ do dvou kategorií z hlediska předpokládaného výskytu choroboplodných zárodků v odpadní vodě a epidemiologicky významné kontaminace lidí těmito zárodky [5]:

a) Zdravotnická zařízení I.kategorie

Do této kategorie řadíme ZZ určená k izolaci a léčbě přenosných onemocnění a k manipulaci či zpracování infekčního materiálu, který obsahuje vodou přenosné původce chorob (jedná se hlavně o střevní patogeny, zárodky poliomyelitidy, infekční hepatitidy, anthraxu, tuberkulózy, parazitární zárodky, leptospiry, enteroviry, Salmonellu typhi abdominalis aj.) [5].

Taková voda musí být vyčištěna a vydezinfikována tak, aby její jakost byla v souladu s kanalizačním řádem, pokud pokračuje veřejnou stokou dále do městské čistírny odpadních vody nebo v souladu s orgánem vodohospodářské služby a s vodohospodářským orgánem, pokud je po vyčištění vypouštěna do recipientu. Pokud lze OV z této kategorie (zejména u malých množství) dekontaminovat přímo v místě jejich vzniku, je možno je vypouštět po dekontaminaci přímo do veřejné stokové sítě v souladu s kanalizačním řádem [5].

„OV ze ZZ I. kategorie se musí čistit a dezinfikovat tak, aby choroboplodné zárodky byly zcela zneškodněny, a to i v případě vypouštění OV do veřejné stokové sítě [5].“

V aktualizované podobě normy by měla být část věnovaná popisu konkrétních patogenních mikroorganismů, které jsou charakteristické pro Českou republiku zároveň i s několika zástupci těch, kteří se k nám mohou dostat ze zahraničí. Některé z nich jsou popsány v předešlé kapitole této práce zaměřené na mikrobiologické znečištění.

Jeden z největších problémů zastaralé normy tkví v tom, že i přes povinnost zbavování infekční vody choroboplodných zárodků nejsou stanoveny žádné konkrétní číselné limity vypouštěného mikrobiologického znečištění. Norma přikazuje čistit IOV tak, aby byly choroboplodné zárodky zcela zneškodněny, čehož je u nás vzhledem k nedostatečné účinnosti nemocničních čistírenských zařízení téměř nemožné dosáhnout (viz Epidemiologické šetření). Návrhu sledovaných mikrobiologických parametrů a jejich konkrétních limitů na odtoku z ČOV ze ZZ se věnuje kapitola číslo 3.

b) Zdravotnická zařízení II.kategorie

Do této kategorie řadíme ZZ, která nejsou určena k účelům uvedeným v bodě a). Nepředpokládá se u nich významný výskyt choroboplodných zárodků. Patří sem neinfekční lůžková oddělení polikliniky, zdravotnická střediska, lékařské



ordinace, lázeňská zařízení, laboratoře ZZ (i mikrobiologické), patologická oddělení a jiná [5].

Vody z těchto zařízení mohou být v souladu s kanalizačním řádem vypouštěny přímo a bez čištění do veřejné stokové sítě, pokud je tato stoková síť napojena na ČOV. V případě přímého vypouštění vod do recipientu je nutné vybudovat samostatnou čistírnu [5].

Norma tedy neukládá ZZ II. kategorie povinnost čistit a dezinfikovat OV z jejich objektů. Některá zařízení jsou však na pomezí I. a II. kategorie, a proto je potřeba blíže specifikovat, na která zařízení se povinnost předčištění bude vztahovat a na která ne. Obecně by mělo platit, že zařízení, která přijdou do styku s patogenními mikroorganismy bezprostředně, ve velkém množství a po delší časové období (lůžková infekční oddělení nemocnic, patologie, prádelny ZZ, pitevny, laboratoře pracující s infekčními materiály, prosektury, veterinární zařízení, ...) by vodu předčišťovat musela, zatímco zařízení s žádným, možným malým, krátkodobým až výjimečným stykem s infekčními látkami (neinfekční lůžková oddělení, drobné chirurgie včetně plastických, části nemocnic s krátkodobým pobytem pacientů, soukromé ordinace praktických lékařů, LDN, stacionáře, polikliniky, ...) by mohla vypouštět vodu přímo do veřejné kanalizace.

Alternativou by pak mohlo být zavedení tří kategorií: I.kategorie (čištění a dezinfekce IOV), II. kategorie (čištění a dezinfekce méně znečištěné IOV v menší míře než u I.kategorie), III. kategorie (přímé vypouštění do stokové sítě bez předčištění).

Je třeba si uvědomit, že většina infekčních pacientů se léčí doma, a tak je veřejná ČOV zatížena mikrobiologickým infekčním znečištěním také, avšak jeho koncentrace v odpadní vodě je v porovnání s nemocniční vodou minimální vzhledem k velkému objemu ostatní neinfekční OV.

„Do samostatné ČOV pro ZZ se nemají odvádět dešťové a neznečištěné vody společně s OV ze ZZ [5].“

Existují u nás ČOV ze ZZ, které jsou předimenzovány právě kvůli tomu, že disponují jednotnou stokovou sítí. Do budoucna bude vhodné oddělit u takovýchto zařízení srážkovou vodu a v ČOV zpracovávat pouze přítoky z objektů ZZ, které přicházejí do styku s infekčními materiály za účelem menšího zatěžování čistírny, úspory prostor a financí.

Veškerý infekční materiál, který přichází do styku s OV, musí být ve smyslu provozních předpisů taktéž dekontaminován. Pokud není uvedeno jinak, platí pro odvádění a čištění odpadních vod ze ZZ normy ČSN 75 6101, ČSN 75 6401 a ČSN 75 6402 [5].



2.3 Navrhování stokové sítě a čistírny odpadních vod pro zdravotnická zařízení

Návrh stokové sítě a samostatné ČOV pro ZZ se zpracovává podle výchozích údajů jako množství, složení a znečištění OV z hlediska přítomnosti choroboplodných zárodků nebo radioaktivních látek s uvedením průměrných maximálních a minimálních hodnot přítoků na čistírnu, koncentrace znečištění a teplotního rozmezí vody. Dále se přihlíží k místním podmínkám (poloha, výškopis, hydrologie, ...), požadavky na jakost vypouštěných OV, vliv antibiotik a dezinfekčních prostředků, výhledový stav a nakládání s odpadními produkty [5].

Vedení ZZ by pak měla vybírat takové metody čištění a dezinfekce, které jsou schopny efektivně odstraňovat infekční mikroorganismy a jsou zároveň dostupné a finančně výhodné.

Problematika vlivu antibiotik a dezinfekčních prostředků v OV ze ZZ by si v normě zasloužila větší prostor, přičemž pravidla by měla vycházet ze samostatné studie zaměřené na tuto tematiku. V dokumentu se píše, že je tento vliv při dodržování postupů z něj nevýznamný. Pravdou však je, že běžné čistírenské technologie nejsou pro odstranění antibiotik moc účinné. Vhodnější je údajně adsorpce na aktivním uhlí či ozonizace. Antibiotika mohou mít také nepříznivý vliv na žádoucí mikrobiální procesy. Některé choroboplodné zárodky si vzhledem k čím dál tím větší spotřebě antibiotik vytvořily již rezistentní kmeny, což je také jedním z dalších negativ přítomnosti odpadů ze zdravotnictví v OV.

a) Návrh stokové sítě pro ZZ

Stokové sítě pro ZZ se budují s ohledem na dlouhou životnost (počítá se s minimálně 30 lety provozu) s přihlédnutím k výhledovému stavu a obtížnosti sanačních prací. Vždy se požaduje návrh oddílné splaškové soustavy. Pokud to podmínky (technické, ekonomické) nedovolí a je tedy nutné k odvádění vody využít jednotnou soustavu, zpříšňují se požadavky odvádění (například u odlehčovacích komor nebo separátorů) [5].

Aktualizovaná norma by neměla připouštět využití jednotné soustavy u nově vystavěných ČOV ze ZZ v žádném případě, jelikož dešťové průtoky zbytečně zatěžují čistírny a snižují tak efektivitu odstraňování znečištění. V některých zařízeních jsou po velkých srážkách míchané infekční vody s dešťovými vypouštěny rovnou do veřejné kanalizace bez předčištění. Tímto opatřením by se tomu zabránilo.

Stoky ze ZZ musí vždy ležet výškově pod ostatními podzemními inženýrskými sítěmi a být patřičně označeny (fólií, barvou). Na kanalizačních přípojkách musí být možné bezpečné odběry vzorků a měření množství odpadní vody. Při návrhu se musí počítat s minimální světlostí stok DN 250 a v případě příznivých výškových podmínek jsou doporučeny dvojnásobné minimální sklony, než je tomu u navrhování dle ČSN 75 6101 [5].



„Stoky a přípojky odvádějící odpadní vody ze ZZ a objekty na stokové síti musí být provedeny z materiálu, který je vodotěsný a bezpečně odolný proti mechanickým, chemickým, biologickým a jiným vlivům protékajících OV a proti agresivním účinkům okolního prostředí. Současně má umožnit bezpečné a účinné čištění stok. Doporučuje se využívat kanalizační nebo chemické kameniny a kanalizačních cihel.“ Tyto stoky musí být zkoušeny na vodotěsnost [5].

b) Návrh čistírny odpadních vod pro zdravotnická zařízení

Čistírna odpadních vod se navrhuje na nejméně 10-15 let dopředu, přičemž při návrhu množství (průtoku) a znečištění odpadní vody se vychází z průzkumů a podkladů současného a výhledového stavu všech objektů ZZ, ze kterých přitékají nebo mohou přitékat odpadní vody. Pro tyto čistírny se počítá se speciálními součiniteli hodinové nerovnoměrnosti dle počtů lůžek (např. se specifickým znečištěním BSK₅ na lůžko) [5].

Vzhledem k výhledovému navrhování má být za pozemek čistírny vybrán právě takový, na kterém bude možné v budoucnu rozšířit či doplnit objekty čistírny, popřípadě zavést nové technologické stupně k zlepšení parametrů jakosti vyčištěných OV. Mezi čistírnou a souvislou obytnou zástavbou nebo zdravotnickým zařízením musí být zřízeno pásmo hygienické ochrany, pokud orgán hygienické služby neurčí jinak [5].

Aktuální stav ČOV ve ZZ je špatný. Jsou využívány zastaralé metody biologického čištění a celkové zázemí čistíren by si zasloužilo nemalé opravy. Proto budou postupné rekonstrukce a zdokonalování technologických stupňů čištění v brzké době potřeba.

2.4 Čištění a dezinfekce odpadních vod ze zdravotnických zařízení

Při čištění odpadních vod ze ZZ se využívá běžných i speciálních postupů, se kterými se můžeme setkat i u městských čistíren (mechanické předčištění, biologický stupeň, ...), přičemž po nich přichází na řadu terciární čištění v podobě dezinfekce [5].

„Čištěním OV ze ZZ musí být dosaženo takového snížení obsahu znečištění, aby následná dezinfekce byla účinná a hospodárná a aby vypouštěné vyčištěné OV vyhovovaly kanalizačnímu řádu veřejné kanalizace nebo požadavkům vodohospodářského orgánu a orgánu hygienické služby pro jejich vypouštění do vodního recipientu [5].“

Aktuálním českým kanalizačním řádům odtok z nemocničních čistíren vyhovuje, protože limity patogenních organismů na odtoku nejsou vlastně skoro vůbec stanoveny, i když je jejich vliv zásadní. Návrh řešení limitů je uveden v samostatné části této práce.



Při návrhu čistírny je nutno dodržet, aby mohla voda protéct alespoň skrze mechanický stupeň čištění a dezinfekci během odstávky biologického stupně čištění. Dále musí být zajištěno měření nejdůležitějších hodnot nutných pro řízení a vyhodnocení provozu čistírny (např. přítok a odtok z usazovacích nádrží, odtok z biologického stupně, odtok vyčištěných odpadních vod z čistírny). Objekty čištění i stoky se navrhují a provádějí jako vodotěsné konstrukce a musí být na vodotěsnost zkoušeny [5].

Veškerá voda, která je využita k účelům v prostorách čistírny (k ostříku strojů, komunikací, podlah; okapaná z vytěžených shrabků; kalová voda; prací voda z filtrů; ...) se musí odvádět zpět do čistícího procesu [5].

U všech objektů čistírny se musí řešit způsob těžení a odstraňování zachycených odpadních produktů z čištění OV [5].

Do normy by bylo vhodné uvést konkrétní postupy při likvidaci těchto produktů. Jmenuje například spalování, chemickou likvidaci, odvoz pověřenou firmou. Dokument sice odkazuje na „Program odpadového hospodářství“, který byl ve smyslu zákona č.238/1991 Sb. a vyhlášky Ministerstva ŽP ČR č.401/1991 Sb., které jsou dnes však již nahrazeny novějšími. V rozsahu celé normy je tedy třeba upravit odkazy na legislativu, která je platná a účinná.

Stavební požadavky na ČOV ze ZZ 1. kategorie uvedené v normě jsou dostačující. Norma ČSN 75 6406 odkazuje na tyto stupně čištění odpadních vod ze ZZ jdoucí v chronologickém sledu:

a) Předčištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení

„Podle charakteru znečištění OV se navrhují objekty předčištění (lapák štěrku, česle, mēlnice, lapák písku a plovoucích látek, lapák tuků a olejů), které se zařazují v čistírně na začátek procesu čištění. Při jejich navrhování se postupuje podle ČSN 75 6401 a ČSN 75 6402 [5].“

Zbytky z mechanického předčištění (písek z lapáku písku a shrabky z česlí) ze ZZ I. kategorie musí být kompostovány s vápnem, popř. jinak hygienicky zabezpečeny (např. dezinfikovány) [5].

Bylo by vhodné do normy přidat seznam všech možných postupů nakládání se zbytky z mechanického předčištění jako jsou skládkování, spalování, dekontaminace,...

b) Mechanické a biologické čištění odpadních vod

Postupuje se také dle norem ČSN 75 6401 a ČSN 75 6402. Musí se však vzít v potaz vliv dezinfekčních prostředků v OV na technologii čištění v biologické části čištění [5].

Do revidované normy by měly být určité zahrnuty tradiční i modernější metody biologického čištění OV ze ZZ s porovnáním jejich účinností, nákladů,



výhod, nevýhod a přihlédnutí k místním podmínkám. Součástí této práce je porovnání metod biologického čištění pro ZZ.

c) Dezinfekce odpadních vod

Vyčištěné OV ze ZZ I. kategorie je nutno dezinfikovat, zatímco vody z kategorie II nikoliv, pokud příslušný orgán nestanoví jinak [5].

„OV ze ZZ se obvykle dezinfikují chlorováním, tepelným zpracováním, ultrafialovým nebo radiačním ozařováním či ozonizací [5].“

Některé konkrétní metody dezinfekce jsou rozebrány a porovnány v pozdější kapitole této práce. Norma by se měla také věnovat těmto metodám podrobněji a popřípadě doporučit některou z nich na základě charakteru nebo velikosti ZZ. Její součástí je zatím pouze popis dezinfekce chlorem a termické dezinfekce.

„OV ze ZZ I. kategorie se musí dezinfikovat tak, aby zbytkový chlor ve vodě odtékající z čistírny byl v hodnotách od 0,5mg/l do 1,0 mg/l (podle druhu infekce, popř. i vyšší).“ Množství zbytkového chloru ve vyčištěné OV nesmí narušit následné biologické čištění v čistírně veřejné kanalizace nebo samočistící proces v recipientu [5].

„Pro zajištění nepřetržité dezinfekce je nutno čistírnu vybavit rezervním provozuschopným dezinfekčním zařízením a dostatečným prostorem pro dezinfekční látku. Zařízení termické dezinfekce odpadních vod, popř. kalů je nutno vybavit protizápachovou úpravou [5].“

2.5 Kalové hospodářství

Kal vzniklý z infekčních OV si vyžaduje speciální nakládání. „Zpracování zachyceného kalu z čistíren ze ZZ I. kategorie musí být řešeno tak, aby choroboplodné zárodky byly zcela zneškodněny (např. tepelným zpracováním). Teploty a doby zdržení při tepelném zpracování jsou stejné jako v případě termické dezinfekce odpadních vod (záleží na druhu zárodků) [5].“

Kvůli obsahu antibiotik a dezinfekčních prostředků v infekční odpadní vodě se zvyšují navržené hodnoty kalového prostoru vyhnívacích nádrží o 20 %. Kalová voda uvolněná při všech způsobech zpracování kalu se musí odvádět zpět do čistícího procesu [5].

U kalu ze ZZ I. kategorie se provádí speciální kompostování, a to v podobě přidávání vápna (minimálně 10 kg na 1 m³ odvodněného kalu), přičemž se kompostuje po dobu nejméně dvou let. Odvodněný kal s vápnem je nutno zakrýt nejméně 200 mm vysokou vrstvou zeminy. Kompost poté nesmí být použit ke hnojení půd, na kterých se pěstují zemědělské plodiny určené k lidské výživě a ke hnojení ploch určených ke sportu a cvičení [5].



„Další způsoby zneškodňování kalu z čistíren ze ZZ I. kategorie jsou skládkování (dle závazné normy) a spalování [5].“

Je opět potřeba zaktualizovat odkazy na platnou legislativu.

2.6 Provoz čistírny odpadních vod ze zdravotnického zařízení

Odpadní vody musí být odváděny, čištěny a dezinfikovány nepřetržitě s výjimkou výskytu mimořádných okolností [5].

„Každé ZZ, kde se manipuluje s vodou a které má vlastní kanalizaci, musí mít schválený provozní řád kanalizace, obsahující zejména:

- a) Údaje o vypouštěných OV, jejich možném bakteriálním a virovém znečištění, obsahu chemických a dezinfekčních prostředků, o dezinfekci na pracovišti*
- b) Rozsah a způsob údržby a obsluhy, kontroly a řízení provozu stokové sítě a čistírny, vedení záznamů*
- c) Podmínky pro použití obtoků objektů čistírny a odstavné nádrže [5]“*

„V rámci provozu stokové sítě a čistírny musí být zajištěno sledování množství a kontrolována jakost vypouštěných vod [5].“

Většina čistíren sleduje pouze některé limity parametrů daných kanalizačními řády obcí, ve kterých se nachází. Choroboplodné zárodky se však sledují pouze při nahodilých kontrolách. Bylo by vhodné společně se vzorky na vyhodnocení BSK, CHSK, NL, zbytkového chloru atd. zařadit i každodenní odběr vzorků pro pravidelné sledování alespoň základních mikrobiologických parametrů (indikátory fekálního znečištění, modelové mikroorganismy,...).

Všechny změny se musí hlásit provozovateli stokové sítě/ čistírny. O provozu se vedou přesné záznamy, které se každým dnem zapisují do provozního deníku čistírny [5].

Vzhledem k jakosti OV ze ZZ musí být věnována zvýšená pozornost osobní hygieně pracovníků čistírny a péči o čistotu objektů čistírny. Styk obsluhy s OV a vytěženými odpadními produkty má být minimalizován [5].

Norma ČSN 75 6406 obsahuje i jiné body, které nejsou v této práci zmíněny vzhledem k tomu, že jsou buď méně důležité, nebo není potřeba je měnit.

Hlavními aspekty revize normy ČSN 75 6406 by tedy měly být detailnější informace ohledně biologického čištění a dezinfekce IOV, zavedení limitů mikrobiologického znečištění při vypouštění vyčištěných OV do VSS (téma další kapitoly), adekvátnější rozdělení ZZ a také nasměrování odkazů na platné normy a legislativu.

Některé body revidované normy by měly být pro provozovatele ZZ závazné, a to hlavně ty týkající se požadované jakosti OV na odtoku z čistíren, nakládání s kaly a jinými pevnými odpady a dodržování bezpečnosti práce. Závaznost by



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

mohla být ve smyslu Zákona o odpadech (Předpis č.185/2001 Sb.), Zákona o ochraně veřejného zdraví (Předpis č.258/2000 Sb.) a Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod (Předpis č. 401/2015 Sb.).

Dodržování limitů by bylo kontrolováno například pověřenými osobami z hygienických stanic či správy veřejných kanalizací. Postupně by bylo nedodržování limitů stíháno sankcemi. V případě zezávnění normy by však měl být samozřejmě zdravotnickým zařízením poskytnut dostatečně dlouhý čas k přizpůsobení technologií požadovaným kritériím.



3. LIMITY MIKROBIOLOGICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ VODY VYPOUŠTĚNÉ DO POVRCHOVÝCH VOD A DO VEŘEJNÉ STOKOVÉ SÍTĚ ZE ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ I. KATEGORIE

Infekční odpadní vody jsou sváděny z objektů ZZ I. kategorie do speciálních ČOV, za kterými mohou pokračovat dvěma způsoby. Buď jsou zaústěny do veřejné stokové sítě zakončené městskou ČOV, kde jsou vyčištěny a následně vypouštěny do recipientu nebo mohou být v případě dostatečně efektivních čistírenských procesů vypouštěny rovnou do recipientu. Voda za ČOV ze ZZ musí v obou případech splňovat požadovaná kritéria.

3.1 Limity mikrobiologického znečištění povrchových vod

Nařízení vlády č.401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod obsahuje mimo jiné i ukazatele mikrobiologického znečištění s konkrétními hodnotami, kterými by se měly řídit ČOV vypouštějící vyčištěné OV do vodních recipientů. Pokud tyto limity splňuje i odtok z čistírny ZZ I. kategorie, pak může být voda vypouštěna přímo do recipientu bez dalšího zdržení v kanalizační síti.

Mikrobiologickými ukazateli jsou zde bakterie, které slouží jako indikátory fekálního znečištění:

- a) Bakterie Escherichia coli (viz kapitola Mikrobiologické znečištění)
 - nařízení připouští 900 KTJ(kolonie tvořících jednotek)/100 ml vypouštěné vody pro účely §31 (jako zdroj pitné vody), §34 (ke koupání) a §35 (k životu ryb) vodního zákona
 - maximální přípustné znečištění je pak 2500 KTJ/100 ml.
- b) Intestinální (střevní) enterokoky
 - nařízení připouští hodnoty 1000 a 330 KTJ(kolonie tvořících jednotek)/100 ml vypouštěné vody pro účely §31 §34 a §35 vodního zákona
 - maximální přípustné znečištění je pak 2000 KTJ/100 ml
- c) Termotolerantní (fekální) koliformní bakterie
 - nařízení připouští hodnoty 2000 KTJ(kolonie tvořících jednotek)/100 ml vypouštěné vody pro účely §31 §34 a §35 vodního zákona
 - maximální přípustné znečištění je pak 4000 KTJ/100 ml



Další parametry znečištění jsou pak u nařízení č.401/2015 například teplota vody, reakce vody, BSK₅, CHSK_{Cr}, celkový organický uhlík, celkový fosfor, celkový dusík a mnoho jiných.

Ostatní země (například Čína, Austrálie, státy USA, ...) z důvodu zachování dobré kvality povrchových vod také využívají mikrobiologické ukazatele o určitých limitech. Mluvíme hlavně o bakterii E.coli nebo celkovém počtu koliformních bakterií ve vodě.

Uveďme si například tyto limity:

- E.coli – 1000 jednotek/100 ml (Tolo Harbour, Čína, 1998)
- Celkové koliformní bakterie - 400 MPN/100 ml (Environmental Protection Act 2002, třetí vydání); MPN znamená Most probable number (nejpravděpodobnější počet)
- E.Coli – 200 MPN/100 ml (Environmental Protection Act 2002, třetí vydání)
- E.Coli – 1000 nebo 200 organismů/100 ml (Austrálie, 2005; různá kritéria pro různé části Austrálie)

Skupina IFC (Mezinárodní finanční korporace) dokonce vydala seznam limitů vypouštěné odpadní vody ze zdravotnických zařízení do povrchových vodních zdrojů (viz tabulka 3.1), mezi kterými najdeme i parametr Celkových koliformních bakterií (400 MPN/100ml):

Tab.3.1: Jakost vypouštěných vod ze zdravotnických zařízení dle IFC [8]

Znečištění	jednotky	hodnoty
pH	-	6-9
BSK ₅	mg/l	50
ChSK	mg/l	250
oleje a tuky	mg/l	10
NL	mg/l	50
Cadmium	mg/l	0,05
Chrom	mg/l	0,5
Olovo	mg/l	0,1
Rtuť	mg/l	0,01
Celk.zbytkový chlor	mg/l	0,2
Fenoly	mg/l	0,5
Celkové koliformní bakterie	MPN/100 ml	400



3.2 Limity mikrobiologického znečištění odpadních vod vypouštěných ze zdravotnických zařízení 1.kategorie do veřejné kanalizace

Pokud se však zaměříme na limity mikrobiologického znečištění OV vypouštěných do veřejné kanalizační sítě (v tomto případě předčištěných IOV ze ZZ), zjistíme, že v naší republice nejsou téměř žádné limity, které by omezovaly provozovatele ZZ ve vypouštění choroboplodných zárodků do VSS. Hlavními dokumenty v této otázce jsou kanalizační řády obcí, které obsahují seznamy látek a jejich přípustné znečištění při vypouštění do VSS. Jediný ukazatel mikrobiologického znečištění, se kterým se můžeme v českých kanalizačních řádech setkat, je *Salmonella sp.*, u něhož se v některých českých obcích požaduje negativní nález. V kanalizačních řádech se však vždy setkáme s informací, že do stokových sítí nesmí vniknout infekční látky.

Norma ČSN 75 6406 sice požaduje zcela zlikvidovat choroboplodné zárodky ze ZZ I. kategorie, avšak problémem je, že české čistírny (a nejen ty) nejsou doposud schopny se svými technologiemi dosáhnout negativních nálezů veškerých patogenních mikroorganismů na odtoku. Navíc je tato norma nezávazná.

V zahraničních státech je bohužel situace obdobná. V publikacích věnujících se zahraničním kanalizačním sítím se často setkáme se seznamy látek, které nesmí být vypouštěny do veřejné stokové sítě. Mezi ně patří právě patologický a infekční odpad. Konkrétní hodnoty mikrobiologického znečištění jsou však téměř nedohledatelné.

V dokumentu „Environmental protection rules“ z roku 1986 nalezneme limity látek vypouštěných do vnitrozemských povrchových vod, veřejných kanalizací, země pro závlahu a do moře při pobřeží. Zajímavé je, že od roku 1993 byly ze seznamu vyjmuty limity týkající se koliformních (fekálních) bakterií. Limit vypouštění do veřejné stokové sítě byl 10 000 MPN/100 ml odpadní vody.

Z předešlých poznatků tedy vyplývá, že je globálně nepřipustné vypouštění infekční OV do veřejné stokové sítě. V celosvětovém měřítku však chybí konkrétní limity, na základě kterých by se dalo dané mikrobiologické znečištění kontrolovat. Vystává otázka, zda je vůbec potřeba na odtoku z nemocničních čistíren nějaké patogeny sledovat a když ano, které konkrétně a v jakém množství?

Odpovědí na první otázku je jednoznačně ano. Choroboplodné zárodky mohou způsobit při průchodu veřejnými kanalizačními řadami velké problémy zvláště při podobné souhře událostí, které byly příčinou dejvické epidemie. Zdravotnická zařízení 1.kategorie by tedy měla na odtocích svých čistíren kromě standardních vzorků pro laboratorní stanovení BSK₅, zbytkového chloru a jiných parametrů odebrat vzorky i pro zjištění výskytu patogenních mikroorganismů.

Viry jsou společně s prvoky rezistentnější na biologický stupeň čištění OV i dezinfekci než bakterie, a proto by stanovování jejich výskytu ve vodě mělo větší



vypovídající hodnotu, avšak metody jejich detekce jsou drahé a náročné na provedení. Nabízí se tedy využití tzv. modelových mikroorganismů, u kterých se předpokládá podobná odolnost na čištění a dezinfekci a zároveň menší náročnost na stanovení [9].

Jako dostatečné dočasné řešení před zavedením rychlé a finančně vhodné detekce virů v budoucnu by se jevílo sledování množství bakteriálních indikátorů fekálního znečištění (fekální koliformní bakterie, *Escherichia coli*, enterokoky, ...), popřípadě patogenních bakterií (*Salmonely*, *Campylobaktery*, ...) na odtoku z infekčních ČOV. Vzhledem k tomu, že se požaduje minimální nátok infekčních látek do městských ČOV, bylo by na místě zavést limity mikrobiologického znečištění pro povrchové vody z předpisu č.401/2015 Sb. i do provozních řádů ČOV ZZ 1.kategorie.

Tyto bakterie by se stanovovaly například metodami podle ČSN 75 7835 (Stanovení termotolerantních koliformních bakterií a *Escherichia coli*), ČSN EN ISO 7899-2 (Stanovení intestinálních enterokoků), ČSN ISO 19250 (Průkaz přítomnosti bakterií rodu *Salmonella*) a jiných.

Je třeba si však uvědomit, že výskyt bakteriálních indikátorů fekálního znečištění koreluje pouze s výskytem některých patogenů, a tak negativní nález bakteriálních indikátorů na odtoku nutně neznamená absenci veškerých choroboplodných zárodků [9].

Výběr adekvátních mikroorganismů ke kontrole jakosti předčištěné OV na odtoku z ČOV ZZ 1. kategorie a jejich limitů je komplexní úlohou, která vyžaduje zpracování samostatné studie pověřenými odborníky. Je důležité tyto limity přizpůsobit mimo jiné i účinným a dostupným metodám čištění a dezinfekce, které mohou mít reálné využití v ČOV českých zdravotnických zařízení.



4. METODY BIOLOGICKÉHO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD ZE ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ 1.KATEGORIE

Různé studie a výzkumy [7,10,11] potvrzují, že jakost OV z nemocnic je podobná středně znečištěným OV z domácností. Součástí nemocniční OV však může být různý potenciálně nebezpečný obsah jako mikrobiologické patogeny, radioaktivní izotopy, dezinfekce, léky, chemické sloučeniny a farmaceutika.

Již dříve bylo prokázáno, že biologické čištění OV snižuje počty fekálních bakterií zhruba o 2-3 řády, tj. o více než 98 % [12]. Výběr patřičné a dostatečně efektivní čistírenské technologie pro ČOV ZZ s přihlédnutím k jejich návrhu, místním podmínkám, účinnosti, obsluze, údržbě, nákladům, výhodám a nevýhodám, je zásadní.

Kromě biologického využíváme i mechanické a chemické způsoby čištění, avšak v případě IOV je nevhodnější použít první jmenované. Dnes se můžeme ve světě setkat s velkým množstvím technologií biologického čištění OV. Jako příklady jmenujme třeba aktivační proces, biologické filtry, rotační diskové reaktory, oxidační rybníky a laguny, prodlouženou aeraci a speciální reaktory (SBR – s přerušovaným provozem, MBR – membránový, ...). Membránové procesy (mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza) dnes také nacházejí velká uplatnění, ačkoliv se nejedná přímo o biologické metody.

V dřívějších kapitolách bylo zmíněno, že české ČOV ze ZZ 1. kategorie nejsou dostatečně efektivní v eliminaci choroboplodných zárodků z IOV. Je to způsobeno hlavně tím, že je u nás hojně využíván tradiční aktivační proces, který se však s porovnáním jiných dnešních metod jeví jako zastaralý. Cílem této kapitoly je se tedy zaměřit na tradiční i novější metody biologického čištění OV, vyčlenění těch nevhodnějších pro IOV a porovnání jejich výhod a nevýhod pro ČOV ze ZZ.

4.1 Popis metod biologického čištění odpadních vod pro zdravotnická zařízení 1. kategorie

4.1.1 Proces aktivovaného kalu neboli aktivace

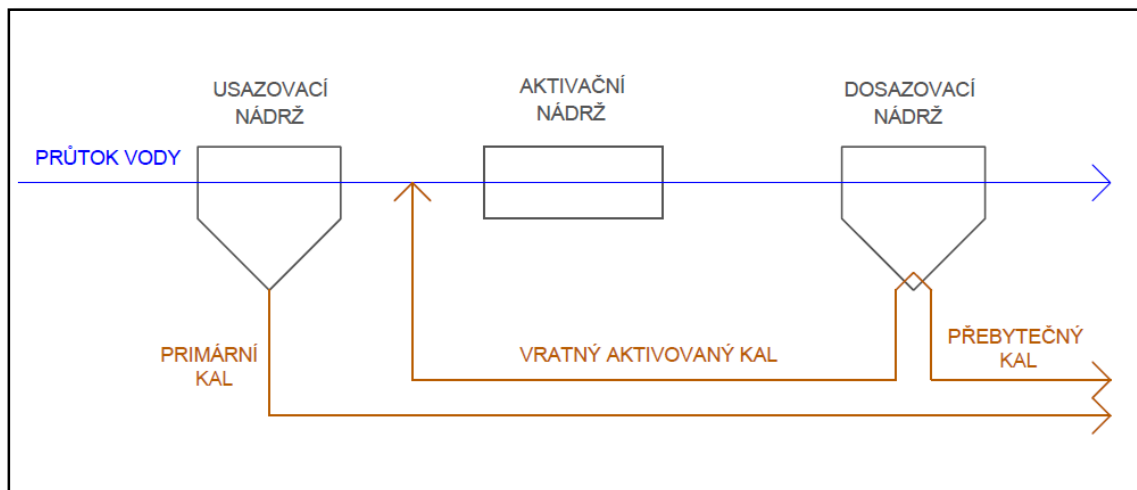
Jde o tradiční proces, během něhož je OV čištěna v otevřených aktivačních nádržích, kam je během aktivace různými způsoby vháněn vzduch pro aerobní kulturu mikroorganismů (plísňe, houby, kvasinky,...), které potřebují kyslík ze vzduchu k likvidaci organického znečištění OV. Je třeba 12-15 hodinová doba zdržení pro patřičné vyčištění [10].

Aktivovaný kal vytváří dobře sedimentující vločky, jež se usazují po procesu aktivace v dosazovacích nádržích. Část takto usazeného kalu pak recirkuluje zpět do aktivačních nádrží, kde udržuje optimální koncentraci biomasy a je mísen s přitékajícím organickým znečištěním. Průtok odpadní vody nádrží může být



kontinuální či diskontinuální. Kontinuální nádrže pak dělíme na nádrže s pístovým tokem, s postupným tokem a s dokonalým míšením [10].

Technologický postup aktivace je popsán v obrázku 4.1.



Obr.4.1 – Technologický postup aktivace

Proces aktivace patří za starou technologii, přesto je dnes stále velmi rozšířen jak ve světě, tak i na našem území. V rozvojových zemích je využíván hlavně proto, že jiné technologie zkrátka nejsou dostupné [10].

Výhody využití aktivace pro OV ze ZZ

- Účinnost odstranění BSK_5 větší než 90%
- Uživatelsky přívětivá technologie (k údržbě a obsluze procesu není třeba speciálně vyškoleného personálu)
- Oxidace a nitrifikace zajištěny bez chemikálií
- Maximální odstranění nerozpuštěných látek (až 97%)
- Schopnost vykrýt špičkové zatížení [10]

Nevýhody využití aktivace pro OV ze ZZ

- Větší objem vzplývavého kalu
- Neúčinná v dekolorizaci OV
- Špatná kvalita odtékající OV nezbavené oděru
- Velká citlivost na změnu teplot
- Špatná účinnost odstraňování nutrientů z OV (nutnost terciárního čištění)
- Větší využití aerace a s tím spojené náklady



- Malá flexibilita provozu
- Nestabilita biomasy jako špatně sedající kaly (zbytnělý, vystupující, plovoucí kal)
- Vysoká spotřeba energie
- Považována za zastaralou technologii vzhledem k rozvoji jiných [10]

4.1.2 Prodloužená aerace

Jedná se vlastně o stejný proces jako u aktivace, avšak s tím rozdílem, že je třeba dodat delší dobu zdržení k likvidaci organické hmoty. Běžně je poskytována doba zdržení 18-24 hodin v aktivační nádrži ke kompletní aerobní biodegradaci. Hlavním cílem je získat lepší hodnotu BSK₅ na odtoku, odstranit problém se zápachem polozpracovaného kalu díky delší době zdržení a také procentuální zmenšení objemu recirkulovaného kalu [10].

Logicky je pro prodlouženou aeraci potřeba větších nádrží, takže by se měla využít tam, kde čistírna není omezena prostorem. Dá se využít jak dokonalého míšení, tak i postupného kontinuálního toku nádrží [10].

Výhody prodloužené aerace pro OV ze ZZ

- Méně vyprodukovaného kalu
- Jednoduchá montáž
- K údržbě a obsluze procesu stačí i méně vyškolení pracovníci
- Účinnost a kvalita odtoku jsou lepší než v případě obvyklé aktivace
- Bez zápachu [10]

Nevýhody prodloužené aerace pro OV ze ZZ

- Vyšší spotřeba kyslíku při aeraci a s tím spojené náklady
- Nemožnost dosažení denitrifikace a odstranění fosforu
- Špatné přizpůsobování se měnícím se požadavkům na parametry odtoku
- Dlouhá doba aerace kombinovaná s dlouhou sedimentací mohou způsobovat vystupování kalu v dosazovací nádrži
- Potřeba většího prostoru
- Energetická náročnost [10]

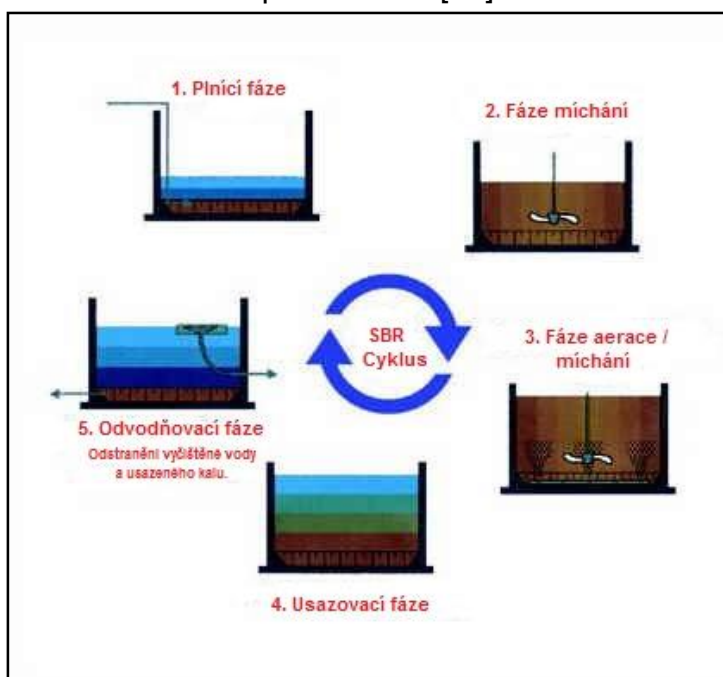


4.1.3 SBR reaktory

Biologické čištění OV pomocí SBR reaktorů (SBR = Sequential batch reactor; reaktor s přerušovaným provozem) využívá stejné technologie jako proces aktivovaného kalu, avšak s tím rozdílem, že biodegradace, usazování i odstraňování kalu probíhá v jedné nádrži [10].

SBR systémy se skládají buď ze dvou a více reaktorů fungujících paralelně nebo z jedné vyrovnávací (akumulační) nádrže a jednoho reaktoru. Výběr nádrže je závislý na charakteru přitékající OV (velký či malý objem) [13].

Každý provozní cyklus SBR reaktoru se skládá z pěti fází: plnění, míchání, míchání a aerace (aktivace), usazování a odvodnění (obrázek 4.2). Tyto fáze pak mohou být upravovány tak, aby co nejvíce vyhovovaly jakosti a množství čištěné OV. Celková kontrola systému je zajištěna senzory hladinového hlídání a časovacím zařízením nebo mikroprocesorem [10].



Obr. 4.2 - Popis fází cyklu SBR reaktoru [13]

Výhody SBR reaktorů pro OV ze ZZ

- V porovnání s kontinuálními systémy využívá menších prostorů (jedna nádrž pro aktivaci i sedimentaci)
- Vysoká kvalita vody na odtoku
- Vykrytí nerovnoměrných průtoků (Špičkové průtoky jsou akumulovány a následně po dávkách zpracovávány během dne tak, aby každá dávka měla dostatek času na patřičné vyčištění.)
- Flexibilita provozu (reakce na průtoky a jakost vody)



- Možnost automatizace
- Schopnost dosažení biologické oxidace, nitrifikace, denitrifikace, odstranění fosforu
- Minimum zbytnělého kalu
- Technologie bez zápachu [10,13]

Nevýhody SBR reaktorů pro OV ze ZZ

- Vyšší energetické nároky a s tím navýšené náklady
- Náročnost přizpůsobování cyklů OV (zvláště u malých komunit)
- Nutnost pravidelného odstraňování kalu
- Speciální dekantační a aerační vybavení
- Potřeba speciálně vyškoleného personálu [10,13]

4.1.4 FBR reaktory

FBR (Fluidized bed reactor = reaktor s fluidizovaným ložem) proces je jednou z novějších technologií aerobního biologického čištění OV využívajících přisedlou biomasu (Předchozí metody byly také aerobní, ale s využitím biomasy ve vznosu). S jeho využitím je možno dosáhnout vynikajících hodnot BSK₅ a CHSK [10].

V FBR reaktorech je OV proháněna skrze lože malých nosičů bio-filmu (například RING PAC o průměru 25 mm) s takovou rychlostí, aby bylo dosaženo fluidizovaného prostředí. Mnohé bakterie (a také jiné mikroorganismy) mají schopnost se přidržovat pevných podpor (nosičů), čehož FBR systémy využívají ke znehybnění bakterií na pevných plochách a jejich likvidaci mikroorganismy. Bio nosiče pak dosahují několikrát větší koncentraci biomasy než u aktivace, což významně zvyšuje produktivitu čištění [10,14].

Pro aerobní čištění je dodáván kyslík z oxygenátoru, ze kterého může být přiváděn do reaktoru nebo přímo probublávat do protékající vody. U FBR reaktorů není nutné vybavení k navracení aktivovaného kalu do procesu k zajištění živin pro mikroorganismy. Přebytečná biomasa již automaticky opadává z nosičů, přičemž za sebou zanechává již jen vysoce aktivní bio-film [10].

Výhody FBR reaktorů pro OV ze ZZ

- V porovnání s aktivací a prodlouženou aerací je zapotřebí daleko menší doba zdržení
- Rychlá reakce na změny množství OV
- Skoro bezobslužná varianta (technicky jednoduchá, bez problémů s kalem, ...)
- Menší náklady na chod a údržbu čistírny během provozu



- Menší nároky na prostor
- Účinná a spolehlivá technologie [10]

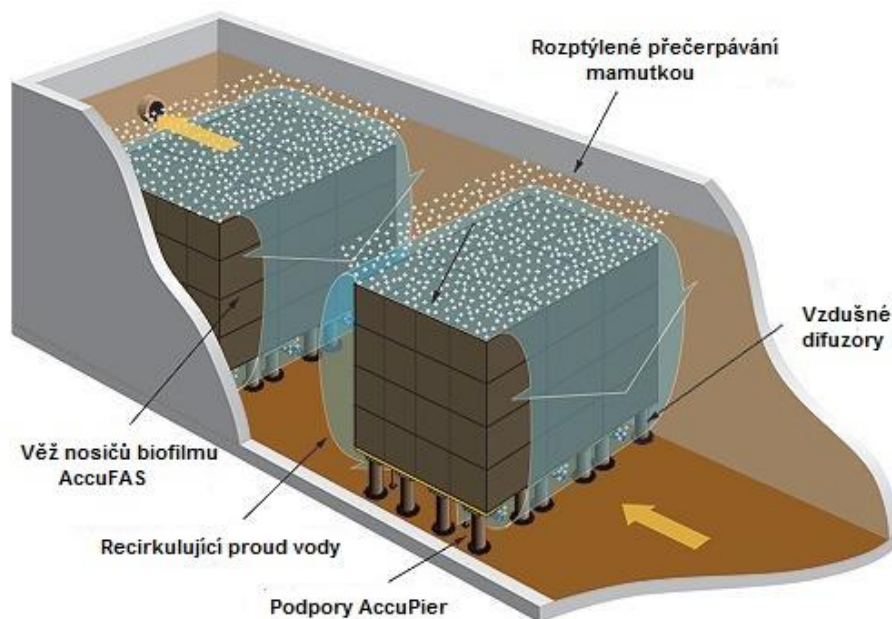
Nevýhody FBR reaktorů pro OV ze ZZ

- Velká proměnlivost přítoku snižuje efektivitu čištění
- Je nutné nepřetržité měření MLSS (koncentrace kalu)
- Větší pravděpodobnost hnilobných procesů při výpadku proudu než u jiných technologií [10]

4.1.5 SAFF reaktory

Technologie SAFF (Submerged aeration fixed film = reaktory s ponořenou upevněnou biomasou) zavádí nosiče biofilmu do aktivačních nádrží k vylepšení účinnosti čištění a lokálně také pro zamezení rozšiřování již existujících čistírenských zařízení. V čistírnách využívajících nitrifikaci a denitrifikaci jsou nosiče umístěny do aerobní zóny za cílem vylepšení nitrifikace za nízkých teplot [10].

SAFF reaktory jsou založeny na biologickém čištění s přisedlou biomasou. Během tohoto procesu je přiváděna surová OV do reaktoru, v němž se nachází bio-nosiče na bázi polymerů. Aerobní prostředí v reaktoru je dosaženo skrze probublávající aerační vybavení, které napomáhá i k míchání. Směsice starých i nových buněk odtéká do sedimentační nádrže, kde jsou odděleny od vody. Část z nich je pak recirkulována čerpadly zpět do reaktoru k dosažení požadované koncentrace organismů v něm a zbytek odveden do kalových nádrží k dalšímu zpracování [10].



Obr.4.3 - Popis nádrže s věžemi nosičů biofilmu AccuFAS [14]



Na obrázku 4.3 jsou zakresleny věže s nosiči biofilmu AccuFAS společnosti Brentwood Industries, která využívá právě SAFF technologie.

Souvislá dodávka kyslíku společně s dostatečným množstvím zdrojů živin jsou nutností pro růst mikroorganismů na povrchu ponořených bio-nosičů. Nosiče SAFF reaktorů vykazují větší plochy pro činnost mikroorganismů [10].

Výhody SAFF reaktorů pro OV ze ZZ

- Není nutné měřit MLSS (koncentraci kalu) nepřetržitě jako je tomu u FBR reaktorů
- Uživatelsky přívětivá technologie; menší údržba vzhledem k absenci pohyblivých částí
- Žádné komplikace s hnilobnými procesy způsobenými výpadkem proudu, jelikož se v SAFF reaktoru zachovává biomasa i při nepravidelné dodávce energie
- Díky velkému množství biomasy v reaktoru je voda patřičně pročištěna i za velké zátěže bez snížení účinnosti
- Daleko menší produkce kalu a tedy i menší potřeba jeho likvidace
- Průběžné odstraňování vnějších vrstev odumřelého bio-filmu a produkce nových mikroorganismů likvidujících organické znečištění [10]

Nevýhody SAFF reaktorů pro OV ze ZZ

- Potřeba většího prostoru v porovnání s FBR reaktory
- Nadbytek kalu v reaktoru může zanášet bio-nosiče, proto je nutný monitoring MLSS (ale ne nepřetržitý) [10]

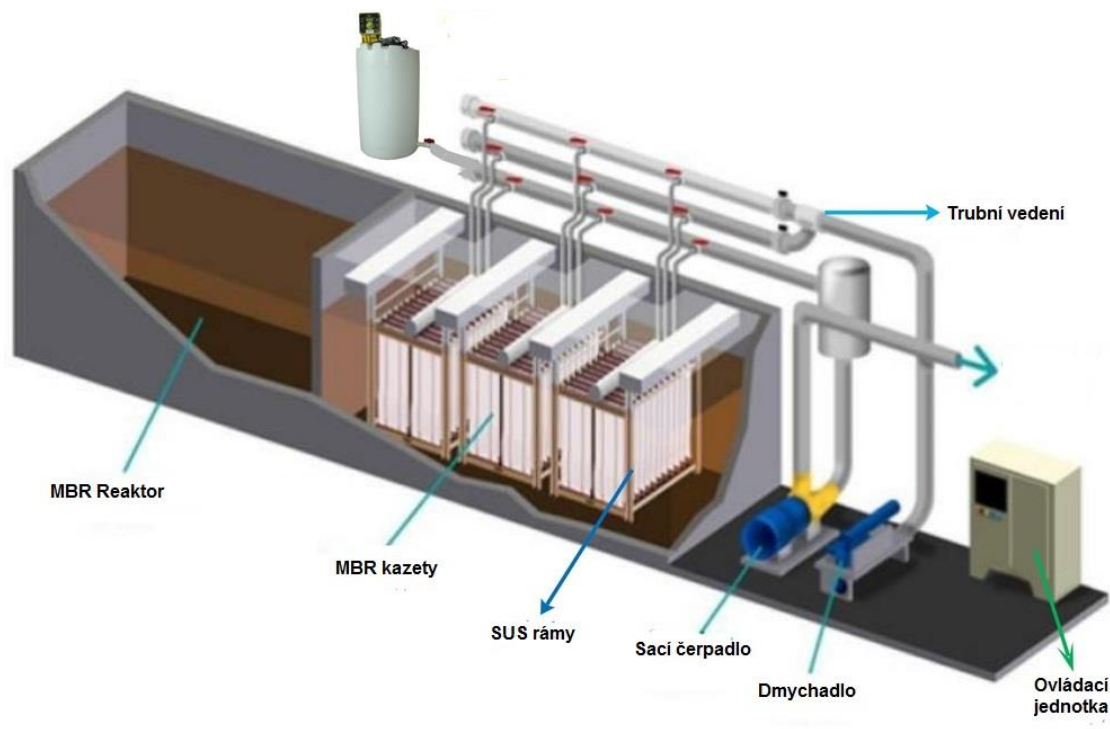
4.1.6 Membránové bio-reaktory (MBR)

Nová technologie, která je často využívána také pro OV z domácností. Jde o kombinaci procesu aktivace s nízkotlakou membránovou filtrací, díky které odpadá potřeba usazovacích nádrží [10].

Principem membránových reaktorů je procezení OV skrze syntetické membrány (vyrobené z PE, PVDF, PES) sestavené do jednotek (modulů, kazet), na kterých se zachycují pevné částice, bakterie a dokonce i většina virů. Kvalita vyčištěné vody je přímo závislá na velikosti pórů membrán. Je tedy důležité hledat kompromis mezi efektivitou čištění a ekonomickou náročností procesu [10,15].

I přes značný problém ze zanášením membránového povrchu MBR reaktory zajišťují vysokou kvalitu odtoku a možné znovuvyužití vyčištěné OV jako závlahovou nebo užitkovou [10,15].

Schéma takovéto technologie je uvedeno na obrázku 4.4..



Obr.4.4 – 3D Model membránového bio-reaktoru [16]

Výhody MBR reaktorů pro OV ze ZZ

- Možnost vyčištění vody té nejhorší kvality
- Moduly membrán mohou být pročištěny a znovu využity
- Vyžaduje se čištění jen jednou za 3-6 měsíců
- Produkce přebytečného kalu menší o 60-80 % než u tradičních metod
- Zabírají až o 75 % menší prostor než běžné technologie
- Možnost přímého i nepřímého znovuvyužití vyčištěné vody
- Vysoká kvalita vody na odtoku
- Žádné dosazovací nádrže, skoro žádné nerozpuštěné látky na odtoku
- Pokročilá automatizace systému a měření
- Možnost dálkového ovládání + snížení nákladů na obsluhu [10]

Nevýhody MBR reaktorů pro OV ze ZZ

- Špatná snášenlivost abrasivních a vláknitých materiálů (štěrk, vlasy, ...)
- Problémy se zanášením membrán
- Vysoké požadavky na aeraci (vyšší spotřeba vzduchu)
- Dvojitý aerační systém pro míchání a proti zanášení



- Časově náročné čištění membrán
- Vysoké investiční náklady
- Vysoká spotřeba energie pro vakuový filtr nebo mikrofiltr
- Nutná vyšší odbornost řízení procesu [10]

4.2 Porovnání metod biologického čištění OV

Porovnání výhod a nevýhod výše popsaných metod čištění potvrzuje, že využití moderních reaktorů (SBR, FBR, SAFF, MBR) pro biologické čištění OV ze ZZ 1.kategorie je daleko efektivnější než zastaralé metody aktivace a prodloužená aerace. Jejich výhody tkví hlavně v úsporách prostorů, kvalitě vyčištěné OV a citlivosti na změnu počasí.

Ze skupiny reaktorů se pak jako nejvýhodnější jeví SAFF reaktor, protože při jeho využití nemusí být nutná usazovací nádrž, kvalita odtoku je na vynikající úrovni, disponuje nízkou spotřebou energie, k jeho provozu není potřeba obsluha s vyšší úrovní znalostí, provoz a údržba jsou jednoduché, nejsou potřeba téměř žádné chemikálie, zvládá bez problémů extrémní zátěže a je možné znovu využít přečištěnou vodu k více účelům.

Z hlediska nejlepší likvidace mikrobiologického znečištění se pak jeví MBR reaktory[15]. Ty však spotřebují příliš mnoho energie, je potřeba vysoce vyškolené obsluhy, jsou složité na ovládání a musí se kontrolovat velmi často.

Celé porovnání technologií biologického čištění nemocničních OV je zahrnuto v Příloze č.2.



5. METODY DEZINFEKCE ODPADNÍCH VOD ZE ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ 1. KATEGORIE

Nemocniční OV obsahuje mnohdy specifické znečištění jako čistící a dezinfekční prostředky, parazity a velké množství patogenních mikroorganismů. Bez vhodného ošetření se může OV stát hlavním zdrojem šíření nemocí. Dezinfekce je tedy pro čištění OV ze ZZ klíčová. Sterilizační efekt přímo ovlivňuje šíření patogenních mikroorganismů v nemocnicích, kanalizačních sítích a povrchových vodách, což má vliv na zdraví lidí a stav životního prostředí [17].

Norma ČSN 75 6406 ukládá ZZ 1. kategorie čistit a dezinfikovat IOV přitékající z jejich objektů. Hlavním úkolem dezinfekce je před vypuštěním vody do stokové sítě nebo recipientu zlikvidovat co nejvíce choroboplodných zárodků, které prošly skrze předešlé stupně úpravy.

Dnes nejhojněji používané metody dezinfekce v terciárním čištění ČOV ve ZZ jsou chlor, chlornan sodný, oxid chloričitý, ozón a UV záření [17].

V již zmiňované normě jsou podrobněji popisovány pouze chlorování a termická dezinfekce. Cílem této kapitoly je tedy podrobněji seznámit čtenáře s možnými způsoby dezinfikování IOV v čistírnách ZZ 1. kategorie a vybrat pokud možno ten nejvhodnější.

5.1 Popis metod dezinfekce odpadních vod pro zdravotnická zařízení 1. kategorie

5.1.1 Dezinfekce chlorem

Chlor (aktivní chlor Cl_2) je jedním z velmi silných okysličovadel a k dezinfekci OV ze ZZ se používá již dlouhou dobu. Obsah volného chloru v Cl_2 se blíží 100 % (zbytek jsou nečistoty), takže jeho schopnost sterilizace je velmi silná [17].

Mechanismus dezinfekce chlorem vychází z této chemické reakce:



Kyselina chlorná (HClO) a chlornan (ClO^-) jsou účinné složky dezinfekce chlorem. HClO je elektricky neutrální, a tak je snadné ji rozšířit do povrchu bakterií s negativním nábojem a za silné oxidace skrze Cl^+ zlikvidovat systém enzymů bakterií, což je hubí. Při použití čistého chloru pro dezinfekci OV ze ZZ se využívá obvykle dávka 5-20 mg/l, přičemž vhodná reakční doba by se neměla uvažovat menší než 1,5 hodiny [17].

Výhodami čistého chloru jsou silná a plynulá schopnost sterilizace, nízká cena (někdy) a osvědčení technologie v čase. Nicméně pořád se jedná o vysoce toxickou látku, jejíž některé vedlejší produkty (například vzniklé trihalogenmethany; dále jen THM) mohou mít karcinogenní účinky a způsobit tak



zdravotní újmu obsluze zařízení. Rozpustnost a hydrolytická reakce jsou kvůli nízké stabilitě chloru ovlivněny teplotou, kvalitou vody, pH, dobou zdržení a jinými faktory, což má také přímý vliv na stabilitu dezinfekčního efektu. Takže aplikace samotného chloru Cl_2 je u nás i v zahraničí omezena [17,18].

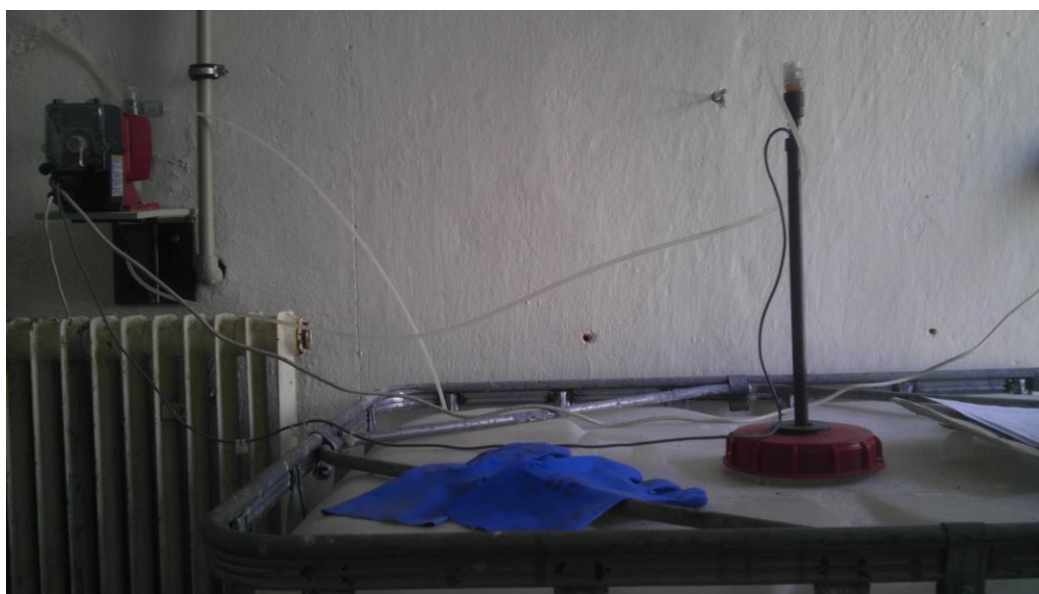
5.1.2 Dezinfekce chlornanem sodným

Obsah volného chloru v chlornanu sodném (NaClO) je 5 – 20 %. Mechanismus dezinfekce chlornanem sodným je následující:



Tento dezinfektant může být přímo zakoupen na trhu nebo také přímo připravován na místě ve standardním NaClO generátoru. V porovnání s čistým chlorem je dezinfekce chlornanem sodným výhodnější v nižší toxicitě (přesto je množství vzniklých THM nezanedbatelné), prostém vybavení, větší stabilitě procesu, jednoduchém ovládní a nízkých provozních nákladech. Musíme však počítat i s negativy jako jsou vyšší spotřeba energie, nižší účinnost dezinfekce a silná korozivita [17,18].

Na obrázku 5.1. je zobrazeno dávkovací zařízení a nádoba s chlornanem sodným z ČOV jednoho českého ZZ.



Obr. 5.1 - Dávkovací zařízení chlornanu sodného

5.1.3 Dezinfekce oxidem chloričitým

Oxid chloričitý (ClO_2) je pravděpodobně nejvhodnější dezinfekční látkou na bázi chloru pro nemocniční OV ze skupiny dříve zmiňovaných. ClO_2 je velmi silným oxidačním činidlem za kyselých podmínek a vykazuje velmi dobrou rozpustnost ve vodě (5 krát lepší než čistý chlor) [17].



Oxid chloričitý často způsobuje denaturaci (změna prostorové struktury molekul) mikrobiálních enzymů a jiných proteinů, což u choroboplodných zárodků zapříčiňuje úhyn. ClO_2 může vyhubit většinu mikroorganismů zahrnující viry, spory, plísně, houby, bakterie a jiné. Kromě toho je jeho použití spojeno s dalšími efekty jako dekolizace (odstranění zbarvení), deodorizace (odstranění zápachu), oxidace a obohacení vody o kyslík [17].

Toto dezinfekční činidlo je však nevhodné ke skladování a transportu, a proto je třeba účinného generátoru ClO_2 zajišťujícího dobré výsledky dezinfekce a ekonomickou vyrovnanost. Provozní náklady vybavení pro přípravu látky elektrolyzou přímo v prostorách čistírny jsou relativně nízké. Proces dezinfekční technologie je jednoduchý a nevznikají při něm skoro žádné vedlejší produkty dezinfekce ani THM. Voda vyčištěná tímto oxidem obsahuje také v porovnání s dezinfekcí čistým chlorem daleko menší koncentrace organických halogenů [17].

Jak již bylo řečeno, oxid chloričitý dokáže odstranit zbarvení i zápach odpadní vody, avšak některé práce poukazují na fakt, že při jeho reakci v alkalických podmínkách mohou vznikat nebezpečné vedlejší produkty (ClO_3^- , ClO_2^-) způsobující člověku hemolytickou anémii nebo újmu životnímu prostředí [17].

5.1.4 Dezinfekce ozónem

Ozón (O_3) řadíme k novějším druhům dezinfekce s velkým baktericidním efektem, který se v posledních letech velmi rozšířil mezi procesy úpravy vody a čištění OV. O_3 má schopnost zbavit vodu zbarvení, zápachu a organického znečištění [17].

Molekula ozónu se skládá ze tří atomů kyslíku velmi nestabilního charakteru, které se při rozpuštění molekuly ve vodě uvolňují a s velkým oxidačním účinkem mohou rychle rozkládat mikroorganismy ve vodě, zabíjet bakterie a viry. Tak může dezinfekce ozónem s krátkou dobu kontaktu a vysokou účinností řádně zlepšit kvalitu vody. Dezinfekční efekt může být ovlivněn faktory jako pH, amonným dusíkem, teplotou nebo jinými [17].

Pořizovací náklady na zařízení vyrábějící O_3 v prostorách čistírny jsou však velmi vysoké. Zároveň jsou vedlejší produkty vzniklé reakcí ozónu s bromidy či jodidy ve vodě nebezpečné pro lidské zdraví. Během změny kvality i kvantity vody je obtížné regulovat dávkování ozónu. Proto je dezinfekce ozonem vhodná hlavně pro čistírny průmyslových OV a ČOV z domácností o malých velikostech [17].

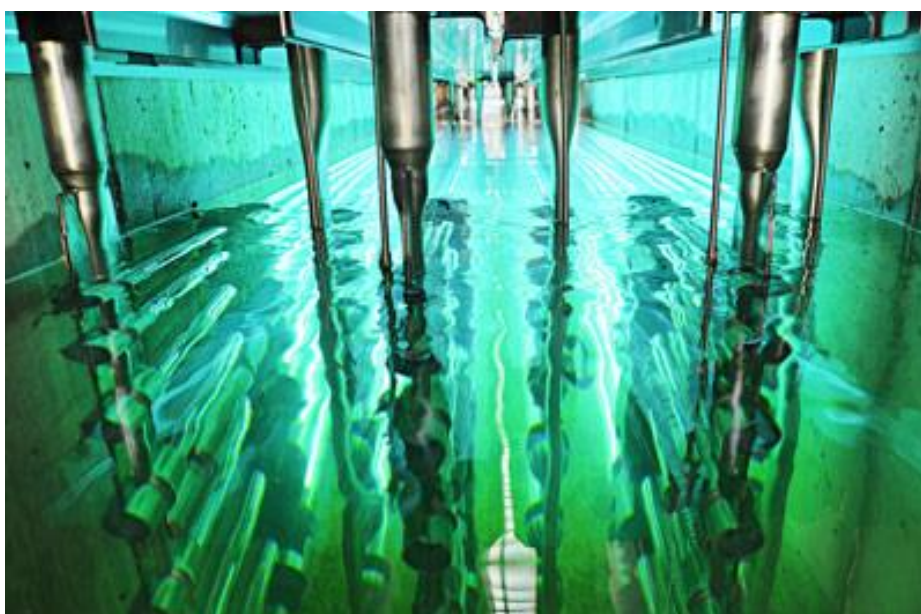
5.1.5 Dezinfekce ultrafialovým zářením

Ultrafialové záření (UV) je druh elektromagnetického vlnění s vlnovou délkou 200 – 400 nm. Vzhledem k rozdílným rozsahům vlnových délek může být děleno do těchto intervalů: UV-A, UV-B, UV-C a V-UV (vakuové UV). VUV může být absorbováno odpadní vodou, a tak není vhodné pro dezinfekci, zatímco záření UV-C může zabíjet bakterie, viry a mikroby [17].



Princip sterilizace vody UV zářením spočívá v poškození struktury DNA a RNA bakterií, virů a jednobuněčných organismů po vystavení UV-C světlu. Patogeny se stávají vlivem poškození DNA a RNA inaktivní, avšak nejsou usmrceny. Takovýto nejlepší baktericidní efekt zajišťuje UV-C a UV-B záření. Převládá názor, že nejvhodnější vlnová délka pro likvidaci znečištění je 253,7 nm ultrafialového záření [17].

Silné UV-C záření je generováno skrze speciální UV lampy (obrázek 5.2.), které by měly být součástí dezinfekčního vybavení. Tento druh dezinfekce má již dlouhou historii. V porovnání s dezinfekcí čistým chlorem jsou prvotní investiční i provozní náklady menší [17].



Obr.5.2 - UV lampy na odtoku z madisonské ČOV [19]

Nerozpuštěné látky obsažené v odpadní vodě představují pro dezinfekci UV zářením problém, protože poskytují bakteriím ochranu proti němu. Kvůli docílení nižších nákladů a lepší kvality odtoku se tedy doporučuje před UV lampy předřadit filtraci. Další nevýhodou se pak jeví zanášení křemenných trubic, které je nutno čistit [9].

5.1.6 Termická dezinfekce

Norma ČSN 75 6406 blíže charakterizuje jako možnou dezinfekci i tepelnou úpravu OV. Dnes jsou již upřednostňovány jiné technologie, ale pro úplnost je zde uvedena také.

Pro dezinfekci OV tepelným zpracováním se požaduje doba zdržení 20 minut a teplota dle druhu choroboplodných zárodků (v normě je uvedeno 115 °C pro anthrax a hepatitis, 90 °C pro TBC a 80°C pro ostatní). Po této úpravě musí být voda opět ochlazena minimálně na 40°C. Teplota vypouštěné vody by však měla být udržována hlavně podle kanalizačního řádu obcí [5].



Tato metoda sice redukuje mikrobiologického znečištění, avšak kontaminace se po určitém čase vrací na původní hodnoty, a tak trvalé zlikvidování choroboplodných zárodků z vody touto metodou není možné [20].

5.2 Porovnání metod dezinfekcí

Po technickém a ekonomickém porovnání možných metod dezinfekce OV ze ZZ 1. kategorie zaměřeném na výhody, nevýhody, údržbu, dezinfekční efekt a jiné parametry dojdeme k názoru, že nejuhodnější metodou je pravděpodobně dezinfekce UV zářením.

Ta vykazuje krátkou reakční dobu, je spolehlivá, dobře likviduje mikrobiologické znečištění, nevytváří skoro žádné vedlejší produkty dezinfekce, je energeticky i finančně únosná a nevyžaduje náročnou údržbu. Je vhodné ji však doplnit o předřazenou filtraci kvůli nerozpuštěným látkám, které snižují efektivitu dezinfekce.

Dalšími akceptovatelnými metodami dezinfekce pro nemocniční odpadní vodu se jeví oxid chloričitý a ozón. Jako nevhodné pak uvažujeme Cl_2 a NaOCl kvůli vysoké tvorbě vedlejších produktů a termickou dezinfekci kvůli vysokým nákladům s menší dezinfekční efektivitou.

Celé porovnání metod dezinfekce nemocničních OV je zahrnuto v Příloze č.3.



6 REÁLNÝ STAV ČIŠTĚNÍ INFEKČNÍCH ODPADNÍCH VOD V ČESKÉ REPUBLICE

Teprve po propuknutí dejvické epidemie (její popis je detailně obsažen v Příloze č.1) si lidé v Praze začali znovu uvědomovat, jaké komplikace, nepříjemnosti a nebezpečí mohou způsobit patogeny v pitné vodě (v tomto případě noroviry a fekální bakterie). Poté, co byl nalezen kanalizační řád, ze kterého infekční vody prosákly do vodovodu, vyvstala otázka, jak se do něj infekce mohla dostat. Pozornost padla na Ústřední vojenskou nemocnici, která je na tento řád napojena. I když vedení tvrdilo, že nemocnice vodu čistí dostatečně, bylo nařízeno epidemiologické šetření, jež mělo prokázat, zda ZZ 1. kategorie na odtocích ze svých čistíren skutečně vypouštějí choroboplodné zárodky či nikoliv.

Tato kapitola rozebírá okolnosti spojené s dejvickou kontaminací, vyhodnocuje s ní spojené epidemiologické šetření a v praktické části pak zhodnocuje aktuální stav dvou ČOV v pražských nemocnicích, které nakládají s infekčními vodami.

6.1 Epidemiologické šetření

6.1.1 Důvod uskutečnění epidemiologického šetření

Po zjištění pravých příčin kontaminace pitné vody v Dejvicích (se začalo prošetřovat, jakým způsobem se mohly dostat noroviry do OV, jež prosákla do vodovodního řadu z kanalizační sítě. Prakticky přicházejí v úvahu pouhé dvě možnosti:

- a) Patogeny mohly doputovat do kanalizace skrze výměšky nemocných lidí léčících se doma. Jejich koncentrace v množství OV by však nejspíš nebyla dostatečná ke kontaminaci tak velkého rozsahu.
- b) Druhým potenciálním zdrojem choroboplodných zárodků by pak mohla být Ústřední vojenská nemocnice (dále jen ÚVN), která je na atypicky vedenou kanalizační síť napojena.

Dle slov mluvčího PVK však střešovická nemocnice disponuje vlastní ČOV, díky které kontaminace infekční vodou ze ZZ nehrozila. Vedení nemocnice se taktéž vyjádřilo se slovy, že čistírna je během svého skoro desetiletého působení každoročně sledována skrze odběry [8,9]. Je však dost pravděpodobné, že mikrobiologické znečištění na odtoku sledováno není (kanalizační řád města Prahy to nevyžaduje).

Otázku, zda čistí ÚVN i jiná velká ZZ v Praze nakládající s IOV svůj odpad dostatečně, se snažilo zodpovědět epidemiologické šetření Hygienické stanice hlavního města Prahy ze září 2015. Během pátrání po zdroji nákazy byly provedeny odběry vzorků OV z čistíren infekčních odpadních vod (dále jen ČIOV)



největších pražských ZZ. Jednalo se o pracoviště zdravotnických zařízení č. 1,2,3 a 4 (identifikace těchto zařízení je uvedena v Příloze č.5). Pro kontrolu byly také odebrány vzorky v Ústřední čistírně odpadních vod (dále ÚČOV) na Císařském ostrově [21].

6.1.2 Výsledky epidemiologického šetření

Odběry byly provedeny pracovníky akreditované laboratoře Zdravotního ústavu Ústí nad Labem vždy na nátoku do ČOV a odtoku za čistírnou. K vyhodnocení odebraných vzorků byly použity metody PCR na průkaz RNA enterovirů (neakreditovaná, ale citlivá s dobrým zachytem), KIT Agilent (používá se na vyšetření stolice; stanovuje noroviry, rotaviry, astroviry a adenoviry) a elektronová mikroskopie (přímý průkaz virů; spolehlivá a přesná technologie) [21,22,23].

Výsledky epidemiologického šetření jsou pak následující:

a) ZZ č. 1

Potvrzeny noroviry (KIT) a bakteriofágy (EM) na odtoku z ČIOV.

b) ZZ č. 2

Potvrzeny enteroviry (PCR), noroviry s rotaviry (KIT) a viry čeledi Picornaviridae, Caliciviridae (norovirus) a ojedinělé rotaviry s bakteriofágy (EM) na odtoku z ČIOV.

c) ZZ č. 3

Nalezeny noroviry (KIT), ojedinělé viry čeledi Picornaviridae a bakteriofágy (EM) na odtoku z ČIOV.

d) ZZ č. 4

Nalezeny noroviry (KIT), ojedinělé viry čeledi Caliciviridae (norovirus) a bakteriofágy (EM) na odtoku z ČOV.

e) ÚČOV

Nalezeny noroviry (KIT), ojedinělé viry čeledi Caliciviridae a bakteriofágy (EM) na odtoku za novou dosazovací nádrž.

Nalezeny viry čeledi Caliciviridae a bakteriofágy (EM) na odtoku za starou dosazovací nádrž [21].

Tabulka s kompletními výsledky epidemiologického šetření včetně hodnot na nátocích do ČIOV je k dispozici v Příloze č.4.

6.1.3 Vyhodnocení výsledků epidemiologického šetření

Epidemiologické šetření tedy zaznamenalo pozitivní nálezy norovirů a jiných choroboplodných zárodků na odtocích ze všech pěti ČOV. Dá se tedy říct, že české ČOV ze ZZ nedostatečně čistí infekční vodu?



Odpověď v našich končinách není jednoznačná. Musíme si uvědomit, že v Česku v podstatě neexistuje legislativa, která by vymezovala limity mikrobiologického patogenního znečištění v infekční OV vypouštěné z nemocničních čistíren do VSS (viz kapitoly 2 a 3).

Z výsledků šetření je jasné, že ČIOV z pražských ZZ choroboplodné zárodky zcela nelikvidují (jak požaduje nezávazná norma ČSN 75 6406). Je třeba poukázat na to, že tyto čistírny byly až na výjimky navrhovány a stavěny v dobách, kdy se ještě o norovirech a podobných původcích infekčních chorob moc nediskutovalo (poprvé byly zkoumány teprve v 70. letech) [24]. Fakt, že zmíněná norma z dubna 1996 vešla v účinnost před dvaceti lety a platí beze změn dodnes, nás také dovede k myšlence, že čištění odpadních infekčních vod v naší republice nutně potřebuje znovelizovat.

V případě ÚČOV je zvláštní, že metoda Agilent KIT odhalila noroviry na odtoku z nové dosazovací nádrže a ze staré nikoliv, když voda by měla být vyčištěna stejně. Můžeme to přisuzovat chybě stanovení nebo faktu, že je metoda zaměřena na vyšetření stolice a ne analýzu OV. Problematika metod detekce mikroorganismů v IOV je samostatným tématem a bylo by také vhodné se jí v budoucnu věnovat.

Epidemiologické šetření dále potvrdilo, že ZZ č.1 (Ústřední vojenská nemocnice) byla s vysokou pravděpodobností zdrojem choroboplodných zárodků, které zapříčinily dejvickou kontaminaci. Kdyby se však stejně jako ve Střešovicích dostala „předčištěná“ OV kvůli netěsnostem či prasklinám z jakéhokoliv ZZ, které bylo součástí šetření, skrze napojenou kanalizaci do vodovodu, epidemie by díky nedostatečnému čištění nastala taktéž.

Cílem PVK a ZZ do budoucna by tedy nemělo být pouze zdokonalit čistírenské procesy OV, ale také se zaměřit na sanace a výměny starých inženýrských sítí, z nichž některé pocházejí dokonce se začátku minulého století. Také by bylo na místě zdokumentovat například pomocí kopaných sond doposud neznámé a nezaznamenané vedení těchto sítí, přičemž by se zjistily chyby v uložení, jak tomu bylo právě ve Střešovicích.

Jako prevence vzniku epidemie podobné té dejvické by mohl sloužit dokument Závěrečná zpráva řízené komise Pražské vodohospodářské společnosti k prověření kvalitativní havárie v Dejvicích, pásmo 428 gravitace Andělky, květen 2015, vypracovaný již zmiňovanou speciální pracovní skupinou odborníků. Mimo příčinu kontaminace a její simulaci jsou v dokumentu vypsána nápravná opatření, mezi která patří hlavně systematická kontrola neověřených průběhů kanalizačních řadů, souběhu s vodovodem a podezřelých křížení kanalizace a vodovodu; prověření koncových částí vodovodů a zavedení rychlejších metod detekce mikrobiologického znečištění [25].



6.2 Případová studie : Popis stavu čistíren odpadních vod ze zdravotnických zařízení 1. kategorie v Praze

Z české legislativy a normy se můžeme dozvědět o tom, jakým způsobem nakládat s OV ze ZZ a jak by měly přibližně vypadat čistírny těch, které disponují infekčními odděleními. Z normy a několika málo zdrojů jsme pak odkázáni na jiné normy nebo konkrétní stupně čištění a dezinfekce vody takovéto jakosti. Informace o již fungujících ČOV v konkrétních nemocnicích jsou však v literatuře nebo na internetu téměř nedohledatelné.

Zkontaktoval jsem tedy vedení několika pražských nemocnic, které nakládají s IOV. Zpětnou vazbu jsem dostal pouze od dvou z nich. V ZZ č.3 (identifikace v příloze č.4) mi byly zodpovězeny důležité otázky a v ZZ č.4 (identifikace v příloze č.4) dokonce proběhla i prohlídka čistírny. V obou zařízeních jsem se zajímal hlavně o limity vypouštěné předčištěné OV do VSS města Prahy a konkrétní technologie čištění. Z obou návštěv jsem zpracoval protokoly, které popisují nejdůležitější informace o čištění IOV v pražských nemocnicích.

6.2.1 Popis stavu čištění odpadních vod ze zdravotnického zařízení č.3

Setkání proběhlo dne 21.3.2015 v Hygienickém a epidemiologickém oddělení ZZ č.3 (zahrnutém v epidemiologickém šetření). Pana technika a vodohospodáře zdravotnického zařízení, jsem se ptal na otázky ohledně čištění.

Odpadní vody z tohoto zařízení odvádí infekční a neinfekční stoka. Nejstarší kanalizační řady v areálu nemocnice pocházejí z 20.let minulého století, což je spojeno s častými technickými problémy, poruchami potrubí a netěsnostmi. Průtok z infekčních oddělení nemocnice je veden do ČOV z roku 1965 jednotnou kanalizací (tečou zde i dešťové průtoky). Tam je OV předčištěna a poté vypouštěna do VSS. Denně proteče čistírnou asi 400 m³ OV. Voda z neinfekčních oddělení je odváděna přímo do VSS bez předčištění a pokračuje na ÚČOV.

Na začátku čistírny jsou osazena dvě čerpadla. Vzhledem k tomu, že ČOV postrádá česle, se shrabky zachytávají na čerpadlech a jednou za čas je třeba je zdlouhavě čistit. Za čerpadly je voda zbavena největších nečistot v mechanickém stupni čištění pomocí lapáku písku a usazovací nádrže. Dále voda pokračuje do aktivační nádrže, kde probíhá biologický stupeň čištění, kterým je v tomto případě aktivace. Po ní se usazují nečistoty ve dvou dosazovacích nádržích, z nichž cirkuluje aktivovaný kal zpět do aktivačních nádrží. Vyčištěná voda pak natéká do podzemní jímky, kde probíhá dezinfekce v podobě chlorování (dávka je 3mg dezinfekčního činidla na 1 litr odpadní vody).

Primární kal z usazovací nádrže a přebytečný kal jsou sváděny do chlorovací jímky, kde jsou likvidovány mikroorganismy v kalu obsažené. Vydezinfikovaný kal je pak uložen v uskladňovacích nádržích (vyhňovací bez využití), z nichž jej pak odváží specializovaná firma a poté patřičně likviduje



(společně se shrabky). Kdysi byla dezinfekce řešena proháněním infekčního kalu párou, ale problémy se zápachem vedl k výběru jiné technologie.

Co se provozního hlediska týká, o čistírnu se starají 3-4 lidé. Střídají se na 12-hodinové denní směny. Večer pak funguje čistírna automaticky bez obsluhy. Tyto osoby se starají o veškeré fungování čistírny, hlavně o odebírání vzorků (infekční i neinfekční odtok, kalová voda), které putují do laboratoře na vyhodnocení. Kontroly chodí zhruba jednou za rok z orgánů hygieny nebo životního prostředí. Náklady na vyčištění jednoho m³ odpadní vody je asi 16-20 Kč bez stočného.

Pan vodohospodář hodnotí nemocniční OV jako čistší než je tomu u vod z domácností hlavně kvůli tomu, že se ve ZZ nešetří s vodou tak jako v domácnostech, a tak je znečištění více naředěné. Dále považuje čistírnu za předimenzovanou. Doba zdržení vody v chlorační jímce (při dezinfekci) je údajně někdy až dva dny, což má za příčinu vyprcháání dezinfekčního činidla a jeho následnou neúčinnost. Vzhledem k jednotné splaškové síti dotékají po deštích do čistírny větší průtoky a pak se voda nechloruje.

ZZ č.3 na odtoku vody z čistírny sleduje pouze hodnoty nerozpuštěných látek (NL), BSK₅ a zbytkové hodnoty chloru po dezinfekci. Tyto limity prů čistírenský proces zvládá dodržovat bez problému. V provozním řádu čistírny není o sledování konkrétních hodnot mikrobiologického znečištění žádná zmínka.

Z dokumentů, které mi byly poskytnuty, je zřejmé, že v ZZ č.3 dokáží celkem efektivně zlikvidovat bakterie různých druhů, s patogenními viry si však čistírna již neporadí. Technologie čištění infekčních vod je podle pana vodohospodáře v jeho spravovaném zařízení nedostačující. Po dejvické kontaminaci sám zkontaktoval příslušný orgán hygieny a ptal se na požadavky na sledování patogenních mikroorganismů, ale ani tam neměli jasno v dalším postupu. Sám by navrhoval doplnění čištění OV o ultrafiltraci nebo likvidaci patogenů UV zářením. Vedení nemocnice údajně nepovažuje čistírnu za potřebnou a v budoucnu nejspíš nebude investovat do nových technologií čištění.

Doporučení pro ZZ č.3 :

Pokud by se v budoucnu plánovala rekonstrukce ČIOV, bylo by vhodné předřadit před čerpadla na nátoku česle k zachycení hrubých nečistot. Dále by se určitě hodilo napojit dešťové průtoky na samostatnou kanalizaci, která by mohla vodu převádět do VSS nebo ji využít jinak. Čistírna by se tak nemusela vyrovnávat s nárazovými průtoky během dešťů a ani vynechávat dezinfekci. Vzhledem ke stáří kanalizačních potrubí v prostorách nemocnice by nebylo na škodu je vyměnit za nové.

Výhodná by se jevila i změna biologického čištění. Aktivace sice platí za tradiční metodu, ale dnes jsou již dostupné modernější a v čištění efektivnější SBR reaktory, SAFF reaktory nebo jiné.



ZZ č.3 využívá k dezinfekci činidlo na bázi chloru, které si vyžaduje dlouhou dobu zdržení a při jeho využití mohou vznikat vedlejší produkty. Doporučuji tedy využít šetrnější dezinfekci, například UV záření.

6.2.2 Popis stavu čištění odpadních vod ze zdravotnického zařízení č.4

Návštěva ČIOV v areálu ZZ č. 4 (taktéž zahrnutém v epidemiologickém šetření) proběhla dne 31.3.2016. Během prohlídky různých částí čistírny a technologií čištění jsem vedl s vedoucím vodního hospodářství nemocnice dialog o stejné problematice jako v předešlém případě.

Diskutované zařízení svádí svoji OV řady dvojího typu, infekčním a neinfekčním. Na infekční kanalizaci jsou napojeny tyto objekty: pavilon infekčních hepatitid, infekční část pavilonu TRN, pitevna, komplex laboratoří dětské části nemocnice a vymírající jímky kliniky nukleární medicíny. Celý systém je gravitační.

Infekční i neinfekční stoka jsou vedeny do nejnižšího místa areálu, kde protékají přes společnou česlovnu a za ní se rozdělují. Infekční voda pak teče skrze objekty čistírny ze 70.let minulého století a poté do VSS, zatímco neinfekční stoka míří do splaškové česlovnou kvůli odstranění hrubých nečistot a pak také přímo do kanalizace směřující k ÚČOV. Čistírnou proteče zhruba 100 m³ OV denně.

Infekční OV po průtoku česlovnou míří do usazovacích nádrží, kde je zbavena většiny hrubých nečistot a nerozpuštěných látek, aby byla poté pod kopcem tryskami rozstříkávána ve vrchní části skrápěného otáčejícího se biofiltru s kamennou a plastovou náplní (obrázek 6.1). Tím voda protéká směrem dolů a je zbavována znečištění, kterým se živí mikroorganismy vypěstované v biofiltru. Následuje další usazování nečistot tentokrát v dosazovacích nádržích, za kterými pak voda proudí přes dávkovací zařízení dezinfekce (přidává se 0,8 – 1,0 mg/l chlornanu sodného) přímo do podzemní jímky, z níž je po 24 hodinách odváděna pryč směrem do VSS.



Obr.6.1 - Skrápěný biofiltr ze ZZ č.4



Za dosazovacími nádržemi stojí budova, ve které se dezinfikuje primární a přebytečný kal (využívá se recirkulace části vyčištěné OV i kalu vedených zpět do biofiltru). Během dezinfekce čerpadlo prohání kal skrze páru o teplotě 90°C (obrázek 6.2), načež je odveden do podzemní kalové jímky před čistírnou. Ta je pak vybírána jednou za rok specializovanou firmou zajišťující likvidaci kalu. Shrabky a jiný kontaminovaný materiál je spalován ve spalovně za čistírnou.



Obr.6.2 – Dezinfekce kalu vodní parou

ZZ č.4 se při vypouštění předčištěných infekčních odpadních vod řídí kanalizačním řádem hlavního města Prahy. V revizní šachtě za jímku zdržení na odtoku za čistírnou se odebírají vzorky pro stanovení BSK₅, CHSK a bakteriologický rozbor (1 X za 3 měsíce dle provozního řádu). Sleduje se také zbytkové množství chloru v jímce zdržení. O provoz čistírny se starají stálí čtyři zaměstnanci. Směny se kdysi dělily na denní a noční. Dnes už zůstaly pouze denní.

Pan vedoucí si byl vědom vypouštění choroboplodných zárodků do VSS a tedy nedostatečného čištění OV, ale vzhledem k tomu, že ostatní ČOV ze ZZ 1. kategorie se potýkají se stejným problémem, neshledával jej podstatným. V blízké době neočekává žádná opatření ani postupy z vyšších orgánů k vyřešení problému. V ZZ č.4 již sice probíhají přípravy k rekonstrukci čistírny v plném proudu, ale ty nejspíš nebudou mít na lepší likvidaci patogenů vliv.

Doporučení pro ZZ č.4 :

V tomto zařízení se sice již plánuje rekonstrukce, ale její projektová dokumentace není veřejně přístupná, a tak si můžeme jen domýšlet, které problémy se projektanti snažili vyřešit. Rozhodně by mezi ně měly patřit následující:

Celkové zázemí čistírny je již staré a již od pohledu je jasné, že by potřebovalo vyměnit. Při té příležitosti by bylo vhodné nahradit starý skrápěný



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

biofiltr modernější metodou biologického čištění, jako je třeba SAFF či MBR reaktor, což by určitě vylepšilo kvalitu vyčištěné OV na odtoku.

K dezinfekci se zde používá chlornan sodný, který si vyžaduje dlouhou dobu zdržení a při jeho použití vznikají nebezpečné vedlejší produkty. Vedení nemocnice by mělo uvažovat o zavedení vhodnější dezinfekce jako je třeba oxid chloričitý, ozón nebo UV záření.



7 ZÁVĚR

Patogenní mikroorganismy (jako bakterie, viry, prvoci, ...) jsou nebezpečné pro lidské zdraví i životní prostředí. Šířit se mohou skrze jídlo, vodu, kapénkovou infekci, vzduch či bezprostřední kontakt. S největší koncentrací choroboplodných zárodků ve vodě se setkáme ve zdravotnických zařízeních 1. kategorie. Ta disponují objekty, které přicházejí ve velké míře do styku s infekčními pacienty, materiály atd. Odpadní vody z těchto objektů musí být před vypuštěním do veřejné stokové sítě nebo recipientu patřičně vyčištěny a vydezinfikovány, a proto jsou pro ně vybudovány čistírny infekčních odpadních vod.

Takovéto čistírny jsou u nás většinou napojeny na VSS, a tak se snaží čistit své OV tak, aby byly na odtoku v souladu s kanalizačními řády obcí. Problém však nastává v tom, že zákony ani kanalizační řády obcí nestanoví až na jednu výjimku (*Salmonella sp.*) žádné limity mikrobiologického znečištění pro vody natékající z infekčních zdravotnických zařízení do VSS. Nezávazná norma ČSN 75 6406, věnující se odvádění a čištění takových OV, je sice platná, ale taktéž nestanovuje žádné číselné limity přípustného mikrobiologického znečištění, avšak nařizuje ZZ 1.kategorie zcela zlikvidovat všechny choroboplodné zárodky v OV, čehož však naše čistírny momentálně nejsou schopny dosáhnout.

Proto by bylo na místě zavést pravidelné odběry vzorků pro detekci alespoň bakteriálních indikátorů fekálního znečištění (*E.coli*, Koliformní bakterie, enterokoky,...), patogenních bakterií (*Salmonely*, *Campylobaktery*,...) či modelových mikroorganismů a porovnávat je třeba s limity již používanými pro povrchové vody danými předpisem č.401/2015 Sb. V budoucnu za přítomnosti lepší a dostupnější techniky detekce mikroorganismů by bylo vhodné sledovat i odolnější viry, které mají větší vypovídající hodnotu.

Zmiňovaná norma je již 20 let stará, a proto již potřebuje zaktualizovat. Kromě limitů mikrobiologického znečištění v ní chybí podrobnější popis patogenů vyskytujících se v českých infekčních OV, přesnější rozdělení zdravotnických zařízení, popis vlivu antibiotik a jiných léčiv, konkrétnější rozbor metod čištění a dezinfekce apod. Česká legislativa by pak měla některé důležité body revidované normy zezávacnit.

ČIOV u nás využívají k biologickému čištění OV tradiční, avšak dnes již zastaralé technologie typu aktivace či skrápěných biofiltrů, přičemž stav zázemí a konstrukcí čistíren je mnohdy alarmující. V budoucnu při rekonstrukcích by bylo vhodné čistírenské technologie nahradit multifunkčními reaktory (SBR, SAFF, MBR, FBR, ...), které mohou šetřit prostor a finance za daleko větší efektivity čištění.

Vítány by měly být i nové metody dezinfekce vyčištěné OV. Dezinfekční činidla na bázi chloru (u nás často využívána) by měla být vzhledem k tvorbě nebezpečných vedlejších produktů typu trihalogenmethanů postupně nahrazována jinými (dezinfekce ozónem, UV zářením). Ta bývají sice někdy



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

nákladnější, ale společně se zdravotní nezávadností vykazují i velmi dobrý dezinfekční efekt.

Provozovatelé veřejných i nemocničních kanalizačních sítí by pak měli dbát na včasnou detekci netěsností na svých potrubích a zařídit včasnou výměnu příliš starých řadů novými z kvalitních materiálů. Dále by bylo na místě speciální technikou detekovat a zaznamenat inženýrské sítě, jejichž dokumentace chybí v databázích vodárenských a kanalizačních podniků.

Abychom tedy v budoucnu předešli dalším epidemiím způsobeným infekční vodou, musíme využívat lepší a modernější technologie čistírenství a dezinfekce, podrobněji sledovat patogeny v odpadní vodě a věnovat dostatečnou pozornost a péči vodohospodářským inženýrským sítím.



Použití zdroje

- [1] Straif-Bourgeois S, Retard R and Kretzchmar M (2014) *Infectious Disease Epidemiology. Handbook of Epidemiology*, 2nd edition, Springer Science+Business Media New York
- [2] Mphande F.A. (2016) *Infectious Disease. Diseases and Rural Livelihood in Developing Countries*-Chapter 3. Springer Science+Business Media Singapore
- [3] Kožíšek F, Kos J, Pumann P (2007) *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*, SZÚ a Krajská hygienická stanice Středočeského kraje, Praha
- [4] Kožíšek F (2016). *Dejvická havárie a epidemie nebyla náhoda* [online]. Server vodnihospodarstvi.cz. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/dejvicka-havarie-a-epidemie-nebyla-nahoda/>
- [5] ČSN 75 6406 (1996). *Odvádění a čištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení*. ICS: 13.060.30.. Praha
- [6] Chartier Y, Emmanuel J, Pieper U a kol.(2014). *Safe management of wastes from health-care activities* [online]. 2nd edition. Ženeva: WHO. ISBN 978 92 4 154856 4 [vid.19.5.2016]. Dostupné z: http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/wastemanag/en/
- [7] Amit Ch (rok neznámý). *Hospital wastewater management* [online prezentace]. Jaldhara Technologies India. Dostupné z: <http://documents.mx/documents/hospital-wastewater-management.html>
- [8] *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Health Care Facilities* (2007). International Finance Corporation [online]. World Bank Group. Dostupné z: http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/ifc+sustainability/our+approach/risk+management/ehsguidelines
- [9] Wanner J, Benáková A, Macek L(2014). *Poznatky ze semináře Dezinfekce vyčištěných odpadních vod* [online]. Server CzWA.cz Dostupné z: http://www.czwa.cz/index.php?p=zpravy_z_CzWA
- [10] 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. Vol. 5, Issue 1, November 2012. ISSN: 2231-1963
- [11] Mesdaghinia AR, Naddafi K, Nabizadeh R a kol. (2009). *Wastewater characteristics and appropriate method for wastewater management in the hospitals*. In: Iranian J Publ Health, vol. 38, No.1.Iran
- [12] Baudišová D, Banáková A (2011). *Detekce patogenních bakterií v odpadních vodách* [online]. Server VTEI.cz (Vodohospodářské technicko-ekonomické informace). Ročník 53. Číslo 5/11. Dostupné z: http://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2011_5.pdf



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

- [13] *Sequential Batch Reactor (SBR)* [online]. thewatertreatments.cz. Dostupné z: <http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/sequential-batch-reactor-sbr/>
- [14] Cross J, Fox J (2014). *Fixed Films* [online]. Encyclopedia of chemical engineering equipment. Dostupné z: <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Reactors/FixedFilm/FixedFilm.html>
- [15] *Membránové reaktory* [online]. CZEMP - Česká membránová platforma, z. s. 2010-2016. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-reaktory>
- [16] *MBR Membrane Bioreactor Bio reactor* [online]. Alibaba.com. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/MBR-Membrane-Bioreactor-Bio-reactor_60023084659.html
- [17] Chen L, Zhou H, Yu B a kol.(2014). Comparison study on hospital wastewater disinfection technology. In: Wen-Pei Sung and Ran Chen. *Biotechnology, Chemical and Materials Engineering III*. Advanced Materials Research Vols. 884-885. Trans Tech Publications. ISBN: 978-3-03785-995-7.
- [18] Svoboda F (2011). *Desinfekce a využití chlordioxidu při úpravě bazénové vody* [online]. Server Asociace pracovníků v regeneraci (aprcz.cz). Dostupné z: <http://www.aprcz.cz/category/osveta/technologie/>
- [19] Neznámý autor (2011). *UV light will replace chlorine to clean water*. Madisoncourier.com [online]. The Madison Courier. Dostupné z: <http://madisoncourier.com/Content/News/News/Article/UV-light-will-replace-chlorine-to-clean-water/178/961/63235>
- [20] *Termická dezinfekce* (2012) [online]. Euroclean. Dostupné z: <http://euroclean.cz/slovník/termicka-desinfekce/>
- [21] Jágrová Z (2015). *Epidemiologické šetření Hygienické stanice hlavního města Prahy*. Hygienická stanice hlavního města Prahy
- [22] Němcová L (rok neznámý). *Metody studia genové exprese* [online prezentace]. Ústav živočišné fyziologie a genetiky AV ČR. Dostupné z: <http://www.iapg.cas.cz/sekce&id=5>
- [23] Bielníková H (2009). *Elektronová mikroskopie ve virologii* [online prezentace]. Parazitologický ústav: Biologické centrum AV ČR. Dostupné z: <http://www.paru.cas.cz/lem/cs/elektonova%20mikroskopie%20ve%20virologii.pdf>
- [24] Pivoňková E (2013). *Norovirus, norovirová infekce – příznaky, projevy, symptomy*. In: příznaky-projevy.cz [online]. Projekt Příznaky a projevy. Dostupné z: <http://www.priznaky-projevy.cz/infekcni-nemoci/norovirus-norovirova-infekce-priznaky-projevy-symptomy>



České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

[25] Žejdlík P (2015). *Závěrečná zpráva zřízené komise Pražské vodohospodářské společnosti k prověření kvalitativní havárie v Dejvicích, pásma 428 Gravitace Andělky, květen 2015.* [online prezentace] Pražská vodohospodářská společnost, a.s.. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/5308213/>



Seznam obrázků

Obr. 4.1 : Postup technologie aktivace	27
Obr. 4.2 : Popis fází cyklu SBR reaktoru	29
Obr. 4.3 : Popis nádrže s věžemi nosičů biofilmu AccuFAS.....	31
Obr. 4.4 : 3D model membránového bio-reaktoru	33
Obr. 5.1 : Dávkovací zařízení chlornanu sodného.....	36
Obr. 5.2 : UV lampy na odtoku z madisonské ČOV	38
Obr. 6.1 : Skrápěný biofiltr ze ZZ č.4	45
Obr. 6.2 : Dezinfekce kalu vodní parou	46
Obr. P1.1 : Zásobované pásmo 428 s vyznačeným vstupem řadu	56
Obr. P1.2 : Prasklina na vodovodním řadu ve Střešovicích	58

Seznam tabulek

Tab.1.1 : Patogeny šířené vodou a jejich význam	12
Tab.2.1 : Porovnání odpadní vody ze ZZ a z domácností	14
Tab.3.1 : Jakost vypouštěných vod ze zdravotnických zařízení dle IFC.....	23



Seznam zkratk:

BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku
ČIOV	Čistírna infekčních odpadních vod
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČSN	Česká státní norma
E.Coli	Escherichia coli
EM	Elektronová mikroskopie
FBR	Fluidized bed reactor (Reaktor s fluidizovaným ložem)
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
IFC	International finance corporation(Mezinárodní finanční korporace)
IOV	Infekční odpadní voda
KTJ	Kolonie tvořící jednotky
MBR	Memránový bio-reaktor
MLSS	Mixed liquor suspended solids (Koncentrace kalu)
MPN	Most probable number (nejpravděpodobnější počet)
N	Dusík
NL	Nerozpuštěné látky
OV	Odpadní voda
P	Fosfor
PCR	Polymerázová řetězová reakce
PVK	Pražské vodovody a kanalizace
SAFF	Submerged aeration fixed film (Reaktor s ponořenou upevněnou biomasou)
SBR	Sequential batch reactor (Reaktor s přerušovaným provozem)
THM	Trihalogenmethany
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
UV	Ultraviolet (ultrafialový)
ÚVN	Ústřední vojenská nemocnice
VSS	Veřejná stoková síť
WHO	World health organization (Světová zdravotnická organizace)
ZZ	Zdravotnické zařízení