

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Diplomová práce

Návrh inovace technologie pro čištění odpadních vod

Autor: Bc. et Bc. Klára Vydrová

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Odborný konzultant: Ing. Pavel Král, PhD.

© 2022 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Klára Vydrová

Procesní inženýrství

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Návrh inovace technologie pro čištění odpadních vod

Název anglicky

Design of technology innovation for wastewater treatment

Cíle práce

Cíle diplomové práce vycházejí z literární rešerše současné problematiky provozů čistíren odpadních vod. Provede se literární rešerše na vlastnosti odpadních vod a technických zařízení pro zpracování znečištěných vod. Metodický postup práce bude vycházet z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců, charakteristiky legislativy v dané oblasti odpadového hospodářství, popisu a návrhu technologie a techniky vhodné ke zpracování odpadních vod.

Praktická část práce zahrnuje analýzu technických zařízení pro zpracování odpadních vod. Popis stávající technologie provozu čistírny odpadních vod a následný návrh inovace s ekonomickým posouzením. Studentka vypracuje posouzení návrhu s ohledem na fyzikálně-chemické vlastnosti vzorků odpadních vod.

Metodika

Diplomová práce se bude skládat z těchto částí:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Výchozí podmínky řešení
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Diskuse a závěry
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

ČOV, odpadní vody, BSK, CHSK

Doporučené zdroje informací

- ČSN EN 12255-1 – Čistírny odpadních vod – Část 1: Všeobecné konstrukční zásady. 2003, 24 str.
ČSN EN 12255-3 – Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění. 2002, 12 str.
ČSN EN 12255-4 – Čistírny odpadních vod – Část 4: Primární čištění. 2003, 12 str.
ČSN EN 12255-5 – Čistírny odpadních vod – Část 5: Čištění odpadních vod v biologických nádržích. 2000, 12 str.
ČSN EN 12255-6 – Čistírny odpadních vod – Část 6: Aktivace. 2003, 16 str.
ČSN EN 12255-7 – Čistírny odpadních vod – Část 7: Biofilmové reaktory. 2003, 16 str.
ČSN EN 12255-8 – Čistírny odpadních vod – Část 8: Kalové hospodářství. 2002, 20 str.
ČSN 75 6401 (756401) – Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel větší než 500. 2014, 41 str.
ČSN 75 6402 (756402) – Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. 1998, 28 str.

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2021

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 02. 07. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh inovace technologie pro čištění odpadních vod vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma, že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31.3.2022

Bc. et Bc. Klára Vydrová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D. za vedení této diplomové práce. Velké díky rovněž patří panu Ing. Pavlu Královi, Ph.D. z Královéhradecké provozní a.s. za poskytnuté odborné vedení a rady při vypracování této diplomové práce. Ráda bych také poděkovala Ondřeji Burianovi a své rodině, že při mně stáli po celou dobu tohoto studia.

Návrh inovace technologie pro čištění odpadních vod

Abstrakt: Předmětem této diplomové práce je pojednání o opětovném využívání odpadní vody. Cílem je návrh technologické linky pro konkrétní čistírnu odpadních vod pro dočištění vody k jejímu užití na zálivku městské zeleně. Tato práce popisuje důležité právní předpisy, jako je nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody a zákon č. 254/2001 Sb., o vodách. Dále také popisuje jednotlivé možnosti technologického zajištění dočištění odpadních vod k jejímu dalšímu využití. Tyto technologie porovnává z hlediska kvality čištěné vody, ale i ekonomického. Uvádí také příklady, kde je opětovné využívání odpadní vody již uvedeno do praxe. Zmiňuje rovněž výhody a nevýhody, které s sebou recyklace odpadních vod přináší. V druhé části této práce je popsána konkrétní čistírna odpadních vod. Uvedeno je také měření kvality vody, která by byla určena k následnému dočištění a opětovnému využití a na základě toho je navržena technologická linka k dočištění odpadní vody, včetně jejího ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova: čistírna odpadních vod, odpadní vody, opětovné využití odpadních vod, recyklace odpadních vod, BSK, CHSK

Design of technology innovation for wastewater treatment

Summary: The subject of this diploma thesis is a treatise of wastewater reuse. The aim is to design a technological line for a specific wastewater treatment plant for the final treatment of water for its use for watering urban green vegetation. This thesis describes important legal regulations, such as Regulation 2020/741 of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse and Act No. 254/2001 Coll., On Waters. It also describes possibilities of technological arranging of the final wastewater treatment for its further use. Those technologies are compared from the aspect of the quality of treated water, but also economically. It also gives examples where wastewater reuse has already been put into practice. It also mentions the advantages and disadvantages of wastewater recycling. The second part of this thesis describes specific wastewater treatment plant. Measurement of water quality, which would be intended for further final treatment and reuse, is also presented, and based on this, a technological line for wastewater final treatment is designed, including its economic evaluation.

Keywords: wastewater treatment plant, wastewater, wastewater reuse, wastewater recycling, BOD, COD

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a metodika	3
2.1.	Cíl práce	3
2.2.	Metodika	3
3	Přehled poznatků z literatury	5
3.1.	Právní rámec recyklace odpadních vod	5
3.1.1.	Plán na ochranu vodních zdrojů Evropy	5
3.1.2.	Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství	5
3.1.3.	Nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741	6
3.1.4.	Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách	7
3.1.5.	Manuál Světové zdravotnické organizace	8
3.1.6.	Definice pojmů	8
3.2.	Technická a technologická řešení	9
3.2.1.	Technologie	9
3.2.2.	Příklady	17
3.3.	Výhody a nevýhody opětovného využívání odpadní vody	24
3.3.1.	Vliv na půdu	24
3.3.2.	Vliv na vodní zdroje	26
3.3.3.	Vliv na růst rostlin	27
3.3.4.	Mikrobiální vliv na půdu	27
3.3.5.	Dopady na veřejné zdraví	28
3.3.6.	Ekonomické dopady	29
3.3.7.	Kompromis mezi výhodami a nevýhodami	29
4	Výchozí podmínky řešení	31
4.1.	Popis čistírny odpadních vod	31

4.2. Místo pro odběr vzorků.....	36
5 Návrh řešení a dosažené výsledky.....	37
5.1. Naměřené hodnoty.....	37
5.2. Návrh řešení.....	40
5.2.1. Varianta PF – UV – nádrž.....	42
5.3. Ekonomické zhodnocení řešení.....	45
6 Diskuse a závěry.....	47
7 Seznam literatury.....	51
8 Přílohy.....	56

Seznam obrázků

Obrázek 1 Intenzita sucha v ČR 9. srpna 2015 [2].....	1
Obrázek 2 Příklad kombinace technologií pro čištění vody pro opětovné použití [9] - upraveno	10
Obrázek 3 Schématické zobrazení pomalé pískové filtrace [10] – přeloženo.....	11
Obrázek 4 Diagramy typů provedení membránových uspořádání [13] – přeloženo.....	13
Obrázek 5 UV dezinfekce [17].....	15
Obrázek 6 Tok vody z ČOV v Barceloně [21].....	17
Obrázek 7 Plán olympijského parku v Londýně [26].....	19
Obrázek 8 Kontejnerová poloprovozní jednotka na ÚČOV [28].....	21
Obrázek 9 Erko – pivo z recyklované odpadní vody [30].....	22
Obrázek 10 Rozložení jednotlivých objektů ČOV [34].....	31
Obrázek 11 Česle.....	32
Obrázek 12 Aktivační nádrž.....	33

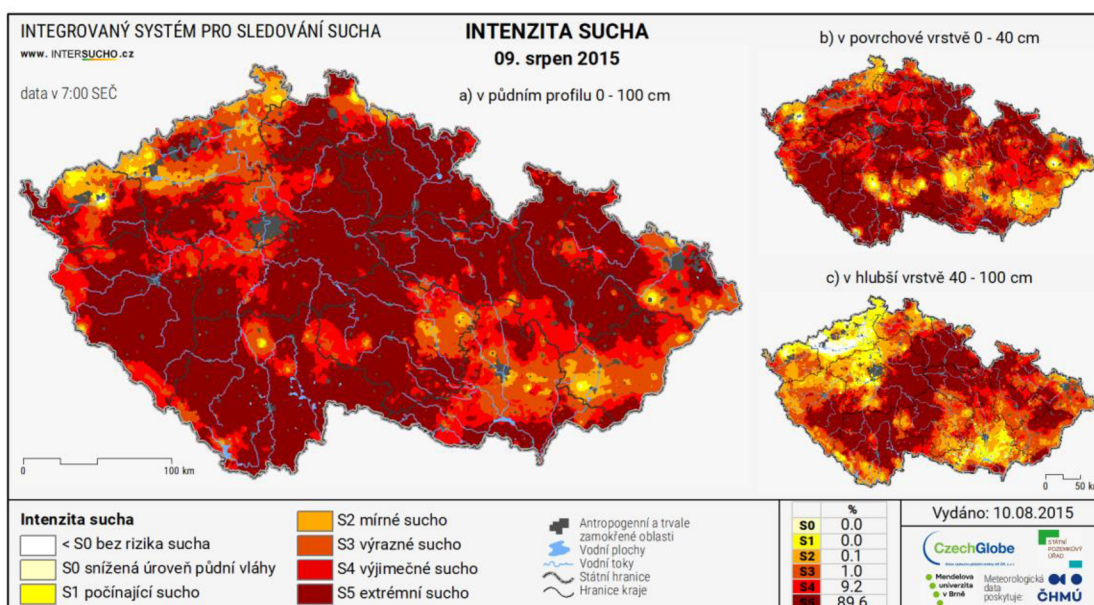
Obrázek 13 Pohled na dosazovací nádrže s vyhřívacími nádržemi na anaerobní zpracování kalu v pozadí	34
Obrázek 14 Postdenitrifikační filtr	35
Obrázek 15 Označení místa odběru vzorků [34]	36
Obrázek 16 Místo odběru vzorků pro laboratorní vyhodnocování	36
Obrázek 17 Návrh umístění recyklační jednotky (červeně) [34]	40
Obrázek 18 Schéma návrhu jednotky pro dočištění odpadní vody	41
Obrázek 19 Pískový filtr Aquacon P-300 [37]	42
Obrázek 20 UV lampa VIQUA VH-410 [38]	43
Obrázek 21 Retenční nádrž samonosná kruhová o objemu 5 m ³ [39]	44
Obrázek 22 Fieldmann FVC 4001-EK [40]	44
Obrázek 23 Zobrazení příjezdové cesty pro zalévací vozy (červeně) [34]	45

Seznam tabulek

Tabulka 1 Požadavky na kvalitu recyklované odpadní vody pro zavlažování v zemědělství [4]	6
Tabulka 2 Třídy kvality recyklované odpadní vody a povolené zemědělské využití a metody zavlažování [4]	7
Tabulka 3 Naměřené hodnoty před postdenitrifikačním filtrem	38
Tabulka 4 Hodnoty naměřené z vody z blízké řeky	39
Tabulka 5 Parametry pískového filtru Aquacon P-300 [37].....	42
Tabulka 6 Parametry UV lampy VIQUA VH-410 [38]	43
Tabulka 5 Pořizovací náklady na výstavbu jednotky [40; 37; 38; 39; 41]	45

1 Úvod

Člověk spotřebovává vodu téměř při veškeré jeho činnosti. S rostoucí světovou populací a spolu s ní rostoucí potřebou vody začíná docházet v některých oblastech k nedostatku vody. Tomuto neprospívá ani změna klimatu, a tak začíná být tato problematika tématem i v zemích Evropy, a i na území České republiky. Zároveň stále roste odběr vody, způsobený zejména potřebou zavlažování v zemědělství, ale také v neustále se rozvíjející oblasti průmyslu. Od roku 2014 se začíná nedostatek vody projevovat i na území České republiky (viz obrázek 1) [1].



Obrázek 1 Intenzita sucha v ČR 9. srpna 2015 [2]

Z tohoto důvodu je třeba se zabývat otázkou sucha a s ní souvisejícími alternativními zdroji vody. Jedním takovým je recyklace neboli opětovné použití odpadní vody. Při něm je využívána odpadní voda, která je na základě jejího dalšího využití čištěna na potřebnou kvalitu. Krom nedostatku vody existují i další důvody pro opětovné využívání odpadní vody, a to ekonomické důvody, snaha o cirkulární ekonomiku, ale i využití živin obsažených v odpadní vodě pro zemědělské účely [1].

Nedostatkem vody je dnes postižená velká část Evropy, a je tak ohrožen vývoj a udržitelnost v živočišné i rostlinné produkci. Z tohoto důvodu bylo v roce 2020 vydáno Nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné

využívání vody, které stanovuje požadavky na kvalitu recyklované vody s ohledem na různé účely jejího využití. V České republice je legislativní rámec v tomto ohledu zatím celkem nekompromisní. Vodní zákon se sice zmiňuje o možnosti opětovného využívání vody, zároveň ale stanovuje povinnost odpadní vodu vypouštět pouze do podzemní či povrchové vody. Zároveň jako vodní zdroj označuje pouze podzemní a povrchovou vodu [1; 3; 4].

Tato práce shrnuje jednotlivé právní předpisy týkající se opětovného použití odpadní vody. Dále se zabývá vybranými technologiemi používanými při čištění odpadní vody pro opětovné využití a příklady z praxe, kde je recyklovaná voda již využívána. Zabývá se také dopady, které využívání odpadní vody má, a to jak kladů, tak záporů.

V druhé části této práce jsou uvedeny výsledky laboratorního měření na konkrétní čistírně odpadních vod, jejichž smyslem bylo na základě studia odborné literatury navrhnout jednotku pro dočištění odpadní vody tak, aby bylo možné vodu následně použít pro zálivku městské zeleně.

2 Cíl práce a metodika

2.1. Cíl práce

Cílem práce je návrh inovace technologie pro čištění odpadních vod, konkrétně návrh technologie pro opětovné využití odpadní vody k zalévání městské zeleně. Dílčím cílem této práce je na základě studia odborné literatury uvedení do problematiky zabývající se opětovným využitím odpadní vody. Probrány budou právní úpravy zabývající se touto problematikou. Následně budou rozebrány technologie používané v tomto odvětví. Uvedeny budou rovněž příklady z praxe. V neposlední řadě pak budou probrány výhody a nevýhody této metody zpracování odpadní vody a uvedeny budou možnosti, jak eliminovat nevýhody a zároveň využít výhod.

V druhé, praktické, části bude popsána konkrétní čistírna odpadních vod a místo odběru vzorků vody. Následně bude na základě laboratorní analýzy daných vzorků proveden návrh na jednotku pro dočištění odpadní vody k opětovnému využití tak, aby bylo možné vodu využít k zálivce blízkého města. Bude rovněž provedeno ekonomické zhodnocení takovéto inovace na čistírně.

2.2. Metodika

Na základě literární rešerše pojednávající o problematice čištění odpadních vod a konkrétně opětovného využití odpadních vod bude proveden popis:

- obecného úvodu do problematiky týkající se opětovného využití odpadních vod,
- právních úprav zabývajících se touto problematikou,
- jednotlivých technologií využívajících se k dočištění odpadní vody,
- příkladů z praxe, kde je recyklace odpadních vod již využívána,
- rozebrání výhod a nevýhod využití odpadních vod, a to včetně vlivů na životní prostředí, veřejné zdraví a ekonomických dopadů.

V druhé části budou posouzeny fyzikálně-chemické vlastnosti vzorků odpadní vody. Posuzovány budou ty vlastnosti, které jsou z hlediska opětovného využití odpadní vody důležité. Hodnoceny budou tato kritéria:

- Biochemická spotřeba kyslíku,
- Chemická spotřeba kyslíku,
- Nerozpuštěné látky,
- Zákaly,
- Koliformní bakterie,
- Escherichia coli,
- Obsah dusičnanového dusíku,
- Celkový dusík,
- Celkový fosfor,
- UV absorbance.

Tyto hodnoty budou porovnány s kritérii danými právními úpravami pro opětovné využití. Na základě tohoto porovnání bude navržena jednotka pro dočištění odpadní vody, aby bylo možné je použít na závlivku městské zeleně. Provedeno bude rovněž ekonomické zhodnocení takovéto inovace na čistírně odpadních vod.

3 Přehled poznatků z literatury

3.1. Právní rámec recyklace odpadních vod

3.1.1. Plán na ochranu vodních zdrojů Evropy

Tento dokument byl představen Evropskou komisí dne 15. listopadu 2012 a jeho cílem bylo do roku 2015 zajistit kvalitu a udržitelnost vodních zdrojů Evropy. K dosažení toho cíle navrhuje tři strategie. První z nich je snaha o zajištění lepšího způsobu při uplatňování stávajících právní předpisů a politik týkajících se vodních zdrojů. Další strategií je, aby osoby mající vliv na prosazování jiných politik, dbaly při jejich prosazování na cíle Evropské unie v oblasti vodní politiky. Třetí, a tedy poslední, strategií je zvýšení hospodaření s vodou. Součástí tohoto bodu je s ohledem na téma této práce důležitý odstavec, v němž stojí [5]:

„Komise zváží vytvoření regulačního nástroje, který by nastavil celoevropské standardy pro opětovné využití vody, a tím odstranil překážky bránící širšímu využití tohoto alternativního zásobování vodou. To by pomohlo zmírnit nedostatek vody a zmenšit zranitelnost.“ [5]

Zároveň v tomto dokumentu stojí, že do roku 2015 bude předložen návrh, který zváží možnosti opětovného využití vody včetně společných norem tak, aby byla zajištěna vysoká úroveň ochrany veřejného zdraví [5].

3.1.2. Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství

V roce 2015 vydala Evropská komise akční plán pro oběhové hospodářství. Důvodem snahy k přechodu k oběhovému hospodářství je zachování hodnoty zdrojů a materiálů v oběhu a minimalizace vzniku odpadu. Takovéto počínání vytváří udržitelné, konkurenceschopné a environmentálně nezatěžující prostředí. V tomto akčním plánu je mimo jiné také řešena problematika nedostatku vody na území některých států Evropské unie. Komise se tak i v tomto dokumentu zavazuje, že učiní potřebná opatření a vytvoří právní předpisy, které budou upravovat oblast opětovného využívání odpadní vody a minimálních požadavků na její kvalitu [6].

3.1.3. Nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741

Na výše uvedené dva dokumenty navazuje Nařízení Evropského parlamentu a Rady z roku 2020 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody. Toto nařízení se použije od 26. června 2024. Umožňuje členským státům městskou odpadní vodu opětovně využívat. Vzhledem k tomu, že takto využívaná voda má sloužit k zavlažování v zemědělství, stanovuje toto nařízení minimální požadavky na kvalitu ošetřené odpadní vody do jednotlivých kategorií dle jejich užití. Členský stát se může rozhodnout, že opětovné využívání odpadní vody v určitých oblastech povodí není vhodné, a to s ohledem na „*zeměpisné a klimatické podmínky oblasti nebo jejích částí; vlivy na jiné vodní zdroje a jejich stav, včetně kvantitativního stavu podzemních vodních útvarů, ... vlivy na útvary povrchových vod, do nichž jsou vypouštěny vyčištěné městské odpadní vody, a stav těchto útvarů; náklady recyklované odpadní vody a dalších vodních zdrojů z hlediska životního prostředí a přírodních zdrojů*“ [4].

Provozovatel zařízení pro opětovné využití vody musí zajistit, aby takto využívaná voda splňovala alespoň minimální požadavky na kvalitu vody (viz tabulka 1). Tabulka rozdělení recyklované vody do jednotlivých kategorií je uvedena jako tabulka 2.

Tabulka 1 Požadavky na kvalitu recyklované odpadní vody pro zavlažování v zemědělství [4]

Třída kvality recyklované odpadní vody	Orientační technologický cíl	Požadavky na kvalitu				
		E. coli (číslo/100 ml)	BSK5 (mg/l)	NL (mg/l)	Zákal (NTU)	Jiné
A	Sekundární čištění, filtrace a dezinfekce	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 KTJ/l v případě rizika aerosolizace
B	Sekundární čištění a dezinfekce	≤ 100	Podle směrnice 91/271/E HS	Podle směrnice 91/271/E HS	–	
C	Sekundární čištění a dezinfekce	≤ 1 000			–	Střevní paraziti (vajíčka střevních parazitů): ≤ 1 vajíčko/l pro zavlažování pastvin nebo pícein
D	Sekundární čištění a dezinfekce	≤ 10 000	(příloha I, tabulka 1)	(příloha I, tabulka 1)	–	

Tabulka 2 Třídy kvality recyklované odpadní vody a povolené zemědělské využití a metody zavlažování [4]

Minimální třída kvality recyklované odpadní vody	Kategorie plodin	Metoda zavlažování
A	Všechny potravinářské plodiny konzumované za syrova, jejichž jedlá část je v přímém kontaktu s recyklovanou odpadní vodou, a kořenové plodiny konzumované za syrova	Všechny metody zavlažování
B	Potravinářské plodiny konzumované za syrova, jejichž jedlá část roste nad zemí a není v přímém kontaktu s recyklovanou odpadní vodou, zpracované potravinářské plodiny a nepotravinářské plodiny, včetně plodin určených ke krmení zvířat na produkci mléka a masa	Všechny metody zavlažování
C	Potravinářské plodiny konzumované za syrova, jejichž jedlá část roste nad zemí a není v přímém kontaktu s recyklovanou odpadní vodou, zpracované potravinářské plodiny a nepotravinářské plodiny, včetně plodin určených ke krmení zvířat na produkci mléka a masa	Kapkové zavlažování nebo jiná metoda zavlažování, při níž nedochází k přímému kontaktu s jedlou částí plodiny
D	Technické a energetické plodiny a plodiny z osiva	Všechny metody zavlažování

3.1.4. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách

Vodní zákon byl vydán jako právní předpis pro ochranu povrchových a podzemních vod. Problematice opětovného využívání vody se věnuje však pouze okrajově, a to v odstavci 11, kde stojí: „Při povolování vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních vodoprávní úřad a) přihlíží k potřebě dosažení nebo zachování dobrého stavu povrchových nebo podzemních vod a na vodu vázaných ekosystémů a b) posuzuje možnosti omezování znečištění u jeho zdroje i omezování emisí do životního prostředí jako celku a možnosti opětovného využívání odpadních vod“ [3].

V paragrafu 36 odstavci 5 ale stojí: „Zneškodňováním odpadních vod se pro účely tohoto zákona rozumí jejich vypouštění do vod povrchových nebo podzemních nebo akumulace s jejich následným odvozem na čistírnu odpadních vod podle odstavce 8. Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen zajišťovat jejich zneškodňování v souladu s podmínkami stanovenými v povolení k jejich vypouštění. Při stanovování těchto podmínek je vodoprávní úřad povinen přihlížet k nejlepším dostupným technologiím v oblasti zneškodňování odpadních vod, kterými se rozumí nejučinnější a nejpokročilejší stupeň vývoje použité technologie zneškodňování nebo čištění odpadních vod, vyvinuté v měřítku umožňujícím

její zavedení za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek a zároveň nejúčinnější pro ochranu vod...“ [3]. Tímto odstavcem je dáno, že s vyčištěnými odpadními vodami není možné nakládat jinak, než je vypouštět do vod povrchových nebo podzemních.

3.1.5. Manuál Světové zdravotnické organizace

V roce 2016 vydala Světová zdravotnická organizace Manuál pro bezpečné užívání a odstraňování odpadní vody, šedé vody a exkrementů neboli Plánování bezpečnosti sanitace. Tento dokument byl vydán jako nástroj, který má pomoci maximalizovat výhody využívání odpadní vody, a zároveň minimalizovat zdravotní rizika, které s sebou přináší. Zaměřuje se na identifikaci a řešení zdravotních rizik souvisejících se sanitací, dále na řízení investic na základě skutečných rizik a podporovat tak přínosy pro zdraví, a naopak minimalizovat nepříznivé dopady na zdraví. Také se zaměřuje na poskytování jistoty o bezpečnosti produktů a služeb souvisejících se sanitací. Tento manuál je určen jednak místním autoritám, dále provozovatelům zařízení nakládajících s odpadními vodami a také zemědělcům [7].

3.1.6. Definice pojmů

Dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741, respektive dle Vodního zákona:

- *Odpadními vodami jsou „vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních.“ [3]*
- *Komunální čistírnou odpadních vod je „zařízení pro čištění městských odpadních vod vybavené technologií pro likvidaci splašků.“ [3]*
- *„Zneškodňováním odpadních vod se ... rozumí jejich vypouštění do vod povrchových nebo podzemních nebo akumulace s jejich následným odvozem na čistírnu odpadních vod podle odstavce 8.“ [3]*

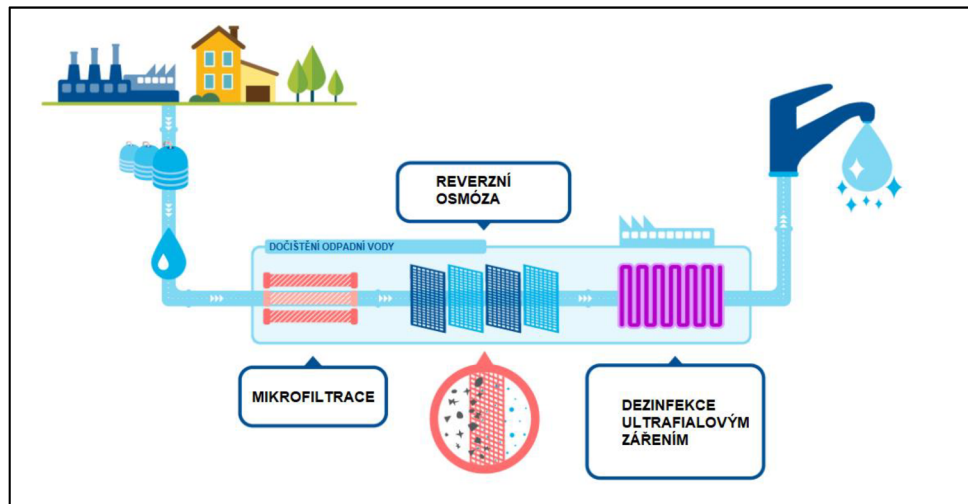
- Recyklovanými vodami, respektive opětovně využívanými vodami, jsou „*městské odpadní vody, které byly vyčištěny v souladu s požadavky stanovenými ve směrnici 91/271/EHS*“ o čištění odpadních vod „*a které pocházejí z dalšího čištění v zařízení pro recyklaci odpadních vod v souladu s oddílem 2 přílohy I tohoto nařízení*“ [4] (viz tabulka 1).
- „*Vodním zdrojem jsou povrchové nebo podzemní vody, které jsou využívány nebo které mohou být využívány pro uspokojení potřeb člověka, zejména pro pitné účely.*“ [3]

Právní úpravy jsou na území České republiky momentálně největší překážkou v zavedení opětovného využití odpadní vody. Současná legislativa za vodní zdroj považuje pouze vodu povrchovou či podzemní. Zároveň říká, že odpadní vodu je možné vypouštět pouze do vod podzemních či povrchových. Důležitým dokumentem je Nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741, který představuje, za jakých podmínek je možné odpadní vodu využívat. Mimo jiné zmiňuje fyzikální a chemické parametry, které je potřeba u takové vody sledovat. Toto nařízení vejde v platnost 26. června 2024 a předpokládá, že bude doplněno národní legislativou jednotlivých členských států. Je tedy potřeba, aby na tento dokument zareagovala i česká zákonodárna moc zavedením právních úprav, které by opětovné využití odpadní vody umožňovaly i na území České republiky.

3.2. Technická a technologická řešení

3.2.1. Technologie

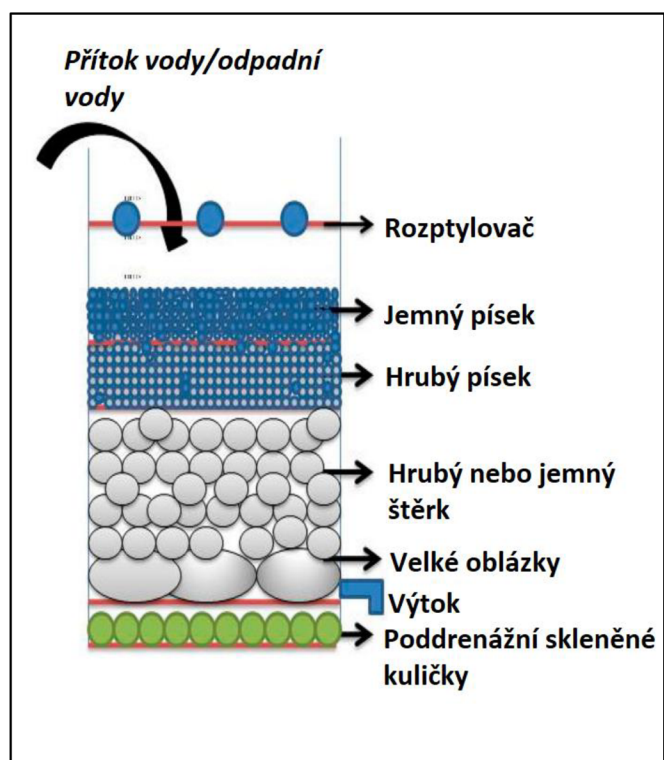
Odpadní voda pro opětovné využití může být čištěna za použití velké škály technologií. Většinou jsou tyto technologie kombinovány a každá odstraňuje určitý druh znečištění. Nejběžnější kombinací těchto technologií (viz obrázek 2) je mikrofiltrace, která odstraní mikroorganismy a částice, reverzní osmóza odstraňující ionty a rozpuštěné látky a na závěr dezinfekce UV zářením, která čistí vodu od organického znečištění, které nebylo odstraněno v předchozích krocích. V této kapitole jsou popsány principy nejčastěji užívaných technologií [8].



Obrázek 2 Příklad kombinace technologií pro čištění vody pro opětovné použití [9] - upraveno

Písková filtrace

Písková filtrace (viz obrázek 3) je objemovou filtrací. Podle rychlosti proudění vodou přes vrstvu písku rozlišujeme pomalou pískovou filtraci a rychlou pískovou filtraci. Při pomalé pískové filtraci proudí kapalina rychlostí 0,1 až 0,2 m³ za hodinu. Díky biologickým procesům odstraňuje koliformní mikroorganismy, streptokoky, bakteriofágy a další. Dále také odstraňuje zákal, usazeniny a toxické kovy. Pomalá písková filtrace je energeticky i ekonomicky nenáročná technologie. Probíhají při ní fyzikální, chemické a biologické procesy. Účinnost filtrace závisí na velikosti zrn. Není nijak náchylná na výkyvy pH a koncentraci kovů a povrchově aktivních látek [10].



Obrázek 3 Schématické zobrazení pomalé pískové filtrace [10] – přeloženo

Rychlá písková filtrace je účinná zejména při odstraňování kovů po oxidaci, jako je mangan a železo, a kalu. Odstraňování vlastností jako je zápach, zbarvení a zákal, případně mikroorganismů a rozpuštěných látek, probíhá méně efektivně. Filtrace může probíhat buď jako gravitační filtrace – ta se odehrává v otevřené nádrži, nebo jako tlaková filtrace, kde musí být nádrž uzavřená. Při filtraci jsou větší částice zachyceny mezi zrnky písku a menší částice adsorbovány na povrch písku. Během rychlé pískové filtrace proudí voda skrz písek rychlostí 4 až 21 m³ za hodinu [11].

Koagulace

Při koagulaci dochází k převedení nečistot obsažených ve vodě do takové podoby, aby byly snáze separovatelné, a to jejich úpravou do větších celků, které mohou být následně odstraněny filtrací či sedimentací. Při tomto technologickém postupu je do odpadní vody dávkován koagulant. Tím jsou nejčastěji soli železa či hliníku a hydrolyzou z nich vznikají hydratované oxidy železa a hliníku. Ty reagují s nečistotami obsaženými ve vodě za vzniku vloček. Ty mohou být následně odstraněny filtrací, sedimentací či průchodem vločkového mraku v čířčích [12].

Membránová filtrace

Při membránové filtraci dochází k oddělení pevné a tekuté fáze na přepážce. Membránou proniknou pouze částice menší, než jsou póry membrány. Přefiltrovaná tekutina se nazývá permeát, složka zůstávající před membránou je retentát. Při membránové filtraci jsou látky separovány, aniž by docházelo ke změně jejich vlastností. Membránovou filtraci je možné podle velikosti odseparovaných částic dělit na mikrofiltraci (10-0,1 μm), ultrafiltraci (0,1-0,01 μm), nanofiltraci (0,01-0,001 μm) a reverzní osmózu (0,001-0,0001 μm) [12].

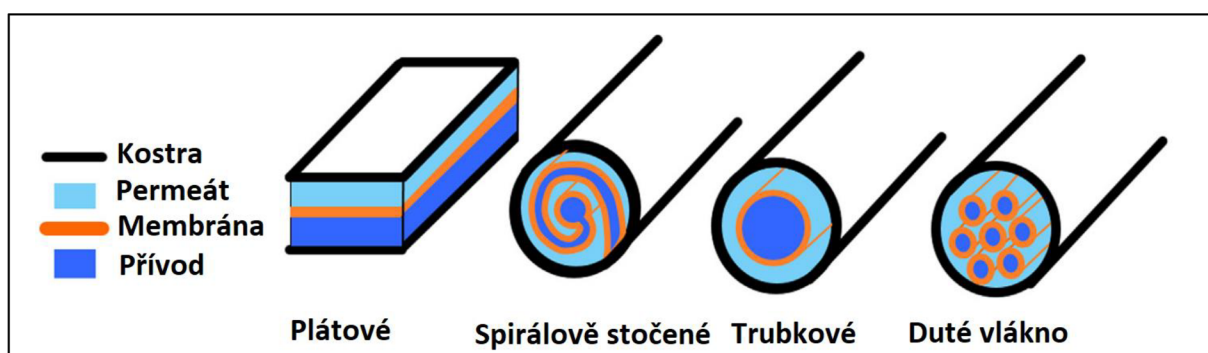
Mikrofiltrace a ultrafiltrace

Mikrofiltrace a ultrafiltrace se řadí mezi nízkotlakové procesy. Při mikrofiltraci je použita membrána s relativně velkými póry, takže jsou účinně odstraňovány minerální mikročástice, bakterie, případně organické koloidy. Ultrafiltry fungují na stejném principu, ale díky menší velikosti pórů zachytí i menší znečištění – dokáží odstranit částice, patogeny, viry a koloidy. Mikrofiltrace a ultrafiltrace se používá při čištění vody zejména pro odstranění patogenů a předchází často nanofiltraci či reverzní osmózu. Ultrafiltrace dokáže odstranit organickou hmotu, snížit BSK_5 minimálně o 95 % a odstranit většinu zákalu. V praxi je ale možné pozorovat, že membrána při ultrafiltraci neslouží jako dokonalá bariéra pro některé mikroorganismy a přefiltrovaná voda tak zůstává kontaminovaná bakteriemi. Během filtrace dochází k usazování nečistot na povrchu membrány a dochází tak ke zhoršení jejich vlastností, které mohou vést právě k propouštění bakteriálního znečištění. Z toho důvodu je třeba membránu čistit zpětným proudem a chemickým čištěním. Při ultrafiltraci mohou být odstraněny i látky jako fosfor, dusík a organický uhlík. Naopak nedokáže odstranit rozpuštěné složky jako soli či organické látky [13].

Nanofiltrace a reverzní osmóza

Obě dvě tyto technologie jsou navrženy tak, aby byly schopny odstraňovat i rozpuštěné látky včetně solí. Používají se u nich obdobné materiály a obě vyžadují vysoké hydraulické tlaky. Při nanofiltraci jsou použity nižší tlaky než u reverzní osmózy, a je tak spotřebováno menší množství energie, na druhou stranu zase propustí větší množství látek, a je tedy méně účinná. Při reverzní osmóze dochází k proudění rozpouštědla z koncentrovanějšího roztoku do zředěnějšího – hnací tlak tedy musí být větší než osmotický tlak, jinak by docházelo k proudění roztoku na základě koncentračního gradientu [13; 14; 12].

Membrány pro čištění vody se vyrábí z různých materiálů – z polymerů jako například polysulfon, polyakrylonitril, polyetylen, polypropylen či polyvinylchlorid, ale vyrábí se i keramické či kovové membrány. Membrány mohou být různě uspořádány (viz obrázek 4). Trubkové uspořádání se v praxi téměř nevyskytuje. Plátové uspořádání se používá méně než zbylé dvě, a to zejména tam, kde je třeba přefiltrovat vodu o vysoké viskozitě nebo velkém znečištění. Používá se například při filtrování průsakové vody ze skládek nebo u čištění vody při průmyslové výrobě textilu. Plátové uspořádání nacházíme spíše u mikrofiltrace či ultrafiltrace [13].



Obrázek 4 Diagramy typů provedení membránových uspořádání [13] – přeloženo

Tzn. duté vlákno se skládá i z mnoha tisíc membrán v uspořádání dutých vláken o světlosti okolo jednoho milimetru. Tím je zajištěn velký povrch vzhledem k objemu, a proto jsou dutá vlákna využívána zejména ve velkých provozech. Většinou se používají při mikrofiltraci či ultrafiltraci, ve vzácných případech se ale používají i pro nanofiltraci či reverzní osmózu. Nevýhodou dutého vlákna je obtížnější výroba ve srovnání s ostatními uspořádáními. Na rozdíl od plátového má ale vyšší účinnosti při filtraci. Použití membrán z dutých vláken pro opětovné využití vody je omezeno malou odolností vůči zanášení a následnému ucpávání [13].

Nejvíce využívaným uspořádáním při nanofiltraci či reverzní osmóze jsou spirálově stočené membrány, které ale najdou své uplatnění i při mikrofiltraci či ultrafiltraci. Skládají se z trubky o malém průměru, okolo níž jsou vinuty dvě plátové membrány oddělující permeát od přívodu vody. Při použití u reverzní osmózy je vyžadováno předčištění, protože spirálově stočené membrány jsou velmi náchylné na zanášení, které vede ke zhoršení účinnosti procesu a zkrácení životnosti membrány [13].

Adsorpce

Při adsorpci dochází k odstraňování látek z roztoku jejich vazbou na povrch adsorbentu, jímž je nejčastěji granulované aktivní uhlí (GAU). Adsorpce probíhá tím rychleji, čím větší je povrch tohoto adsorbentu – jsou jím tedy látky s velkým měrným povrchem. Základními vlastnostmi adsorbentu ovlivňující průběh adsorpce jsou zrnitost, pórovitost, specifický povrch, jodové číslo a chemické vlastnosti. Aktivní uhlí je význačné svým velmi velkým povrchem ($400\text{-}1500\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$), díky kterému je nejvíce užívaným adsorbentem. Vyrábí se z organických materiálů buď termickou aktivací, nebo chemickou. Krom vlastností adsorbentu je průběh adsorpce závislý na vlastnostech roztoku, pH a na teplotě [12].

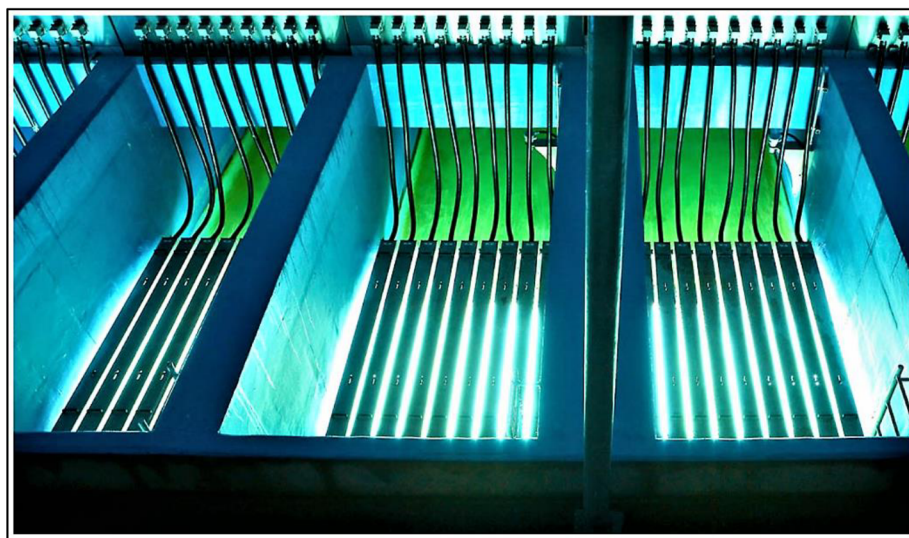
Adsorbenty se vyrábějí a používají v několika formách, a to jako granule, prášky anebo vláknité struktury. Práškové adsorbenty se smíchají s odpadní vodou a následně jsou oddělovány – k tomu může docházet usazováním, odstředováním, filtrací či flokulací. U granulované formy se roztok nechá přes granule protékat, podobně jako třeba u filtrů. Řadí se jich několik za sebou [12].

Při využití povrchu adsorbentu klesá jeho účinnost a dochází tak k jeho vyčerpání. Z ekonomických i ekologických důvodů je ale vhodné adsorbent používat opakovaně a z toho důvodu je třeba jej regenerovat. Regenerovat je možné termicky, vodní parou, extrakcí a biologicky. Termická regenerace je využívána u granulované formy aktivního uhlí, kdy adsorbované látky za zvýšené teploty vytěkají, případně dojde k jejich zneškodnění pyrolýzou. Při regeneraci vodní parou jsou odstraňovány těkavé organické látky. Regenerace extrakcí probíhá za užití vhodného rozpouštědla. Toto rozpouštědlo musí být ale před dalším použitím z adsorbentu odstraněno. Při biologické regeneraci dochází ke kontaktu vyčerpaného adsorbentu s aktivovaným kalem za dodávání kyslíku. Adsorbované látky jsou rozloženy biologickými procesy a adsorbent je připraven k dalšímu použití [12].

Dezinfekce UV zářením

Dezinfekce ultrafialovým (UV) zářením je metoda fyzikální dezinfekce, při níž jsou použity systémy využívající germicidních lamp (viz obrázek 5). Ultrafialové záření je součástí elektromagnetického spektra s velmi krátkými vlnovými délkami (kratší než 400 nm). UV záření bylo pro desinfekci vody poprvé použito v roce 1906. Jedná se o velmi efektivní technologii, kdy jsou zabíjeny mikroorganismy a voda je tak hygienizována. Efektivita

především závisí na intenzitě použitého záření, na množství mikroorganismů vystavených záření a na vlastnostech vody – zejména pak na koncentraci koloidů a částic [15; 16].



Obrázek 5 UV dezinfekce [17]

Za germicidní vlnovou délku lze považovat rozmezí od 200 do 320 nm – tedy UVB a UVC. Záření v takto širokém spektru ale nepůsobí na všechny organismy, optimální vlnovou délkou je tedy od 250 do 270 nm (UVC), při níž je záření schopno ničit DNA. Výhodou UV dezinfekce je tak efektivita při eliminaci mikroorganismů. Vzhledem k tomu, že se jedná o fyzikální desinfekci, tak při ní není zacházeno s žádnými nebezpečnými látkami a ve vodě po dezinfekci nezůstávají žádné zdraví nebezpečné látky. Nevýhodou naopak může být snížená efektivita u některých virů a spor, vyšší cena v porovnání s některými formami chemické desinfekce a nedostatečné zabezpečení před opětovným vznikem mikroorganismů při delším skladování vody [15].

Chemická oxidace

Chemická oxidace je procesem, při němž jsou nežádoucí látky definitivně likvidovány (na rozdíl od většiny ostatních procesů, kdy pouze dochází k separaci těchto látek). Při této reakci iont či atom ztrácí elektrony, proto musí spolu s ní probíhat i redukce, kdy jiný atom či iont elektrony přijímá. Jedná se tedy o oxidačně-redukční jevy. Na principu těchto jevů probíhá i biologické čištění odpadních vod. Při čištění vod chemickou oxidací jsou nejčastěji jako činidla používány sloučeniny chloru, ozon, peroxid vodíku, manganistan draselný, kyslík a radikály [12].

Použití ozonu s sebou přináší mnohé výhody jako je například odstranění zápachu, zabarvení a chuti. Krom jeho funkce jako oxidační činidlo má také dezinfekční účinky. Většina oxidačně-redukčních dějů s anorganickými látkami probíhá velmi rychle. U organických látek probíhají rychle i pomalu, v závislosti na povaze dané látky, na pH a teplotě vody. Ozon se vyrábí z kyslíku elektrickým výbojem o vysokém napětí. Výtěžnost takové přeměny je ale zlomková a proces je to velmi energeticky náročný, a tudíž i velmi nákladný. Aby byla oxidace ozonem co neúčinnější, musí být ozon co nejlépe rozprostřen ve vodě. Výroba ozonu je energeticky náročná, ozon je nestabilní, ale hlavní nevýhodou je jeho významná toxicita, kvůli níž jsou stanoveny velmi přísné limity na obsah zbytkového ozonu ve vyčištěné vodě [12; 18; 19].

Oxidace sloučeninami chloru patří mezi nízkonákladové a nejdéle používané technologie. Jsou využívány chlor, kyselina chlorná a chlornanový iont (například chlornan sodný), z nichž má každý odlišnou oxidační schopnost. Hlavní nevýhodou oxidace sloučeninami chloru je při čištění vody s výskytem organických látek možný vznik nebezpečných sloučenin, jejichž množství a složení nelze předem určit. Jejich toxicita je podstatně vyšší (mimo jiné jsou například karcinogenní), než u původních organických látek. Sloučeniny chloru se dnes tedy využívají výhradně při oxidaci anorganických látek. Průběh oxidace pak závisí na pH, teplotě a složení odpadní vody [20; 12].

Peroxid vodíku jako oxidační činidlo je v podstatě nezávadný. Při oxidační reakci reaguje s vodíkem za vzniku vody. Je vhodné ho použít zejména při odstraňování sulfanu a sulfidů, které způsobují nepříjemný zápach vody a korozivní účinky. Jeho užití je také možné při odstraňování kyanidů a organických látek. Často bývá používán v kombinaci s UV zářením nebo ozonem, které zvyšují jeho účinnost a celý proces urychlují. Nevýhodou tohoto činidla je ale jeho vysoká cena, při opětovném využívání odpadní vody se proto téměř nepoužívá [12].

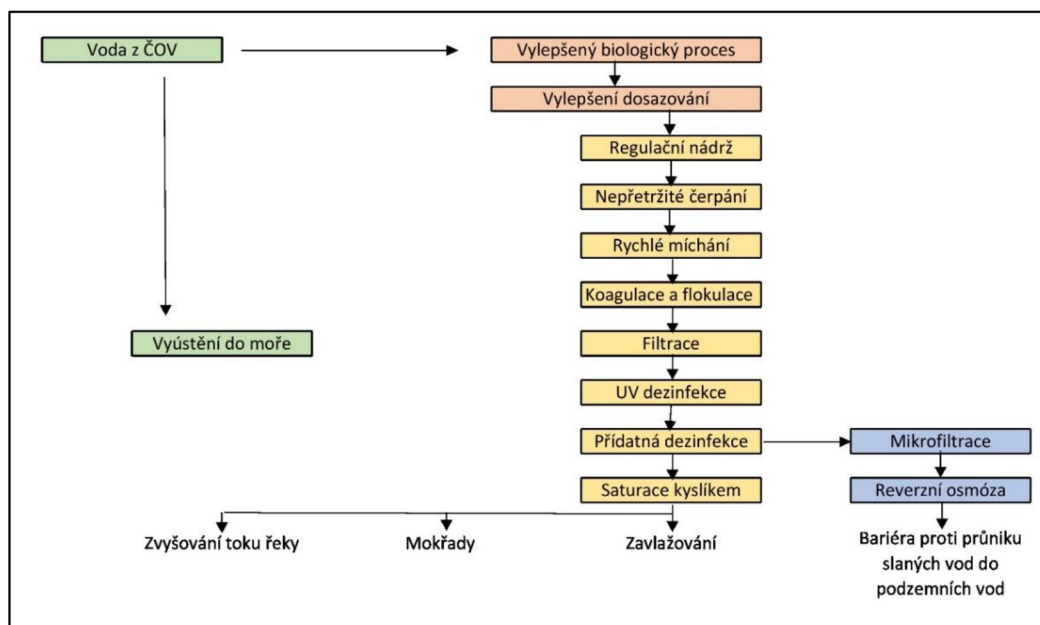
Dalším způsobem oxidace jsou takzvané procesy pokročilé oxidace. Vyznačují se tím, že oxidace při nich probíhá při běžných podmínkách, jako je teplota a tlak. Většinou jsou používány až jako poslední krok při znovuvyužití vody (dokonce i k pitným účelům) k odstranění zbylého organického znečištění. Jsou vhodným doplněním membránových procesů, protože dokážou odstranit chuť, zápach a zabarvení a také odolnější chemické látky. Nejvyšší uplatnění tato technologie nachází při rozkladu speciálních látek. Nejčastěji je jako proces pokročilé oxidace používána kombinace peroxidu vodíku s ozonem nebo UV zářením.

Při pokročilé oxidaci ale mohou vznikat nežádoucí látky, kvůli kterým je třeba tento proces ještě optimalizovat, například dalším zařazením adsorpce na granulovaném aktivním uhlí, což s sebou přináší zvýšené náklady [13; 12].

3.2.2. Příklady

Zatímco na území České republiky je záležitost opětovného využití odpadní vody spíše otázkou výzkumu, v mnohých evropských a jiných světových zemích je tato problematika již běžnou součástí praxe. Tato část práce se proto zaměřuje na příklady opětovného využití odpadní vody, jak je můžeme pozorovat v praxi.

Barcelona



Obrázek 6 Tok vody z ČOV v Barceloně [21]

Jedním z největších projektů v oblasti opětovného využití odpadní vody byl vytvořen pro metropolitní oblast Barcelony. Největším zdrojem vody byly pro Barcelonu řeky Llobregat a Ter, které ale nebyly schopné vyhovět požadavkům na odběr vody zejména při delších obdobích sucha. Aby nedocházelo k nadměrnému čerpání podzemních vod a na něj navazující zvyšující se salinitu zvodně, bylo rozhodnuto o projektu opětovného využití odpadní vody. Recyklovaná voda se používá na udržení ekologického toku řeky, na doplňování vodonosné

vrstvy povodí, na udržení přirozených mokřadů delty řeky a na závlahy v oblasti zemědělství. Z technologií využívá ultrafiltraci, reverzní osmózu a UV dezinfekci (viz obrázek 6) [22; 1].

Milán

Region v okolí Milána patří mezi jedny z neúrodnějších na území Itálie, pěstuje se zde například hroznové víno, obiloviny, rýže a různé druhy zeleniny. S tím ale souvisí velké potřeba závlah, která velmi vyčerpává vodní zdroje (až ze 70 %), které se v této oblasti nacházejí. V minulosti byl tento kraj zavlažován vodou přitékající z Alp, ale v posledních letech množství takto přitékajících vod stále klesá. Z tohoto důvodu byl vymyšlen projekt terciárního čištění odpadních vod na čistírnách San Rocco a Nosedo, které by bylo možné využívat pro zavlažování v okolním kraji. Při úpravě vody se používají četné mechanické a biologické procesy čištění a také dezinfekce UV zářením, díky němuž je voda zdravotně nezávadná. Produkce recyklované odpadní vody je dosahováno do takové výše, že v obdobích sucha je možné ji využít na závlahy 22 000 hektarů půdy. Pro recyklaci odpadní vody je zde využívána rychlá písková filtrace a UV dezinfekce [1; 23; 24].

Apulie

Apulie je jihovýchodním krajem Itálie. I zde je příkladem recyklace odpadní vody, a to na čistírně odpadních vod města Fasano. Odpadní voda po biologickém čištění podstupuje ještě terciární čištění. V prvním kroku je voda koagulována a následně je sraženina separována v lamelových separátorech. Poté je dávkován chlornan sodný, který zajistí dezinfekci a chemickou oxidaci. Současně může být také přidáno i aktivní uhlí. Voda odtud směřuje do lagun nazývaných „Lago Forcatella“, kde dochází k ustálení vyčištěné odpadní vody. Voda se využívá pro závlahu asi 1000 hektarů půdy, žádná voda neodtéká do moře [1; 25].

Londýn – Olympijský park

Olympijský park královny Alžběty II. v Londýně (viz obrázek 7) je velmi příkladným případem snahy o vytvoření udržitelného a moderního urbanistického komplexu. Udržitelnost se zde řešila ve všech směrech od energie, přes odpady, biodiversitu, materiály a v neposlední řadě i využití vody. Byla zde snaha snížit množství spotřeby pitné vody až o 40 %. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o opětovném využívání odpadní vody z místní čistírny odpadních vod Old Ford [1].



Obrázek 7 Plán olympijského parku v Londýně [26]

Voda je zde čištěna mechanicko-biologickým stupněm čištění, na který následuje membránová separace aktivovaného kalu. Poté je zařazeno ještě terciární čištění s adsorpcí pomocí granulovaného aktivního uhlí a dezinfekcí chlornanem sodným. Takto vyčištěná voda se pak může použít pro zavlažování zeleně, pro doplňování vody do systému na sběr dešťové vody a například na splachování. Produkce takto využívané vody je 574 m^3 za den [1].

Lisabon

Na stále rostoucí nedostatek pitné vody reagovali také v Lisabonu. Tam od roku 2009 recyklují a využívají $1\,500\,000 \text{ m}^3$ odpadní vody každý rok. Tuto vodu využívají na závlahy v parcích a zahradách, na mytí aut, splachování a na čištění ulic. Do roku 2009 byla pro tyto účely využívána podzemní voda, ale s plánovaným rozšířením městských parků bylo nutné přijít s jinou alternativou, kterou se právě stalo opětovné využití odpadní vody. Jedněmi z nejvýznamnějších odběrů opětovně využívané odpadní vody v Lisabonu jsou park „Parque das Nações“ a údolí Alcântara [1].

Katalánsko – golfová hřiště

Golf se v Evropě stává stále oblíbenějším sportem. Golfová hřiště ale s sebou nesou další potřebu vody pro zalévání. V oblasti Katalánska prožívá golf velký rozmach, hřišť je tam totiž minimálně patnáct. Vzhledem k vysokým nárokům na spotřebu vody bylo uplatněno využívání odpadní vody z nedalekého okolí. Použití odpadní vody s sebou může nést zdravotní rizika, proto je pro každé hřiště stanoven tzv. Sanitation safety plan na základě metodického

manuálu Světové zdravotnické organizace. V Sanitation safety plan jsou vždy uvedena místa na hřišti, kde dochází k pravidelným analýzám ukazatelů hygienické nezávadnosti. Zkoumá se zejména zákal, mikrobiální znečištění a obsah nerozpuštěných látek [1].

Jordánsko

V Jordánsku využívají odpadní vodu v zemědělství. Jordánská vláda využívání odpadních vod prosazuje již od roku 1977 a odpadní vodu považuje za hodnotný vodní zdroj pro zemědělské odvětví. Přibližně 93 % vyčištěné odpadní vody je využito na zavlažování. Voda nesmí být využívána pro zavlažování pícnin a stromů [7].

Izrael

Světovou špičkou v oblasti opětovného využívání vody je ale jednoznačně Izrael. Přibližně 86 % vyčištěné vody je recyklováno a použito pro zavlažování v zemědělství. Pravděpodobně díky využívání odpadní vody spolu s využitím technologií šetřících spotřebu vody Izrael zaznamenal v posledních 60 letech nárůst ekonomické hodnoty produktů vypěstovaných farmáři až k 1600 %. V Izraeli se ale začaly projevovat nevýhody neustále se recyklující odpadní vody, jako je zasolování půdy a s ním související poškození rostlin. Z toho důvodu byla zavedena pravidla pro limity hladiny soli ve vodách vypouštěných do odpadních vod. Byly proto zavedeny kontroly ohledně používání soli na košer jatkách, vypouštění solanky do moře a kontroly u domácích a průmyslových detergentů obsahujících bor a sodík [27].

Disneyland Paříž

V Disneylandu v Paříži byl v roce 2013 zahájen projekt zajišťující snižování dopadů provozu tohoto zábavního parku na životní prostředí. Hlavním cílem bylo omezení plýtvání jídlem jeho sběrem a následném zpracování, ale také použití recyklované odpadní vody. Byla zde proto umístěna čistírna odpadních vod se zařízením na výrobu vody vhodné pro opětovné použití, díky čemuž se podařilo ušetřit až 23 m³ pitné vody denně [1].

ÚČOV

Na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze (ÚČOV) se ve spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou rozhodli postavit kontejnerovou poloprovozní jednotku (viz

obrázek 8) určenou na dočištění odpadních vod. Voda je pro opětovné využití odebírána z úseku mezi dosazovací nádrží a výustí do recipientu. V první fázi je voda čerpána do mísiče, kde je smíchána s koagulantem, díky němuž jsou vyvločkovány zbylé organické látky. Odtud voda směřuje do nádrže s lamelovým usazovákem – lamely zvětšují tzv. separační povrch nádrže. Následuje písková filtrace, ultrafiltrace a reverzní osmóza a adsorpce na aktivním uhlí. Toto zařízení je schopné dočistit vodu téměř na kvalitu pitné vody. Cílem je vodu využívat k zavlažování městské zeleně, mytí vozovek a na podobné účely. Tímto způsobem by mohly být šetřeny zdroje pitné vody, a přitom by byla využívána voda s velmi obdobnou kvalitou [28].



Obrázek 8 Kontejnerová poloprovozní jednotka na ÚČOV [28]

Použití odpadní vody je ale na území České republiky stále kontroverzním tématem. Jednak legislativa klade příliš velké požadavky na kvalitu takto využívané vody a také ji provází pochopitelné mentální bariéry se strachem z kvality takové vody. Z tohoto důvodu se Ústřední čistírna odpadních vod rozhodla uskutečnit projekt při spolupráci s pivovarem Čížová, kdy za použití recyklované odpadní vody právě z pražské čistírny uvařili ležák Erko (viz obrázek 9). Snahou tohoto projektu je odstranit obavy z využití odpadních vod a zároveň poukázat na principy cirkulární ekonomiky [29; 30].



Obrázek 9 Erko – pivo z recyklované odpadní vody [30]

Voda z poloprovozní jednotky sice svojí kvalitou dosahuje na kvalitu pitné voda, její výroba je ovšem velmi nákladná. Cílem opětovného využití odpadní vody je navíc především zajistit závlivku městské zeleně, případně ji využít ke kropení vozovky a podobným účelům a k tomu není nutné, aby voda dosahovala kvality pitné vody. Na ÚČOV proto také zkoumali efektivitu různých technologických uspořádání. Porovnávalo bylo uspořádání koagulace – písková filtrace – dezinfekce – akumulace, písková filtrace – membrána – dezinfekce – akumulace, písková filtrace – GAU – dezinfekce – akumulace a koagulace – písková filtrace – membránová filtrace – GAU – dezinfekce – akumulace [31].

Při tomto porovnání bylo zjištěno, že koagulace množství sledovaných organismů výrazně neovlivnila. Při pískové filtraci došlo ke snížení množství sledovaných mikroorganismů pouze však jen o jeden řád s výjimkou E. coli, kdy došlo dokonce i k nárůstu počtu. Účinnost odstranění mikroorganismů dosahovala ve většině případů okolo 50 %. Výborných výsledků oproti předchozím dosahovala membránová filtrace, při které se dařilo čištěnou vodu zbavit sledovaných mikroorganismů s účinností více než 99 %, a voda tak splňovala nejpřísnější kritéria dle nařízení Evropské komise. 100% účinnosti při odstraňování sledovaných mikroorganismů bylo dosaženo vždy až po zařazení UV zářením. Voda vyčištěná systémem se zařazenou flotací, pískovým filtrem, filtrem s Filtralite a UV dezinfekcí pak splňovala podmínky pro opětovné využití odpadní vody dle nařízení Evropské komise kategorie A. Při dalším zařazení membránové filtrace a GAU bylo dokonce dosaženo kvality pitné vody. I při nejjednodušším uspořádání, kdy byly za sebou zařazeny pouze koagulace a písková filtrace bylo dosaženo vody o takové kvalitě, kdy splňovala podmínky pro závlahy

ve městech, pokud nebude docházet ke tvorbě aerosolů, protože v rámci výzkumu nebyl zkoumán výskyt legionel [31].

Součástí tohoto projektu bylo také ekonomické zhodnocení provozu jednotky pro dočištění odpadní vody k opětovnému použití. Cílem bylo porovnat náklady na provoz daných technologií, v potaz tak nebyly brány investiční náklady na pořízení zařízení. Za provozní náklady byly uvažovány náklady za elektřinu, včetně spotřeby na vytápění kontejneru v zimním období, a náklady za potřebné chemikálie [32].

Porovnávány byly různé kombinace technologických sestav a různé délky filtračního cyklu, frekvence propírání ultrafiltrační membrány, různé způsoby dezinfekce upravené vody a možnost předřazení koagulace. Jako nejlevnější se ukázala, dle předpokladů, kombinace nejlevnějších technologií, a to kombinace pískové filtrace a UV dezinfekce. Náklady na čištění odpadní vody přitom vyšly na $3,61 \text{ Kč}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak nejnákladnější se ukázala být varianta zahrnující pískovou filtraci, ultrafiltraci a adsorpci na aktivním uhlí, jejíž cena se vyšplhala na hodnotu $8,29 \text{ Kč}\cdot\text{m}^{-3}$. Cena byla významně ovlivněná délkou filtračního cyklu na ultrafiltrační membráně, kdy s rostoucí délkou cyklu cena klesala. Cena se také odvíjela od četnosti chemického praní ultrafiltrační membrány. Zařazení adsorpce významně zvyšovalo náklady z důvodu nutné velké spotřebě prací vody [32].

Na základě výzkumu na ÚČOV byl vytvořen takový závěr, že pro splnění požadavků nařízení Evropské komise na kvalitu vody pro dané využití, kterým je v tomto případě zálivka městské zeleně případně další municipální využití, stačí využití kombinace technologie pískové filtrace a UV dezinfekce. Tato metoda je navíc nejlevnější. Nevýhodou této metody je nestálost kvality vody, kdy při delším zdržení může docházet k dalšímu nárůstu množství mikroorganismů. Tomu je ale možné zabránit dalším zařazením chemické dezinfekce použitím chloru. Jako vhodné se také ukázalo zařadit do procesu filtr s granulovaným aktivním uhlím, díky němuž došlo k významnému snížení výskytu polutantů. Nevýhodou je, že toto zařazení ovlivní významně náklady na vyčištění vody, které narostou na násobek oproti nejlevnější variantě. Pokud by byla snaha dosáhnout vody o větší čistotě, bylo by možné zapojit membránovou filtraci, při které také vzniká voda z mikrobiologického hlediska nejstálejší [32].

3.3. Výhody a nevýhody opětovného využívání odpadní vody

Opětovné využívání odpadní vody s sebou nese řadu výhod a nevýhod. O některých výhodách byla zmínka již v předchozích částech této práce. V této kapitole budou podrobněji rozebrány jednotlivé výhody i nevýhody znovuvyužití odpadní vody.

3.3.1. Vliv na půdu

Při využívání odpadní vody k zalévání jsou do půdy dodávány důležité živiny. Díky jejímu složení je tak půda obohacována zejména dusík, draslík, fosfor, zinek, železo, mangan nebo měď. Růst rostlin je bezpochyby závislý na obsahu těchto nutrientů v půdě, jejich nedostatek může růst výrazně negativně ovlivnit. Dusík je naprosto zásadní prvek při růstu rostlin, neboť je stavební jednotkou bílkovin a nukleových kyselin. Nezbytný je také při tvorbě chlorofylu. V půdě nacházíme dusík v molekulách organických látek i v anorganické podobě. V převažujícím množství se nachází v organické podobě, nicméně pro růst rostlin je zásadní dusík anorganický. Nedostatek dusíku v půdě může vést až k zastavení růstu rostlin, k výskytu semen s nízkým obsahem bílkovin, chloróze či ke snížení výnosu plodiny z důvodu předčasné zralosti. Odpadní voda obsahuje velké množství anorganického dusíku, a tak při jejím využívání k zalévání může poskytovat dostatečný přísun tohoto prvku pro zdravý růst rostlin [33].

Dalším prvkem nezbytným pro růst rostlin je fosfor, neboť se účastní na nejrůznějších biologických procesech. Je rozhodující při klíčení semen, dělení buněk, metabolismu sacharidů, vývoji kořenů a stonků. Fosfor je rostlinami využíván při tvorbě vysokoenergetických molekul pro fotosyntézu a pro udržování struktury membrány. Je stavební jednotkou bílkovin, nukleových kyselin, koenzymů. Je nezbytný při některých metabolických reakcích. Pro rostliny je nejlépe využitelný jako dihydrogenfosforečnan. Nedostatek fosforu se projevuje sníženou výnosností, která je způsobená mimo jiné omezením fotosyntézy. Prvním příznakem nedostatku fosforu je fialovění listů z důvodu hromadění antokyanu a předčasné vadnutí listů. Používání odpadní vody na závlivku může sloužit jako dobrý zdroj fosforu a podpořit tak růst rostlin [33].

Draslík je podobně jako výše zmiňované důležitým nutrientem v životě rostlin. V půdě jej nacházíme ve třech formách – rozpustný, výměnný a nevýměnný draslík. Rostliny jsou

schopné využít draslík pouze ve formě rozpustné a výměnné. Po jeho vstřebání rostlinou dochází k jeho rozprostření do nejmladších pletiv rostliny. Draslík má vliv na odolnost rostliny vůči chorobám a suchu. Ovlivňuje také fotosyntézu a aktivitu některých enzymů. Nedostatečný přísun draslíku může vést ke hnědnutí listů, zpomalení růstu a k chloróze listů [33].

Odpadní voda může obsahovat vyšší množství organického uhlíku než ostatní vodní zdroje, který je také nezbytně důležitý pro zdravý růst rostlin. Organický uhlík v půdě ovlivňuje její vlastnosti jako je barva, stabilita či schopnost zadržovat živiny. Zachování stability půdy je nezbytně důležité pro její dostatečnou aeraci, která je podmínkou pro růst rostlin [33].

Důležitým faktorem při určování, zda je voda vhodná pro zalévání, je poměr adsorpce sodíku (neboli SAR z anglického sodium adsorption ratio). K jeho hodnotě je možné dojít na základě výpočtu z koncentrace vápníku, sodíku a hořčíku v půdě a v závlahové vodě. Hodnota SAR ve své podstatě informuje o vlivu iontů sodíku na strukturu půdy. Půdy, k jejichž zalévání je využívána recyklovaná odpadní voda, většinou vykazují vyšší hodnotu SAR než půdy zalévané vodou z jiných zdrojů. Dle některých studií může vysoká hodnota SAR omezit růst rostlin a způsobit jejich toxicitu. Dochází k narušení iontové rovnováhy, projevující se nedostatkem vápníku u rostlin. Dále také může zvýšení obsahu sodíku v půdě vést ke snížení sorpce rozpuštěného organického uhlíku, které má velmi nepříznivý vliv na úrodnost půdy. Vysoká hodnota SAR negativně ovlivňuje strukturální stabilitu půdy, dochází ke snížení permeability půdy a hydraulické vodivosti. Toto může být následováno úhynem rostlin z důvodu nedostatečného přívodu vody ke kořenovému systému rostlin [33].

Další nevýhodou zavlažování odpadní vodou je zasolování půdy. K tomu dochází akumulací ve vodě rozpustných solí v půdě. Tato skutečnost je hlavním faktorem při posuzování vhodnosti využití vody k účelu zalévání. Odpadní voda obsahuje velké množství iontů, a tak může vést k dlouhodobému či krátkodobému zasolení půdy. Zvýšený obsah solí v půdě vede k omezení růstu rostlin z důvodu omezeného příjmu vody rostlinám a změn v jejich fyziologii a anatomii. Z tohoto důvodu je nezbytné hlídat obsah solí ve vyčištěné odpadní vodě, aby se zamezilo zasolování půdy [33].

3.3.2. Vliv na vodní zdroje

S ohledem na téma této diplomové práce je možné uvažovat nad odpadními vodami jako nad alternativním zdrojem vody. Odběr vody je chápán jako čerpání vody povrchové nebo podzemní, přičemž se odhaduje, že přibližně 80 % z této vody je vypouštěno zpět jako voda odpadní. Jedním z hlavních důvodů odběru vody je její využití pro zavlažování v zemědělství. Ve světě čím dál častěji dochází k výskytu míst s nedostatkem vody, přičemž poptávka po produktech rostlinné produkce neustále narůstá. Využívání odpadní vody pro zavlažování tak představuje vhodnou alternativu vody vedoucí ke snížení odběru vody. Navíc by takovéto užívání odpadní vody mohlo ochránit vodní zdroje, a to dvojím způsobem. V první řadě by mohlo dojít ke snížení vypouštěné odpadní vody do vodních útvarů a v řadě druhé by mohlo zamezit znečištění vod hnojivy díky omezené aplikaci minerálních hnojiv v zemědělství. Jak již bylo zmíněno výše, i vyčištěná odpadní voda obsahuje množství organických i anorganických látek, jejichž obsah v této vodě může být využit pro zajištění lepších podmínek pro růst rostlin bez použití minerálních hnojiv. Naopak vypouštění odpadních vod do vodních zdrojů s sebou přináší nepříznivé skutečnosti jako je eutrofizace vody, způsobená zvýšením obsahu dusíku a fosforu, která může vést k nedostatku kyslíku a následnému úhynu ryb [33].

Ačkoli opětovné využívání odpadní vody na závlivku může vést ke snížení znečišťování vodních zdrojů, v některých případech zavlažování touto vodou může naopak vést ke zvýšenému znečištění vod povrchových i podzemních. Závisí to na kvalitě využívané vody, která se může velmi lišit podle zdroje odpadní vody a technologie použité k její úpravě. I vyčištěná voda může obsahovat různé znečišťující látky, které mohou být chemické, inertní či mikrobiální podstaty. Mezi chemické znečištění patří například těžké kovy, pesticidy, léčiva a další. Mezi inertní znečištění patří například plasty, dřevo, písek a jiné nerozložitelné a nereagující látky. Mikrobiálním znečištěním jsou chápány bakterie, protozoa, viry a další [33].

Použitím vody obsahující takovéto znečištění k zalévání může vést ke kontaminaci vodních zdrojů. Kontaminanty pak mohou ovlivnit vodní ekosystém. Při zvýšeném obsahu živin ve vodě by mohlo vést k jejich propouštění do podzemních vod. Se zvyšujícím se obsahem dusíku v těchto vodách klesá jejich kvalita, a naopak rostou náklady na jejich úpravu při použití k pitným účelům. Pevné látky vyskytující se ve vodě mohou ucpávat póry v půdě a snižovat tak její prodyšnost. Využívání odpadní vody také může vést k salinizaci podzemních vod [33].

3.3.3. Vliv na růst rostlin

Jak již bylo zmíněno výše, zvýšený obsah nutrientů v odpadní vodě z ní činí zajímavý zdroj vody pro zalévání rostlin. Při aplikaci odpadní vody získávají rostliny přísun makro i mikronutrientů, jehož míra závisí na kořenovém systému rostliny a na koncentraci živin na povrchu kořenů. Nutrienty se v odpadní vodě nacházejí ve formě, kdy jsou pro rostlinu snadno vstřebatelné. Dle některých studií došlo po zalévání odpadní vodou ke zrychlení růstu rostlin a také rostliny dosahovaly většího vzrůstu. Byl proveden například výzkum, který porovnával salát zaléváný odpadní vodou a salát zaléváný pitnou vodou, kdy salát zaléváný odpadní vodou dosahoval značně většího vzrůstu [33].

Zvýšený obsah živin ale může mít i též opačný efekt, pro rostliny může působit toxicky. Tato toxicita je způsobena zvýšeným obsahem makronutrientů, organickou hmotou a stopových prvků. Pokud je jejich koncentrace vyšší, než je prahová hodnota, působí pro rostlinu toxicky. Prvky, které mají tendence se často akumulovat, jsou zejména měď, kadmium, olovo, chrom, zinek a železo. Zvýšená hodnota těchto prvků negativně ovlivňuje biochemické procesy v rostlinách. Například zvýšená hodnota zinku způsobuje chlorózu listů, špatné klíčení a vadnutí starších listů. U makronutrientů je jejich zvýšená hodnota rovněž nežádoucí. Zvýšená koncentrace dusíku způsobuje opožděnou zralost rostlin a slabé stonky. Fosfor zase brání vstřebávání zinku a draslík vstřebávání hořčíku [33].

3.3.4. Mikrobiální vliv na půdu

V půdě se nacházejí různá mikrobiální společenství, která jsou nezbytnou součástí půdního ekosystému. Při používání vyčištěné odpadní vody na zalévání mohou být tato společenství narušena, což může následně vést ke snížení úrodnosti půdy. Na tato společenství má vliv řada proměnných, jako jsou vlastnosti půdy, klimatu a odpadní vody. Odpadní voda způsobuje nárůst mikrobiální aktivity v půdě a zvýšený přísun biomasy. Mikrobiální aktivita roste jak při krátkodobém, tak při dlouhodobém zalévání odpadní vodou. Většina procesů probíhajících v půdě je urychlována činností mikroorganismů. Zvýšení množství mikroorganismů tak může vést k vyšší úrodnosti půdy. Příkladem je degradace celulózy příslušnými enzymy. Aktivita mikroorganismů vede k uvolňování regulátorů růstu a živin díky rozkladu organické hmoty a tím vylepšení růstu rostlin. Zalévání odpadní vodou má také velký vliv na složení mikrobiálních společenstev půdy z hlediska diverzity. Zatímco některá společenství velmi prosperují a rostou, na jiná závlivka odpadní vodou nemá takový vliv.

Dochází tak k větší diverzitě mikroorganismů než při zalévání pitnou vodou, což může vést k lepší cirkulaci živin a urychlení rozkladných procesů v půdě. Zvětšení mikrobiálních společenství a zvýšení jejich diverzity tak může podpořit růst rostlin, vylepšit kvalitu půdy a v neposlední řadě ochránit rostliny a půdu před kontaminanty [33].

3.3.5. Dopady na veřejné zdraví

Vyčištěná odpadní voda může, na rozdíl od vody pitné, obsahovat různé toxické látky, patogeny a organické znečištění, které mohou představovat riziko pro veřejné zdraví. Jsou-li touto vodou zalévány plodiny určené ke konzumaci, pak jsou ohroženi farmáři a rovněž spotřebitelé. Patogeny pak mohou vstupovat do lidského organismu respiračním systémem či gastrointestinálním traktem. Odpadní voda před jejím vyčištěním obsahuje různé druhy mikroorganismů, zejména pak salmonelu, *Escherichiu coli* a legionelu. Tyto patogeny mohou přetrvávat i ve vyčištěné vodě, zejména pokud proces čištění neobsahoval žádnou formu dezinfekce či membránovou filtraci. Pro ochranu veřejného zdraví jsou tak příslušnými orgány ustanovena nařízení, která upravují podmínky pro použití odpadní vody [33].

I přesto však existuje riziko výskytu patogenů ve vodě způsobené buď nedostatky v právních úpravách, nebo nevhodně zvolenou technologií čištění odpadních vod. Touto tematikou se zabývala řada studií, které v mnohých případech prokázaly zvýšený výskyt patogenů ve vodě, nicméně, pokud jedlá část plodiny nepřišla s touto vodou do kontaktu, nebyly patogeny v této části objeveny a byla tak stále vhodná ke konzumaci. Patogeny obsažené ve vodě mohou způsobovat nejrůznější onemocnění od průjmů, přes respirační onemocnění až po břišní tyfus. Nařízení Evropské komise proto stanovuje nutnost vodu před použitím dezinfikovat a lidem zacházejícím s takovou vodou používat osobní ochranné pracovní pomůcky [33].

Krom nebezpečných patogenů mohou odpadní vody obsahovat také určité množství těžkých kovů, které mohou být následně nahromaděny v prostředí či dokonce vstoupit do potravního řetězce. Koncentrace těžkých kovů v odpadních vodách je většinou velmi nízká, nicméně dlouhodobé zavlažování může způsobovat riziko pro životní prostředí i pro veřejné zdraví. Těžké kovy mají vliv na metabolismus rostlin, na jejich fotosyntézu a mají vliv na mikrobiální společenství, či dokonce mohou způsobit fytotoxicitu. Těžké kovy se z důvodu jejich nízké rozpustnosti hromadí většinou na povrchu půdy, ale s postupem času mohou také

přecházet do podzemních vod. Většina studií však uvádí, že obsah těžkých kovů v rostlinách zalévaných odpadní vodou limity vhodné ke konzumaci nepřekračuje [33].

3.3.6. Ekonomické dopady

Používání vyčištěné odpadní vody k zalévání s sebou přináší i ekonomické dopady. První výhodou, kterou toto použití má, je snížení nákladů na chemická hnojiva. Jak již bylo popsáno dříve, odpadní vody obsahují podstatně vyšší obsah makro i mikronutrientů než voda pitná, není proto potřeba zalévaným rostlinám dodávat chemická hnojiva, neboť potřebné živiny získají již z vody. Další výhodou je zvýšení produkce plodin a s tím rostoucí výnosy. Toto se týká zejména oblastí, které trpí suchy a není zde dostatek vody pro zalévání. Při zavedení znovuvyužití odpadní vody se voda pro zalévání stane dostupnější, takže pěstované plodiny budou mít dostatečný přísun vláhy pro růst [33].

Zavedení opětovného využití odpadní vody má ekonomické dopady i na samotnou čistištnu odpadních vod. V první řadě je potřeba zajistit technologii potřebnou na terciární čištění vody, aby splňovala požadavky pro opětovné využití, což s sebou přináší investiční náklady. Stoupají také provozní náklady vynaložené na činnost terciárního čištění. Výhodou je, že při vyšším odběru recyklované vody není vypouštěna do recipientu, a klesají tak náklady vynaložené na poplatky za vypouštění do recipientu [33].

3.3.7. Kompromis mezi výhodami a nevýhodami

V předchozím textu byly vyjmenovány dopady, které opětovné využití odpadní vody na zalévání má, a to včetně jeho výhod, tak nevýhod. Důležité je najít způsob, jak eliminovat nevýhody opětovného využívání a zároveň využít výhod, které přináší.

Prvotním záměrem využívání odpadní vody by měla být závlivka půdy, nikoli dodání potřebných živin. Zvýšený obsah nutrientů a solí má mnohé negativní dopady na životní prostředí. Zatímco pro rostliny mohou být dané živiny přínosem, pro půdu či vodní zdroje mohou působit škodlivě. Takovými nepříznivými dopady jsou například znečištění podzemních vod či zasolování půdy. Většina těchto dopadů se projevuje zejména u vody vyčištěné pouze sekundárním způsobem čištění, u terciárního čištění byla méně častá, z důvodu nižšího obsahu živin, solí a dalších znečišťujících látek [33].

Dalším nepříznivým vlivem využívání odpadní vody je riziko pro veřejné zdraví, pramenící zejména z vystavení lidí vlivu patogenů a těžkých kovů. Při zapojení pokročilých procesů čištění, jako je membránová filtrace a dezinfekce UV zářením, toto riziko podstatně klesá. Dezinfekcí jsou ničeny patogenní organismy a voda v tomto ohledu již nepředstavuje riziko pro zdraví. Přidáním membránové filtrace je možné dosáhnout vody kvalitou obdobné vodě pitné, nicméně za cenu značného nárůstu nákladů [33].

4 Výchozí podmínky řešení

4.1. Popis čistírny odpadních vod



Obrázek 10 Rozložení jednotlivých objektů ČOV [34]

1 – čerpací stanice, 2 – česlovna, 3 – lapáky písku, 4 – usazovací nádrž, 5 – aktivační nádrž – denitrifikace, 6 – aktivační nádrž – nitrifikace, 7 – regenerační nádrž, 8 – dosazovací nádrž, 9 – postdenitrifikační filtr, 10 – vyhnívací a uskladňovací nádrže, 11 – zahušťovací nádrž

Praktická část této diplomové práce probíhala na ČOV o velikosti přes 100 000 EO. Rozložení technologických zařízení této čistírny je patrné na obrázku 10. Odpadní voda na čistírnu vstupuje cestou čerpací stanice, ze které dále pokračuje k prvním krokům mechanického předčištění. Nejprve je voda čištěna na jemných strojně stíraných česlích (viz obrázek 11), kde jsou z odpadní vody separovány objemné předměty, tzv. shrabky, které jsou následně odvozeny a je s nimi nakládáno jako s ostatními tuhými odpady.



Obrázek 11 Řesle

Po česlovně následují lapáky písku. Na nich dochází k zachycení písku a podobných těžších materiálů pomocí principu usazování. Oddělený písek následně směřuje do separátoru písku, kde je od něj oddělena voda. Poslední součástí mechanického předčištění jsou dosazovací nádrže, které jsou v případě této ČOV pravoúhlého tvaru. Podobně jako lapáky písku fungují na principu usazování, dochází zde ale k záchytu i látek o nižší hmotnosti než písek, protože zde voda protéká menší rychlostí. Zachycený materiál se označuje jako primární kal a dále směřuje do kalového hospodářství, zatímco odpadní voda dále pokračuje do biologického stupně čištění.

Při biologickém čištění prochází voda nejprve aktivačními nádržemi (viz obrázek 12). V těch dochází k oxidaci organických látek na oxid uhličitý a vodu. Této oxidace je dosaženo prostřednictvím směsi mikroorganismů obsažených v tzv. aktivovaném kalu. Aktivační nádrže jsou rozděleny na 3 sekce – 2 denitrifikační a 1 nitrifikační. Do denitrifikačních nádrží jsou krom předčištěné vody přiváděny také interní recirkulace a regenerovaný kal a dochází v nich k redukci dusičnanů na plynný dusík. Nádrže jsou vybaveny míchadlem, které zajišťuje homogenizaci aktivační směsi. V nitrifikační nádrži probíhají aerobní procesy, dostatečného přívodu kyslíku je dosaženo jemnobublínými aerátory. Dochází zde k oxidaci organických látek a amoniakálního dusíku.



Obrázek 12 Aktivační nádrž

Pro dostatečný přívod vzduchu do jemnobublinných aerátorů jsou nezbytné dmychárny. Ty se na dané ČOV vyskytují dvě. Jejich hlavními funkčními celky jsou turbokompresory o celkovém výkonu $10\,800\text{ m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$. Hřídel turbokompresorů je uložena v magnetických ložiscích.

Poslední fází biologického čištění je průtok odpadní vody dosazovacími nádržemi (viz obrázek 13). Tam dochází k separaci aktivovaného kalu od vyčištěné vody usazováním na dně nádrže. Na této ČOV jsou tyto nádrže čtyři – kruhové horizontální otevřené o průměru 40 m. Po jejich obvodu je umístěn sběrný žlab. Ke stírání usazeného kalu ze dna nádrže jsou vybaveny pojízdným mostem. Z těchto nádrží odtéká část vody do odtokového žlabu a část na postdenitrifikační filtr. Část aktivovaného kalu je čerpána zpět k aktivačním nádržím, přebytečný kal směřuje do kalového hospodářství.



Obrázek 13 Pohled na dosazovací nádrže s vyhřívacími nádržemi na anaerobní zpracování kalu v pozadí

Součástí této části ČOV jsou také regenerační nádrže kalu, které slouží ke zdržení vratného aktivovaného kalu před jeho vpuštěním do aktivačních nádrží. Doba zdržení musí být dostatečně dlouhá, aby došlo ke vstřebání a odstranění nahromaděných organických látek v aktivovaném kalu. Během regenerace je kal provzdušňován a míchán. Regenerovaný kal může být následně čerpán do denitrifikační sekce aktivačních nádrží.

Poslední fází čištění odpadní vody je terciární čištění, kterým je v případě této ČOV průtok vody přes postdenitrifikační filtr (viz obrázek 14). Zde dochází k odstraňování zbývajících dusíkatých sloučenin z odpadní vody působením speciálních mikroorganismů za současného dodávání substrátu ve formě metanolu. Filtrace probíhá ode dna směrem vzhůru. Mikroorganismy se vyskytují na povrchu polystyrenových kuliček o průměru 4,5 mm a přeměňují dusičnany na plynný dusík. Jednou denně probíhá praní filtru směrem shora dolů. Vyčištěná voda z postdenitrifikačního filtru je vedena do odtokového žlabu, kde je smíchána se zbývajícím vyčištěnou vodou a dále je vypouštěna do recipientu.



Obrázek 14 Postdenitrifikační filtr

Nezbytnou součástí čistírny odpadních vod je také její kalové hospodářství. To se v případě této čistírny skládá ze zahušťovacích nádrží, dvou vyhnívacích nádrží s plynovým a tepelným hospodářstvím, uskladňovací nádrže přebytečného kalu, homogenizačních nádrží a dvojice odstředivek.

V zahušťovacích nádržích je primární kal a sekundární kal zahušťován na principu gravitačního zahušťování a následně je odváděn do vyhnívacích nádrží. Tam dochází k anaerobní fermentaci, a tedy k tvorbě bioplynu. Ten je mimo jiné využíván k promíchávání obsahu nádrží. Vyhnívací nádrže jsou betonové ve tvaru válce a na vrchu mají ocelové víko ve tvaru kužele. Zbylý materiál je gravitačně odváděn do uskladňovací nádrže. Bioplyn je z vyhnívacích nádrží odváděn do plynojemu. Jedná se o suchý membránový plynojem o průměru 15,6 m a kapacitě 1500 m³. Bioplyn vzniklý procesem anaerobní fermentace kalu je využíván přímo na ČOV v kogenerační jednotce. Homogenizační nádrž slouží k uskladňování vyhnílého kalu. Odtud je dále čerpán do budovy strojního odvodnění kalu, kde dochází k jeho odstředění. Kal je odvodňován prostřednictvím dvou odstředivek. Cílem odvodnění je následná snazší manipulace s kalem. Kalová voda, jinak také nazývaná fugát, je odváděna do jímky kalových vod. V této jímce je spolu s kalovou vodou akumulována odsazená voda

z uskladňovací nádrže vyhnílého kalu a kalová voda ze zahuštění kalu. Odtud jsou vody rovnoměrně čerpány do čerpací stanice vratného kalu a poté do regeneračních nádrží.

4.2. Místo pro odběr vzorků



Obrázek 15 Označení místa odběru vzorků [34]

Vzorky byly odebírány v místě vstupu čištěné odpadní vody na postdenitrifikační filtr (viz obrázek 15 a 16). Toto místo bylo zvoleno z důvodu, že odpadní voda je v této fázi čištění již dostatečně čistá, stále však obsahuje nutrienty, které jsou na postdenitrifikačním filtru odstraňovány. Jejich obsah je však ve vodě určené pro zálivku žádoucí, neboť podporují růst rostlin.



Obrázek 16 Místo odběru vzorků pro laboratorní vyhodnocování

5 Návrh řešení a dosažené výsledky

5.1. Naměřené hodnoty

Odběr vzorků probíhal v období od října 2021 do února 2022. Vzorky vody byly odebírány na dané čistírně odpadních vod na vstupu vody na postdenitrifikační filtr. Vzorky byly také odebírány z blízké řeky, aby hodnoty odpadní vody byly porovnány s hodnotami vody, kterou je možné v současnosti na zálivku používat. Laboratorně byly následně hodnoceny dle kritérií nařízení Evropského Parlamentu pro opětovné využití na zalévání. Hodnoceny byly následující laboratorní hodnoty:

- Biochemická spotřeba kyslíku neboli BSK či BSK₅, kterou se rozumí „*množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy pro rozklad organických látek za aerobních podmínek*“ [12]. Je uváděna v jednotkách mg·l⁻¹.
- Chemická spotřeba kyslíku (CHSK), která určuje „*množství oxidačního činidla, které se za určitých podmínek spotřebuje na jejich oxidaci* [organických látek]. *Výsledky se přepočítávají na kyslíkové ekvivalenty*“ [35]. Je uváděna v jednotkách mg·l⁻¹.
- Nerozpuštěné látky (NL) jsou v případě odpadních vod nejčastěji zastoupeny různými hlinitokřemičitany, hydratovanými oxidy kovů, ale i nerozpuštěnými organickými látkami. Jsou to látky, které je možné z vody odstranit filtrací nebo odstředěním. Jejich množství je uváděno jednotkami mg·l⁻¹ [35].
- Zákal je způsoben obsahem anorganických i organických látek, které vodě dodávají nežádoucí vzhled. Zákal je vyhodnocován semikvantitativně pomocí zkušební trubice či desky. Při této metodě je udávána výška kapaliny, kdy jsou při pohledu shora písmo či zkušební značka patrné. Druhou metodou je kvantitativní měření, a to buď turbidimetricky, kdy se měří útlum světelného toku procházejícího kapalinou, nebo nefelometricky, kdy se měří intenzita záření rozptýleného kapalinou. Zákal je uváděn (mimo jiné) v jednotkách NTU, z anglického Nephelometric Turbidity Units [35].
- Koliformní bakterie - jejich množství je uváděno v jednotkách KTJ·(100 ml)⁻¹.
- Escherichia coli je stejně jako koliformní bakterie uváděna v jednotkách KTJ·(100 ml)⁻¹.

- Obsah dusičnanového dusíku ($N - NO_3^-$) – dusičnany jsou produktem rozkladu látek s organicky vázaným dusíkem. Mají nepříznivý vliv na eutrofizaci povrchových vod. Jeho obsah se uvádí v jednotkách $mg \cdot l^{-1}$ [35].
- Celkový dusík (N_{celk}) – dusík se ve vodách vyskytuje v různých podobách, jako amoniakální dusík, hydroxylamin, elementární dusík, azoxid, dusitanový, dusičnanový dusík a další. Množství celkového dusíku je uváděno v $mg \cdot l^{-1}$ [35].
- Celkový fosfor (P_{celk}) může být ve vodách buď rozpuštěný, nebo nerozpuštěný, a buď organicky vázaný, nebo anorganicky vázaný. Pro stanovení celkového fosforu je provedena za varu mineralizace vzorku vody peroxodisíranem nebo směsí kyseliny sírové a dusičné. Uvádí se v jednotkách $mg \cdot l^{-1}$ [35].
- UV absorbance (UV_{AS}) umožňuje stanovení obsahu některých skupin organických látek ve vodě, zejména pak aromatických sloučenin, které vykazují výraznou absorpci UV záření. Těmi jsou huminové látky, aromatické uhlovodíky a jejich sloučeniny a lignin sulfany [35].

Výsledky měření jsou patrné z tabulky 3 a 4.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty před postdenitrifikačním filtrem

	CHSK	BSK ₅	NL	zákal	koliformní b.	Escherichia coli	N-NO ₃ ⁻	N _{celk}	P _{celk}	UVAS
	$mg \cdot l^{-1}$	$mg \cdot l^{-1}$	$mg \cdot l^{-1}$	NTU	KTJ·(100 ml) ⁻¹	KTJ·(100 ml) ⁻¹	$mg \cdot l^{-1}$	$mg \cdot l^{-1}$	$mg \cdot l^{-1}$	cm^{-1}
Kategorie A		10	10	5	-	10	-	-	-	-
Kategorie D		25	35	-	-	10000	-	-	-	-
11.10.2021	27	2,27	7	1,84	5000	4000	12,0	12,6	0,63	0,17
1.11.2021	18	1,50	4	1,67	1900	0	11,3	12,6	0,72	0,17
23.11.2021	<40	2,50	7	1,79	27	0	19,9	20,5	0,90	0,21
13.12.2021	19	1,34	4	2,59	>3000 (6000)	1600	10,7	11,4	0,60	0,19
24.01.2022	21	1,55	8	1,77	3900	2600	15,9	16,4	0,67	0,17
14.02.2022	20	1,35	4	2,05	2500	1900	15,2	16,2	0,7	0,18

Z naměřených hodnot je zřejmé, že po sekundárním čištění odpadní vody na čistírně dosahuje voda takové kvality, že je možné ji využít k zalévání městské zeleně (kategorie D). Pro její využití je však vhodné ji ještě dočistit, aby bylo zabráněno případným negativním dopadům (viz Výhody a nevýhody opětovného využívání odpadní vody). Návrhu technologie na dočištění odpadní vody bude věnována následující kapitola.

Tabulka 4 Hodnoty naměřené z vody z blízké řeky

	CHSK	BSK ₅	NL	zákal	koliformní b.	Escherichia coli	N-NO ₃ ⁻	N _{celk}	P _{celk}	UVAS
	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	NTU	KTJ·(100 ml) ⁻¹	KTJ·(100 ml) ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	cm ⁻¹
Kategorie A		10	10	5		10				
Kategorie D		25	35	-		10000				
18.10.2021	3,42		2,2	3,44	700	200	3,43		0,27	0,12
15.11.2021	3,38		<2,0	3,63	1100	800	3,34		0,29	0,12
29.11.2021	1,99	2,2	<2,0	2,64	200	0	3,64		0,34	0,12
13.12.2021	8,03		<2,0	3,59	500	100	0,34		0,29	0,11
24.1.2022	4,79		6,6	11,0	500	400	5,53		0,34	0,19

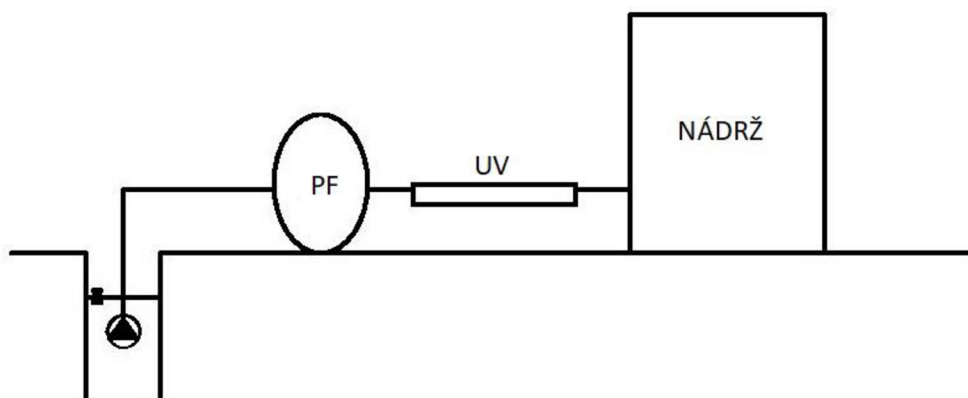
Voda je v tomto místě z řeky odebírána za účelem následné úpravy k pitným účelům. V této práci jsou pro nás tyto hodnoty zajímavé ale z toho důvodu, že vodu z řeky je možné použít k zalévání bez následné úpravy. Voda z řeky kvalitou vyhovuje kategoriím C a D, ale z důvodu vyššího obsahu Escherichie coli nevyhovuje kategoriím A a B.

5.2. Návrh řešení



Obrázek 17 Návrh umístění recyklační jednotky (červeně) [34]

Vzhledem k velmi dobré kvalitě posuzované vody je možné v případě této ČOV použít velmi jednoduchou technologii. Hlavními požadavky při návrhu byla dostatečná míra dočištění odpadní vody a zároveň přijatelná cena, jak při pořízení dané technologie, tak zejména na provoz. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že by se daná technologie skládala z pískové filtrace, při které by byly odstraněny zbývající mechanické nečistoty, a UV dezinfekce, pro zneškodnění nežádoucích mikroorganismů. Další možností by bylo místo UV dezinfekce použít chemickou dezinfekci chlorem, která je také finančně poměrně nenáročná. V odpadní vodě však zůstává určité množství organických látek, které by s chlorem mohly reagovat za vzniku karcinogenních látek. Z tohoto důvodu byla upřednostněna UV dezinfekce. Jednotka pro takovéto dočišťování by byla umístěna v místě odběru vzorků, tedy před vstupem vody na postdenitrifikační filtr (viz obrázek 17).



Obrázek 18 Schéma návrhu jednotky pro dočištění odpadní vody

Cisterny na zalévání městské zeleně mají běžně objem mezi 3 a 5 m³ [36]. Při návrhu se tak nabízejí tři možnosti řešení. Při první variantě je navrhovaný výkon sestavy takový, aby cisterna byla naplněna během 30 min. To znamená, že celkový průtok sestavou musí být 10 m³ za hodinu. Nevýhodou této varianty jsou kromě relativně dlouhé doby zdržení cisterny vysoké pořizovací náklady dané soustavou, protože je potřeba pořídit velmi výkonné prvky. Další možností je zařadit za UV lampu nádrž (viz schéma na obrázku 18), ze které bude cisterna naplněna, pak může být výkon sestavy nižší. Nevýhodou varianty s nádrží je skutečnost, že voda zabezpečená UV dezinfekcí může být skladována pouze 4 hodiny, poté již hygienické zabezpečení není dostatečné. Nějaký čas také trvá vozidlu, než vodu načerpá, odveze a následně s ní zalije zeleň. Takový čas je možné odhadnout zhruba na 2 hodiny. Z toho vyplývá, že minimální průtok sestavou musí být 5 m³ za dvě hodiny. Poslední možností řešení je sestavu seřadit v pořadí písková filtrace – nádrž – UV dezinfekce. V tomto případě může být voda filtrována relativně pomalu a skladuje se v nádrži bez výraznějšího časového omezení. Za nádrží je řazena UV lampa o vysokém výkonu, která zajistí dostatečně rychlé plnění cisterny. Tato varianta je však nejnáročnější ze strany počátečních nákladů a její přínosy nejsou o tolik převažující. Z těchto zmíněných variant byla vybrána ta, kde jsou za sebou řazeny písková filtrace, UV dezinfekce a na závěr nádrž na uchovávání vyčištěné vody.

5.2.1. Varianta PF – UV – nádrž

Jak již bylo řečeno výše, danou sestavu je potřeba navrhnout tak, aby průtok sestavy dosahoval 5 m^3 za dvě hodiny, to znamená okolo $2,5 \text{ m}^3$ za hodinu. Vybrán byl pro tuto sestavu pískový filtr Aquacon P-300 (viz obrázek 19).



Obrázek 19 Pískový filtr Aquacon P-300 [37]

Parametry tohoto filtru jsou patrné v tabulce 5. Výrobce uvádí, že maximální průtok vody může dosahovat až 6 m^3 za hodinu. Takovýto průtok je ovšem zařízení schopné udržet maximálně 5 minut, poté začne průtok postupně klesat. Pískový filtr byl tedy vybrán na základě průtoku nominálního, který dosahuje $2,4$ až $3,5 \text{ m}^3$ za hodinu. Pořizovací cena tohoto filtru je 58 931 Kč [37].

Tabulka 5 Parametry pískového filtru Aquacon P-300 [37]

Šířka	0,61 m
Výška	2,2 m
Hmotnost	720 kg
Množství náplně	300 l
Průtok vody maximální	$6 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
Nominální průtok	$2,4 - 3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
El. napojení/odběr	230 V, 50 Hz/5 W
Životnost náplně	6–8 let

Pro UV dezinfekci byla vybrána UV lampa VIQUA VH-410 (viz obrázek 20). Voda vtéká mezi tělo lampy a křemennou trubku. Dále protéká kolem rtuťové lampy, která se nachází uvnitř křemenné trubice [38].



Obrázek 20 UV lampa VIQUA VH-410 [38]

Parametry UV lampy jsou uvedeny v tabulce 6. Maximální průtok vody je $3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$, což plně odpovídá potřebám recyklační jednotky. Pořizovací cena takovéto lampy je 19 212 Kč. Nevýhodou UV lamp všeobecně je potřeba měnit relativně často UV zářivku. V případě této lampy je perioda jednotlivých výměn jeden rok [38].

Tabulka 6 Parametry UV lampy VIQUA VH-410 [38]

Maximální průtok vody	$3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
Rozměry UV lampy (délka x průměr)	596 x 89 mm
Spotřeba el.e.	60 W
El. napojení	200-250 V, 50-60 Hz
Intenzita ozařování vody	$40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$
Vlnová délka	253,7 nm
Životnost UV zářivek	1 rok

Pro zachycení vyčištěné vody byla vybrána retenční nádrž samonosná kruhová o objemu 5 m³ (viz obrázek 21). Je to plastová samonosná nádrž. Je vysoká 1,5 m. Vnější průměr je 2,25 m a vnitřní průměr 2,25 m. Hmotnost nádrže je 135 kg. Při usazení nádrže je nejprve na štěrkopískové dno položen podkladní beton o minimální tloušťce 15 cm, na který je následně nádrž usazena. Nádrž se poté napouští vodou a zároveň obsypává štěrkopískem. Pořizovací cena této nádrže je 23 150 Kč [39].



Obrázek 21 Retenční nádrž samonosná kruhová o objemu 5 m³ [39]

Voda by byla do recyklační jednotky čerpána pomocí ponorného kalového čerpadla Fieldmann FVC 4001-EK (viz obrázek 22). Toto čerpadlo má příkon 750 W. Jeho maximální ponorná hloubka je 8 m a výtlačná výška je rovněž 8 m, což je plně dostačující. Maximální čerpané množství čerpadlem je 12 m³ za hodinu. Pořizovací cena čerpadla je 1 090 Kč [40].



Obrázek 22 Fieldmann FVC 4001-EK [40]

Recyklační jednotku je nutné zajistit proti zamrznání. Řešením může být její umístění do vytápěného kontejneru. Pro sestavení recyklační jednotky je třeba dále zajistit trubní spoje, elektrické připojení, stavební a výkopové práce. Vzhledem k plánovanému užití recyklované vody primárně pro závlivku městské zeleně bylo potřeba vyřešit uspořádání tak, aby k jednotce pro terciární čištění mohla přijíždět zalévací vozidla. Příjezdová cesta by mohla vést mezi dosazovacími nádržemi (viz obrázek 23).



Obrázek 23 Zobrazení příjezdové cesty pro zalévací vozy (červeně) [34]

5.3. Ekonomické zhodnocení řešení

Tabulka 7 Pořizovací náklady na výstavbu jednotky [40; 37; 38; 39; 41]

Předmět	Pořizovací cena (Kč)
Čerpadlo	1 090
Pískový filtr	58 931
UV lampa	19 212
Nádrž	23 150
Písek	5 500
Zemní práce	70 000
Zakládání	40 000
Dodávka a montáž mobilní buňky	270 000
Přesun hmot	4 000
Ostatní náklady	50 000
Celkem	Cca 550 000

Počáteční náklady je možné vypočítat na základě známé ceny potřebných zařízení, mezi něž patří čerpadlo, pískový filtr, UV lampa a nádrž. Potřeba je rovněž pořídit 300 l vodárenského písku do pískového filtru. Dále je potřeba přičíst cenu trubních spojů, elektrického připojení, stavebních a výkopových prací. Výčet počátečních nákladů je zřejmý z tabulky 5. Celková pořizovací cena se bude pohybovat okolo 550 000 Kč.

Tím, co ale primárně určuje cenu recyklované vody, jsou provozní náklady. Ty jsou dány v případě této recyklační jednotky cenou elektřiny. Příkon kalového čerpadla je 750 W, pískového filtru 5 W a UV lampy 60 W. Průměrná cena 1 kWh je 7,15 Kč (k 24.3.2022). Za jednu hodinu je recyklační jednotka schopna vyčistit zhruba 3 m³ vody. Cena 1 m³ recyklované vody tak odpovídá zhruba 1,94 Kč. Tato cena odpovídá letnímu období, kdy není potřeba jednotku vytápět. V zimě by tato částka byla navýšena ještě o provozní náklady na vytápění [40; 37; 38; 42].

Provozní náklady na technologii pískové filtrace a UV dezinfekce je možné porovnat s náklady na toto čištění na pražské ÚČOV. V roce 2021 přišly provozní náklady na 3,61 Kč na 1 m³. V této částce jsou zahrnuty i náklady na vytápění jednotky. Nutné je také zmínit, že od roku 2021 došlo k významnému nárůstu cen energií. Zatímco průměrná cena 1 kWh v roce 2021 byla 4,98 Kč, v současnosti je to 7,15 Kč. Hlavní je ale porovnat cenu recyklované odpadní vody s cenou vody pitné, která je na zalévání používána v současnosti. Průměrná cena vodného je v současnosti 49,88 Kč na m³, cena pitné vody tedy více jak 10krát převažuje cenu vody recyklované. Výhodou opětovného využití je rovněž snížení objemu vypouštěné odpadní vody do recipientu a snížení tak nákladů na poplatky za vypouštění odpadních vod. Tyto poplatky se vypočítávají na základě objemu odpadní vody, ale také dle míry jejího znečištění. [32; 42; 43].

6 Diskuse a závěry

Tato práce se zabývala opětovným využitím odpadní vody s cílem inovovat technologii na existující čistírně odpadních vod navržením jednotky pro dočištění odpadních vod tak, aby bylo možné vodu využít pro zalévání městské zeleně. V první části této práce byly popsány právní úpravy, které se recyklací odpadních vod zabývají. Hlavním dokumentem pro členské státy týkající se tohoto tématu je Nařízení 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody. Toto nařízení mimo jiné stanovuje minimální požadavky na kvalitu vody využívané k zavlažování. V české legislativě je hlavním dokumentem zákon č. 254/2001 Sb., o vodách. Ten na jednu stranu zvažuje možnosti opětovného využití odpadních vod, na druhou stranu ale povoluje odpadní vody vypouštět pouze do vod povrchových a podzemních. Nastavení současné legislativy je tak v současnosti největší překážkou zavedení opětovného využívání odpadní vody.

Pro dočišťování odpadní vody pro opětovné využití jsou využívány různé technologie. Využívá se například písková filtrace, koagulace, membránová filtrace, adsorpce na aktivním uhlí, UV dezinfekce a chemická oxidace. Tyto technologie jsou různě kombinovány. Při rozhodování, jaké technologie je vhodné použít, záleží zejména na vlastnostech čišťené vody, na požadovaných vlastnostech vyčištěné vody, ale také na dostupných finančních prostředcích. Běžně je využívána kombinace mikrofiltrace, reverzní osmózy a UV dezinfekce. Voda takto čištěná je velmi kvalitní, nicméně její cena je bohužel velmi vysoká.

Jak již bylo zmíněno, překážkou opětovného využití odpadní vody je v České republice zejména právní nastavení. V mnoha světových zemích i zemích Evropské unie je však opětovné využívání odpadní vody již běžnou praxí. Zejména v jižních státech Evropy, jako je Španělsko či Itálie je z důvodu většího sucha odpadní voda hojně využívána. Se zvyšujícím se trendem snahy o udržitelnost se k využívání odpadní vody uchylují i jiné země, které suchem tolik netrpí, a tak byl například Olympijský park v Londýně projektován tak, aby byla voda využívána a došlo tak ke snížení spotřeby pitné vody. Zemí, která nejvíce využívá odpadní vodu, je ale jednoznačně Izrael. Tam díky opětovnému využití vody došlo k výraznému nárůstu ekonomické hodnoty zemědělských produktů. Vzhledem k hojnému využívání odpadní vody, je zde ale také možné pozorovat nevýhody opětovného využívání vody.

Použití recyklované vody na zalévání má různé environmentální, hygienické ale i ekonomické dopady. Prvním takovým je vliv na půdu. Odpadní voda obsahuje živiny důležité pro růst rostlin, a tak při zalévání odpadní vodou dochází k podpoře růstu. Ačkoli se obsah nutrientů může na první pohled jevit jako jednoznačné pozitivum odpadních vod, při vyšším obsahu dochází k zasolování půdy a zvýšení poměru adsorpce sodíku. To může vést k omezení růstu rostlin, narušení iontové rovnováhy a dalším negativním efektům. Z tohoto důvodu je důležité věnovat pozornost obsahu těchto látek v odpadní vodě. Odpadní voda by měla být využívána primárně pro šetření vodních zdrojů, nikoli pro dodávání nutrientů do půdy.

Krom vlivu na půdy má použití odpadní vody také vliv na vodní zdroje. Odpadní voda se totiž stává alternativním vodním zdrojem a dochází tak k šetření vodních zdrojů, jako jsou vody podzemní a povrchové. Navíc také dochází ke snížení vypouštění odpadních vod do těchto vodních zdrojů a snížení jejich znečištění minerálními hnojivy, protože díky obsahu živin je možné jejich použití omezit. Její využití má ale také negativní dopady na vodní zdroje, a to je jejich potenciální kontaminace. To závisí na kvalitě takto využívané vody, může totiž obsahovat znečištění chemického, inertního či mikrobiálního charakteru. Pokud je ale kvalita takto využívaných vod dostatečně kontrolována, její negativní dopady na vodní zdroje jsou téměř eliminovány.

Nevýhodou opětovného využití odpadní vody jsou její potenciální negativní dopady na veřejné zdraví. Tato voda může obsahovat různé patogeny, toxické látky a organické znečištění. Je proto potřeba kontrolovat kvalitu vody, zejména pak obsah salmonely, Escherichie coli a legionely. Na tyto mikroorganismy ale pamatuje i výše zmíněné nařízení Evropského Parlamentu a stanovuje limity těchto mikroorganismů, kdy může být odpadní voda použita.

Používání odpadní vody s sebou přináší i pozitivní dopady na ekonomiku. Krom snížení nákladů na minerální hnojiva také může způsobovat vyšší produkci plodin. Čistírna odpadních vod navíc nemusí platit poplatek za vypouštění odpadních vod do vod podzemních či povrchových. Dočištění této vody ale s sebou také určité náklady přináší, a tak je třeba při výběru technologie velmi zvažovat i jejich finanční náročnost.

Opětovným využívání odpadních vod se v České republice zabývá rovněž Ústřední čistírna odpadních vod v Praze, která spolu s Vysokou školou chemicko-technologickou vybudovala kontejnerovou poloprovozní jednotku. Tam vodu pro opětovné využití čerpají před

výustí do recipientu. Voda je čištěna pomocí velmi pokročilé technologie a její kvalita dosahuje téměř kvality pitné vody. Nevýhodou je, že provoz této technologie je velmi finančně náročný. V rámci výzkumu byla také sledována účinnost jednotlivých technologií a také porovnání jejich provozu z ekonomického hlediska. Závěrem této studie bylo, že ekonomicky nejpříjemnější variantou je využití kombinace pískové filtrace a UV dezinfekce, přičemž kvalita vody je z hlediska nařízení Evropského parlamentu pro zalívku městské zeleně dostatečná.

Zajímavé je porovnání kvality vstupní odpadní vody na ÚČOV s naměřenými hodnotami na dané čistírně odpadních vod. Z mikrobiologického hlediska se voda na pražské čistírně jeví jako podstatně znečištěnější. Na čistírně odpadních vod, kde probíhalo měření pro tuto práci, bylo naměřeno koliformních bakterií průměrně okolo 2 700 KTJ na 100 ml vody a *Escherichie coli* 1 683 KTJ na 100 ml. Na ÚČOV byly tyto hodnoty naměřeny u koliformních bakterií průměrně na 169 969 KTJ na 100 ml a u *E. coli* na 151 235 KTJ na 100 ml. Měřená kvalita vody na ÚČOV je tedy podstatně horší. Důvodem může být to, že měření v rámci této práce probíhalo převážně v zimních měsících. Ve studii ÚČOV je ale uvedeno, že roční období v jejich případě nemělo významný vliv na mikrobiální kvalitu vstupní vody. Druhým důvodem by mohlo být mnohem menší vytížení dané čistírny odpadních vod. V přilehlém městě se nenachází téměř žádný průmysl a voda tak není zatížena průmyslovým znečištěním. Důležité je také zmínit, že hodnoty měřené na ÚČOV jsou ještě ze staré technologické linky a v současnosti kvalita čištěné vody může být podstatně lepší [31].

Pro účely této práce probíhalo měření na konkrétní čistírně odpadních vod, s cílem navrhnout technologickou linku pro dočištění odpadní vody tak, aby byla voda vhodná k zalévání zeleně v přilehlém městě. Vzorky byly odebírány za dosazovacími nádržemi, v místě vstupu odpadní vody na postdenitrifikační filtr, kde by byla následně plánována výstavba technologické linky. Na základě naměřených hodnot kvality vody bylo rozhodnuto, že pro dočištění odpadní vody za účelem zalévání městské zeleně bude dostačující využití kombinace technologií pískové filtrace a UV dezinfekce. Technologická linka byla dimenzována tak, aby ji bylo možné využít k naplnění zalévací cisterny o objemu 5 m³. Nakonec byla tato linka navržena i s retenční nádrží, odkud by byla voda čerpána přímo do cisterny. Voda pro naplnění jedné cisterny by byla čištěna po dobu dvou hodin, a poté by bylo možné cisternu naplnit a využít ji k zalévání.

Při vypočítání ekonomické náročnosti byly počítány náklady na elektrickou energii potřebnou k pohánění technologické linky. Cena 1 m³ takto vyčištěné vody by pak přišla v letním období zhruba na 1,94 Kč. V zimním období by byly náklady navýšeny ještě o spotřebu energie na vytápění. Při porovnání pravděpodobné ceny recyklované vody se současnou cenou vody pitné, která je 49,88 Kč na m³, bylo zjištěno, že recyklovaná voda je několika násobně levnější, a tudíž krom environmentálních důvodů má použití odpadní vody i důvody ekonomické. Spočítány byly rovněž počáteční náklady, jejichž výše se pohybuje okolo 550 000 Kč.

Opětovné využívání odpadní vody je aktuální problematikou, kterou je potřeba se zabývat. Představuje totiž hodnotný alternativní zdroj vody. V několika posledních letech zasáhly Českou republiku vlny sucha, kdy současně využívané vodní zdroje, jako vody povrchové a podzemní, nebyly dostatečné. Recyklace odpadních vod má mnohé výhody i nevýhody, ale při zvolení vhodné kombinace technologií a důsledném dbání na kvalitu těchto vod mohou být využívány k municipálním účelům, zejména pak k zálivce městské zeleně, ale také kropení vozovky či mytí aut. I Evropská unie je opětovnému využívání vod příznivě nakloněna a vydala proto nařízení, které stanovuje požadavky na kvalitu takto využívané vody. V České republice bohužel současné právní ustanovení toto využití neumožňuje. Je tedy třeba doufat, že zákonodárna moc České republiky, jako členský stát Evropské unie, přijme výše zmíněné nařízení a umožní opětovné využívání odpadní vody i na svém území.

7 Seznam literatury

- [1] WANNER, Jiří. *Recyklace odpadních vod v Evropské unii a České republice*. Poděbrady, 2019.
- [2] Intenzita sucha 9. srpen 2018. In: *Intersucho* [online]. Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2021 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/?from=2015-08-01&to=2015-08-30¤t=2015-08-09>
- [3] *Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. In: . Praha: Sbírka zákonů, 2001, ročník 2001, číslo 254.
- [4] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady 2020/741 ze dne 25. května 2020 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody*. In: . Brusel: Úřední věstník Evropské unie, 2020, ročník 2020, číslo 741.
- [5] *Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Plán na ochranu vodních zdrojů Evropy*. In: . Brusel: Evropská komise, 2012, ročník 2012, číslo 673.
- [6] *Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství*. In: . Brusel: Evropská komise, 2015, ročník 2015, číslo 614.
- [7] *Sanitation safety planning: Manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta*. 1. Ženeva: Světová zdravotnická organizace, 2016. ISBN 978 92 4 15492 0.
- [8] MANGALGIRI, Kiranmayi, Samuel PATTON, Liang WU, Shanhui XU, Kenneth ISHIDA a Haizhou LIU. Optimizing Potable Water Reuse Systems: Chloramines or Hydrogen Peroxide for UV-Based Advanced Oxidation Process?. *Environmental Science & Technology* [online]. 2019, **53**(22), 13323-13331 [cit. 2021-04-05]. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.9b03062
- [9] NEWater Technology. In: *PUB* [online]. Singapur: Singapore's National Water Agency, 2021 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.pub.gov.sg/Documents/NEWater%20Technology.pdf>
- [10] VERMA, Srishti, Achlesh DAVEREY a Archana SHARMA. Slow sand filtration for water and wastewater treatment – a review. *Environmental Technology Reviews* [online].

2017, **6**(1), 47-58 [cit. 2021-04-06]. ISSN 2162-2515. Dostupné z: doi:10.1080/21622515.2016.1278278

- [11] ŠTĚPÁNKOVÁ, Barbora. *Alternativní metody snižování biologické kontaminace ve vodách*. Pardubice, 2018. Diplomová. Univerzita Pardubice.
- [12] BINDZAR, Jan. *Základy úpravy a čištění vod*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2009. ISBN 978-80-7080-729-3.
- [13] WARSINGER, David, Sudip CHAKRABORTY, Emily TOW et al. A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse. *Progress in Polymer Science*. 2018, **2018**(81), 209-237.
- [14] YANG, Zhe, Hao GUO, Jason WEN, Long NGHIEM a Emile CORNELISSEN. Potable Water Reuse through Advanced Membrane Technology. *Environmental Science and Technology*. 2018, **52**(18), 10215-10223. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.8b00562
- [15] SALGOT, Miguel a Montserrat FOLCH. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health* [online]. 2018, **2018**(2), 64-74 [cit. 2021-04-02].
- [16] AFRIANI, Ledy a Trijoko SULISTIYANI. The Ultraviolet Light (UV) Technology As A Disinfection Of Drinking Water. *The International Journal of Health, Education and Social*. 2020, **3**(6), 1-13.
- [17] UV disinfection tank. In: *Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox* [online]. 2020 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://sswm.info/factsheet/disinfection-and-tertiary-filtration>
- [18] RAKNESS, Kerwin L. *Ozone in drinking water treatment: process design, operation, and optimization*. 1st ed. Denver, CO: American Water Works Association, 2005. ISBN 1583213791.
- [19] CAMEL, V. a A. BERMOND. The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment. *Wat. Res.* Elsevier Science Ltd., 1998, **32**(11), 3208-3222.
- [20] MOREIRA NETO, Ronan, Maria CALIJURI, Isabella CARVALHO a Aníbal SANTIAGO. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2012, **2012**(65), 124-129 [cit. 2021-04-05]. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2012.06.001

- [21] CAZURRA, Tomás. Water reuse of south Barcelona's wastewater reclamation plant. *Desalination*. 2008, **2008**(218), 43-51. ISSN 00119164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2006.12.019
- [22] Water reuse plan in the Barcelona Metropolitan Area. *Aware* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <http://www.life-aware.eu/context/water-reuse-plan-in-the-barcelona-metropolitan-area/>
- [23] Milan protects the long-term future of its agriculture thanks to the largest alternative water source in Europe. *SUEZ in Australia and New Zealand* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.suez.com.au/en-au/our-offering/success-stories/water/milan-san-rocco-reuse-of-wasterwater>
- [24] FAWELL, John, Kristell LE CORRE a Paul JEFFREY. Common or independent? The debate over regulations and standards for water reuse in Europe. *International Journal of Water Resources Development*. 2016, **32**(4), 559-572. ISSN 0790-0627. Dostupné z: doi:10.1080/07900627.2016.1138399
- [25] Urban wastewater refining plant "Forcatella Lake". *Aquasoil* [online]. Fasano: Aquasoil s.r.l., 2018 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.aquasoil.it/en/activities-en-gb/management-activities-en-gb/forcatella-lake-en-gb.html>
- [26] Londýn buduje olympijský park plný umění i květin. *DesignMag.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.designmag.cz/architektura/25097-londyn-buduje-olympijsky-park-plny-umeni-i-kvetin.html>
- [27] SAPKOTA, Amy R. Water reuse, food production and public health: Adopting transdisciplinary, systems-based approaches to achieve water and food security in a changing climate. *Environmental Research* [online]. 2019, **171**(2019), 576-580 [cit. 2021-04-11]. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2018.11.003
- [28] CHUM, Jiří. Magazín Experiment z 31. října 2020: Z čistírny zpatky do městských ulic. Vědci z VŠCHT postavili zařízení na recyklaci odpadních vod. In: *Radiožurnál* [online]. Praha: Český rozhlas, 2020 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://radiozurnal.rozhlas.cz/z-cistirny-zpatky-do-mestskych-ulic-vedci-z-vscht-postavili-zarizeni-na-8352359>
- [29] Erko: the first Czech beer brewed using recycled wastewater. *#LivingCircular* [online]. Veolia [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.livingcircular.veolia.com/en/inspirations/erko-first-czech-beer-brewed-using-recycled-wastewater>

- [30] Prémiové pivo ERKO. Pivo z recyklované vody? Proč ne!. In: *Veolia.cz* [online]. Veolia [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.veolia.cz/cs/premiove-pivo-erko-pivo-z-recyklovane-vody-proc-ne>
- [31] BENÁKOVÁ, Andrea, Eliška VOBECKÁ, Martin PEČENKA, Jana ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ a Jiří WANNER. Změna mikrobiálního společenství při terciárním čištění odpadních vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, **63**(1), 24-32. ISSN 03228916. Dostupné z: doi:10.46555/VTEI.2020.12.004
- [32] HRUBÝ, Tomáš, Eliška VOBECKÁ, Martin PEČENKA, Jiří WANNER, Martin SRB, Jana ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ a Zuzana NOVÁKOVÁ. Možnosti využití recyklované odpadní vody s ohledem na ekonomické a kvalitativní vyhodnocení. *14. bienální konference VODA 2021*. 2021, 380-387.
- [33] OFORI, Solomon, Adéla PUŠKÁČOVÁ, Iveta RŮŽIČKOVÁ a Jiří WANNER. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*. 2021, **144026**(760), 1-15. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144026
- [34] *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2022 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [35] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [36] Cisterna PN 40 (kropení a zalévání). *Meprozet* [online]. Mladá Boleslav: N&N KOŠÁTKY, 2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.meprozet.cz/specialy/cisterna-pn-40-kropeni-a-zalevani/>
- [37] Pískový filtr AQUACON P-300. *AquaCon* [online]. Chomutov: aquacon, 2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.aquacon.cz/mechanicka-a-piskova-filtrace/piskove-filtry/piskovy-filtr-aquacon-p-300.html>
- [38] UV lampa Viqua VH-410. *AquaCon* [online]. Chomutov: aquacon, 2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.aquacon.cz/dezinfekce-vody-a-uv-lampy/uv-lampy/uv-lampa-viqua-vh-410.html>
- [39] RETENČNÍ NÁDRŽ SAMONOSNÁ KRUHOVÁ - 5m³. *ApoPlast* [online]. Jihlava: ApoPlast s.r.o., 2013-2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.apoplast.cz/p/464/retencni-nadrz-samonosna-kruhova-5m3>
- [40] Fieldmann FVC 4001-EK. *Heureka* [online]. Liberec: Heureka Group a.s., 2007-2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://cerpadla.heureka.cz/fieldmann-fvc-4001-ek/#specifikace/>

- [41] *AquaCon* [online]. Ústí nad Labem: Aquacon, 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.aquacon.cz/>
- [42] *Energie123.cz* [online]. Webnode, 2011-2022 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/>
- [43] Cena vody 2022: Vodné a stočné v 219 městech až 7 let zpětně. *Skrblik* [online]. Praha: Pueblo s.r.o., 2012-2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.skrblik.cz/energie/voda/cena-vody/>

8 Přílohy

Příloha 1 Shrabky z česlí na dané ČOV



Příloha 2 Shrabky z česlí na dané ČOV



Příloha 3 Přítok vody do česlovny



Příloha 4 Odtok vody z čerpací stanice



Příloha 5 Odstraňování písku z lapáku písku



Příloha 6 Usazovací nádrž



Příloha 7 Odstraňování plovoucích látek z hladiny



Příloha 8 Aktivační nádrž



Příloha 9 Dosazovací nádrž



Příloha 10 Vyhňivací nádrže pro anaerobní fermentaci kalu



Příloha 11 Homogenizační nádrže



Příloha 12 Odstředivka pro odvodňování kalu



Příloha 13 Plynojem



Příloha 14 Kogenerační jednotka



Příloha 15 Místo, kde by byla umístěna recyklační jednotka

