

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

Porovnání účinnosti kořenových a klasických čistíren odpadních vod

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Bakalant: Šárka Nápravníková

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Šárka Nápravníková

Aplikovaná ekologie

Název práce

Porovnání účinnosti kořenových a klasických čistíren odpadních vod

Název anglicky

Comparison of treatment efficiency of constructed wetlands and conventional treatment systems

Cíle práce

Popsat klasické čistírny odpadních vod (aktivační čistírny).

Popsat kořenové čistírny odpadních vod.

Vybrat a vyhodnotit účinnost dvou čistíren obou typů ve srovnatelné velikostní kategorii.

Metodika

V první fázi bude provedena rešerše na téma čištění odpadních vod v klasických a kořenových čistírnách odpadních vod.

Ve druhé fázi budou vybrány dvě čistírny obou typů ve srovnatelné velikosti, u kterých jsou k dispozici výsledky čištění alespoň za posledních pět let.

Na základě vyhodnocení dostupných výsledků bude porovnána účinnost čištění obou typů čistíren odpadních vod.

Doporučený rozsah práce

40 stran včetně příloh

Klíčová slova

aktivační čistírna, kořenová čistírna, odpadní vody, účinnost čištění

Doporučené zdroje informací

Chudoba, J., Dohányos, M., Wanner, J., 1991. Biologické čištění odpadních vod. SNTL Praha.

Šálek, J., Tlapák, V., 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha.

Vymazal, J., 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň.

Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: 113-118.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 3. 1. 2018

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 04. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením pana prof. Ing. Jana Vymazala, CSc., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

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

V Praze 9.4.2017

.....

Šárka Nápravníková

Poděkování

Velice ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. za věnovaný čas, hodnotné informace, rady a především za velmi milý a obětavý přístup. V neposlední řadě děkuji mé rodině a nejbližším za podporu při psaní bakalářské práce ale i během celého studia.

V Praze 9.4.2017

.....

Šárka Nápravníková

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku účinnosti aktivačních a kořenových čistíren odpadních vod o velikosti <500 EO, jejich vzájemným porovnáním a porovnáním s platnou legislativou.

Teoretická část práce se zabývá analýzou a popisem odpadních vod, technickým fungováním jednotlivých částí čistíren a jejich praktickým využitím. Dále se tato část věnuje druhům čistíren a jejich metodám čištění.

Praktická část je věnována popisu konkrétních čistíren, jež byly pro tuto práci vybrány. Dále je součástí práce analýza účinnosti jednotlivých ČOV v odstraňování následujících parametrů: CHSK, BSK₅, NL a amoniak. Výsledky slouží jako velmi dobrý ukazatel pro porovnání hodnot látek na přítoku a na odtoku a zároveň také představují jednotlivé ČOV ve smyslu splnění/nesplnění legislativních požadavků.

Klíčová slova

Odpadní vody, čistírna odpadních vod, čištění odpadních vod, účinnost čištění

Abstract

This bachelor thesis is focused on the efficiency of conventional treatment systems and constructed wetlands with the size <500 PE, the comparison between each other and with valid legislation.

The theoretical part deals with the analysis and description of the wastewater, the technical functioning of individual parts of the treatment plants and their practical use. This part also deals with the types of wastewater treatment plants and their wastewater treatment methods.

The practical part is devoted to the description of the particular wastewater treatment plants selected for this work. Furthermore, the analysis of the efficiency of individual WWTP in the removal of the following parameters: COD, BOD₅, suspended solids and ammonia is part of the thesis. The results revealed that both activated sludge systems and constructed wetlands meet the discharge limits given by the Czech legislation and the limits given by local water authorities.

Key words

Waste water, wastewater treatment plant, wastewater treatment, efficiency of treatment

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Odpadní voda.....	2
2.1 Městské odpadní vody	3
2.1.1 Splaškové odpadní vody.....	3
2.1.2 Průmyslové odpadní vody	4
2.2 Balastní vody.....	5
2.3 Ukazatelé znečištění	6
2.4 Znečištění odpadních vod	7
2.4.1 Organické znečištění odpadních vod	7
2.4.2 Anorganické znečištění odpadních vod.....	10
3 Čištění odpadních vod.....	13
3.1 Mechanické předčištění	13
3.1.1 Česle.....	14
3.1.2 Lapák písku a štěrku.....	14
3.1.3 Lapák tuků a olejů.....	14
3.1.4 Usazovací nádrž	15
3.1.5 Dosazovací nádrž	15
3.1.6 Štěrbínové nádrže.....	16
3.2 Odstraňování dusíku	16
3.3 Odstraňování fosforu	17

4 Přírodě blízké způsoby čištění.....	17
4.1 Anaerobní procesy.....	18
4.2 Aerobní procesy	18
4.3 Stabilizační nádrže.....	19
4.4 Zemní filtry	20
4.5 Kořenové čistírny odpadních vod.....	21
4.5.1 KČOV s vertikálním podpovrchovým průtokem.....	23
4.5.2 KČOV s horizontálním podpovrchovým průtokem.....	23
5 Klasické způsoby čištění	24
5.1 Aktivace	24
5.1.1 Aktivovaný kal.....	26
5.2 Biofiltry.....	26
5.3 Biodisky	27
6 Metodika.....	27
6.1 Aktivační čistírna odpadních vod A	28
6.2 Aktivační čistírna odpadních vod B	31
6.3 Kořenová čistírna odpadních vod C	33
6.4 Kořenová čistírna odpadních vod D	36
7 Výsledky.....	38
8 Diskuze.....	47
9 Závěr	48
10 Seznam použité literatury.....	49
11 Přílohy	53

1 Úvod

Jelikož žijeme v době, kdy voda už dávno neslouží pouze jako zdroj tekutiny pro lidský organismu ale je i odpadem domácností, výroben, závodů, kuchyní a jiných zařízení vzniká tak v našich podmínkách díky našemu životnímu stylu velké množství vod odpadních. Pokud tyto vody projdou procesem čištění a zlepší se tak jejich kvalita, je možno je navrátit zpět do přírodního koloběhu.

Existuje několik možností, jak lze čistit odpadní vody. Základním dělením jsou přírodě blízké způsoby a způsoby klasické. Všechny z těchto postupů jsou ve své podstatě jen urychlením a zintenzivněním procesů jenž se odehrávají samovolně v přírodě.

Aktivační čistírny odpadních vod mají již stoletou tradici u nás i v zahraničí. Hlavní funkční jednotkou je aktivovaný kal, který je uměle vypěstován. Jejich účinnost v odstraňování organických látek i amoniaku je všeobecně dostačující.

V posledních 40 letech ovšem zauímají významnou pozici také vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Jejich účinnost v eliminaci amoniaku a fosforu není všeobecně v porovnání s aktivačními čistírnami na stejné úrovni, nicméně v odstraňování organického znečištění jsou oba způsoby dostatečné. Jejich kladným faktorem je energetická nezávislost a estetičnost v krajině.

Pro tuto práci byly vybrány dvě čistírny každého druhu podobné velikosti. V první části jsou popsány druhy odpadních vod a jejich složení. Dále jsou přiblíženy konkrétní čistírny, jejich jednotlivé části a požadavky na údržbu. Třetí část práce je zaměřena na výsledky zobrazené grafickou formou. Následuje vyhodnocení účinnosti obou druhů čistíren a jejich vzájemné porovnání.

2 Odpadní voda

Pro lepší pochopení procesu uvnitř kořenové i aktivační čistírny je důležité se seznámit s charakterem znečištění odpadních vod. Pouze na základě těchto znalostí je posléze možné navrhnout ideální způsob čištění.

Jakékoli znečištění lze definovat jako změnu fyzikálních, chemických a biologických vlastností, která zabraňuje užití vody k danému účelu. Je tedy možné tvrdit, že pojem znečištění je zcela relativní (Dohányos a kol, 1998). Přesné informace o množství a o složení je možné zjistit pouze přímým průzkumem na konkrétní lokalitě. Přibližně lze množství vypočítat podle potřeby vody na obyvatele na den. Vypočtená hodnota se sníží asi o 10 až 20 %, což je voda potřebná k mytí komunikací, na závlahu veřejné zeleně apod. (Šálek a kol 2006).

Veškerá voda, která se nachází v přírodě a je možné se s ní běžně setkat se dá nazvat znečištěnou. Lze ji zcela nejjednodušším způsobem popsat jako roztok obsahující plyny, organické a anorganické látky. Chemicky čistou vodu lze označit jako destilovanou (Guzy, 2015).

Odpadní vodou můžeme nazvat takovou vodu, jejíž jakost byla pozměněna lidskou činností. Jakostí jsou myšleny teplota a složení. Tyto vody mají svůj zdroj v sídlištích, obcích, domech, závodech, zdravotnických zařízeních a podobných objektech. Do tohoto typu se dále řadí také vody odtékající z již zmíněných objektů, pokud mohou ohrozit jakýmkoliv způsobem jakost povrchových nebo podzemních vod (např. odtok srážkové vody) (Pitter, 1999). Jedná se vždy o vodu nějakým způsobem znečištěnou, která má vzhledem k předchozímu použití změněné vlastnosti.

Dle Pittera (1999) je možno dále dělit odpadní vody na tři hlavní skupiny, splaškové, městské a průmyslové. Dalšími podskupinami jsou zemědělské, balastní a srážkové. Odpadní vody ze zemědělství a z chovu zvířat jsou podskupinou vod průmyslových.

2.1 Městské odpadní vody

Jsou směsí dvou výše zmíněných druhů, splašků a průmyslových odpadních vod. Do této kategorie se řadí i jiné typy vod: dešťové, z čištění ulic a veřejných prostranství a jiné odváděné veřejnou kanalizací. U velkých a malých měst s bytovým charakterem převládají odpadní vody splaškové. U lokalit s průmyslovým charakterem je tomu samozřejmě naopak (Pitter, 1999).

Tyto vody mají většinou šedou až šedohnědou barvu a jsou silně zakalené. V našich klimatických podmínkách jejich teplota kolísá okolo 5 do 20°C, samozřejmě v závislosti na ročním období. Hodnota pH se pohybuje v průměru okolo 7 (Dohányos a kol., 1998).

Kvantita městských odpadních vod bývá vyšší než u splašků. Specifická potřeba může přesahovat i 300 l na 1 obyvatele za 1 den. Z toho lze vyvodit že, pokud naroste specifická potřeba budou městské vody zředěnější (Pitter, 1999).

2.1.1 Splaškové odpadní vody

Splaškové odpadní vody neboli splašky mají svůj původ v domácnostech a jiných sociálních zařízeních (kuchyních, záchodech, umývárkách). Patří k nim i odpadní vody z městské vybavenosti, jako jsou školy, restaurace, hotely a kulturní zařízení. Tyto vody neobsahují odpadní vody průmyslové, pokud není v dané lokalitě žádná průmyslová výroba. V posledních desetiletích však průmysl ve městech stoupá, proto dnes již většina splaškových vod obsahuje i složku průmyslových vod (pivovary, mlékárny a jiné výroby) (Dohányos a kol., 1998).

Kvalita splaškových odpadních vod je v průměru velice podobná bez jakékoliv závislosti na lokalitě. Hlavní podíl znečištění je přiřazován moči, fekáliím a kuchyňským odpadům. Průměrný člověk vyprodukuje cca 33 g až 120 g fekálií za 1 den, z čehož vznikne cca 50 g sušiny (Pitter, 1999).

Ohledně kvantity této vody je třeba brát ohled na bytovou vybavenost v lokalitě a životní úroveň obyvatelstva. Předpokládá se, že množství odpadních vod je shodné se spotřebou pitné vody na jednoho obyvatele. Tento koeficient se nazývá *průměrná*

specifická denní spotřeba vody a je udáván v litrech na 1 obyvatele za 1 den. Jak uvádí Pitter (1999), lze rozlišit 5 skupin bytové vybavenosti k nimž jsou přiřazeny výše zmíněné denní potřeby vody. Škála se pohybuje od 20 l do 150 l (na obyvatele za 1 den). Ve střeoevropské lokaci je maxima dosaženo v poledních hodinách a občas i ve večerních. Je ale třeba brát ohledy na způsob života obyvatel, na počet průmyslových závodů a jejich směnný provoz (Dohányos a kol., 1998). Dále je třeba věnovat pozornost lokálnímu umístění průtoku. Kolísání průtoku je nejmenší ve velkých městech, naopak v malých obcích je znatelné (Pitter, 1999).

2.1.2 Průmyslové odpadní vody

Tento druh spadá do kategorie městské vody. Průmyslové odpadní vody mají velmi rozmanitý charakter, jelikož je zde více druhů zdrojů. Proto i jejich vypouštění do recipientu může být škodlivé různou měrou. Tudíž i klasifikace tohoto druhu není natolik jednotvárná.

Jedná se o vody vznikající ve výrobních zařízeních či závodech (mlékárny, pivovary, jatka aj.) (Pošta a kol., 2005). Pochopitelně každé zařízení pracuje s jiným materiálem, provádí jiné procesy výroby, a tudíž i odpadní vody jsou jiného charakteru, složení a vlastností (Sojka, 2001). V těchto vodách může převládat jak anorganické, tak i organické znečištění, která jsou určující pro další nakládání s vodou. Některé průmyslové vody vyžadují oddělené čištění nebo alespoň předčištění, jiné mohou být smíšené se splašky. Toto základní rozdělení je především důležité z hlediska technologie čištění. V neposlední řadě je nutné vědět, zdali je ve vodě přítomna jakákoli biologicky rozložitelná či toxická látka (Pošta a kol., 2005, Guzy, 2015).

Obvykle se dělí dle znečišťujících látek na „převážně anorganicky znečištěné“ a „převážně organicky znečištěné“. Výše organických látek se hodnotí především podle hodnot CHSK (chemická spotřeba kyslíku). U převážně anorganicky znečištěných odpadních vod jsou znečišťující látky buď ve formě nerozpuštěné nebo rozpuštěné. V takovém případě se nabízí fyzikálně-chemické a chemické způsoby čištění. Biologické by bylo bezpředmětné. V případě druhém, vody převážně

organicky znečištěné, přichází v úvahu smíšení se splaškovými vodami a následně společné čištění nebo čištění na samostatné průmyslové čistírně. Do této skupiny spadá většinou odpadní voda z potravinářského průmyslu (Pitter, 1999).

Je třeba brát ohled na zvyšující se kvalitu technologie průmyslu. S tou se samozřejmě mění i některé složky odpadních vod, některé se přestanou vyskytovat, jiné se objeví (Dohányos, 1998). Důležité je klást důraz na předčištění vod, které jsou vypouštěny především z galvanizačních linek, kalíren, lakoven apod. To probíhá ve většině případů přímo u svého zdroje čili v podnikových čistírnách, které jsou pro dané znečištění vod uzpůsobené. Zamezí se tak smíšení vod se splašky (Pošta a kol., 2005).

Mezi průmyslové odpadní vody se řadí i odpadní vody ze zemědělství. V zemědělství se především jedná o odpadní vody z živočišné výroby. Příkladem může být hnojívka, močůvka, silážní šťávy aj. Jedná se tudíž o odpadní vody s vysokou koncentrací znečištění. Tento druh vod dosahuje nevyšších hodnot amoniakálního dusíku (Šliková, 2014).

2.2 Balastní vody

Balastní vody jsou podzemní vody, které jsou svedené do kanalizace neúmyslně (Pošta a kol., 2005). Z důvodu nesprávné výstavby, špatného stavu či netěsnosti pronikají do kanalizační sítě. Množství i složení těchto vod je rozdílné. Závisí na stavu stokové sítě, výšce hladiny podzemní vody, jejím kolísání, nedovoleném napojení drenážních vod apod. Nicméně podíl může přesahovat 10 % celkového objemu (Šálek a kol., 2006). Její přítomnost není v kanalizační a stokové síti samozřejmě žádoucí. Přesné určení množství a lokace průniku není jednoduchým úkonem. Vyžaduje podrobný výzkum výše uvedených činitelů přímo v konkrétní lokalitě. Tyto balastní vody mají vliv na chod čistírny a nežádoucím způsobem ovlivňují složení odpadních vod.

2.3 Ukazatelé znečištění

Všechny druhy odpadních vod v sobě ukrývají pestrou škálu různých organických i anorganických látek. Tyto látky jsou ve formě buď rozpuštěné nebo nerozpuštěné a mají nejrůznější vlastnosti. Do vody se dostávají různými cestami

- z balastních vod
- z odpadních vod srážkových
- z produktů průmyslové a zemědělské výroby
- z produktů lidské činnosti
- z produktů metabolismů organismů

(Sojka, 2001)

Ukazatelé znečištění se také řadí do několika skupin. Jsou užívány dle potřeby pro daný účel. Z toho důvodu se liší používané ukazatele například pro pitnou, splaškovou a průmyslovou vodu.

Příklady skupin ukazatelů znečištění:

- fyzikální (teplota, barva, zákal aj.)
- chemické (pH, chemické složení, CHSK, BSK, C_{org})
- ekologické (podmínky pro život ryb, neporušená samočistící schopnost)

(Pošta a kol.,2005)

Kvantitativní i kvalitativní stanovení všech látek by bylo zdlouhavé a časově i finančně náročné, proto se neprovádí. Stanovují se tedy skupinové standardy, které podávají informace o skupině příbuzných látek. Příkladem tohoto stanovení může být hodnota CHSK (chemická spotřeba kyslíku), která stanovuje sumu všech organických látek na základě kyslíku spotřebovaného na jejich oxidaci. O této metodě a dalších bude pojednáno v příštích kapitolách. Tento koncept, v kterém se stanovují skupinové

hodnoty (nejčastěji CHSK, BSK, pH, C_{org}), je užíván po celém světě. Jejich vývoj a praktičnost pomalu směřují k mezinárodnímu ustanovení (Dohányos a kol., 1998).

2.4 Znečištění odpadních vod

Základním parametrem pro vyjadřování znečištění odpadních vod je hodnota EO (počet ekvivalentních obyvatel). Vyjadřuje množství znečištění, které vyprodukuje jedna osoba za den a to se rovná 60 g BSK₅/osoba/den (Imhoff, 1960). Čím je nižší látkové zatížení, tím je menší hodnota EO.

Další parametr, kterým se charakterizuje znečištění odpadních vod jsou nerozpuštěné látky. Tato hodnota napovídá o obsahu pevných látek a je udávána v mg/l nebo v kg/den (Sojka, 2001). Nerozpuštěné látky představují závažný druh znečištění odpadních vod. Při jejich vypouštění do vodních toků se část z nich usazuje a tvoří tak kalové lavice. Ty, které v sobě obsahují organické látky, začnou s postupem času vyhnívat bez přístupu kyslíku za vzniku plynů. Za určitých podmínek mohou tyto plyny způsobit nežádoucí zásah např. úhyn ryb. Větší části (zbytky jídla) působí neesteticky, dlouho se rozkládají, a tudíž znečištění tvoří větší plochu toku. Zachycení a odstranění nerozpuštěných látek je poměrně jednoduché. K největšímu záchytu dochází ihned po vtoku odpadní vody do objektu čistírny. Pokud je toto předčištění provedeno nesprávně dochází k ucpání některé části čistírny. Eliminace nerozpuštěných látek se považuje za jednu z prvních priorit při plánování čištění odpadních vod (Pošta a kol., 2005).

Veškeré látky (VL) označují zcela obecně celkové znečištění vody. Údaj nerozlišuje, zda se jedná konkrétně o látky rozpuštěné, nerozpuštěné, organické nebo anorganické ani neudává jejich další specifikaci (Švehla, 2004).

2.4.1 Organické znečištění odpadních vod

Organické látky ve vodách mohou být buď druhu přírodního nebo antropogenního. Mezi přírodní znečištění se řadí výluhy z půdy a sedimentů a produkty metabolismů veškerých živých druhů jak rostlinných, tak živočišných.

Některé z těchto látek, vznikající činností sinic, jsou pachotvorné a toxické. Způsobují tak problematiku vodních květů (Pitter, 1999; Crites a Tchobanoglous, 1998).

Antropogenní původ mají látky, které se do vod dostaly pomocí obyvatelstva. Jsou přítomny ve splašcích, průmyslových vodách a ve vodách zemědělského typu (Pitter, 1999).

Jak již bylo řečeno výše vyhodnocování jednotlivých látek v odpadních vodách by bylo zdlouhavé a finančně náročné. Proto se uplatňují tzv. skupinové ukazatelé, které stanovují sumu všech organických látek (Pošta a kol., 2005).

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Chemická spotřeba kyslíku (oxidovatelnost) je základní ukazatel znečištění odpadních vod. Lze ji definovat jako množství kyslíku, které je potřeba za standardních podmínek na úplnou oxidaci organické látky za stálého působení určitého oxidačního činidla. Jinými slovy jsou touto metodou stanovené veškeré organické látky chemicky oxidovatelné (Švehla, 2012). Udává se v mg/l (Sojka, 2001).

Pro každou organickou látku je možno spočítat tzv. teoretickou spotřebu kyslíku (TSK). Toto stanovení se dá popsat jako množství kyslíku potřebného na úplnou oxidaci jednoho gramu dané látky až na oxid uhličitý a vodu. Porovnává se s hodnotou CHSK. Ideální metodou byla taková, díky které by organické látky dosahovaly 100 % oxidace, takže by se $TSK=CHSK$ (Dohányos a kol. 1998, Guzy, 2015). Této rovnosti nebylo zatím dosaženo s žádnou z používaných metod. Důvodem je stupeň a rychlost oxidace, které závisí na struktuře organické látky. Některé navíc oxidují jen částečně (Pitter, 1999). Dále pak také z důvodů závislosti TSK na elementárním složení konkrétní látky a na produktech oxidace (Dohányos, 1998).

Ze současně užívaných metod dosahuje nejvyšších stupňů oxidace (cca 80 - 90 %) standardní dichromanová metoda ($CHSK_{Cr}$). Tato metoda prošla rozsáhlým vývojem od roku 1926 a až do současnosti. Tento postup byl zprvu hojně využíván v USA. Princip spočívá v oxidaci organických látek právě dichromanem draselným za

stálých podmínek. Těmito podmínkami je myšleno prostředí 50 % kyseliny sírové a teplota 150° C po dobu 2 hodin za působení síranu stříbrného (Pitter, 1999).

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

Stejně jako CHSK patří BSK mezi základní skupinové ukazatele znečištění odpadních vod. Dle Švehly (2012) je biochemická spotřeba kyslíku definována jako množství rozpuštěného kyslíku spotřebovaného mikroorganismy na biochemickou oxidaci organických látek obsažených ve vodě. Čili využívá schopnosti mikroorganismů rozkládat organické látky za přítomnosti kyslíku (Pošta a kol., 2005). Je nutné zmínit, že BSK stanovuje obsah pouze biologicky rozložitelných látek. Nezahrnuje obsah biologicky nerozložitelných, na rozdíl od CHSK, která stanovuje obě složky (Guzy, 2015).

Postup této metody spočívá v naředění vzorku odpadní vody čistou vodou nasycenou kyslíkem. V tento moment se stanoví obsah kyslíku ve vzorku, vzorek se uzavře a po stanovenou dobu je uložen při stálé teplotě 20°C. Poté se znovu stanoví obsah kyslíku a ze zjištěných hodnot se stanoví hodnota BSK (Pošta a kol. 2005). Průběh reakce je závislý na časovém intervalu, který by v ideálním případě měl být asi 20 dní. Při této době dojde k úplné oxidaci organických látek ve splaškové vodě (Pitter, 1999). Tato doba je však z praktického hlediska příliš dlouhá, proto byl zaveden standardní čas 5x24 hodin. Nejčastěji je tedy možné se setkat s označením BSK₅, čili pětidenní biochemická spotřeba kyslíku. Index za zkratkou této metody tudíž vyjadřuje počet dní (BSK₅, BSK₇ atd.). Hodnota je vyjadřována v mg/l (Sojka, 2001). Na základě pětidenní hodnoty je následně možno sestavit křivku průběhu BSK a odhadnout limitní hodnotu čili úplnou BSK (BSK_ú) (Pitter, 1999).

Celkový organický uhlík

Dle Pittera, 1999 je možno obsah organických látek ve vodě stanovit také nepřímou stanovením organického uhlíku (Total Organic Carbon, TOC). I tato metoda se v posledních letech rozšířila především jako důsledek hojného rozšíření analyzátorů TOC. Nicméně pro technologické výpočty i pro výpočty samočisticích procesů je

nutno znát organické znečištění v kyslíkových jednotkách, proto tato míra není nejvhodnější (Dohányos a kol., 1998). Princip postupu je založen opět na oxidaci organických látek na oxid uhličitý. Toho lze dosáhnout dvojitým způsobem. Častěji je užívaná metoda termického rozkladu (oproti mokrému postupu). Důležité je zmínit fakt, že při termickém působení se oxidují všechny organické látky, což je velikou výhodou, oproti stanovení CHSK (Pitter, 1999).

Vztahy mezi TSK, CHSK, BSK a TOC

Z výše zmíněných poznámek je jasné, že v hodnotě CHSK jsou zahrnuty látky biologicky rozložitelné i nerozložitelné. V hodnotách BSK₅ a BSK_u jsou zahrnuty látky pouze biologicky rozložitelné. Proto z logického uvážení musí platit tato rovnice: TSK > CHSK > BSK_u > BSK₅. (Dohányos a kol, 1998)

2.4.2 Anorganické znečištění odpadních vod

V současnosti se čištění anorganických látek z odpadních vod zaměřuje na eliminaci dusíku, fosforu a těžkých kovů. Dusík a fosfor totiž zapříčiňují intenzivnější růst řas. Na základě toho je zvýšena tvorba dalších organických látek, produktů metabolismů řas, které dále zvyšují potřebu kyslíku (Sojka, 2001).

Dusík a jeho nejčastější formy

Formy dusíku spolu se sloučeninami fosforu se řadí mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky, ze skupiny nutrientů. Dusík má v odpadních vodách mnoho organických (N-org) i anorganických forem (N-anorg). Z anorganické složky je nejčastější formou zpravidla amoniakální dusík (N-amon) a to až z 60 %. Ten je i v poměrně nízkých koncentracích jedovatý pro ryby a jiné vodní organismy a společně s fosforem podporují eutrofizaci vody. Při vysokých koncentracích N-amon hrozí nebezpečí poklesu koncentrace rozpuštěného kyslíku, protože dochází k jeho spotřebě při nitrifikaci N-amon. Výše jeho výskytu roste se vzrůstající hodnotou pH a s

teplotou. V ČR je přípustná koncentrace amoniaku ve vodách 3 mg/l (Dohányos a kol., 1998).

Další formou mohou být dusičnany, popřípadě dusitany, záleží na typu odpadní vody. Dusičnany a dusitany jsou také produktem při odstraňování N-amon při nitrifikaci/denitrifikaci. (Vymazal, 1995; Sojka, 2001; Švehla, 2004).

Významná může být i koncentrace organického dusíku (N-org) ve formě humátů, amonikyselin a aminů. Důležitým parametrem pro posouzení znečištění odpadních vod je koncentrace celkového dusíku ve všech zmíněných formách. Označuje se jako celkový dusík (N-celk) (Švehla, 2012).

Fosfor a jeho nejčastější formy

Celkový fosfor (P-celk) je součet rozpuštěného a nerozpuštěného fosforu. Fosfor se, stejně jako dusík, dělí na anorganicky a organicky vázaný. Nejčastější formou výskytu je rozpuštěný anorganický fosfor, který se dále dělí na orthofosforečnany a polyfosforečnany. Jejich zdrojem jsou dosud některé prací, čisticí a protikorozní prostředky.

Při stanovení fosforu v odpadních vodách se v posledních letech z praktických důvodů zavedl parametr biologicky dostupný (využitelný) fosfor.

Protože fosforečnany tvoří s některými základními makrokomponenty vod (vápníkem, hořčíkem, železem, hliníkem) velmi málo rozpustné sloučeniny, je tím pádem jejich koncentrace ve vodě značně omezena. Z hlediska čištění odpadních vod je důležitá koncentrace celkového fosforu (P-celk), který se stanovuje v odpadních vodách po rozkladu (Pytl a kol., 2012).

Hygienický význam fosforu v odpadních vodách je malý. Společně s dusíkem mají však klíčovou roli při eutrofizaci vod. Proto se na čistírnách odpadních vod chemicky nebo biologicky oba nutrienty odstraňují (Pytl a kol., 2012)

Bakteriální znečištění a těžké kovy

Těžké kovy představují v posledních desetiletích výrazný problém v oboru čištění odpadních vod. I když se téměř všechny kovy alespoň ve stopových množstvích ve vodách vyskytují přirozeně, díky rychlému rozvoji průmyslových technologií se dostávají do vod ve větších koncentracích než dřív. Zdrojem mohou být metalurgická výroba, spalování odpadů ve spalovnách ale i spalování fosilních paliv, které znečišťují atmosférické vody. Hlavním antropogenním zdrojem toxických kovů jsou vody z těžby a zpracování rud, z hutí, z povrchových úprav kovů, z textilního průmyslu apod.

Pojem „těžký kov“ není přesně specifikován. Tento termín je užíván převážně v oboru vodárenství. Jedná se o Pb, Hg, Cu, Cd, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ag a další. Z hlediska toxicity jsou důležité Hg, Cd a Pb, protože zpomalují růst organismů a nepříznivě ovlivňují biologické procesy v čistírnách. Toxicita kovů je ovlivněna teplotou, pH vody a celkovým složením vody. Pokud se některé z kovů vyskytují ve vodě současně, jejich toxicita se sčítá. Velice diskutované téma je také akumulace těžkých kovů v sedimentech, ve vodní floře a fauně (Pitter, 1999, Pěkný, 2013, Borovcová, 2012).

V poslední době je předmětem diskuzí také kumulace zbytků léčiv ve vodách. Veškeré čistírny odpadních vod mají s jejich odstraněním problémy. Jedná se hlavně o hormony pocházející z antibiotik, analgetik a z protizánětlivých léků (Borovcová, 2012).

Výraz bakteriální znečištění v sobě ukrývá veškeré mikroorganismy, patogenní i potenciálně patogenní bakterie. Některé z těchto druhů mohou být přímo ukazatelem určitého druhu znečištění. Důležitá je skupina koliformních bakterií, které nasvědčují fekálnímu znečištění. Nejpřesnějším indikátorem fekálního znečištění je dobře známý bakteriální druh *Escherichia coli*. Na fekálním znečištění se podílejí netěsnící septiky, netěsné kanalizační potrubí aj. (Boudišová, 2017).

3 Čištění odpadních vod

Proces čištění odpadních vod je složitý přirozený proces, který probíhá samovolně v přírodě. Působením přírodních pochodů chemického i biologického charakteru se tekoucí vody zbavují nečistot přírodního i antropogenního původu. Tento proces je pomalý a z toho důvodu jsou budovány ČOV, které celý tento způsob čištění napodobují i zintenzivňují (Štorkánová, 2017).

Navržení a uspořádání čistírny závisí na více faktorech, především na způsobu čištění a na množství odpadní vody vyjádřené počtem EO. Dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. lze rozlišit tři velikosti těchto objektů. Nejmenší čistírny jsou dimenzovány na méně než 500 EO. Čistírny střední velikosti jsou schopné pojmout odpadní vodu od 500 do 2000 EO. K větším objektům se řadí čistírny dimenzované do 10 000 EO, největší pak do 100 000 EO. Nedílnou součástí čištění odpadních vod je také nakládání s přebytečným kalem, proto se uplatňuje tzv. kalové hospodářství. V této práci budou porovnávány čistírny řadící se do skupiny těch nejmenších.

ČOV všeobecně využívají dva (někdy 3) stupně čištění. První stupeň je mechanický, který slouží jako předčištění. Nachází se na začátku celého procesu. Následuje druhý stupeň biologický, které má za úkol napodobit samočištění vody v přírodě. V některých případech následuje třetí proces chemický.

3.1 Mechanické předčištění

Jde o nejjednodušší způsob odstraňování hrubých plovoucích a vodou unášených nečistot prostou mechanickou separací. Odstraňují se tak hrubé nečistoty a nerozpuštěné látky. Tato část se dá rozdělit na dva základní stupně. V prvním dochází k mechanickému oddělení hrubšího materiálu na česlích, lapácích písku, šterku, tuků a olejů. Ve druhém jsou eliminovány látky usaditelné formou sedimentace (usazovací nádrže). Tento proces sice sníží obsah organického znečištění v odpadní vodě až o 30 %, nicméně je zřejmé, že toto čištění je celkově nedostatečné a je označováno pouze za předčištění. Zároveň slouží jako ochrana celé ČOV před poškozením (Sojka, 2001).

3.1.1 Česle

Prvním článkem čistírny jsou česle, které slouží k zachycení hrubé plovoucí nečistoty. Jedná se především o papír, textilní zbytky, zbytky potravin a exkrementy. Díky zachycení na česlích se snižuje riziko poškození strojního zařízení a technologického chodu ČOV. Vzhledově jde o mříž tvořenou rámem a pruty tzv. česlice. Dle vzdálenosti mezi česlicemi, tzv. průlinami, se dají česle dělit na hrubé střední a jemné. Hrubé česle mají průliny 40 – 100 mm, česle střední 20 – 40 mm a česle jemné 3 – 20 mm. Na ČOV, o nichž bude v této práci pojednáno, se vzhledem k jejich velikosti užívají česle nejmenšího druhu. Rychlost průtoku vody musí být korigována mezi 0.3 m/s a 1 m/s aby nedocházelo k usazování písku a ke strhávání již zachycených nečistot (Pošta a kol.2005)

Česle se dají dělit na ty, které musejí být prohrabovány (stírány) ručně. Jedná se o levnější způsob obsluhy. Nečistoty jsou stírány shrabováky, které jsou opatřeny zuby. Ty zasahují do průlin česlí a pohybem směrem vzhůru vytahují zachycené nečistoty (shrabky). Pro ty je nahoře určen žlab, do kterého přepadávají a následně jsou pak shrabovány do kontejnerů. Dle typu česlí se odvíjí počet stírání za den. Jemné česle je nutno stírat častěji než hrubé (Pošta a kol., 2005).

3.1.2 Lapák písku a šterku

Lapáky jsou další součástí předčišťovacího procesu. Slouží k zachycování jemných minerálních suspenzí ale i velkých těžkých předmětů (dlažební kostky, cihly, šterky), které se do ČOV dostanou zejména s přívalovým deštěm. Eliminace těchto nečistot je také ochranou celého zařízení ČOV, především česlí. Doporučená doba zdržení v této části je alespoň 30 sekund. Zachycený písek a ostatní materiály se musí strojně nebo ručně vyklízet. V praxi je možno vidět pravoúhlý horizontálně protékaný lapák písku nebo vertikálně protékaný (tzv. vírový) (Pošta a kol.,2005, Šliková, 2014).

3.1.3 Lapák tuků a olejů

Lapáky tuků a olejů jsou dodávány jako samostatné čistící jednotky přímo ke zdrojům znečištění před vypouštěním do veřejné kanalizace. Tím je opět chráněna

ČOV před technologickými problémy a zároveň se jedná o ekonomicky výhodnější řešení. Konstrukčně nejjednodušší lapáky tuků jsou tvořeny jednoduchou nornou stěnou umístěnou v nádrži. Doporučená doba zdržení je cca 3 minuty (Šálek a Tlapák, 2006) Jedná se především o látky, které odtékají v odpadních vodách z kuchyní, jídelen, z provozů zpracování masa apod. Pokud tyto látky nejsou odstraněny, mohou způsobit závady v čistícím procesu, protože znehodnocují kal. Tento problém setrvává spíše v městských odpadních vodách (Šlíková, 2014, Sojka, 2001).

3.1.4 Usazovací nádrž

Usazovací nádrže slouží k zachycení primárního organického znečištění ve formě usaditelných látek. Nádrž může mít mnoho tvarů, nejčastěji bývá užíván kruhový s vertikálním přítokem (může být i s horizontálním či radiálním) (Šálek a Tlapák, 2006). Dříve se usazování provádělo tzv. odstavným způsobem. Nádrž se napustila suspenzí, uzavřely se přítok a odtok a nechtěné částice se nechaly usadit. Je ovšem jasné, že tento způsob je nevhodný a neekonomický (Tesařík, 1987). Aby proces proběhl v nádrži správně, je třeba nastolit velmi mírný proud, což má za následek usazování nerozpuštěných látek na dně nádrže a oddělení tak od plovoucích nečistot. Ty jsou odstraňovány speciálním zařízením na stírání hladiny (Štorkánová, 2017). Z usazených částic na dně vzniká tzv. primární kal, který je energeticky cenný. U větších ČOV se využívá pro výrobu bioplynu, čímž se zneškodní (Pošta a kol., 2005). Nádrže jsou navrhovány na nepřerušovaný provoz a doporučená doba zdržení by neměla klesnout pod 2 hodiny (Šálek a kol., 2006).

3.1.5 Dosazovací nádrž

Dosazovací druh nádrží slouží k oddělení biologického kalu sedimentací. Tento poslední krok, tedy až za biologickým stupněm čištění v technologické lince čištění odpadních vod, hraje velice důležitou roli při zachování vysoké kvality vody na odtoku z čistírny. Jak již bylo řečeno výše, nádrž je určena k separaci aktivovaného kalu. Tento kal je již sekundární a je tvořen převážně mikroorganismy z aktivačního čištění. Je buď vrácen do aktivace jako tzv. vratný kal nebo jako přebytečný odváděn do rukou kalového hospodářství. Tvarem se dosazovací nádrže příliš neliší od

usazovacích. Je dobré zajistit delší dobu zdržení než v usazovacích, a proto mívají větší hloubku (Pošta a kol., 2005, Šliková, 2014, Sojka, 2001).

3.1.6 Štěrbínové nádrže

Zvláštním druhem nádrží, i když často používaným, jsou štěrbinové nádrže. Jsou zajímavé pro své technologické fungování. Tvoří je dva prostory - horní usazovací a dolní vyhnívací. Tyto části jsou od sebe odděleny štěrbinou, skrz kterou propadáva usazený kal do dolního vyhnívacího prostoru. Zde se v anaerobním prostředí kal stabilizuje. Jelikož usaditelné částice propadávají ke dnu a poté štěrbinou dolů je důležité zachovat optimální dobu zdržení (Pošta a kol., 2005).

3.2 Odstraňování dusíku

Přítomnost dusíku v odpadních vodách je nežádoucí. Amoniakální dusík má vysokou spotřebu kyslíku na biochemickou oxidaci. Dále pomáhá v růstu zelených organismů a to přispívá k eutrofizaci. A v neposlední řadě nadměrné množství dusičnanů může mít negativní účinky na lidský organismus (Dohányos a kol., 1998).

Biologické odstraňování dusíku z odpadních vod probíhá ve dvou stupních. Prvním je nitrifikace. V této fázi se amoniakální dusík oxiduje na dusitany bakteriemi rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* aj. Následně jsou vzniklé dusitany oxidovány na dusičnany taktéž specifickými mikroorganismy (bakterie *Nitrobacter* a *Nitrocystis*). Veškeré organismy potřebné pro tyto kroky rostou pomaleji než běžné organismy obsažené v aktivovaném kalu (Šliková, 2014, Dohányos a kol., 1998) Jako všechny procesy i nitrifikace je ovlivňována řadou faktorů: koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnotou pH, teplotou, stářím a zatížením kalu.

V dalším kroku nastává poslední fáze tzv. denitrifikace. Tento anoxický proces je opačným dějem k nitrifikaci. Dochází k redukci dusičnanů a dusitanů až na plynný dusík. Na rozdíl od velmi omezeného počtu nitrifikačních bakterií, denitrifikační bakterie patří mezi zcela běžné bakteriální rody, jako např. *Micrococcus*,

Pseudomonas nebo *Chromobacterium* (Focht a Verstaete, 1977, Megonikal a kol., 2004).

Biologické odstraňování dusíku je technologicky jeden z nejnáročnějších požadavků při technologickém uspořádání ČOV. Nepsané pravidlo říká, že pokud jsou splněny limity pro odstranění dusíku z odpadní vody, jsou automaticky splněny limity i organických a ostatních látek.

3.3 Odstraňování fosforu

Fosfor je ve vodách nežádoucí, protože podporuje z velké části eutrofizaci. Je odstraňován přednostně srážením a sorpcí, tedy metodami chemickými (Vymazal, 2009). Chemický proces probíhá za pomoci železitých, železnatých nebo hlinitých solí, které vysrážejí rozpuštěný fosfor. Srážení může probíhat jak v primárním, tak sekundárním stupni čištění (Štorkárová, 2017).

Biologická forma odstraňování je založena na schopnosti některých mikroorganismů obsažených v aktivovaném kalu akumulovat do sebe fosfor ve formě polyfosfátů. Tyto bakterie, kterých je nyní známo asi dvacet, se souhrnně nazývají poly-P. Patří mezi ně bakterie ze skupiny *Acinetobacter*. Výhodou této metody oproti srážení je, že nepotřebuje žádné chemikálie a na konci procesu není žádný aktivovaný kal, s kterým by bylo třeba nějak dále nakládat. Za dokonalých podmínek je aktivovaný kal schopen odstranit více fosforu, než je nutné pro jeho běžný růst, tento jev se nazývá „luxury uptake“. V momentě, kdy luxury uptake neprobíhá je fosfor odstraňován hlavně pro syntézu adenotрифосфátu (ATP), který je dále využíván jako zdroj energie pro syntézu buněčného materiálu (Dohányos a kol., 1998).

4 Přírodě blízké způsoby čištění

Biologické čištění se dělí na aerobní a anaerobní (Guzy, 2015, Dohányos a kol., 1998, Chudoba, 1991). Dle Šálka a kol (2006) lze zařadit i režim fakultativní. Jedná se, ve své podstatě, o rozložení organických látek v odpadních vodách, z nichž biologicky je rozložitelná pouze část. I tento způsob čištění, stejně jako všechny ostatní obory, prošel postupným vývojem. První požadavky, na které byly technologické

návrhy přizpůsobeny, se zakládaly pouze na odstranění organického znečištění. Podstatnou změnou bylo zavádění biologických procesů na odstraňování nutrientů, dusíku a fosforu. Rovněž se zvyšuje složitost aktivačního procesu (Pytl a kol.,2012). Procesy probíhají v biologických reaktorech, kde je funkční polykultura. Polykulturou jsou myšleny bakterie, mikromycety, plísňe, kvasinky aj (Pošta a kol.,2005).

4.1 Anaerobní procesy

Základem anaerobního procesu je mikrobiální rozklad organické hmoty za anaerobních podmínek, který samovolně probíhá v přírodě, např. na dně rybníků nebo močálů. Konečnými produkty jsou metan a oxid uhličitý, proto je celý systém nazván „methanizace“ (Dohányos a kol.,1998). Tento proces je nyní technologicky využíván k likvidaci organického znečištění. Primárně slouží při čištění vysoce znečištěných průmyslových vod a při stabilizaci odpadních kalů (Guzy, 2015). Anaerobní mikroorganismy se mohou nacházet jen jako volní jedinci v reaktorech nebo přisedlé na nosiči. Pokud se jedná o čištění průmyslových vod, nebo i v jiných případech, je možné naočkovat biologickou jednotku kalem (Sojka, 2001, Guzy, 2015). Tento způsob čištění představuje první stupeň biologického cyklu čištění odpadních vod. Následně je nutné provést aerobní dočištění, které odstraní zbytkové nežádoucí látky.

4.2 Aerobní procesy

Mikroorganismy obsažené ve vodě oxidačními procesy za přítomnosti dostatečného množství a stálého přísunu kyslíku rozkládají organické látky v odpadní vodě. Jako konečné produkty můžeme označit vodu, oxid uhličitý, dusičnany a především biomasu aktivovaného kalu (Štorkánová, 2017). Druhy aerobního způsobu čištění se dají dělit dle Guzy, 2015 na přirozené, jenž jsou co nejvíce podobné přírodním podmínkám (např. rybníky, laguny, zemní filtry, stabilizační nádrže, kořenové čistírny), a na umělé, které probíhají v reaktorech. Dle Sojky, 2001 je princip dělení stejný, jen se užívají odlišné názvy, extenzivní (vegetační čistírny, biologické rybníky) a intenzivní (aktivace, biofiltr, biofilmové reaktory).

Přírozené způsoby čištění

Fungují díky samočisticím procesům, které probíhají v přírodě. Za příklady se dají považovat stabilizační nádrže nebo umělé mokřady (Šliková, 2014). Stabilizační nádrže neboli biologické rybníky jsou mělké zemní nádrže, které mohou být průtočné i akumulací. Jejich zintenzivnění je možné provést instalací aeračního zařízení (Šliková, 2014). Tzv. aerátory jsou provzdušňovací zařízení, které je možno dělit na gravitační, tryskové a difuzorové (Tesařík, 1987).

Umělé způsoby čištění

Umělé způsoby čištění se dají ještě dále dělit na ty s biologickou kulturou přisedlou na pevném povrchu, jež probíhá např. v biofiltru nebo biofilmovém reaktoru. A druhým typem jsou ty s biologickou kulturou ve vznosu (aktivační nádrže, aktivace). Toto dělení je převzato od Šliková, 2014.

4.3 Stabilizační nádrže

Stabilizační nádrže nebo také biologické rybníky patří do skupiny přírodních způsobů čištění. Jsou kombinací fyzikálních, chemických a biochemických procesů, jež probíhají současně. Tento typ čistíren slouží k čištění nebo dočišťování odpadních vod a je uplatňován v sídlech do 500 obyvatel. Jejich stavební provedení je jednoduché a nároky na vybavení a energii jsou nízké. Jsou nenáročné na obsluhu a údržbu. Zvládají dobře nárazové přetížení i krátkodobé přerušení provozu. Negativem je poměrně velká potřeba plochy. Stabilizační nádrže se dají dělit na nádrže upravující (stabilizující) fyzikální vlastnosti vody (teplota, sedimentace) a na nádrže biologické, tedy upravující fyzikální, chemické i biologické vlastnosti vody (Šálek a kol., 2006, Pošta a kol., 2005, Pytl a kol., 2012).

Mechanismus čištění spočívá hlavně v usazování nerozpuštěných látek a v biologickém anaerobním i aerobním odbourávání organického znečištění. Obzvláště ve vegetačním období využívají minerální látky zelené organismy. Důležitá je také vazba fosforu na usazující se pevné částice, proto mají stabilizační nádrže značnou schopnost zachycovat fosfor. Dosahují různých výsledků v závislosti na jejich řazení.

Lepšího účinku je dosaženo, pokud jsou stabilizační nádrže za sebou řazeny alespoň ve dvou stupních a procesy probíhají odděleně. V prvním stupni probíhá anaerobní rozklad látek. Ve druhém převažují kyslíkaté procesy a dochází k usazování částic. Usazeniny je třeba odstraňovat v doporučeném intervalu nejméně jednou za deset let. Zcela nevhodné je odklizení do břehů, čímž se znehodnocují břehové oblasti nádrží a jejich okolí. Pokud se stabilizační nádrž nenachází v místě, kde jsou výroby produkující těžké kovy, je možno použít vytěžené usazeniny v zemědělství (Šálek a kol., 2006, Pošta a kol., 2005).

4.4 Zemní filtry

Zemní filtrace je proces využíván pro čištění a dočištění odpadních vod. Používají se zejména k čištění vod malých producentů, k úpravě dešťových vod a povrchových vod přítékajících z extravilánu. Slouží tak jako ochranná clona proti znečištění cenných přírodních lokalit. Životnost zemních filtrů je předpokládána až na 30 let. Jejich provoz a údržba nejsou náročné a chybí zcela potřeba elektrické energie (Pytl a kol., 2012).

V tomto procesu je využíváno porézního prostředí k zachycení a eliminaci znečištění. Jde o těleso protékané odpadní vodou naplněné štěrkem. Hlavním čistícím činitelem je zde opět skupina mikroorganismů, žijící na povrchu náplně, která rozkládá organické znečištění. Jde tedy opět o souhru fyzikálních a biochemických procesů (Šálek a kol., 2006).

Nejčastěji jsou budovány zemní filtry s vertikálním prouděním. Skládá se z horní rozváděcí vrstvy, filtračního lože (jedno nebo dvouvrstvé) a dolní sběrné drenáže. Nezbytnou součástí je revizní (kontrolní) šachta na odtoku dočištěné vody, která slouží pro odběr vzorků a pro odvětrání filtru. Tím je zajištěno provzdušnění náplně. Těleso filtru je nejčastěji uloženo v jámě, kde musí být dostatečně odděleno od okolní zeminy nepropustnou folií, aby nedošlo ke kontaminaci podzemních vod. Hlavním procesem probíhajícím v zemním filtru není filtrace ale, stejně jako v biofiltrech a v kořenových čistírnách, odbourávání organického znečištění

mikrobiálními nárůsty. Samotný filtr je třeba co nejlépe chránit před ucpaním (Pytl a kol., 2012, Šálek a kol., 2006, Pošta a kol., 2005).

4.5 Kořenové čistírny odpadních vod

Kořenové čistírny odpadních vod převzaly své jméno z anglického „Root Zone Method“, což bylo původně pojmenování umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním průtokem (Brix, 1987). Mají svou tradici již více než 40 let a stávají se čím dál více populárními v ČR i ve světě. Dle mezinárodní terminologie jsou KČOV řazeny do skupiny umělých mokřadů s podpovrchovým průtokem (Vymazal, 2009). Průtok je možno projektovat buď horizontálně nebo vertikálně (Kadlec a Wallace, 2009, Vymazal, 2011). Typ s horizontálním průtokem je budován častěji. Další rozdíl je také v systému přítékání odpadní vody. Do horizontálního systému přitéká voda kontinuálně, zatímco do vertikálního je voda dávkována přerušovaně (Vymazal, 2016).

Zkušenosti s KČOV potvrdily vysoký stupeň odstraňování organických a nerozpuštěných látek. Odstraňování dusíku, hlavně amoniakálního, a fosforu je nižší, proto pokud je odstranění těchto nutrientů primárním cílem čištění, nejsou KČOV vhodným řešením (Vymazal, 2009).

Hlavním principem je protékání odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadními rostlinami. Při kombinaci chemických, fyzikálních a biologických procesů dochází k odstraňování znečištění (Vymazal, 2004).

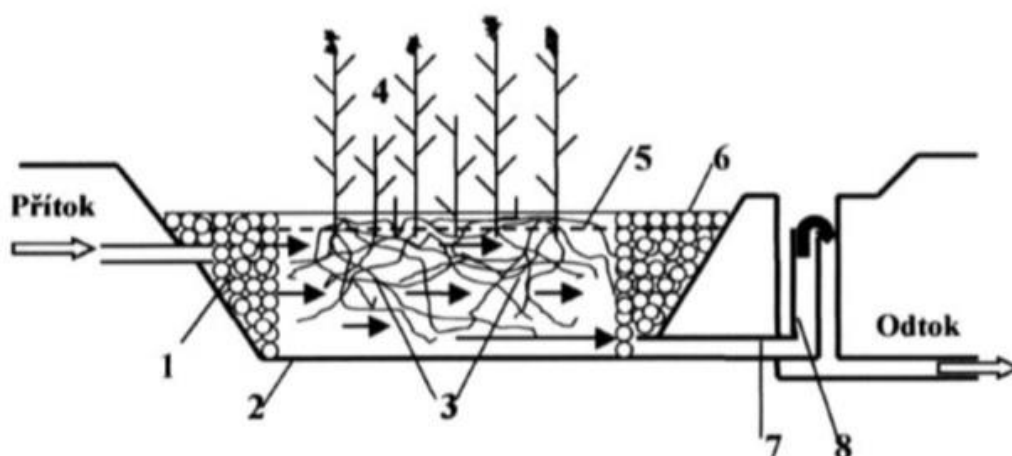
Před samotnou kořenovou čistírnou je vždy nutné zařadit mechanické předčištění. Pro malé domovní čistírny postačuje biologický septik a pro obce např. česle, usazovací nádrže, lapáky písku. Samotné filtrační lože je cca 60 až 80 cm hluboké (na plochu je ovšem náročnější (Pošta a kol., 2005)).

Volba filtračního materiálu je základem pro úspěšné čištění. Musí splňovat dvě základní podmínky – dostatečná propustnost (hydraulická vodivost) a musí být umožněn růst mokřadní vegetaci (Vymazal, 1995). Jak celé technologické fungování KČOV, tak i volba filtračního materiálu prošla za posledních cca 40 let změnou.

Nejdříve byly voleny lokální zeminy. Ty byly velice těžké a příliš jílovité, a proto docházelo velice často k ucpávání filtračního lože. Později v 80. letech minulého století se začal ve Velké Británii užívat hrubý štěrk (praný štěrka, drcené kamenivo, kačírek), který se používá do dnes (Vymazal, 2009).

Rozvodné a sběrné zóny, jsou vyplněny hrubým kamenivem (50 – 200 mm), aby byla voda rozváděna stejnoměrně po celém profilu nátokové hrany. Od země je filtrační lože izolováno nejčastěji plastovou fólií. Celý proces je znázorněn na obrázku 1.

Hloubka lože je odvozena od délky kořenů rákosu obecného, který je v Evropě nejpoužívanější rostlinou k osázení mokřadních polí (Vymazal, 2011). Teorie o hlavním významu vegetace u kořenových čistíren byly různé. Poslední poznatky ukazují, že jejich účel spočívá hlavně v ochraně filtračního tělesa před teplotními extrémy, ve vytváření členitějšího podpovrchového prostředí pro rozvoj organismů a v neposlední řadě ve zlepšování vzhledu čistírny (Pošta a kol., 2005). Dle Vymazala, 1995 je důležité zmínit, že rostliny nebyly nikdy na KČOV vysazovány za účelem odčerpávání živin. V České republice je nejrozšířeněji užívaný rákos obecný (*Phragmites australis*) a poté také lesknice rákosovitá (*Phalaris arudinacea*) (Vymazal, 2013).



Obr. 1 Typické uspořádání kořenové čistírny s horizontálním průtokem.

1 – distribuční zóna, 2 – nepropustná fólie, 3 – filtrační materiál, 4 – vegetace, 5 – výška vodní hladiny, 6 – odtoková zóna, 7 – sběrná drenáž (obsahuje kamenivo), 8 – regulace výšky hladiny

Zdroj: Vymazal, 2016

4.5.1 KČOV s vertikálním podpovrchovým průtokem

Kořenové čistírny s vertikálním prouděním se dají ještě dále dělit na systémy s prouděním směrem dolů a směrem vzhůru (Šálek a kol., 2006). Tento druh vertikálních umělých mokřadů je většinou 1,0 až 1,2 m hluboký. Voda je přerušovaně přiváděna na povrch lože a každé další čerpání následuje až když se lože vyprázdní. Poté prosakuje několika vrstvami (písek, štěrk) a nakonec je na dně sbírána drenážními trubkami a odváděna pryč ze systému. Ve své podstatě je tento princip shodný se zemní filtrací. Čistící systém je navrhován s několika loži, která jsou střídavě zaplavována a vysoušena. Tím dochází střídavě k oxidačním a redukčním dějům a také k lepší eliminaci dusíku.

Čistírny s vertikálním průtokem byly původně navrženy pouze jako předčištění před kořenovými čistírnami s horizontálním průtokem. V současné době se vertikální umělé mokřady budují i jako samostatné čistící jednotky. V literatuře je pro ně používán pojem vertikální systémy „2. generace“ nebo „kompaktní vertikální systémy“. Většina jich je navržena jako malé domovní čistírny. Jsou využívány pomálu např. v Nizozemí a ve Francii (Vymazal, 1995; Vymazal, 2016).

4.5.2 KČOV s horizontálním podpovrchovým průtokem

Tento koncept byl vyvinut v 70. letech v Německu a první KČOV v České republice byla uvedena do provozu v roce 1989 (Vymazal, 2009). Od té doby jsou budovány stále častěji a nyní jejich počet v ČR dosahuje několika stovek. Jejich dokumentace je tím pádem dokonalejší.

Základní princip těchto systémů tkví v horizontálním průtoku odpadní vody propustným materiálem, který je obsažen v loži a je osázen mokřadními rostlinami. Voda tvoří souvislou hladinu, jejíž výšku je možné regulovat pomocí zařízení umístěném v regulační šachtě. Hlavní mechanismy eliminující znečištění jsou filtrace, sedimentace a zvláště pak mikrobiální aktivita. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k ucpávání. Je vhodné materiály nemíchat a používat vždy pouze jednu frakci aby nedocházelo k vytváření zkratkových proudů. (Vymazal, 2016, Šálek a kol., 2006)

5 Klasické způsoby čištění

5.1 Aktivace

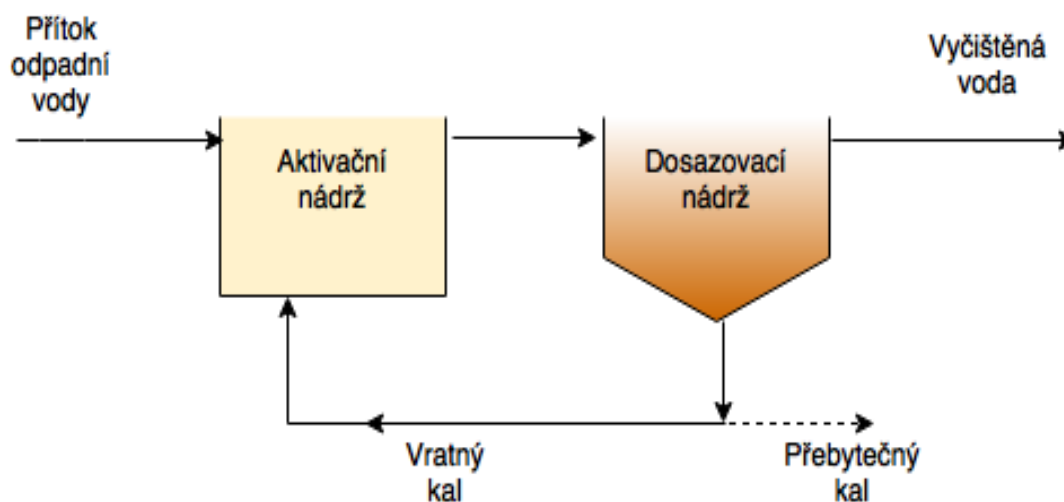
Jak již bylo řečeno, biologické čištění odpadních vod je ve své podstatě zintenzivněný proces samovolného čištění vody probíhající v přírodě. Tento proces se nazývá aktivační a je využíván aktivačními čistírnami.

Proces se skládá z mechanického předčištění, samotného biologického čištění (aktivační proces) a dočištění. V první fázi jsou užívány lapáky šterku, písku a tuků a česle. Dále následuje usazovací nádrž a samotný aktivační proces, jenž je složen z aktivační a dosazovací nádrže. Podmínkou, která musí být nutně dodržena, je dostatečné množství kyslíku (provzdušňování) potřebné k zajištění aerobního prostředí. Dále je nutné zajistit dostatečný styk biomasy s odpadní vodou (Pytl a kol., 2012).

Aktivační proces neboli aktivace je nejstarší a nejvyužívanější metoda biologického čištění odpadních vod (Ardern a Lockett, 1914). Jde o jediný druh kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách vůbec. V dnešní době už je možné aktivační proces podrobovat různým modifikacím, dle potřebných zátěžových parametrů např. stáří kalu, zatížení kalu nebo doba zdržení odpadní vody (Pytl a kol., 2012).

Schéma procesu, který je znázorněn na obrázku 2, se skládá z vlastní biologické jednotky - aktivační nádrže a z jednotky separační - dosazovací nádrže. Celý proces probíhá následovně: Surová nebo odsazená odpadní voda přitéká do aktivační nádrže, kde je smíšená s recirkulovaným (vratným) aktivačním kalem. Zde se směs intenzivně po dobu několika hodin provzdušňuje tlakovým vzduchem nebo aerátory. Pokud odpadní voda neobsahuje žádné toxické látky je možno smíchat odpadní vodu s vratným kalem ještě před přivedením do aktivační nádrže, v opačném případě je velice důležité přivádět je do nádrže samostatně. Když směs opustí aktivační nádrž, přechází do separační nádrže, kde se aktivovaný kal separuje od vyčištěné vody. Aktivovaný kal se recirkuluje zpět na začátek celého procesu. Je jasné, že takováto eliminace organických látek má za následek stálý vznik nové biomasy. Ta se ze systému musí pravidelně odstraňovat, nazývá se přebytečný aktivovaný kal (Chudoba a kol.,1991).

Aktivační proces dostal své jméno jednoduše proto, že se kal chová v aktivační nádrži aktivně při odstraňování znečištění. Během posledních dvaceti let byli vyvíjeni aktivační systémy schopné odstranit fosfor a dusík, zvyšovala se účinnost čištění a zároveň se zmenšoval záběr stavební plochy (Šliková, 2014).



Obr. 2 Aktivační proces (Zdroj: <http://jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/aktivacni-cistirna/>)

5.1.1 Aktivovaný kal

Složení aktivovaného kalu je ponecháno samovolné stabilizaci podle složení odpadní vody. Kvalita i kvantita kalu je tedy závislá především na typu substrátu, na kterém byl vypěstován, ale i na hodnotách zátěžových parametrů (Sojka, 2001). Nejdůležitější skupiny vyskytující se v aktivovaném kalu jsou bakterie rodu *Zoogloea uva* a *Zoogloea ramigera*, které tvoří pomyslnou kostru kalu. Dále jsou přítomny nálevníci či vířníci a jiné druhy bakterií (denitrifikační, poly-P bakterie). Aktivovaný kal má další vlastnost, díky které je schopen se od kapalně fáze oddělit prostou sedimentací. Výborná flokulace a sedimentace je jednou z nejcennějších vlastností této uměle připravené směsné kultury (Tuček, 1977).

5.2 Biofiltry

Biofiltr neboli biologická kolona se řadí mezi aerobní čistící procesy a je jedním z nejstarších způsobů čištění odpadních vod. Ve své podstatě je to válcová zděná nebo betonová nádrž, která má dvě dna. Na prvním nepravém dně (roštu) je uložen přírodní materiál s výškou 3 až 4 m (kamenivo, strusky), jako nosič biologického filmu. Ačkoli v posledních letech se začínají uplatňovat spíše umělé materiály. Na povrchu se vytvoří nárost, tvořený směsnou kulturou organismů, který se stává hlavním čistícím činitelem. Aerace procesu je řešena buď přirozenou cestou (komínový tah), nebo nuceně (dmýchání vzduchu). Otvory pro přístup vzduchu se nacházejí pod úrovní roštového (nepravého) dna. Mechanicky předčištěná odpadní voda se na povrch materiálu rozstříkuje otáčivými skrápěči. Voda stéká po náplni a nechává na ní tenkou vrstvičku. Ta absorbuje kyslík ze vzduchu proudícího mezi mezerami materiálu a umožňuje tak fungování metabolismu organismů. Voda protéká nepravým dnem přímo na pravé dno filtru. Z něho je pak vedena odtokovým žlábkem ven obvykle do dosazovací nádrže. Část vody bývá vrácena zpět do procesu, aby se snížila vstupní koncentrace znečištění (Pošta a kol., 2005, Pytl a kol., 2012).

5.3 Biodisky

Rotační biofilmové reaktory, neboli biodisky pracují na podobném principu čištění jako skrápěné biofiltry. Jsou určeny primárně pro malé a domovní čistírny odpadních vod. Tato technologie má velice jednoduchou údržbu, obsluhu i nízkou spotřebu energie.

Hlavním čistícím činitelem je opět směsná kultura mikroorganismů. Ta tvoří povlak neboli biofilm o tloušťce cca 3 mm na ploše pomaloběžných rotačních disků. Hlavní čistící jednotkou je tedy soustava disků umístěná na vodorovné hřídeli. Pouze část otáčejících se disků je ponořena v odpadní vodě. Biofilm je tedy v pravidelných intervalech vystaven jak odpadní vodě, tak vzduchu. Odpadní voda je zdrojem živin pro biomasu a při vynoření disků z vody se k organismům dostává kyslík. Odumřelá biomasa se díky neustálé rotaci uvolňuje a je odváděna společně s vyčištěnou vodou do dosazovací nádrže, kde sedimentuje (Pytl a kol., 2012).

Rotační disky jsou většinou vyrobeny z plastů a jsou velké od 0,5 do 3 m. Vzdálenost mezi nimi je cca 35 mm. Rychlost otáčení je nastavena na 3 až 6 otáček za minutu. U biodiskových jednotek, oproti biofiltrům, není nutné zajišťovat recirkulaci části vody ale je nutné udržet teplotu vody nad 8° C. Méně častou verzí je použití klecové konstrukce, kde se místo disků otáčí v odpadní vodě klec naplněná sypaným materiálem (Pošta a kol., 2005, Pytl a kol., 2012).

6 Metodika

Data získaná na všech ČOV zmíněných v této práci a použitá v kapitole Výsledky jsou získána od anonymního zdroje, který si nepřeje být zmiňován. Stejně tak oficiální názvy čistíren jsou na přání majitele či provozovatele utajeny. Frekvence měření dat na jednotlivých ČOV je různá. Většinou se provozovatel snaží odebírat vzorky pravidelně 4x ročně. Ovšem v některých případech je hodnota na přítoku nebo na odtoku nezměřena nebo naopak pro kontrolu správného fungování systému je měření prováděno častěji (např. při krizových situacích). Tato skutečnost ovlivňuje i množství dat použitých v této práci, která jsou sesbírána od roku 2012 do roku 2017.

6.1 Aktivační čistírna odpadních vod A

První ze sledovaných aktivačních čistíren „A“ je projektována na 350 EO. Ve skutečnosti je připojeno cca 340 EO. Recipientem je říčka Smutná. V provozu je od roku 2005. Svým vybavením není tak zcela z nejmodernějších čistíren. Tato čistírna je dvoulinková, tzn. že jsou zde dvě aktivační linky. V obci se nachází 4 podobné aktivační čistírny, proto na tu to ČOV připadá odpadní voda jen z pár nejbližších rodinných domů. Čerpání vody na ČOV je řešeno pouze gravitačním spádem gravitační jednotnou kanalizací. Není zde prováděn žádný terciální stupeň čištění ani chemické srážení fosforu.

Součástí mechanického předčištění jsou hrubé česle (na obr. 3). Nečistoty, které česle zachytí, jsou cca dvakrát týdně vybírány pracovníkem. Ten dojíždí v pravidelných intervalech na tuto ČOV provádět odběry vzorku a kontrolu správného fungování celého systému.



Obr. 3 Aktivační čistírna A: Hrubé česle

Dále je voda přiváděna do kruhového lapáku písku (obr. 4), kde je eliminován písek a jiné nečistoty podobné velikosti. Lapák je umístěn ve čtvercové dosazovací nádrži (také obr. 4), ve které dochází k separaci nadbytečného kalu. Dosazovací nádrž zajišťuje vysokou kvalitu vody na odtoku.



Obr. 4 Aktivační čistírna A: Lapák písku v dosazovací nádrži

Poté nastává vlastní aktivační proces (obr 5), v aktivační nádrži. Ten je provzdušňován jemnobublinným aeračním zařízením. Obr. 5 zachycuje aktivační proces se spuštěnou aerací. Za normálních podmínek je systém nastaven tak, aby se aerace spouštěla automaticky ve stanovených intervalech.



Obr. 5 Aktivační čistírna A: Aktivační proces se spuštěnou aerací

Na konci procesu je zařazena uskladňovací nádrž, kam je odváděn přebytečný kal (obr. 6). Na fotografii je uskladňovací nádrž prázdná, z důvodu nedávného vyprázdnění a odvozu kalu. Odvodnění kalu probíhá na jiné ČOV.



Obr. 6 Aktivační čistírna A: Uskladňovací nádrž na přebytečný kal

Pravidelná obsluha provozu ČOV si vyžaduje jednoho pracovníka, který pravidelně dojíždí na místo. Jeho úkolem je odstranit nečistoty zachycené na česlích, udělat odběr vzorku a hodnoty pak následně zapsat do archu (obr. 1, přílohy). Na

fotografii 2, přílohy je možné vidět pomalé usazování kalu ve vzorku 1 l vody (po cca 20 minutách). Takto pracovník vyhodnotí objem kalu ve vodě.

Na obr. 3, přílohy je vyfocena měrná šachta společně s měrným zařízením značky FIEDLER verze M 2001. Na základě paprsku odrážejícího se od hladiny měrné zařízení posílá informace o výšce hladiny a průtoku do zobrazovací jednotky připevněné na stěně v objektu ČOV (Obr. 4, přílohy).

6.2 Aktivační čistírna odpadních vod B

Druhá sledovaná aktivační čistírna „B“ je v provozu od roku 1993, avšak v roce 1998 prošla rekonstrukcí. I přes to se tato čistírna řadí spíše ke starším typům. Projektovaný počet EO je 300. Ve skutečnosti je hodnota EO pouze 125. Kanalizace je oddílná a voda je přiváděna na ČOV pouze gravitací. Terciální stupeň čištění ani chemické srážení fosforu na této ČOV neprobíhá. Pro uskladňování kalu je na lince vybudována kalová jímka. Recipientem je Stříbrný potok.

Mechanické předčištění formou hrubých česlí (obr. 7) je vybudováno mimo budovu, v které se nachází samotná aktivační jednotka. Česle jsou vybírány ručně v pravidelných intervalech. Dále je také vedle česlí venku vybudovaný lapák písku (Obr.8).



Obr. 7 Aktivační čistírna B: Hrubé česle



Obr. 8 Aktivační čistírna B: Lapák písku

Uvnitř budovy je umístěna kruhová dosazovací nádrž s vertikálním průtokem (Obr. 9). Ta, stejně jako u aktivační čistírny „A“, přispívá k vysoké kvalitě vody na odtoku.



Obr. 9 Aktivační čistírna B: Kruhová dosazovací nádrž

Dále následuje samotný aktivační proces (obr. 10), který tentokrát probíhá pouze na jedné lince, ovšem zcela stejným způsobem jako na čistírně „A“.



Obr. 10 Aktivační čistírna B: Aktivační linka

Určitým kladem této aktivační ČOV je měrné zařízení značky FIEDLER verze M 4016. V měrné šachtě je stejným způsobem zabudované měrné zařízení, které na základě odrážejícího se paprsku měří hladinu a průtok vody. Na stěně u vstupních dveří do budovy je nainstalovaná zobrazovací jednotka. Rozdíl oproti verzi M 2001, která je používána na aktivační čistírně „A“, je takový, že jednotka dokáže zasílat data přímo do centrály firmy. Pracovník provozu si může zkontrolovat data díky nainstalovanému programu v počítači a není tedy nutno aby dojížděl na kontrolu ČOV fyzicky.

6.3 Kořenová čistírna odpadních vod C

První sledovaná kořenová čistírna „C“ je v provozu od května roku 2011. Byla projektována na 110 EO, avšak aktuálně je k ní připojenou pouze 50 EO. Ideální doba zdržení vody je 6–14 dnů. Na ČOV přitéká voda jen z několika málo rodinných domů.

KČOV se skládá z mechanického předčištění, které je u kořenových čistíren velice důležité, formou hrubých česlí (Obr. 11) a lapákem písku (Obr. 12). Česle nejsou mechanické, proto je nutné je dvakrát týdně ručně vybírat. Na zachycené nečistoty je zde připravena popelnice, která je jednou týdně vyvážena.



Obr. 11 Kořenová čistírna C: Hrubé manuální česle



Obr. 12 Kořenová čistírna C: Lapák písku s horizontálním průtokem

Za lapákem písku je vybudovaná štěrbinová nádrž s horizontálním průtokem (Obr. 13), kde se usazuje kal.



Obr. 13 Kořenová čistírna C: Štěrbinová nádrž

Propojovacím potrubím je voda následně přiváděna do vlastních kořenových filtrů (Obr. 14). Ty mají celkovou plochu 643 m². Fotografie 14 pochází z období počátku března. Tomu odpovídá i stav vegetace. Jelikož rostliny ochraňují filtrační

těleso před teplotními extrémy je vegetace ponechávána neposekaná přes celou zimu. Filtrační lože jsou osázena hlavně chřasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*), orobincem širokolistým (*Typha latifolia*) a rákosem obecným (*Phragmites australis*).



Obr. 14 Kořenová čistírna C: Filtrační lože

Poslední v řadě je vybudována měrná šachta (Obr. 15), odkud jsou brány vzorky vody a voda odtud odtéká do recipientu, kterým je stoka z rybníka Lesný.



Obr. 15 Kořenová čistírna C: Měrná šachta

Dle rozhovoru s pracovníkem provozu se na této KČOV ucpala některá z částí propojovacího potrubí, a proto dochází k občasnému zaplavení některých částí filtračního pole (Obr. 5, přílohy). Tato skutečnost značí špatné technické provedení rozvodné sítě. Nyní se nabízí otázka, zda je ekonomicky výhodnější KČOV opravit nebo zde vybudovat klasickou aktivační ČOV, kterým se v dnešní době dává přednost. Je nutno zmínit, že rekonstrukce KČOV je náročná svým technickým provedením i finančně.

6.4 Kořenová čistírna odpadních vod D

Druhá vegetační kořenová ČOV „D“ byla navržena na 400 EO. Ve skutečnosti je na ní připojeno pouze 42 EO. Je v provozu od června roku 2011 a přitékají sem odpadní vody z celé obce. Přitékající vody mají charakter méně koncentrovaných splaškových vod vlivem stávajících septiků. Pro čištění objektů a kropení zeleně je vybudována skružová studna s ponorným čerpadlem a hadicovým rozvodem - nepitná voda pouze pro kropení. Technologie čištění v kořenové ČOV je bez nároků na el. energii a elektrický přívod je zde vybudován pouze pro čerpadla a osvětlení. Objekty ČOV jsou založeny do násypu, kořenová pole jsou zajištěny proti záplavám z přilehlého potoka ochranou hrázkou.

Navržená a vybudovaná ČOV pracuje na principu mechanického předčištění v lapáku písku (Obr. 16) a v jemných česlích. Následuje štěrbínová nádrž s biologickým dočištěním v kořenových polích o 4 ložích s celkovou plochou 2520 m² (4 x 630 m²) (Obr. 17). Ta jsou osázena převážně orobincem širokolistým (*Typha latifolia*), kyprej vrbicí (*lythrum salicaria*) a v neposlední řadě chrasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*).



Obr. 16 Kořenová čistírna D: Lapák písku



Obr. 17 Kořenová čistírna D: Kořenová lože

Vegetace je ponechávána na loži i přes zimu, kvůli termoregulaci. Porovnat vegetaci v sezoně (červenci) a během zimního období (únor) je možné na fotografiích 6 (přílohy) a 7 (přílohy).

Dle vyhodnocení zkušebního provozu z roku 2011 tato ČOV plní s vysokou účinností svůj účel – čištění odpadních vod a přispívá tak ke zlepšování životního prostředí.

7 Výsledky

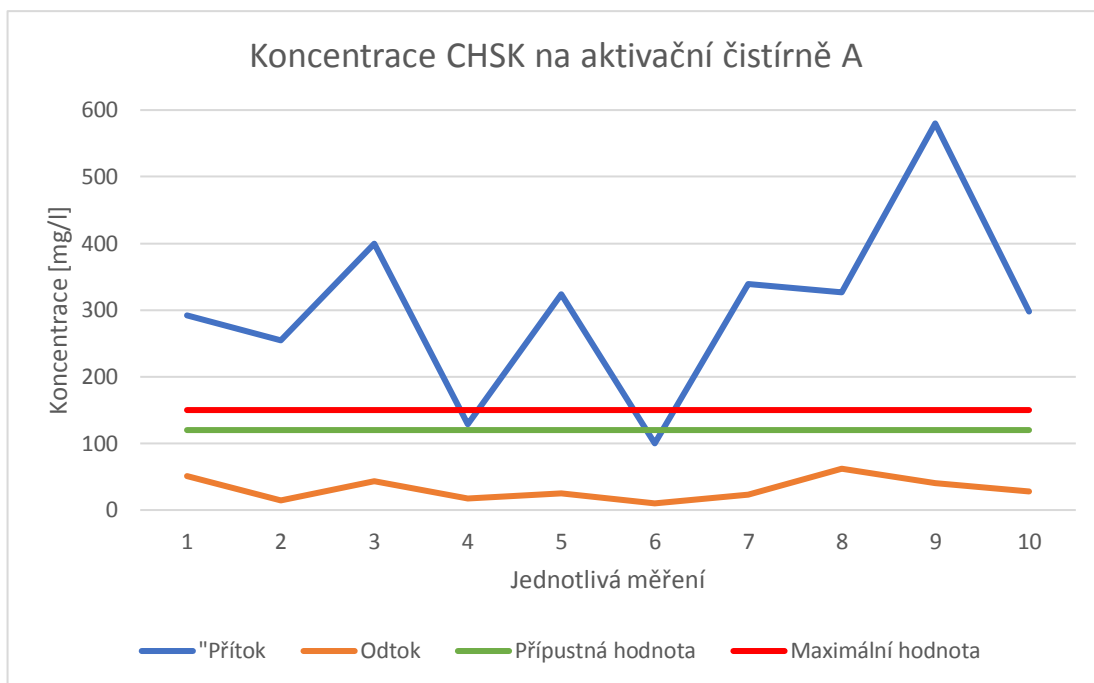
Všechny naměřené hodnoty přítoků i odtoků byly poskytnuty společností, která si přeje být anonymizována, a byly mi dány plně k dispozici. Pro potřeby této práce jsem analyzovala a zpracovala data za období od roku 2012 do roku 2017.

Každý z grafů v této práci obsahuje křivku značící koncentraci sledovaného parametru na přítoku a odtoku. Dále jsou v grafech zvýrazněny přípustné a maximální limity stanovené pro každou čistírnu odpadních vod zvlášť. Hodnoty některých parametrů na přítoku nejsou v grafech vyznačeny z důvodu zachování přehlednosti grafu. Primárním ukazatelem by měla být schopnost čistírny odstraňovat sledované parametry do hodnoty přípustné a maximální. Nejvyšší hodnoty parametrů na přítoku nejsou tedy nejdůležitějším údajem.

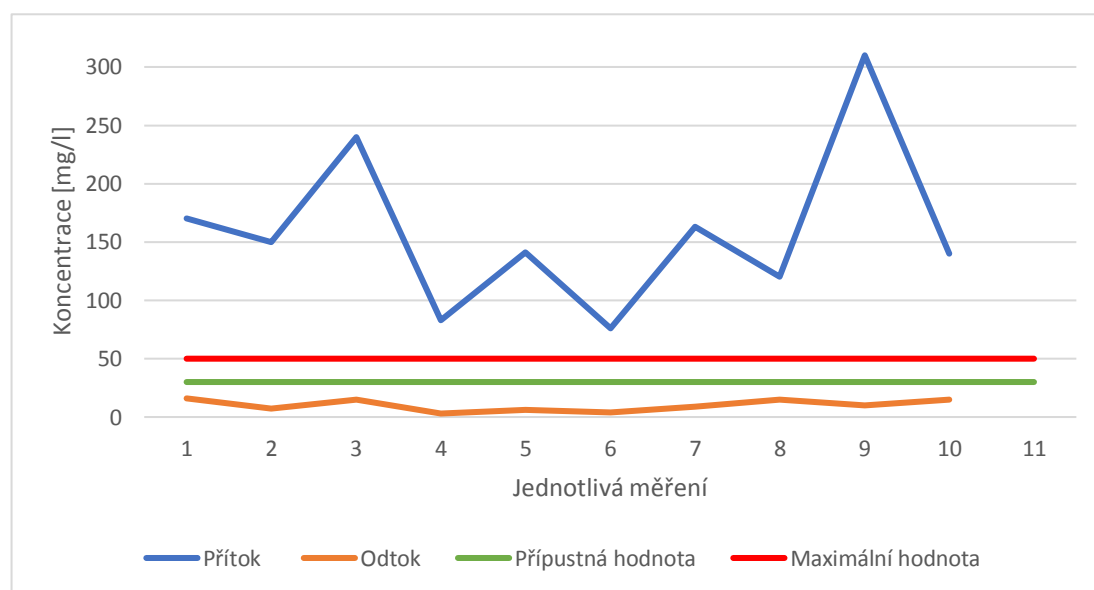
Všechny použité limity pro sledované parametry jsou taktéž poskytnuty nejmenovanou společností. Jsou schváleny a rovněž jsou v souladu s Nařízením vlády č. 401/2015 Sb.

Aktivační čistírna odpadních vod A

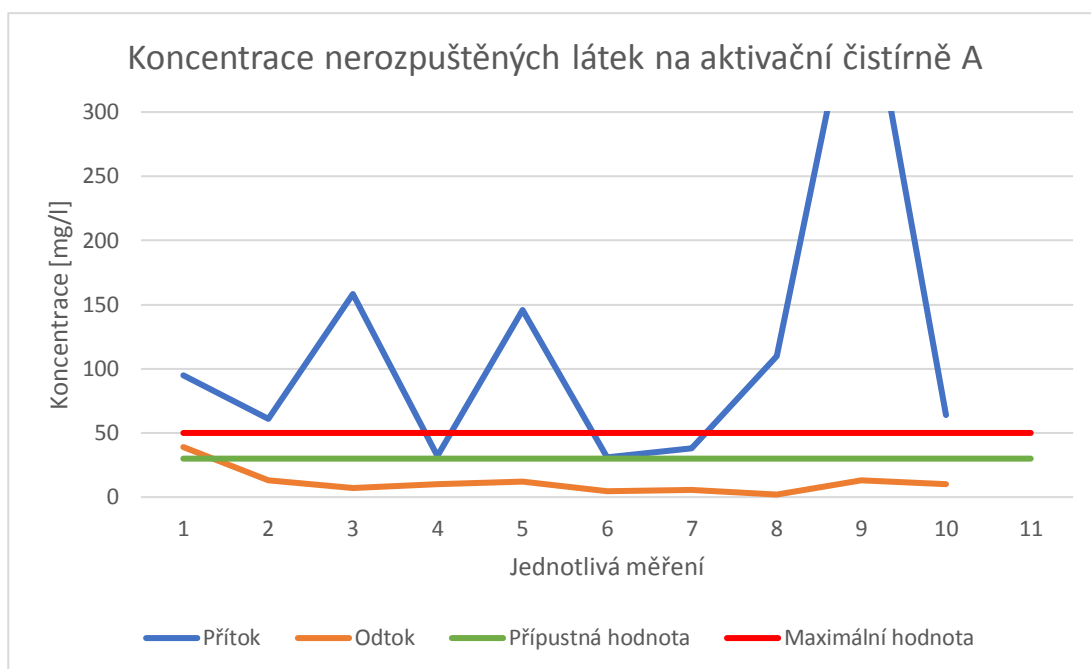
Veškeré hodnoty koncentrací sledovaných parametrů na první aktivační čistírně A (CHSK, BSK₅, NL, amoniak) jsou graficky znázorněny v následujících grafech. Obrázek 18 znázorňuje koncentraci CHSK, obrázek 19 koncentraci BSK₅, obrázek 20 koncentraci nerozpustných látek a obrázek 21 koncentraci amoniaku.



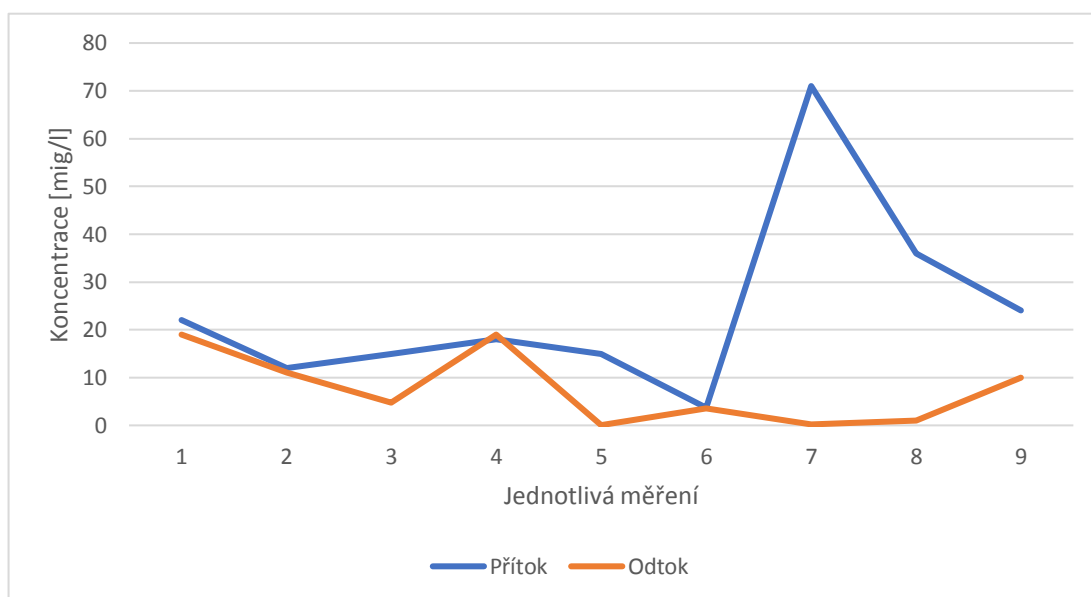
Obr. 18 Koncentrace CHSK na aktivační čistírně A v období od roku 2012 do roku 2016.



Obr. 19 Koncentrace BSK₅ na aktivační čistírně A v období od roku 2012 do roku 2016.



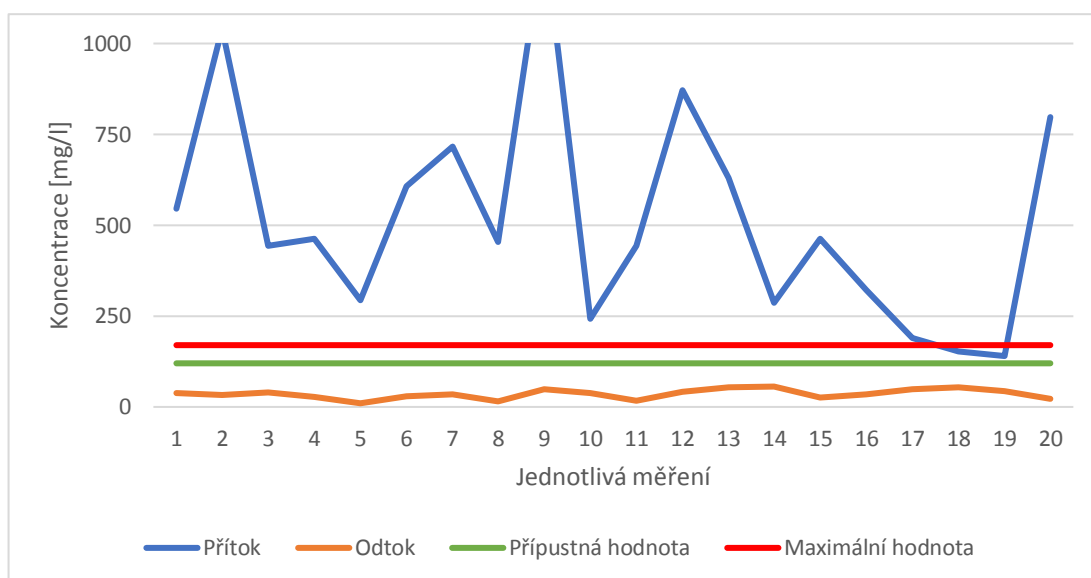
Obr. 20 Koncentrace nerozpuštěných látek na aktivační čistírně A v období od roku 2012 do roku 2016.



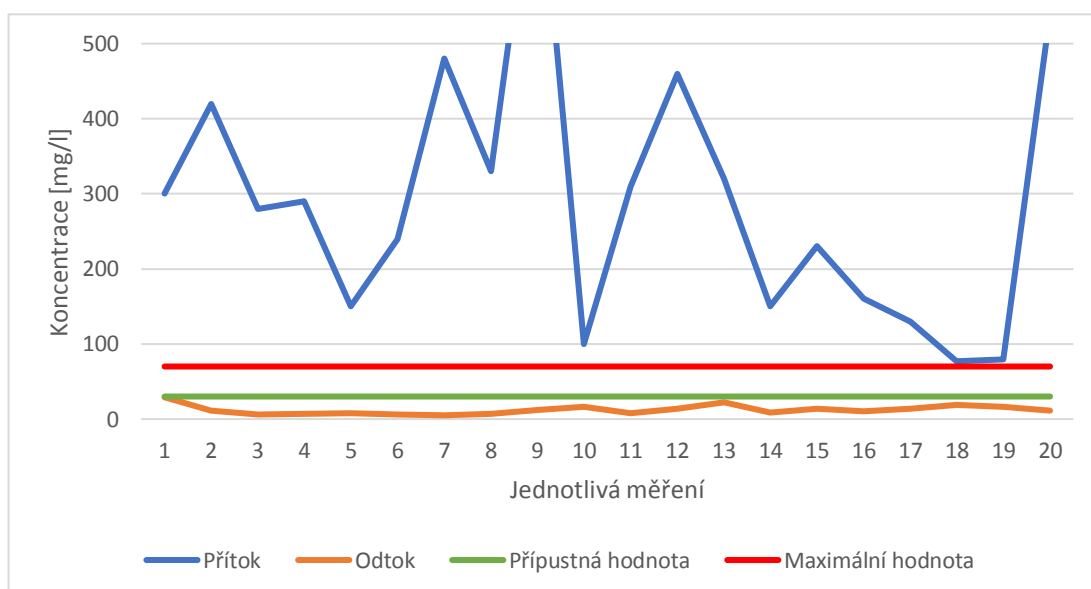
Obr. 21 Koncentrace amoniaku na aktivační čistírně A v období od roku 2012 do roku 2016.

Aktivační čistírna odpadních vod B

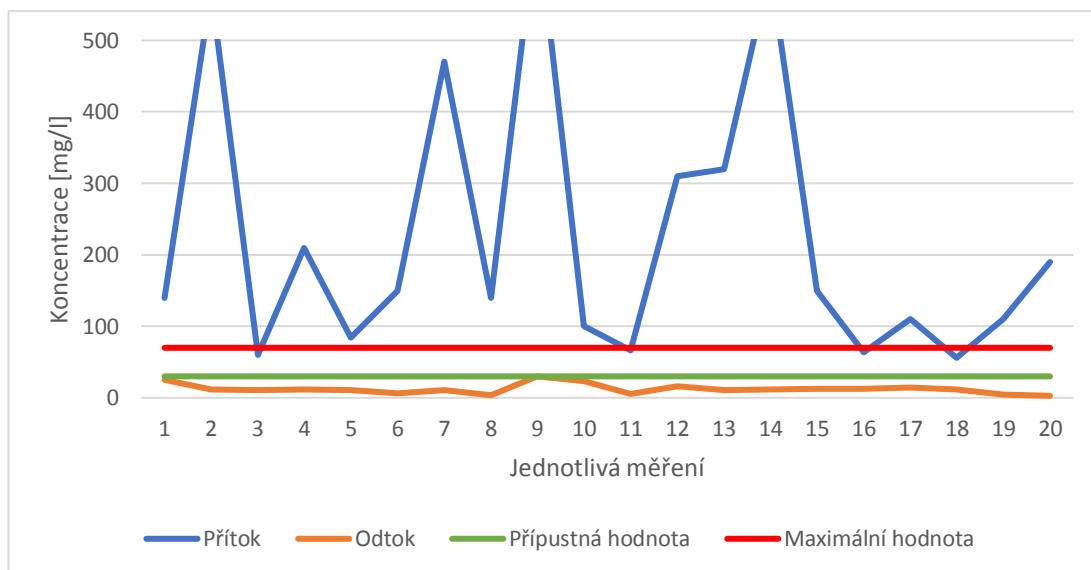
Stejným způsobem jsou i ke druhé aktivační čistírně B znázorněny graficky hodnoty sledovaných parametrů. Obrázek 22 přibližuje koncentraci CHSK, obrázek 23 koncentraci BSK₅, obrázek 24 koncentrace nerozpuštěných látek a obrázek 25 koncentraci amoniaku.



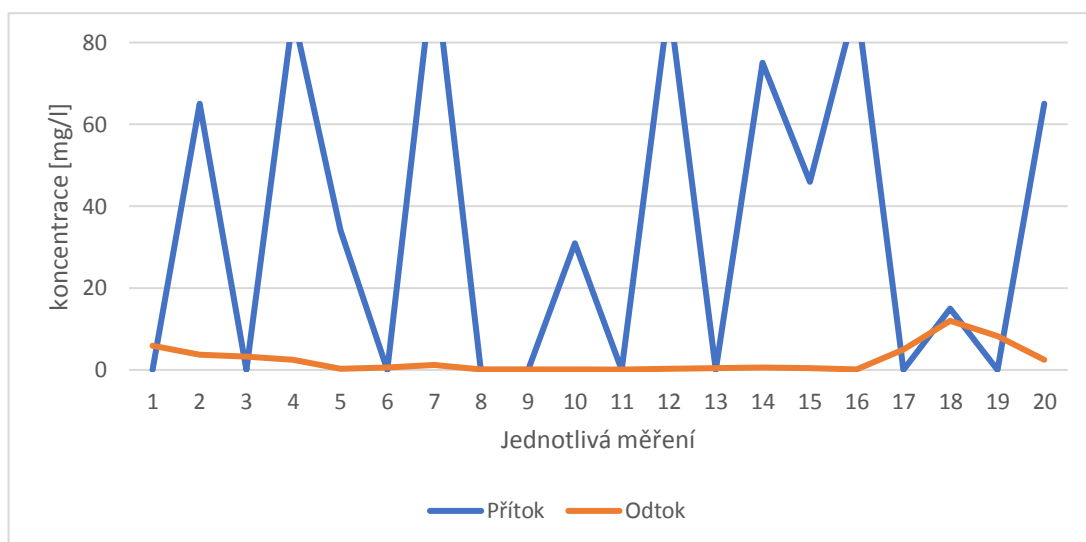
Obr. 22 Koncentrace CHSK na aktivační čistírně B v období od roku 2012 do roku 2016.



Obr. 23 Koncentrace BSK₅ na aktivační čistírně B v období od roku 2012 do roku 2016.



Obr. 24 Koncentrace nerozpuštěných látek na aktivační čistírně B v období od roku 2012 do roku 2016.

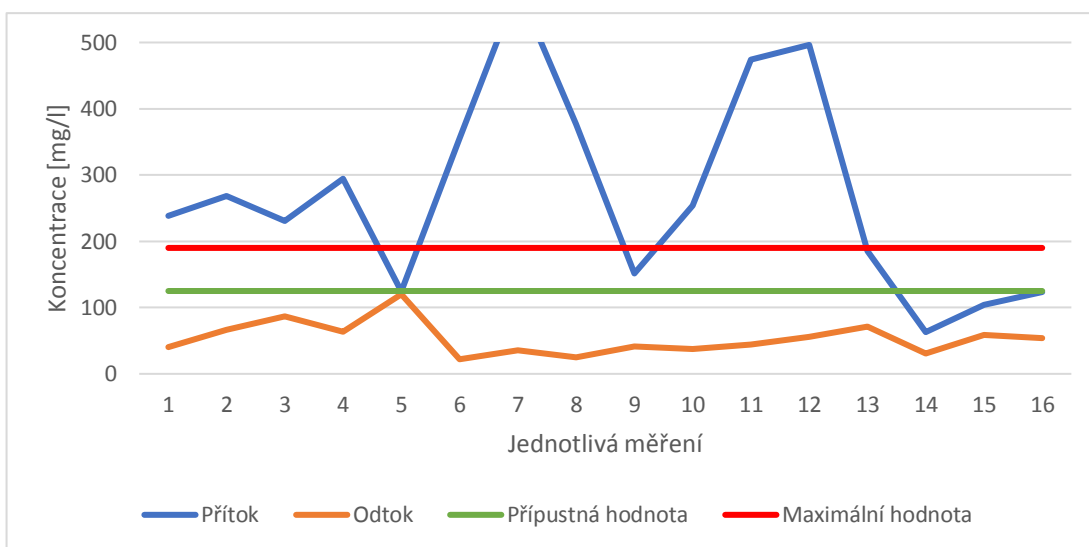


Obr. 25 Koncentrace amoniaku na aktivační čistírně B v období od roku 2012 do roku 2016.

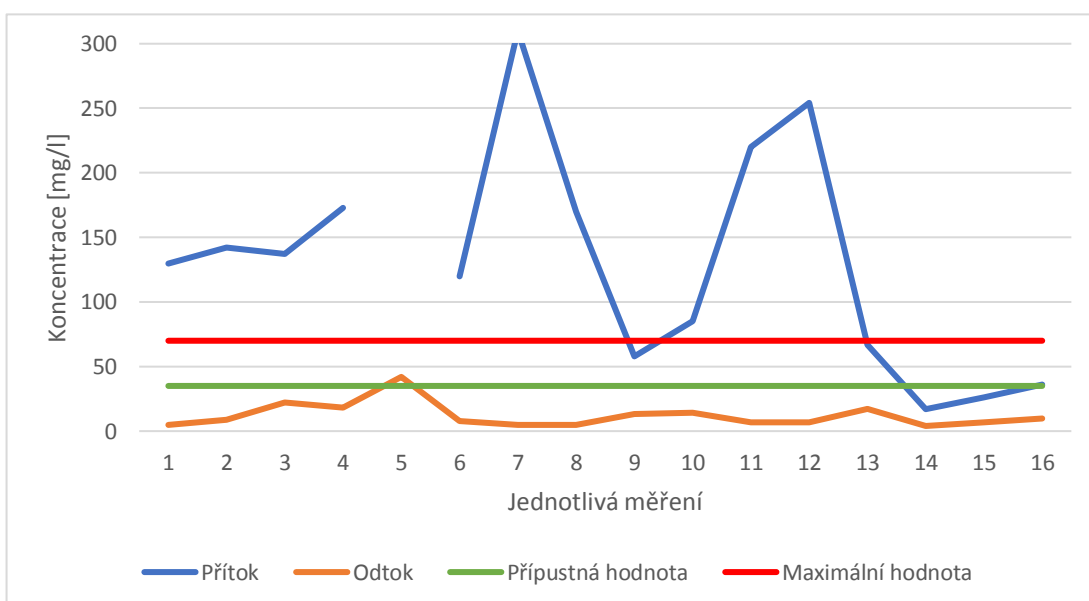
Kořenová čistírna odpadních vod C

První kořenová čistírna byla zpracována zcela stejným způsobem jako obě aktivační čistírny. Na této ČOV ovšem není v rámci pravidelných vzorků měřena hodnota amoniaku, proto graf koncentrace amoniaku chybí. Obrázek 26 znázorňuje

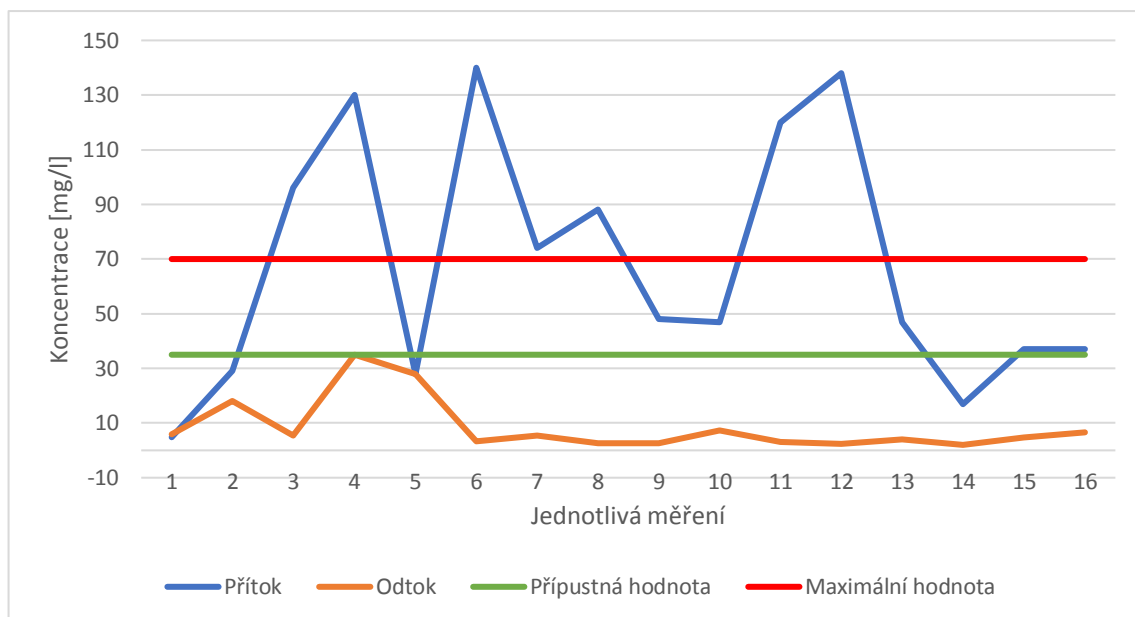
koncentraci CHSK, obrázek 27 koncentraci BSK₅ a obrázek 28 koncentraci nerozpuštěných látek.



Obr. 26 Koncentrace CHSK na kořenové čistírně C v období od roku 2012 do roku 2016.



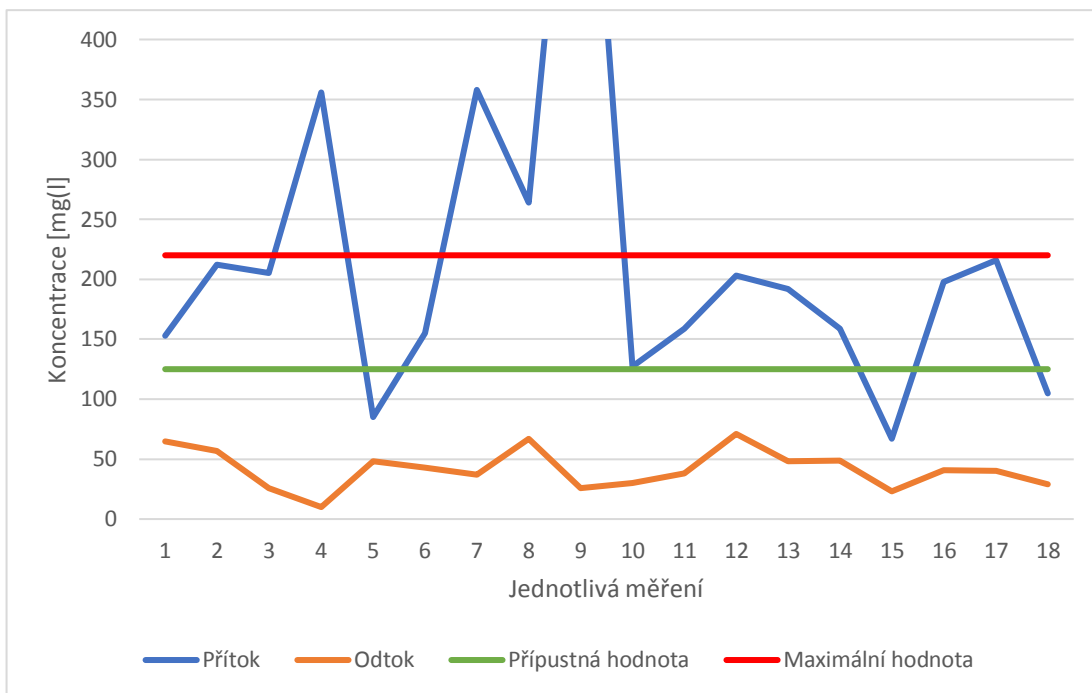
Obr. 27 Koncentrace BSK₅ na kořenové čistírně C v období od roku 2012 do roku 2016.



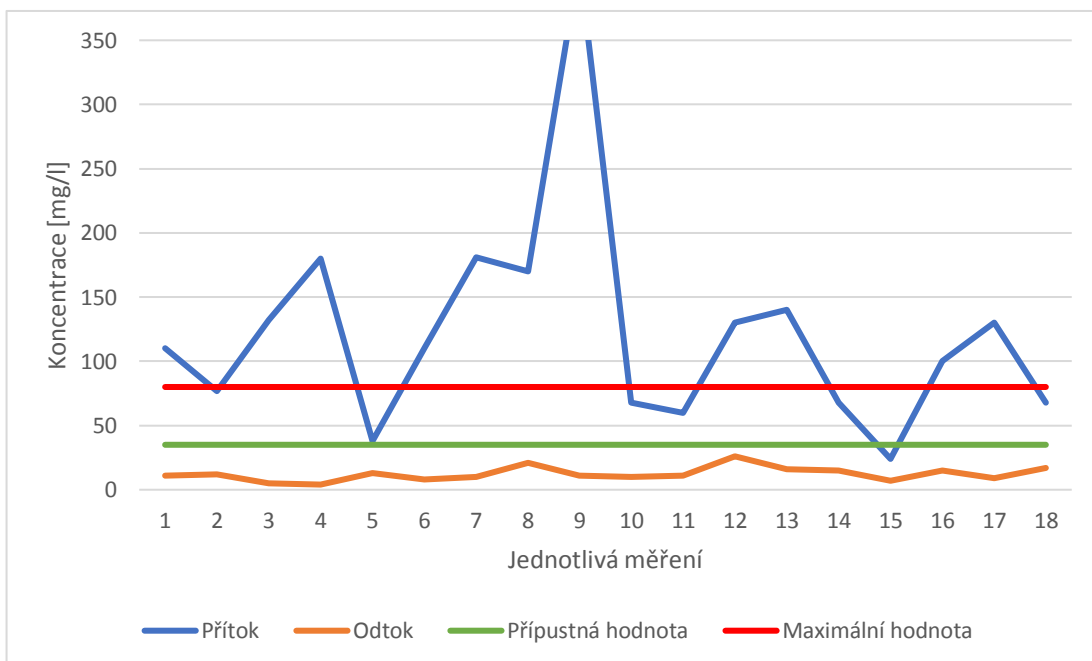
Obr. 28 Koncentrace nerozpuštěných látek na kořenové čistírně C v období od roku 2012 do roku 2016.

Kořenová čistírna odpadních vod D

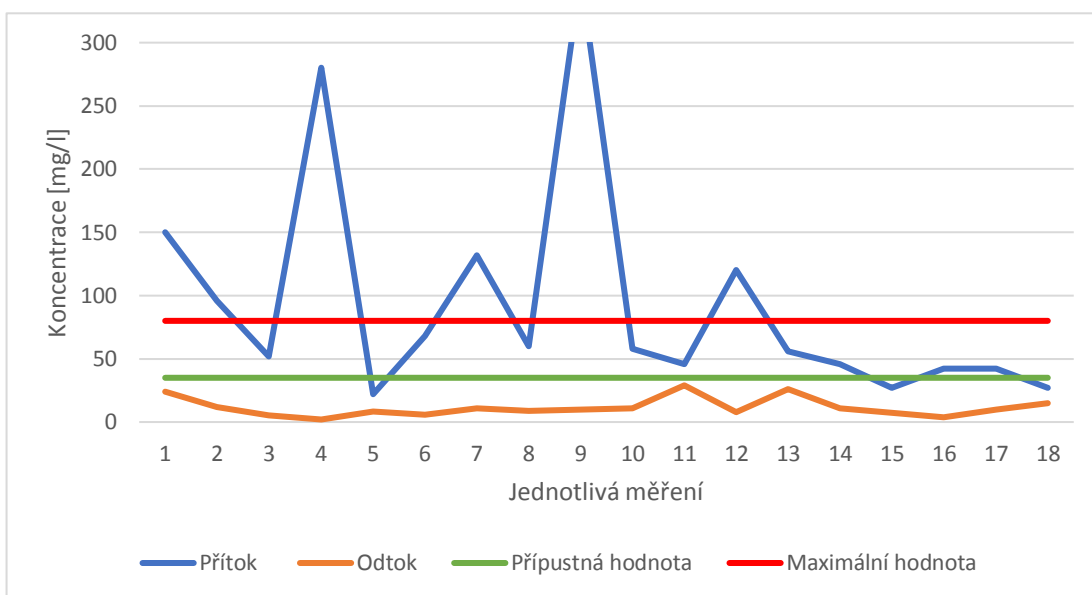
Poslední ze sledovaných čistíren je kořenová D. Grafy opět znázorňují koncentraci CHSK (obr. 29) a její přípustnou a maximální hodnotu, taktéž koncentraci BSK₅ (obr. 30), koncentraci nerozpuštěných látek (obr. 31) a koncentraci amoniaku (obr. 32).



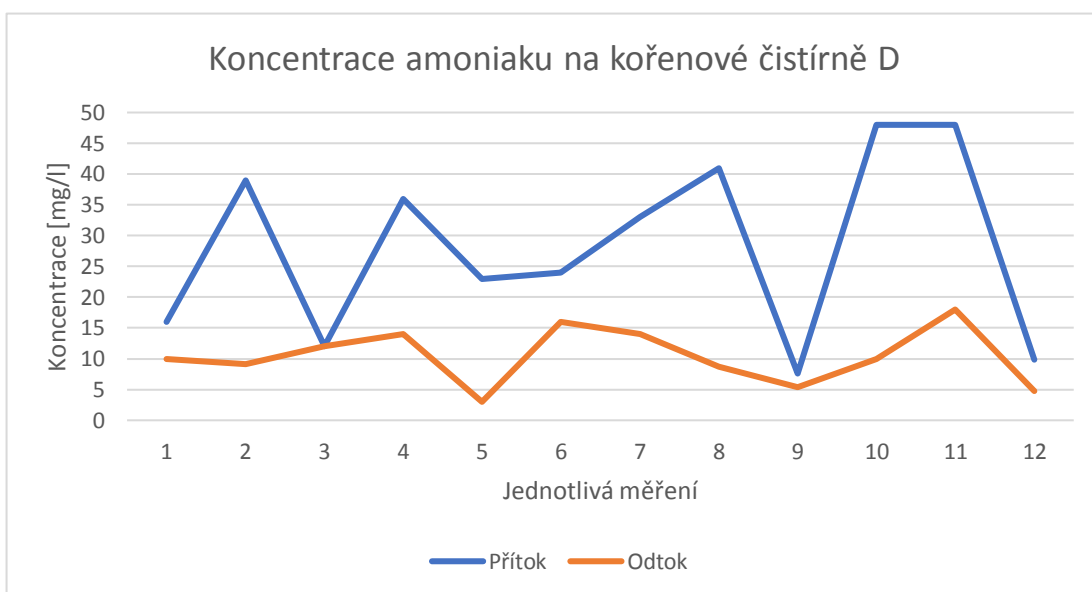
Obr. 29 Koncentrace CHSK na kořenové čistírně D v období od roku 2012 do roku 2016.



Obr. 30 Koncentrace BSK₅ na kořenové čistírně D v období od roku 2012 do roku 2016.



Obr. 31 Koncentrace nerozpuštěných látek na kořenové čistírně D v období od roku 2012 do roku 2016.



Obr. 32 Koncentrace amoniaku na kořenové čistírně D v období od roku 2012 do roku 2016.

8 Diskuze

Dle výsledků z grafické části lze s jistotou usoudit, že všechny sledované parametry na všech čistírnách nepřekračují ani v jednom z případů maximální hodnotu.

Přípustná hodnota byla překročena pouze na aktivační čistírně A, konkrétněji u parametru nerozpuštěných látek. Bylo naměřeno o 9 mg/l více než činí přípustná hodnota. Měření na této ČOV je prováděno 4x ročně a proto, dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb., překročení není považováno za chybné. Ve všech ostatních směrech tato ČOV provádí eliminaci všech parametrů uspokojivě.

Aktivační čistírna B je z pohledu eliminace látek taktéž bezproblémová. Pouze u parametru nerozpuštěných látek se hodnota na odtoku jednou vystoupala na úroveň přípustné hodnoty, nebyla ale překročena, a proto se nejedná o komplikaci.

Po druhé byla přípustná hodnota překročena na kořenové čistírně C u parametru BSK₅, ovšem překročení je zde možné. Měření ukázalo 42 mg/l, přičemž přípustný limit je 35 mg/l. Také došlo ke značným výkyvům u parametru CHSK. Zde byly hodnoty na přítoku 124 mg/l a na odtoku 120 mg/l. Tudíž účinnost v eliminaci CHSK se zmenšila na minimum. Tyto data mohou napovídat o jakékoli technické závadě či jiné kolizi na čistírně. Důležité je zmínit, že při dalších odběrech vzorků byly hodnoty účinnosti zpět na obvyklých cca 90 %. Možnost návratu po případném přerušení zpět k běžnému provozu je považováno za jeden z důležitých pozitivů kořenových čistíren. Důvod absence grafu zobrazující hodnoty amoniaku je, že amoniak není na této ČOV měřen.

Na kořenové čistírně D je prováděno čištění s ještě větší účinností než na předchozí kořenové ČOV. Žádná z hodnot se nepřibližuje maximálnímu ani přípustnému limitu. Amoniak zde měřen je a jeho hodnoty na odtoku jsou kolísavé, kvůli chemickým procesům při čištění.

Z celkového pohledu je eliminace nerozpuštěných látek, CHSK a BSK₅ na aktivačních i kořenových čistírnách dostačující. Aktivační čistírny jsou v účinnosti každého parametru o cca 10 % lepší, což ukazuje tab. 1, kde jsou uvedeny procentuální

účinnosti. Nicméně tento výsledek může být ovlivněn mnoha faktory. Důležité je zmínit, že žádná z čistíren nepřekračuje stanovené limity a plní tak svou funkci pro kterou byly vybudovány.

	Aktivační ČOV			Kořenové ČOV		
	A	B	Průměr	C	D	Průměr
CHSK	88,2	92,4	90,3	75,6	80,2	77,9
BSK ₅	92,5	95,6	94,1	88,4	89,1	88,75
NL	89,4	94,4	91,9	76,5	85,7	81,1
NH ₄ -N	53,58	94,8	74,2	*	62,7	**
Pcelk.	44,1	44,9	44,5	*	50	**

Tab. 1 Procentuální účinnosti jednotlivých ČOV

*Měření tohoto parametru není na ČOV prováděno

** Průměr není možné vypočítat

9 Závěr

Ještě do 70. let 20. století neměly aktivační čistírny odpadních vod v našich ani zahraničních podmínkách konkurenci v odstraňování jak organického znečištění, tak anorganického. V posledních 40 letech vznikl nový trend kořenových čistíren odpadních vod budovaných převážně s horizontálním podpovrchovým prouděním. Nyní jsou předmětem mnoha rozsáhlých diskuzí. Základní otázkou je, zda se kořenové čistírny dokáží v účinnosti vyrovnat již osvědčeným aktivačním.

V této bakalářské práci byla nejprve formou literární rešerše popsána problematika odpadní vody jako takové. Bylo přiblíženo její dělení, složení a ukazatelé znečištění. Dále byl vysvětlen proces mechanického předčištění před samotným vstupem vody do čistícího zařízení. Byli charakterizovány jednotlivé nástroje používané v předčištění společně s jejich praktickým využitím.

V praktické části byly představeny dvě aktivační čistírny a dvě kořenové čistírny a byla porovnána účinnost obou typů čistíren odpadních vod formou

grafického znázornění za období 2012-2017. Bylo provedeno porovnání eliminace čtyř základních parametrů (CHSK, BSK₅, NL a NH₄-N) mezi sebou ale i s platnou legislativou ve formě vodohospodářských rozhodnutí příslušných vodoprávních orgánů. Bylo zjištěno, že aktivační čistírny vykázaly vyšší účinnost při odstraňování BSK₅, CHSK a NL, ale všechny čistírny splňují na odtoku z ČOV koncentrace dané vodohospodářským rozhodnutím. Závěrem je možné konstatovat, že na základě těchto poskytnutých údajů jsou aktivační čistírny v eliminaci především organického znečištění výkonnější 10 Seznam použité literatury

Literární zdroje:

- Ardern, E., Lockett, W.T., 1914. Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters. *J. Soc. Chem. Ind.*, 33, 523.
- Brix, H., 1987. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants – the root zone method, *Water Science and Technology* 19: 107-118.
- Borovcová, M., 2012. Těžké kovy ve vegetaci kořenových čistíren odpadních vod, bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Crites, R., Tchobanoglous, G., 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, McGraw-Hill Companies, Boston, ISBN 0072890878.
- Dohányos, M., Strnadová, N., Koller J, 1998. Čištění odpadních vod. 2. vydání. Vydavatelství VŠCHT, Praha, ISBN 80-7080-316-9.
- Focht, D.D., a Verstraete, W., 1977. Biochemical ecology of nitrification and denitrification, *Advances in Microbiological Ecology* 1: 135-214.
- Guzy, P., 2015. Srovnání různých typů čištění odpadních vod, diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991. *Biologické čištění odpadních vod*. SNTL, Praha.
- Imhoff, K., 1960. *Taschenbuch der Stattenwässerung*. R. Oldenburg Verlag, (Mnichov).
- Kadlec, R.H., Wallace, S.D., 2009. *Treatment wetlands*. 2. vydání. CRC Press, Boca Raton, Florida, ISBN 1566705266.
- Megonikal, J.P., Hines, M.E., a Visscher, P.T., 2004. Anaerobic metabolism: linkage to trace gases and aerobic processes, in: *Biogeochemistry*, W.H. Schlesinger (ed.), Elsevier-Pergamon, Oxford, U.K., pp. 317-424.
- Pěkný, M., 2013. Odstraňování vybraných kovů z vody, diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Brno.

- Pitter, P., 1999. Hydrochemie. 2. vydání. Vydavatelství VŠCHT, Praha, ISBN 80-7080340-1
- Pošta, J. a kol., 2005. Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 80-213-1366-8.
- Pytl, V a kol., 2012. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 2. vydání, Medim spol. s.r.o. pro SOVAK ČR, Líbeznice, ISBN 978-80-87140-26-0.
- Sojka, J., 2001. Malé čistírny odpadních vod. Vydavatelství ERA, Brno, ISBN 80-86517-11-X
- Šálek, J., Tlapák, V., 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT s.r.o., Praha, ISBN 80-86769-74-7
- Šliková, J., 2014. Vyhodnocení provozu ČOV Loza, diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Štorkánová, Z., 2017. Účinnost čištění kořenové čistírny Žitenice, bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Švehla, P., 2004. Odpadní vody cvičení. Česká zemědělská univerzita v Praze – Katedra agrochemie a výživy rostlin. Praha, ISBN 80-213-1208-4
- Švehla, P., 2012. Cvičení z předmětu Čištění odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze – Katedra agrochemie a výživy rostlin, Praha, ISBN 978-80-213-2270-7
- Tesařík, I., 1987. Vodárenství. SNTL, Praha.
- Tuček, F., 1977. Základní procesy a výpočty v technologii vody. SNTL, Praha.
- Vymazal, J., 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI s.r.o., Třeboň.
- Vymazal, J., 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI o.p.s., Třeboň.

Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství, 59, s. 113 – 119.

Vymazal, J., 2011. Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. Environmental Science and Technology 45 (1): 61-69.

Vymazal, J., 2013. Vegetation development in subsurface flow constructed wetlands in the Czech Republic. Ecological Engineering 61P: 575-581.

Vymazal, J., 2016. Kořenové čistírny odpadních vod, Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň.

Legislativa:

Nařízení vlády 401/2015 Sb.: Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Internetové zdroje:

Boudišová, D., Mlejnková, H., 2017. Mikrobiální znečištění povrchových vod. (online) dostupné z: <https://www.vtei.cz/2017/12/mikrobialni-znecistenipovrchovych-vod/> (Publikováno 11/12/2017)

Jak se starat o čistírnu – Aktivační čistírna – Základní popis (online), dostupné z:

<http://jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/aktivacni-cistirna/>

11 Přílohy

ČOV Záměrná 2
režimová
3/18

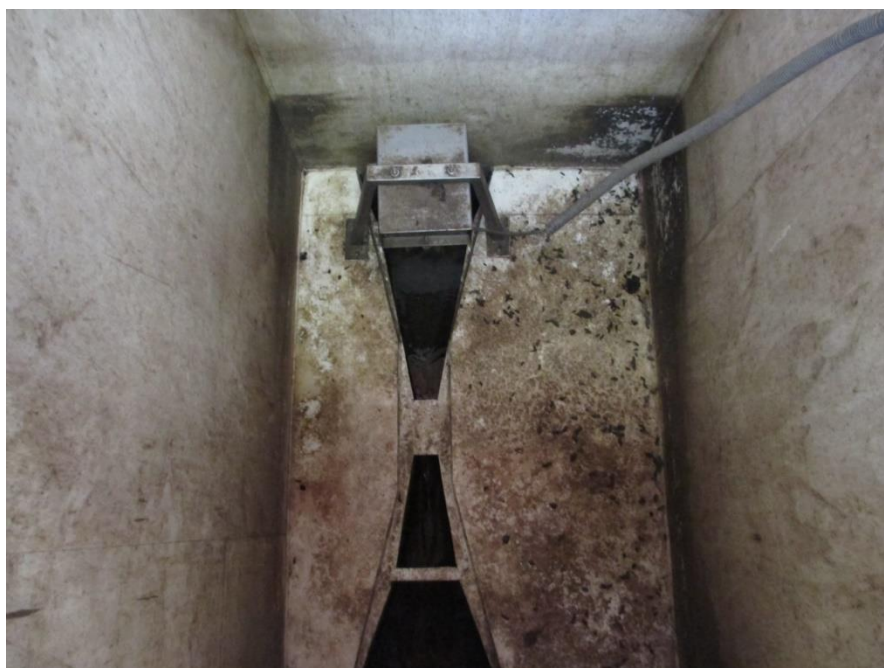
Denní záznamy o provozu ČOV

Dneš. hodnota	Kvalita		množství odpadu		průtoky a množství		parametry		příznaky
	objem	koncentrace	objem	koncentrace	L (litry/min)	P (litry/min)	teplota, pH, oxid. číslo,	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									
61									
62									
63									
64									
65									
66									
67									
68									
69									
70									
71									
72									
73									
74									
75									
76									
77									
78									
79									
80									
81									
82									
83									
84									
85									
86									
87									
88									
89									
90									
91									
92									
93									
94									
95									
96									
97									
98									
99									
100									

Obr. 1 Aktivační čistírna A: Průběžné záznamy odběru vzorků



Obr. 2 Aktivační čistírna A: Usazování kalu ve vzorku o objemu 1 l



Obr. 3 Aktivační čistírna A: Měrná šachta se zabudovaným měrným zařízením



Obr. 4 Aktivační čistírna A: Zobrazovací jednotka připevněná na stěně objektu



Obr. 5 Kořenová čistírna C: Zaplavená část filtračního lože



Obr. 7 Kořenová čistírna D: Vegetace KČOV v červenci

Obr. 6 Kořenová čistírna D: Vegetace KČOV v únoru