

Česká zemědělská univerzita

Technická fakulta



Popis a zhodnocení současného stavu čištění
odpadních vod na vybrané ČOV

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Vaculík, Ph.D.

Autor: Adam Ježek

Praha 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adam Ježek

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Popis a zhodnocení současného stavu čištění odpadních vod na vybrané ČOV

Název anglicky

The description and evaluation of current situation of wastewater treatment in the selected Wastewater Treatment Plant

Cíle práce

Seznámit se s problematikou čištění odpadních vod a zhodnotit používané metody.

Metodika

Metodika práce

Na základě literárního rozboru oblasti odpadového hospodářství, která se zabývá čištěním odpadních vod, provést popis používaných technologických linek/čištění odpadních vod a zařízení a zhodnocení jednotlivých používaných metod.

Osnova práce

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Charakteristika vybraného druhu odpadní vody
5. Metody a zařízení používané při čištění vybraného druhu odpadní vody
6. Závěr a diskuze
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran

Klíčová slova

Odpadové hospodářství, odpadní voda, čistírna odpadních vod, kal, bioplyn

Doporučené zdroje informací

BINDZAR, J. et al.: Základy úpravy a čištění vod. 1. vydání. Praha. Vydavatelství VŠCHT 2009. 251 s. ISBN 978-80-7080-729-3

BRANDEJSOVÁ, E. – PŘIBYLA, Z.: Bioplynové stanice: zásady zřízení a provozu plynového hospodářství. Praha, GAS, 2009, 118 s., ISBN 978-80-7328-192-2

CENEK, M. et al.: Obnovitelné zdroje energie. FCC PUBLIC, Praha 2001, 208 s., ISBN 80-901985-8-9

PASTOREK, Z. – KÁRA, J. – JEVIČ, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie. FCC PUBLIC, Praha 2004, 286 s., ISBN 80-86534-06-5

POŠTA, J.: Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta 2005, 208 s., ISBN 80-213-1366-8

Příslušné zákony, nařízení vlády, vyhlášky, ČSN, oborové předpisy a odborné časopisy

STRAKA, F. et al.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany 2003, 517 s., ISBN 80-7328-029-9

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Vaculík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Petra Vaculíka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze který jsem čerpal jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 23. 3. 2019

.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Vaculíkovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích této bakalářské práce.

Abstrakt: Hlavní cíle této bakalářské práce jsou popis a zhodnocení současného stavu čištění odpadních vod. V úvodní části této bakalářské práce jsou shrnuty základní statistické údaje o množství odpadních vod. Následující kapitola se zabývá vybranými právními předpisy a definicemi základních pojmů. V poslední části této kapitoly jsou popsány požadavky na kvalitu vyčištěných odpadních vod, charakteristiku jednotlivých ukazatelů jakosti vod a na druhy vybraných odpadních vod. Další kapitola se věnuje metodám a zařízením používaných při čištění vybrané odpadní vody. Tato stěžejní část je rozdělena na popis mechanického čištění odpadních vod, na biologické čištění odpadních vod, na terciální čištění a na odtok vody z ČOV. V závěrečné části této kapitoly je podrobněji vysvětleno čištění odpadní vody na čistírně odpadních vod v Černošicích. V poslední kapitole této práce je popsáno kalové hospodářství. Práce je ukončena závěrečným shrnutím a zhodnocením současného stavu čištění odpadních vod.

Klíčová slova: čistírna odpadních vod; odpadní voda; čistírenský kal;

The description and evaluation of current situation of wastewater treatment in the selected Wastewater Treatment Plant

Summary: The main goals of this thesis are a detailed description and an appraisal of the current situation of sewage treatment. Initially, the essential statistic data are presented. The next chapter focuses on selected legal measures and definitions of fundamental terms. The last part of this chapter is dedicated to wastewater treatment requirements, water quality indicators and the different types of wastewater. The following chapter is devoted to methods and mechanisms of wastewater treatment. This pivotal part is divided into four sections – description of mechanical treatment systems, biological wastewater treatment, tertiary treatment and a drainage of the sewage treatment plant. The sewage treatment plant in Černošice is used as a representative sample in this thesis. The last segment clarifies sludge management. The conclusion contains the summary and evaluation of the sewage treatment systems.

Keywords: sewage treatment plant; wastewater; sewage sludge;

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Statistické údaje.....	1
1.1.1 Spotřeba vody.....	1
1.1.2 Kanalizace	1
1.1.3 Množství odpadních vod	2
1.1.4 Počet ČOV	4
2 Cíl práce	5
3 Metodika práce	6
4 Charakteristika vybraného druhu odpadní vody.....	7
4.1 Vybrané právní předpisy.....	7
4.2 Základní definice a pojmy	9
4.3 Požadavky na kvalitu vyčištěných odpadních vod.....	10
4.3.1 Požadavky na jakost vody.....	10
4.3.2 Charakteristika jednotlivých ukazatelů jakosti vod	10
4.4 Vybrané druhy odpadní vody	14
5 Metody a zařízení používané při čištění vybraného druhu odpadní vody	16
5.1 Mechanické čištění	18
5.1.1 Cezení	19
5.1.2 Usazování a zhušťování	20
5.1.3 Flotace	21
5.1.4 Odstředování (centrifugace).....	21
5.2 Biologické čištění	21
5.2.1 Odstraňování organických látek	23
5.2.1.1 Aktivační proces.....	24
5.2.1.2 Aerace aktivačních nádrží.....	24
5.2.1.3 Biofilmové reaktory	24
5.2.2 Biologické odstraňování nutričních látek v aktivačních systémech	25
5.2.2.1 Nitrifikace	25
5.2.2.2 Denitrifikace	26
5.2.2.3 Princip biologického odstraňování fosforu.....	26
5.2.3 Separace aktivovaného kalu a vyčištění odpadní vody	27
5.2.4 Dosazovací nádrž	27
5.3 Terciální čištění	29
5.4 Odtok vody	29
5.5 Čištění odpadní vody na ČOV Černošice.....	29

6 Kalové hospodářství	36
6.1 Charakteristika kalů	36
6.2 Nakládání s kaly	37
6.2.1 Složení kalu	38
6.3 Zpracování a likvidace čistírenských kalů	38
6.3.1 Primární metody úpravy kalů	39
6.3.2 Finální metody zpracování kalů	39
6.3.3 Hygienizace kalu	40
6.3.4 Anaerobní stabilizace kalů	40
6.4 Kalové hospodářství na ČOV Černošice	40
7 Závěr	44
8 Bibliografie	45
9 Seznam obrázků	48
10 Seznam tabulek	48
11 Přílohy	49
Příloha 1: Definice pojmů a zkratk	49

1 Úvod

Voda spolu se vzduchem tvoří základní podmínky pro existenci života na Zemi. Voda je také základní stavební látkou všech živých těl. Většina organismů obsahuje cca 60 % vody, některé dokonce i 99 %. Voda je často označována jako důležitý symbol planety Země. Vzhledem k omezenému množství vody je proces čištění odpadních vod velmi důležitý.

Problematika čištění odpadních vod je, byla a vždy bude aktuální tématem, a to z důvodu neustále narůstajícího množství znečištěných vod, tak i z důvodu z přísných právních předpisů v oblasti ochrany životního prostředí, které se musí splnit.

1.1 Statistické údaje

V této podkapitole jsou statisticky znázorněny údaje týkající se spotřeby vody, kanalizací, množství odpadních vod a aktuálního počtu ČOV.

1.1.1 Spotřeba vody

Za rok 2017 spotřeboval průměrný Čech 88,7 litrů vody. Nejvyšší spotřeba vody je v hlavním městě Praze. Naopak nejmenší spotřeba byla ve Zlínském kraji. Spotřeba vody v domácnostech meziročně vzrostla o 0,4 litru na obyvatele za den (1).

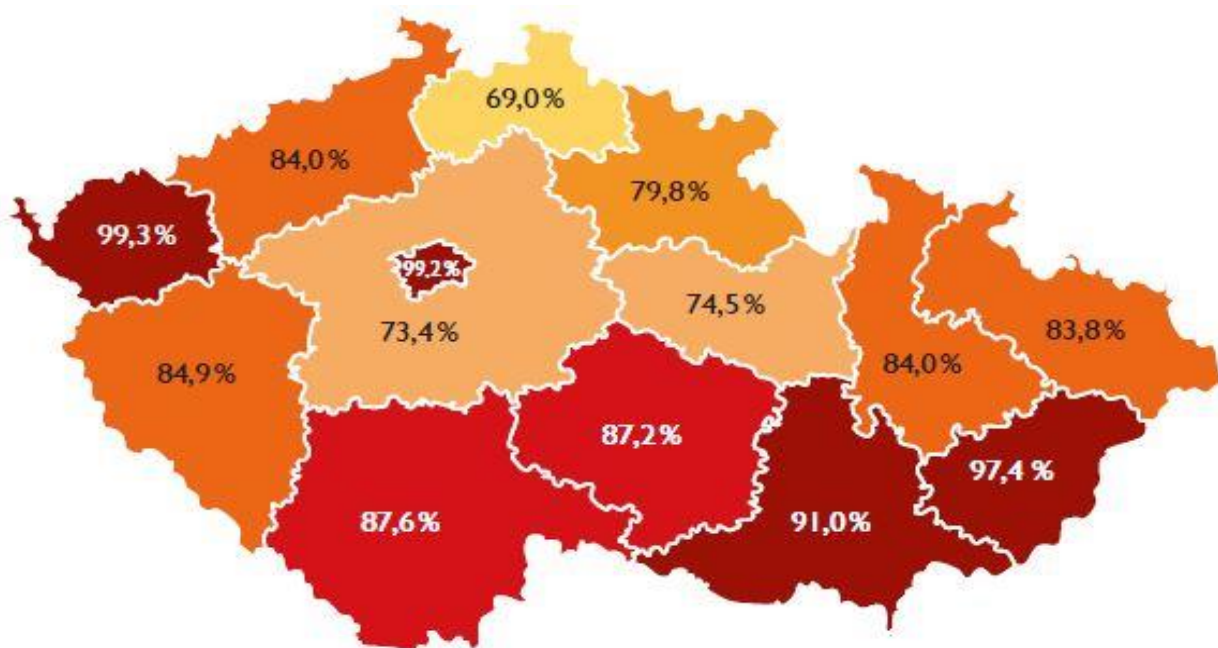
1.1.2 Kanalizace

První zmínky o kanalizaci pocházejí z mytologie. Datují se až do roku 2 600 př. n. l., kdy starověcí Akkadové přesídlili do Babylonu. Speciální kanalizační systémy byly budovány v mezopotámských městech kolem roku 2 510 př. n. l. Na evropském kontinentě bychom se prvním podobným systémem setkali nejspíše na Krétě – tamní palác v Knóssu disponoval kolem roku 1 500 př. n. l. koupelnami, splachovacími záchody a kanalizací. V Českých zemích máme první známky o odvádění odpadu sice už z raného středověku, avšak s výše popisovanými systémy se ovšem tyto podmínky nedají srovnat.

Opravdová moderní kanalizace vznikla v Praze roku 1906 i s čistírnou odpadních vod (2).

V roce 2017 pokračuje nárůst podílu obyvatel napojených na kanalizaci, který v roce 2017 představuje 85,5 %, meziročně nárůst o 0,9 % (1).

Obrázek 1 Obyvatelé trvale bydlící v domech napojených na kanalizaci v roce 2017

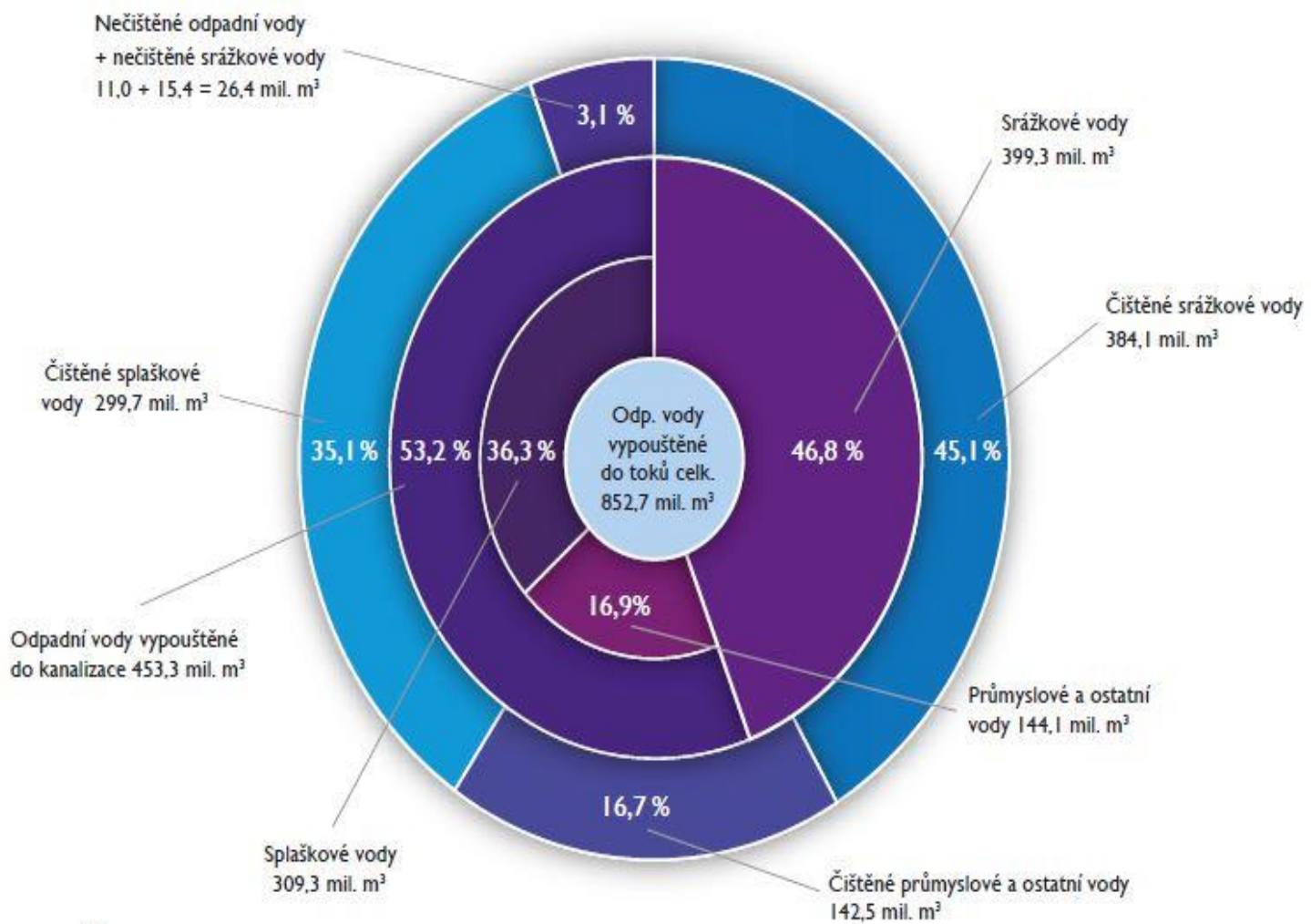


Zdroj: Vody a kanalizace 2017 (3)

1.1.3 Množství odpadních vod

Do kanalizací bylo v roce 2017 vypuštěno (bez zpoplatněných srážkových vod) celkem 453,3 mil. m³ odpadních vod. Z tohoto množství bylo čištěno 97,5 % odpadních vod, což představuje 442,2 mil. m³. Meziroční nárůst množství vody odpadní vypuštěné do kanalizace (bez zpoplatněných srážkových vod) v roce 2017 byl 6,4 mil. m³. Celkové množství včetně vod srážkových bylo za rok 2017 826,2 mil. m³ (3).

Obrázek 2 Struktura vypouštěných vod v roce 2017



Zdroj: Vodovody a kanalizace 2017 (3)

1.1.4 Počet ČOV

Počet čistíren každoročně roste. Celková kapacita ČOV je v ČR 3 914 493 m³ na den. V Roce 2017 bylo v ČR dohromady 2 612 čistíren odpadních vod, z toho je nejvíce mechanicko-biologické ČOV.

Tabulka 1 Počet ČOV v ČR

Rok	Čistírny odpadních vod celkem	v tom					Celková kapacita ČOV (m ³ *den ⁻¹)
		mechanické	mechanicko-biologické				
			celkem	z toho s dalším odstraňováním			
				dusíku	fosforu	dusíku i fosforu	
2005	1 994	75	1 919	411	42	276	3 735 590
2006	2 017	64	1 953	427	55	353	3 775 931
2007	2 065	61	2 004	476	43	373	3 834 083
2008	2 091	54	2 037	483	41	380	3 876 178
2009	2 158	50	2 108	496	35	429	3 832 673
2010	2 188	49	2 139	476	37	458	3 797 673
2011	2 251	50	2 201	474	39	513	3 799 039
2012	2 318	50	2 268	500	42	556	3 782 197
2013	2 382	48	2 334	518	49	606	3 711 710
2014	2 445	44	2 401	542	56	638	3 800 973
2015	2 495	39	2 456	573	57	674	3 915 844
2016	2 554	36	2 518	596	67	719	3 929 774
2017	2 612	33	2 579	630	79	747	3 914 493

Zdroj: ČSÚ (4)

2 Cíl práce

Cílem této práce je seznámit se s problematikou čištění odpadních vod, popisem a zhodnocení používaných metod při čištění odpadních vod.

Na základě literárního rozboru oblasti odpadového hospodářství, která se zabývá čištěním odpadních vod, provést popis používaných technologických linek čistíren odpadních vod a zařízení a zhodnocení jednotlivých používaných metod.

3 Metodika práce

Zvolené metody zpracování této bakalářské práce, s ohledem na cíl uvedený v předchozí kapitole, jsou následující:

- osobní exkurze v ČOV Černošice
- charakteristika vybraného druhu odpadních vod, včetně právních předpisů a definic jednotlivých pojmů v souvislosti čištění odpadních vod,
- popis jednotlivých metod a zařízení používaných při čištění vybraného druhu odpadních vod,
- popis jednotlivých metod a zařízení používaných při čištění odpadní vody v ČOV Černošice,
- charakteristika čistírenského kalu a nakládání s nimi,
- kalové hospodářství na ČOV Černošice,
- celkové zhodnocení dané problematiky.

4 Charakteristika vybraného druhu odpadní vody

Tato kapitola se zabývá vybranými právními předpisy a definicemi základních pojmů, požadavky na kvalitu vyčištěných vod a popisem vybraných druhů odpadních vod.

4.1 Vybrané právní předpisy

Zákon č. 185/2001 Sb. definuje následující pojmy tímto způsobem:

- **odpad** „je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit“;
- **nebezpečný odpad** „odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů“;
- **nakládání s odpady** „obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, oprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů“;
- **kal** „pro účely této části zákona se rozumí
 - a) kalem
 - a.1) kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností, a to i v případě, že čistírny odpadních vod zpracovávají také biologicky rozložitelné odpady na základě rozhodnutí krajského úřadu, kterým je udělen souhlas k provozování zařízení pro nakládání s odpady a s jeho provozním řádem, nebo biologicky rozložitelné odpady spadající do působnosti nařízení o vedlejších produktech živočišného původu,
 - a.2) kal ze septiků sloužících k čištění odpadních vod z domácností před jejich vypouštěním do vod povrchových nebo podzemních,

- a.3) kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících odpadní vody a materiály, které svými vlastnostmi odpovídají odpadním vodám a materiálům podle bodu 1, zejména odpadní vody a materiály, které mají původ v potravinářském průmyslu a zemědělství,
 - b) upraveným kalem – kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalech, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací na základě ověření účinnosti technologie úpravy kalů v souladu s požadavky stanovenými prováděcím právním předpisem,
 - c) použitím kalu – zpracování kalu do půdy,
 - d) programem použití kalů – dokumentace zpracovaná v rozsahu stanoveném prováděcím právním předpisem.“;
- **odpadní voda** je v zákoně č. 254/2001 Sb. zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) definován následně:
 - „Odpadní vody 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 z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních.“.

4.2 Základní definice a pojmy

V této podkapitole jsou uvedeny definice významných pojmů, které se vztahují k problematice ČOV.

Čistírny odpadních vod (ČOV) je zařízení, které slouží k čištění odpadních vod.

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku v roztoku, která byla spotřebována během biochemické oxidace organických látek za stanovených podmínek. Slouží tedy jako nepřímý ukazatel množství biologicky rozložitelných organických látek ve vodě. Nejběžnější standardizovanou metodou používanou po celém světě je BSK₅, při které se stanoví biochemická spotřeba kyslíku zředovací metodou v průběhu pěti dnů, za aerobních podmínek a při teplotě 20 °C (5).

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě se silným oxidačním činidlem. Oproti BSK udává spotřebu kyslíku potřebnou k oxidaci všech látek, tedy nejen těch, které mohou být odbourány biologickou cestou. Hodnota CHSK je tedy mírou celkového obsahu organických látek ve vodě. BSK a CHSK se používají jako ukazatele kvality vody například při monitoringu povrchových vod (6).

Recipient je každý vodní útvar, do něhož vyúsťují povrchové vody nebo znečištěné odpadní vody. Jedná se o všechny větší vodní plochy v krajině jako rybníky, přehradní nádrže, jezera (7).

Ekvivalentní obyvatel (EO) je definovaný produkcí znečištění 60 g BSK₅ za den. Počet ekvivalentních obyvatel se pro účel zařazení čistírny odpadních vod do velikostní kategorie vypočítává z maximálního průměrného týdenního zatížení na přítoku do čistírny odpadních vod během roku s výjimkou neobvyklých situací, přívalových dešťů a povodní. Pro určení velikosti aglomerace se použije stejný postup pro všechny odpadní vody odváděné kanalizací pro veřejnou potřebu. Pro účely stanovení limitů se použije vyšší z obou hodnot (8).

Další základní definice a pojmy jsou uvedeny v **příloze číslo 1**.

4.3 Požadavky na kvalitu vyčištěných odpadních vod

Tato podkapitola se věnuje kvalitě vyčištěných odpadních vod.

4.3.1 Požadavky na jakost vody

Požadavky na jakost vody se řídí účelem jeho použití. Podle účelu použití se nejčastěji jedná o vodu pitnou, užitkovou a provozní (9).

- **Pitná voda** je zdravotně nezávadná voda, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva (10).
- **Užitková voda** je hygienicky nezávadná voda, které se však nepoužívá jako pitná voda a na vaření, ale jen na mytí, koupání a pro výrobní účely. Může pocházet z jakéhokoliv zdroje, pokud vyhovuje zdravotním a technickým požadavkům (11).
- **Provozní voda** je voda používaná pro různé účely v průmyslu i v zemědělství, například pro chlazení, mytí zařízení rozpuštění, hydraulickou dopravu, napájení parních kotlů, zavlažování apod. (9).

4.3.2 Charakteristika jednotlivých ukazatelů jakosti vod

- **Teplota** – u odpadních vod vypouštěných do recipientu je teplota velmi důležitým ukazatelem, jehož význam roste v souvislosti s nebezpečím tzv. tepelným znečištěním. Teplota se měří současně s odběrem vzorku rtuťovým nebo elektrickým teploměrem. Výsledky se udávají na jedno desetinné místo (9).
- **Vzhled a barva** – průhlednost vody je podmíněna barvou a zákalem. Měří se výškou sloupce vody v cm, pod níž lze ještě pozorovat bílou desku nebo přečíst vzorové písmo o velikosti 3,5 mm. Barva vody může být způsobena látkami rozpuštěnými, ale i nerozpuštěnými (9).
- **Veškeré, rozpuštěné a nerozpuštěné látky** – veškeré látky obsažené vodě lze z fyzikálního hlediska rozdělit na rozpuštěné a nerozpuštěné. Stanovení těchto látek patří k nezbytným údajům chemického rozboru odpadních vod.

Stanovují se výhradně gravimetrickou uzanční metodou jako sušina, zbytek po žihání a ztráta žiháním. Stanovení spočívá v odpaření odměřeného vzorku vody na vodní lázni, vysušením odparku při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti a ve zvážení vysušeného odparku. Ke stanovení zbytku po žihání se sušina vyžihá při teplotě 550 °C do konstantní hmotnosti a zváží se. Ztráta žiháním se zjistí výpočtem (9).

- **Objemové stanovení usaditelných a vzplývavých nerozpuštěných látek** – spočívá v přímém odečtení nebo ve změření objemu látek, které se za danou dobu na hladině vzorku usadili nebo k ní vzplynuly. Průběh sedimentace či vzplývání látek se stanovuje odečítáním objemu látek usazených na dně nebo vplynuvších k hladině v závislosti na čase. Gravimetrické stanovení usaditelných a vzplývavých nerozpuštěných látek spočívá v nepřímém stanovení jejich hmotnosti, a to jako rozdíl hmotnosti nerozpuštěných látek v původním vzorku a nerozpuštěných látek, které zbyly ve vodní fázi vzorku po sedimentaci usaditelných či po vzplynutí vzplývavých látek po zvolené době sedimentace či vzplývání (9).
- **Extrahovatelné látky** – tímto termínem se rozumí celkový obsah látek, které přecházejí ze vzorku vody do rozpouštědla, jímž je nejčastěji Freon (9).
- **Neutralizační kapacita vody** – je schopnost vody vázat určité látkové množství kyselin nebo zásady do zvolené hodnoty pH. Stanovuje se titrací vody silnou kyselinou nebo zásadou do zvolené hodnoty pH (9).
- **Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)** – je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku v roztoku, která byla spotřebována během biochemické oxidace organických látek za stanovených podmínek. Slouží tedy jako nepřímý ukazatel množství biologicky rozložitelných organických látek ve vodě. Nejběžnější standardizovanou metodou používanou po celém světě je BSK₅, při které se stanoví biochemická spotřeba kyslíku zředovací metodou v průběhu pěti dnů, za aerobních podmínek a při teplotě 20°C. BSK je množství kyslíku spotřebované mikroorganismy při biochemické oxidaci za aerobních podmínek. Postihuje tedy pouze znečištění biologicky rozložitelnými látkami. Látky vůči biochemickému rozkladu rezistentní oxidaci nepodlehnu, a tedy se na ně žádný kyslík nespotebuje. Pro orientační stanovení biologické rozložitelnosti znečišťujících organických látek ve vodě je vhodné hodnotu BSK₅

srovnat s CHSK, tedy s chemickou spotřebou kyslíku, při které oxidaci podléhají i látky biochemicky nerozložitelné. U dobře rozložitelných látek bývá poměr $BSK_5:CHSK > 0,5$. Poměr $BSK_5:CHSK > 0,3$ poukazuje na zvýšenou přítomnost biologicky obtížně rozložitelných organických látek (12).

- **Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)** – je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě silným oxidačním činidlem. Udává se jako hmotnost kyslíku, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla na 1 litr vody a je důležitým ukazatelem organického znečištění vody. Různé typy organických látek se různými oxidačními činidly a za různých reakčních podmínek (pH, teplota, čas) oxidují do různého stupně. Dnes se používají ke stanovení dvě metody, které se liší použitým oxidačním činidlem. Jedna metoda využívá jako oxidační činidlo manganistan draselný, druhá dichroman draselný. U odpadních vod se stanovuje výhradně podle dichromanu draselného (9).
- **Vodíkové ionty (ukazatel pH)** – podle Brønstedovy teorie kyselin a zásad se za kyseliny považují látky, které jsou schopny uvolňovat proton a za zásady látky, které naopak mohou proton vázat (9).
- **Vodíkový exponent pH** – ke zjednodušení číselných údajů o kyselosti roztoků, která je dána aktuální koncentrací iontů, byl zaveden vodíkový exponent, který je označen symbolem pH. Jeli $pH = 7$, je roztok neutrální, při $pH > 7$ je roztok zásaditý, při $pH < 7$ je kyselý. Hodnoty jsou v rozmezí 0-14 (9).
- **Dusičnany, dusičnanový dusík** – dusičnany, konečně produkty biochemické oxidace organicky vázaného dusíku, se vyskytují a stanovují ve všech typech vod. Odtok z biologických čistíren odpadních vod i některé průmyslové odpadní vody obsahují dusičnany řádově v desítkách $mg \cdot l^{-1}$. Stanovení dusičnanů je součástí dusíkových bilancí (9).
- **Dusitany, dusitanový dusík** – jako přechodný člen v dusíkovém cyklu vznikají dusitany ve vodách zpravidla při biochemické redukci dusičnanů nebo při biochemické oxidaci amoniakálního dusíku. Z toho důvodů patří dusitany mezi významné ukazatele fekálního znečištění vod (9).
- **Amoniak** – Amoniakální dusík se vyskytuje téměř ve všech typech vod. Stanovení amoniakálního dusíku patří mezi nejběžnější prováděná stanovení

všech typů vod. Obsah amoniakálního dusíku je nedílnou součástí dusíkové bilance vod (9).

- **Organický dusík** – hlavními formami organicky vázaného dusíku ve vodách přírodních, odpadních splaškových a průmyslových odpadních zejména z potravinářského průmyslu jsou bílkoviny a jejich štěpné produkty, puriny a močovina. Největší význam má stanovení organického dusíku při sledování biologického čištění odpadních vod a při hodnocení biologických kalů (9).
- **Fosforečnany** – v přírodních a odpadních vodách se fosfor vyskytuje převážně ve formě různých fosforečnanů. Rozlišují se anorganické orthofosforečnany, anorganické kondenzované polyfosforečnany a organicky vázaný fosfor (9).
- **Kyanidy** – kyanidy jsou obsaženy zejména v odpadních vodách z povrchové úpravy kovů, ve vodách plynárenských, koksárenských a v některých vodách chemického průmyslu (9).
- **Adsorbovatelné organicky vázané halogeny (AOX)** – AOX je konvenční analytický termín označující ukazatel stanovovaný pro účel kontroly jakosti vody. Jde o sumu organických sloučenin s obsahem chloru, bromu, a jodu, které se za určených podmínek absorbují na aktivní uhlí. Anorganické halogeny se odstraní proplachem aktivního uhlí okyseleným roztokem dusičnanu sodného (9).
- **Fenoly** – fenoly jsou aromatické sloučeniny s jednou nebo více hydroxylovými skupinami vázanými přímo na aromatické jádro. Jednosytné fenoly (s jednou OH skupinou) lze oddělit od vícesytných fenolů destilací s vodní parou (9).
- **Tenzidy** – všechny druhy tenzidů se vyskytují v průmyslových odpadních vodách různých odvětví průmyslu a ve vodách splaškových. Nejběžnějšími metodami pro stanovení všech typů tenzidů ve vodách jsou absorpční spektrofotometrické metody (9).
- **Kovy** – kovy jsou přirozenou součástí vod. Z hlediska vodních organismů je důležitý výskyt stopových koncentrací kovů, které se na jejich metabolismu podílejí převážně jako biokatalyzátory. Větší koncentrace těchto kovů však mohou působit toxicky. K silně toxickým kovům patří zejména rtuť, olovo, kadmium, měď, stříbro, chrom. Přítomnost kovů v odpadních vodách může negativně ovlivnit průběh jejich biologického čištění, a to zejména v aerobním

prostředí. K nejčastěji používaným metodám stanovení kovů ve vodě patří metody absorpční (9).

4.4 Vybrané druhy odpadní vody

Odpadní voda je voda, jejíž kvalita byla zhoršená lidskou činností. Odpadní vody rozdělujeme podle charakteru znečištění na:

- **Vody splaškové** – jsou odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace z bytů a rodinných domů. Dále sem patří i odpadní vody z městské vybavenosti, jako jsou školy, restaurace, hotely, kulturní zařízení apod., mající podobný charakter jako odpadní vody od obyvatel. Průměrně se počítá se specifickou produkcí splaškových vod 100 l/osoba/den. Splaškové vody jsou také někdy nazývány komunálními odpadními vodami. Hlavní podíl znečišťujících látek ve splaškových odpadních vodách připadá na moč a fekálie (až 80 % organických látek ve splašcích). Dále jsou to zbytky potravy, pracích a čisticích prostředků (13).
- **Vody srážkové** – jsou vody odváděné do kanalizačního systému z tzv. urbanizovaných povodí, tj. z ulic, střech, veřejných prostranstvích, parkovišť i nezpevněných ploch. Chemické složení srážkové vody je závislé na složení ovzduší. Mohou být znečištěny např. vypíráním plynných, kapalných i pevných částí z ovzduší (9).
- **Vody průmyslové** – vody na rozdíl od splaškových mají velmi rozdílný charakter, a i jejich škodlivost při vypouštění se může velmi lišit. Průmyslové odpadní vody se dělí podle znečišťujících látek, které obsahují, na převážně organicky znečištěné a na převážně anorganicky znečištěné.
 - *Organické znečištění*
 - Z průmyslu potravinářského, papírenského, farmaceutického, textilního, koželužského a tepelného zpracování uhlí. Organické látky mohou být přítomny v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě. Při čištění přichází v úvahu biologické čištění na samostatné ČOV nebo i společné čištění se splaškovými odpadními vodami.

- *Anorganické znečištění*
 - Z těžby a úpravy uhlí a rud, hutního průmyslu, sklářského a keramického průmyslu, výroby hnojiv, povrchové úpravy kovů a anorganické chemie. Znečišťující látky jsou v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě a mohou patřit mezi látky toxické či netoxické. Při čištění těchto vod přicházejí v úvahu především fyzikálně-chemické a chemické způsoby. Samostatné biologické čištění je bezpředmětné (13).

- **Zemědělské vody** – odpadní vody zemědělské jsou druhem vod průmyslových, pocházejí ze zemědělské výroby (9).
- **Balastní vody** – jsou podzemní vody, které se dostaly do stokové sítě v důsledku její netěsnosti nebo jiným způsobem. Jejich přítomnost není v kanalizační a stokové síti žádoucí (14).
- **Městské vody** – vody městské jsou směsí vod splaškových, průmyslových, srážkových a někdy ještě vod podzemních. U velkých měst převládající podíl tvoří vody splaškové, u malých měst složení odpadních vod závisí na podílu průmyslu (9).

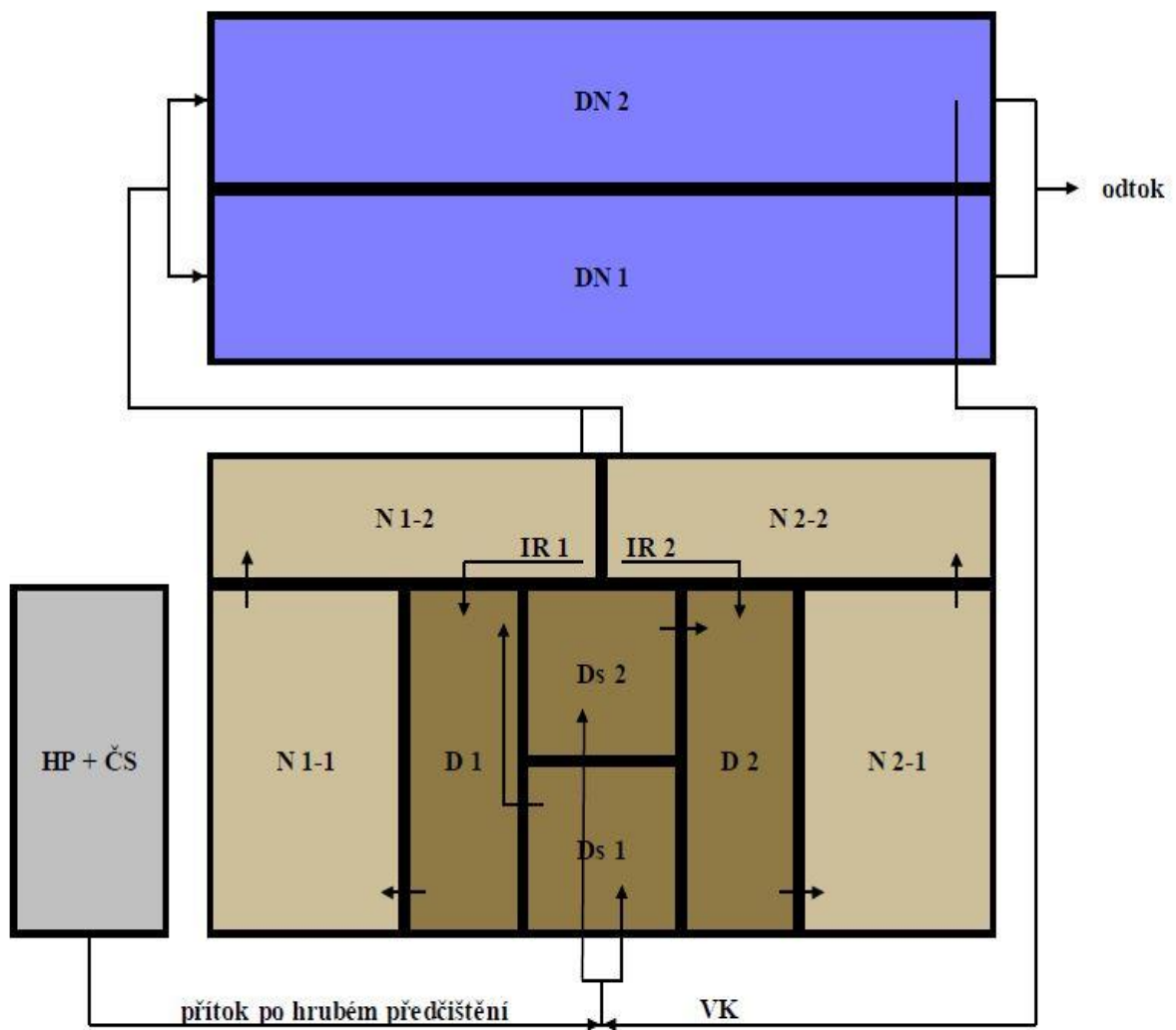
5 Metody a zařízení používané při čištění vybraného druhu odpadní vody

Tato kapitola se zabývá mechanickým a biologickým čištěním odpadních vod, dále popisuje terciální čištění a odtok vody. V poslední části této kapitoly je popsána aplikace konkrétních metod a zařízení na čistírně odpadních vod v Černošicích, kde se čistí výhradně městské vody.

ČOV Černošice se nachází na katastrálním území města Černošice a je určena k čištění odpadních vod z tohoto katastrálního území. ČOV Černošice je mechanicko-biologická ČOV systému dvou linek Ds-D-N s kalovou koncovkou. Z technologického hlediska se jedná o nízkozatíženou aktivaci s denitrifikačním selektorem, předřazenou denitrifikací, nitrifikací, se srážením fosforu a aerobní stabilizací kalu a zahuštěním a odvodněním stabilizovaného kalu. Odpadní vody jsou na ČOV odváděny ze všech odkanalizovaných lokalit oddílnou kanalizační sítí (15).

Dvoulinková ČOV je sestavená z objektu mechanického předčištění (strojní hrubé česle, strojní jemné česle a lapák písku), dvou denitrifikačních selektorů, dvou nádrží denitrifikace, čtyř aktivačních nádrží se srážením fosforu a ze dvou dosazovacích nádrží pro separaci aktivační směsi. Kalové hospodářství obsahuje zásobní nádrž kalu, kde dochází k prvnímu gravitačnímu zahuštění kalu, poté kal pokračuje na zahuštění a na odvodnění. Odvodněný kal se odváží k likvidaci. Vyčištěná odpadní voda odtéká přes měrný objekt do recipientu (15).

Obrázek 3 Schéma ČOV Černošice



HP + ČS - hrubé předčištění a čerpací stanice, Ds - selektor D - denitrifikace, N - nitrifikace, DN – dosazovací nádrž, IR – interní recirkulace, VK – vratný kal.

Zdroj: Provozní řád ČOV Černošice

5.1 Mechanické čištění

Mechanické čištění se používá pro odstranění nerozpuštěných látek, které tvoří podstatnou část znečištění odpadních vod. Mechanické čištění je v čistírně vždy prvním stupněm čištění, někdy se používá i jako třetí stupeň (filtrace před vypuštěním vyčištěné vody), třetí stupeň může být i čištění biologické (stabilizační nádrž) (9).

Mechanické čištění se používá především k odstranění hrubých nečistot odpadních vod, které můžou mimo jiné i zničit další zařízení. Patří sem lapák štěrku, česle a lapák písku. Zřídka se používá i lapák tuků.

Tabulka 2 Přehled způsobů a zařízení pro mechanické čištění odpadních vod

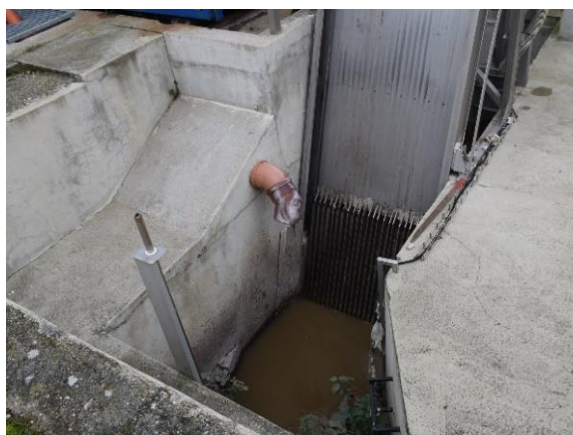
Způsob	Použitá zařízení
Cezení jsou zachycovány nerozpuštěné příměsi, rozměrově větší než otvory, kterými protéká cezená voda	česle síta
Usazování a zhušťování využívá gravitační sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek	lapák štěrku lapák písku usazovací nádrž dosazovací nádrž zhušťovací nádrž
Vzplývání využívá vztlakovou sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek	lapák tuků odlučovač olejů a ropných látek usazovací nádrž
Filtrace jsou zachycovány nerozpuštěné příměsi, rozměrově větší než otvory, kterými protéká cezená voda	pískové lože jemná síta bubnové filtry sítopásové lisy kalolisy ultrafiltrační membrány
Flotace je uměle snižována hustota příměsí a vzniklý rozdíl hustot je využíván k oddělení složek (vztlakem)	floatační vany s tlakovým vzduchem elektroflotační vany
Odstředivování (centrifugace) využívá odstředivou sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek	kontinuální odstředivky

Zdroj: (POŠTA a KOL.; 2005) (9)

5.1.1 Cezení

V cezení se nejvíce používají česle a síta, které se v čistírnách používají na začátku technologické linky, jako stupeň mechanického předčištění. Obecně slouží k zachycení hrubých nečistot a plovoucích předmětů do velikosti přibližně 1 mm (na čistírně odpadních vod např. papír, obaly, kuchyňské odpady aj.). Hlavní úlohou česlí je ochránit strojní zařízení před zanesením či poškozením a zamezit ucpávání potrubí a kanálů na čistírnách, neboť právě kusy hader a obalů mohou způsobovat poruchy čerpadel, míchadel a jiných rotačních zařízení a flotující materiál může v následujících čistírenských procesech způsobovat estetické a bezpečnostní problémy. Velmi jemné česle a síta separují z vody také vlákna a vlasy, a tak chrání membrány a nosiče biomasy, pokud jsou tyto zařazeny v lince (16).

Obrázek 4 Česle na ČOV Černošice



Obrázek 5 Česle se šnekovým dopravníkem



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

5.1.2 Usazování a zhušťování

Tato část mechanického čištění má za účel vyčistit odpadní vody od štěrku a písku.

V lapáku štěrku se zachycují velké a těžké předměty, které přicházejí na čistírnu zejména s přívalovými dešti. Lapák štěrku je jímka, situovaná těsně před čistírnou na přivaděči odpadních vod. Rozšířením průtočného průřezu a snížením dna v lapáku štěrku dojde k zachycení velkých těžkých předmětů (dlažební kostky, cihly, štěrky) (9).

Slouží k zachycení suspendovaných těžkých minerálních částic větších než 0,2 mm. Pracují na principu snížení průtočné rychlosti vody. Písek se odstraňuje strojním vytěžením do akumulčního prostoru (pračka písku, písková jímka), nebo přímo na kontejner upravený pro odtok přebytečné vody (17).

Obrázek 6 Lapák písku



Obrázek 7 Vytěžený písek



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

5.1.3 Flotace

Flotace rozpuštěným vzduchem je separační proces, používaný k oddělování tuhé fáze od kapalné. Principem separace suspenze flotací je agregace mikrobublinek vzduchu s vločkami vzniklé suspenze. Výsledný agregát má celkově menší specifickou hmotnost než voda a je proto vynášen k hladině. Na hladině se vytváří flotační pěna, která je mechanicky odstraňována (18).

Vzestupné rychlosti vzniklých agregátů při flotaci jsou o jeden až dva řády vyšší, než byly původní sedimentační rychlosti těchto vloček, což umožňuje pracovat při vysokém povrchovém zatížení flotace ve srovnání se sedimentací. (18).

5.1.4 Odstředování (centrifugace)

Odstředování využívá odstředivou sílu a rozdíl hustot oddělovaných složek, používají se kontinuální odstředivky (9).

5.2 Biologické čištění

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

Základem této polykultury jsou bakterie, v menším množství mikromycety (mikroskopické houby), plísně, kvasinky bezbarvé sinice a tzv. vyšší osídlení. Vyšší osídlení je podle stavu funkční polykultury reprezentováno jednobuněčnými organismy (protozoa) jako jsou bičíkovci, měňavky, nebo nálevníci i organismy mnohobuněčnými (metazoa) jako například háďátky, vířníky, červy nebo roztoči (9).

Proces biologického čištění slouží k odstranění látek, které jsou v odpadních vodách rozpuštěny a rozptýleny. Tyto organické látky jsou substrátem, tedy potravou pro mikroorganismy. Cílem je tyto mikroorganismy udržet a rozmnožit (19).

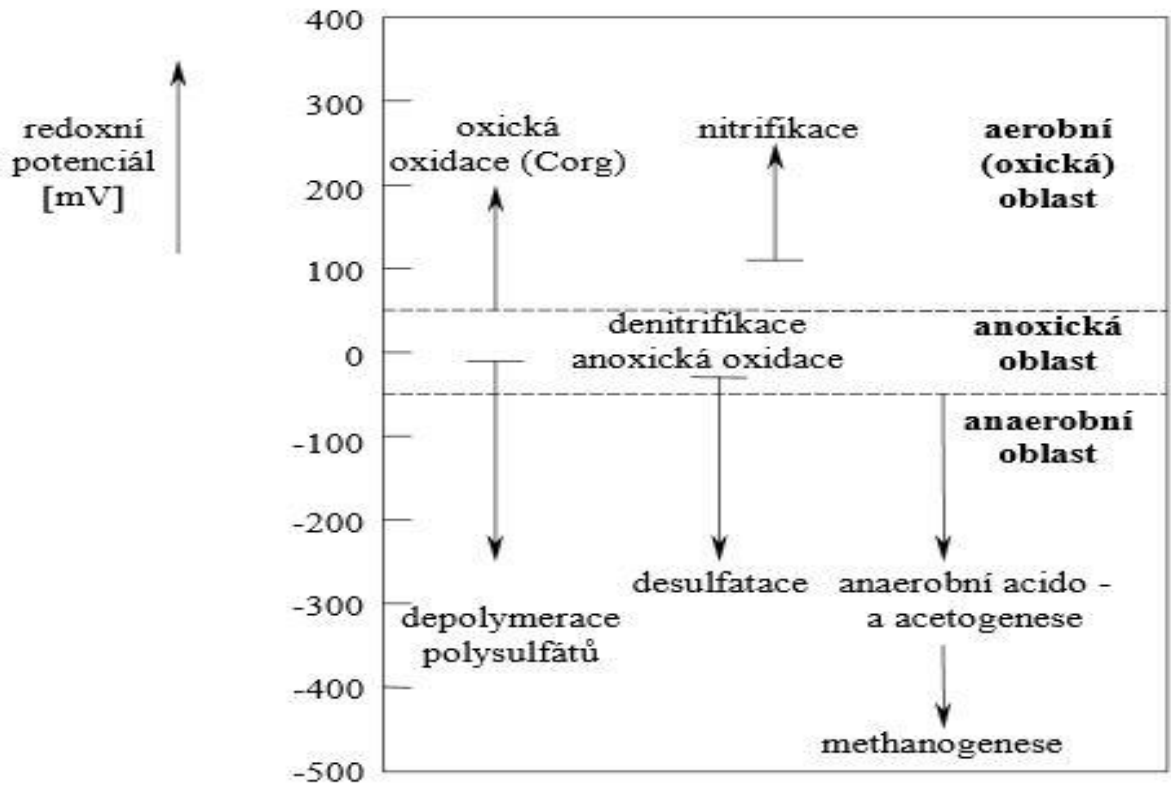
Obrázek 8 Pohled na biologickou linku ČOV Černošice



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Základním principem biologického čištění jsou biochemické oxidačně – redukční reakce. Reakce lze dělit dle konečného akceptoru elektronů a hodnot oxidačně redukčních potenciálů. Rozdělení čistírenských biologických procesů podle hladiny oxidačně redukčních potenciálů je zřejmé z obrázku 9 (20).

Obrázek 9 Hladiny oxidačně redukčního potenciálu



Zdroj: (19)

5.2.1 Odstraňování organických látek

Jednoduché organické látky jsou transportovány přímo do buněk mikroorganismů funkční polykultury. Vysokomolekulární rozpuštěné a nerozpuštěné organické látky jsou nejprve sorbovány či chemicky zachyceny do slizovité matrice funkční polykultury (vločky aktivovaného kalu, biofilm na nosiči). Takto zachycené látky jsou enzymaticky rozštěpeny a příslušné nízkomolekulární fragmenty jsou opět transportovány do buněk, kde jsou metabolizovány.

Metabolismus se skládá se dvou simultánních procesů:

- katabolismus – generuje energii ze substrátu pro potřeby buňky,
- anabolismus – vede k syntéze nové biomasy (9).

5.2.1.1 Aktivační proces

Aktivace je jedním z nejčastěji používaných způsobů biologického čištění jak městských, tak i průmyslových odpadních vod. Při tomto druhu čištění je odpadní voda směřována s tzv. aktivovaným kalem za dostatečného provzdušňování. Aktivovaný kal je tvořen mikroorganismy, převážně bakteriemi. Kromě bakterií jsou z vyšších organismů přítomni prvoci, vířníci, hlístice aj. Osídlení aktivovaného kalu mikroorganismy (jeho biocenóza) závisí do značné míry na složení substrátu, na kterém byl vypěstován, a na technologických parametrech, při kterých byla aktivace provozována. Je směsnou kulturou mikroorganismů. Od čistých kultur se liší také tím, že je schopen se oddělovat od kapalné fáze prostou sedimentací, protože má vločkovitý charakter. Tato jeho vlastnost je nezbytná pro úspěšné biologické čištění (21).

5.2.1.2 Aerace aktivačních nádrží

Ve vlastní aktivační nádrži musí být vločky aktivovaného kalu udržovány ve vznosu, aby se udržel potřebný kontakt s čištěnou vodou. U oxických systémů je zároveň nutné dodávat potřebné množství vzdušného kyslíku. Tyto funkce musí splňovat aerační zařízení, kterým je aktivační nádrž vybavena. Aerační systémy lze rozdělit na pneumatickou aeraci, mechanickou aeraci a na hydropneumatickou aeraci (9).

5.2.1.3 Biofilmové reaktory

Na rozdíl od aktivačního systému, ve kterém využíváme biomasu v suspenzi, pracujeme v biofilmových reaktorech s biomasou vyskytující se ve formě filmu (nárostu). Při čištění odpadních vod se s biofilmovými reaktory moc často nesetkáváme (19).

5.2.2 Biologické odstraňování nutričních v aktivních systémech

Pod pojmem nutriční se v odpadních vodách rozumí anorganické sloučeniny dusíku a fosforu. Zvýšená přítomnost sloučenin těchto dvou prvků ve vypouštěných odpadních vodách může vést k následujícím problémům v recipientech:

- toxicita amoniaku na vodní mikroorganismy,
- zvýšené náklady na úpravu vody při vodárenském využívání,
- eutrofizace povrchových vod se všemi původními negativními jevy (9).

5.2.2.1 Nitrifikace

Nitrifikace je typický příkladem procesu, který je prováděn dvě různými skupinami nitrifikačních bakterií. Při této oxidaci se jako akceptor elektronů využívá rozpuštěný molekulární kyslík, tj. nitrifikace probíhá v oxických podmínkách. Ve většině studií jsou nitrifikační bakterie řazeny mezi striktně aerobní mikroorganismy. Nitrifikační bakterie využívají oxidaci dusíkatých sloučenin jako zdroje energie, nová biomasa je syntetizována z anorganických forem uhlíku. Tento metabolismus je poměrně komplikovaný s nízkým energetickým výtěžkem. Proto jsou nitrifikační bakterie pomalu rostoucí a podléhají celé řadě inhibičních vlivů. Z faktorů, které ovlivňují rychlost a průběh nitrifikace, jsou nejdůležitější koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnota pH, teplota, stáří a zatížení kalu a složení odpadních vod (9).

Obrázek 10 Detail v nitrifikační nádrži



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

5.2.2.2 Denitrifikace

Obecně mohou být oxidované formy dusíku mikroorganismy využity asimilačně nebo disimilačně. Nitrátová asimilace je proces redukce dusičnanového dusíku na dusík amoniakální, který může být použit v anabolických procesech a být tak inkorporován do nově syntetizované biomasy. Nitrátová disimilace je proces, při kterém je dusičnanový a dusitanový dusík využíván jako konečný akceptor elektronů místo molekulárního kyslíku. Končený produkt nitrátové disimilace je určen druhem mikroorganismů a podmínkami. Podmínky, při kterých k denitrifikaci dochází se nazývají anoxické. Z biochemického hlediska se jedná o proces podobný respiraci s molekulárním kyslíkem, kterého je proto schopna většina běžných bakterií (9).

5.2.2.3 Princip biologického odstraňování fosforu

Při biologickém čištění odpadních vod dochází vždy k částečnému odstraňování fosforu z odpadních vod, neboť nutrient je inkorporován do nově syntetizované biomasy odstraňované jako přebytečný kal. V aktivovaném kalu z konvenčních čistíren je obsah fosforu v sušině okolo 2 %. V biocenóze aktivovaného kalu se však nalézají i bakterie schopné zvýšené akumulace fosforu do buněk. Tyto bakterie jsou souhrnně označovány jako poly-P bakterie. Mechanismus zvýšené akumulace fosforu představuje pro tyto mikroorganismy selektivní výhodu při opakovaném střídání anaerobních a oxických kultivačních podmínek, které je základní podmínkou pro navození. Cílem tohoto mechanismu je vlastně přenos energie mezi těmito kultivačními podmínkami.

V anaerobních podmínkách se fermentativními procesy vytvářejí z organických látek v odpadní vodě nízkomolekulární sloučeniny jako nižší mastné kyseliny či nižší alkoholy.

Pokud se podaří v aktivačním systému navodit mechanismus zvýšeného biologického odstraňování fosforu, může se obsah fosforu v sušině aktivovaného kalu dosahovat až 9-10 %. Nutno si však uvědomit, že fosfor není v buňkách poly-P bakterií vázán nikterak pevně a snadno se z nich uvolňuje. Proto je nutno zabránit zejména:

- příliš dlouhému pobytu zhuštěného aktivovaného kalu v dosazovací nádrži, kdy by mohlo dojít k zpětnému uvolňování fosforečnanů do finálního odtoku,
- zahnutí přebytečného kalu v zhušťovacích a uskladňovacích nádržích, kdy by přešly zachycené fosforečnany do kalové vody a vrátili by se tak do hlavní technologické linky.

Samostatně nebo v kombinaci s biologickým odstraňováním je možné použít rovněž chemické srážení fosforu dávkováním železnatých, železitých nebo hlinitých solí. Srážecí činidla jsou nejčastěji aplikována před usazovací nádrž (do lapáku písku nebo do přítoku usazovací nádrže) – předřazené srážení nebo do aktivační směsi před dosazovací nádrž (do vratného kalu, do přítoku do aktivační nádrže) – simultánní srážení (9).

5.2.3 Separace aktivovaného kalu a vyčištění odpadní vody

Aktivační proces je založen na kontaktu čištěné odpadní vody se směsnou kulturou aktivovaného kalu. Aktivovaný kal spolu s nově vzniklou biomasou musí být posléze od vyčištěné odpadní vody odseparován, a to ze dvou základních důvodů:

- aktivační proces je kontinuální kultivací s recyklem biomasy, takže aktivovaný kal je nutno separovat a vracet do systému jako inokulum,
- biomasa rozptýlená ve vyčištěné odpadní vodě výrazně zhoršuje kvalitu odtoku z čistírny (9).

5.2.4 Dosazovací nádrž

Základním úkolem dosazovací nádrže je separace biomasy (aktivovaného kalu) od vyčištěné odpadní vody. V případě aktivačního procesu musí dosazovací nádrž odseparovaný kal současně i zahustit, aby bylo možno vratným kalem udržovat požadovanou koncentraci biomasy v aktivační nádrži a aby se zmenšil objem přebytečného kalu odváděného do kalového hospodářství. Účinná separace biomasy je rozhodující pro kvalitu finálního odtoku. Špatně fungující dosazovací nádrž může zcela zvrátit dobrý čistící

efekt předchozího biologického reaktoru. Suspenze unikající z dosazovací nádrže je totiž živá biomasa, který zvyšuje hodnoty BSK₅ odtoku asi o 50 %. Tato biomasa obsahuje i významné množství dusíku a fosforu – zvláště v systémech se zvýšeným biologickým odstraňování fosforu. Vinou špatné konstrukce a provozování může v dosazovací nádrži docházet i k sekundárnímu znečištění vyčištěné odpadní vody, zejména fosforem uvolňovaným z buněk poly-P bakterií (9).

Obrázek 11 Dosazovací nádrž v ČOV Černošice



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

5.3 Terciální čištění

Ačkoli bývá často kvalita vody po jejím úplném biologickém čištění lepší, než je voda v recipientu, je někdy mezi technologie ČOV zařazeno ještě tzv. terciální čištění – např. při odtoku vody do zvláště citlivého recipientu. Toto čištění slouží především k odstranění fosforu, dusíku (které způsobují množení sinic ve vodách), nerozpuštěných látek a ale i k hygienizaci vody (odstranění škodlivých organismů). Přírodním způsobem může být použití biologických dočišťovacích nádrží, tzv. stabilizačních nádrží, kdy při zdržení vody v nádrži po dobu alespoň pěti dnů dochází k další sedimentaci nerozpuštěných částic. Dochází zde i ke snížení obsahu dusíku a fosforu jejich zabudováním do biomasy mikroorganismů a řas, což je ale mechanismus omezený vegetační dobou. V pražské ČOV je například zařazeno chemické odbourávání fosforu. Nerozpuštěné látky mohou být také zachytávány v pískových filtrech. V odůvodněném případě může být zařazena jako finální úprava chlorace vody (22).

5.4 Odtok vody

Vyčištěná voda z dosazovací nádrže většinou gravitačně odtéká do měrného objektu a dále do recipientu. Průtok vyčištěné vody z ČOV je na výtoku vždy měřen.

5.5 Čištění odpadní vody na ČOV Černošice

V případě černošické ČOV je řešen nátok do ČOV z gravitační kanalizace přes objekt hrubého mechanického předčištění, který se v případě černošické ČOV sestavuje ze strojně stíraných česlí doplněné šnekovým dopravníkem a následně lapák šterku s těžním šterku drapákem. V nátokovém jsou instalovány strojně stírané česle s průlínou 40 mm a jsou doplněny šnekovým dopravníkem s integrovaným lisem. Shrabky jsou dopravníkem dopravovány

do kontejneru. Objekt je doplněn pro příjem a registraci dovezených odpadních (fekálních vod) (15).

Pro zatížení ČOV Černošice odpovídající 9 108 EO lze očekávat následující produkci shrabků:

Tabulka 3 Záchyt shrabků

Záchyt shrabků	
celkový záchyt shrabků	49,5 t.rok ⁻¹
specifická objemová hmotnost	800 kg.m ⁻³
objem shrabků	170 l.d ⁻¹
specifická objemová hmotnost po vylisování	1 100 kg.m ⁻³
objem shrabků po vylisování	74 l.d ⁻¹

Zdroj: Provozní řád ČOV Černošice

V ČOV Černošice za strojně stíranými hrubými česlemi následuje lapák písku sloužící k zachycení těžké frakce obsažené v přicházející odpadní vodě. Těžení štěrku je prováděno s el. navijákem s pojezdem po jeřábové dráze (15).

Pro zatížení ČOV Černošice odpovídající 9 108 EO lze očekávat následující produkci písku:

Tabulka 4 Produkce písku

Produkce písku	
produkce písku	72,3 m ³ .rok ⁻¹
záchyt písku	198 l.d ⁻¹

Zdroj: Provozní řád ČOV Černošice

Odpadní vody, zbavené hrubých nečistot v kompaktním zařízení mechanického předčištění natékají do biologického stupně ČOV. Biologickému stupni je předřazen rozdělovací objekt s přítokem DN 300, s dvojicí přelivných hran délky 1000 mm a dvojicí přepadových V profilů. Na odtoku do rozdělovacího objektu do potrubí nátoku jsou instalována nerezavá stavitka DN 250, která umožní uzavření nátoků do jednotlivých sekcí biologie. Do rozdělovacího objektu je mimo hlavní proud odpadní vody zaústěn proud

vratného kalu z konce dosazovacích nádrží, kalová voda z kalového sila a plovoucí nečistoty (15).

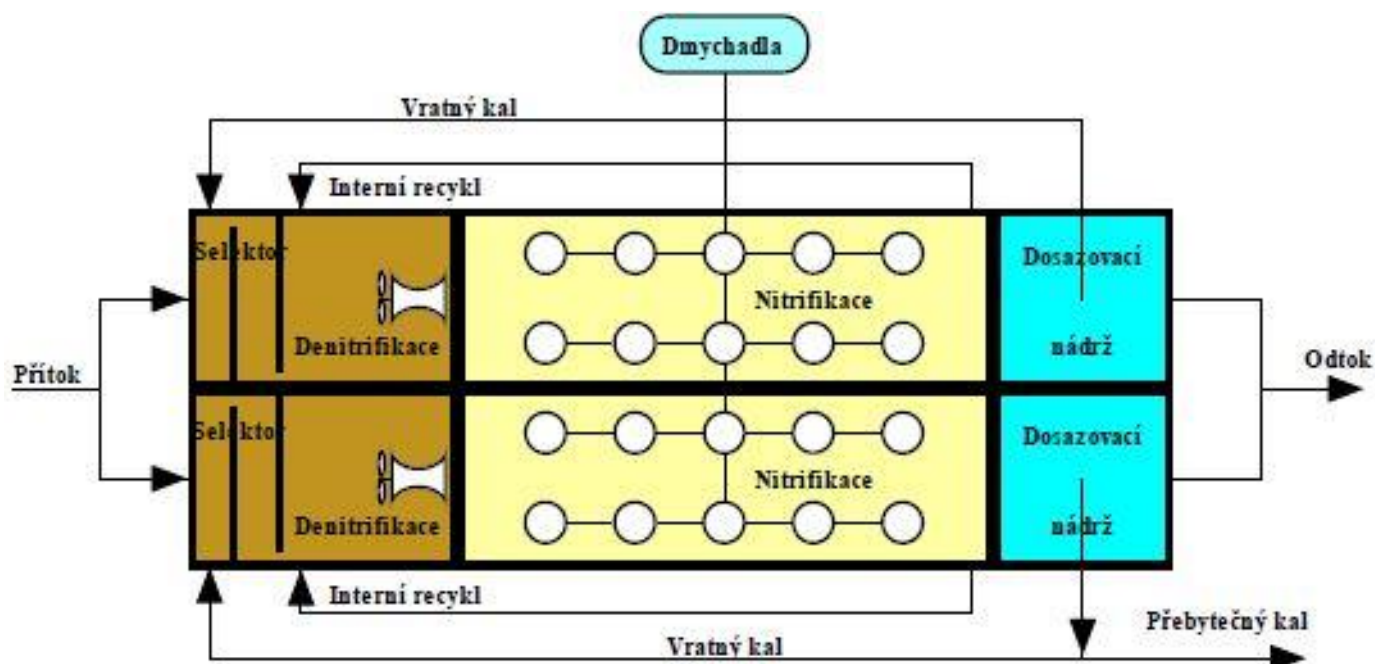
Obrázek 12 Rozdělovací objekt



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Biologický stupeň je realizován jako kontinuálně protékaná dvojlínek aktivačního procesu. ČOV je konceptem klasického Ds-D-N systému, tj. systému s anoxickým selektorem, denitrifikační a následnou nitrifikační sekcí aktivačního procesu. S ohledem na bezpečnost a stabilitu je aktivační proces realizován ve dvou paralelně protékaných linkách. Odpadní voda a vratný kal jsou přiváděny z rozdělovacího objektu do předřazeného anoxického, mechanicky míchaného selektoru. Z anoxického selektoru odpadní voda natéká do denitrifikační sekce. Každá denitrifikační sekce je mechanicky homogenizována dvojicí hyperboloidních míchadel. Míchadla jsou instalována z obslužné lávky. Mechanickým mícháním obsahu nádrže dochází působením mikroorganismů aktivovaného kalu k biologické denitrifikaci (15).

Obrázek 13 Schéma ČOV - koncepce Ds-D-N



Zdroj: Provozní řád ČOV Černošice

Po průchodu denitrifikační sekci aktivizačních nádrží je směs odpadní vody a aktivovaného kalu přiváděna do nitrifikační sekce s aerobními kultivačními podmínkami, tedy za přítomnosti rozpuštěného kyslíku. Jedná se o dvě, za sebou řazené nádrže. Nitrifikační stupeň aktivizačních nádrží je vybaven jemnobublinnými kruhovými membránovými elementy, instalovanými na nosných trubkách v pevné verzi. Aerační systém zajišťuje jak distribuci kyslíku, tak homogenizaci nádrže. Biologický stupeň je zásoben vzduchem z dmychárny. Nitrifikační sekce obou linek jsou vybaveny sondou pro měření koncentrace rozpuštěného kyslíku (umístěnou na lávce ve dvou třetinách délky sekce), na základě, které je možné separátně regulovat množství vzduchu do nitrifikace. Regulace množství dodávaného vzduchu do nitrifikačních sekcí probíhá regulací otáček dmychadla pomocí frekvenčního měniče na závislosti koncentraci kyslíku měřeného kyslíkovou sondou. Dávku vzduchu zajišťují dmychadla v sestavě 2+1 ks o výkonu v rozsahu 440–792 m³.h⁻¹ vzduchu. Dodávka probíhá separátně, dmychadlo zásobuje vždy jen jednu linku a je řízeno sondou v dané lince. Dmychadlo se v provozu střídají tak, aby obě měla

přibližně stejné množství provozních hodin. Pro uzavírání vzduchu jsou instalovány jak ruční klapky, klapky s elektropohonem mezipřírubové (15).

Interní recirkulace – pro zvolené uspořádání a objemové členění aktivačního systému je kalkulována optimální hodnota poměru interní recirkulace aktivační směsi z konce nitrifikace do sekce denitrifikace. Doporučená hodnota recirkulačního poměru aktivační směsi je na úrovni cca 247 % průměrného denního průtoku odpadních vod, tedy 4 320 m³.d⁻¹ pro obě linky. Pro jednu aktivační linku činí optimální potřebný výkon čerpadla interní recirkulace 25 l.s⁻¹. Na konci sekcí nitrifikace je proto instalováno kalové ponorné čerpadlo se spouštěcím zařízením a dopravuje proud aktivované směsi přes dělicí stěnu k nátoky odpadní vody do denitrifikace (15).

Do odtoku z nitrifikace je zaústěno dávkování železité soli pro účely zvýšené eliminace sloučenin fosforu. Dle činnosti čerpadel v čerpací stanici je s určitým zpožděním spínáno dávkovací čerpadlo na Fe₂(SO₄)₃, které dávkuje do nátoky železitou sůl. Dávkovací stanice je umístěna v temperovaném boxu v zásobníku. Je vybavena dvojicí čerpadel. Dvouplášťový zásobník 40 % Fe₂(SO₄)₃ o objemu 10 m³ je umístěn na zpevněné desce v prostoru za dmychárnou (15).

Tabulka 5 Charakteristika procesu chemické eliminace sloučenin fosforu

Parametr	jednotka	hodnota
průměrný denní přítok	m ³ .D ⁻¹	1 751
celkové množství fosforu v přítoku	kg.d ⁻¹	18,4
koncentrace p-celk v odtoku	mg.l ⁻¹	1,8
celkové množství fosforu v odtoku	kg.d ⁻¹	3,1
množství fosforu inkorporovaného do biomasy	kg.d ⁻¹	6,8
množství fosforu k odstranění	kg.d ⁻¹	8,5
molární poměr P:Fe	-	1,5
dávka železa	kg.d ⁻¹	22,7
objemové množství 40%-ního Fe ₂ (SO ₄) ₃	l.d ⁻¹	130
hmotnostní produkce chemického kalu	kg.d ⁻¹	56,3

Zdroj: Provozní řád ČOV Černošice

Z nitrifikační sekce je aktivovaná směs přiváděna přes odtokové odplyňovací žlaby do separačního stupně – dvou pravoúhlých, horizontálně protékaných dosazovacích nádrží o délce 23 m a šířce 4,5 m a hloubce vody cca 4,25 m. Dosazovací nádržím je předřazen rozdělovací objekt, zajišťující rovnoměrné rozdělení nátok do obou nádrží s možností uzavření nátok do jednotlivých sekcí hradítka (15).

Dosazovací nádrže jsou vybaveny kompletním strojně technologickým zařízením pro stírání dna i hladiny. Řetězový shrabovák dna je tvořen pohonovým válcem, a řetězy se shrabovacími lištami. Hladina je stírána pohyblivým stírátkem a nečistoty jsou stahovány do jímacího nákloného žlabu s odtokem do jímky plovoucích nečistot. Stahování plovoucích nečistot je závislé na shrabování dna. K zařízení odtahu kalu je přiveden tlakový vzduch z rozvodu pro aeraci z nitrifikační nádrže. Plovoucí nečistoty jsou ze sběrných objektů jímány v jímcce plovoucích nečistot a čerpány ponorným kalovým čerpadlem do kalové jímky s odbočkou potrubí do rozdělovacího objektu. V separačním stupni – dosazovacích nádržích – dochází k oddělení kalu od vyčištěné odpadní vody. Vyčištěná odpadní voda je odváděna od hladiny dosazovací nádrže do odtoku prostřednictvím perforovaných nerezových trubek pod hladinou, zatímco odseparovaný kal je zde dna dosazovací nádrže čerpadly s jednotkovým příkonem cca 8,6-14,5 l.s⁻¹ odebírán a recirkulován jako vratný kal zpět do rozdělovacího objektu nebo jako přebytečný kal do zásobní nádrže kalu. Funkce čerpadla je regulována v závislosti na nastavení řídicího členu ČOV a výkon je řízen frekvenčním měničem dle aktuálního průtoku v ČOV. Jedno čerpadlo stejného výkonu je jako rezervní umístěno v provozní budově (15).

Z potrubí vratného kalu je přetržitě odbočkou odváděn přebytečný aktivovaný kal do objektu kalového hospodářství. Uzavíráním potrubí vratného a přebytečného kalu je zajištěno prostřednictvím dvojice elektricky ovládaných mezipřírubových deskových šoupat. K dopravě přebytečného kalu je používáno čerpadlo vratného kalu. Odsazená voda z usazovací nádrže gravitačně odtéká přes sběrnou šachtu a jímku ostřikové užitkové vody do měrného objektu a dále do recipientu. Průtok vyčištěné vody ze separačního stupně je na výtoku z ČOV měřen pomocí Parshallova žlabu (15).

Obrázek 14 Detail Parshallova žlabu



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Obrázek 15 Měrný objekt při výtoku vyčištěné vody do recipientu



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

6 Kalové hospodářství

Kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Zpracování těchto vod je navrženo tak, aby odstraňovalo nežádoucí složky z vody a koncentrovalo je do objemově nevýznamného vedlejšího produktu – kalu. Kal může také obsahovat přebytečnou biomasu z biologického čištění. Cílem úpravy kalu je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Koncentrace prospěšných i znečišťujících složek v kalu (a zdravotní rizika s nimi spojená) závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a úrovni požadované technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků na vyčištěnou odpadní vodu (9).

Požadavkem je takové využití nebo zpracování kalů, které je přijatelné pro životní prostředí, udržitelné a ekonomicky únosné. Zpracování kalů stojí přibližně více než polovinu celkových nákladů na čištění odpadních vod. Řízení zpracování kalů bude stále komplexnější, jak budou přísnější standardy pro životní prostředí a pokud budou výstupy pro kal omezovány legislativou a stanoviskem veřejnosti (9).

6.1 Charakteristika kalů

Kaly představují přibližně 1 až 2 % objemu čištěných vod, je v nich však koncentrováno až 50 až 80 % původního znečištění a také náklady na provoz kalového hospodářství představují až 50 % celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod. Kaly představují suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původně přítomných v odpadních vodách a vzniklých při různých způsobech čištění (9).

Obrázek 16 Detail odpadního kalu



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

6.2 Nakládání s kaly

Způsoby zpracování kalů závisí na místních podmínkách dané lokality, na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech kalů a na možnosti konečného řešení kam s nimi (9).

V současnosti přicházejí v úvahu tyto možnosti:

- přímá aplikace a rekultivace
- kompostování
- skládkování
- spalování
- jinak (chemická stabilizace, termické zpracování, mokré spalování) (23).

Tabulka 6 Produkce kalů v ČR v tunách

Rok	Produkce kalů celkem	Způsob zneškodnění kalů				
		přímá aplikace a rekultivace	kompostování	skládkování	spalování	jinak
2002	211 364	17 570	101 746	39 659	290	52 099
2003	180 098	31 298	88 678	23 305	390	36 427
2004	178 749	29 119	87 469	25 447	39	36 675
2005	171 888	34 467	88 820	12 027	20	36 554
2006	175 471	48 304	89 932	13 979	27	23 229
2007	172 303	55 349	80 393	8 536	47	27 978
2008	175 708	46 776	78 289	11 986	712	37 945
2009	168 164	42 442	80 727	5 931	2 179	36 885

Zdroj: ČSÚ

6.2.1 Složení kalu

Kal je suspenze pevných a koloidních částic organických a anorganických látek ve vodě. Kal obsahuje netoxické organické látky, až 60 % v sušině a dále sloučeniny dusíku a fosforu. Dále také toxické látky v těžkých kovech: Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As. Dále pak dioxiny, pesticidy, polyfenoly, mikroorganismy z čistírenského procesu, anorganické sloučeniny křemíku, hliníku, železa vápníku, hořčíku aj. (9).

6.3 Zpracování a likvidace čistírenských kalů

Od 1. ledna 2002 platí nový zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. ve kterém je uváděna definice kalu a stabilizovaného kalu prakticky. Současně s novým zákonem nabývá účinnosti i vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

Surový kal obsahuje okolo 70% organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních mikroorganismů je podle zákona o odpadech klasifikován jako nebezpečný odpad se všemi důsledky z toho plynoucími. S tohoto důvodu je ve většině případů již přímo na ČOV v lince zpracování kalu aplikovaná taková technologie úpravy a zpracování kalu, která promění „surový kal“ z nebezpečného odpadu v stabilizovaný materiál, který je díky svým vlastnostem přímo předurčen k využití v zemědělství, buď přímo k hnojení, nebo po předchozím kompostování (24).

6.3.1 Primární metody úpravy kalů

Primární metody se dělí následovně:

- separace – třídění kalů podle kvality materiálu,
- kondicionace – chemická, termická nebo fyzikálně-chemická předúprava kalu,
- zhušťování a odvodňování – metody které zajišťují zvýšení koncentrace sušiny před dalším zpracováním,
- desintegrace – mechanická (mlýny), fyzikální (ultrazvuk), fyzikálně-chemická (termická hydrolýza),
- hygienizace – inaktivace patogenů,
- aerobní biologický stabilizace – metoda pro přeměna organické sušiny na bioplyn,
- aerobní biologický stabilizace – mezofilní, probíhá v otevřených nádržích,
- sušení – pro zvýšení obsahu sušiny v kalu (9).

6.3.2 Finální metody zpracování kalů

Finální metody jsou následující:

- kompostování – aerobní biologická stabilizace materiálu, následné využití jako hnojivo,
- aplikace na zemědělskou půdu – hnojivo v zemědělské výrobě,
- chemická stabilizace – vápnění,

- mokré spalování – vhodné pro likvidaci organických materiálů,
- spalování v cementářských pecích – bezodpadová metoda,
- spoluspalování – spalování společně s dalším energeticky bohatším materiálem,
- termické zpracování – pyrolýza a zplyňování,
- spalování – nejúčinnější metoda hygienizace materiálu,
- skládkování – uložení materiálu na bezpečnou skládku (9).

6.3.3 Hygienizace kalu

Za hygienizovaný kal se pokládá kal, který prošel takovou úpravou, že počty indikátorů patogenních mikroorganismů byly sníženy na požadovanou hodnotu. Stabilizace a hygienizace může, ale nemusí probíhat současně tou samou technologií (25).

6.3.4 Anaerobní stabilizace kalů

Při anaerobní stabilizaci dochází k přeměně většiny rozložitelných organických látek do bioplynu za současné stabilizace a hygienizace kalu. Anaerobní stabilizace kalů a následné využívání bioplynu v kogeneračních jednotkách je nejenom ekonomickým přínosem pro čistírnu, ale má také značný ekologický přínos z globálního hlediska – je totiž příspěvkem ke snižování skleníkového efektu (26) (27).

6.4 Kalové hospodářství na ČOV Černošice

Přebytečný kal se kalovým čerpadlem, umístěný na dně dosazovací nádrže, přečerpává do objektu kalového hospodářství – do kalové jímky pod provozním objektem. Jímka je vybavena středobublinným provzdušňovacím systémem pro stabilizaci, homogenizaci a míchání uskladněného přebytečného kalu. Dodávka vzduchu cca 150 m³/hod do provzdušňovacího zařízení zajišťuje v periodických cyklech (1 hodina provoz/1 hodina vypnuto) dmychadlo umístěné v dmychárně. Kalová voda z kalové jímky je čerpána do

vstupní čerpací stanice. V kalové jímce je nainstalováno potrubí pro odtah kalu externím vozem, případně pro dovoz kalu z jiné ČOV (15).

Obrázek 17 Dmychárna



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Uskladněný částečně gravitačně zahuštěný kal je vřetenovým podávacím čerpadlem čerpán z kalové jímky do rotačního zahušťovače. Do potrubí výtlačku z čerpadla je instalován Venturiho směšovač, kam je zaústěn výtlaček z dávkovacího čerpadla flokulantu. Směšovačem a v následném potrubí je zajištěno promíchání flokulantu s kalem. Do potrubí výtlačku je nainstalován indukční průtokoměr. Po zahuštění je kal čerpán podávacím vřetenovým čerpadlem do kalojemu na zahuštěný kal. Součástí zařízení zahuštění kalu je stanice na přípravu a dávkování flokulantu se zásobníkem, vřetenové čerpadlo dávkování a indukční průtokoměr, čerpadlo ostřikové vody pro ostřik síta zahušťovače, filtr a rozvaděč. Zahuštěný kal je uskladněn v kalojemu. Kalojem je osazen provzdušňovacím zařízením se středobublinovým systémem aerace pro promíchání obsahu nádrže a případnou aerobní stabilizaci kalu. Dodávku vzduchu cca 300 m³/hod do provzdušňovacího zařízení zajišťuje v periodických cyklech dmychadlo z dmychárny (15).

Kalová voda z kalojemu je čerpána prostřednictvím čerpadla s integrovaným plovákem do rozdělovacího objektu. V kalojemu je instalováno potrubí na odtah kalu externím vozem, případně pro dovoz zahuštěného kalu z jiné ČOV (15).

Obrázek 18 Kalová jímka je pod objektem



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Aerobně stabilizovaný zahuštěný kal je z uskladňovací nádrže čerpán do odvodňovacího stroje. Čerpán je vřetenovým čerpadlem s plynulou regulací. Množství kalu je měřeno indukčním průtokoměrem na výtlačku. Odvodňován je na instalované dekantační odstředivce. Kal je přiváděn pružným připojením do odstředivky, kde je před vstupem mísen s flokulantem a dále je odvodňován v odstředivce o kapacitě $3-5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Tuhý kal, který vypadává ze spodní příruby odstředivky, je dopravován šnekovým dopravníkem do přistavěného kontejneru a dále odvezen k likvidaci (15).

Obrázek 19 odstředivka



Obrázek 20 Odvoz kalu z ČOV



Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Zdroj: A. JEŽEK; 2018 (archiv autora)

Fugát odtéká přes deaerátor, který omezuje pění, do čerpací stanice, nacházející se pod podlahou. Vlastní vybavení odstředivky se skládá z odstředivky, vřetenového čerpadla, dávkování a míchaní chemikálií se zásobníky a měření průtoku, vřetenového čerpadla kalu, deaerátoru fugátu, rozvaděče a šnekového dopravníku. Pro potřebu užitkové vody pro náběh a proplach odstředivky ale i pro provoz ČOV je instalována tlaková stanice a na sání je osazen filtr. Potřeba vody pro ostřík kalolisu a zahušťovače kalu je zajištěna z jímky, umístěné v boku dosazovací nádrže. Voda do nádrže ostřikové vody natéká z odtokových žlabů na koncích dosazovacích nádrží. Sací potrubí čerpadel ostřikové vody je osazeno sacím košem se zpětnou klapkou. K ostřiku je možné alternativně využít i pitné vody (15).

Tabulka 7 Parametry kalového hospodářství ČOV Černošice

Parametr	jednotka	hodnota
kalové silo	ks	1
objem nádrže	m ³	300
hmotnostní produkce kalu	kg.d ⁻¹	507
objemová produkce kalu	m ³ .d ⁻¹	72
koncentrace kalu po zahuštění	kg.m ⁻³	45
objem kalu po zahuštění	m ³ .d ⁻¹	11,3
doba zdržení v kalovém silu	d	26,5
potřeba vzduchu na aerobní stabilizaci	m ³ .h ⁻¹	300

Zdroj: Provozní řád ČOV Černošice

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit a popsat současných používaných metod při čištění odpadní vody.

Z důvodu neustálého nárůstu odpadních vod bude téma čištění odpadních vod neustále aktuální. Myslím si, že s nedostatkem vody budou neustále narůstat požadavky na kvalitu vyčištěné vody. S nárůstem obyvatelstva a tím i nárůstem odpadních vod se budou neustále budovat nové čistírny anebo budou muset projít potřebnou rekonstrukcí.

Stejně tak jako čistírna odpadních vod v Černošicích, kterou jsem v listopadu 2018 navštívil a důkladně se seznámil s touto mechanicko – biologickou čistírnou, která byla v roce 2016 zmodernizována.

S prací této bakalářské práce jsem začal samostatným studiem problematiky ze skript a z dalších materiálů, následně jsem navštívil ČOV v Černošicích a v závěrečné části jsem začal elektronicky psát tuto práci.

Čistírně odpadních vod v Černošicích bych do budoucna doporučil přistavět zdržovací dešťovou nádrž před vstupem odpadní vody do ČOV, jelikož při velkých přívalech deště dochází k velkému návalu vody do ČOV, a ta tato návaly odpadních vod není schopna přijmout z kapacitních důvodů. V současnosti je tato odpadní voda vypouštěna přímo do recipientu bez vyčištění. Vhodné by také bylo přidat do mechanického čištění lapák tuků, jelikož se v odpadních vodách vyskytuje velké množství tuků, například z kuchyně. Dále by bylo vhodné přidat na konci procesu čištění odpadních vod terciální čištění, které slouží jako dočištění odpadní vody, například slouží k odstranění zbytku fosforu.

Voda je pro život člověk a pro celou zeměkouli nepostradatelně důležitá, je tedy nutné ji chránit a do budoucna bude nutné zpříšňovat právní normy a zvyšovat požadavky na vyčištěnou odpadní vodu. Myslím si, že budoucí generace se budou zabývat i tím, aby se úplně předcházelo znečištění vod.

8 Bibliografie

- (1) CZSO [online]. 2017: CZSO, Praha [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2017>
- (2) *Voda základ života* [online]. Praha: Voda základ života, 2017 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <http://www.vodazakladzivota.cz/clanky/58-vylet-do-historie-nejen-te-prazske-kanalizace>
- (3) *Vody a kanalizace 2017* [online]. 1. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018 [cit. 2019-02-28]. ISBN 978-80-7434-464-0. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/vodovody-a-kanalizace/?pageSize=20>
- (4) ČSÚ: *Statistická ročenka České republiky - 2018* [online]. Praha: ČSÚ, 2018 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/3-zivotni-prostredi-zdsbcjyh9>
- (5) *ENVI WIKI: BSK* [online]. Praha: ENVI WIKI, 2019 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.enviwiki.cz/wiki/BSK>
- (6) *Vítejte na Zemi...: CHSK* [online]. Praha: Vítejte na Zemi..., 2004 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/slovník/index.php?article=785>
- (7) *Povodí Moravy: Recipient* [online], 2019. Brno: Povodí Moravy, s.p. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodohospodarsky-slovník/recipient/>
- (8) *Příručka pro oblast životního prostředí: Příloha č. 11* [online]. Praha: MŽP, 2001 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj846nzjYHhAhWGJIAKHXLtB4YQFjAAegQICRAC&url=http%3A%2F%2Fwww.envigroup.cz%2Ffile_get.php%3Fid%3D2144%26type%3Ddb&usg=AOvVaw3Hkl3YVP-yHHenrjuxQ0UL
- (9) POŠTA, Josef. *Čistírny odpadních vod. 1.,.* Praha: powerprint s.r.o, 2005. ISBN 978-80-213-1366-8.
- (10) *Pražské vodovody a kanalizace: Pitná voda* [online]. Praha: PVK, 2004 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/>
- (11) *Povodí Moravy: Užítková voda* [online], 2010. Brno: Povodí Moravy [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodohospodarsky-slovník/uzitkova-voda/>
- (12) *ENVI WIKI* [online]. Praha: ENVI WIKI, 2010 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.enviwiki.cz/wiki/BSK>
- (13) *Poradíme se.cz: Druhy odpadních vod* [online]. Praha: MŽP, 2015 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dokument/VkxjHyeMtigABpA5>
- (14) *ABC Kanalizace* [online]. 2007: Neznámo, 2007 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://abc-kanalizace.cz/slovník-kanalizace/>
- (15) AQUACONSULT, SPOL. S.R.O. *Provozní řád ČOV Černošice*. Černošice, 2016.

- (16) *Asio* [online]. Brno: ASIO, spol. s r.o., 2014 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita>
- (17) *Mendel University in Brno* [online]. Brno: Mendel, 2003 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=2187
- (18) *Envi-pur: Flotace pro odpadní vody (DAF)* [online]. Praha: ENVI-PUR, s.r.o., 2016 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/cz/flotace-pro-cistirny-odpadnich-vod/>
- (19) ŠVEHLA, Pavel, Pavel TLUSTOŠ a Jiří BALÍK. *Odpadní vody*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Česká zemědělská univerzita, katedra agrochemie a výživy rostlin, 2007. ISBN 978-80-213-1716-1.
- (20) Biologické čištění odpadních vod - aerobní procesy. In: *Ústav pro životní prostředí PŘF UK* [online]. PRAHA: Martin Pivokonský, 2014 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwj3weuQgOPgAhVCY1AKHTeyANEQFjAEegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.pivokonsky.wz.cz%2FZOVI6-17%2Fznecistovani_ochrana_vod_6.pdf&usg=AOvVaw2L2vIUjdw0_64y6lejENHJ
- (21) *VŠB TU Ostrava - Biologické čištění odpadních vod* [online]. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2010 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/bio.html
- (22) *Poradme.se* [online]. Praha: MŽP, 2004 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: http://poradme.se/index.php/Jak_funguje_%C4%8Dist%C3%ADrna_odpadn%C3%ADch_vod
- (23) *Tretiruka.cz* [online]. Praha: Ing. Filip Wanner, Ph.D., SOVAK ČR, 2017 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/nakladani-s-cistirenskymi-kaly1/>
- (24) *Biom.cz: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů* [online]. Praha: Michal Dohányos, 2006 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>
- (25) *Hygienizace kalů* [online]. Hradec Králové: web.vscht.cz, 2009 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwji-7Wsm_zgAhWLZVAKHTFYDykQFjACegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fweb.vscht.cz%2Fjenicekp%2FKalov%25C3%25A9%2520hospod%25C3%25A1%25C5%2599stv%25C3%25AD%2FKH%252012%2520-%2520hygienizace.pdf&usg=AOvVaw0Nj_6YujuZ5PaRDxLcbkLI
- (26) *Zpracování kalů: Využití odpadních kalů* [online]. Ostrava: VŠB OSTRAVA, 2008 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/vyuziti.html>
- (27) DOHÁNYOS, Michal a Jana ZÁBRANSKÁ, *Enhancement of anaerobic sludge digestion by using of a special thickening centrifuge*. 1997. IWA Publishing.
- (28) *Imaturita.cz: Chemie - Teorie kyselin a zásad* [online], 2003. Praha: imaturita.cz [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://www.imaturita.cz/maturitni-otazky/chemie/teorie-kyselin-a-zasad/191/>

(29) *Arnika.org: Chemie - Teorie kyselin a zásad* [online], 2009. Praha: arnika.org [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://arnika.org/dioxiny>

(30) *Chemie od A do Z: Puriny* [online], 2015. Praha: <http://chemie.g6.cz> [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://chemie.g6.cz/?p=210>

9 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 OBYVATELÉ TRVALE BYDLÍCÍ V DOMECH NAPOJENÝCH NA KANALIZACI V ROCE 2017	2
OBRÁZEK 2 STRUKTURA VYPOUŠTĚNÝCH VOD V ROCE 2017	3
OBRÁZEK 3 SCHÉMA ČOV ČERNOŠICE.....	17
OBRÁZEK 4 ČESLE NA ČOV ČERNOŠICE	19
OBRÁZEK 5 ČESLE SE ŠNEKOVÝM DOPRAVNÍKEM DOPRAVNÍKEM	19
OBRÁZEK 6 LAPÁK PÍSKU.....	20
OBRÁZEK 7 VYTĚŽENÝ PÍSEK.....	20
OBRÁZEK 8 POHLED NA BIOLOGICKOU LINKU ČOV ČERNOŠICE	22
OBRÁZEK 9 HLADINY OXIDAČNĚ REDUKČNÍHO POTENCIÁLU	23
OBRÁZEK 10 DETAIL V NITRIFIKAČNÍ NÁDRŽI	25
OBRÁZEK 11 DOSAZOVACÍ NÁDRŽ V ČOV ČERNOŠICE.....	28
OBRÁZEK 12 ROZDĚLOVACÍ OBJEKT	31
OBRÁZEK 13 SCHÉMA ČOV - KONCEPCE DS-D-N	32
OBRÁZEK 14 DETAIL PARSHALLOVA ŽLABU	35
OBRÁZEK 15 MĚRNÝ OBJEKT PŘÍ VÝTOKU VYČIŠTĚNÉ VODY DO RECIPIENTU.....	35
OBRÁZEK 16 DETAIL ODPADNÍHO KALU	37
OBRÁZEK 17 DMYCHÁRNA.....	41
OBRÁZEK 18 KALOVÁ JÍMKA JE POD OBJEKTEM.....	42
OBRÁZEK 19 ODSŤŘEDIVKA	43
OBRÁZEK 20 ODVOZ KALU Z ČOV	43

10 Seznam tabulek

TABULKA 1 POČET ČOV V ČR.....	4
TABULKA 2 PŘEHLED ZPŮSOBŮ A ZAŘÍZENÍ PRO MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	18
TABULKA 3 ZÁCHYT SHRABKŮ	30
TABULKA 4 PRODUKCE PÍSKU.....	30
TABULKA 5 CHARAKTERISTIKA PROCESU CHEMICKÉ ELIMINACE SLOUČENIN FOSFORU	33
TABULKA 6 PRODUKCE KALŮ V ČR V TUNÁCH	38
TABULKA 7 PARAMETRY KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČOV ČERNOŠICE	43

11 Přílohy

Příloha 1: Definice pojmů a zkratk

- Aerobní – za přístupu vzduchu;
- Aktivovaný kal – je tvořen mikroorganismy, převážně bakteriemi;
- Amoniak – je bezbarvý, velmi štiplavý plyn. Amoniak je toxická, nebezpečná látka zásadité povahy, chemická značka je NH_3 ;
- Anaerobní – bez přístupu vzduchu;
- Asimilační – přijímání a přeměna látek živým organismem pro výstavbu jeho těla;
- Brønstedova teorie – definuje za jakých podmínek se látky chovají jako kyseliny nebo zásady (28);
- BSK – biochemický spotřeba kyslíku;
- ČOV – čistírna odpadních vod;
- Deaerátor – odvzdušňovač;
- Denitrifikace – jsou biologické postupy, kterými se provádí úprava vody;
- Dioxiny – je obecný název pro skupinu toxických polychlorovaných organických heterocyklických sloučenin, Vznikají například při spalování odpadu obsahujícího chlórované látky (29);
- Disimilační – proces rozkladu složitých organických látek v buňkách a tkáních živého organismu v důsledku látkové výměny;
- Ds-D-N systém – Ds-denitrifikační selektor, D-denitrifikace, N-Nitrifikace;
- Dusičnany – jsou soli kyseliny dusičné;
- Dusíková bilance – rozdíl mezi celkovým příjmem dusíku organismem a jeho ztrátou;
- Dusitany – jsou soli kyseliny dusité;
- EO – Ekvivalentní obyvatel – jedná se o znečištění vyprodukované od jednoho obyvatele;
- Flokulant – chemické látky, které jsou schopné shlukovat nejjemnější suspendované a koloidní částice do velkých aglomerátů – vloček;
- Fosforečnany – jsou soli kyseliny fosforečné;

- Fugát – neboli procesní voda, je tekutý produkt vyhnívacího procesu a má charakter vody odpadní;
- Gravimetrická metoda – je metodou chemické kvantitativní analýzy, která je založená na vyloučení stanovované složky ve formě málo rozpustné sloučeniny (9);
- CHSK – chemická spotřeba kyslíku;
- Kondicionace – přizpůsobování, přizpůsobení materiálu určitým vlivům;
- Kyanid – je draselná sůl kyseliny kyanovodíkové;
- Nitrifikace – jsou biologické postupy, kterými se provádí úprava vody;
- OV – odpadní vody;
- Oxidace – je děj, při kterém dochází ke zvyšování oxidačního čísla částice;
- pH – je číslo, kterým v chemii vyjadřujeme, zda vodný roztok reaguje kyselé či naopak zásaditě;
- Polyfeonly – jsou skupina chemických sloučenin obsažených v rostlinách;
- Poly-P bakterie – jsou schopné zvýšené akumulace fosforu do buněk;
- Přebytečný kal – přebytečná biomasa z biologického růstu, kal z dosazovacích nádrží (9);
- Puriny – jsou deriváty dusíkatých heterocyklických sloučenin. Tyto látky jsou biologicky významné, jsou součástí nukleových kyselin i jiných látek nezbytných pro život (30);
- Redukce – je snížení oxidačního čísla;
- Tenzidy – jsou povrchově aktivní organické látky;