

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2017

Bc. DANA KOUKALOVÁ

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav aplikované krajinné ekologie



**Studie zhodnocení kalového hospodářství městské čistírny
odpadních vod (ČOV)**
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Věra Hubačiková, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Dana Koukalová

Brno 2017



Ústav aplikované a krajinné ekologie
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Dana Koukalová**
Studijní program: Technologie odpadů
Obor: Technologie a management odpadů
Konzultant: Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
Název tématu: **Studie zhodnocení kalového hospodářství městské čistírny odpadních vod (ČOV)**
Rozsah práce: 55 + přílohy

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše dané problematiky a s ní i přehledu souvisejících legislativních předpisů.
2. Popis technologie vybrané městské čistírny odpadních vod.
3. Sběr dat pro vyhodnocení provozních parametrů městské ČOV.
4. Vyhodnocení provozních parametrů ČOV a posouzení kalového hospodářství ČOV.
5. Návrh variant doporučení na zlepšení účinnosti kalového hospodářství ČOV.

Seznam odborné literatury:

1. HLAVÍNEK, P. – MALÝ, J. *Čištění průmyslových odpadních vod*. Brno: NOEL 2000 , 1996. 255 s.
2. VÍTEZ, T. – GRODA, B. *Čištění a čistírny odpadních vod*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 126 s. ISBN 978-80-7375-180-7.
3. ŠÁLEK, J. – MIČÍN, J. – HLAVÍNEK, P. a kol. *Vodní stavitelství*. Brno: CERM, 2001. 144 s. ISBN 80-214-2068-5.
4. Zákon o vodách č. 254/2001 Sb.
5. HUBAČÍKOVÁ, V. *Vodní hospodářství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. 128 s. ISBN 978-80-7509-239-7.
6. MALÝ, J. – MALÁ, J. – FEDRUS, H. *Chemie a technologie vody*. 1. vyd. Brno: NOEL 2000, 1996. 197 s. ISBN 80-86020-13-4.

Datum zadání diplomové práce: říjen 2015

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2017


Bc. Dana Koukalová
Autorka práce




Ing. Věra Hubáčiková, Ph.D.
Vedoucí práce


doc. Ing. Dr. Milada Štátná
Vedoucí ústavu


doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci:

Studie zhodnocení kalového hospodářství městské čistírny odpadních vod (ČOV) vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 15. 4. 2017

.....
podpis

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Věře Hubačkové, Ph.D. za vedení diplomové práce, Ing. Janu Follerovi a Ing. Petru Hlušíkovi, Ph.D. za cenné konzultace k diplomové práci. Dále bych poděkovala rodině za podporu při studiu.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na zhodnocení kalového hospodářství městské čistírny odpadních vod. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá vznikem čistírenských kalů na ČOV, složením, vlastnostmi a možnostmi jejich zpracování, jejich využití nebo následnou likvidací a rovněž legislativou ČR a Evropské unie. Praktická část se zabývá technologickým popisem ČOV Tišnov – Březina a procesem čištění odpadních vod uvedené ČOV. Další část práce vyhodnocuje účinnost procesu čištění a hydraulické zatížení ČOV, popisuje provozní problémy technologických procesů při čištění odpadních vod, a to zejména kalového hospodářství a následně se zaměřuje na návrh opatření, která jsou vhodná zejména pro anaerobní stabilizaci kalu, zvýšení produkce bioplynu a v neposlední řadě odvodnění a vysušení čistírenského kalu.

Klíčová slova

čistírna odpadních vod, účinnost ČOV, čistírenský kal, kalové hospodářství

Abstract

Diploma thesis focuses on the evaluation of the sludge management of the municipal sewage treatment plant. The thesis is divided into the theoretical and practical part. The theoretical part deals with the formation of sewage sludge at WWTPs, composition, properties and possibilities of their treatment, their utilization or subsequent liquidation as well as legislation of the Czech Republic and the European Union. The practical part deals with the technological description of the waste water treatment plant Tišnov - Březina and with the wastewater treatment process of the WWTP. Another part of the thesis evaluates the efficiency of the cleaning process and the hydraulic load of the WWTP, describes the operational problems of the technological processes in the waste water treatment, especially the sludge management, and subsequently focuses on the design of measures, which are suitable especially for anaerobic sludge stabilization, biogas production, and last but not least a series of dewatering and drying of sewage sludge.

Keywords

waste water treatment plant, efficiency of WWTP, sewage sludge, sludge management

OBSAH

1 ÚVOD.....	8
2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	9
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1 Legislativa odpadového a vodního hospodářství.....	10
3.2 Zákony	11
3.3 Vyhlášky	12
3.4 Nařízení.....	13
3.5 Normy	13
3.6 Legislativa Evropské unie.....	14
4 VYBRANÉ POJMY	16
5 ČISTÍRENSKÉ KALY A NAKLÁDÁNÍ S NIMI	17
5.1 Charakteristika kalu	17
5.1.1 Primární kal.....	17
5.1.2 Přebytečný kal.....	18
5.1.3 Kal z biologické filtrace.....	19
5.1.4 Chemický kal	19
5.1.5 Odkalování usazovacích nádrží	19
5.1.6 Odběr přebytečného aktivovaného kalu	19
5.1.7 Technologie zpracování kalu	20
5.1.8 Zahušťování kalu	21
5.1.9 Stabilizace kalu	22
5.1.10 Odvodňování kalu.....	22
5.1.11 Předúprava kalu	23
5.1.12 Hygienizace kalu.....	23
5.1.13 Termofilní aerobní stabilizace	23
5.1.14 Nakládání s kalem z ČOV	23
6 METODIKA	26
7 CHARAKTER ZÁSTAVBY MĚSTA TIŠNOV	27
7.1 Demografie města Tišnov	27
7.2 Vodovody a kanalizace	28
7.3 Urbanismus města.....	28
8 ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD TIŠNOV – BŘEZINA.....	29

8.1	Obecné informace	29
8.2	Mechanická část čistírny odpadních vod	31
8.2.1	Lapák štěrku	32
8.2.2	Hrubé česle	32
8.2.3	Dešťová nádrž	32
8.2.4	Lapák písku	33
8.2.5	Jemné česle	34
8.2.6	Čerpací stanice odpadních vod	35
8.2.7	Usazovací nádrž	35
8.3	Biologická část čistírny odpadních vod	36
8.3.1	Rozdělovací komora	36
8.3.2	Regenerační nádrže a anoxický selektor	37
8.3.3	Aktivační nádrže	37
8.3.4	Dosazovací nádrže	38
8.4	Chemické hospodářství	39
8.4.1	Chemické srážení fosforu	39
8.5	Kalové hospodářství	39
8.5.1	Zahuštění přebytečného kalu	39
8.5.2	Fermentační reaktor	41
8.5.3	Uskladňovací nádrž	42
8.5.4	Pasterizace – hygienizace kalu	43
8.5.5	Odvodnění kalu	43
8.5.6	Plynojem	45
8.5.7	Kotelna	45
8.6	Metody a postupy odběru vzorků odpadní vody	45
8.6.1	Odběry a příprava vzorků	45
8.6.2	Sledované veličiny	46
9	VÝSLEDKY A DISKUZE	47
9.1	Účinnost čištění odpadních vod ČOV Tišnov – Březina	47
9.2	Rozbory kalu z let 2014, 2015 a 2016	50
9.3	Vyhodnocení kalového hospodářství ČOV Tišnov – Březina	52
9.3.1	Zahuštění primárního kalu	52
9.3.2	Flotace	52
9.3.3	Pasterizace kalu	52

9.3.4 Fermentační reaktor	52
9.3.5 Dávkovací stanice flokulantu.....	53
9.3.6 Strojní odvodnění kalu.....	53
10 NÁVRH OPATŘENÍ.....	54
10.1 Fermentační reaktor	54
10.1.1 Návrh fermentačního reaktoru na základě potřebného objemu na 1000 EO.....	54
10.1.2 Míchadlo fermentačního reaktoru.....	56
10.2.2 Změna z mezofilního procesu anaerobní stabilizace na termofilní anaerobní stabilizaci kalu	58
10.3 Návrh na zvýšení produkce bioplynu	59
10.4 Deponie odvodněného kalu	61
10.5 Sušárna kalu – solární sušárna HUBER SRT 11	61
10.6 Shrnutí návrhu opatření	65
11 ZÁVĚR	66
LITERATURA	68
SEZNAM TABULEK	70
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	71
SEZNAM GRAFŮ	72
SEZNAM ZKRATEK	73
PŘÍLOHY	74

1 ÚVOD

Kalové hospodářství bylo v minulosti dosti opomíjeno z hlediska provozu čistíren odpadních vod, ale v současné době, kdy náklady na kalové hospodářství dosahují hodnoty 30 - 50 % provozních nákladů čistíren odpadních vod se tato problematika dostává do popředí.

Hlavním odpadním produktem při čištění odpadních vod je kal. Technologie čištění odpadních vod je navržena tak, aby odstranila nežádoucí složky z odpadní vody. Tyto nežádoucí složky se koncentrují v čistírenském kalu, který se musí upravit tak, aby nedošlo k nežádoucímu vlivu na životní prostředí a zdraví člověka. V souvislosti s platnou legislativou se hledají možnosti, jak tyto kaly zpracovávat nebo využít, aby se dodržovala odpadová politika EU a tyto biologicky rozložitelné odpady se neukládaly na skládky, ale co nejvíce se využily jako zdroj energie, jako palivo nebo k výrobě hnojiv. To vše závisí právě na správném technologickém procesu kalového hospodářství. Výběrem vhodné technologie lze zmenšit množství kalů, které závisí na množství znečištění odpadních vod a technologickém procesu čištění. V současné době jsou možnosti zpracování čistírenských kalů zaměřeny na snižování patogenních mikroorganismů, zápachu a obsahu vody v kalech. Zpracování kalů spočívá ve využití v zemědělství, v kompostování a v termickém zpracování. Konečné řešení nakládání s kaly musí splňovat platné legislativní požadavky, využití energie a cenných látek obsažených v kalech, minimalizaci nákladů a spotřebu energie a ochranu životního prostředí.

2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zhodnocení kalového hospodářství městské čistírny odpadních vod. Jedná se o ČOV Tišnov – Březina.

Dílčí cíle:

- zpracování literární rešerše, zaměřené na kalové hospodářství ČOV, na zpracování čistírenských kalů a je opřena o odbornou literaturu, zákony, vyhlášky, nařízení a normy platné pro Českou republiku a legislativu Evropské unie.
- technologický popis ČOV Tišnov – Březina, popis procesu čištění odpadních vod uvedené ČOV.
- vyhodnocení účinnosti a hydraulického zatížení ČOV Tišnov – Březina, popis provozních problémů technologických procesů při čištění odpadních vod, zejména kalového hospodářství
- návrh opatření, vhodných zejména pro anaerobní stabilizaci kalu, zvýšení produkce bioplynu a v neposlední řadě odvodnění a vysušení čistírenského kalu.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Legislativa odpadového a vodního hospodářství

Požadavky na ochranu životního prostředí se snaží předcházet vzniku odpadů popřípadě minimalizovat množství odpadů, jeho recyklaci nebo dalšího využití jako druhotné suroviny.

Ze zákona č. 254/2001 Sb. o vodách (vodní zákon) je čistírna odpadních vod vodní dílo (§ 55, odst. 1). Provoz vodního díla musí mít schválený provozně-manipulační řád (§ 59, odst. 1 písmeno a). V tomto provozně-manipulačním řádu se vymezí kvantitativní, kvalitativní parametry vznikajících odpadních látek a způsob nakládání s nimi v rámci provozu vodního díla. Čistírenský kal vzniká jako produkt technologických procesů při čištění odpadních vod a z hlediska ochrany životního prostředí je to odpad a musí se s ním nakládat v souladu s platnou legislativou ČR.

Působnost zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech v platném znění se vztahuje na nakládání s čistírenskými kaly. Podle tohoto zákona je čistírenský kal odpadem podobným komunálnímu odpadu. Zákon ukládá původci odpadu odstranění odpadu, pokud není možné jeho další zpracování a povinnosti při používání kalů. Ministerstvo životního prostředí stanovilo vyhláškou č. 93/2016 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů, kde čistírenský kal je zařazený do skupiny odpadů č. **19** – tj. Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod a pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely. Dále do podskupiny **19 08** – tj. Odpady z čistíren odpadních vod a konkrétní druh odpadu:

- **19 08 01** – Shrabky z česlí;
- **19 08 02** – Odpady z lapáků písku;
- **19 08 05** – Kaly z čištění komunálních odpadních vod;
- **19 08 06*** – Nasycené nebo upotřebené pryskyřice iontoměničů;
- **19 08 07*** – Roztoky a kaly z regenerace iontoměničů;
- **19 08 08*** – Odpad z membránového systému obsahující těžké kovy;
- **19 08 09** – Směs tuků a olejů z odlučovače tuků obsahující pouze jedlé oleje a tuky;
- **19 08 10*** – Směs tuků a olejů z odlučovače tuků neuvedená pod číslem 19 08 09

- **19 08 11*** – Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod obsahující nebezpečné látky
- **19 08 12** – Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 11
- **19 08 13*** – Kaly z jiných způsobů čištění průmyslových odpadních vod obsahující nebezpečné látky
- **19 08 14** – Kaly z jiných způsobů čištění průmyslových odpadních vody
- **19 08 99** – Odpady jinak blíže neurčené.

3.2 Zákony

Zákon č. **185/2001 Sb.** o odpadech a o změně některých dalších zákonů se vztahuje na nakládání s odpady. Stanovuje práva a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s odpady. Upravuje nakládání s druhy odpadů, jako jsou odpadové oleje, baterie a akumulátory, odpady z azbestu, kaly z čistíren odpadních vod, autovraky a další. Zákon upravuje dovoz a vývoz odpadů. Reguluje a stanoví základní podmínky nakládání s kaly. Zákaz použití kalů se vztahuje na půdu, která se musí obzvláště chránit. Je zakázáno používat kaly, které nesplňují mikrobiologická kritéria daná vyhláškou např.: koliformní bakterie, enterokoky, Salmonella sp.

Zákon č. **254/2001 Sb.** o vodách a o změně některých zákonů – vodní zákon ve znění pozdějších předpisů. Účelem tohoto zákona je ochrana povrchových a podzemních vod, stanovit podmínky hospodárného využívání vodních zdrojů, zachování a zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod. Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod. Stanoví podmínky nakládání s povrchovými a podzemními vodami. Vymezuje pravomoc vodoprávního úřadu. K vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních a do kanalizace je zapotřebí povolení Vodoprávního úřadu.

Zákon č. **150/2010 Sb.**, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Zákon č. **477/2001 Sb.** o obalech a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. **76/2002 Sb.**, o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění zákona č. 521/2002 Sb.

Zákon č. **274/2001 Sb.** o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.

Tento zákon upravuje některé vztahy vznikající při rozvoji, výstavba a provozu vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě, přípojek na ně, jakož i působnost orgánů územních samosprávných celků a správních úřadů na tomto úseku.

Tento zákon se vztahuje na vodovody a kanalizace, pokud je trvale využívá alespoň 50 fyzických osob, nebo pokud průměrná denní produkce z ročního průměru pitné nebo odpadní vody za den je 10 m³ a více.

Zákon se nevztahuje na vodovody, které slouží pro rozvody jiné než pitné vody, oddílné kanalizace, sloužící k odvádění povrchových vod vzniklých odtokem srážkových vod.

3.3 Vyhlášky

Vyhláška č. **41/2005 Sb.**, kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

Vyhláška č. **294/2005 Sb.** o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

Vyhláška č. **341/2008 Sb.** o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady).

Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví č. **94/2016 Sb.** o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů.

Vyhláška č. **374/2008 Sb.** o přepravě odpadů a o změně vyhlášky č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů), ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. **383/2001 Sb.** o podrobnostech nakládání s odpady.

Vyhláška č. **437/2016 Sb.**, o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, určuje mezní hodnoty koncentrací rizikových látek v půdě a rizikových látek, které mohou být do zemědělské půdy přidány, stanový mezní hodnoty koncentrací rizikových látek a prvků v kalech a mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě.

Vyhláška č. **478/2008 Sb.**, kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů.

3.4 Nařízení

Nařízení vlády č. **401/2015 Sb.**, 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.

3.5 Normy

ČSN 46 5735 Průmyslové komposty

ČSN 75 0161 Vodní hospodářství – Terminologie v inženýrství odpadních vod

ČSN 75 3310 Odkaliště

ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky vč. opravy č. 1, 2, 3

ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel

ČSN 75 8084 Pokyny k udržení a rozšíření způsobů využití a zneškodnění kalů

ČSN 75 8085 Pokyny k využívání kalů při rekultivaci půdy

Norma specifikuje použití kalů na rekultivaci porušené půdy. Kal se využívá s přihlédnutím na místní podmínky k vylepšení půdy a jako zdroj nutrientů pro rostliny. Určuje, jaký a kolik kalu je možno použít. Dává důraz na ochranu vod před znečištěním a ochranu půdy. Zahrnuje technickou a ekonomickou analýzu, provozní činnosti jako je příprava místa rekultivace, doprava, skladování a aplikace kalu, obnova vegetace a následný monitoring.

ČSN 83 0901 Ochrana povrchových vod před znečištěním. Všeobecné požadavky

ČSN EN 1085 Čištění odpadních vod - Slovník

ČSN EN 12255-1 Čistírny odpadních vod - Část 1: Všeobecné konstrukční zásady.

ČSN EN 12255-3 Čistírny odpadních vod - Část 3: Předčištění.

ČSN EN 12255-4 Čistírny odpadních vod - Část 4: Primární čištění.

ČSN EN 12255-6 Čistírny odpadních vod - Část 6: Aktivace.

ČSN EN 12255-8 Čistírny odpadních vod - Část 8: Kalové hospodářství.

ČSN EN 12255-9 Čistírny odpadních vod - Část 9: Kontrola pachů a odvětrání.

ČSN EN 12255-10 Čistírny odpadních vod - Část 10: Zásady bezpečnosti.

ČSN EN 12255-11 Čistírny odpadních vod - Část 11: Všeobecné návrhové údaje.

ČSN EN 12255-12 Čistírny odpadních vod - Část 12: Automatizovaný systém řízení.

ČSN 75 6601 Strojně-technologická zařízení čistíren odpadních vod - Všeobecné požadavky.

TNV 75 6613 Navrhování aeračních systémů čistíren odpadních vod. Pneumatická aerace.

TNV 75 6930 Obsluha a údržba čistíren odpadních vod.

ČSN EN 13695-1 Charakterizace odpadů – Názvosloví – Část 1: Názvy a definice vztahující se k materiálu

ČSN EN 13695-2 Charakterizace odpadů – Názvosloví – Část 2: Názvy a definice vztahující se k nakládání s odpady

ČSN EN ISO 5667-13 Odběr vzorků – Část 13: Návod pro odběr vzorků kalů

ČSN EN ISO 5667-15 Pokyny pro konzervaci a manipulaci se vzorky kalu a sedimentu

3.6 Legislativa Evropské unie

Směrnice **2006/12/ES**, o odpadech;

směrnice **2000/76/ES**, o spalování odpadů,

směrnice **99/31/ES**, o skládkách odpadu,

směrnice **2008/1/ES**, IPPC (o integrované prevenci a omezování znečištění),

směrnice EP a Rady (ES) **2009/28/ES**, o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES (RED);

směrnice EP a Rady (ES) **2009/30/ES**, kterou se mění směrnice 98/70/ES, pokud jde o specifikaci benzínu, motorové nafty a plynových olejů, zavedení mechanismu pro sledování a snížení emisí skleníkových plynů (FQD),

směrnice Rady o odpadech číslo **75/442/ES**.

V souladu se strategií EU v nakládání s odpady je nejvyšší prioritou předcházení nebo omezování vzniku odpadů a jejich nebezpečnosti, následuje materiálové využití odpadů jako zdrojů druhotných surovin, energetické využití odpadů, a konečně tepelné odstranění bez využití energie, skládkování nebo jiné bezpečné odstranění. Směrnice ukládá přijmout vhodná opatření na podporu těchto priorit.

Směrnice vyžaduje přijmout nezbytná opatření k zajištění, aby se odpady odstraňovaly nebo recyklovaly bez ohrožení lidského zdraví a bez použití postupů či metod, které by mohly poškodit životní prostředí. Rovněž je třeba učinit opatření k zákazu nepovoleného ukládání a nekontrolovaného odstraňování odpadů.

Směrnice Rady o nebezpečných odpadech číslo **91/689/ES**;

nařízení EP a Rady o přepravě odpadů číslo **1013/2006/ES**;

98/2008/EC s cíli pro rok 2020 – využití 50 % hmotnosti komunálních odpadů a 70 % odpadů ze stavebnictví a demolic – týká se všech odpadních plastů. Do roku 2020 se má recyklovat 70 % komunálních odpadů a 80 % obalů (60 % plastů);

Energetické využití odpadů je na čtvrtém místě v pětistupňové hierarchii nakládání s odpady. Stanovenou hierarchii způsobů nakládání s odpady však nelze posuzovat rigidně. Reflektuje pořadí priorit toho, co obecně představuje nejlepší celkovou volbu z hlediska životního prostředí v rámci právních předpisů a politiky v oblasti nakládání s odpady s přihlédnutím k ekonomické a sociální únosnosti. Nicméně členské státy jsou zavázány přijmout opatření, která podpoří možnosti, jež představují nejlepší celkový výsledek z hlediska životního prostředí. U zvláštních toků odpadů se tak připouští odchýlení se od hierarchie, je-li to odůvodněno mimo jiné technickou proveditelností, hospodářskou životaschopností a ochranou životního prostředí.

94/62/EC – obalové plasty.

4 VYBRANÉ POJMY

Čistírenský kal – suspenze anorganických a organických látek, které byly odstraněny z odpadní vody v technologickém procesu čistírny odpadních vod. Je to směs vody a pevných látek oddělených z odpadní vody [1].

Flotace – separace tuhých nebo kapalných částic z kapalně fáze, která se provádí zavedením jemných vzduchových bublin do kapalně fáze. Bubliny přilnou k jednotlivým částicím a jsou v separační zóně vynášeny k hladině, tam vytvoří plovoucí kalovou pěnu, která je hydraulicky nebo mechanicky odstraněna z hladiny [19].

Kalové pole – mělké otevřené obdélníkové betonové nádrže s upraveným, nebo zpevněným dnem (udusaný jíl), které je vysypáno šterkopískem. Dno je ve sklonu k drážce s odvodňovací drenáží. Probíhá zde jednak odvodňování kalu pomocí drenáže a vysoušení odpařováním vody do ovzduší [19].

Kalová laguna – podobné zařízení jako kalové pole, ale mají přirozené dno, bez drenážní vrstvy. Obvodové hrázky se navrhují zemní, zpevněné drnováním, panely nebo dlažbou. Kalové laguny jsou opatřeny vjezdem pro mechanizaci [19].

Sedimentace – usazování pevných částic na dno sedimentační nádrže pomocí gravitace.

Zahušťování kalu – schopnost kalu zvýšit koncentraci tuhých látek. Cílem procesu je zahuštění kalu na 4,5 – 6 % sušiny. Zahušťování se provádí sedimentací nebo pomocí flotace [19].

Odvodňování kalu – snížení obsahu přebytečné odpadní kalové vody na 18 % sušinu. Odvodněním vznikne kal rypatelné konzistence a dochází tím ke snížení jeho objemu [19].

Odpad – je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se ji zbavit [14].

Gastroodpad – biologicky rozložitelná hmota, která vzniká v restauracích, jídelnách, ve výrobnách potravin a v provozech obdobného charakteru.

5 ČISTÍRENSKÉ KALY A NAKLÁDÁNÍ S NIMI

V závislosti na velikosti čistírny odpadních vod, jejím zatížení a zvolené technologii produkuje ČOV množství kalu, které se zpracovávají v kalové koncovce, která je nedílnou součástí technologické linky čištění odpadních vod. Důležité je následné využití nebo odstranění kalu [2].

Čistírenské kaly lze rozdělit podle charakteru a jejich vzniku na kaly:

- primární
- biologické
- chemické

5.1 Charakteristika kalu

Kal obsahuje látky rozpuštěné, koloidní a suspendované. Ve většině převažují látky suspendované a obsah vody převyšuje obsah pevných látek. Voda v kalech je vázána volně, koloidně nebo kapilárně. Volná voda se nejlépe odseparuje sedimentací. Koloidně vázanou vodu odstraníme zrušením elektrického náboje mezi koloidními částicemi. Kapilárně vázanou vodu uvolníme tím, že na kal vyvineme sílu větší než je síla kapilární.

Suspendované látky, které jsou obsaženy v kalu, mohou být hydrofilní nebo hydrofobní, podle jejich přitažlivosti k afinitě vody [1].

Obsah sušiny kalu je základní charakteristikou, která se stanoví odpařením vody při teplotě 105°C. V sušině kalu jsou složky organické i anorganické [24].

5.1.1 Primární kal

Primární kal se odděluje sedimentací v usazovacích nádržích usazením usaditelného podílu nerozpuštěných látek v odpadní vodě. Jeho množství závisí zejména na množství nerozpuštěných látek, které přitékají na ČOV a na účinnosti primární sedimentace [2].

Tab. 5.1 Specifické znečištění v g na 1 obyv. a den za usazovacími nádržemi [2]

	po sedimentaci 0,5 – 1,0 hod	po sedimentaci 1,0 – 1,5 hod.	po sedimentaci ≥ 1,5 hod.
NL	30	27	23
BSK ₅	50	45	40

Hodnoty velmi dobře odpovídají hodnotám zjišťovaným v praktickém provozu ČOV.

Složení primárního kalu závisí na použité technologii čištění odpadních vod – viz Tab.5.2

Tab. 5.2 Složení primárního kalu podle zastoupení jednotlivých typů org. látek

Parametr	Obsah ve hmot. %
Tuky	5,7 – 44,0
Bílkoviny	19,0 – 28,0
Celulóza, hemicelulóza, lignin	12,8 – 25,4
Huminové kyseliny	do 4,0
Ncelk.	2,0 – 4,54
Pcelk.	0,5 – 2,1
Fe	2,1 – 3,5
Al	1,3 – 2,5
Anorganická složka celkem	25,0 – 30,0

Primární kal obsahuje velké množství mikroorganismů (hlavní složka primárního kalu – splašková voda) je nutné počítat s tím, že i po jeho separaci nebo při jeho zpracování budou probíhat biochemické rozkladné procesy, které započaly již během transportu odpadní vody na čistírnu. Základní vlastností primárního kalu je jeho vysoká reaktivita a snadná sedimentace. V důsledku začínajících nebo probíhajících rozkladných procesů a nedostatku kyslíku charakterizuje primární kal anaerobní prostředí [3].

5.1.2 Přebytečný kal

Tento kal vzniká jako přebytečný kal v aktivačním systému nebo jako kal z biologické filtrace. Přebytečný aktivovaný kal lze definovat jako směs přiváděných inertních nerozpuštěných látek v odpadní vodě do aktivace a vyprodukované biomasy. Množství biomasy závisí na poměru NL:BSK₅, teplotě a stáří kalu [2].

Produkcí přebytečného kalu ovlivňuje:

- teplota vody;
- stáří kalu;
- přítomnost primární sedimentace;
- technologická koncepce primárního stupně;
- chemické srážení fosforu;
- účinnost dosazovací nádrže [3].

Na rozdíl od primárního kalu, kde jeho složení je silně ovlivněno kvalitou přiváděné odpadní vody, u složení přebytečného kalu tyto rozdíly nepozorujeme.

V závislosti na technologické koncepci biologického stupně je přebytečný kal méně reaktivní a na rozdíl od primárního kalu má horší sedimentační vlastnosti [3].

5.1.3 Kal z biologické filtrace

Tento kal tvoří vyplavená blána ze skrápěného biologického filtru. Je tvořený zejména inertními látkami a mrtvými mikrobiálními buňkami [2].

5.1.4 Chemický kal

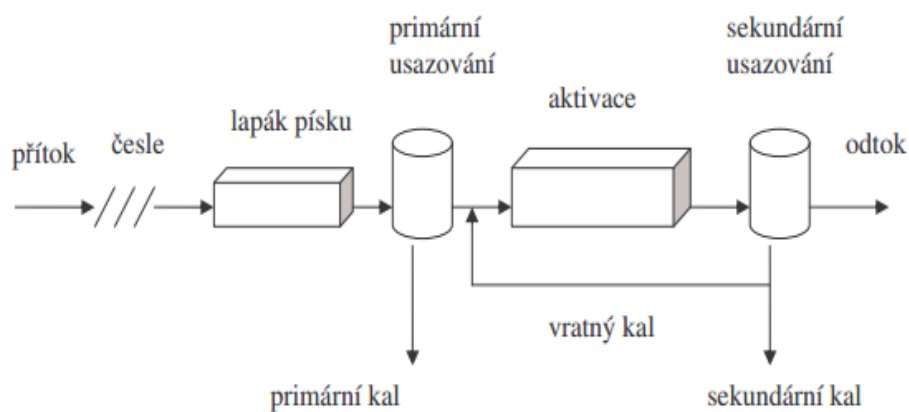
Na čistírnách odpadních vod se převážně používá ke srážení fosforu síran železitý, čímž se zvyšuje celková produkce kalu o kal chemický. Množství chemického kalu je dáno způsobem aplikace srážedel a jejich chemickým složením. Hydroxidy, jako vedlejší produkt hydrolytických reakcí, zvyšují produkci chemického kalu. Složení chemického kalu je závislé na použitých sloučeninách a na fyzikálně-chemických podmínkách srážení. Obecné vlastnosti chemického kalu jsou dány dobou zrání vzniklé sraženiny, množstvím zachyceného organického materiálu a chemickými vlastnostmi použitého kationu. Sedimentační vlastnosti kalu jsou špatné a závisí na množství zachycené organické hmoty [3].

5.1.5 Odkalování usazovacích nádrží

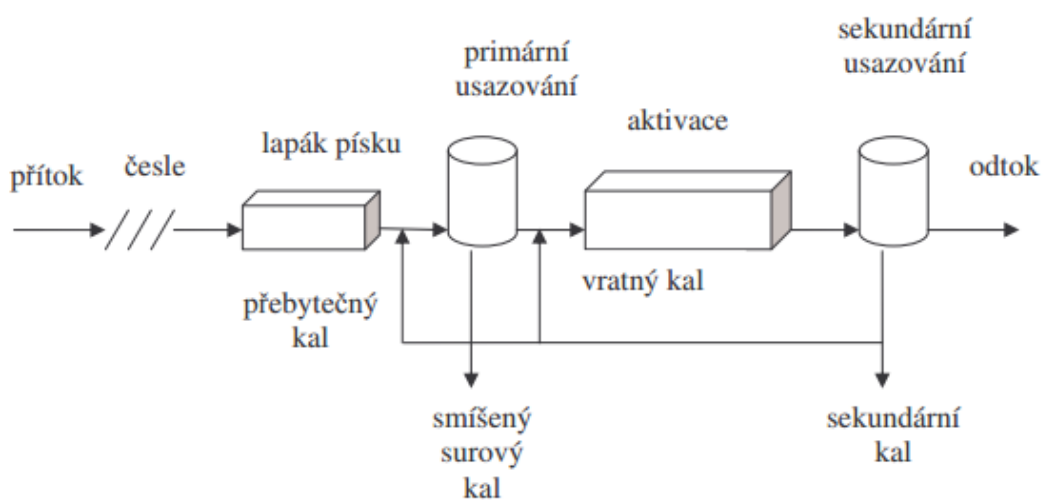
Odběr usazeného kalu z konusů usazovacích nádrží se stanovuje pro každou čistírenskou lokalitu individuálně. Kal v sedimentačních prostorách nádrží nesmí zahnívat. Četnost odkalení se stanovuje v průměru 3 – 4x za 24 hodin v závislosti na způsobu odběru a charakteru kalu. Hlavní požadavkem obvykle je provozní spolehlivost odkalovacího systému a optimální zahuštění kalu. Ovšem přílišné zahuštění kalu způsobuje obtížné odkalování [2].

5.1.6 Odběr přebytečného aktivovaného kalu

Z dosazováku do aktivace se z externí recirkulace odebírá přebytečný aktivovaný kal. Množství má odpovídat denní produkci kalu a splňovat podmínku dodržení stanovené koncentrace aktivační směsi bez výrazného kolísání. Odkalovat můžeme kontinuálně nebo diskontinuálně. Musíme dbát, aby jednorázové odkalení neovlivnilo hydraulické a technologické parametry objektů biologického čištění [2].



Obr. 1 Schéma odděleného odebrání kalu ze systému [1]



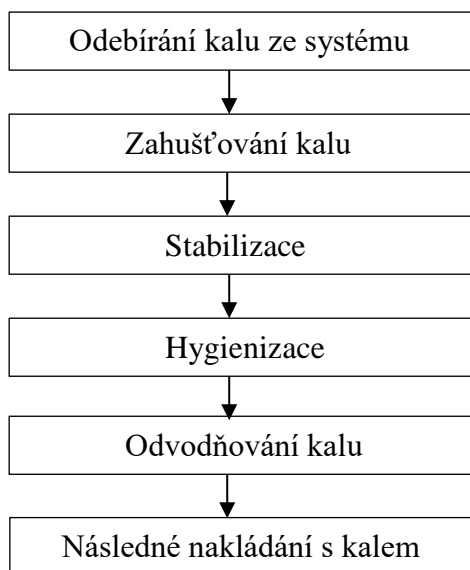
Obr. 2 Schéma společného odebrání kalu ze systému [1]

5.1.7 Technologie zpracování kalu

Cílem zpracování kalu je:

- redukce objemu;
- redukce zápachu;
- možnost dalšího využití [23].

Zpracování kalu zahrnuje jeho zahušťování, stabilizaci, odvodňování a likvidaci. [1]



Obr. 3 Obecný postup zpracování kalů [1]

5.1.8 Zahušťování kalu

Z hlediska zpracování kalů má zahušťování kalu mimořádnou důležitost. Ovlivňuje náklady na jeho zpracování a následnou likvidaci [2].

5.1.8.1 Gravitační zahušťování kalu

Kal se gravitačně zahušťuje v kalových prohlubních usazovacích nádrží u čistíren s primární sedimentací. Konečné zahuštění je ovlivněno kromě hydraulických poměrů a základních fyzikálních vlastností kalu ještě řadou provozních faktorů, jako je momentální poměr sušiny primárního a přebytečného aktivovaného kalu, časovým režimem odkalování, hydrostatickým předtlakem při odkalování, apod. Gravitační zahušťování kalu v usazovacích může ovlivnit sám provozovatel [2].

Zahuštění přebytečného aktivovaného kalu probíhá rozdílně dle zvoleného způsobu stabilizace. Při anaerobní stabilizaci je nezbytné kal předzahustit v zahušťovacích jímkách s odběrem odsazené vody. Provozně postačí sedimentace po dobu 4 hodin. Dosažitelné koncentrace se pohybují okolo $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ při kalovém indexu < 150 [2].

5.1.8.2 Strojní zahušťování kalu

Strojní zahušťování kalu nachází uplatnění zejména u ČOV od velikosti 2000 – 3000 EO. Je vhodné před anaerobním uskladněním kalu. Gravitačně zahuštěný kal se následně zahušťuje na strojním zařízení za pomoci přídatku polymerního flokulantu. U menších ČOV se používají jednoduchá a provozně nenáročná zařízení jako jsou horizontální pásové nebo rotační zahušťovače [2].

5.1.9 Stabilizace kalu

Stupeň stabilizace kalu je chápán jako míra určitých jeho vlastností, vyjadřující vhodnost kalu pro daný způsob využití. Obecně můžeme říci, že ve stabilizovaném kalu již neprobíhají intenzivní biologické reakce. Stabilizovaný kal je hygienicky nezávadný a nepáchnoucí kal, který lze snadno odvodnit [1].

5.1.9.1 Anaerobní stabilizace kalu

Při anaerobní stabilizaci kalu dochází k přeměně většiny organických látek na bioplyn. Důležitým prvkem v kalovém hospodářství jsou anaerobní reaktory – vyhnívací nádrže, ve kterých probíhá anaerobní metanová fermentace. Zpracováváný surový čistírenský kal o sušině 2 -3 % a při 65 % organických látek je dávkován do vyhnívacích nádrží – fermentorů. Pro lepší energetickou bilanci je někdy kal zahušťován na obsah 4 - 6 % sušiny. Kal v nádrži se udržuje při teplotě 38°C. Vznikající bioplyn v množství 250 – 450 m³ na tunu sušiny zpracovaného kalu. Vyhníly anaerobně stabilizovaný kal je zahušťován na sušinu 20 – 35 % [4].

5.1.9.2 Aerobní stabilizace kalu

Aerobní stabilizace kalu je založena na oxidaci organických látek v kalu. Organická hmota je oxidována na CO₂ a H₂O. Probíhá v aerobních podmínkách prostřednictvím mikroorganismů. Je vhodná zejména pro malé čistírny odpadních vod. Výhodou aerobní stabilizace jsou nízké hodnoty BSK₅ v kalové vodě, snadný provoz a nízké investiční náklady. Nevýhodou je vyšší energetická náročnost [1].

5.1.9.3 Chemická stabilizace

Při chemické stabilizaci kalu se zvyšuje pH kalu na hodnotu nejméně 11,5, přičemž dochází k ničení patogenních organismů, zatím co organické látky se nerozloží. Ke zničení virů dochází přímým efektem pH a také uvolňováním volného amoniaku při pH větším než 12. Pro zvýšení pH přidáváme zásadu, nejčastěji oxid vápenatý CaO nebo hydroxid vápenatý Ca(OH)₂ [1].

5.1.10 Odvodňování kalu

Odvodňování kalu slouží k podstatnému snížení obsahu vody v kalu a také i k celkovému objemu kalu. To vede k úsporám nákladů na zpracování, využití a následném odstranění kalů. Odvodněný kal má obsah sušiny 20 – 50 %, rypatelné konzistence a lze s ním zacházet jako se zeminou.

Odvodňování je buď přirozené anebo strojní. Přirozené se provozuje na kalových lagunách a polích, strojní se dělá pomocí pásových lisů, kalolisů a dekantačních

odstředivek [1]. Provozní výsledky odvodňování se hodnotí podle dosaženého % sušiny tuhé fáze a nerozpuštěných látek v tekuté fázi. Kvalita vstupního materiálu a jeho separační vlastnosti mají základní vliv na proces odvodnění [2].

5.1.11 Předúprava kalu

Čistírenské kaly (surové i stabilizované) mají vysoké hodnoty specifického filtračního odporu, řádově $SFO = 10^{12} - 10^{14} \text{ m.kg}^{-1}$, a proto je nutné kaly před odvodněním předupravit a snížit hodnotu SFO o 2 řády. V praxi se používá předúprava kalu s použitím polymerních flokulantů. Typ a dávky flokulantu závisí na druhu kalu a koncentraci organické sušiny [2].

5.1.12 Hygienizace kalu

Před finálním odstraněním kalu je nutno zničit nebo alespoň snížit množství patogenních mikroorganismů. Během čištění odpadních vod a při zpracování kalu je většina choroboplodných zničena, ale přesto v kalu určité množství patogenů přežívá. Při hygienizaci kalů je nutné tyto mikroorganismy redukovat, přičemž míra hygienizace kalů se odvozuje od účelu jeho následného využití. Přirozená hygienizace probíhá již při samotném procesu čištění za vhodných podmínek. Tyto procesy využívají vysoké teploty nebo vysokého pH – anaerobní stabilizace a aerobní stabilizace, aerobní termofilní stabilizace, chemická stabilizace, odvodňování na kalových polích, termické sušení, kompostování a spalování. Fyzikální a chemické metody hygienizace jsou zaměřené na zneškodňování patogenů. Fyzikální metody využívají teplotu, radiaci, ultrazvuk a mechanickou destrukci buněk mikroorganismů. Další metoda hygienizace kalu je pasterizace. Je to proces, při kterém je kal zahřát na určitou teplotu za určitý čas. Minimální teplota pro pasterizaci je 60 °C, ale lepší je 65 – 70 °C [1; 21].

5.1.13 Termofilní aerobní stabilizace

Metoda používaná pro dosažení předepsané hygienické kvality kalu na menších čistírnách odpadních vod a to při teplotách 50 °C a více. Proces je založený na tom, že při biologické oxidaci uhlíku se uvolňuje tepelná energie [2].

5.1.14 Nakládání s kalem z ČOV

Nejrozšířenější způsob využití respektive odstranění kalu je jeho řízená aplikace na zemědělské pozemky. Vyhláška č. 437/2016 Sb. o aplikaci upravených kalů na zemědělské půdě stanovuje kritéria pro aplikaci kalů na zemědělskou půdu [15].

Jsou to především:

- technické podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě;
- mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě;
- mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v kalu;
- mezní hodnoty dávky těžkých kovů, které mohou být vpraveny do zemědělské půdy za 10 let;
- mikrobiologická kritéria pro použití kalů.

V zemědělství lze kal využít také jako hnojiva. Další způsob využití je jeho zakomponování do stavebních materiálů. Finální likvidací kalu rozumíme jeho spalování nebo skládkování [2].

5.1.14.1 Využití stabilizovaného kalu v zemědělství

Stabilizovaný kal využíváme ke hnojení v tekutém až mírně zahuštěném stavu nebo odvodněný a vysušený kal. Kal musí být v tomto případě hygienizovaný. Zákon č. 185/2001 Sb. a vyhláška č. 437/2016 Sb. stanovuje podmínky pro využívání upraveného kalu na zemědělské půdě [14; 15].

Mezi nejdůležitější podmínky patří:

- stabilizované kaly je nezbytné zapravit do půdy nejpozději do 48 hodin;
- nesmí se používat množství větší než 5000 g sušiny kalů na 1 m² v průběhu 3 po sobě následujících let;
- množství dusíku dodaného v kalech nesmí přesáhnout 70 %;
- při přímém použití upravených kalů musí být min. obsah sušiny kalu 4 % [2].

5.1.14.1 Využití kalu v zemědělství pro kompostování

Kompostování – využívání biologicky rozložitelného odpadu, který za přístupu vzduchu zabezpečuje mikrobiologickou přeměnu organických látek na stabilní humusové látky. V podstatě dochází k další stabilizaci kalu a jeho hygienizaci. Kompostování se provádí v průmyslových kompostárnách, kde se kal nejprve smíchá s plnivem a to za účelem:

- snížení obsahu vody;
- zlepšení poměru N : C;
- zvýšení objemu pórů kalu.

Takto vyrobená směs se ukládá na haldy ve tvaru komolého jehlanu. Při odbourávání organických látek se zvyšuje teplota a materiál je ohříván na 60 – 80 °C. Teplota se udržuje po dobu 21 dní a během této doby se provede trojí překopání, aby byl

zajištěný přístup kyslíku a teplota byla v celém objemu. Při vysoké teplotě dochází k usmrcení patogenů [1].

5.1.14.2 Využití kalu ve stavebních materiálech

Do různých stavebních materiálů je možné přidat omezené množství některých kalů a to např. do cihel a cementu. Do materiálu na výrobu cihel je možné přidávat vhodně upravený kal s vysokým obsahem hydroxidů těžkých kovů. Kal můžeme spalovat v rotačních cementářských pecích. Při vysokých teplotách jsou organické látky spáleny a anorganický podíl zůstává ve stavebním materiálu [1].

5.1.14.3 Spalování kalu

Je to efektivní metoda finálního odstranění kalu. Kal je před spalováním odvodňován často sušením. Při spalování je organická hmota oxidována na CO_2 a H_2O , přičemž se voda vypaří a patogeny jsou zničeny. Spalování kalu probíhá ve spalovnách komunálního odpadu, spalovnách kalů, elektrárnách, teplárnách a cementárnách. Objem kalu se výrazně zmenší na popel a ten se skládkuje [1].

5.1.14.4 Skládování kalu

Kal ukládaný na skládky musí být stabilizovaný a odvodněný, aby se co nejvíce zmenšil jeho objem. Kal se ukládá na skládky na základě vodného výluhu z kalu. Solidifikací můžeme dosáhnout snížení vyluhovatelnosti [1].

6 METODIKA

Provoz ČOV Tišnov – Březina byl sledován v období od září 2016 a došlo k seznámení se současnou čistírenskou technologií čistírny odpadních vod. V únoru 2017 byla pořízena fotodokumentace této čistírny odpadních vod.

VAS, a. s., divize Brno – venkov, Ing. Jiří Jelínek a Ing. Petr Klimeš – technologové odpadních vod mi poskytli provozní řád ČOV, rozborů kalů, látkové zatížení a hydraulické zatížení za období 2014 – 2016. Laboratorní rozborů probíhají v akreditované laboratoři VAS, a.s., divize Brno-venkov.

Na základě získaných dat bude zpracována literární rešerše, zhodnocení současného stavu a návrh na zlepšení kalového hospodářství ČOV.

ČOV jsem navštívila podle potřeby při psaní této práce a konzultovala s hlavním technologem VAS, a.s. Ing. Janem Follerem.

Na základě získaných dat a provozního řádu bude popsána technologie čištění odpadních vod na ČOV Tišnov - Březina.

V diplomové práci bude vyhodnocena účinnost a hydraulické zatížení a dále zhodnoceno kalové hospodářství ČOV. Hydraulické zatížení čistírny odpadních vod bude stanoveno podílem skutečného ročního průtoku a projektované roční kapacity, vyjádřeno v procentech. Jednotlivé grafy porovnají hodnoty účinnosti čištění odpadních vod z let 2014 až 2016 s minimálními přípustnými limity uvedenými v příloze č. 1 nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [22]. Pro zpracování a přehledné znázornění výsledků účinnosti čištění odpadních vod a hydraulického zatížení ČOV bude použit program Microsoft Office Excel.

Rozborů kalů budou po stránce mikrobiologické porovnány a vyhodnoceny s limitními hodnotami, uvedenými v příloze č. 7 a porovnány a vyhodnoceny s limitními hodnotami na obsah těžkých kovů, uvedenými v příloze č. 4, vyhlášky č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě [15].

V další části diplomové práce bude zhodnoceno kalové hospodářství dané čistírny odpadních vod a navrženo řešení k optimalizaci kalové koncovky ČOV.

7 CHARAKTER ZÁSTAVBY MĚSTA TIŠNOV

Město Tišnov se nachází v SZ části Jihomoravského kraje v zázemí města Brna, které představuje významnou rozvojovou oblast. Vzdálenost Tišnova od Brna vzdušnou čarou je přibližně 20 km. Město Tišnov je situované ve výškově členitém reliéfu Brněnské vrchoviny a z malé části i Českomoravské vrchoviny, což sice přispívá k atraktivitě zdejší krajiny, na druhou stranu však členitý reliéf zvyšuje deviatilitu dopravních komunikací spojujících Tišnov s okolními sídly i regionálními centry [10].

Určitou nevýhodou Tišnova je navzdory poloze v ose Praha – Brno excentrická poloha vůči celostátním silničním komunikacím (dálnicím, rychlostním silnicím a silnicím I. třídy) i koridorovým železničním tratím (železniční trať č. 250 částečně pozbyla po dokončení I. tranzitního železničního koridoru významu pro dálkovou osobní dopravu). Dopravní poloha Tišnova se zlepší po zprovoznění plánované rychlostní silnice R43, která má vést v blízkém okolí města [10].

Z regionálního hlediska je Tišnov jedním z uzlů silniční infrastruktury, kde se sbíhají, resp. kříží silnice II. třídy č. 377 (Tišnov – Rájec-Jestřebí – Prostějov), 379 (Velká Bíteš – Tišnov – Blansko – Vyškov) a 385 (I/43 – Kuřim – Tišnov – Dolní Rožínka – I/19). V sousední obci Předklášteří vycházejí ze silnice II/385 silnice II. třídy č. 387 (Předklášteří – Nedvědice – Vír) a 389 (Předklášteří – Moravec). Dle dopravního významu i zatížení je nejvýznamnější z těchto komunikací silnice II/385, která zprostředkovává spojení města Tišnova i širšího spádového regionu s Brnem [10].

Městem Tišnov prochází celostátní železniční trať č. 250 Kúty – Brno – Havlíčkův Brod (-Praha), která až do zprovoznění I. tranzitního železničního koridoru plnila funkci páteřní trati dálkového železničního spojení Brno – Praha využívané i mezinárodními spoji. Tišnov je ze severu zaústěná regionální jednokolejná trať č. 251 Žďár nad Sázavou – Nové město na Moravě – Tišnov [10].

7.1 Demografie města Tišnov

Rozloha katastrálního území města Tišnov je 17,13 km². Dle údajů získaných ze Sčítání lidu, domů a bytů v roce 2011 je město tvořeno celkem 1 381 domy, z tohoto počtu je 1 107 domů rodinných a 252 bytových domů. Ve městě žije celkem 8 780 obyvatel. Z celkového počtu domů je na jednotnou kanalizační síť připojeno 86,3 % domů [10].

7.2 Vodovody a kanalizace

Město Tišnov je zásobováno pitnou vodou ze skupinového vodovodu Tišnov, jehož hlavními zdroji jsou především prameniště Heroltice, Lomnička a Předklášteří a z něhož je zásobováno 10 okolních obcí. Zásobování města probíhá z vodojemů Květnice, Čimperek, Klucanina a Čepička. Vodojem Květnice je propojen s Vířským oblastním vodovodem. Provozovatelem vodárenské soustavy na Tišnovsku je Vodárenská akciová společnost a.s. divize Brno – venkov [10].

Město Tišnov má jednotný systém kanalizace, pokrývající téměř celý městský intravilán. Zde není odkanalizována část města Za Červeným mlýnem a také ulice ve východní části města, kde je část kanalizace vyvedena do potoka Lubě. Kanalizace ústí do ČOV Tišnov – Březina, která zároveň slouží 7 dalším obcím – Vohančice, Hradčany, Březina, Heroltice, Vohančice a Štěpánovice a Předklášteří. V budoucnu se předpokládá s napojením dalších obcí na kanalizační síť. ČOV je situována na levém břehu Svatky v obci Březina a má kapacitu 18 000 EO [10].

7.3 Urbanismus města

Odpadní vody, které významně ovlivňují kvalitu a množství odpadních vod ve stokové síti pocházejí z výrobní a podnikatelské činnosti a městské vybavenosti. Průmyslové odpadní vody vznikají v podnicích:

- ČESKÉ DRÁHY- Správa dopravní cesty Brno, Janáčkova 374, 666 01 Tišnov;
- ČSAD TIŠNOV, s.r.o., Červený Mlýn 1538, 666 01 Tišnov;
- KARLOVA PEKÁRNA s.r.o., U Svatky 962, 666 01 Tišnov;
- UNIPROS s.r.o., U Svatky 963, 666 01 Tišnov;
- VITAR s.r.o., Železné 113, 666 01 Tišnov;
- STEINHAUSER s.r.o., U Svatky 278, 666 01 Tišnov 6 [11].

Odpadní vody z městské vybavenosti vznikají zejména:

- NEMOCNICE TIŠNOV, Purkyňova 279, 666 01 Tišnov;
- MEDSTOMAT s.r.o., Brněnská 305, 666 01 Tišnov;
- DOMOV DŮCHODCŮ Předklášteří, Šikulova, 666 02 Předklášteří;
- GYMNÁZIUM, Na Hrádku 20, 666 01 Tišnov;
- ZÁKLADNÍ ŠKOLA, Smíškova 840, 666 01 Tišnov;
- HOTEL KVĚTNICE s.r.o., Náměstí Míru 120, Tišnov;
- KLUCANINA restaurace, Horova 958, 666 01 Tišnov [11].

8 ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD TIŠNOV – BŘEZINA

8.1 Obecné informace

Čistírna odpadních vod Tišnov - Březina je mechanicko-biologická ČOV s pasterizací kalu. Do provozu byla uvedena v roce 1968. Rekonstrukce čistírny odpadních vod byla provedena v roce 2004. Počet připojených obyvatel je 12 500 EO a ekvivalent za průmysl je 5 500 EO. Celkové zatížení ČOV je dle provozního řádu pro trvalý provoz celkem 18 000 EO. Do ČOV jsou přiváděny odpadní vody z jednotné stokové sítě města. Stoková síť je větvená s gravitačním průtokem. Páteř stokové sítě je tvořena kmenovou stokou „A“, která prochází po břehu řeky Svratky a ústí do ČOV Tišnov – Březina a do ní ústí ostatní sběrače B, C, D, E a F. Před napojením těchto sběračů jsou osazeny dešťové oddělovače.

Sběrač „A“ - začíná v Předklášteří, pokračuje podél řeky Svratky do ČOV v Březině.

Sběrač „B“ - odkanalizuje oblast rodinných domků v Předklášteří.

Sběrač „C“ - odvádí splaškové vody z centra města Tišnova a Květnice.

Sběrač „D“ - odkanalizuje oblast ulic Cáhlovskou a Na Hrádku.

Sběrač „E“ - odvádí splaškové vody z oblasti Pod Klucaninou.

Sběrač „F“ - odkanalizuje oblast rodinných domků na Trnci.

Stoková síť odvádí veškeré splaškové vody z celého odkanalizovaného území. Na stokovou síť jsou napojeny splaškové odpadní vody od obyvatelstva, občanské vybavenosti a z průmyslu [11].

Kanalizační síť je částečně obnovována a rekonstruována. V budoucnu se počítá s rekonstrukcí a s vystavěním nových úseků a připojením dalších obyvatel [9].

Čistírna odpadních vod je dle projektové dokumentace projektována na maximální kapacitu pro 18 000 EO, ale v současné době je na své horní hranici návrhové kapacity. Pokud se počítá s připojením dalších obyvatel, je nezbytná její intenzifikace [9].

Hydraulické zatížení ČOV viz Tab. 8.1:

Tab. 8.1 Hydraulické zatížení ČOV [11]

Průtok	Q ₂₄	Q _{24dm}	Q _{hmax}	Q _{děšť}
l.s ⁻¹	31,55	42,6	80,93	300
m ³ .hod ⁻¹	113,58	153,3	291,34	
m ³ .den ⁻¹	2726	3680,1	-	-

kde: Q_{24} denní průtok splaškových OV [$l \cdot s^{-1}$]

Q_{24dm} maximální denní průtok splaškových OV [$l \cdot s^{-1}$]

Q_{hmax} maximální hodinový průtok splaškových OV [$l \cdot s^{-1}$]

$Q_{dešť}$ maximální průtok za deště ze stokové sítě před odlehčením [$l \cdot s^{-1}$]

Tab. 8.2 Látkové zatížení ČOV dle projektové dokumentace [11]

Parametr	výhled	jednotka		výhled	jednotka
Počet EO	18 000				
BSK ₅	1 080,0	kg/d	=	568,50	mg.l ⁻¹
CHSK	2 160,0	kg/d	=	1 1370	mg.l ⁻¹
NL	990,0	kg/d	=	521,20	mg.l ⁻¹
N - kj	216,0	kg/d	=	113,70	mg.l ⁻¹
P	36,0	kg/d	=	19,0	mg.l ⁻¹

kde: BSK₅ biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní [$mg \cdot l^{-1}$]

CHSK chemická spotřeba kyslíku [$mg \cdot l^{-1}$]

NL nerozpuštěné látky [$mg \cdot l^{-1}$]

N-kj Kjédalův dusík (amoniakální + organický) [$mg \cdot l^{-1}$]

P fosfor [$mg \cdot l^{-1}$]

Hodnoty k nakládání s vodami a na odtoku z ČOV do recipientu se řídí rozhodnutím KRAJSKÉHO ÚŘADU JIHOMORAVSKÉHO KRAJE, odboru odbor životního prostředí, č. j. JMK 110450/2012 ze dne 5. 12. 2012 [12]. Vypouštěné množství viz Tab. 8.3:

Tab. 8.3 Povolené průtoky do recipientu [12]

Průtok	Hodnota	Jednotka	Poznámka
$Q_{prům}$	50,74	$l \cdot s^{-1}$	
Q_{max}	150	$l \cdot s^{-1}$	
Q_{max}	330 000	m^3	měsíčně
Q_{max}	1 600 000	m^3	ročně

Povolená kvalita odpadních vod vypouštěných na odtoku z ČOV viz Tab. 8.4. Platnost rozhodnutí je na dobu určitou a to do 31. 12. 2022 [12].

Tab. 8.4 Kvalita vod vypouštěných na odtoku ČOV [12]

Ukazatel	Roční průměr [mg.l ⁻¹]	Přípustné hodnoty "p" [mg.l ⁻¹]	Maximální hodnoty "m" [mg.l ⁻¹]	Roční bilance [t/rok]
BSK₅	-	14	20	13,3
CHSK	-	60	100	68,8
NL	-	18	25	17
N_{celk.}	14	-	25	22,4
P_{celk.}	1,5	-	3	2,4

V Tab. 8.5 jsou uvedeny údaje o recipientu:

Tab. 8.5 Environmentální kapacita řeky [11]

Ukazatel	Hodnota
Q₃₅₅ [m ³ .s ⁻¹]	0,860
BSK₅ [mg.l ⁻¹]	2,3
CHSK_{Cr} [mg.l ⁻¹]	19,6
NL [mg.l ⁻¹]	9
N-NH₄ [mg.l ⁻¹]	0,06
N-NO₃ [mg.l ⁻¹]	4,54
P_{celk.} [mg.l ⁻¹]	0,13

kde: Q₃₅₅ průtok v recipientu dosažený nebo překročený průměrně 355 dní v roce [m³.s⁻¹]

BSK₅ biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní [mg.l⁻¹]

CHSK_{Cr} chemická spotřeba kyslíku [mg.l⁻¹]

NL nerozpuštěné látky [mg.l⁻¹]

N-NH₄ amoniakální dusík [mg.l⁻¹]

N-NO₃ dusičnanový dusík [mg.l⁻¹]

P_{celk.} celkový fosfor [mg.l⁻¹]

8.2 Mechanická část čistírny odpadních vod

Odpadní vody natékají do areálu ČOV potrubím DN 500, které ústí do otevřeného kanálu šířky 1,2 m a délky 10,5 m. Kanál je vybaven zařízením pro zachytávání hrubých přiváděných nečistot – lapákem šterku a hrubými česlemi [11].

8.2.1 Lapák šterku

Žlab lapáku šterku je umístěn na přítokovém potrubí do ČOV. Lapák šterku je vybaven strojním zařízením vybírače lapáku šterku. Vybírač je tvořen drapákem, který se pohybuje na pojezdu s elektropohonem. Vytěžený šterk je ukládán do kontejneru, který je umístěn v bezprostřední blízkosti lapáku šterku [11].



Obr. 4 Pohled do lapáku šterku (autorka)

8.2.2 Hrubé česle

Otevřený přívodní kanál se za lapákem šterku zužuje na 0,6 m a zde je osazen hrubými, ručně stíranými česlemi. Jsou provedeny z nerez ve sklonu 60° a s šířkou průlin 60 mm. Horní část česlic je osazena odkapovým děrovaným kanálkem pro částečné odvodnění vytěžených shrabků [11].

8.2.3 Dešťová nádrž

Za ručními hrubými česlemi je odlehčovací komora. V komoře je osazeno škrťící šoupě DN 300, ovládané ze stojanu s elektropohonem, které automaticky reguluje přítok odpadních vod na ČOV. Max. nátok na ČOV je $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Dále je v komoře ruční uzavírací šoupátko DN 500, kterým je možno uzavřít přítok do průtočné dešťové zdrže o objemu 270 m^3 . Při naplnění DZ odpadní vodou přetéká tato potrubím do recipientu přes výustní objekt, na kterém je instalována koncová zpětná klapka DN 500.

Objem dešťové zdrže je čerpán ponorným kalovým čerpadlem do šachty před objekt hrubého předčištění [11].



Obr. 5 Pohled do dešťové nádrže (autorka)

8.2.4 Lapák písku

Z odlehčovací komory natéká odpadní voda do vírového lapáku písku LPV 3600 (horní průměr kužele 3,6 m) Zachycený materiál – písek je těžen pomocí čerpadla do separátoru písku IN-EKO přizpůsobenému pro instalaci ve venkovním prostředí. Separátor je složen z dopravního šneku uloženého ve žlabu a ze sběrné uklidňovací nádrže, v níž je šikmo uložen šnekový dopravník. Dopravní šnek je trubkové konstrukce. Vytěžený separovaný písek je shromažďován v kontejneru [11].



Obr. 6 Vírový lapák písku (autorka)



Obr. 7 Separátor písku (autorka)

8.2.5 Jemné česle

Z lapáku písku odtéká odpadní voda krytým kanálem do objektu česlovný. Do nátokového žlabu, procházejícího česlovnou, jsou naistalovány strojně stírané lamelové česle IN-EKO s průlinami 6 mm.

Shrabky ze strojních česlí padají do lisu na shrabky s promýváním IN-EKO, který je pod výsypkou česlí. K zařízení je přivedena tlaková voda. Odvodněné a promyté shrabky jsou shromažďovány v plastové popelnici. Na obtoku strojních česlí jsou ručně stírané česle s průlinami 20 mm. Nátokový žlab se strojními česlemi lze odstavit pomocí uzavíracích hradítek [11].



Obr. 8 Jenné česle s lisem na shrabky (autorka)

8.2.6 Čerpací stanice odpadních vod

Mechanicky předčištěné odpadní vody přitékají přes měrný parshalův žlab s ultrazvukovým snímačem a převodníkem ELA do objektu čerpací stanice. Akumulační jímka je obdélníkového půdorysu 7,5 x 2,4 m užitného objemu 19,8 m³ při max. hloubce vody 2,05 m s vyspádaným dnem ke stěně provozní budovy, kde je situováno sání čerpadel. Jímka je zakryta pochůznými rošty [11].

8.2.7 Usazovací nádrž

Z čerpací stanice jsou odpadní vody přiváděny do kruhové primární otevřené usazovací nádrže s točivou mostovou konstrukcí pro stírání plovoucích nečistot do jímky a k zachycení pomalu sedimentujících látek. Dochází tu k usazení primárního kalu. Při otáčivém pohybu ramene dopravuje shrabovák dna primární kal usazený ve spodních vrstvách usazovací nádrže do kalové jímky ve středu nádrže. Z kalové jímky je primární kal odčerpáván potrubím pod usazovací nádrží. Potrubí je zaústěno do jímky primárního kalu, přilehlé k čerpací stanici odpadních vod. V jímce je možno primární kal gravitačně zahustit - kalovou vodu lze přepustit do vstupní ČS. Zde je mechanické čištění ukončeno [11].



Obr. 9 Usazovací nádrž (autorka)

8.3 Biologická část čistírny odpadních vod

8.3.1 Rozdělovací komora

Rozdělovací objekt se nachází za usazovací nádrží a před nátokem do aktivačních nádrží umožňuje nátok do jednotlivých sekcí aktivační nádrže (dále AN). Průtok je nastaven tak, aby veškerá voda biologického stupně protékala do AN. Nátok do jednotlivých koridorů aktivační nádrže je vybaven ručními hradítky pro případné odstavení sekce [11].



Obr. 10 Rozdělovací komora (autorka)

8.3.2 Regenerační nádrže a anoxický selektor

Sdružený objekt je příčkami stavebně rozdělen na regeneraci kalu a anoxický selektor. Přítok odpadních vod z usazovací nádrže se ve žlabu rozděluje a je potrubím nad regenerací zaveden do anoxického selektoru – dvojice menších nádrží, vybavených vrtulovým míchadlem v každé nádrži. Vratný kal z dosazovacích nádrží je zaústěn do regeneračních nádrží – dvojice větších nádrží, vybavených jemnobublinnou aerací ASEKO a míchadly, po jednom v každé nádrži. Pro zajištění vzduchu do aeračních elementů jsou použita 2 rotační objemová dmýchadla LUTOS a množství kyslíku je měřeno kyslíkovými sondami INSA a provzdušnění řízeno přes frekvenční měniče dmýchadel [11].



Obr. 11 Regenerační nádrže (autorka)

8.3.3 Aktivační nádrže

V aktivační nádrži jsou jemnobublinné aerační elementy ASEKO. Rozvod tlakového vzduchu je v nerezovém provedení. Kyslík pro respiraci aktivovaného je dodáván dmýcháním vzduchu do aktivační směsi. Vzduch je do systému dodáván z dmýchárny. Míchání aktivačních nádrží je zajištěno ponornými vrtulovými míchadly. Aktivační nádrže jsou reaktory, v nichž dochází k biologickému čištění odpadních vod aktivovaným kalem, což je pestrá směs mikroorganismů. Proces je aerobní a je potřeba dodávat do nádrže kyslík pro respiraci aktivovaného kalu. Užitečný objem 2 aktivačních nádrží je 2252 m³ a rozměr jedné nádrže je 26 x 10 x 4,8 m. V aktivační nádrži jsou osazeny kyslíkové a pH sondy a sonda pro měření teploty [11].



Obr. 12 Pohled na aktivační nádrže (autorka)

8.3.4 Dosazovací nádrže

Z rozdělovacího objektu za aktivací natékají odpadní vody do dvou dosazovacích nádrží. Dosazovací nádrž slouží k separaci aktivační směsi od vyčištěné odpadní vody. Jedná se o proces sedimentace. Vyčištěná odsazená voda odtéká odtokovým žlabem, jehož součástí je norná stěna, z každé DN potrubím do soutokové šachty a dále přes měření průtoku – Parshallův měrný žlab P4 s ultrazvukovým snímačem a převodníkem ELA. Plovoucí kal je z hladiny stahován klasickým stíracím vybavením a dále je veden potrubím do jímky plovoucích látek. Z této jímky jsou vyčerpávány ponorným kalovým čerpadlem do vnitřní kanalizace ČOV. Čerpadla kalu jsou umístěna v podzemní armaturní komoře dosazovacích nádrží. Strojní část dosazovací nádrže obsahuje mechanismy pro plynulé přesouvání sedimentovaných kalů do kalové jímky. Nátok aktivační směsi do nádrže je veden potrubím tvořícím zároveň nosný sloup strojního zařízení dosazovací nádrže. V ose betonové nádrže je nosný sloup, který slouží k přívodu aktivační směsi do dosazovací nádrže. Aktivační směs proudí pod dosazovací nádrží do potrubí nosného sloupu a vytéká obdélníkovými otvory v horní části sloupu přes nátokový kužel do flokulačního válce a přes deflektor dále do nádrže. Flokulační válec slouží k usměrnění a uklidnění proudu aktivační směsi při vstupu do nádrže tak, aby v nádrži vznikly optimální rychlostní poměry k procesu sedimentace. Při otáčivém pohybu ramene dopravuje shrabovák dna kal usazený ve spodních vrstvách dosazovací nádrže do kalové jímky ve středu nádrže. Z kalové jímky je kal odčerpáván potrubím pod dosazovací nádrží. Stírání hladiny slouží k odstranění plovoucích nečistot z hladiny dosazovací nádrže. Lišty stírání hladiny stírají při pohybu mostu plovoucí nečistoty směrem k norné stěně, kde jsou stahovány kyvným stěračem do odtahu plovoucích nečistot a dále do příslušného potrubí dosazovací nádrže [11].



Obr. 13 Dosazovací nádrž (autorka)

8.4 Chemické hospodářství

8.4.1 Chemické srážení fosforu

Koncentrace fosforu je realizována na odtoku chemickým srážením. Dávkovaný roztok síran železitý je odebírán sacím PVC potrubím, a to ze skladovací dvouplášťové nádrže ze svařovaného PP o objemu 11 m³. Pro napojení potrubí od nádrže je připravena přípojka s točivou přírubou DN 15. V sacím potrubí je nainstalována společná uzavírací armatura DN 15, pro uzavření celého sání na obě dávkovací čerpadla. Skladovací nádrž je určena pro skladování 40% síranu železitého a její užitný objem je 11 m³. Nádrž je dvouplášťová a vybavena příslušenstvím a hrdly. Nádrž je vyrobena ze svařovaného PP bez UV stabilizace [11].

8.5 Kalové hospodářství

Kalové hospodářství čistírny je soubor provozních objektů, které zajišťují čerpání a zpracování surového směsného kalu. Ten vzniká smísením surového kalu z primární sedimentace a přebytečného aktivovaného kalu z biologické části [11].

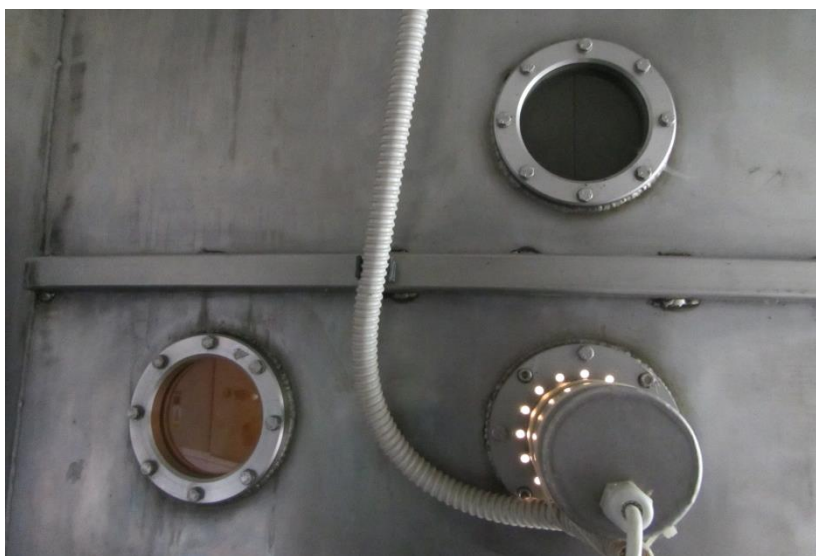
8.5.1 Zahuštění přebytečného kalu

V dosazovacích nádržích usazený, částečně zahuštěný kal je čerpán kalovými čerpadly vratného kalu do regenerace kalu. Armaturní vybavení umožňuje trasovat kal z obou potrubí do libovolné regenerace, nebo do lomové šachty potrubí mezi selektorem a oběhovými aktivacemi. Přebytečný kal je čerpán objemovým vřetenovým čerpadlem potrubím na zahuštění, odběr kalu je možný z rozdělovacího objektu za oběhovými

aktivacemi nebo ze sací části potrubí vratného kalu. Vlastní zahuštění přebytečného kalu probíhá na flotační jednotce. Odseparovaná kalová voda odtéká gravitačně potrubím do vstupní čerpací stanice odpadních vod. Ve spodní části flotační jednotky je instalována ruční armatura pro potřebu odkalení dna flotace. Vyflotovaný - zahuštěný kal z jednotky je gravitačně odváděn do jímky zahuštěného kalu. V jímcce, kam je čerpán rovněž primární kal, je umístěno míchadlo pro homogenizaci smíšených kalů. Zahuštěný směsný kal je čerpán objemovým čerpadlem do vyhnívací nádrže nebo pasterizace [11].

8.5.1.1 Zahuštění přebytečného kalu – flotace

Flotační nádrž o průměru 4 000 mm a objemu 28 m³ je vyrobena z nerezavějící oceli. Cirkulační obvod zajišťuje sycení vody vzduchem a jeho zpětné uvolňování do hlavní flotační nádrže po smíchání s přiváděným přebytečným kalem. Ve směšovací části dochází k míchání čisté vody (voda s bublinkami vzduchu o velmi malé velikosti, které vznikly po průchodu vody uvolňovací tryskou) s přebytečným kalem. Vzniklá směs je dopravována do hlavní nádrže a distribučním zařízením je rovnoměrně rozdělována do celého objemu. Účinkem malých bublin vzduchu navázaných na vločky kalu se přebytečný kal pohybuje směrem k hladině, zatímco čistá voda oddělená ze směsi kalu je na protější straně nasávána sběrným potrubím. Část čisté vody jde zpět jako cirkulující voda k čerpadlu. Část čisté vody odchází do nádoby, která je určena pro nastavení výšky hladiny vody v nádrži. Čistá voda poté z flotátoru odchází do kanalizace čistírny [6; 11].



Obr. 14 Flotační nádrž – rozdělení hladiny čisté vody od směsi kalu (autorka)

Odstranění zahuštěného kalu se děje pomocí shrnovacích ramen a jejich pohonu umístěného ve středu nádrže. Vyhrnutý zahuštěný kal je přemístován radiálně umístěným šnekovým dopravníkem do otvoru v nádrži s navazujícím trychtýřem a potrubím do nádrže pro zahuštěný kal [11].



Obr. 15 Jímka zahuštěného kalu flotací (autorka)

8.5.2 Fermentační reaktor

Je tepelně izolovaná kruhová železobetonová nádrž o pracovním objemu 580 m³ s vyspádovaným – kuželovým dnem i kuželovým stropem - vrchlíkem. V horní části nádrže je osazeno víko s ochozem a příslušným technologickým vybavením - hrdly pro připojení míchadla, jímače kalového plynu, hrdlem pro připojení kapalinové pojistky s odfukem. Plynové potrubí je vedeno po vnějšku kužele nádrže, dále po svislé stěně do plynojemu. Celý systém je navržen tak, aby byl umožněn provoz v mezofilním režimu při procesní teplotě nastavitelné v rozsahu 37 - 45°C. Míchání fermentačního reaktoru dvouvtulovým vertikálním míchadlem, zajišťující dostatečný vnos energie do kapaliny. Usměrnění toku dochází ve vertikálním směru. Následné vzestupné proudění vynáší kal podél stěn nádrže a tím k homogenizaci obsahu bez vzniku zkratových proudů. Uložení míchadla je jednobodové ve víku fermentačního reaktoru. Výtlaky primárního a zahuštěného přebytečného kalu jsou zaústěny buď přímo do fermentačního reaktoru, nebo do cirkulačního potrubí kalu k pastéru, kde dojde k přehřevu kalu. Pro zajištění recirkulace je osazeno vřetenové čerpadlo kalu, které dopravuje kal do pasterizace a zpět do fermentačního reaktoru. Teplota ve fermentačním reaktoru je udržována na 37 ° – 45 °C [11].



Obr. 16 Fermentační reaktor (autorka)

8.5.3 Uskladňovací nádrž

Vyhnilý případně hygienizovaný kal je přiváděn k akumulaci do uskladňovací nádrže kalu. Jedná se o kruhovou nadzemní betonovou nádrž o pracovním objemu 580 m³, vybavenou ponorným míchadlem Sigma. Dno nádrže je vyspádováno ke středu, kde je provedena odběrná kalová jímka o průměru 2 m a hloubce 1 m. Zhlaví nádrže s lávkou pro obsluhu míchadla je přístupné po žebříku a z pochůzného stropu přilehlé armaturní komory [11].



Obr. 17 Uskladňovací nádrž (autorka)

8.5.4 Pasterizace – hygienizace kalu

Pasterizační linka je umístěna v samostatném přístavku pasterizace vedle uskladňovací nádrže. Pasterizační linku tvoří dva míchané pastéry – tepelně izolované nádoby o jmenovitém objemu 2,5 m³ a s dobou jednoho cyklu 4 hodiny. Počet cyklů jednoho pastéru za den je 6 cyklů s ohřevem na 72 °C a dobou zdržení 60 minut. Ohřev a rekuperace objemu pastéru je zprostředkován dvojitým pláštěm tvořeným plochou dutou spirálou, kterou je hnána topná voda. Rekuperace kalu (výhřev je zajištěn vnitřní potrubní spirálou uvnitř objemu pastéru). Konstrukce je termodynamicky optimalizována pro zajištění maximální rekuperace tepla. Automatická provoz zajišťuje propojovací potrubí včetně armatur, čerpadla, příslušné elektrické napájení a systém měření a regulace s dálkovým ovládním [11].



Obr. 18 Pohled na jeden z pastérů (autorka)

Princip pasterizace: směsný kal se načerpá do prvního pastéru a zahřeje se na teplotu 72 °C s dobou zdržení 60 minut. Poté se načerpá směsný kal do druhého pastéru a oba pastéry si mezi sebou předávají teplo. V prvním pastéru teplota klesne na 50 °C a kal se přečerpá do pasterizační komory. Ve druhém pastéru je kal o teplotě 8 – 10 °C a teplota vystoupá na 30 °C a dohřívá se na 72 °C. Pasterizovaný kal odsud putuje do fermentačního reaktoru.

8.5.5 Odvodnění kalu

V objektu strojního odvodnění kalu se nachází místnost rozvaděče, skladu flokulantu a hlavní místnost strojního odvodňování [11].

Uskladněný zpracovaný kal je přes macerátor NETZCH čerpán vřetenovým čerpadlem NETZCH s variátorem na dekantální odstředivku PBS DO 360. Provedení přívodného potrubí a osazení armatur umožňuje odběr kalu z uskladňovací nádrže nebo z akumulární nádrže pasterizace. Množství kalu čerpaného na odvodnění je měřeno indukčním průtokoměrem. V objektu odvodnění kalu je umístěna dávkovací stanice flokulantu KAPLAN k zajištění přípravy a dávkování flokulantu do přívodu na odstředivku [11].



Obr. 19 Dávkovací stanice flokulantu (autorka)



Obr. 20 Strojní dekantální odstředivka (autorka)

Odvodněný kal je šnekovým dvouvýsypkovým dopravníkem FONTANA, dopravován na deponii odvodněného kalu přilehlou k budově strojního odvodnění [11].



Obr. 21 Šnekový dopravník a deponie odvodněného kalu (autorka)

8.5.6 Plynojem

K akumulaci a využívání produkovaného bioplynu slouží suchý plynojem užitečného objemu 450 m³ se strojovnou. Plynojem tvoří kruhová betonová nádrž o průměru 10 m s rovným dnem, která je zakrytá přesazenou ocelovou střechou s vodícím tubusem v ose nádrže. Ten slouží k usměrnění pohybu přítěžového mezistropu průměru 8,3 m, který vytváří potřebný tlak v těsnící membráně [11].



Obr. 22 Plynojem (autorka)

8.5.7 Kotelna

Plynová kotelna III. kategorie umístěná v samostatné místnosti v přízemním objektu přilehlému k vyhnívací nádrži a její strojovně. Kotelna slouží jako zdroj teplovodního vytápění objektů a pro potřebu technologie. Vytápění je klasické radiátorové. V kotelně jsou osazeny dva kotle BUDERUS s automatickými tlakovými hořáky BENTONE, kotelna je plynofikována přípojkou zemního plynu a bioplynu [11].

8.6 Metody a postupy odběru vzorků odpadní vody

Jakost odpadní vody se sleduje na přítoku a odtoku ČOV. Měrný profil přítoku se nachází na objektu mechanického předčištění, před česlemi. Měrný profil odtoku se nachází v odtokovém potrubí vyčištěných odpadních vod, umístěným za dosazovacími nádržemi.

8.6.1 Odběry a příprava vzorků

Dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [22], dle kategorie ČOV (10 001 – 100 000 EO) je stanoveno provádět rozbor 24 hodinového směšného vzorku. Rozbor směšného vzorku slouží pro kontrolu jakosti vypouštěných odpadních vod. Četnost odběru vzorků

odpadních vod je stanovena 26 x za rok tak, aby byly rovnoměrně rozloženy v průběhu roku. Vzorky se nemají odebírat za neobvyklých situací, při přívalových deštích a povodních.

Odběr a příprava 24 hodinového slévaného vzorku pořízeného na příslušném měrném profilu je následující:

- po dobu 24 hodin je vždy po dvou hodinách odebíráno vždy stejné množství odpadní vody a slévá do připravené nádoby;
- nádoba je trvale udržována v maximální teplotě +4 °C;
- po slití posledního dílčího vzorku je obsah nádoby řádně promíchán a odlit do vzorkové láhve určené laboratoří [11].

8.6.2 Sledované veličiny

Laboratorní rozbory probíhají v akreditované laboratoři VAS, a.s., divize Brno-venkov.

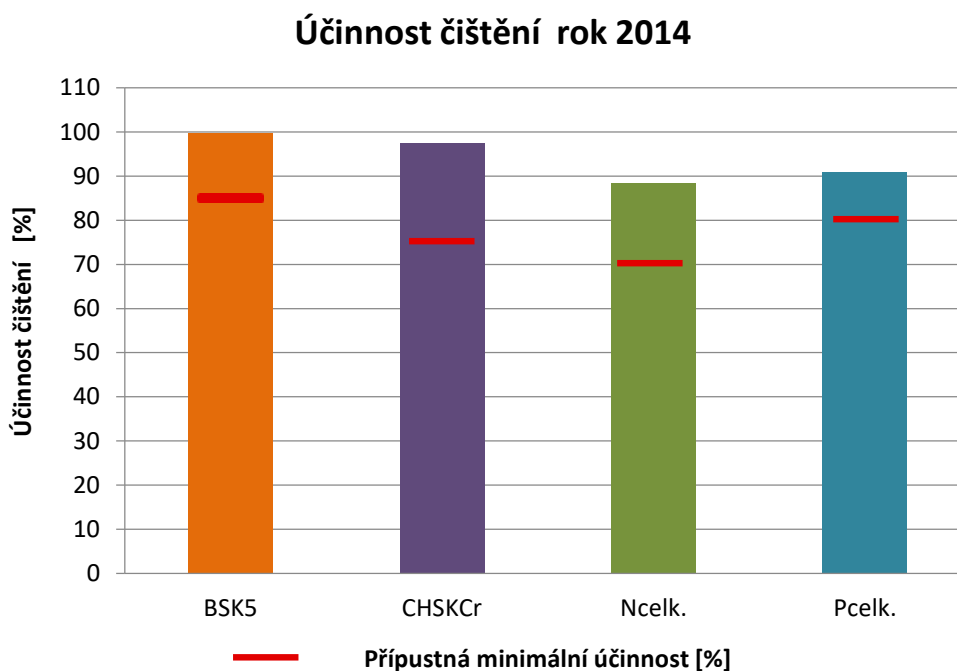
Analytické rozbory vyhodnocují hodnoty následujících ukazatelů znečištění:

- BSK₅ biochemická spotřeba kyslíku;
- CHSK_{Cr} chemická spotřeba kyslíku;
- NL nerozpuštěné látky;
- N-NH₄ amoniakální dusík;
- N_{celk.} celkový dusík;
- P_{celk.} celkový fosfor;
- pH vodíkový exponent.

9 VÝSLEDKY A DISKUZE

9.1 Účinnost čištění odpadních vod ČOV Tišnov – Březina

Účinnost ČOV je vztažena k zátěži na přítoku. Stanovení účinnosti vychází z koncentrace znečištění na přítoku odpadní vody a koncentrace znečištění odpadní vody na odtoku, tedy po projití čistírenským procesem. Účinnost čištění se uvádí v %.



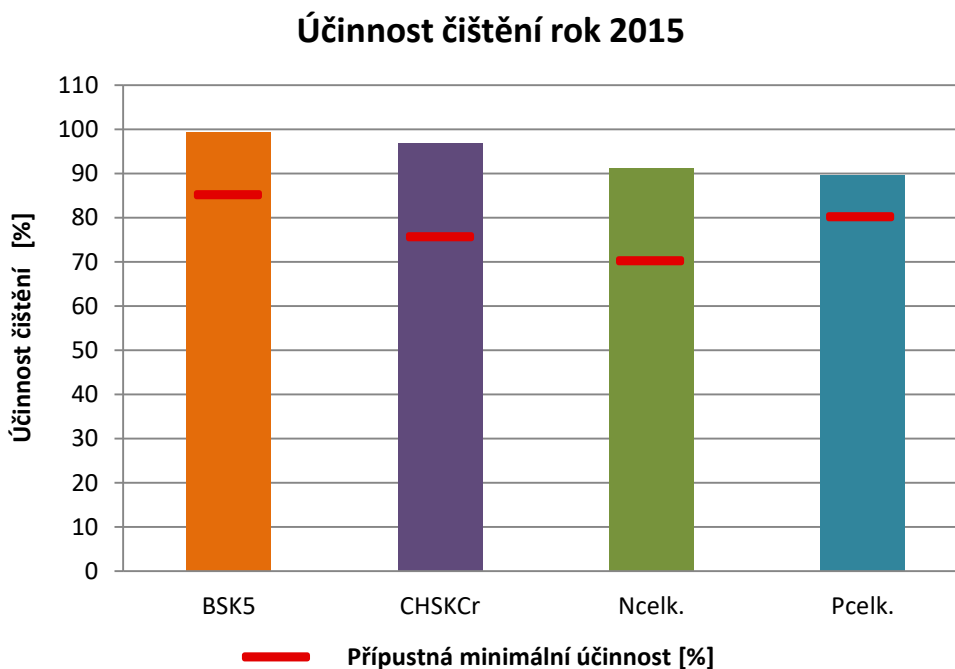
Graf 1: Účinnost čištění OV v roce 2014, dle NV

Graf 1 zobrazuje účinnost čištění pro jednotlivé emisní ukazatele v roce 2014 ve srovnání s limity přípustné minimální účinnosti, vydané nařízením vlády č. 401/2015 Sb. [22].

Jak je z Grafu 1 patrné, tak:

- účinnost odbourání biologického znečištění – BSK₅ z odpadní vody dosahuje hodnoty 99,87 %, přičemž minimální hodnota přípustné účinnosti čištění vypouštěných odpadních vod dle NV 401/2015 Sb. je 85 %;
- účinnost odbourání organických látek – CHSK_{Cr} z odpadní vody dosahuje hodnoty 97,42 %. Minimální hodnota přípustné účinnosti čištění je 75 %;
- účinnost odstranění celkového dusíku – N_{celk.} je 88,49 %. Minimální přípustná účinnost čištění je 70 %;

- účinnost odbourání celkového fosforu – $P_{\text{Celk.}}$ dosahuje hodnoty 91,03 %, přičemž minimální hodnota přípustné účinnosti čištění vypuštění odpadních vod je 80 %.

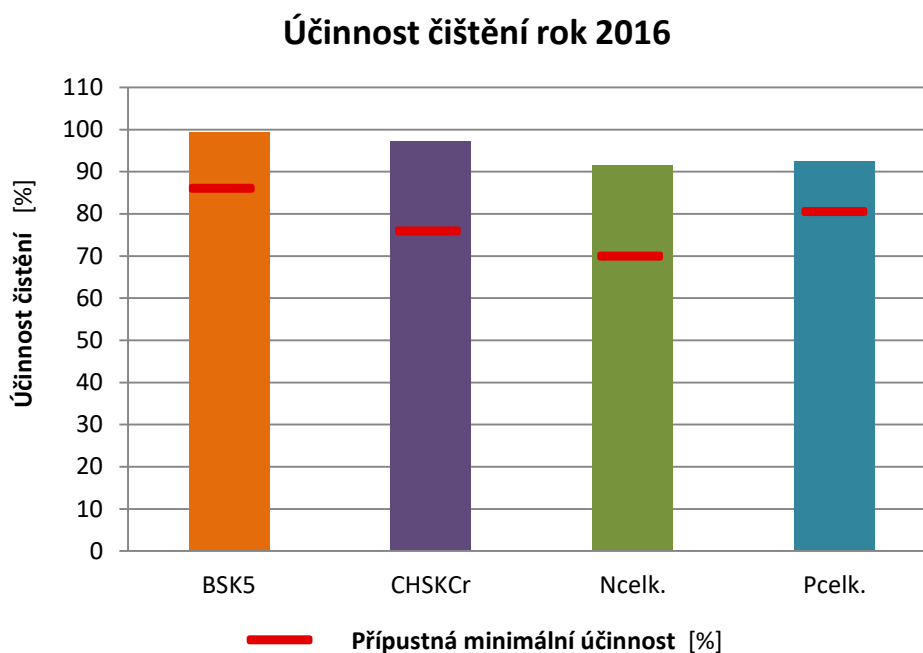


Graf 2: Účinnost čištění OV v roce 2015, dle NV

V Grafu 2 je zobrazena účinnost čištění pro jednotlivé emisní ukazatele v roce 2015 ve srovnání s limity přípustné minimální účinnosti, vydané nařízením vlády č. 401/2015 Sb. [22].

Jak je z Grafu 2 patrné, tak:

- účinnost odbourání biologického znečištění – BSK_5 z odpadní vody dosahuje hodnoty 99,39 %, přičemž minimální hodnota přípustné účinnosti čištění vypouštěných odpadních vod dle NV 401/2015 Sb. je 85 %;
- účinnost odbourání organických látek – $CHSK_{Cr}$ z odpadní vody dosahuje hodnoty 96,8 %. Minimální hodnota přípustné účinnosti čištění je 75 %;
- účinnost odstranění celkového dusíku – $N_{\text{Celk.}}$ je 91,07 %. Minimální přípustná účinnost čištění je 70 %;
- účinnost odbourání celkového fosforu – $P_{\text{Celk.}}$ dosahuje hodnoty 89,60 %, přičemž minimální hodnota přípustné účinnosti čištění vypuštění odpadních vod je 80 %.



Graf 3: Účinnost čištění OV v roce 2016, dle NV

Graf 3 znázorňuje účinnost čištění pro jednotlivé emisní ukazatele v roce 2016 ve srovnání s limity přípustné minimální účinnosti, vydané nařízením vlády č. 401/2015 Sb. [22].

Jak je z Grafu 3 vyplývá, tak:

- účinnost odbourání biologického znečištění – BSK₅ z odpadní vody dosahuje hodnoty 99,30 %, přičemž minimální hodnota přípustné účinnosti čištění vypouštěných odpadních vod dle NV 401/2015 Sb. je 85 %;
- účinnost odbourání organických látek – CHSK_{Cr} z odpadní vody dosahuje hodnoty 97,25 %. Minimální hodnota přípustné účinnosti čištění je 75 %;
- účinnost odstranění celkového dusíku – N_{celk.} je 91,4 %. Minimální přípustná účinnost čištění je 70 %;
- účinnost odbourání celkového fosforu – P_{celk.} dosahuje hodnoty 92,46 %, přičemž minimální hodnota přípustné účinnosti čištění vypuštění odpadních vod je 80 %.

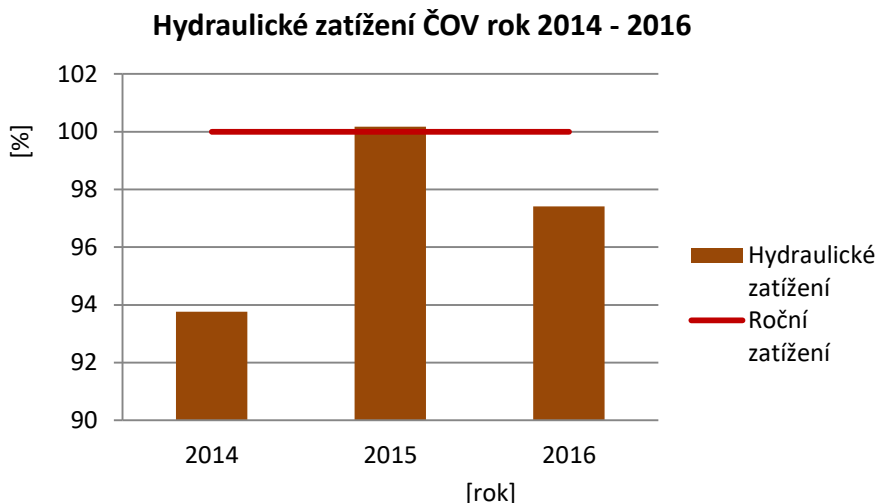
Jak je z hodnot Grafů 1 až 3 patrné, tak účinnost čištění OV je velmi vysoká. U BSK₅ ve sledovaném období přesahuje 99 %. Technologie čištění OV splňuje všechny minimální hodnoty účinnosti čištění dané NV č. 401/2015 Sb. [22].

Hydraulické zatížení ČOV 2014 – 2016

Stanovení hydraulického zatížení čistírny odpadních vod vychází z podílu skutečného ročního průtoku technologickým procesem ČOV a projektované roční kapacity

vyjádřené v %. Pro danou ČOV je roční projektovaná kapacita 994 990 m³, což představuje plné hydraulické zatížení (100 %).

Jak z Grafu 4 vyplývá v letech 2014 a 2016 nebyla překročena návrhová roční kapacita. V roce 2015 byla roční návrhová kapacita ČOV překročena o 0,18 %.



Graf 4: Hydraulické zatížení ČOV v letech 2014, 2015 a 2016

9.2 Rozbory kalu z let 2014, 2015 a 2016

V následující tabulce je vyhodnocení rozborů kalů ve srovnání s normou ČSN 46 5736 Průmyslové komposty, zda je možné hygienizovaný a odvodněný kal využít v kompostárně. Z uvedené Tab. 9.1 je zřejmé, že kvalita kalu splňuje limity normy ČSN 46 5735 – Průmyslové komposty a kal může být využit kompostováním [20].

Tab. 9.1 Rozbory kalu z ČOV Tišnov – Březina

Prvek jednotka	měď mg.kg ⁻¹	zinek mg.kg ⁻¹	kadmium mg.kg ⁻¹	nikl mg.kg ⁻¹	olovo mg.kg ⁻¹	molybden mg.kg ⁻¹	chrom mg.kg ⁻¹	rtuť mg.kg ⁻¹	arzén mg.kg ⁻¹	sušina %
Limity dle ČSN 46 5735	1200	3000	13	200	500	25	1000	10	50	
datum				*		*			*	
17. 4. 2014	261	972	0,3	31,5	22,4	-	55,9	1,68	4,3	21,10
8. 7. 2014	247	911	0,4	27,7	24,3	-	43,3	1,12	5,5	21,90
3. 9. 2014	283	1088	0,5	34,5	41,6	-	55,1	1,35	10,0	21,20
14. 10. 2014	264	1059	0,6	31	35,3	-	37,8	1,09	5,6	21,0
21. 4. 2015	213	1025	1,1	36,2	35,3	-	69,0	1,42	4,5	23,70
10. 6. 2015	214	1089	1,1	31,8	32,3	-	41,8	0,71	8,0	24,10
12. 8. 2015	249	951	1,2	47,4	28,8	-	83,9	1,02	7,1	22,30
6. 10. 2015	253	1073	1,2	42,2	33,2	-	63,0	1,77	7,6	22,70
6. 4. 2016	182	907	0,7	48,0	23,2	-	41,4	1,32	6,5	21,50
9. 6. 2016	210	944	1,0	39,0	24,8	-	52,8	1,41	5,7	20,0
7. 9. 2016	239	910	0,9	23,9	26,2	-	39,7	1,2	6,1	18,40
2. 11. 2016	280	931	0,9	30,2	34,0	-	57,0	1,86	4,6	17,60

*) Stanovuje se v případech, kdy lze očekávat zvýšené množství vzhledem k použitým surovinám

Tab. 9.2 Mezní hodnoty koncentrací rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě

Prvek jedn.	arzén mg.kg ⁻¹	kadmium mg.kg ⁻¹	chrom mg.kg ⁻¹	měď mg.kg ⁻¹	rtuť mg.kg ⁻¹	nikl mg.kg ⁻¹	olovo mg.kg ⁻¹	zinek mg.kg ⁻¹	AOX mg.kg ⁻¹	PCB mg.kg ⁻¹
Limity dle vyhlášky č. 437/2016	30	5	200	500	4	100	200	2500	500	0,6
datum										
17. 4. 2014	4,3	0,3	55,9	261	1,68	31,5	22,4	972	330	0,031
8. 7. 2014	5,5	0,4	43,3	247	1,12	27,7	24,3	911		
3. 9. 2014	10,0	0,5	55,1	283	1,35	34,5	41,6	1088		
14. 10. 2014	5,6	0,6	37,8	264	1,09	31	35,3	1059		
21. 4. 2015	4,5	1,1	69,0	213	1,42	36,2	35,3	1025	260	0,093
10. 6. 2015	8,0	1,1	41,8	214	0,71	31,8	32,3	1089		
12. 8. 2015	7,1	1,2	83,9	249	1,02	47,4	28,8	951		
6. 10. 2015	7,6	1,2	63,0	253	1,77	42,2	33,2	1073		
6. 4. 2016	6,5	0,7	41,4	182	1,32	48,0	23,2	907	320	0,086
9. 6. 2016	5,7	1,0	52,8	210	1,41	39,0	24,8	944		
7. 9. 2016	6,1	0,9	39,7	239	1,2	23,9	26,2	910		
2. 11. 2016	4,6	0,9	57,0	280	1,86	30,2	34,0	931		

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že čistírenský kal splňuje limity dle vyhlášky č. 437/2016 Sb. a lze ho aplikovat na zemědělskou půdu [15].

Tab. 9.3 Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě v přechodném období

Indikátorový mikroorganismus	Salmonella nález v 1g sušiny	Termotolerantní koliformní baktérie KTJ v 1 gramu sušiny		Enterokoky KTJ v 1 gramu sušiny	
		I. kategorie	II. kategorie	I. kategorie	II. kategorie
Limity dle vyhlášky č. 437/2016	negativní	< 10³		< 10³	
		10³ - 10⁶		10³ - 10⁶	
datum		I. kategorie	II. kategorie	I. kategorie	II. kategorie
17. 4. 2014	negativní	140 000		44 000	
8. 7. 2014	negativní	470 000		15 000	
3. 9. 2014	negativní	30 000		10 000	
14. 10. 2014	negativní	240 000		53 000	
21. 4. 2015	negativní	32 000		11 000	
10. 6. 2015	negativní	13 000		1 900	
12. 8. 2015	negativní	58 000		1 100	
6. 10. 2015	negativní	36 000		6 000	
6. 4. 2016	negativní	11 000		8 000	
9. 6. 2016	negativní	54 000		8 300	
7. 9. 2016	negativní	11 000		2 500	
2. 11. 2016	negativní	94 000		52 000	

Čistírenský kal je zařazený do II. kategorie ve srovnání s limity uvedenými v příloze č. 7 vyhlášky č. 437/2016 Sb., které je možné využívat pouze do 31. 12. 2019 a je předán osobě k tomu oprávněné a následně je využit pro aplikaci na zemědělskou půdu dle vyhlášky č. 437/2016 Sb. Kal kategorie I. lze za respektování všech podmínek vyhlášky využít bez omezení, kal II. kategorie lze využít na zemědělské půdě určené k pěstování technických plodin nebo v podzimním období na půdě určené k pěstování běžných plodin. Na dílu půdního bloku, kde bude použit kal kategorie II., nesmí být nejméně 3 roky po použití kalu pěstována polní zelenina, brambory a intenzivně plodící ovocná výsadba, přičemž musí být respektovány všechny další podmínky k použití kalů na zemědělské půdě dle výše uvedené vyhlášky [15].

Od 1. 1. 2020 budou vyžadovány limitní hodnoty uvedené v příloze č. 4, vyhlášky č. 437/2016 Sb., které jsou v souladu s Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 [5], a jeho prováděcím předpisem Nařízení EU 142/2011.

9.3. Zhodnocení kalového hospodářství ČOV Tišnov – Březina

Projektovaná kapacita ČOV Tišnov – Březina je 18 000 EO. V současné době je nad svojí maximální hranicí návrhové kapacity. Čistírenský kal se dováží na ČOV z velké oblasti menších čistíren odpadních vod a kapacita ČOV je tak na kapacitě 22 000 EO. Nepravidelný přítok odpadních vod z průmyslu tak ovlivňuje složení odpadních vod.

9.3.1 Zahuštění primárního kalu

Gravitační zahuštění primárního kalu na ČOV Tišnov – Březina, má v průměru 3,55 % sušiny, což nedostatečné.

9.3.2 Flotace

Flotační jednotka o užitém objemu 28 m³ pro odvodnění sekundárního kalu, který je odebírán z aktivace, je předřazena před fermentační reaktor. Vyflotovaný kal z jednotky je odváděn do jímky zahuštěného kalu. V jímce je umístěno míchadlo pro homogenizaci zahuštěného primárního a přebytečného kalu, vstupní koncentrace kalu je 0,4 % sušiny a na výstupu je v průměru 3,5 – 4 % sušiny.

9.3.3 Pasterizace kalu

Pasterizační linka slouží pro hygienizaci kalu. Objem jednoho pastéru je 2,5 m³ a při denním zpracování 22 m³ kalu o 5 % v sušině, pastér vyhovuje.

9.3.4 Fermentační reaktor

Fermentační reaktor o objemu 580 m³ s dobou zdržení 21 dní a s denním naplněním 22 – 25 m³ je přetížený. Ztráty žiháním odvodněného stabilizovaného kalu jsou 60 %, špatná odvodnitelnost kalu a vysoký obsah organických látek. Ztráty žiháním by měly činit u stabilizovaného kalu méně než 50 %. V reaktoru probíhá mezofilní metanizace o teplotě 42 °C. Fermentační reaktor často pění a při lokálním dávkování kalu dochází k jeho ochlazování. Reaktor je míchán vertikálním vřetenovým míchadlem s příkonem 0,55 kW a 20 ot.s⁻¹. V reaktoru vznikají dvě kritické zóny. Lehké částice kalu tvoří u stropu plovoucí koberec, nad nímž se tvoří pěna a těžké složky se hromadí a sedimentují u dna. Tyto kritické zóny časem narůstají a snižuje se efektivní objem reaktoru a také výtěžnost bioplynu. Produkce bioplynu je i z tohoto důvodu nedostatečná. V letním období je přebytek bioplynu, naopak v zimním období je produkce bioplynu nedostatečná a je nutno ohřívat nádrže zemním plynem.

9.3.5 Dávkovací stanice flokulantu

V objektu odvodnění kalu je umístěna dávkovací stanice flokulantu KAPLAN o objemu zásobní nádrže 1000 m³ a rozpouštěcí nádrže o objemu 500 m³ s míchadlem o příkonu 1,1 kW k zajištění přípravy a dávkování flokulantu do přívodu na odstředivku, kde dávka flokulantu činí 9 g.kg⁻¹ sušiny kalu. Kal je flokulací zahuštěný desetinásobně z 0,4 mg.l⁻¹ na 4 % sušiny kalu.

9.3.6 Strojní odvodnění kalu

Odvodněný kal na dekantační odstředivce je šnekovým dvouvýsypkovým dopravníkem dopraven na deponii odvodněného kalu, která přiléhá k budově strojního odvodnění kalu. Deponie kalu musí mít uskladňovací kapacitu minimálně 150 dní, vztaženou na produkovanou sušinu produkovaného kalu i zohledněním kalu, který se dováží z menších ČOV ke zpracování a v celkovém součtu i s objemy uskladňovacích nádrží v tekutém stavu. Deponie kalu je vodohospodářsky zabezpečená, nezastřešená plocha. Odvodněný kal obsahuje průměrně 22 % sušiny, průměrná ztráta žiháním je 58 %.

V roce 2016 byla produkce kalu 1 471 tun. Odhadem náklady na odvoz odvodněného kalu činí 27,5 % a náklady na odvodnění kalu v kalovém hospodářství čistírny odpadních vod jsou 30 % celkových nákladů na provoz čistírny.

10 NÁVRH OPATŘENÍ

10.1 Fermentační reaktor

Z důvodu malé kapacity fermentačního reaktoru je vhodný návrh nového reaktoru o větším užitém objemu, aby se mohla prodloužit doba zdržení z dosavadních 21 dní, která je nedostatečná na 25 dní a tím došlo k lepší stabilizaci kalu a v neposlední řadě k větší výtěžnosti bioplynu.

10.1.1 Návrh fermentačního reaktoru na základě potřebného objemu na 1 000 EO

Dlouhodobým sledování provozu městských biologických čistíren odpadních vod, bylo získáno dostatečné množství dat, podle kterých lze odhadnout objem fermentačního reaktoru [13]. Pokud známe počet připojených obyvatel na čistírnu a typ čistírny, pak objem fermentačního reaktoru vypočítáme ze vzorce:

$$V_n = (EO) \cdot V_{(EO)} \quad (1)$$

kde: V_n potřebný objem fermentačního reaktoru [m³]
 (EO) počet připojených ekvivalentních obyvatel
 $V_{(EO)}$ objem na 1000 ekvivalentních obyvatel

Výpočet objemu fermentačního reaktoru:

Počet připojených ekvivalentních obyvatel: 22 000 EO

Střední hydraulické zatížení: 25 – 40 dní → objem 25 – 40 m³ (na 1000 EO)

Směsný zahuštěný kal: 5 % sušina = 50 kg. m⁻³

Optimální teplota při mezofilním zpracování a při zisku bioplynu: 40 – 42°C

$$V_n = (EO) \cdot V_{(EO)}$$

$$V_n = 22 \cdot 25 = 550 \text{ m}^3$$

$$V_n = 22 \cdot 40 = 880 \text{ m}^3$$

Z výpočtu vyplývá, že objem fermentačního reaktoru je na samotné hranici zatížení. Pokud by se měli připojovat další ekvivalentní obyvatelé, musí se v první řadě dimenzovat fermentační reaktor na vyšší kapacitu.

Výpočet objemu fermentačního reaktoru podle látkového zatížení:

Objemová hmotnost: 22 – 25 m³.d⁻¹

Doba zdržení (současná): 21 dní

Doba zdržení (potřebná): 25 dní

Ztráty žiháním: 60 %

Průměrná koncentrace kalu v reaktoru 2,8 – 3 % sušiny kalu

Objemové látkové zatížení: $0,5 - 1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

Stáří kalu: 1 den

Objem fermentačního reaktoru: 580 m^3

I. Skutečnost

Objem fermentačního reaktoru celková sušina kalu

$$V_n = V_{pk} \cdot \Theta \quad (2)$$

kde: V_n objem reaktoru [m^3]

Θ doba zdržení [d]

$$V_n = 22 \cdot 21 = 462 \text{ m}^3$$

$$V_n = 25 \cdot 21 = 525 \text{ m}^3$$

Objem fermentačního reaktoru organická sušina kalu

$$V_n = \frac{V_{pk} \cdot \Theta}{Z_z} \quad (3)$$

kde: V_n objem reaktoru [m^3]

V_{pk} objemová hmotnost [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$]

Z_z ztráta žiháním [%]

$$V_n = \frac{22 \cdot 21}{0,6} = 770 \text{ m}^3$$

Při denním objemu kalu 22 m^3 určenému k fermentaci je objem reaktoru 770 m^3 .

$$V_n = \frac{25 \cdot 21}{0,6} = 875 \text{ m}^3$$

Z výpočtu je patrné, že za současných podmínek je reaktor o objemu 580 m^3 přetížený. Objem fermentačního reaktoru by měl být nejméně 875 m^3 , aby vyhovoval současným provozním podmínkám.

Produkce kalu – celková sušina kalu

$$P_k = V_{pk} \cdot X \quad (4)$$

kde: P_k denní produkce kalu [$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$]

X sušina kalu [%]

$$P_k = 22 \cdot 3 = 660 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$$

$$P_k = 25 \cdot 3 = 750 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$$

Za současných podmínek se denní produkce kalu pohybuje od 660 kg do 750 kg celkové sušiny kalu.

Produkce kalu – organická sušina kalu

$$P_S = \frac{P_k}{Z_z} \quad (5)$$

$$P_S = \frac{660}{0,6} = 1100 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$$

$$P_S = \frac{750}{0,6} = 1250 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$$

II. PosouzeníObjem fermentačního reaktoru celková sušina kalu

$$V_n = V_{pk} \cdot \theta$$

$$V_n = 25 \cdot 25 = 625 \text{ m}^3$$

Objem fermentačního reaktoru organická sušina kalu

$$V_n = \frac{V_{pk} \cdot \theta}{Z_z} \quad (6)$$

$$V_n = \frac{25 \cdot 25}{0,5} = 1250 \text{ m}^3$$

Z výpočtů plyne, že pracovní objem fermentačního reaktoru při splnění optimálních podmínek provozu, tj. snížení ztráty žiháním na 50 % a prodloužení doby zdržení v reaktoru z 21 dní na 25 dní, by měl mít pracovní objem 1250 m³. V případě připojení dalších ekvivalentních obyvatel bude reaktor vyhovovat a při menším využití fermentačního reaktoru, se mohou přidávat gastroodpady. Tyto odpady se musí zpracovávat postupně, aby nedocházelo k ochlazení reaktoru, a dále se musí sledovat:

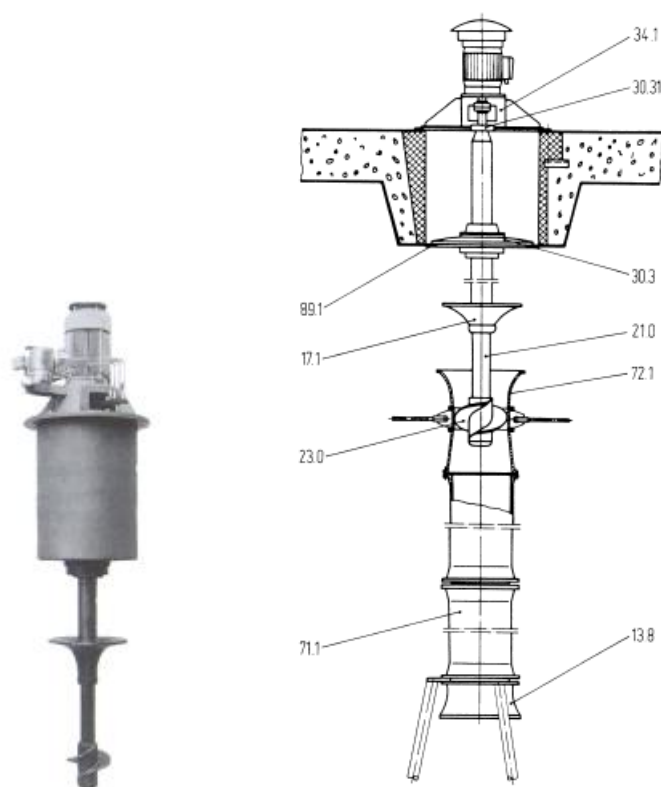
- obsah mastných kyselin;
- obsah koncentrace metanu v bioplynu;
- pH.

Při správném vyvážení procesu, jako je míchání reaktoru, správné dávkování surového kalu, aby nedocházelo k ochlazení reaktoru, udržování konstantní teploty 42 °C a doby zdržení 25 dní, dosáhneme lepší stabilizaci kalu, ale i vyšší výtěžnost bioplynu a tím i energetickou soběstačnost zejména v zimním období.

10.1.2 Míchadlo fermentačního reaktoru

Anaerobní stabilizace kalu musí být zajištěna v dobře promíchaném reaktoru. Nádrž je míchána míchadlem o 20 ot.s⁻¹ o příkonu 550 W, což je 0,58 – 0,7 W.m⁻³ objemu reaktoru. Toto vrtulové vřetenové míchadlo nedostatečně promíchává fermentační reaktor. Dle doporučení by měl být průměrný příkon 3,5 – 6,0 W.m⁻³ objemu

míchaného reaktoru. Sice se zvýší nároky na spotřebu elektrické energie, ale při podstatně vyšší výtěžnosti bioplynu dokonalým promícháním reaktoru to bude finančně výhodné. Dále se sníží podíl organických látek až o 10 %, zlepši se odvodnitelnost kalu na 25 – 30 % sušiny a tím se zmenší objem kalu ročně o 500 – 600 tun a sníží se náklady na odvoz kalu. Řešením je například míchadlo HALBERK. Toto míchadlo zajišťuje proudění rourou od stropu směrem dolů ke dnu. Čerstvý kal přitékající do nádrže je spolu s pěnou a částicemi rozbitého koberce strháván do centrální roury, odkud vytéká rychlostí přes 2 m.s^{-1} , která představuje dostatečnou energii pro vyčištění dna od písku a šterku. Střední vzestupná rychlost v průřezu nádrže kolem $0,02 \text{ m.s}^{-1}$ pak zajišťuje intenzivní promíchávání celého obsahu nádrže. Nepočítá se s kolísáním hladiny nádrže a ani s tvorbou pěny, která je míchadlem HALBERK eliminována. Cílem je dokonalé promíchání celého objemu nádrže. Pokud se na vstupu do nádrže přítok kalu zmenší, lze prodloužit dobu zdržení. Při dočasném snížení hladiny vlivem nárazového odběru lze míchání přerušit. Proudění v nádrži lze pro různé viskozity kalu modelovat na počítači. Míchadla HALBERK jsou vysoce spolehlivá a bez oprav a revizí mohou pracovat 10 let a více.



13.8 Sací hubice, 17.1 Rozstříkovací disk, 21.0 Hřídel míchadla, 23.0 Poháněné lopatkové kolo míchadla, 30.3 Axiální a vodící pouzdro ložiska, 30.31 Vodící ložisko, 34.1 Podstavec motoru, 71.1 Ponorná trubka, 72.1 Vypouštěcí kus, 89.1 Dosedací kroužek

Obr. 23 Míchadlo HALBERK [16]

Tab. 10.1 Technické údaje míchadla HALBERK [16]

Typ míchadla	2
Objem míchané nádrže [m ³]	500 - 1500
Průtok [m ³ .h ⁻¹]	360
Otáčky hřídele / motoru [ot.min ⁻¹]	1500 / 1500
Potřebný výkon motoru [kW]	4,5
Jmenovitý výkon motoru [kW]	6,8
Váha motoru [kg]	70
Vypouštěcí trubice [mm]; váha [kg]	DN200x4000; 150

Fermentační reaktor můžeme pneumaticky míchat bioplymem. Bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem se vhání do nádrže, tím dochází k promíchávání reaktoru. K dokonalému promíchávání je zapotřebí 0,27 – 0,42 m³.h⁻¹ bioplynu na 1 m³ reaktoru. Výhodou je, že bioplyn obsahuje 0,5 % vodíku, který je schopen redukovat oxid uhličitý na metan a vodu, čímž se zvyšuje produkce metanu. V ČR s mícháním fermentačních reaktorů bioplymem nejsou dobré zkušenosti a Tab. 10.2 srovnává výhody míchadla HALBERK s mícháním reaktoru bioplymem.

Tab. 10.2 Srovnání kalového míchadla HALBERK a míchání bioplymem [16]

Vlastnosti	Kalové míchadlo	Míchání bioplymem
Spotřeba energie / napájení	25 % vstříkávání plynu / 2 - 7 m ³	100 % / 6 - 28 m ³
Průtok	konečný průtok / 360 - 7000 m ³ .h ⁻¹	neurčitý průtok (plynové bubliny)
Rychlost proudění v horní a dolní části	2 - 3 m.s ⁻¹	neurčitá rychlost průtoku
Směr proudění	2 směry (nahoru a dolů)	1 směr (plynové bubliny – nahoře)
Údržba	bezúdržbové	údržba kompresoru, ventilů, potrubí
Manipulace s pevnými látkami	až do 10 % pevných látek	až do 4 % pevných látek
Kontrola	snadná, míchadlo je umístěno nahoře	není možná – v případě zablokovaných plynových přívodů a trysek – vypustit fermentační reaktor
Opotřebení	dlouhá životnost 10 – 15 let	vysoké opotřebení – vysoký tlak kompresoru a vysoká rychlost
Spodní a kalové vrstvy	rozbité rozstřikovacím diskem	zastaví se produkce plynu
Pěna	rozbitá rozstřikovacím diskem	způsobuje pění

10.2.2 Změna z mezofilního procesu anaerobní stabilizace na termofilní anaerobní stabilizaci kalu

Další možností je přejít z mezofilního procesu stabilizace kalu na termofilní anaerobní stabilizaci kalu při teplotě nad 55 °C. Tím by se zkrátila doba zdržení ve fermentačním reaktoru na 15 – 20 dní, odpadla by pasterizace kalu a fermentační reaktor by objemově

vyhovoval. Kal si zachovává vlastnosti stabilizovaného kalu a je zařazený do kategorie I. dle přílohy č. 7, vyhlášky č. 437/2016 Sb. [15].

Produkováný kal dle kategorie I. je dobře odvoditelný, dobře využitelný v zemědělství a je ho možné zapravit ihned do půdy nebo využít jako součást kompostu. Proces termofilní anaerobní stabilizace kalu je velmi rychlý a dosahuje vysokého stupně rozkladu. Nevýhodou je však velká energetická náročnost, produkováný bioplyn má nižší obsah metanu, vysoké nároky na dodržení stabilních provozních podmínek, trvalý přísun kalu a hlavně udržování provozní teploty (termofilní bakterie jsou velmi citlivé na změny teploty - snesou denní teplotní výkyvy jen do 1 °C [17]).

10.3 Návrh na zvýšení produkce bioplynu

Výtěžnost bioplynu na ČOV je možné zvýšit následujícími způsoby:

- použitím externích substrátů BRO do anaerobních fermentačních reaktorů;
- nastavení termofilního vyhnívání;
- dezintegrace ultrazvukem;
- ozonizace kalu;
- zahuštění a předúprava kalu mechanickou dezintegrací.

Spoluvyhnívání externích substrátů s BRO (biologicky rozložitelný odpad)

Z praxe i z dostupných energetických bilancí jednotlivých ČOV je zřejmé, že bez přínosu externích zdrojů organického uhlíku, lze jen obtížně dosáhnout energetické soběstačnosti. Z tohoto důvodu je velmi důležitá implementace spoluvyhnívání, při které je ovšem nutné zhodnotit a minimalizovat veškerá rizika s touto praxí spojená. Daleko výhodnější, logičtější a ekonomičtější použít jako surovinu pro spoluvyhnívání BRO, namísto zemědělských plodin, často používaných v projektech bioplynových stanic za jediným účelem, a to státem dotované výroby elektrické energie.

Variantě spoluvyhnívání externích substrátů s BRO nahrává také zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, který nutí města a obce s BRO nakládat ve smyslu energetického využití.

ECRUSOR je patentované zařízení, od společnosti Veolia, na drcení a třídění biologicky rozložitelného odpadu. Umí separovat organický odpad (kuchyňský odpad, prošlé jogurty, smetanu a další mléčné výrobky, prošlé potraviny, nápoje, atd.) od jeho obalu. Zpracuje a homogenně smísí tekutý a pevný průmyslový potravinový odpad a připraví jej tak pro produkci bioplynu ve fermentačním reaktoru. Zbývající rozsekaný čistý obalový materiál je připraven ke spálení ve spalovně, případně k uložení na skládku.

Zahuštění a předúprava kalů

Ke zvýšení účinnosti anaerobní stabilizace kalů na ČOV vyvinula společnost Lysatec GmbH lyzační zahušťovací odstředivku. Tato metoda spočívá ve využití technologie buněčného lyzátu prostřednictvím modifikace odstředivek na zahušťování přebytečného aktivovaného kalu. Pod pojmem buněčný lyzát rozumíme uvolněný obsah buněk mikroorganismů následkem desintegrace (rozrušení) jejich buněčných stěn a membrán. Nejvýhodnější způsob přípravy lyzátu je mechanická desintegrace. Vhodnou konstrukční úpravou odstředivky lze využít nadbytek její kinetické energie k většímu rozbití buněčných stěn mikroorganismů, obsažených v odstřeďovaném kalu. Konstrukční úprava (modifikace) zahušťovací odstředivky spočívá v namontování lyzačního zařízení do proudu vystupujícího zahuštěného přebytečného kalu.

Výhodou použití lyzační zahušťovací odstředivky je například zvýšení specifické produkce bioplynu až o 30 % a posílení energetické soběstačnosti ČOV nebo zlepšení odvodnitelnosti a snížení obsahu zbytkových organických látek v anaerobně stabilizovaném kalu.

Nové systémy na zvýšení produkce bioplynu

Skupina Veolia Water uvedla dále na trh například systém BioCon®, Exelys™ nebo Biothelys®. Tyto nové procesy zvyšují produkci bioplynu a elektrické energie a zároveň minimalizují objem kalu.

Dezintegrace kalů ultrazvukem

Pomocí inovativní patentované ultrazvukové dezintegrace VTA-GSD lze optimalizovat provoz stávající fermentační nádrže, případně lze odstranit problémy, jako pění. Zahuštěný kal, především přebytečný, se ošetří bezprostředně před vyhníváním ultrazvukem a tím dojde k značnému zlepšení následného procesu vyhnívání. Ultrazvukem ošetřený kal efektivněji vyhnívá, tím se redukuje organický podíl ve vyhníle kalu a produkce bioplynu se výrazně zvyšuje. Využitím VTA-GSD je možné vyrobit až o 30 % více bioplynu a snížit množství kalu k likvidaci až o 20 % v závislosti na výchozích podmínkách.

Ozonizace kalu

V procesu se využívá působení ozónu na část vratného kalu, který se po ozonizaci vede zpět do aerační nádrže. Ozonizace umožňuje biologický rozklad části aktivovaného kalu rozrušením buněčných stěn a následným vylitím buněčného obsahu do roztoku, což vede k zpřístupnění látek dalšímu rozkladu. Tímto způsobem lze produkci přebytečného aktivovaného kalu zcela eliminovat. Míra eliminace kalu závisí na rychlosti dávkování

ozónu a na množství kalu, vystaveném působení ozónu. Se zvýšením rychlosti dávkování ozónu míra eliminace roste. Pro úplnou eliminaci produkce přebytečného aktivovaného kalu by množství vratného kalu vystavené působení ozónu mělo být asi třikrát - čtyřikrát větší, než množství kalu, které by se ze systému muselo odebírat, kdyby se ozonizace neprováděla. Odtok vyčištěné odpadní vody se zavedením ozonizace významně nezmění.

10.4 Deponie odvodněného kalu

Deponie odvodněného kalu přiléhá k budově strojního odvodnění kalu. Odvodněný kal obsahuje průměrně 22 % sušiny. Vzhledem ke klimatickým podmínkám navrhuji deponii kalu zastřešit, aby nedocházelo ke smísení kalu se srážkovými vodami.

10.5 Sušárna kalu – solární sušárna kalu HUBER SRT 11

Inovativní technologii v sušení kalu představují solární či skleníkové sušárny kalu oproti tradičním sušárnám kalu. Sušárny fungují jako skleníky s vytápěnou podlahou. Přenos tepla se uskutečňuje kombinací sálání a vedení. Sušárna má systém několika větráků, které vytvářejí turbulence vzduchu a dále jsou vybaveny stroji pro automatické přehrabávání kalu. Do jisté míry intenzita sušení kalu je závislá na ročním období. Výsledkem sušení je granulovaný kal. Výhodou je energetická soběstačnost a nezávislost na zdroji tepla (varianta bez vytápění). Tepelná bilance ČOV není díky provozu nijak ovlivněna a teplo může být využito jinde. Další výhodou je nenáročný provoz, snadná údržba, možnost odebírat kal na stejné straně, jako je dávkování a v neposlední řadě šetrnost k životnímu prostředí. Sušárny ročně zpracují množství kalu od 1 až do 6000 tun a dosahují v průměru až 75 % výstupní sušiny. Nevýhodou jsou velké nároky na plochu skleníků a nemalé vstupní investiční náklady [18;26].



Obr. 24 Umístění solární sušárny u ČOV Tišnov - Březina (autorka)

Umístění solární sušárny kalu by se realizovalo na pozemcích v k. ú. Březina u Tišnova, č. parcely 1902 a č. 1903, které jsou ve vlastnictví Svazku vodovodů a kanalizací Tišovsko a jsou v těsné blízkosti ČOV Tišov – Březina.

Na základě poskytnutých vstupních dat z ČOV Tišov – Březina byl zpracován návrh solární sušárny kalu HUBER SRT 11.

Tab. 10.3 Návrh solární sušárny kalu HUBER – vstupní data

Vstupní data	
Vstupní sušina kalu průměr	22 %
Výstupní sušina kalu	< 75 %
Využití vysušeného kalu	hnojivo, palivo
Zdroj kalu	městská ČOV
Typ kalu	anaerobně stabilizovaný kal, 21 dní
Typ odstředivky	dekantační
Množství odvodněného kalu	1 500 t.rok ⁻¹
Konzistence kalu	pastovitý (deponie kalu)
Zápach	bez zápachu
Palivo k dispozici	bioplyn, zemní plyn
Zdroj odpadního tepla	teplá voda

Tab. 10.4 Sušení kalů solární sušárnou HUBER

Měsíc	Množství odvodněného kalu [t]	Sušina na vstupu [%]	Sušina [t]	Sušina na výstupu [%]	Vodní výpar [t]	Vrstva kalu [mm]
Leden	125	22	0	0	0	26
Únor	102	22	27	65	53	29
Březen	125	22	41	70	90	29
Duben	111	22	72	70	156	21
Květen	141	22	94	75	226	5
Červen	130	22	34	80	91	5
Červenec	66	22	34	80	91	5
Srpen	137	22	34	80	91	5
Září	103	22	37	75	88	5
Říjen	185	22	39	70	86	5
Listopad	150	22	23	65	45	10
Prosinec	125	22	18	60	30	16
Celkem	1 500	22	453	73	1047	13

Sušicí linka: 1 ks

Délka skleníku: 145 m

Šířka skleníku: 12 m

Trakční pohon: 1 ks

Pohon pro převrácení kalu: 1 ks

Ventilátory: 14 ks

Zimní sušina granulovaného kalu průměrně: 63,3 %

Průměrná sušina kalu: 73 %

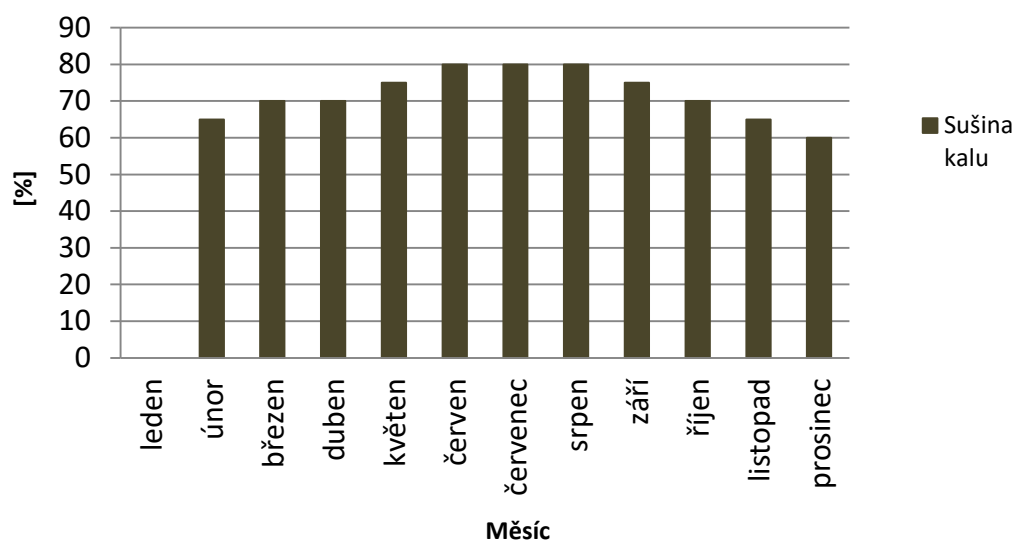
Celkový odhad na roční spotřebu elektrické energie solární sušárny kalu je 47 120 kWh.

Roční produkce odvodněného kalu ČOV Tišnov – Březina je cca 1 500 tun. V daném případě je ekonomicky vhodnější kal v zimních měsících akumulovat a skladovat ve skleníku a v letních měsících začít se sušením kalu a to z důvodu plného využití slunečního záření k sušení.



Graf 5: Składování kalu pro sušení ve skleníku solární sušárny

Sušina kalu na výstupu ze solární sušárny HUBER



Graf 6: Sušina kalu na výstupu ze solární sušárny HUBER



Obr. 25 Solární sušárna HUBER v provozu [18]



Obr. 26 Vysušený granulovaný kal [18]

10.6 Shrnutí návrhu opatření

Z důvodu malé kapacity fermentačního reaktoru je vhodný návrh nového reaktoru o větším užitém objemu a to pro delší dobu zdržení v reaktoru, lepší stabilizaci kalu a větší výtěžnosti bioplynu, ale i z důvodu připojení dalších ekvivalentních obyvatel.

Anaerobní stabilizace kalu musí být zajištěna v dobře promíchaném reaktoru. Řešením je například míchadlo HALBERK, které zajišťuje proudění kalu rourou od stropu směrem dolů ke dnu. Čerstvý kal přitékající do nádrže je spolu s pěnou a částicemi rozbitého koberce strháván do centrální roury a dostatečná energie proudění pak zajišťuje intenzivní promíchávání celého obsahu nádrže a vyčištění dna od písku a štetku. V případě instalace míchadla se sníží podíl organických látek až o 10 %,lepší se odvodnitelnost kalu na 25 – 30 % sušiny a tím se zmenší objem kalu ročně o 500 – 600 tun a tím se sníží náklady na odvoz kalu.

Deponii odvodněného kalu vzhledem ke klimatickým podmínkám navrhuji zastřešit, aby nedocházelo ke smísení kalu se srážkovými vodami.

Inovativní technologii v sušení kalu představují solární či skleníkové sušárny kalu. Návrh sušárny je v současné době, kdy legislativní požadavky budou přísnější na aplikaci čistírenského kalu na zemědělskou půdu velmi aktuální. Výhodou je hygienizovaný kal kategorie I. ve formě granulátu, s tím spojené snížení objemu kalu, nižších nákladů za odvoz a využití kalu. Další výhodou je energetická soběstačnost a nezávislost na zdroji tepla, nenáročný provoz, snadná údržba a v neposlední řadě šetrnost k životnímu prostředí. Nevýhodou jsou vysoké vstupní investiční náklady a nároky na prostor pro vybudování skleníku sušárny kalu.

Pro jednotlivá opatření se provozovatel ČOV rozhodne sám na základě priorit podle legislativních požadavků, plánu obnovy vodohospodářské infrastruktury a objemu požadovaných financí jednotlivých opatření.

11 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá zhodnocením kalového hospodářství městské čistírny odpadních vod Tišnov – Březina. Při technologickém procesu čištění odpadních vod vzniká nevyhnutelný odpad – čistírenský kal. Tento čistírenský kal se musí upravit tak, aby neměl negativní vliv na životní prostředí a zdraví člověka.

V úvodní části je zpracována literární rešerše, která popisuje problematiku kalového hospodářství a způsoby nakládání s čistírenskými kaly.

Praktická část popisuje technologický proces čištění odpadních vod na ČOV Tišnov – Březina a zaměřuje se na vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod. Čistírna odpadních vod vykazuje velmi dobrou účinnost čištění odpadních vod. Všechny sledované emisní ukazatele uvedené v kap. 9.1 přesáhly minimální hodnoty přípustné účinnosti čištění vypouštěných odpadních vod dle NV č. 401/2015 Sb. Hydraulické zatížení čistírny odpadních vod Tišnov – Březina v letech 2014 a 2016 nepřesáhlo návrhové parametry ČOV. V roce 2015 byla roční návrhová kapacita překročena o 0,18 %. Dále práce vyhodnocuje rozbor kalů po stránce mikrobiologické a obsahu těžkých kovů. Rozbor čistírenského kalu prokázaly, že hygienizovaný a odvodněný kal splňuje limity na obsah rizikových látek dle ČSN 46 5734 a může být využit v kompostárně ke kompostování. Mikrobiologické rozbor a rozbor na obsah rizikových látek v odvodněném a hygienizovaném čistírenském kalu potvrdily, že kal zařazený do kategorie II. je v souladu s vyhláškou č. 437/2016 Sb. a je aplikován na zemědělskou půdu. V současné době, kdy tlak společnosti a odpadové politiky EU vede k omezení skládkování biologicky rozložitelného odpadu, a od roku 2020 budou přísnější podmínky pro aplikaci kalů na zemědělskou půdu, se hledají další možnosti využití kalu jako suroviny.

V poslední části diplomové práce byly posouzeny současné problémy se zpracováním kalu v kalovém hospodářství ČOV Tišnov - Březina a navržena opatření v souladu s požadavky ČOV na zlepšení stavu kalové koncovky. Navržená opatření v rámci diplomové práce jsou následující:

- dimenzováním fermentačního reaktoru na větší objem pro lepší stabilizaci kalu, s výhledem na připojení dalších obyvatel na ČOV;
- výměna míchadla reaktoru za vhodnější typ pro lepší homogenitu obsahu reaktoru

- opatření na zvýšení produkci bioplynu
- návrh solární sušárny kalu,
- s ohledem na skladování odvodněného kalu bylo navrženo zastřešení deponie kalu.

V návrhu se předpokládalo, že dojde ke změně mezofilního anaerobního fermentačního procesu na termofilní anaerobní fermentační proces, který ve výsledku nebyl doporučen a to z důvodu vysoké energetické náročnosti. Produkovaný bioplyn má nižší obsah metanu, jsou vysoké nároky na dodržení stabilních provozních podmínek, zajištění trvalého přísunu kalu a udržování předem stanovené provozní teploty.

Na základě priorit podle legislativních požadavků, plánu obnovy vodohospodářské infrastruktury a objemu požadovaných financí jednotlivých opatření se provozovatel ČOV rozhodne sám, jaká opatření zvolí.

LITERATURA

- [1] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. Příručka stokování a čištění. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 2001. ISBN 80-86020-30-4.
- [2] PYTL, Vladimír. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. Praha: Medim pro SOVAK - Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2004. ISBN 80-239-2528-8.
- [3] KRŇÁVEK, Břetislav, FOLLER, Jan, MACHALA, Martin. *Čištění odpadních vod*.
- [4] Zpracování kalu. [online]. [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/Zpracování kalu](http://hgf10.vsb.cz/546/Zpracování_kalu)
- [5] Nařízení Evropského parlamentu a rady ES č. 1069/2009, o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a zítkané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě. [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/predpisy-es-eu/Legislativa-EU_x2006-2010_narizeni-2009-1069.html
- [6] MACHALA, Martin. *Komplexní analýza čištění odpadních vod v sídlech do 20 000 ekvivalentních obyvatel*, Mendelova univerzita v Brně, Doktorská dizertační práce, 2006, 182 s. Vedoucí práce prof. Ing. Bořivoj Groda, DrSc.
- [9] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://prvkjm.aquatis.cz/>
- [10] *Strategický plán Města Tišnov* [online]. In: [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://www.tisnov.cz/urad/dokumenty/strategicky-plan>.
- [11] Vodárenská akciová společnost, a.s.: Provozní řád ČOV Tišnov-Březina
- [12] Krajský úřad Jihomoravského kraje, odbor životního prostředí: Povolení k nakládání s vodami, č. j. JMK 110450/2012 ze dne 5. 12. 2012
- [13] TUČEK, Ferdinand, Jan CHUDOBA a Zdeněk KONÍČEK. Základní procesy a výpočty v technologii vody. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988. Ochrana životního prostředí.
- [14] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších právních předpisů. Portál veřejné správy [online]. 2001 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=51365&nr=185~2F2001&rpp=15#local-content>
- [15] Vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, www.mzp.cz [online]. [cit. 2017-01-08]. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/582A4AE704964E60C125809E0037313C/\\$file/V%20437_2016.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/582A4AE704964E60C125809E0037313C/$file/V%20437_2016.pdf)

[16] [Http://www.sterlingsihi.com](http://www.sterlingsihi.com) [online]. [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <http://www.sterlingsihi.com/cms/cz/home/produkty-servis/kapalinova-kerpadla/michadla-pro-vyhnavaci-nadrze.html>

[17] VÍTĚZ, Tomáš a Bořivoj GRODA. *Čištění a čistírny odpadních vod*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-180-7.

[18] Largest solar sewage sludge drying site in Southern Germany fully equipped by HUBER [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.huberco.cz/cz/metanavigation/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/largest-solar-sewagesludge-drying-site-in-southern-germany-fully-equipped-by-huber.html?popup=1>

[19] KOUKALOVÁ, Dana. *Možnosti zpracování vodárenských kalů z úpraven vody*, Mendelova univerzita v Brně, Bakalářská práce, 2015, 46 s. Vedoucí práce Ing. Věra Hubačíková, Ph.D.

[20] ČSN 46 5735. *Průmyslové komposty*. Praha: Český normalizační institut, 1991.

[21] Shi, Cao Ye. *Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Londýn : IWA Publishing, 2011. ISBN 1843393824.

[22] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 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. Portál veřejné správy [online]. 2015 [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/A9176464A5CC8D28C1257D9600473FD0/%24file/NV%2061_2003.pdf

[23] HUBAČÍKOVÁ, Věra. *Vodní hospodářství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-239-7.

[24] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-13-4.

[25] CHUDOBA, Jan, Jiří WANNER a Michal DOHÁNYOS. *Biologické čištění odpadních vod: vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemicko-technologické*. Praha: SNTL, 1991. Ochrana životního prostředí. ISBN 8003006112.

[26] ŠEVČÍK, Jan, 2016. Solární vs. pásové sušení čistírenských kalů. In: *Městské vody 2016*. 1. Brno: VENSEN. ISBN 978-80-86020-83-9.

SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1 Specifické znečištění v g na 1 obyv. a den za usazovacími nádržemi.....	17
Tab. 5.2 Složení primárního kalu podle zastoupení jednotlivých typů org. látek	18
Tab. 8.1 Hydraulické zatížení ČOV.....	29
Tab. 8.2 Látkové zatížení ČOV dle projektové dokumentace	30
Tab. 8.3 Povolené průtoky do recipientu	30
Tab. 8.4 Kvalita vod vypouštěných na odtoku ČOV	31
Tab. 8.5 Environmentální kapacita řeky	31
Tab. 9.1 Rozbory kalu z ČOV Tišnov – Březina	50
Tab. 9.2 Mezní hodnoty koncentrací rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě	51
Tab. 9.3 Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě v přechodném období.....	51
Tab. 10.1 Technické údaje míchadla HALBERK	58
Tab. 10.2 Srovnání kalového míchadla HALBERK a míchání bioplynem.....	58
Tab. 10.3 Návrh solární sušárny HUBER – vstupní data	62
Tab. 10.4 Sušení kalů solární sušárnou HUBER	62

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma odděleného odebírání kalu ze systému	20
Obr. 2 Schéma společného odebírání kalu ze systému	20
Obr. 3 Obecný postup zpracování kalů.....	21
Obr. 4 Pohled do lapáku štěrku.....	32
Obr. 5 Pohled do dešťové nádrže.....	33
Obr. 6 Vírový lapák písku.....	33
Obr. 7 Separátor písku	34
Obr. 8 Jemné česle s lisem na shrabky	35
Obr. 9 Usazovací nádrž.....	36
Obr. 10 Rozdělovací komora	36
Obr. 11 Regenerační nádrže.....	37
Obr. 12 Pohled na aktivační nádrže	38
Obr. 13 Dosazovací nádrž.....	39
Obr. 14 Flotační nádrž – rozdělení hladiny čisté vody od směsi kalu	40
Obr. 15 Jímka zahuštěného kalu flotací.....	41
Obr. 16 Fermentační reaktor	42
Obr. 17 Uskladňovací nádrž	42
Obr. 18 Pohled na jeden z pastérů	43
Obr. 19 Dávkovací stanice flokulantu	44
Obr. 20 Strojní denkantační odstředivka	44
Obr. 21 Šnekový dopravník a deponie odvodněného kalu	44
Obr. 22 Plynojem.....	45
Obr. 23 Míchadlo HALBERK.....	57
Obr. 24 Umístění solární sušárny u ČOV Tišnov - Březina	61
Obr. 25 Solární sušárna HUBER v provozu.....	64
Obr. 26 Vysušený granulovaný kal.....	64

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Účinnost čištění OV v roce 2014, dle NV.....	47
Graf 2: Účinnost čištění OV v roce 2015, dle NV.....	48
Graf 3: Účinnost čištění OV v roce 2016, dle NV.....	49
Graf 4: Hydraulické zatížení ČOV v letech 2014, 2015 a 2016.....	50
Graf 5: Skladování kalu pro sušení ve skleníku solární sušárny.....	63
Graf 6: Sušina kalu na výstupu ze solární sušárny HUBER.....	64

SEZNAM ZKRATEK

ČOV	čistírna odpadních vod
OV	odpadní vody
AN	aktivační nádrž
CO ₂	oxid uhličitý
H ₂ S	sulfan
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku
NL	nerozpuštěné látky
N-NH ₄	amoniakální dusík
N _{celk.}	celkový dusík
P _{celk.}	celkový fosfor
pH	vodíkový exponent
AOX	halogenované organické sloučeniny
PP	polypropylen
Sb.	sbírky
ČSN	Česká státní norma
EU	Evropská unie
BRO	Biologicky rozložitelný odpad

PŘÍLOHY

- Příloha č. 1 Hodnoty na přítoku do ČOV Tišnov – Březina, rok 2014
- Příloha č. 2 Hodnoty na odtoku z ČOV Tišnov – Březina, rok 2014
- Příloha č. 3 Hodnoty na přítoku a odtoku z ČOV Tišnov – Březina, rok 2015
- Příloha č. 4 Hodnoty na přítoku a odtoku z ČOV Tišnov – Březina, rok 2016
- Příloha č. 5 Rozbory čistírenského kalu ČOV Tišnov – Březina, rok 2014- 2016
- Příloha č. 6 Sušina čistírenského kalu ČOV Tišnov – Březina, rok 2014 - 2016
- Příloha č. 7 Situační výkres ČOV Tišnov – Březina
- Příloha č. 8 Kalová koncovka ČOV Tišnov – Březina