

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



Zpracování čistírenských kalů na základě jejich vlastností

Bakalářská práce

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

BAKALANT: Patrik Drábek

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Patrik Drábek

Územní technická a správní služba

Název práce

Zpracování čistírenských kalů na základě jejich vlastností

Název anglicky

Treatment of sewage sludge based on their properties

Cíle práce

Bakalářská práce se zabývá technologickými možnostmi zpracování čistírenských kalů na základě jejich vlastností s ohledem na finální využití. Přesným cílem práce je vyhodnotit zranitelné oblasti na území ČR z hlediska aplikace kalů na zemědělskou půdu. Bude se zabývat optimalizací a efektivním využitím, důraz bude kladený na vyhodnocení rizika přítomného olova v kalech jakožto potencionálně těžkého kovu a jeho dopadu na ŽP. Formou rešerše budou shrnovány podklady o obsahu olova v kalech a zemědělské půdě s ohledem na zdroj této zátěže.

Metodika

Práce bude zaměřena na rozpracování problematiky základních vlastností kalu. Budou zde řešeny typy čistírenských kalů, dostupné technologie pro jejich zpracování, předúprava kalu a jeho stabilizace. Kde budou rozpracovány faktory ovlivňující mobilitu olova, zdroje olova a také jejich forma. Bude rozpracovávat možnosti biologického snižování obsahu olova v kalech na území ČR. Problematika bude rozdělena na část rešeršní a hodnotící. Práce bude postavena na reálných údajích, informacích z odborné literatury a legislativních předpisů zejména v rámci EU a ČR.

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

odpad, kal, zahušťování kalu, stabilizace kalu, zákon o odpadech, olovo

Doporučené zdroje informací

- Bouki C., Venieri D., Diamadopoulos E. (2013): Detekce a osud bakterií rezistentních na antibiotika v čistírnách odpadních vod: přehled, ekotoxikologie a bezpečnost životního prostředí 91
- Cantinho, P., Matos, M., Trancoso, M., Correla dos Santos, M., 2015: Behaviour and fate of metals in urban wastewater treatment plants: a review (Online) [cit. 2015.10.06], dostupné z <<http://www.bioline.org.br/pdf?st16034>>.
- Fent, K., 1996: Science of The Total Environment (online) [cit. 1996.06.21], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0048969795050485#!>>.
- Hudcová, H., Rozkošný, M., Vinklárová, D., Kriška, M., Plotěný, M. a Matuška, P. Kvalita a odpady z extenzivních a anaerobně-aerobních ČOV a jejich potenciální využití. In: Kriška M. a Hyánková E. (eds)
- MZP ČR, ©2015: Optimalizace nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod (online), dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013>.
- Nielsen, S. (2011) Sludge Treatment Reed Bed Facilities ; Organic Load and Operation Problems. Water Science and Technology, 63,942-948.
- Stasinakis, A.S., 2012: Bioresource Technology (online) [cit. 2012], dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/230598342_Review_on_the_fate_of_emerging_contaminants_during_sludge_anaerobic_digestion>.
- Vyhláška č. 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady
Vyhláška č. 437/2016 Sb. Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě
Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 12. 2019

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Zpracování čistírenských kalů na základě jejich vlastností vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom/a, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 01. 04. 2020



.....

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mojí vedoucí bakalářské práce, Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D., za odborné konzultace a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé přítelkyni, která mě v průběhu mého studia podporovala.

V Praze, dne 01. 04. 2020

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá technologickými možnostmi zpracování čistírenských kalů na základě jejich vlastností s ohledem na finální využití. V této práci jsou vyhodnoceny zranitelné oblasti na území ČR z hlediska aplikace kalů na zemědělskou půdu. Jsou zde řešeny optimalizace a efektivní využití čistírenských kalů především z pohledu obsahu olova v kalech a jeho dopad na životní prostředí s přehledem platné legislativy pro jejich využití.

Klíčová slova: odpad, kal, zahušťování kalu, stabilizace kalu, zákon o odpadech, olovo

Abstract

The bachelor thesis deals with technological possibilities of sewage sludge processing on the basis of their properties with regard to final use. In this work, vulnerable areas in the Czech Republic are evaluated in terms of sludge application to agricultural land. Optimization and effective utilization of sewage sludge are solved here mainly from the point of view of lead content in sludge and its impact on environment with overview of valid legislation for their use.

Keywords: waste, sludge, sludge thickening, sludge stabilization, waste law, lead

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíl Práce.....	10
3. Základní vlastnosti kalů.....	11
4. Typy čistírenských kalů.....	13
4. 1. Primární kal	13
4. 2. Sekundární kal	14
5. Stabilizace a Hygienizace.....	14
5.1 Stabilizace kalu	14
5.1.1. Anaerobní stabilizace	17
5.1.2 Aerobní stabilizace	18
5. 2. Hygienizace kalů	21
5.2.1. Chemické metody.....	22
5.2.2. Fyzikální metody	23
5.2.3 Biotechnické metody.....	25
6. Postupy zpracování čistírenských kalů	26
6.1 Zahušťování kalů	26
6.1.1 Gravitační zahušťování	26
6.1.2 Flotace	27
6.1.3 Lyzační zahušťování.....	27
6.2 Odvodňování kalů.....	27
6.2.1 Přirozené odvodňování.....	29
6.2.2 Strojní odvodňování	30
6.3 Sušení kalů	31
7. Doprava odpadních kalů.....	31
7.1 Potrubní doprava	31
7.2 Přeprava odpadních kalů silničními vozidly.....	32
8. Využití odpadních kalů	33
8.1 Anaerobní stabilizace – zplyňování	33
8.2 Kompostování	33
8.3 Zemědělské využití čistírenských kalů	33
8.4 Termické zpracování čistírenských kalů	35
8.5 Rekultivace	35
9. Stav nakládání s čistírenskými kaly v ČR	37
9.1 Současné možnosti likvidace kalů z ČOV	38
9.2 Vyhodnocení zranitelných oblastí na území ČR.....	40

10. Možnosti biologického snížení obsahu olova v kalech	43
11. Závěr.....	46
12. Literatura.....	47
12.1 Literatura.....	47
12.2 Internetové zdroje.....	47
12.3 Legislativní zdroje.....	50
12.4 Seznam obrázků.....	51
12.5 Seznam tabulek	51
12.6 Seznam použitých zkratk	52

1. Úvod

Abychom mohli zjistit, jak zefektivnit postupy zpracování čistírenských kalů je potřeba nejprve znát veškeré informace o kalech obecně a postupně se dostat konkrétně k jednotlivým problémům řešených při jeho zpracování. Kal sám o sobě je odpad, který je vyprodukovan při čištění odpadních vod jak průmyslových, splaškových nebo komunálních. Podle statistik jsou kaly 2% objemu čištěných vod, přesněji suspenze pevných látek a agregovaných koloidních látek přítomných v odpadních vodách a vzniklých při různých způsobech čištění. Způsob nakládání s kaly je závislý na podmínkách určité lokality, na fyzikálních, chemických a především biologických vlastnostech kalů. (Groda a Vítěz 2008)

Aby se mohli eliminovat nechtěné složky tohoto procesu je kal odváděn do vedlejšího proudu v ČOV. Je dosti zřejmé, že obsahuje nadbytečnou biomasu z biologického procesu čištění. Cílem tedy je eliminovat nežádoucí dopady na životní prostředí. Už na začátku procesu čištění odpadních vod se musí rozdělit užitečné a naopak nepříznivé složky, které se objeví v kalech, a z toho určit jaká technologie se použije. Díky správně určené technologii se dosáhne požadavků na vyčištěnou odpadní vodu.

Využití a zpracování kalů je nutné promyslet s ohledem na životní prostředí. Je potřeba zahrnout i ekonomickou stránku procesu. Zpracování čistírenských kalů je ekonomicky 1,5x náročnější, než proces čištění odpadních vod. Zpracování kalů je zdokonalováno na základě požadavků na životní prostředí s ohledem na legislativu a postoj veřejnosti.

2. Cíl Práce

Cílem práce je zjistit nejlepší možné zpracování čistírenských kalů. Podle zjištěných, dostupných informací z odborných publikací a literatury. Práce vyhodnocuje zranitelné oblasti území ČR, z hlediska aplikace kalů na zemědělskou půdu. Zabývá se optimalizací procesu zpracování čistírenských kalů a především efektivním využitím. Základním zdrojem vlastností kalu je voda. Práce vyhodnocuje rizika přítomných kovů – olova v kalech a jeho dopad na ŽP.

Práce bude postavena na reálných údajích, informacích z odborné literatury a legislativních předpisů zejména v rámci EU a ČR.

3. Základní vlastnosti kalů

Základní vlastností kalu je voda, která určuje jeho objemové množství. Látky v kalech jsou stanoveny jeho sušením při 105 °C, tvoří sušinu jako hmotnostní podíl p_s , v níž nejsou obsaženy látky při uvedené teplotě těkavě, jejich množství je ale zanedbatelné. Část sušiny tvoří látky původně ve vodě rozpuštěné, i včetně koloidních, které při zahušťování a odvodňování kalu zůstávají v kalové vodě nebo filtrátu. Hmotnostní podíl vody v kalu je p_v a je to doplněk k sušině kalu. Platí tedy rovnost $p_s + p_v = 1$. Obsah sušiny i vody v kalu se obvykle vyjadřuje v procentech. (Groda a Vítěz 2008)

Odpadní kal značí směs dvou nebo více odpadních látek. Alespoň jedna z látek musí být přítomna ve skupenství kapalném a musí tím vytvářet souvislou fázi kapalnou. Další z látek musí být přítomna ve skupenství tuhém a musí být rozptýlena v souvislé fázi kapalně.

Kal představuje přibližně 1 – 2 % objemu znečištěných vod, je v nich koncentrováno 50 – 80 % původního znečištění. Tato koncentrace je způsobena především patogenními mikroorganismy a obsahem chemických toxických látek jako jsou AOX, PCB nebo NEL a také těžkých kovů například Cd, Cr, CU, Hg nebo Pb. Druh a počet patogenů závisí na místních, geografických, demografických a klimatických podmínkách. Zdrojem patogenních mikroorganismů jsou exkrementy infikovaných lidí a zvířat. (Groda a Vítěz 2008)

Kaly jsou heterogenní suspenze anorganických a organických látek odsazených z odpadních vod nebo jsou vzniklé při technologických procesech odpadních vod. Jsou také jako zdroj organické hmoty, mohou tak zlepšit fyzikálně chemické i biologické vlastnosti půd.

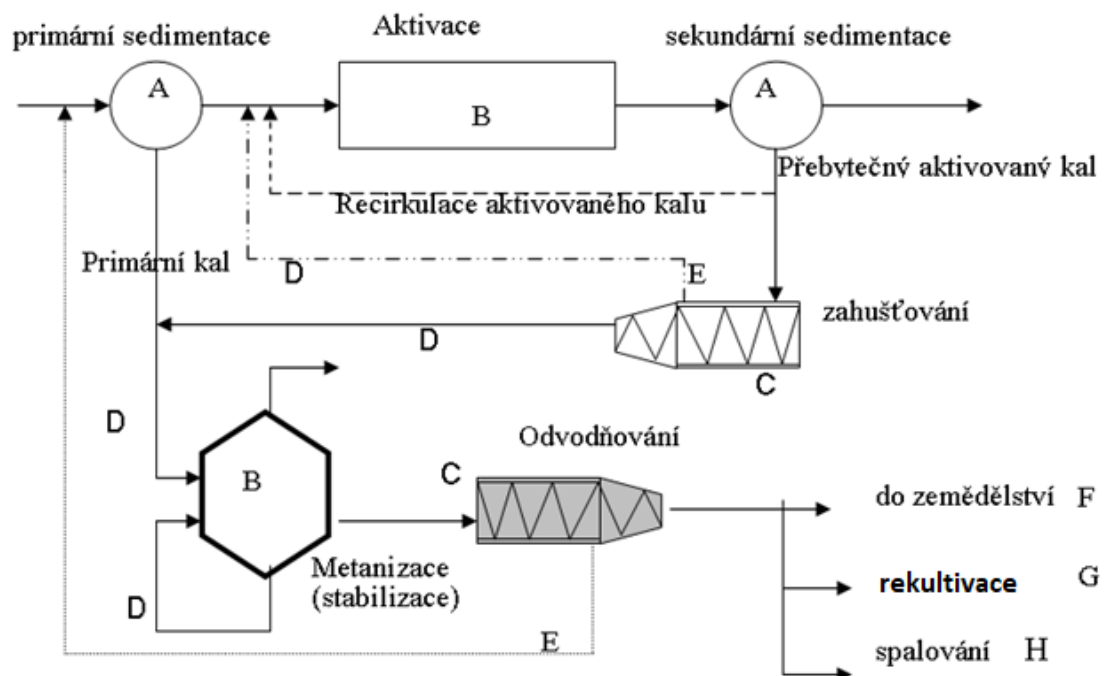
V kalech jsou obsaženy živiny jako dusík a fosfor, zřídka se vyskytuje v kalech i draslík. Reakce kalu jsou spíše neutrální, občas alkalické.

Další vlastností kalu je jeho konzistence, která přesně souvisí s koncentrací složek tuhých v kapalině, jinak je označována jako obsah sušiny. Vazba vody k fázi pevné nemá v tomto objemu stejný charakter. Naproti tomu prostorová voda, kterou lze oddělit gravitační silou (sedimentací) je voda pevně vázaná v kalu, kterou lze vyseparovat použitím většího množství energie (pomocí přírodní tepelné energie). Sušina téměř nikdy nemá více jak 10% a je závislá na charakteru kalových částic. Je tedy jasné, že dva kaly mohou mít zcela úplně jiné konzistence. (Groda a Vítěz 2008)

Čistírenské kaly z městských ČOV průměrně obsahují 0,5 až 7% sušiny, která tvoří 30-40% anorganických látek a zhruba 60-70% organických látek. Kal v tuhé části tvoří zhruba 80% suspendovaných částic o velikosti nad 0,1 mm a asi 20% částic pod 0,1 mm. Složení kalů a průměrná množství se mohou lišit v závislosti na podmínkách. (Groda a Vítěz 2008)

Čistírenské kaly v ČR a jejich produkce úplné sušiny je přibližně 200 000 t/rok a díky domluvám a závazkům by měli být budovány čistírny odpadních vod v obcích nad 2000 obyvatel, přičemž se kalová produkce zvýší na 220 000 až 340 000 tun sušiny za rok. (Groda a Vítěz 2008)

Obrázek 1: Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím (Biom 2020)



4. Typy čistírenských kalů

4. 1. Primární kal

Kal primární je kal, který vzniká v objektech primární sedimentace, to jsou nádrže usazovací. Zpravidla má strukturu zrnitou a je vytvořený nerozpuštěnými látkami, které prošly lapáky písku a česlemi. V primárním kalu jsou obsaženy látky organické a jsou velice dobře a rychle rozložitelné. Kalové množství závisí především na množství nerozpuštěných látek přitékajících do ČOV a na účinnosti sedimentace hlavně primární. (Pytl 2004)

Tabulka 1: Celkové koncentrace těžkých kovů v čistírenských kalech (Tytla 2019)

Kov	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	mg.kg ⁻¹						
CD	2,7 ± 0,1	1,8 ± 0,2	3,0 ± 0,2	3,1 ± 0,4	2,3 ± 0,1	4,0 ± 0,2	4,1 ± 0,8
Cr	57,3 ± 8,7	34,9 ± 3,7	54,8 ± 6,0	62,7 ± 5,9	53,4 ± 16,5	68,3 ± 2,4	67,1 ± 8,8
Cu	123,6 ± 13,1	104,1 ± 20,2	138,3 ± 11,4	143,0 ± 26,2	117,7 ± 2,4	188,9 ± 12,5	194,0 ± 45,0
Ni	55,0 ± 21,1	51,2 ± 18,8	62,0 ± 14,8	64,1 ± 22,0	58,7 ± 22,7	98,1 ± 21,0	95,2 ± 20,2
Pb	123,5 ± 1,3	97,6 ± 5,6	137,7 ± 12,8	141,0 ± 13,6	123,7 ± 6,7	189,2 ± 6,2	187,8 ± 20,4
Zn	1429,5 ± 41,8	1092,2 ± 63,3	1641,0 ± 41,4	1558,1 ± 87,0	1407,8 ± 80,4	1847,1 ± 30,2	1851,6 ± 53,2
Hg	1,0 ± 2,8	0,3 ± 1,3	0,7 ± 1,6	0,5 ± 4,0	1,0 ± 3,5	1,1 ± 3,7	1,0 ± 1,3
Součet	1792,6	1382,1	2037,5	1972,5	1764,6	2396,7	2400,8

Výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka v mg.kg⁻¹ sušiny.

V čistírenských kalech viz. tabulka výše jsou uvedeny hodnoty těžkých kovů. Kal v různých fázích zpracování vykazoval vyšší koncentrace vázaných na imobilní frakce S3 a S4 ve srovnání s imobilními S1 a S2. U imobilních frakcí byla zjištěna přítomnost olova s procentuálním podílem v rozmezí 92,7%(S2) až 99,5%(S7). Hodnoty Geoakumulace odhalily, že kaly z čistíren odpadních vod byly silně kontaminované, nicméně olovo představovalo nejmenší zatížení. (Tytla 2019)

4. 2. Sekundární kal

Kal sekundární vzniká v dosazovacích nádržích a je oddělen v biologickém stupni čištění. Kalová produkce je závislá na množství fyzikálních a biochemických faktorů a na technologické konfiguraci čistírenské linky. Musíme rozlišovat: teplotu vody, stáří kalu, účinnost dosazovací nádrže, a hlavně přítomnost primární sedimentace.

Část sekundárního kalu je vrácena zpět k dalšímu biologickému čištění. (Pytl 2004)

5. Stabilizace a hygienizace

5.1 Stabilizace kalu

Stabilizace je proces, který biologickou rozložitelnost kalů snižuje, dále také množství mikroorganismů v něm obsažených a pachové stopy. Kal, který nebyl stabilizovaný, vnímáme jako nebezpečný odpad. Stabilizace je v podstatě destrukce jeho mikrobiální organické složky. (Vesilind 2003)

Nejrozšířenější metody stabilizace jsou anaerobní a aerobní stabilizace. Před samotnou stabilizací čistírenských kalů, musíme provést výběr dané metody, která závisí použité technologie čistírny odpadních vod a na velikosti ČOV. Kaly, které jsou stabilizovány, můžeme posuzovat podle kritérií. Na přímé neboli globální, kde posuzujeme toxicitu, infekčnost, zápach. Dále nepřímé kritérium charakterizující obsah organických látek – ztráta žíháním (ZŽ), množství odstranění organických látek jako jsou TOC, CHSK, BSK₅, respirační rychlost, další produkce bioplynu, ATP, enzymové aktivity, mikrobiologie. (Chmielewská 2004)

Typickou metodou pro určování stabilizace kalů, která určuje obsah organických látek včetně obsahu látek těkavých je vhodné využití CHSK. Podobná metoda je stanovení organického uhlíku v mokré suspenzi kalu TOC.

Kvalita a množství látek organických v čistírenských kálech, je nejdůležitější faktor pro jeho posouzení a je na něj závislé jeho chování a fyzikální vlastnosti. Využitá kritérium pro charakteristiku stabilizace kalu jsou do určité míry měřítkem kvalit a množství přítomných organických látek v kálech. Rozdílné kritéria jsou převážně schopnosti a složitosti ustanovení. Příkladem je třeba BSK₅, což je další produkcí bioplynu, přičemž metody mikrobiologické jsou dost časově náročné. (Chmielewská 2004)

Ve vodách znečištěných kal představuje zhruba 1 – 2% objemu, přičemž koncentrace původního znečištění je 50 – 80%. To je zapříčiněno toxickými látkami a patogenními organismy, a hlavně obsahem těžkých kovů (Zn, Pb, Hg, Cu atd.) Množství patogenů je ovlivněno geografickým, klimatickým a demografickým faktorem. Nevýhodou stabilizace jsou však investiční náklady, vysoké provozní náklady a zvýšené nároky na řízení provozu. (Vesilind 2003)

Kontaminování půd těžkými kovy je bráno jako celosvětový problém. Těžké kovy v půdě vysoce ovlivňují zdraví půd a ŽP, s čímž je spojena výsledná kvalita potravin. Existuje jedna technologie s názvem in-situ stabilizace těžkých kovů aplikována v půdě ukazující pozitivní změny na snížení těžkých kovů. Z ekonomického hlediska je tato technika levnější může poskytovat dlouhodobé nápravy. (Choi a kol. 2009)

Technologie in-situ je vytvořena na redukci těžkých kovů, jejich mobility a dostupnosti, za pomoci srážení nebo zvyšování sorpce. Využitím různých změn půd se snižuje rozpustnost kontaminantů a tím se eliminují škodlivé účinky těžkých kovů na dané receptory prostředí, což jsou rostliny, zvířata nebo mikroorganismy. Bylo testováno mnoho změn stabilizace těžkých kovů in-situ v půdách, včetně zemědělských produktů jako je vápno, fosfát, organické látky nebo červené bahno. Příkladem je použití červeného bahna a strusky z pecí. Red – bahno se je vyrobeno při těžbě aluminy z bauxitu. Tento materiál byl zkoumán a bylo prokázáno snížení extrahovatelnosti kovů, zejména množství olova bylo sníženo za pomoci zpracování strusky. Olovo dostupné v lidských gastrointestinálních systémech v použitých půdách bylo odhadnuto jako fyziologicky modifikovaná úprava. Postupy jsou založené na extrakčních testech – PBET. (Choi a kol. 2009)

Tabulka 2: Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a celkové koncentrace kovů v půdách a změny použité v tomto experimentu. (Choi a kol. 2009)

Parametr	Půda	Vápenec	Červené-bahno	Pecní struska
pH ^b	5,7	8,91	11,32	10,57
Hlína ^c	15,2	-	-	-
Bahno	26,8	-	-	-
Písek	58,1	-	-	-
CEC ^d	11,8	-	-	-
Celkový uhlík (%)	2,6	-	-	-
Celkový dusík (%)	0,02	-	-	-
Cd (mg.kg ⁻¹)	10,7	1,2	2,1	1,7
Cu (mg.kg ⁻¹)	47,1	23,3	6,8	10,7
Pb (mg.kg⁻¹)	1252	20,9	78,2	60,6
Zn (mg.kg ⁻¹)	530	521	60,6	41,6
Fe oxidy ^f	-	2,52	23,1	18,6
Al oxidy	-	2,4	5,3	3,8

^a Průměrné hodnoty a standardní odchylky tří replikátů.

^b Hodnota pH půdy měřená v poměru půdy k H₂O jako 1: 5 (hmotnost: objem)

^c Velikost partie (%) byla analyzována pipetovací metodou.

^d Kapacita kationtové výměny (cmol k⁻¹).

^e Koncentrace extrahovatelného kovu Aqua regia.

^f Oxidy Fe, Al byly analyzovány metodou extrakce citrátem a Na-dithionitem.

^g "-" znamená neurčeno

Olovo i přes efektivní proces stabilizace in-situ vykazuje nejvyšších hodnot.

5.1.1. Anaerobní stabilizace

Stabilizace anaerobní je v podstatě proces, který postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu za pomoci směsných kultur mikroorganismů bez přístupu vzduchu. Je využívána pro větší ČOV, které jsou o velikosti minimálně 50 000 EO z důvodů ekonomických. V jiných literaturách je tento proces nazýván metanizací nebo vyhníváním. Tyto způsoby stabilizací kalů jsou převážně kombinovány s primárními usazovacími nádržemi. (Vesilind 2003)

V praxi jsou převážně používány procesy mezofilní i termofilní s provozními teplotami od 30 - 55°C. Anaerobní stabilizací je produkován bioplyn, ten se zpracuje v kogenerační jednotce vyrábějící teplo a elektrickou energii. Technologie anaerobní stabilizace jsou funkčními více jak sto let a jsou často tyto procesy zdokonalovány. Hlavní prioritou anaerobní stabilizace je snížení nákladů na čistírenské kaly, hygienizace, snížení obsahu organických látek a zmenšení množství kalů. (Vesilind 2003)

Anaerobní stabilizace je nejběžnější způsob. Jedná se tedy o stabilizaci, která je prováděna v metanizační – vyhnívací nádrži. Nádrže jsou vodotěsné současně však i plynotěsné. Mají válcovitý tvar s kuželovitým dnem a střechou. Z pohledu hydrauliky, se navrhuje hlavně tedy kvůli míchání s větším výškovým rozměrem. Použitý materiál nádrží je železobeton a jsou vyhřívány. (Hlavínek a kol. 2003)

Při použití čistírenských kalů z ČOV k hnojení půdy je nejdůležitější splnění parametrů, nejdůležitější je však odstranění těžkých kovů. V této práci se zaměříme na olovo. Dle vyhlášky č. 437/2016 Sb. jsou pro aplikaci na zemědělskou půdu mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvku v kalech pro jejich použití.

Tabulka 3: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a v prvků v kalech pro jejich použití na zemědělskou půdu (vyhláška č. 437/2016 Sb.)

Riziková látka	Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg/kg sušiny)
As – arzen	30
Cd - kadmium	5
Cr - chrom	200
Cu – měď	500
Hg - rtuť	4
Ni - nikl	100
Pb - olovo	200
Zn - zinek	2500
AOX	500
PCB (suma 6 kongenerů 28+52+101+138+153+180)	0,6

V tabulce uvedené výše je uvedena mezní hodnota koncentrací v čistírenských kalech, kterou by nemělo olovo i ostatní těžké kovy přesahovat, aby bylo možné čistírenský kal dále využít např. na zemědělskou půdu.

5.1.2 Aerobní stabilizace

Stabilizace aerobní je proces, při kterém za pomoci mikroorganismů lze rozložit organické látky v čistírenském kalu za přítomnosti vzduchu. Organické hmoty jsou za pomoci oxidačního procesu rozloženy na CO₂ a H₂O. Tato stabilizace je především využita pro nízkozátěžovou aktivační nádrž, běžně u malých ČOV. (Slavíček a Slavíčková 2006)

Aerobní proces velmi dlouho dobu zadržuje odpadní vodu v aktivační nádrži, kde jsou odchyceny nebezpečné, nerozpustitelné látky. Při tomto způsobu stabilizace není produkována energie, nýbrž musíme energii průběžně dodat, abychom zajistili pohon dmýchadel. Proces je využíván pro ČOV do 30 000 EO. (Hartig 2017)

Stabilizace aerobní je také často využívání z důvodu jednoduchého provozu a malých investičních nákladů. Napříč tomu jsou vysoké náklady provozní, kvůli vysoké spotřebě elektrické energie. Nevýhodou je, že aerobně zpracovaný kal dosahuje nízkých hodnot BSK₅ a také vyšší koncentraci nerozpustných látek. Z těchto důvodů je také spíše využívána termofilní aerobní stabilizace. (Hartig 2017)

Aerobní zpracování je využito zejména v menších čistírnách s ohledem na vynaložené náklady. Při tomto procesu jsou vyřešeny jak čištěné objemy, tak i pořizovací náklady a zároveň plní i hygienizaci kalů v požadované kvalitě.

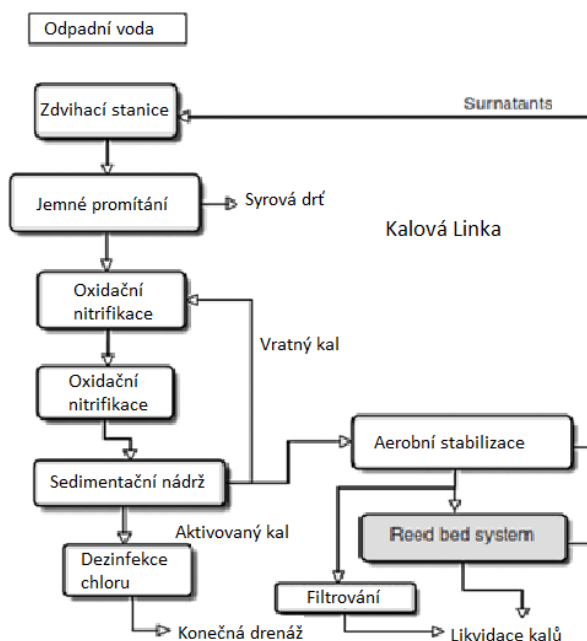
Tabulka 4: Koncentrace kovů ve výhoncích *P. australis* po 12 měsících. Prostředky pěti replik se standardní odchylkou pro čistírnu odpadních vod Oratoio. Průměr z jedenácti replik se standardní odchylkou pro čistírnu odpadních vod La Fontina. Prostředky tří replik se standardní odchylkou pro rostliny pěstované v půdě (Ceccanti a kol. 2009)

Shoots (12 months)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
<i>Oratoio</i>	1.25 ± 0.50	21 ± 9.00	57 ± 5.00	nd	11 ± 2.35	135 ± 34.35
<i>La Fontina</i>	2.25 ± 0.58	12 ± 2.10	46 ± 7.97	nd	11 ± 2.84	75 ± 21.06
<i>Plant grown on soil</i>	0.51 ± 0.20	7 ± 2.10	nd	nd	nd	20 ± 4.01

V tabulce jsou znázorněny hodnoty koncentrace těžkých kovů ve výhoncích po 1 roce. Bylo využito 5 těžkých kovů v ČOV. Těžké kovy byly stanoveny jako možnost vyhodnocení využití čistírenských kalů a rostlin při přípravách kompostů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty výsledků olova, které po aerobní stabilizaci dosahují nejnižších hodnot společně s hodnoty chromu mg/kg sušiny. Výsledkem použité správných konzistencí CO₂ a H₂O, abychom snížili zatížení těžkými kovy. Olovo společně s chromem vykazuje aerobní stabilizaci nejnižších hodnot. (Ceccanti a kol. 2009)

Obrázek 2: Schéma aerobního zpracování (Ceccanti a kol. 2009)

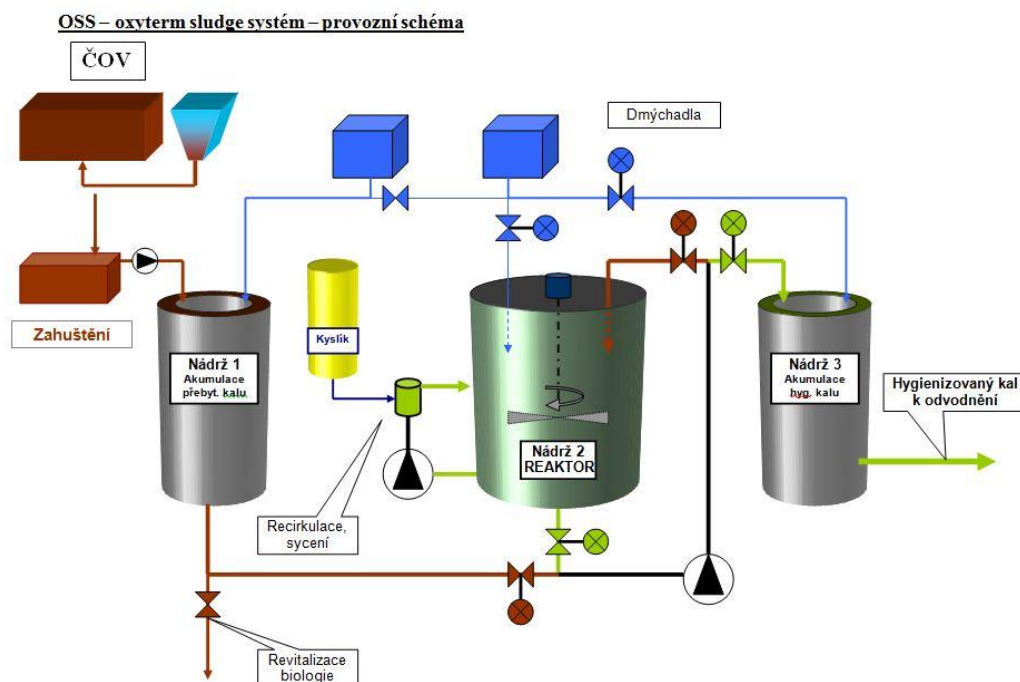
E. Peruzzi et al. / Desalination 247 (2009) 111–120



Je důležité vědět, že stabilizace a hygienizace kalů jsou procesy, které mohou probíhat společně – simultánně. Příkladem je aerobní termofilní autotermní stabilizací ATAS, což je stabilizace a hygienizace kalů čistým kyslíkem. Tato technologie dosáhla prvních výsledků v roce 2002. Je to moderní, automaticky řízené kalové koncovky, které měli být původně použity pro čistírky odpadních vod s kapacitami od 3000 – 35000 EO. (Foller 2017)

Kromě rad technologické operace úpravy kalu obsahují i autotermní termofilní aerobní reaktory, které jejich činností dosahují teploty 55 až 62°C. Jsou vyhřívány biologicky za pomoci oxidace jejich části stabilizovaných biomas čistým kyslíkem. Tento proces řešení je chráněn značkou OSS – oxyterm sludge sytem. Technologie má eliminované nedostatky oproti aeraci vzduchem, Tato technologie slouží jako podklad již v sedmi čistírkách odpadních vod v České republice. Použitá technologie je v Tetčicích od roku 2016 s 18000 EO, v Mikulově od roku 2009 s 25000 EO, v Brandýse nad Labem od roku 2009 s 20000 EO, v Moravské Třebové v Linharticích od roku 2011 s 20070 EO, v Bílovicích nad Svitavou od roku 2012 se 7750 EO, ve Velkých Opatovicích od roku 2012 s 5266 EO a poslední Veverská Bítýška od roku 2012 se 6000 EO. (Foller 2017)

Obrázek č. 3: Schéma technologie OSS (Foller 2017)



Náklady spojené s touto technologií jsou ekonomicky přijatelné, nejvíce diskutované jsou ceny dodávky kyslíku, které se pohybují 2,6 Kč/kg. Celkové náklady celého procesu jsou srovnatelné jako u ostatních technologií.

5. 2. Hygienizace kalů

Čistírenský kal musí být zbavený škodlivých a nebezpečných látek. Kal musí projít biologickou, chemickou, popřípadě tepelnou úpravou, načež se po těchto procesech může konstatovat jako kal upravený. Je důležité snížit obsah patogenních organismů a také toxicitu neboli eliminaci těžkých kovů z čistírenských kalů tím eliminujeme zdravotní rizika.

Po procesu hygienizace můžou být kaly využity-aplikovány na zemědělskou půdu. Vápnění (kalcinace) je jednou z možností metod hygienizace. Tento proces probíhá za pomoci aplikace páleného vápna CaO do čistírenského kalu, a to před i po jeho odplavení. Při této aplikaci CaO vniká hydroxid vápenatý. Při kalcinaci jsou hodnoty pH 12 a teploty dosahují přes 50°C. Výhodou je výsledek eliminace salmonel, velký nárůst sušiny a vhodnost aplikace kalu na zemědělskou půdu. (Groda a Vítěz 2008)

5.2.1. Chemické metody

Nejčastější metodou je kalcinace. Při aplikaci této metody dojde k hygienizaci za působení vysoké teploty a hodnot pH. Použití hašeného vápna dojde pouze ke změně hodnoty pH.

Hygienizace kalu vápnem je zatím nejlepší způsob promícháním čistírenského kalu a vápna. V celém objemu poté dosáhneme potřebnou koncentraci. Rozlišujeme různá technologická řešení jako práškové váno, pálené nebo hašené s vápenným mlékem. Je nutné řešit otázku vápenného hospodářství, jako je míchání vápna a čistírenských kalů, uskladnění nebo zachycení a zneškodnění vzniklých emisí amoniaku. (Groda a Vítěz 2008)

V tabulce uvedené níže jsou uvedeny výsledky fyzikálně-chemické analýzy čistírenských kalů. Obsahující složky hnojiv, kde byl zapnut dusík, vápník fosfor a hořčík jsou uvedeny průměrné úrovně charakterizující čistírenský kal. Obsahy těžkých kovů byly nízké, přičemž je tímto výsledkem použití čistírenských kalů na zemědělskou půdu s ohledem na chemické složení. Při výzkumném cyklu, který trval 28 dní. Došlo ke zvýšení suché hmotnosti samotného kalu a následnému snížení organických látek. (Ligočka a kol. 2013)

Tabulka 5: Výsledky fyzikálně-chemických analýz čistírenských kalů
(Ligočka a kol. 2013)

Studied parameter	Times of sampling (days)				
	0	7	14	21	28
pH	6.48	6.45	6.55	6.42	6.57
Dry matter (%)	n.s.	34.5	43.6	49.7	52.7
Organic substance (% D.M.)	68.27	68.27	67.63	66.99	67.30
Total nitrogen (% D.M.)	1.67	1.60	1.40	1.29	1.20
Ammonium nitrogen (% D.M.)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.12
Total phosphorus (% D.M.)	0.422	0.422	0.420	0.423	0.419
Calcium (% D.M.)	1.379	1.379	1.389	1.378	1.379
Magnesium (% D.M.)	0.383	0.384	0.382	0.381	0.383
Lead (mg/kg D.M.)	31.50	31.49	31.49	31.50	31.50
Cadmium (mg/kg D.M.)	2.56	2.56	2.58	2.57	2.56
Mercury (mg/kg D.M.)	0	0	0	0	0
Nickel (mg/kg D.M.)	22.90	22.89	22.90	22.91	22.91
Zinc (mg/kg D.M.)	1,207.6	1,207.6	1,207.7	1,207.7	1,207.7
Copper (mg/kg D.M.)	203.60	203.60	203.60	203.60	203.60
Chromium (mg/kg D.M.)	79.10	79.10	79.09	79.08	79.10

D.M. – dry matter; n.s. – not studied

5.2.2. Fyzikální metody

Máme 3 metody fyzikální hygienizace. První je termická předúprava tekutého kalu.

Za pomoci této metodě je využit neodvodněný kal s obsahující sušinou 5-6%. V případě, že obsah je menší, než 2,5 % nastává zahušťování kalu. V první fázi kal vstupuje do výměníku, kde se ohřeje a následně vstoupí do aerotermního reaktoru, zde proběhne rozkládání exotermní reakcí. V reaktoru jsou kaly zahřívány na 60-65°C, za přísunu teplých vod, které proudí do topných plášťů reaktoru buď z plynné kotelny, nebo kogeneračních jednotek. Ohřátý kal proudí přes výměník, zde dojde k ochlazení kalu, dále do vyhnívacích nádrží k finální stabilizaci. Vzduch, který vznikne při této fázi, je zbaven nepříjemného zápachu v pachových filtrech.

V aerobní fázi je odbouráno zhruba 5-10% organických hmot. Zbylé hmoty organické jsou ve vyhnívacích nádržích, ze kterých se získává bioplyn, pro energetické využití. (Gao a kol. 2011)

Druhá metoda je pasterizace kalu. Z kalu jsou odstraněny patogenní mikroorganismy, jestliže parametr této fáze hygienizace jsou-li výsledky rovné nebo vyšší, než je minimální požadavek na danou hodnotu.

Kal se při této fázi zahřívá krátkou dobu o teplotě 70°C, přičemž je zajištěna vysoká úmrtnost patogenních mikroorganismů. Tento proces musí být kombinovaný s následující stabilizací kalu, převážně anaerobní stabilizací ve vyhnívacích nádržích. Z důvodu, že oslabený patogen ve snížených počtech, nemohou tedy získat substrát s anaerobní biomasou ve vyhnívací nádrži a následně odumřou. Jednou z výhod tohoto procesu je zlepšení stabilizace kalu a odvodňovací vlastnost. První aplikace pasterizace v ČR proběhlo v ČOV Třebíč, Blansko, Moravských Budějovicích a v Tišnově. (Zábranská 2017)

Proces pasterizace má 3 fáze:

- 1) Rekuperační výměník (kal/kal)
- 2) Pasterizační výměník (voda/kal)
- 3) Pasterizační nádrže

Výhody pasterizace kalů:

- 1) Dojde k hygienizaci kalu, zároveň je provedena příprava na produkci bioplynu a zahušťování
- 2) Díky rekuperaci tepla je spotřeba vnější energie nižší, a při produkování bioplynu jsou hodnoty ještě sníženy
- 3) Proces není prostorově náročný
- 4) Zařízení pružně reaguje na změnu zpracovaných objemů

Třetí metodou je sušení kalu. Tento proces trvá zhruba 10 minut při teplotě kalových částic 80°C, přičemž množství vod při sušení nesmí být vyšší, než 10%. Vysušené kaly jsou ve formách granulí (pelet) zbaveny prachové částice a to z důvodu bezpečnostních, skladovacích a jednoduché manipulace. Mikroorganismy za sušených kalů se nesmí dostávat do ovzduší, a proto by měl být systém sušárny uzavřen. Prachová částice jsou menší, než 0,5 mm a celkové množství je maximálně do 1%. (Pinarli a kol. 2006)

5.2.3 Biotechnické metody

Biotechnické metody jsou metody stabilizace kalu s určitým hygienickým účinkem. Kritéria hygienizace kalu závisí na podmínce stabilizace kalu.

Dlouhodobé skladování kalu v tekutém stavu

Při skladování postupně dochází k poklesům objemu organických kalů za přítomnosti mikroorganismů. Při snižování organického podílu se zároveň snižuje počet virů a bakterií. Efekt tohoto procesu je odvislý od doby skladování a teplotní podmínky. V nízkých teplotách je účinnost mikroorganismů nižší a není dosaženo požadovaného výsledku.

Aerobní stabilizace kalu

Tento proces je prováděn při okolních teplotách. Kaly jsou provzdušňovány, ve fázi aerace dojde k postupným poklesům objemu organických kalů za přítomnosti aerobních mikroorganismů. Při tomto procesu nedojde k odběrům nebo přidáním dalších kalů. Aerobní stabilizace dosahuje požadovaného efektu, přičemž nedochází ke snižování množství patogenního organismu. (Slavíček a Slavíčková 2006)

Termofilní aerobní stabilizace

Termofilní aerobní stabilizace trvá 2 hodiny při teplotě 55°C. Opět zde působí patogenní mikroorganismy, které pomáhají snižovat lehce rozložitelné látky. Při procesu vzniká teplo, které je schopné směs ohřívat, až do 70°C a díky tomu dosahuje tato metoda maximální účinnosti usmrcení patogenů. Metoda je využívána především pro čistírenské kaly s vyššími koncentrací organické látky, aby bylo dosaženo maximálního efektu usmrcení patogenů a tím byl dosažen max. hygienický účinek. (Ahring a kol. 2003)

Mezofilní anaerobní stabilizace

Mezofilní stabilizace je trochu odlišnější, jejíž proces trvá zhruba 15 dní a to při teplotě 35°C při anaerobních podmínkách. Jsou zde využity dva procesy, kde v prvním stupni je kal rozmícháván a zahříván s odběry bioplynu. Druhý proces se není potřeba vyhřívání a zakrývání, přičemž výsledek kalu je stabilizovaný, ale není dosaženo požadované snížení patogenních mikroorganismů. (Ahring a kol. 2003)

6. Postupy zpracování čistírenských kalů

6.1 Zahušťování kalů

Zahušťování je schopnost zvýšení koncentrace tuhých částic 2-3x. Je prováděno buď filtrací, gravitačním zahušťováním nebo procesem centrifugace. Je často používané k redukování hydraulickým zatížením na kalová hospodářství. V tomto procesu musí být objemové množství sníženo. Část objemu vody se odstraňuje z kalové suspenze, přičemž dojde ke zvýšení obsahu částic tuhých. Zahuštění biologických kalů může být v rozmezí 3 až 6%, kaly primární mohou být zahuštěny až 6 až 8% sušiny. (Hlavínek a kol. 2003)

Provozní náklady jsou podstatně nižší, přičemž ceny kalového ohřevu jsou úměrné objemu kalu, který je zahříván na provozní teploty. Tento proces má výraznou část na snížení investic pro další procesy. (Hlavínek a kol. 2003)

V zahušťování dle výzkumu mělo nejnižší dopad olovo (v mechanickém procesu podporovaný přidáváním kondicionéru, měl nejnižší dopad na úroveň ekologického rizika spojeného s přítomností těžkých kovů.

6.1.1 Gravitační zahušťování

Gravitační zahušťování je postaveno na rozdílných specifických hmotnostech vody a kalových částicích. Jsou použity 2 postupy, buď zahušťování v procesu, nebo oddělené zahušťování. Zahušťovací proces probíhá v usazovacích nádržích, hlavně primárních kalů. Časté je využití pro zahušťování kalů z čištění biologického s biomasou ve vznosu, přičemž je účinnost pro kaly poměrně mizivá.

Nádrž mají převážně kruhový tvar s přívodem suspenzí do jejich středu, zahušťovaný kal je odtahován z jejich dna a voda kalová je zpět vrácena před usazovací nádrže. Při zahušťování je nutno porovnat investice oproti efektu, který bude mít návaznost na čistící proces. Proto je gravitační zahušťování vhodnější, zda je navrženo na splnění potřebných koncentrací, abychom mohli kal aplikovat na zemědělskou půdu. Je důležité brát v úvahu vlastnost kalu tak i technické zázemí ČOV. Hodnoty sušiny by se měli pohybovat mezi 3,5 – 4,5%. (Groda a Vítěz 2008)

Hodnoty dle analýzy gravitačního zahušťování ukazují, že při ohledu na chemické formy těžkých kovů mohou být v určitých hodnotách nebezpečné, jako jsou Cd, Ni a Hg. Naproti tomu Pb splňuje hodnoty, které nejsou škodlivé pro životní prostředí (Tytla 2019)

6.1.2 Flotace

Je to proces, kde dochází k oddělení suspendovaných částic z vod za pomoci plynů.

Způsob, kde dochází k rozřídění jemného organického materiálu, s různým složením ve vzduchu nebo ve vodě. Třídění je založeno na rozdílných hodnotách smáčitelnosti povrchu jednotlivých materiálů. V kalových suspenzích je postupně přidán plyn, běžně se používá vzduch, díky kterému se vytvoří mikrobublinky. Na ně se nabalují kalové částice a jsou přeneseny na hladinu, kde vytvoří plovací vrstvu neboli float, který je poté vyjímán z hladiny. Flotace je buď tlaková, která je nejčastěji využita nebo volná. (Hlavínek a kol. 2003)

6.1.3 Lyzační zahušťování

V této technologii se využívá buněčný lyzát za pomoci modifikace odstředivky pro zahuštění přebytečného aktivovaného kalu. Buněčný lyzát je volný obsah buněk mikroorganismů, má za následek desintegraci neboli rozrušení buněčné stěny a membrány. Tento proces probíhá standartní cestou (autolýza) u většiny odumřelých buněk a také při použití hydrolytického enzymu uvolněného do roztoku za pomoci fermentační bakterie popřípadě destrukce. V ČOV je tedy hlavním cílem desintegrovat buňky mikroorganismů obsažených v aktivovaných kalcích. Velkou nevýhodou je hlučnost procesu, počáteční investice a velké množství spotřebované energie (Hlavínek a kol. 2003)

6.2 Odvodňování kalů

Odvodnění je součástí celého procesu zpracování, výsledkem je využití nebo likvidace kalu. Při odvodnění dojde ke zmenšování objemu kalu a tím se zmenší nároky na dopravu a zpracovatelskou technologii, proto má tento proces svou ekonomickou výhodu. Důležitým požadavkem je pro odvodnění je mít dosažené množství organických látek. V kalových vodách je vždy přítomnost těžkých kovů, které musí být eliminovány do určitých hodnot toho procesu. (Kutil a Dohányos 2005)

Po zpracování kalu lze aplikovat na zemědělskou půdu a kde obsah sušiny je 20 – 50%. Je důležité analyzovat nejen celkové koncentrace, ale také obsahy jednotlivých těžkých kovů.

Dle vykázaných hodnot výzkumu tabulky ukazují, že přítomnost olova je v porovnání s ostatními těžkými kovy v daných mezích, ale výsledkem je zatížení při aplikaci na zemědělskou půdu v porovnání s ostatními těžkými kovy mají podobné hodnoty. (Kutil a Dohányos 2005)

Tabulka 6: Znázorňuje korelační koeficienty mezi těžkými kovy v čistírenských kalech (Tytla 2019)

Pearsonovy korelační koeficienty mezi těžkými kovy v čistírenských kalech							
	CD	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
CD	1000						
Cr	0,9098	1000					
Cu	0,9823	0,843	1000				
Ni	0,9287	0,7703	0,978	1000			
Pb	0,9825	0,8811	0,9925	0,9752	1000		
Zn	0,9716	0,9245	0,9359	0,8767	0,9579	1000	
Hg	0,5109	0,664	0,4734	0,4937	0,5534	0,594	1000
Tučné - Významné korelace při $p < 0,05$							

6.2.1 Přirozené odvodňování

Kalové pole je označení pro mělkou nádrž s betonovým dnem, které je pokryto vrstvou štěrkopísku. V těchto vrstvách jsou zabudované drenážní odvody, které odvádějí vodu z kalu. Do nádrže se musí vypouštět stabilizovaný kal ve vrstvách 20 – 40 cm, který je odvodněn za pomoci vsakování vod do drenážních vrstev, nebo výparem. Ve finální fázi je kal odebrán za pomoci nakladače a transportován za účelem posledního zpracování. Přirozené odvodňování je časově náročné, jsou zde rozhodující i klimatické podmínky, prvotní investiční náklady a zejména tento systém zabírá velkou část zastavěné plochy. (Chriaštel a Dzianik 2011)

Kalové laguny dno je přírodní bez jednotlivých drenážních vrstev. Obvod laguny je zejména zemní, které jsou zpevněny kamenivem, dlažbou nebo dnes velmi používaným panelem. Jsou rozdělené na dvě jednotky, které pracují jednotlivě. Jejich střední hráz bývá rozdělena betonovými stěnami. Voda odsazená vypouští z každé laguny jednotlivě a přepady se regulují. Vodní hladina je vždy nejvyšší, aby se udržel maximální prostor pro zahuštění, plní tedy funkci jak zahušťování, tak i odvodňování. (Chriaštel a Dzianik 2011)

Tabulka 7: Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou (vyhláška č. 437/2016 Sb.)

Tabulka: Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou v mg.kg-1 sušiny v půdě													
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Be	Co	V	PCB	PAU
Běžné půdy	20	0,5	90	60	0,3	50	60	120	2	30	130	0,02	1
Lehké půdy	15	0,4	55	45	0,3	45	55	105	1,5	20	120	0,02	1

Z tabulky lze vyčíst, že i přes proces odvodňování jsou hodnoty olova stále po hranici mezních hodnot, čistírenské kaly jsou tedy nezávadné.

6.2.2 Strojní odvodňování

Tento proces je efektivnější a rychlejší, než klasické odvodňování. Provádí se pomocí technologie jako dekantální odstředivky, tlakovými nebo vakuovými filtry nebo lisy různých konstrukcí. (Chriaštel a Dzianik 2011)

V této kapitole jsem se zaměřil na odvodnění pomocí vakua. Respektive Buchnerův filtrační proces při vakuovém tlaku 0,5 baru bylo vyhodnoceno po 100 ml během nastaveného času 5 minut. Hodnoty těžkých kovů Cr, Cu Ni, Zn, Cd a Pb byly změřeny ICPOES. Před kompletní analýzou byly provedeny metody mikrovlnného ničení. (Baeyens a kol. 2006)

Tabulka 8: Vývoj a koncentrace těžkých kovů v kalovém koláči po odvodnění pro neupravený kal a kal podrobený Fentonově peroxidaci (Baeyens a kol. 2006)

	Blanc	Acid thermal hydrolysis	Alkaline thermal hydrolysis
Cd	2,05	0,83	2,17
Cr	25,5	15,4	14,7
Cu	183	189	45
Hg	1,56	1,67	1,63
Pb	158	148	57
Ni	12,7	2,1	13,2
Zn	2144	370	1712

(koncentrace jsou vyjádřeny v mg/kg DS)

V tabulce jsou uvedeny výsledky po provedených testech pomocí vakua, přičemž výsledky odvodnění kalu těžkých kovů kde hodnoty vykazují, že díky této metodě olovo dosahuje nižších hodnot, než jsou mezní hodnoty koncentrace těžkých kovů v kalech dle vyhlášky č. 437/2016 Sb. Nicméně neexistuje přesný postup na snížení na minimum přítomného olova v kalech.

6.3 Sušení kalů

Získáním koncentrace těžkých kovů se Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn je nutná příprava vzorku, která začíná u sušení a trvá 48 hodin při pokojové teplotě na vzduchu a poté do konstantní hmotnosti při 105 Celsia. Dle tabulky celkových koncentrací při tomto procesu má Pb s Ni nejvyšší hodnoty, a proto je nutné postupně upravovat proces sušení kalů. (Tytla 2019)

Tabulka 9: Meze detekce těžkých kovů – Nejvyšší hodnoty obsahuje olovo a nikl

Meze detekce (LOD) mg.kg ⁻¹						
Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
0,4	0,4	0,4	0,1	0,8	0,8	4,2

7. Doprava odpadních kalů

7.1 Potrubní doprava

K potrubní dopravě se využívají různá kalová čerpadla. Tyto čerpadla jsou sestaveny tak, aby zajistili dostatečnou rychlost přemístování této polotekuté látky – čistírenské kaly. Čerpadla jsou vyrobena tak, aby odolávaly kalovým částicím, které by je mohli poškodit. Kaly mohou mít mnohdy lepivý účinek, přičemž vzniklý nános kalů by zapříčinil ucpání potrubí a zvýšení měrné energie využitě k přepravě.

Dodavatel kalových čerpadel v ČR je Sigma s.r.o. Proto výběr čerpadel pro dopravu kalů se ubírá dvěma směry. Kaly s menším obsahem tuhých fází lze využít čerpadla pro dopravu vod. Na dopravu zásaditých nebo kyselých kalů se používají speciální čerpadla, které jsou určené pro mechanické obrušování. Příkladem je ponorné kalové čerpadlo 150 – AFHU.

Obrázek 4: Technické údaje čerpadla (Zdroj – ANZDOG 2020)

Typ čerpadla		150-AFHU-188-219	
Průchodnost oběžným kolem	(mm)	33 x 45	
Sací hrdlo	(mm)	DN 300	
Výtlačné hrdlo	(mm)	DN 150	
Elektromotor		jednoúčelový	
Výkon	P (kW)	3	
Napětí	U (V)	standardní	400
		na požadavek	500
Otáčky	n (min ⁻¹)	1455	
Kmitočet	f (Hz)	50	
Jmenovitý proud	I (A)	400 V	6,2
		500 V	5
Krytí elektromotoru		IP 68 Σ 10	
Přívodní kabel H07RN		6C x 1,5	
Délky přívodního kabelu		(m) 10; 15; 20; 25	
Hmotnost (bez kabelu)	m (kg)	"SZ"	225
		"ST"	135
		"SJ"	215

7.2 Přeprava odpadních kalů silničními vozidly

Silniční vozidla pro přepravu odpadních kalů jsou využívána pro větší vzdálenost a jsou speciálně upraveny pro tuto činnost (např. autosklápěč, fekální vozidla atd.) Pro využití v průmyslových areálech, zajištění městské kanalizační sítě je nejčastěji využíváno vysokotlakové vozidlo M-U-T, které má technické parametry pro zajištění plynulého chodu kanalizací ve městech.

Pro přepravu kalů je nutné dodržovat zákon o odpadech č.185/2001 Sb. a zákon o silniční dopravě č.111/1994 Sb., Evropská dohoda o mezinárodní silniční dopravě nebezpečných věcí č.64/1987. Přeprava odpadních kalů musí být prováděna v souladu s těmito předpisy.

8. Využití odpadních kalů

8.1 Anaerobní stabilizace – zplyňování

V tomto procesu dochází k přeměňování rozložitelné organické látky do bioplynu. Anaerobní stabilizace a také využití bioplynu v kogenerační jednotce je ekonomicky přínosná pro ČOV, nicméně je ekologickým přínosem z globálního hlediska. Jde zejména o snížení skleníkového efektu. (Dohányos 2006)

Anaerobní čistírenské technologie jsou stále zdokonalovány. Nejvýznamnější faktor hospodárneho provozu anaerobního reaktoru však zůstává koncentrace zpracovaného kalu. Přebytečný kal (aktivovaný) je před vstupem do reaktoru podroben procesu zahušťování (zahušťovací odstředivky). Běžně využívaná možnost intenzifikace tohoto procesu (MF). Jako další krok nastává desintegrování buněk aktivovaného kalu, při kterém se uvolňuje buněčný lyzát. (Kutil a Dohányos 2005)

Vytěžení bioplynu je ovlivněno především poměrem primárního a přebytečného aktivovaného kalu. Pokud je správně řízen provoz, tak vyrobená energie z bioplynu dokáže pokrýt tepelnou spotřebu celé ČOV.

8.2 Kompostování

Kompostování je dalším způsobem, jak využít odpad, ze kterého lze vyrobit organické hnojivo – kompost. Tento proces zajišťují převážně mikroorganismy aerobní, které přeměňují organickou hmotu odpadu na humusovou složku. Další nedílnou součástí je přísuv vzduchu, který v přírodním prostředí tedy zajišťuje přeměnu organických hmot. (Chriaštel a Dzianik 2011)

8.3 Zemědělské využití čistírenských kalů

Využití v zemědělství je nerozšířenější způsob. Kaly lze použít při rekultivacích, dále přímou aplikací na zemědělské půdy nebo kompostování. Kaly obsahují organické látky, makroprvky (zejména N a P), stopové prvky a biologické aktivní látky. Díky těmto prvkům může zlepšit fyzikálně-chemické i biologické vlastnosti půdy. Limitujícím faktorem je výskyt cizorodých látek a patogenních mikroorganismů v kalech. Z cizorodých látek jsou to nejčastěji těžké kovy, organické chlorované látky (např. PCB a dioxiny), polycyklické aromatické uhlovodíky a dále organické sloučeniny, jako jsou farmaceutika, endokrinní disruptory, chemikálie pro domácnost a další. (Černý 2010)

Kal stabilizovaný je vhodný pro zemědělské půdy. Pro pěstování a výrobu v zemědělství je kladen velký důraz na chemickou a biologickou bezpečnost čistírenských kalů. Fyzický požadavek je důležitější spíše k rekultivacím půdy. Kal, který využíváme, musí splňovat veškeré předpisy a limitující hodnoty, aby nedošlo ke kontaminaci škodlivých látek podzemních vod. Těžké kovy mohou zapříčinit změny flóry a fauny, což povede k rapidnímu snížení úrodnosti a kvalitativních hodnot půdy. (Cieslik a kol. 2015)

Využívání kalu v zemědělství, bude řešit zásadní problém, z toho důvodu, že se kal vyrábí jeden rok, přičemž aplikace na půdách se provede jen párkrát (1-2x) v roce. Mnohem lepší případ využití je kompostování s jiným organickým odpadem. Kompostování kalu řeší spoustu problému – vysoký obsah vody, kontaminace patogenními mikroorganismy, nejdůležitější je však minimalizace obsahu potenciálně toxických kovů z kalů. (Alvarenga a kol. 2015)

Kompostováním kalů spolu s biomasou může být snížena koncentrace těžkých kovů. Čistírenské kaly mají nízký poměr C:N (5 - 10:1). Smícháním s biologicky rozložitelným odpadem, který je bohatý na uhlík, se zlepší jeho analyzovaný poměr. Proces kompostování začíná při poměru C:N 20 až 30:1, což je optimální poměr. Dalším pozitivním aspektem je minimalizace obsahu vlhkosti kalu ze 70 – 90 % na 50 – 60 % k udržení optimálního obsahu kyslíku (15 – 20 %). (Kliopova a Makarskiené 2015)

Použitím čistírenských kalů v zemědělství se řídí dle vyhláška č. 437/2016 Sb. v platném znění, která zpřísňuje požadavky směrnice rady č. 86/278/EHS, která je pro nás také platná. Tzn., že se vztahuje na určení mezních hodnot koncentrací vybraných rizikových látek, bod a) mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků, které jsou uvedeny v příloze číslo 3 vyhlášky č. 437/2016 Sb.

Podle vyhlášky č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (ve znění pozdější novely). Nejnovější novela je vyhláška č. 504/2004 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 437/2016 Sb.

8.4 Termické zpracování čistírenských kalů

Termické zpracování kalu znamená redukování objemu a hmotnosti, tepelně zničit toxické organické nečistoty a maximální využití získané energie. Toto zpracování má různé tepelné postupy jako je zplyňování, kvašení, pyrolýza a spalování. Do ekonomicky náročných se řadí pyrolýza a zplyňování. (Kliopova a Makarskiené 2015)

Spalování čistírenského kalu má spousty výhod. Čistírenský kal po spalování má několikanásobně nižší objemy a vyhřívání je skoro totožné jako u hnědého uhlí, spalování je jedna z možností energetického využití navíc ničí toxické organické sloučeniny, těžké kovy a minimalizuje možný vznik zápachu. (Kliopova a Makarskiené 2015)

Spalování stále nepředstavuje úplnou metodu odstranění čistírenských kalů, přibližně 30 % pevných látek zůstane v podobě popelu. Popel většinou zůstane na skládkách a v některých případech je považován za vysoce toxický. Velký problém také představují škodlivé plynné emise, na jejich odstranění jsou potřeba nákladné zařízení. (Kliopova a Makarskiené 2015)

8.5 Rekultivace

Tento pojem lze využít pro uzemní plánování, přičemž dojde k uvedení poškozené nebo poničeného území do stavu původního. Při rekultivaci je hlavním cílem dosáhnout snížení nepříznivých vlivů na ŽP, za pomoci fyzické, biologické a chemické změny vlastností. Cílem je dosažení udržitelného stavu, aby bylo možno zajistit samostatný ekosystém. (Honzík 2017)

Mezi hlavní cíle rekultivace patří:

- začlenit rekultivovanou oblast v krajině
- zajištění zdravých životních podmínek
- zajistit vyšší ekologickou stabilitu dané oblasti
- zajistit obnovení půdního života, zvýšení vrstev půd

Mezi oblasti rekultivací patří zejména objekty, ve kterých docházelo k hospodaření s odpadem, jako jsou skládky nebo kde docházelo k těžbám např. v lomech a dolech. Dále se patří území na, kterých došlo, ke kontaminaci půd tzn. čističky odpadních vod nebo areály s průmyslovou výrobou. (Honzík 2017)

Při rekultivaci jsou důležité zásahy jak zúrodňovací tak rekultivační, to znamená, že zúrodňovací zásah se považuje za upravení nevhodnosti vlastností půd jak fyzikálních tak chemických. Při zúrodňovacích pracích lze zmínit úpravy pozemků, které spadají do kategorie těžkých půd (vylehčení pomocí písků) nebo lehkých půd (vytížení jílem). Jejichž cílem je zvýšit obsahy humusu v půdách. (Honzík 2017)

Rekultivační zásah se řeší na základě projektu pozemkové úpravy. Patří sem úpravy terénu společně se zemními činnostmi. Tento proces je označen jako technická rekultivace. Za pomoci zemědělské nebo lesnické činnosti jsou upraveny vlastnosti půdy jak fyzikální tak chemické – tento proces je celkově nazýván jako biologická rekultivace. (Honzík 2017)

K rekultivačnímu materiálu se vztahuje vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, u kterého se musí dodržet limity dle ČSN 465/735 „Průmyslové komposty“, třída II. Mikrobiologická kritéria nepřekračují limitní hodnoty uvedené v příloze č. 4 vyhlášky 437/2016 Sb. pro kategorii I. (množství termotolerantních koliformních bakterií, enterokoků, negativní nález salmonel). U některých šarží (nižší podíl popílků) splňuje obsah kovů i limity pro organická hnojiva a substráty dle vyhlášky MŽP č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva.

9. Stav nakládání s čistírenskými kaly v ČR

Zpracování kalů je závislé na podmínkách daných lokalit, dále na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech kalů a v neposlední řadě na jejich likvidaci.

Nakládání s čistírenskými kaly a možnosti řešení. Upravené čistírenské kaly lze aplikovat na zemědělskou půdu za určitých podmínek a zároveň splňujících podmínek limitních hodnot jednotlivých rizikových látek, které by mohli obsahovat.

Vedle této vyhlášky stále platí Směrnice Rady 86/278/EHS. Ve vyhlášce č. 437/2016 Sb. je ale v limitních hodnotách přísnější. Je zde i množství mikroorganismů v čistírenských kaly, jejichž hodnotní koncentrace rizikového prvku v půdě, a překročení limitu by mohlo docházet ke znehodnocení, poškození funkcí zemědělských půd.

V tabulce níže vyčteme, tun čistírenského kalu bylo vyprodukováno v České republice. Nejvíce kalů je likvidován buď kompostováním, nebo přímou aplikací.

Tabulka 10: Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění (ČSÚ ©2018)

ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ							ENVIR ONMET
3-27. Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění							
v t sušiny							
Rok	Produkce kalů celkem	Způsob zneškodnění kalů					
		přímá aplikace a rekultivace	kompostování	skládkování	spalování	jinak	
2005	171 888	34 467	88 820	12 027	20	36 554	
2006	175 471	48 304	89 932	13 979	27	23 229	
2007	172 303	55 349	80 393	8 536	47	27 978	
2008	175 708	46 776	78 289	11 986	712	37 945	
2009	168 164	42 442	80 727	5 931	2 179	36 885	
2010	170 689	60 639	45 528	6 177	3 336	55 009	
2011	163 818	61 750	45 985	9 527	3 538	43 018	
2012	168 190	51 912	53 222	9 340	3 528	50 188	
2013	154 274	54 713	50 384	7 123	3 232	38 822	
2014	159 162	47 830	60 511	5 236	3 400	42 185	
2015	172 997	63 061	67 065	6 513	2 167	34 191	
2016	173 709	62 551	65 163	10 183	4 814	30 998	
2017	178 077	75 451	60 930	11 809	4 736	25 151	

9.1 Současné možnosti likvidace kalů z ČOV

Pro správnou funkčnost čističky odpadních vod je důležité včasné odkalování. Likvidace je ovlivňována zákony a předpisy. Nejvýznamnějším zákonem je nakládání s kaly z ČOV zákon č. 185/2001 Sb., zákon o odpadech, v platném znění.

Použití čistírenských kalů v zemědělství definuje samotný zákon o odpadech 185/2001 Sb., další podrobnosti, technické podmínky a povinnosti definuje vyhláška č. 437/2016 Sb., o použití upravených čistírenských kalů v zemědělství.

Zároveň použití čistírenských kalů na zemědělské půdě zásadně ovlivňuje i novela vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, která zavedla mikrobiologické ukazatele pro hnojiva z čistírenských kalů.

Používání kalů na zemědělské půdě je ze zákona č.185/2001 Sb., o odpadech a prováděcích předpisů stanovována povinnost, že každý čistírenský kal musí být upraven s ohledy na nutriční potřebu rostlin v souladu s tzv. programem využití kalů stanovené průvodcem kalů. Kaly aplikované na zemědělské půdy nesmí ovlivnit jejich kvalitu a kvalitu povrchové a podzemní vody. Vyhláška, které je stanovena v ČR v roce 2019 znemožnila aplikace čistírenských kalů na zemědělské půdy spousty subjektům. (Sovak 2018)

Začátkem ledna 2020 bude možno uložit na zemědělskou půdu výhradně kaly, které spadají do kategorie I. Podmínkou je splnit kvalitativní upravenost kalů a v případě potřeby provést ověřování hygienizace kalu v ČOV do konce prosince 2019. (Sovak 2018)

Vyhláška stanovuje množství jednotlivých sloučenin a prvků, které může kal obsahovat. Použité technologie ČOV a stabilizování a stabilizace čistírenského kalu není ovlivněno složením samotných kalů. Pokud znečišťující látky dosahující vyšší limity koncentrace, není možné kaly aplikovat na zemědělskou půdu. V tomto případě je nutnost využití jiného procesu například termické destrukce. (Sovak 2018)

Anaerobní stabilizace v čističkách odpadních vod produkované kaly, jehož limitní hodnoty touto metodou nejsou dosaženy. Na základě vyhlášky k zákonu o odpadech není možno tyto limity splnit, z důvodu, že kalové hospodářství bylo navrženo dle historických požadavků na účinné splnění procesu, přičemž měly být stanoveny nové limitní požadavky. (Sovak 2018)

Nová legislativa v oblasti likvidace a využití kalů znamená, že v roce 2020 nebude již možné na řadě ČOV využívat stávající cesty likvidace kalů (vyhláška č. 437/2016 Sb.). Trvale udržitelnou možností, jak v budoucnosti ukládat kal na zemědělské půdě

či jiným způsobem ho materiálově využívat včetně energetického využití, je zajistit trvalou hygienizaci kalu bez rizika druhotné kontaminace patogeny. (Sovak 2018)

Pro řadu připravovaných projektů je cestou likvidace kalu nejprve redukce jeho sušením a následné energetické či další materiálové využití produktu. Vždy zůstává možnost spalování kalu ve spalovnách jako odpadu, ovšem cena za likvidaci je několikanásobkem současných cen a pohybuje nad 2 000 Kč za tunu odpadu. V každém případě jsou vyvolané investiční i provozní náklady u vodohospodářských společností plně uznatelným nákladem. (Sovak 2018)

9.2 Vyhodnocení zranitelných oblastí na území ČR

Abychom mohli vyhodnotit zranitelnou oblast na území ČR, je nutné dodržet podmínky zákona o odpadech č.185/2001 Sb., a vyhlášku č. 437/2016 Sb., ve které se píše o podmínkách použití upravených kalů na zemědělskou půdu, stanovuje aplikace zemědělských kalů pouze upravených v souladu s programem využití kalů stanoveného původce. Aplikace kalů nesmí nijak ohrozit ŽP ani zdraví obyvatel. Zákon o odpadech přesně definuje vymezené oblasti použití čistírenských kalů. (MŽP ©2015)

Tabulka 11: Kaly produkované v ČOV na území ČR (ČSÚ 2018)

1.4 Kaly

SEWAGE SLUDGE

tuny sušiny

Tonnes of dry matter

Území, kraj <i>Territory, region</i>	Kaly produkované v ČOV celkem <i>Total sludge production</i>	Způsob zneškodnění kalu <i>Method of sludge disposal</i>				
		přímá aplikace a rekultivace <i>Agricultural use</i>	kompostování <i>Composting</i>	skládkování <i>Landfilling</i>	spalování <i>Incinerating</i>	jinak <i>Other</i>
Česká republika Czech Republic	202 358	88 883	64 515	17 728	19 440	11 792
Hl. město Praha	21 865	19 621	1 681	0	0	563
Středočeský	20 681	5 013	13 159	2 215	0	294
Jihočeský	12 627	6 737	5 647	59	0	184
Plzeňský	8 843	5 783	2 237	535	0	288
Karlovarský	4 144	0	1 710	1 006	39	1 389
Ústecký	35 307	14 743	216	4 980	15 255	113
Liberecký	4 933	4 589	0	269	1	74
Královéhradecký	9 277	3 696	4 790	258	0	533
Pardubický	7 702	747	2 342	389	0	4 224
Vysočina	7 155	3 391	3 236	99	0	429
Jihomoravský	20 261	1 780	13 095	298	2 534	2 554
Olomoucký	10 175	6 843	2 312	507	0	513
Zlínský	14 943	5 238	1 943	6 005	1 611	146
Moravskoslezský	24 445	10 702	12 147	1 108	0	488

Tabulka 12: Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdy (Vyhláška 437/2016 Sb.,)

indikátorový mikroorganismus	jednotky	počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu	limitní hodnota (nález/KTJ*)	
Salmonella spp.	nález v 50g	5	negativní	
Escherichia coli nebo enterokoky	KTJ* v 1 gramu	5	4	< 10 ³
			1	< 5.10 ³

Aplikovat kaly na zemědělskou půdu lze v případě, že je vyhodnocení obsah rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot. V roce 2015 nabyla platnosti novela zákona č.334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu (zákon č.41/2015 Sb.) V tomto zákoně je jasně stanoveno použití dvoustupňového systému preventivního nebo indikační hodnoty. Preventivně budou sledovány obsahy prvků a látek v půdě. Přičemž překročení limitních hodnot bude upozorněním na možné ohrožení některých funkcí půdy. Hodnocení indikační hodnoty znamená měření rizikových prvků v půdě, při zvýšených hodnotách dochází k ohrožení zdravotní nezávadnosti potravin nebo krmiv, lidí a zvířat. Nápravné opatření řeší ČIŽP, SZPI, ÚKZÚZ. Obsah rizikových prvků je hodnocený vyhláškou MŽP č. 13/1994 Sb.,.
(Kubík a kol. 2016)

Vyhláška č. 437/2016 Sb., se také okrajově dotýká následujících vyhlášek a nařízení vlády jako jsou:

- Zákon č. 334/1992 Sb., České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu
- Vyhláška č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě
- Nařízení vlády č. 262/2012Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu
- 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

Problematikou čistírenských kalů se také zabývají odvětvové technické normy.

- TNV 75 8090 „Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod“

Jedná se o dokument z února roku 2015, který stanovuje zásady pro navrhování a provozování hygienizace kalů z čistíren odpadních vod ve vztahu k různým způsobům jejich využití.

Dále je nutné dodržet ustanovení další vyhlášky jako je vyhláška č. 437/2016 Sb.: Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky 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).

Tabulka 13: Výběr indikátorů vzhledem k plnění funkcí půdy a měřené parametry (MŽP 2004)

indikátor	vliv na funkce	měřený parametr	poznámka
<i>chemické vlastnosti</i>			
půdní reakce	A B C e	pH aktivní, výměnné v humusovém horizontu	aktivní pH může být proměnlivé
obsah a kvalita organické hmoty	A B C e	organický uhlík v humusovém horizontu	
obsahy živin	A B C	přijatelné obsahy P, K, Mg, Ca, mikroelementů	
stupeň kontaminace	A B C E	obsahy rizikových prvků a rizikových látek	závislost na dalších půdních vlastnostech, extragentu aj.
<i>fyzikální vlastnosti</i>			
struktura	a b c	pórovitost, stabilita agregátů	často měřeno nepřímo nebo odhadem (vizuálně) v terénu
hustota	a b c	objemová hmotnost humusového horizontu	proměnlivé v důsledku kultivace
stupeň eroze	a b c d f		problematická kvantifikace a měřitelnost, počítána je potenciální eroze
zástavba, zábor	A B C D E F	terénní a dálkový průzkum	
fyzikální narušení, odstranění humusového horizontu	A B C D E F	terénní a dálkový průzkum	
půdní hydrolimity	A b C e	fyzikální válečky	
<i>biologické vlastnosti</i>			
biomasa	A B C e	obsah mikroorganismů	fluktuační biomasy mikroorganismů v závislosti na vlhkosti, teplotě, živinách
biodiverzita	a b C	populace indikátorových skupin	
<i>funkční vlastnosti</i>			
produktivita (zemědělská)	A	BPEJ nebo jiná klasifikace	
produktivita (biomasa)	A	pH, stav zásobenosti živinami a vodou	
retence živin	B	koncentrace NO ₃ v podzemních (povrchových) vodách	významná variabilita podle období
schopnost neutralizovat škodlivé látky	B	chemie povrchových vod	obtížně kvantifikovatelné, závislé na povaze škodlivých látek
schopnost podpory různých ekosystémů	C		problematická kvantifikace a sběr dat
vlastnosti pro stavební účely	D		testování vlastností materiálů (plastičita, srážlivost, korozivita aj.)
zdroje surovin	E		znehodnocení ostatních funkcí těžbou
zdroj vody	E	stav podzemní vody	obtížná měřitelnost

Funkce:

- A produkce biomasy
 - B filtrace, pufrace a transformace látek
 - C ochrana genové základny
 - D poskytování plochy pro další aktivity
 - E zdroj surovin
 - F ochrana archeologických a paleontologických památek
- Velká písmena značí přímou vazbu, malá písmena nepřímou vazbu

10. Možnosti biologického snížení obsahu olova v kalech

a) Jak se zachycují těžké kovy?

Biomasa, která vzniká v procesu biologického čištění odpadních vod a je nerozpustná, na sebe váže většinu těžkých kovů, včetně olova, do bílkovinných komplexů. Odtahováním přebytečného kalu z aktivace tedy odstraňujeme i těžké kovy z odpadních vod. Tyto ve větším množství potom mohou kontaminovat produkovaný kal z ČOV do té míry, že je nepoužitelný v zemědělství nebo na výrobu substrátů – kompostování. Z tohoto důvodu je jediným přijatelným postupem snižování těžkých kovů v kalech z ČOV, tedy i olova, prevence jejich vypouštění do kanalizace – přísný kanalizační řád (vyhláška č. 428/2001 Sb.). Průmyslové odpadní vody obsahující olovo a jiné těžké kovy je třeba před vypouštěním do kanalizace „předčistit“, nejlépe na membránových ČOV nebo chemickým srážením (většinou organickými sulfidy nebo Na_2S).

b) Jak funguje ČOV?

Čistírna odpadní vody je zařízení, ve kterém dochází k čištění odpadních vod. Jako první fáze je mechanické čištění, při kterém se odpadní vody zbavují hrubých nerozpustitelných předmětů a látek, přičemž jsou eliminovány před vstupem další fáze čištění. Čištění mechanické probíhá v lapáku šterku, česlích a lapáku písku. Ve výjimečných případech může být v rámci mechanického předčištění i lapák tuků. Poslední fáze mechanického čištění je primární sedimentace, která probíhá v usazovací nádrži. Mechanický proces čištění má za výsledek odpadní produkt jako je šterk, písek, shrabky a primární kaly. Primární kal se pomocí sedimentace v usazovací nádrži oddělí od odpadních vod. Struktura kalu je zrnitá a je vytvořena díky nerozpustitelným látkám.

Další fází je čištění biologické čištění, které je primárně uplatňováno pro městské čistírky odpadních vod. Při tomto procesu dochází ke tvorbě biomasy – produkt čištění, při dostatečném přísunu živin. Jsou to právě aktivační nádrže, ve kterých probíhá biologické čištění. V nádržích jsou přítomny mikroorganismy ve formě suspenzí nebo v reaktoru s biomasou jako biofilm, například biofiltr. Biomasa se odděluje od vycištěných vod v separačním stupni – v dosazovacích nádržích. Z velké části je v poslední době využíváno i membránové filtrace pro oddělení biomasy. Z produkovaného kalu, se musí část kalu vrátit do aktivační nádrže – vratný kal, a kal, který je, následně odváděn do hospodářství kalového je zpracován, jako přebytečný.

Aktivovaný kal neboli sekundární, je označení pro biomasu organismů a je tvořen jednotlivými mikroorganismy. Jedním z druhů mikroorganismů. Velkou část tvoří bakterie, které se vyskytují ve formách zoogleí. Kal také obsahuje mikroskopické houby, kvasinky anebo plísně. Samotný aktivovaný kal obsahuje vysoké podíly organických látek a má vločkovitý charakter.

Jako poslední fáze je terciální čištění. Toto čištění výrazně využívá fyzikálních a chemických procesů. Při tomto procesu se využívají postupy, které zajistí odstranění živin (P,N), membránové filtrace nebo kolonu s aktivním uhlím. (Slavíček a Slavíčková 2013)

c) Prevence vypouštění odpadních vod

- jak se těžké kovy navážou do biomasy a odstraní
- technologie kde by se mohly vyskytovat

Pro eliminaci zatížení olovem a samozřejmě i těžkými kovy je potřeba brát v úvahu prevenci vypouštění odpadních vod dle vyhlášky č.428/2001 Sb., kterou provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů, kde je v našem případě důležité dodržet technické parametry kanalizační sítě:

- druh kanalizace a technické údaje o jejím rozsahu
- situování kmenových stok
- údaje o poměru ředění splaškových vod na přepadech do vodního recipientu
- uvedení důležitých objektů na kanalizaci – přečerpávací stanice, shybky nebo proplachovací komory
- mapa příloh s vyznačením: hlavní producenti odpadních vod, producenti s možností havarijního znečištění

Technických parametrů je mnoho, je však důležité vědět, že snížení obsahu olova a těžkých kovů lze zajistit prevencí respektive dodržení technických předpisů na kanalizační řád.

d) Využití v zemědělství

- nesmí překročit evropské a české limity

Dle vyhlášky MŽP č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. V platném znění jsou srovnávány parametry kalů s limity dle této vyhlášky. Pro použití čistírenského kalu na zemědělskou půdu, musí být zbavený všech negativních vlastností, respektive nezávadný a zároveň musí splnit podmínky z této vyhlášky.

Aby bylo možné aplikovat kaly na zemědělskou půdu, je důležité dodržet podmínky vyhlášky č.437/2016 Sb.

Technické podmínky:

- musí být použity do 8 měsíců jejich zpracování
- musí být umístěny v na jednom půdním bloku, max. 30 před tím, než budou použity
- do 48 hodin musí být kaly zapraveny do půdy po jejich rozprostření
- na 1 hektar lze rozprostřit maximálně 5 tun sušiny kalů
- po dobu 3 let nesmí být půdní blok dotčen
- dávky dusíku nesmí překročit limity pro hnojenou plodinu
- minimální obsah sušiny kalu musí být 4%

Dále je důležité dodržet mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě a rizikových látek pro použití zemědělských kalů na zemědělskou půdu.

- V půdě nesmí být překročeny mezní hodnoty vybraných rizikových látek uvedených v tabulce 13 na straně 45.
- vyhovují mikrobiologickým kritériím uvedené v tabulce 12 na straně 40.

Tabulka 14: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků a látek v půdě
(ukazatele pro hodnocení půd). (Vyhláška 437/2016 Sb.)

Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou v mg.kg ⁻¹ sušiny v půdě													
	As	Cd	Cr	Cu	Hg ¹⁾	Ni	Pb	Zn	Be	Co	V	PCB ²⁾	PAU ³⁾
Běžné půdy ⁴⁾	20	0,5	90	60	0,3	50	60	120	2	30	130	0,02	1,0
Lehké půdy ⁵⁾	15	0,4	55	45	0,3	45	55	105	1,5	20	120	0,02	1,0

Snížení obsahu olova v kalech společně s ostatními těžkými kovy, zajistíme především prevencí vypouštění těžkých kovů v odpadních vodách do kanalizace, kde lze uplatnit, jako nástroj prevence „Kanalizační řád“. Ten vypracovává provozovatel ČOV a kanalizace dle vyhlášky č. 428/2001, Sb. v posledním znění. Je tedy důležité dbát na technické požadavky stavby kanalizací.

11. Závěr

Tato práce poukazuje na to, abychom věděli, jaké postupy se dají využívat pro zpracování čistírenských kalů. Hlavním cílem této práce je snížení obsahu těžkých kovů v čistírenských kalech a jejich aplikovatelnost na zemědělskou půdu. Dle všech získaných informací je zřejmé, že neexistuje, žádná univerzální metoda na odstranění těžkých kovů z čistírenských kalech, nýbrž je potřeba dbát na prevenci dodržení technických předpisů kanalizačních řádů a vypouštění odpadních vod, tím lze dosáhnout eliminace zatížení olovem a ostatními těžkými kovy. Tato práce by měla sloužit jako podklad pro další studii a zlepšení postupů pro zpracování čistírenských kalů.

12. Literatura

12.1 Literatura

Groda B., Vítěz T., 2008: Čištění a čistírny odpadních vod. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, ISBN 978-80-7375-180-7.

Hlavínek P., Mičín J., Prax P., 2003: Stokování a čištění odpadních vod. Akademické nakladatelství CERM, Brno, ISBN 80-214-2535-0.

Chmielewska E., 2004: Ochrana vód. Ing. Miroslav Mračko, Bratislava, ISBN 80-8057-620-3.

Chriaštel L., Dzianik F., 2011. Čistenie odpadových vôd: procesy, stroje a zariadenia čistenia odpadových vôd. Nakladateľstvo STU, Bratislava, ISBN 978-80-227-3432-5

Pošta J., 2005. Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Praha, ISBN 80-213-1366-8.

Pytl V., 2004: Příručka pro provozovatele čistírny odpadních vod. Medim, Líbeznice u Prahy, ISBN 80-239-2528-8.

Slavíček M., Slavíčková K., 2006: Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody. Nakladatelství ČVUT, Praha, ISBN 80-01-03534-4.

Slavíček M., Slavíčková K., 2013: Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody. 2., přeprac. Nakladatelství ČVUT, Praha, ISBN 978-80-01-05390-4.

Vesilind P., 2003: Wastewater treatment plant design. Water Environment Federation, Alexandria, VA, ISBN 9781572781771.

12.2 Internetové zdroje

Ahring K. B., Gavala N. H., Ioannis V. S., Westermann P., Yenal U., 2003: Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135403004019>>.

Alvarenga P, Mourinha C., Farto M., Santos T., Palma P., Sengo J., Morais M., Cunha-queda C., 2015: Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil (online) [cit. 2020.02.09], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15000665>>.

Amendments: Benefits versus limiting factors. Waste Management (online) [cit. 2020.02.05], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15000665>>.

Baeyens J., Dewil Raf., Neyens E., 2006: Reducing the Heavy Metal Content of Sewage Sludge by Advanced Sludge Treatment Methods (online) [cit. 2020.2.12], dostupné z <https://www.academia.edu/12578321/Reducing_the_Heavy_Metal_Content_of_Sewage_Sludge_by_Advanced_Sludge_Treatment_Methods>.

Ceccanti B., Doni S., Macci C., Peruzzi E., 2009: Phragmites australis for sewage sludge stabilization (online) [cit. 2020.2.2], dostupné z <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.934.6515&rep=rep1&type=pdf>>.

Ciešlik B., Namieśnik J., Konieczka P., 2015: Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods (online) [cit. 2020.02.14], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614012116>>.

Černý J., 2010: Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin (online) [cit. 2020-02-02], dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organicky-latek-a-zivin>>.

Dohányos M., 2006: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>.

Foller J., 2017: Stabilizace čistírenských kalů čistým kyslíkem – provozní praxe a zkušenosti (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <<http://www.techpark.sk/technika-782013/stabilizace-cistirenskych-kalu-cistym-kyslikem-provozni-praxe-a-zkusenosti.html>>.

Gao X., Liu X., Shen R., Wang W., Zhou Y., 2011: Effect of thermal pretreatment on the physical and chemical properties of municipal biomass waste (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11004338>>.

Hartig K., 2017: Problematika kalového hospodářství (online) [cit. 2020.2.2], dostupné z <<http://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>>.

Honzík R., 2017: Využití odpadů při rekultivacích (online) [cit. 2016-01-20], dostupné z <<http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2016/prispevky/112.pdf>>.

Choi Y., Lee J., Kim J., Lee S., 2009: In situ stabilization of cadmium-, lead-, and zinc-contaminated soil using various amendments (online) [cit. 2020.2.2], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509010418>>.

Kliopova I., Makarskiené K., 2014: Improving material and energy recovery from the sewage sludge and biomass residues (online) [cit. 2020.02.26], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14005145>>.

Kubík L., Němec P., Prášková L., Poláková Š., Sušil A., 2016: Bazální monitoring zemědělských půd – Obsah rizikových prvků 1995-2013 (online) [cit. 2020.03.15], dostupné z <http://eagri.cz/public/web/file/478795/ZZ_PRVKY_BMP_final.pdf>.

Kutil J., Dohányos M., 2005: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů (online) [cit. 2020.02.26], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>.

Ligocka A., Skowron K., Sypula M., Paluszak., 2013: Effects of spring season solar drying process on sanitation indicators in sewage sludge and potential as a method for fertilizer production (online) [cit. 2020.2.2], dostupné z <<https://pdfs.semanticscholar.org/ea3b/769a423a4606d4aef2759f46ddb046d0337c.pdf>>.

MŽP, 2015: Optimalizace nakládání s kaly z čistíren odpadních vod (online) [cit. 2020.02.26], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-Oddil_I_1_Analyticka%20cast-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-Oddil_I_1_Analyticka%20cast-20160810.pdf)>.

MŽP, 2004: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR (online) [cit. 2020.03.24], dostupné z <[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/\\$file/indikatory_el.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/$file/indikatory_el.pdf)>.

Pinarli V., Salihoglu K. N., Salihoglu G., 2006: Solar drying in sludge management in Turkey (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014810600228X>>.

Sovak ČR., 2018: Půmyslová ekologie. SOVAK ČR k nakládání s čistírenskými kaly (online) [cit. 2020.03.14], dostupné z <<https://www.prumyslovaekologie.cz/info/sovak-cr-k-nakladani-s-cistirenskymi-kaly>>.

Tytla M., 2019: Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk in Sewage Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant Located in the Most Industrialized Region in Poland - Case Study (online) [cit. 2020.02.14], dostupné z <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6651073/>>.

Zábranská J., 2017: Technologie hygienizace čistírenských kalů a další technologie úpravy kalů ve vztahu k zemědělské praxi (online) [cit. 2020.02.18] dostupné z <http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008012001/03_technologie_upravy_kalu.pdf>

12.3 Legislativní zdroje

Nařízení vlády 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, v platném znění.

Nařízení vlády 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, v platném znění.

Vyhláška č. 273/1988 Sb., o odběrech a chemických rozborech vzorků hnojiv, v platném znění.

Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou provádí zákon č.274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů, v platném znění.

Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, v platném znění, v platném znění.

Vyhláška 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, v platném znění.

Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění.

Vyhláška č. 450/2005 Sb., o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu, způsobu a rozsahu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků, v platném znění.

Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými, v platném znění.

Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, v platném znění.

Vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, v platném znění.

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), v platném znění.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění.

12.4 Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím (online) [cit. 2020.04.07] Dostupné z <<https://biom.cz/cz/obrazek/zakladni-schema-cistirny-odpadnich-vod-s-kalovym-hospodarstvim>>.

Obrázek 2: Schéma aerobního zpracování (Ceccanti B., Doni S., Macci C., Peruzzi E., 2009: Phragmites australis for sewage sludge stabilization (online) [cit. 2020.2.2], dostupné z <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.934.6515&rep=rep1&type=pdf>>.)

Obrázek 3: Schéma technologie OSS (Foller J., 2017: Stabilizace čistírenských kalů čistým kyslíkem – provozní praxe a zkušenosti (online) [cit. 2020.03.02], dostupné z <<http://www.techpark.sk/technika-782013/stabilizace-cistirenskych-kalu-cistym-kyslikem-provozni-praxe-a-zkusenosti.html>>.)

Obrázek 4: Technické údaje čerpadla (Autor neznámý)

12.5 Seznam tabulek

Tabulka 1: Celkové koncentrace těžkých kovů v čistírenských kalech

Tabulka 2: Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a celkové koncentrace kovů v půdách a změny použité v tomto experimentu

Tabulka 3: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělskou půdu

Tabulka 4: Koncentrace kovů

Tabulka 5: Výsledky fyzikálně-chemických analýz čistírenských kalů

Tabulka 6: Znázorňuje korelační koeficienty mezi těžkými kovy v čistírenských kalech

Tabulka 7: Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu Lučavkou Královskou

Tabulka 8: Vývoj a koncentrace těžkých kovů v kalovém koláči po odvodnění pro neupravený kal a kal podrobený Fentonově peroxidaci

Tabulka 9: Meze detekce těžkých kovů

Tabulka 10: Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění

Tabulka 11: Kaly produkované v ČOV na území ČR

Tabulka 12: Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdy

Tabulka 13: Výběr indikátorů vzhledem k plnění funkcí půdy a měřené parametry

Tabulka 14: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků a látek v půdě

12.6 Seznam použitých zkratk

ČOV – Čistička odpadních vod
ČR – Česká Republika
ŽP – Životní prostředí
EU – Evropská unie
AOX – Halogenované organické sloučeniny
PCB – Polychlorované bifenyly
NEL – Nepochlorované extrahované látky
Cd - Cadmium
Cr - Chrom
Cu - Měď
Hg - Rtuť
Pb - Olovo
Zn - Zinek
TOC – Celkový organický uhlík
CHSK – Chemická spotřeba kyslíku
BSK5 – Biochemická spotřeba kyslíku (za 5 dní)
ATP – Adenosintrifosfát (chemická látka)
Fe - Železo
Al - Hliník
EO – Ekvivalentní obyvatel
CO₂ – Oxid Uhličitý
H₂O - Voda
CaO – Oxid Vápenatý
pH – potenciál Vodíku
Ni - Nikl
MŽP – Ministerstvo životního prostředí
ČIŽP – Česká inspekce životního prostředí
SZPI – Státní zemědělská a potravinářská inspekce
ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský