

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



Zpracování kalů z ČOV a možnosti jejich využití

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Vypracoval:

Bc. Petr Bůžek

2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Bůžek

Regionální environmentální správa

Název práce

Zpracování kalů z ČOV a možnosti jejich využití

Název anglicky

Processing of sewerage sludge from WWTP and their use

Cíle práce

Cílem práce je zřehlednění problematiky kalového hospodářství čistíren odpadních vod, popsat kalové hospodářství konkrétní ČOV a navrhnout variantní řešení zpracování kalu.

Metodika

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Zřehlednění problematiky kalového hospodářství ČOV
4. Metodika
5. Popis stávajícího kalového hospodářství ČOV
6. Variantní návrh řešení zpracování kalů
7. Diskuze
8. Závěry
9. Použitá literatura
10. Přílohy

Doporučený rozsah práce

60 stran + přílohy

Klíčová slova

čistírenské kaly, kompostování, termochemické zpracování kalů

Doporučené zdroje informací

Hlavínek, Petr Hlaváček, Jiří et al: Čištění odpadních vod praktické příklady výpočtů. NOEL 2000 s.r.o. 1996. 196s. ISBN 80-86020-0-2

Hlavínek, Petr Mičín, Jan Prax, Petr: Příručka stokování a čištění. NOEL 2000. Brno. 2001. 251s. ISBN 80-86020-30-4

Krejčí V. a kol.: Odvodnění urbanizovaného území – koncepční přístup. NOEL 2000 s.r.o. Brno, 2002, 562 s., ISBN 80-86020-39-8

Legislativní podkaldy a normy

Mueller, James A.; Boyle William C. & Pöpel Johannes: Aeration: principles and practice. Monografie, 2002, Boca Raton : CRC Press

Slavičková K., Slaviček M.: Vodní hospodářství obcí 1 – Úprava a čištění vod. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006, 194 s, ISBN 80-01 -03534-4

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 4. 12. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 12. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Marcely Synáčkové, CSc., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval paní Ing. Marcele Synáčkové, CSc., za odborné vedení, celkovou vstřícnost a za podnětné rady a připomínky, které mi poskytovala v průběhu zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Luděkovi Míkovi za ochotu a věnovaný čas, poskytnutí potřebných materiálů a informací. V neposlední řadě patří mé díky také rodině za jejich trpělivost a podporu.

ABSTRAKT:

Diplomová práce se zabývá problematikou nakládání s kaly z čistíren odpadních vod, dále pak technologiemi zpracování kalu a zřehledněním legislativy týkající se různých možností využití kalů. Na základě výsledků vyhodnocení kvality kalu na čistírně odpadních vod ve Strakonících bylo provedeno porovnání s platnou legislativou pro různé možnosti využití kalů.

V druhé části se diplomová práce zabývá jedním ze způsobů využití kalů z čistírny odpadních vod a to kompostováním. Je navrženo konkrétní zařízení pro biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů v těsné blízkosti areálu ČOV Strakonice.

Klíčová slova: čistírenské kaly, kompostování, termochemické zpracování kalů

ABSTRACT:

This thesis deals with the disposal of sludge from wastewater treatment plants, as well as sludge treatment technologies and streamlining legislation concerning various possibilities of using sludge. Based on the results of the evaluation of the quality of the sludge at the wastewater treatment plant in Strakonice was compared with the current legislation for various possibilities of sludge.

In the second part of the thesis deals with one of the uses of sludge from sewage treatment plants and composting. It suggested specific equipment for the biological treatment of biodegradable waste in the immediate vicinity of the wastewater treatment plant Strakonice.

Keywords: sewage sludge, composting sludge thermo chemical processing

Seznam zkratk:

As – arzén

AOX – halogenové organické sloučeniny

AT₄ – respirační aktivita

BTEX - monocyklické aromatické uhlovodíky

Be – beryllium

BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku

Cd – kadmium

Co – kobalt

Cr – chrom

Cu – měď

ČOV – čistírna odpadních vod

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

EO – ekvivalentní obyvatel

EOX – chlorované alifatické uhlovodíky

Hg – rtuť

N – dusík

NEL - nepolární extrahovatelné látky

Ni – nikl

P – fosfor

PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky

Pb – olovo

PCB - polychlorované bifenyly

Zn – zinek

Obsah

1. Úvod	12
2. Cíle práce	13
3. Metodika	14
4. Zpřehlednění problematiky kalového hospodářství ČOV	15
4.1 Kal z ČOV	15
4.2 Charakteristika čistírenských kalů	15
4.3 Typy čistírenských kalů	16
4.4 Produkce a způsoby nakládání s kaly z ČOV v ČR	18
4.5 Kaly v legislativě ČR	20
4.6 Technologické zpracování kalu	23
4.7 Obecný postup zpracování kalů	25
4.7.1 Odebírání kalu ze systému	25
4.7.2 Zahušťování kalu	27
4.7.3 Předúprava kalu	27
4.7.4 Stabilizace	28
4.7.5 Hygienizace	30
4.7.6 Odvodňování kalu	31
4.7.7 Následné nakládání s kalem	34
4.8 Energie v kalu	34
4.9 Spalování kalu	35
4.10 Mokrý oxidace kalů	36
4.11 Pyrolýza a zplyňování	36
4.12 Sušení kalů	37
4.13 Ukládání na skládku	40
4.14 Využití kalů v zemědělství	41
4.15 Kompostování čistírenských kalů	41
5. Popis stávajícího kalového hospodářství ČOV Strakonice	42
5.1 Technologická linka ČOV	43
5.2 Kalové hospodářství ČOV Strakonice	45
5.3 Hodnoty jednotlivých ukazatelů znečištění	46
5.4 Srovnání průměrných hodnot kvality kalu z ČOV Strakonice s hodnotami uvedených ve vyhláškách pro různé možnosti využití	46
5.5 Vyhodnocení	48
6. Variantní návrh řešení zpracování kalů	49
6.1 Legislativa	49
6.2 Charakter území a stavebního pozemku	50

6.3 Účel užívání stavby	51
6.4 Návrh příčného profilu a počtu hromad	52
6.5 Kapacita kompostárny	53
6.6 Návrh vodohospodářsky zabezpečené plochy	53
6.7 Jímka	54
6.8 Projekt	56
6.9 Stroje a zařízení	56
6.10 Ekonomický odhad (náklady vs. výnosy)	60
7. Diskuze	62
8. Závěr	64
9. Použitá literatura	66
10. Seznam obrázků a tabulek	70
11. Přílohy	72

1. ÚVOD

Zpracování čistírenských kalů z čistíren odpadních vod je dosti probíraným tématem na mezinárodních diskuzích o udržitelných strategiích zpracovávání kalů. Zejména na recyklaci a využití látek, které tyto kaly obsahují a jejich likvidaci. Tento zájem se řadí mezi prioritní oblasti, kde ve většině zemí je tento výzkum podporován a poměrně dobře financován.

U moderního kalového hospodářství je snaha o co největší energetické a materiálové využití kalů s ohledem na životní prostředí. Dohányos (2006) uvádí, že vzhledem k dnešní situaci v oblasti životního prostředí je nutné se zaměřit na opětovné využívání odpadů a jejich zhodnocení s co nejmenším negativním vlivem na složky životního prostředí kolem nás.

Existuje řada různých názorů na využívání čistírenských kalů s ohledem na obsah organických polutantů a rizikových látek, ale kaly představují i značné výhody v dlouhodobém vlivu na přijatelnost a obsah živin v půdě, dále pak k tvorbě humusu a obsahu organických látek. Cíl směrnice 86/278/EHS, o ochraně životního prostředí, která se zabývá aplikací kalů z čistíren odpadních vod na zemědělskou půdu, je regulace používání kalů z ČOV tak, aby se zabránilo škodlivým účinkům na rostliny, půdu, zvířata a člověka a tím podporovat správné a efektivní používání čistírenských kalů (Dohányos, 2006).

Budoucnost s nakládáním čistírenských kalů je slibná, závisí však na dodržování jistých pravidel, implementaci legislativy z Evropské unie, ekonomické úrovni hospodaření jednotlivých států a zájmu veřejnosti o složky životního prostředí a kvalitu potravin.

2. CÍLE PRÁCE

Jedním z cílů mé práce je zpřehlednění problematiky kalového hospodářství čistíren odpadních vod. Dalším cílem je popis kalové hospodářství konkrétní ČOV a dále pak navržení variantního řešení zpracování kalu v souladu s platnou legislativou.

3. METODIKA

Diplomovou práci jsem rozdělil do několika částí. První část se týká údajů o produkci kalů, související legislativy, dále pak složení kalu a jeho obecné charakteristiky a technologie zpracování čistírenského kalu.

U popisu problematiky legislativy kalů jsem musel prostudovat zejména právní předpisy odpadového hospodářství, vodního hospodářství a další potřebnou platnou legislativou. Dále pak jsem studoval problematiku a technologie zpracování kalů z čistíren odpadních vod.

V další části práce jsem analyzoval výsledky vyhodnocení kalu z čistírny odpadních vod ve Strakonících a porovnával je s limity uvedených v platných vyhláškách pro různé druhy a možnosti využití. S technologem ČOV Strakonice jsem rozebíral, kam je kal odvážen, jak je s ním nakládáno, množství a kvalitu kalu z této čistírny a potřebné výsledky rozborů kvality kalů, které mi poskytnul na základě pravidelných odběrů vzorků kalu.

V předposlední části se práce zabývá obecným procesem kompostování a popisem technologií čištění odpadních vod a kalovým hospodářstvím stávajícího zařízení čistírny odpadních vod ve Strakonících. Poslední část práce se týká variantního návrhu zpracování čistírenských kalů z ČOV Strakonice a okolí. Je navržena kompostárna – zařízení na zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Po konzultaci s techniky přes kompostování a projektanty těchto zařízení, včetně strojního vybavení, které je pro tento typ kompostování nutný, jsem zhodnotil možnost návrhu zařízení na likvidaci biologicky rozložitelných odpadů v těsné blízkosti čistírny, kde disponuje dostatečně velkou plochou s některými zpevněnými plochami pro parkování techniky a zázemím ČOV pro obsluhu kompostárny.

4. ZPŘEHLEDNĚNÍ PROBLEMATIKY KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČOV

4.1 Kal z ČOV

Jedním z produktů čištění odpadních vod je čistírenský kal, který je nevyhnutelným produktem při produkci a čištění odpadních vod v čistírenských procesech. Znečištěná voda, která přitéká na čistírnu odpadních vod, je čištěna a na odtoku z ČOV je její obsah znečišťujících látek snížen na požadované minimum. Složky, které jsou nežádoucí v čištěné vodě, se koncentrují do odpadního kalu. Zabránit produkci čistírenských kalů je dosti problematické, skoro až nepředstavitelné. Zmenšit jejich množství je však možné výběrem vhodné technologie (Frank, 2015; De Wilde a kol., 2007).

4.2 Charakteristika čistírenských kalů

Kaly z čistíren odpadních vod jsou složitou heterogenní suspenzí organických a anorganických látek odštěpených z odpadních vod nebo vzniklých při technologických procesech v čištění odpadních vod. Jedna z důležitých vlastností kalu je jeho konzistence, která velmi úzce souvisí s celkovou koncentrací obsahu sušiny v kalu neboli tuhých složek v kapalině. Kaly z městských ČOV průměrně obsahují 0,5 – 7% sušiny skládající se z 60 – 70% organických látek a 30 – 40% anorganických látek (Raclavská, 2007).

Čistírenský kal obsahuje mnoho organické hmoty i dalších živin a stopových prvků díky zvýšenému obsahu dusíku a fosforu. Obsah draslíku bývá často v nízkém poměru (Kickuth, 1977). Významným prvkem v čistírenských kálech je obsah přístupných živin, jenž se ale vyznačuje značnou variabilitou mezi jednotlivými čistírnami. Kal představuje zhruba 1 – 2% objemu znečištěných vod, avšak v tomto kalu je zkoncentrováno 50 – 80% původního znečištění. Toto je vyvoláno hlavně patogenními mikroorganismy s obsahem těžkých kovů např. Cu, Hg, Pb a chemických toxických látek např. PCB, NEL. Druh a počet patogenů závisí na klimatických, demografických a geografických faktorech (Dohányos a kol., 1997).

4.3 Typy čistírenských kalů

Surový kal

Tento kal obsahuje okolo 70% organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních mikroorganismů je dle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. klasifikován jako nebezpečný odpad. Jedná se o kal, u kterého neproběhla stabilizace, a podle toho, kde je odebírán, rozlišujeme druhy čistírenských kalů (Henze a kol., 2002).

Kal primární

U primárního kalu jsou sedimentační látky obsažené v surové odpadní vodě tvořeny nerozpuštěnými látkami. Tyto látky prošly česlemi, lapákem písku a množství kalu se blíží 2,5 až 50g/l sušiny. Kal se špatně vysouší (ovzdušňuje), jelikož obsahuje i větší množství koloidních látek a má schopnost vázat vodu a udržovat ji (Chudoba a kol., 1991).

Sekundární (přebytečný)

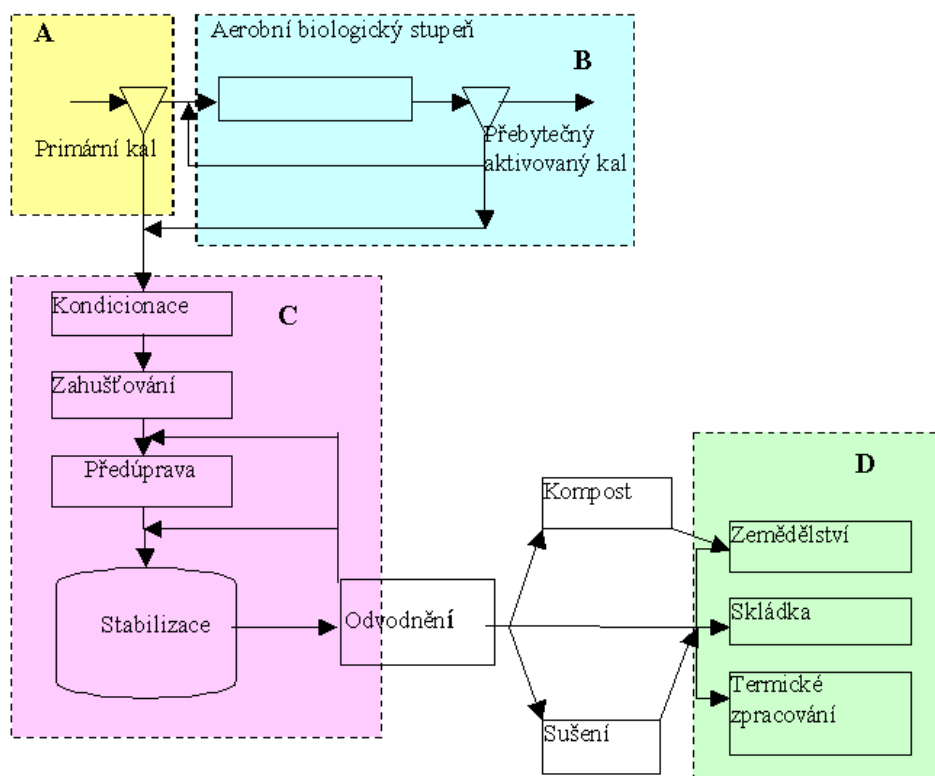
Kal z dosazovacích nádrží, neboli přebytečná biomasa z biologického růstu, má strukturu vločkovitou a jeho struktura je ovlivněna čistícím zařízením a prostředím kde vznikl. Koncentrace a složení odpadních vod má podstatný vliv na charakter přebytečného kalu z biologického čištění (Crittenden a kol., 2005).

Terciální kal

Jedná se o kal, který vzniká z chemického srážení.

Z hlediska ovlivňování množství čistírenských kalů, lze jejich zpracování rozdělit do čtyř oblastí (A – D) viz obrázek 4.1.

Obrázek 4.1 – Obecné zpracování čistírenského kalu (Dohányos, 2006)



A) Primární mechanické čištění

Znečištění, které přichází na čistírnu odpadních vod je ve formě suspendovaných látek. Množství suspendovaných látek v surové odpadní vodě je tedy dáno množstvím primárního kalu v závislosti na účinnosti separace suspendovaných látek. Pro odstranění většiny koloidních i suspendovaných látek se kal často upravuje přidáním koagulačních činidel, což má za následek zvýšení množství primárního kalu a snížení zatížení aktivačního procesu (Olsen a kol., 1999).

B) Snižování produkce biomasy v aerobním biologickém stupni

Úpravou technologických parametrů procesu jako jsou např. stáří kalu, limitace substrátem, typ kultivace biomasy je možno dosáhnout omezení produkce přebytečného aktivovaného kalu (Rensing a kol., 1997).

C) Technologická linka zpracování kalu

Aplikace metod stabilizace a předúpravy čistírenských kalů umožňující zlepšení a prohloubení biologické rozložitelnosti jejich organického podílu je podstatou intenzifikace procesů v oblasti zpracování kalů. Nejdůležitějšími metodami

předúpravy kalů je desintegrace, které je možno použít i v oblasti „B“ – v aerobním biologickém stupni čištění (Rensing a kol., 1997).

D) Metody využití a likvidace kalů

Využití všech cenných látek z kalu by mělo být hlavním cílem této metody. Pokud tomu nebrání jiné faktory např. patogeny, těžké kovy či toxické látky, dají se kaly využít v zemědělství. Pokud toto využívání kalů nelze, přicházejí do úvahy metody využívající energii z kalů. Mezi tyto technologie patří spalování, spoluspalování, pyrolýza, zplyňování a různé metody mokré oxidace (Arceivala a kol., 2007; Butler a kol., 2004).

V dnešní době jsou nejrozšířenější celkem tři způsoby konečného zpracování čistírenských kalů: a) využití v zemědělství a na rekultivace (přímá aplikace nebo přes kompost), b) uložení na skládku, c) termické zpracování (různé způsoby spalování, pyrolýza), (Rensing a kol., 1997).

4.4 Produkce a způsoby nakládání s kaly z ČOV v ČR

Produkce kalů (katalogové číslo 19 08 05 – Kaly z čištění komunálních odpadních vod) v České republice v letech 2009 – 2013 mírně stoupala, ale v posledních dvou letech analyzovaného období se pohybovala okolo 800 tis. tun kalů ve stavu před odvodněním, kde sušina dosahovala skoro 19%. Průmyslová činnost a počet obyvatel napojených na ČOV souvisí mimo jiné s produkcí kalů. Ze zdrojů Ministerstva životního prostředí vyplývá, že nejvyšší produkce kalů byla v letech 2009 – 2013 v Ústeckém, Středočeském kraji a na území Hlavního města Prahy (MŽP, 2016). Produkce kalů je znázorněna na obrázku 4.2 a v tabulce 4.1.

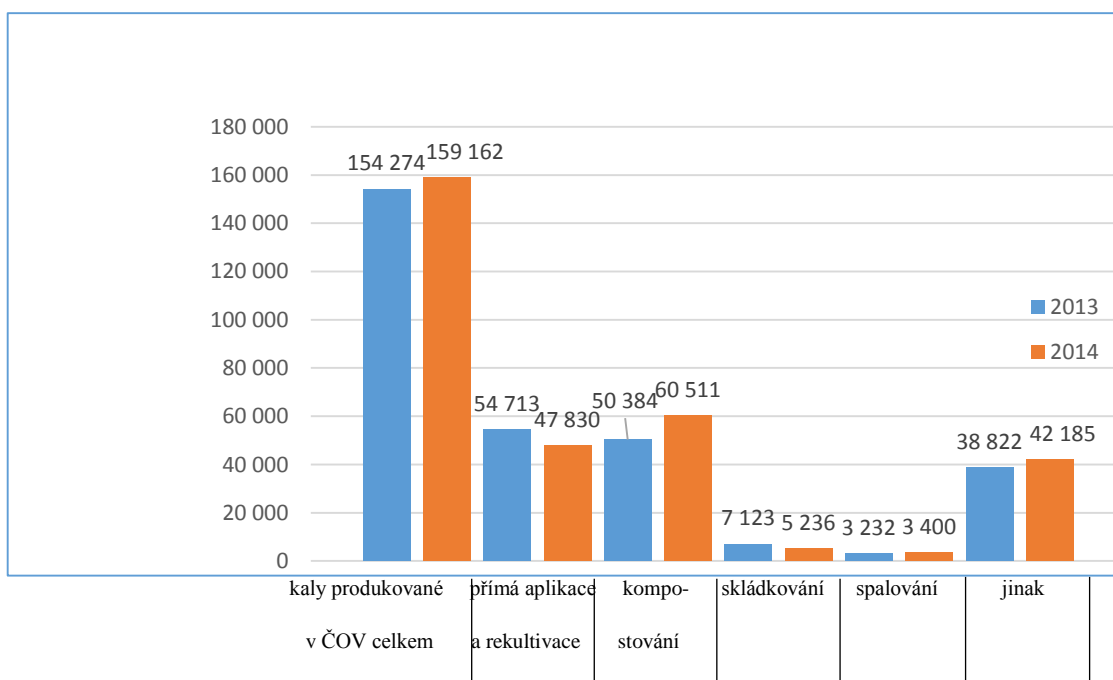
Možné způsoby nakládání s kaly na území ČR závisí na ekonomických, místních podmínkách a též na vlastnostech kalů s možností konečného způsobu využití v dané oblasti. Pro svůj vysoký podíl minerálních a organických složek se v ČR kaly nejčastěji kompostují a používají k přímé aplikaci na zemědělskou půdu. K přímé aplikaci kalů na zemědělské pozemky je základní předpoklad jejich hygienizace, včetně splnění technických podmínek pro použití upravených kalů na půdu. Neupravený kal není možné použít na zemědělské pozemky a je tedy nutné využít

jiného způsobu úpravy nebo nakládání např. kompostováním nebo anaerobní digesce, které musí probíhat jako samostatný řízený proces na základě předem stanovených technických požadavků na provoz a vybavení zařízení. Kaly z ČOV jsou pro své vlastnosti vyloučeny z ukládání na skládky odpadů všech skupin (Jarolímová, 2015; Husáková, 2015).

Dle Husákové (2015) je dalším možným způsobem nakládání s kaly z ČOV jejich energetické využití. Na území České republiky je pouze energeticky využito kolem 14 tisíc tun kalu a spáleno cca 800 tun kalu (stav před odvodněním). Kaly z čistíren odpadních vod je možno energeticky využívat nebo spalovat bez využití energie samostatně, nebo spoluspalovat s energeticky bohatším palivem. Závisejí to na mnoha faktorech, zejména na složení čistírenského kalu, na kvalitě a původu přísad, typu kotle apod.

Obecně je možno říci, že nakládání s kaly z čistíren odpadních vod není v současné době pokaždé ideální. Technologie úpravy a nakládání s kaly z ČOV je hlavním důvodem (hygienizace, stabilizace, neřešení skladování kalů). Dále je pak nutné podotknout, že k tomu přispívá i netransparentní předávání kalů mezi oprávněnými osobami, nakládající s odpady, a hlavně nedodržení pravidel aplikace samotnými zemědělci (Chudoba a kol., 2006).

Obrázek 4.2 – Produkce kalů a způsob jejich zneškodnění v ČOV (Kos, 2016)



Tabulka 4.1 – Produkce kalu (Frank, 2015)

Produkce kalu, data z počtu 1738 ČOV		
Velikost ČOV - počet připojených EO	Počet ČOV s daty o kalu	% produkce kalu (sušina) z celkem ČR
více než 100 000	13	44,8
10 001 - 100 000	130	32,9
2 001 - 10 000	308	14,2
501 - 2000	515	5,9
méně než 500	772	2,2

4.5 Kaly v legislativě ČR

Čistírenské kaly a jejich problematika v České republice je promítnuta do zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a do řady jeho prováděcích právních předpisů. Konkrétně se jedná o vyhlášku č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, vyhlášku č. 381/2001 Sb., Katalog odpadů, vyhlášku č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, vyhlášku č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a vyhlášku č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.

Z hlediska produkce a nakládání s kaly, je důležitým faktorem porovnávání a dodržování limitů dle jednotlivých vybraných vyhlášek.

Limity dle přílohy č. 3 vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2 – Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech

Riziková látka	Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg. kg ⁻¹ sušiny)
As	30
Cd	5
Cr	200
Cu	500
Hg	4
Ni	100
Pb	200
Zn	2500
AOX	500
PCB (suma 6 kongenerů - 28+52+101+138+153+180)	0,6

V příloze č. 4 vyhlášky č. 382/2001 Sb. jsou uvedeny mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3 – Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě.

Kategorie kalů	Přípustné množství mikroorganismů (KTJ*) v 1 gramu sušiny aplikovaných kalů		
	termotolerantní koliformní bakterie	enterokoky	Salmonella sp.
I. (půdy k pěstování potravin)	<10 ³	<10 ³	negativní nález
II. (půdy pro technické plodiny)	10 ³ -10 ⁶	10 ³ -10 ⁶	nestanovuje se

* KTJ- kolonie tvořící jednotku

Limity dle přílohy č. 10 vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a jsou znázorněny v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4 – Nejvýše přípustné koncentrace škodlivin v sušině odpadů.

Ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota
Kovy		
As	mg/kg sušiny	10
Cd	mg/kg sušiny	1
Cr _{celkový}	mg/kg sušiny	200
Hg	mg/kg sušiny	0,8
Ni	mg/kg sušiny	80
Pb	mg/kg sušiny	100
V	mg/kg sušiny	180
Monocyklické aromatické uhlovodíky (nehalogenované)		
BTEX	mg/kg sušiny	0,4
Polycyklické aromatické uhlovodíky		
PAU	mg/kg sušiny	6
Chlorované alifatické uhlovodíky		
EOX	mg/kg sušiny	1
Ostatní uhlovodíky (směsné, nehalogenované)		-
Uhlovodíky C ₁₀ - C ₄₀	mg/kg sušiny	300
Ostatní aromatické uhlovodíky (halogenované)		
PCB	mg/kg sušiny	0,2

Limitní hodnoty dle přílohy č. 6 vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, jsou znázorněny v tabulce 4.5.

Tabulka 4.5 – Limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků

Sledovaný ukazatel	Jednotka	Výstupy (skupina 2)			Stabilizovaný biologicky rozložitelný odpad (skupina 3)
		Třída I	Třída II	Třída III	
As	mg/kg sušiny	10	20	30	40
Cd	mg/kg sušiny	2	3	4	5
C _r celkový	mg/kg sušiny	100	250	300	600
Cu	mg/kg sušiny	170	400	500	600
Hg	mg/kg sušiny	1	1,5	2	5
Ni	mg/kg sušiny	65	100	120	150
Pb	mg/kg sušiny	200	300	400	500
Zn	mg/kg sušiny	500	1200	1500	1800
PCB	mg/kg sušiny	0,02	0,2	-	dle způsobu využití
PAU	mg/kg sušiny	3	6	-	dle způsobu využití
Nerозložitelné příměsi >2 mm	% hm.	max. 2% hm.	max. 2% hm.	-	-
AT ₄	mg O ₂ /g sušiny	-	-	-	< 10

4.6 Technologické zpracování kalu

Podle Kupce (2002) se technologické zpracování kalů dělí na primární a finální, přičemž primárním zpracováním jsou myšleny metody, sloužící k úpravám vlastností a mnohdy bývají podmínkou pro aplikaci finálních metod. Dále pak usnadňují průběh zpracování, jakožto první stupeň zpracování čistírenského kalu.

Metody primárního technologického zpracování kalů jsou:

- a) separace,
- b) kondicionace (fyzikálně – chemická předúprava, termická a chemická),
- c) zahušťování a odvodňování,
- d) desintegrace (fyzikální – ultrazvuk, chemická – vysokotlaké, homogenizátory, fyzikálně – chemická),
- e) hygienizace,

- f) anaerobní a aerobní biologická stabilizace,
- g) sušení.

Finální zpracování pak zahrnuje metody pro konečné využití nebo likvidace kalu. Do této kategorie se řadí:

- a) využití v zemědělství (využití hnojivých vlastností organických a anorganických živin),
- b) termické využití (využití cenných látek a energie),
- c) krajní způsob řešení – skládkování,
- d) spalování,
- e) chemická stabilizace,
- f) kompostování (Kupec, 2002).

Je nutné zmínit, že kalová technologie zpracování je závislá na konečném způsobu využití kalů.

Termické využití – potřeba minimálního množství zbytkové vody.

Zemědělství – odstranění vybraných polutantů, nutná hygienizace

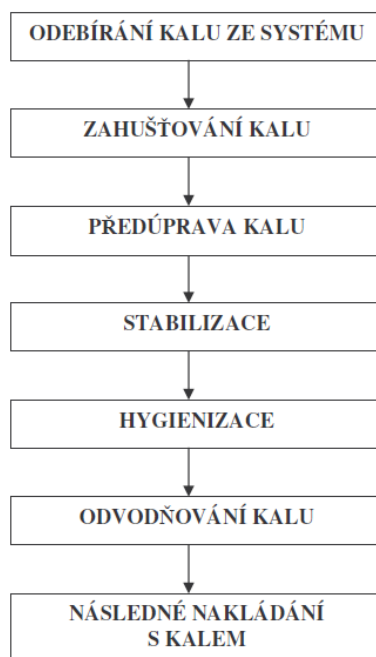
Skládkování – limitovaný podíl organických látek $V_{Lorg.}/V_L$, limitované množství zbytkové vody (Kupec, 2002).

Hlavním cílem zpracování kalu je:

- redukce objemu kalu,
- redukce zápachu,
- možnosti dalšího využití kalu.

Obecný postup zpracování kalů je znázorněn na obrázku 4.3 níže.

Obrázek 4.3 – Obecný postup zpracování kalů (Hlavínek a kol., 2001)

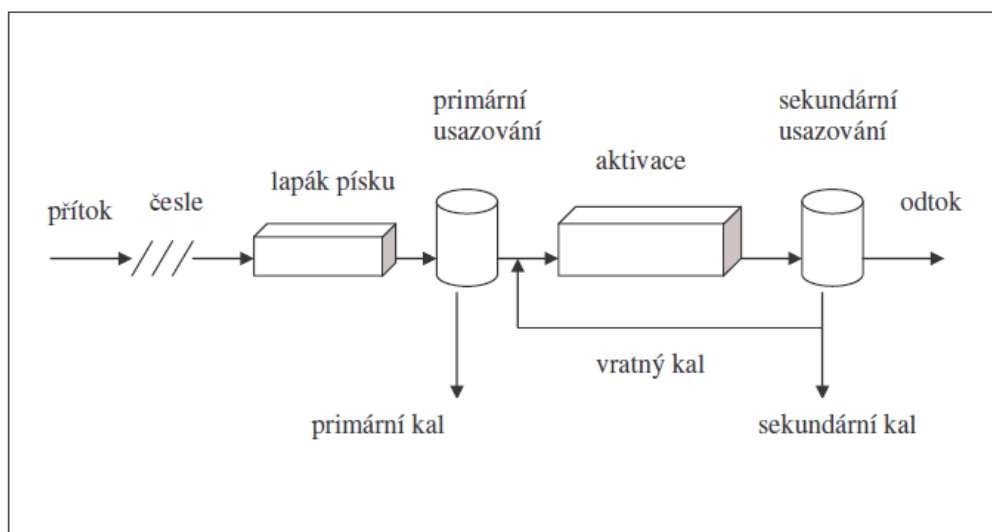


4.7 Obecný postup zpracování kalů

4.7.1 Odebírání kalu ze systému

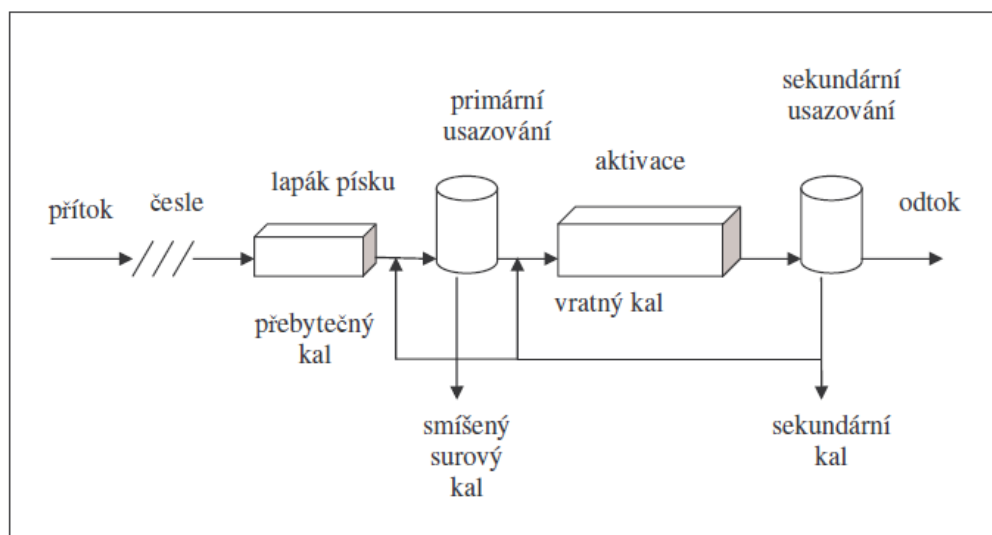
Odkalování a stanovení optimálního režimu odběrů by mělo probíhat prostřednictvím zkušeného technologa a vyžaduje experimentální ověření. Dále je nutné dohlížet na to, aby v sedimentačních nádržích kal anaerobně nezahnil. Perioda odběru bývá v průměru 3 – 4 krát/den (Hlavínek a kol., 2002). Postup odděleného odběru kalu je znázorněn na obrázku 4.4, společného odběru pak na obrázku 4.5.

Obrázek 4.4 – Schéma odděleného odebírání kalu ze systému (Hlavínek a kol., 2002)



Aktivovaný kal (přebytečný) se ve většině případů odebírá z recirkulace kalu z dosazování do aktivace. Množství kalu by mělo korespondovat s denní produkcí kalu. Odkalovat postačí dvakrát týdně u čistíren odpadních vod do 2.000 EO (Hlavínek a kol., 2002).

Obrázek 4.5 – Schéma společného odebírání kalu ze systému (Hlavínek a kol., 2002)



4.7.2 Zahušťování kalu

První etapou v kalovém hospodářství ČOV je zahušťování kalu. Od jeho provedení se pak nadále odvíjí další nakládání s čistírenským kalem. Podle Lyčkové a kol. (2008) je zahušťování kalu definováno jako schopnost kalu zvýšit koncentraci tuhých částic (2 – 3krát). Velmi často se zahušťování kalu používá k redukci hydraulického zatížení kalového hospodářství. Bezprostředně po separaci by mělo dojít k zahušťování kalu.

Zahuštěnost biologických kalů může být zpravidla v rozmezí 3 – 6%, oproti tomu primární kal v rozmezí 6 – 8%. Při návrhu se volí buď kontinuálně provozované zahušťovací nádrže na základě zatížení plochy nerozpuštěnými látkami, nebo se navrhnou nádrže přerušované zahušťovací podle střední doby zdržení, která je uvedena v tabulce 4.6.

Tabulka 4.6 – Střední doba zdržení kalu (ČSN 75 6401)

Druh kalu	Střední doba zdržení v hodinách
Primární kal	Od 8 do 12
Směsný surový kal	Od 5 do 8
Aktivovaný kal	Od 4 do 6

4.7.3 Předúprava kalu

Další částí zpracovávání kalů je tzv. předúprava kalu, která se provádí vlastní stabilizací kalů. Cílem je zvýšení stupně hygienizace a snížení množství stabilizovaných kalů. Pro zlepšení biologického rozkladu kalů byla vytvořena řada metod předúpravy kalů, jejichž společnou charakteristikou je dezintegrace – rozbití částic a vloček kalu (Russel, 2006). Též dochází k rozbití buněk mikroorganismů, buněčný obsah je uvolňován do roztoku – vzniká tzv. *lyzát*. Ten stimuluje anaerobní mikroorganismy, které se podílejí na stabilizaci. Mezi nejčastější způsoby předúpravy kalů patří:

- Chemické metody – působení detergentů, hydrolýza kyselinami nebo zásadami, působení rozpouštědel.

- Biologické metody – autolyzace, inhibice tvorby buněčných stěn.
- Fyzikální metody – ultrazvuková kavitace, vysokotlaká kavitace, termická předúprava.
- Mechanické destrukce – tříštění ve vodním paprsku, koloidní mlýn, odstředování s integrovanou desintegrací (Hlavínek a kol., 2000).

4.7.4 Stabilizace

Stabilizací kalů se rozumí dosažení určitých vlastností kalu, zejména pak k jeho následnému využití. Výsledkem je snížení obsahu organických látek do takového stavu, že kal už nepodléhá intenzivnímu rozkladu. Díky působení mikroorganismů, které se ke stabilizaci kalů využívají, se toto označuje jako biologická stabilizace kalu. Kal, který se vyprodukuje, se stabilizuje anaerobní nebo aerobní stabilizací. Současně nebo odděleně může probíhat jako součást čistícího procesu aerobní stabilizace kalu. U čistíren odpadních vod menších než 10.000 EO se upřednostňuje aerobní stabilizace. U ČOV větších než 10.000 EO se volí anaerobní stabilizace. Mezi metody stabilizace kalů se řadí:

- 1) aerobní stabilizace (simultánní, oddělená, termofilní),
- 2) anaerobní stabilizace (mezofilní, termofilní, fázování teploty),
- 3) chemické metody stabilizace kalů (sušení, stabilizace vápnem)

(Šubrt, 2003).

Ad₁) Jedná se o mikrobiální rozklad organického podílu sušiny v čistírenském kalu při provzdušňování v aerobních podmínkách. Principem aerace – provzdušňování je přerušování procesu z důvodu gravitačního usazování kalu. Do aktivačního procesu je zpět odtahována kalová voda a kal je zahušťován. I přes vyšší energetickou náročnost je tato metoda vhodná pro zakryté čistírny odpadních vod. Použití této metody se uplatňuje zejména v malých čistírnách odpadních vod, kdy odpadá výstavba metanizační nádrže a dalších zařízení. Výhodou je bezesporu i snazší provoz a nízká hodnota BSK₅ v kalové vodě. Oproti tomu je nevýhodou vyšší energetická náročnost, více rozpuštěných látek na odtoku z ČOV a delší doba zadržování kalu v nádrži – nutná aerace nádrže (Hlavínek a kol., 2000).

Ad₂) Anaerobní stabilizací kalu neboli anaerobním rozkladem je podmíněno dokonalé vyhnívání intenzivní činností anaerobních mikroorganismů. Je potřeba zabezpečit míchání pomocí míchacích zařízení, čerpadel apod., přičemž dochází k rozrušování kalové vrstvy při hladině. Při vyhnívacím procesu se odděluje z kalové vody tzv. kalová voda. Tato voda je nežádoucí v prostoru nádrže a musí být odstraněna tj. odvedena do aktivačních nádrží. Při návrhu anaerobní stabilizace kalu se doporučuje dvoustupňová stabilizace, v uzavřených, oddělených stabilizačních nádrží s jímáním bioplynu.

U anaerobní stabilizace je nevýhodná její relativně investičně nákladná technologie. Ekonomicky přijatelná je od určitého množství kalů – velikosti ČOV. Mezi přednosti patří díky produkci uvolňovaného bioplynu, který slouží k pokrytí energetických požadavků vlastního procesu (míchání, ohřev reaktorů). Jako možné nevýhody této metody jsou dlouhá doba zdržení v anaerobních reaktorech a po odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu je kalová voda znečištěná nerozpuštěnými i rozpuštěnými anorganickými, organickými látkami a vyžaduje se další čištění (Hlavínek a kol., 2000). Anaerobní stabilizace probíhá ve dvou fázích.

První stupeň (fáze)

Zde probíhá kyselé kvašení s dobou trvání cca 7 dnů. Dochází ke snižování pH kalu (pod 5) následkem rozkladu uhlohydrátů. Současně zde probíhá i změna složitějších organických hmot, zejména bílkovin. Výsledkem jsou oxid uhličitý a těkavé organické kyseliny.

Druhý stupeň (fáze) – metanová

V této fázi se rozkládají a odbourávají jiné složité organické látky, zejména těkavé organické kyseliny. Zde pak dochází k metanovému rozkladu, který příznivě probíhá v neutrálním nebo slabě alkalickém prostředí (Dohányos a kol., 1997).

Ad₃) K tomu, aby došlo ke zničení patogenních organismů, se musí zvýšit pH kalu alespoň na hodnotu 11,5, přičemž organické látky zůstanou nerozloženy. Tím dojde k zabránění samovolnému rozkladu kalů za kratší čas. Pro zvýšení pH se používá CaO (oxid vápenatý) nebo Ca(OH)₂ (hydroxid vápenatý). Působením

kyseliny sírové (H_2SO_4) při zvýšeném tlaku a teplotě kolem 160°C lze též provést chemickou stabilizaci (Kupec, 2002).

4.7.5 Hygienizace

Aby se kal dal považovat za hygienizovaný, musí projít takovou úpravou, že počet indikátorů patogenních mikroorganismů poklesne na požadovanou hodnotu. Hygienizace a stabilizace kalu může probíhat paralelně tou samou technologií, ale není tomu pravidlem (Slavíčková a kol., 2006). Z globálního hlediska lze k hygienizaci kalů využít všech dostupných metod, při kterých dojde k odumírání mikroorganismů. Za základní hygienizační metody lze považovat tyto dvě:

- chemická – silná oxidační činidla (formaldehyd, fenol, O_3 aj.),
- fyzikální – ultrazvuk, radiace, teplota, mechanická destrukce buněk mikroorganismů.

Následně může hygienizace kalů probíhat:

- 1) přímo v technologické lince,
- 2) před stabilizací kalu,
- 3) po stabilizaci kalu.

Ad₁) Jde o takové zpracování a úpravu kalů, kdy souběžně probíhá stabilizace a hygienizace. Jedná se např. o aerobní, anaerobní stabilizace mezofilní nebo termofilní. Hygienizace a její stupeň závisí na podmínkách stabilizace (doba zdržení, teplota apod.).

Ad₂) Zde probíhá tzv. předúprava. Příkladem je úplná desintegrace vstupujícího kalu termickými (termický rozklad, pasterizace), fyzikálními (radiace, ultrazvuk) nebo chemickými metodami (ozon). Tyto metody zničí buňky převážně většiny mikroorganismů a též dojde ke zmenšení velikosti částic kalu – desintegraci.

Ad₃) Jedná se o dodatečnou neboli následnou úpravu kalu. Kal podstoupí po stabilizaci pasterizaci popř. se odvodněný kal podrobí sušení apod. (Jeníček a kol., 1999).

4.7.6 Odvodňování kalu

Odvodnění kalu je hlavním indikátorem analyzovaných parametrů hodnocení kalů a slouží ke snížení celkového objemu vody v kalu. Aby se dosáhlo na koncentraci sušiny v kalu 25 – 50%, používá se řada technologií pro odstranění přebytečné vody v čistírenském kalu. K odvodňování se využívá strojní nebo přirozený proces. Výsledkem je odvodněný kal, se kterým lze zacházet jako se zemínou (Lyčková a kol., 2008). Nejčastějšími metodami pro odvodnění kalu jsou:

Sítopásové lisy

Princip zařízení je postaven na vodících pásech a válcích, které zajišťují odvodnění čistírenského kalu. V podstatě se jedná o tlakovou filtraci s kontinuálním provozem. Aby byla zajištěna dobrá funkce pásových lisů, je důležité zajistit jejich dokonalé vyprání. Znárodně na obrázku 4.6. Výhodou sítopásových lisů je jednoduchá obsluha a široké použití. Nevýhodou je vznik vlhkosti a zápachu v provozní místnosti a relativně nízký poměr obsahu sušiny získaného kalu.

Obrázek 4.6 – Sítopásové lisy kalu (ČOV Strakonice, 2013)



Kalolisy

Neboli tlakové komorové lisy, které pracují na principu tlakové filtrace s přerušovaným provozem. Zařízení je tvořeno určitým počtem filtračních desek. Každá z těchto desek je obalena filtračními plachetkami. Filtrační desky se oddálí od sebe při plnění kalolisu a vytvoří tak komory. Do těchto komor je přiváděn stabilizovaný kal smíchaný s flokulantem. Po zapnutí tlakového režimu jsou tyto komory stlačovány a voda, která je filtrována přes plachetky pod tlakem cca 1 – 1,6 MPa je odváděna. Po určité době provozu je nutné provést proprání plachetek mimo lis. Nevýhodou kalolisů jsou vysoké investiční náklady a větší požadavky na obsluhu (Frank, 2015). Kalolis je znázorněn na obrázku 4.7.

Obrázek 4.7 – Kalolis (Frank, 2015)



Odstředivky

Principem odstředivek je oddělení pevných částic kalu pomocí odstředivé síly v rotujícím bubnu. Využívá se rozdílné hustoty částic kalu a vody. Do otáčejícího vnitřního bubnu je suspenze přiváděna a následně usměrněna k plášti vnějšího bubnu. Jelikož na kal působí odstředivá síla, těžší částice jsou usazovány na povrchu vnějšího bubnu. Odtud je šnekem zahuštěný kal posouván do kuželové části bubnu a ven z odstředivky. Odvodněný kal má obsah sušiny kolem 20 – 25% hmoty (Frank, 2015). Odstředivka kalu je patrná z obrázku 4.8.

Obrázek 4.8 – Odstředivka kalu (Frank, 2015)



Kalové pole

Proces odvodňování pomocí kalových polí (lagun) je časově náročný a zároveň závisí i na klimatických podmínkách. Nevýhodou je i to, že si žádají vysoké investiční náklady, mají velké nároky na plochu a proces odvodňování trvá poměrně dlouho. Zjednodušeně řečeno, kalové pole je otevřená mělká nádrž s betonovým dnem pokrytým vrstvou šterkopísku. Tato vrstva obsahuje drenáž, která slouží k odvodu oddělené vody z kalu. Kal je po dosažení požadovaného odvodnění nakladači odejmut a dopraven ke konečnému zpracování (Jarolímová, 2015). Kalové pole je znázorněno na obrázku 4.9.

Obrázek 4.9 – Kalové pole (Jarolímová, 2015)



Termické sušení

Principem termického sušení při teplotách vyšších než 100°C je odstranění převážné části vody. Oproti ostatním technologiím sušení je tento způsob velmi energeticky náročný, proto se používá velmi málo. Jednou z možností modifikace odvodňování kalu je kombinace mechanického a termického odvodnění – odstředivka, na kterou navazuje odstředivá sušička. Zde se kal vysuší na obsah sušiny kolem 50 – 70% hmoty (Dohányos a kol., 2005).

4.7.7 Následné nakládání s kalem

V posledních několika letech se stále více řeší účinné, efektivní a maximální využití energie z čistírenských kalů, jakožto suroviny, která má velký energetický potenciál (Tchobanoglous a kol., 2005). Nejvhodnějším způsobem, jak čistírenský kal dále používat, je jeho využití v zemědělství. Dalším možným vhodným řešením využití kalu je jeho aplikace ve stavebnictví. Finálním nakládáním kalu se dále rozumí jeho spalování a skládkování. V zahraničí i v České republice je na větších čistírnách odpadních vod na zpracování kalů používána metoda anaerobní stabilizace s klasickým procesem – produkce bioplynu (Dohányos a kol., 2005).

4.8 Energie v kalu

Z hlediska energetičnosti kalu je podstatná energetická hodnota, která však naráží na řadu složitých technických problémů, zejména s ohledem na vysoký podíl obsahu těžkých kovů a vody. Většina vody v kalu je vázána vazbami na částice organických látek v suspenzi kalu. Tato vlastnost ovlivňuje účinnost a ekonomiku odvodňování. Čistírenský kal a jeho výhřevnost se pohybuje mezi 0,16 – 0,8 MJ/kg kalové směsi. Sušina v kalu ze sedimentačních nádrží má obvykle 1 – 5%. Možnost, jak lze využít co nejvíce energie z kalu je mokrá oxidace kalu v nadkritické oblasti vody (tlak 22 MPa, kritická teplota vody 374°C). Jeden z dalších efektivních termických procesů je vyvinutí pyrolýzního procesu, který je charakteristický svým vysokým energetickým využitím energie v kalu. Výtěžek energie činí 7,7 MJ/kg sušiny, to je cca 39 – 48% celkové energie obsažené v surovém kalu. Pokud se jedná o využití energie ve formě bioplynu, je využívána anaerobní stabilizace kalu o sušině

5% a obsahu organických látek 70%. Hodnota kolem 8 MJ/kg sušiny kalu, tj. 32 – 36% celkové energie kalu (Svanström a kol., 2003).

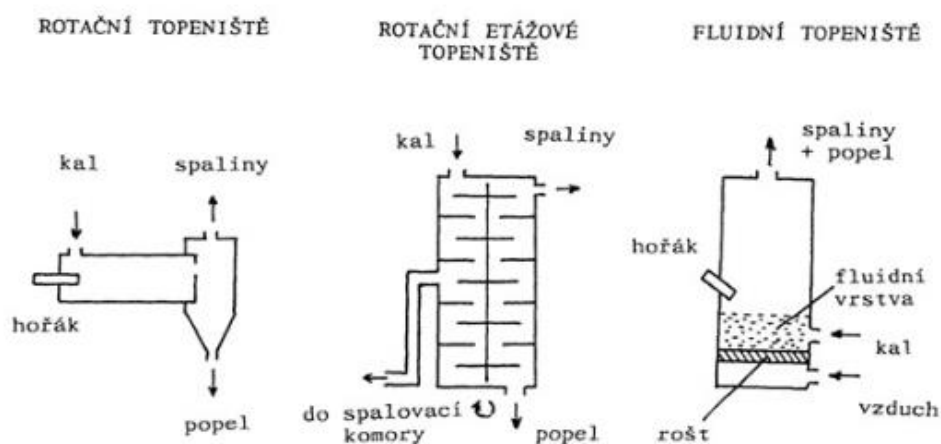
4.9 Spalování kalu

Velkým přínosem spalování kalů je minimalizace objemu. Při procesu spalování dochází ke snížení objemu kalu o více než 90%. Zbylý materiál má inertní charakter a není problém ho uložit na skládku, v lepším případě využít pro jiné účely. Ve většině případů se spaluje směs přebytečného primárního aktivovaného kalu po odvodnění a zahuštění – surový kal (Dohányos, 2006).

Jedním z hlavních problémů při spalování je toxicita plyných směsí, tudíž zde musí být kladen důraz na jejich účinné čištění. Za nejvíce problémové se považuje kadmium a olovo, ale jejich potenciální nebezpečí je eliminováno nízkým obsahem v kalech a má neustále se snižující tendenci. V posledních letech se rozvíjí proces spalování s následným tavením popela. Výsledkem je další redukce objemu popela.

Důležitou veličinou je poměr CaO/SiO_2 , která může být upravena i uměle. Škvára má tu vlastnost, že váže těžké kovy původně přítomné v kalu a je možno ji tak využít i ve stavebnictví jakožto stavební materiál (výroba tvárnic, stavba silnic). Pro snížení nákladů lze využít spoluspalování s komunálním odpadem, s fosilními palivy v teplárnách a cementárnách. Dle druhu rozdělujeme topeniště na rotační, rotační etážové a fluidní (Dohányos, 2006). Znázornění jednotlivých druhů topenišť je vidět níže na obrázku 4.10.

Obrázek 4.10 – Schéma topenišť (Lyčková a kol., 2008).



4.10 Mokrý oxidace kalů

Tato metoda je založená na oxidaci tekutého kalu za stálého přístupu vzduchu při teplotě v rozmezí 200 – 300°C, tlaku 4 – 6 MPa a dobou zdržení 60 minut. Na základě těchto podmínek je cca 75 – 90% organických látek v kalu přeměněno do fáze kapalné a ve formě nižších směsí metanolu a mastných kyselin (Zábranská a kol., 2000). Tímto je veškerý kal mineralizován. Za těchto podmínek je proces mokré oxidace exotermní, tudíž celkový proces je energeticky aktivní. Jelikož kapalná fáze obsahuje i vyšší množství amoniakálního dusíku, který je uvolněný mineralizací kalu, přidává se do systému katalyzátor na bázi mědi (Cu). Tento katalyzátor umožňuje přímou oxidaci amoniaku s posloupností k transformaci oxidovaných forem na plynný dusík cca 45 – 70%. Z hlediska kapalné fáze, která je bohatá na snadno rozložitelné látky, kolem 10g/l CHSK, je vhodné použití jako externí substrát pro denitrifikaci. I bez přidání flokulačních přísad do tuhé fáze lze dosáhnout sušiny až 50%, ve které se nachází zejména minerální látky a zbytkový organický podíl (Dohányos a kol., 2005).

4.11 Pyrolýza a zplyňování

Jedná se o termický rozklad kalů, které se odlišují tím, že mají jiné reakční podmínky a následně i kvalitou produktů. Jedná se poměrně o mladou technologii využití a zpracování kalů. Pyrolýza spolu se spalováním a zplyňováním patří mezi procesy termochemické konverze. Princip pyrolýzy je založen na rozkladu organických látek působením tepla, ale bez přístupu oxidačních médií.

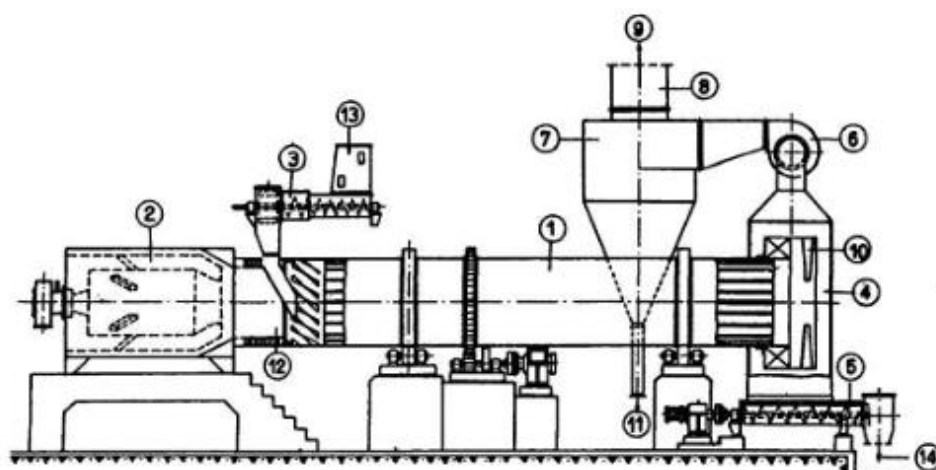
V praxi bývá pyrolýzní proces zpravidla dělen podle teploty do tří kategorií. Nízkoteplotní (teplota menší než 500°C), středněteplotní (500 – 800°C) a vysokoteplotní (větší než 800°C). Oproti tomu zplyňování je omezeno limitovaným přístupem vzduchu, za teploty 800 – 1300°C. Výstup z pyrolýzní technologie slouží především k výrobě elektrické a tepelné energie (Lee a kol., 2003).

4.12 Sušení kalů

Sušení kalů lze rozdělit na dvě základní metody – přímé, tzv. konvenční sušení a nepřímé sušení. U přímého sušení je teplo přiváděno rovnou k materiálu horkým plynem. Mezi základní typy sušáren přímého sušení patří pásová sušárna, fluidní a rotační bubnová sušárna.

Do rotační bubnové sušárny je kal přiváděn z jedné strany a prostřednictvím rotačního pohybu bubnu je transportován na druhý konec a současně přichází do kontaktu s velmi horkým plynem. Aby nedošlo k ucpání bubnu, musí přiváděný kal obsahovat více než 65% sušiny (Lyčková a kol., 2008). Rotační bubnová sušárna je znázorněna na obrázku 4.11.

Obrázek 4.11 – Rotační bubnová sušárna (Lyčková a kol., 2008).

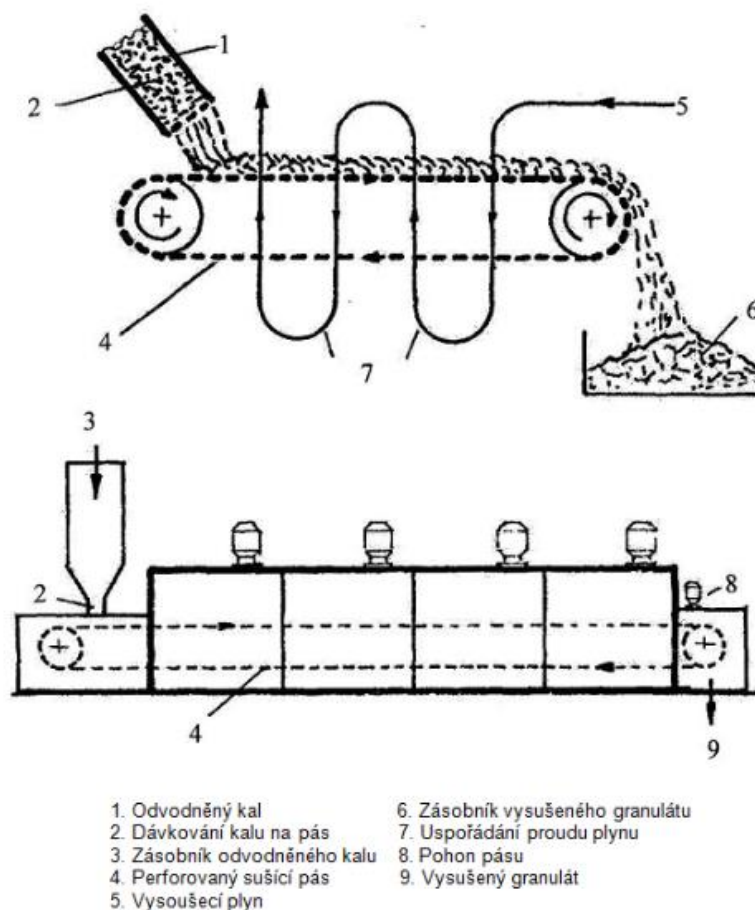


- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Buben sušárny | 8. Odvod brýd |
| 2. Hořák nebo ohřívák vzduchu | 9. Odtah |
| 3. Dopravník kalů | 10. Hradící zařízení |
| 4. Zásobník sušeného kalu | 11. Prach |
| 5. Šnekový vynašeč suchého kalu | 12. Napojení zdroje tepla k bubnu |
| 6. Ventilátor | 13. Zásobník odvodněného kalu |
| 7. Odlučovač prachu | 14. Usušený granulát |

Pásová sušárna je v horizontální poloze, kde kal je rozprostřen po pásu, který vykonává pomalý pohyb, z důvodu proudění teplotního média (horký vzduch). Aby bylo dosaženo co největšího a účinného sušení, je pás prodyšný. Přívod teplého vzduchu, spalin je buď pod pásem, nebo nad pásem a proudící médium je usměrněno

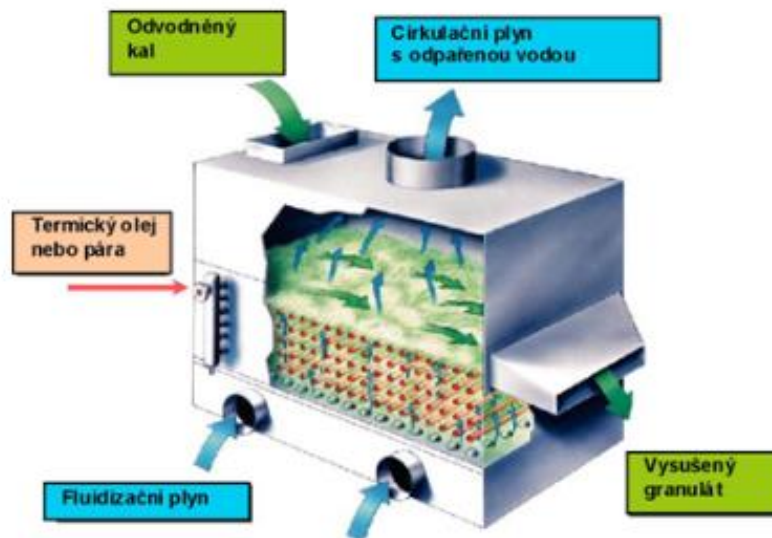
podél nebo proti směru pohybu pásů tak, aby bylo dosaženo maximálního vysoušecího efektu. Tento typ je znázorněn na obrázku 4.12.

Obrázek 4.12 – Pásová sušárna (Lyčková a kol., 2008).



Posledním typem je fluidní sušárna, u které je stálý kontakt uskutečňován prostřednictvím stoupajícího proudu plynů – turbulentní proudění. Částice jsou unášeny tak dlouho, až dojde k jejich úplnému vysušení. Dle typu kalu je obsah sušiny usušeného kalu v podobě granulí kolem 90%. Prouděním plynu je prach transportován do cyklónu a vrací se zpátky po smíšení s odvodněným kalem do sušárny. Fluidní vrstva může též obsahovat i tepelný výměník (Hauserová, 2005). Fluidní sušárna je vidět na obrázku 4.13.

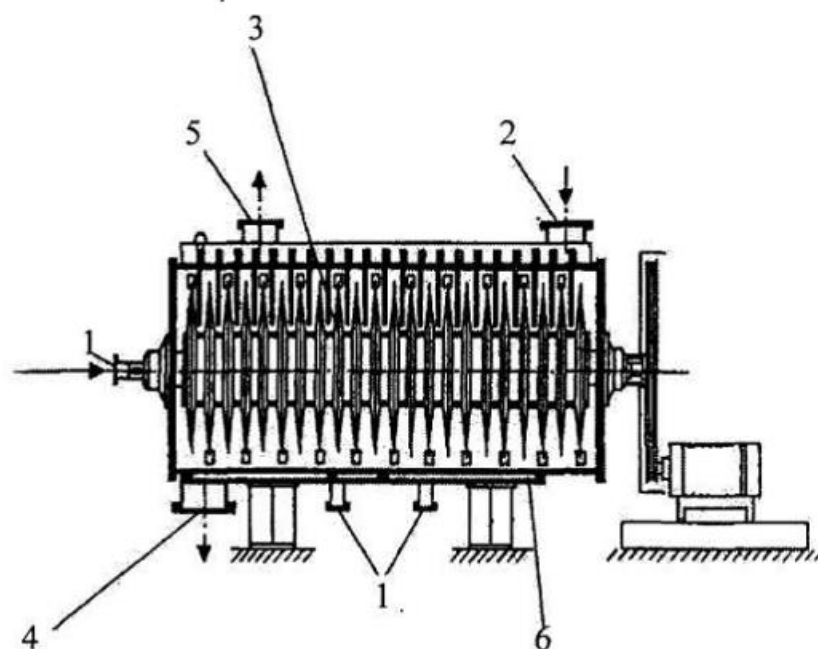
Obrázek 4.13 – Fluidní sušárna (Lyčková a kol., 2008).



U nepřímého sušení kalů je teplo vedeno k sušenému materiálu nepřímo díky tepelným plochám (kontaktní sušení). Médiem může být např. horký olej či pára.

Mezi nejběžnější technologie kontaktního sušení kalů patří diskové sušárny, kde konstrukčním prvkem je válcové těleso sušárny a vnitřek je tvořen vyhřívaným žebrováním – tvoří stator diskové sušiny (Šubrt, 2003). Schéma je zobrazeno níže na obrázku 4.14.

Obrázek 4.14 – Disková sušárna (Lyčková a kol., 2008).



1. Přívod páry
2. Přívod odvodněného kalu
3. Disky vyhřívané párou – rotor sušárny
4. Výstup usušeného kalu
5. Odtah brýd
6. Plášť sušárny

4.13 Ukládání na skládku

Pro ukládání čistírenských kalů na skládku je důležité, aby kal byl stabilizovaný a odvodněný. V České republice tento způsob nakládání s čistírenskými kaly je často využíván, zejména u menších čistíren odpadních vod. Dle MŽP (2016) k ukládání kalů na skládku se volí zejména skládky komunálního odpadu, které musí splňovat legislativní požadavky pro ukládání kalů.

4.14 Využití kalů v zemědělství

Tuto problematiku řeší legislativa zákonem č. 156/1998 Sb., o hnojivech a vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Aplikace zemědělských kalů na půdu je v ČR nejrozšířenější. Aby mohl být kal použit, musí splňovat řadu podmínek a technických kritérií. Zejména mezní hodnoty koncentrací rizikových látek v půdě, v kalech, mikrobiologická kritéria, dále pak postupy analýzy kalů a půdy včetně metod odebírání vzorků. Dalším požadavkem pro upravené kaly je jejich zakomponování do půdy do 48 hodin a minimální obsah sušiny by se měl pohybovat na hodnotách 5 – 18%. Mezní hodnoty vybraných látek v kalech pro aplikaci do zemědělské půdy jsou již uvedeny v tabulce 5.1.

Neopomenutelným dokumentem pro používání kalů na zemědělskou půdu je tzv. program použití kalů, který obsahuje vyhodnocení kalů a jejich použití na zemědělské půdě, hydrologické poměry v zájmovém území, plán odběrů vzorků, zařazení kalů do osevního postupu a opatření na ochranu zdraví při práci s čistírenskými kaly. Existuje řada tvrzení o tom, že aplikace kalů na zemědělskou půdu je určité riziko z hlediska obsahu organických polutantů a jiných rizikových prvků. Na druhou stranu, kaly z čistíren odpadních vod, pokud jsou upraveny dle legislativních požadavků a správně aplikovány na zemědělskou půdu, poskytují řadu výhod v dlouhodobém vlivu na obsah živin v půdě a obsahu organických látek při tvorbě humusu (biochemických vlastností půdy), (Lee a kol., 2003).

4.15 Kompostování čistírenských kalů

Podle Hlavínka a kol. (2002) je kompostování biochemický proces humifikace organických látek působením činností termofilních aerobních mikroorganismů. Veškerá činnost mikroorganismů podporuje rozklad organické hmoty za současného uvolňování tepla. Kompostování je nejčastěji realizováno v kompostárnách, kde se kal smíchá s plnivem (piliny, kůra stromů, sláma atd.) za účelem:

- zlepšení poměru obsahu dusíku a uhlíku,
- snížení obsahu vody – vlhkosti,

- zvýšení objemu pórů kalu pro podporu aerace směsi (Hlavínek a kol., 2002).

5. POPIS STÁVAJÍCÍHO KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČOV STRAKONICE

Obrázek 5.1 - Tok řeky Otavy s vyznačením polohy ČOV (Mapy.cz, 2017)



Obrázek 5.2 – ČOV (ČOV Strakonice)



Čistírna odpadních vod ve Strakonících je koncipována jako mechanicko-biologická. Po intenzifikaci ČOV v roce 2011 došlo k modernizaci strojního vybavení a hlavně kde změně technologie čištění odpadních vod. Z technologického procesu byla úplně vyřazena bio-filtrová linka a byla navýšena (zdvojnásobena) aktivační linka – zahrnující denitrifikaci a nitrifikaci. Navíc byla aktivační linka doplněna o nové nádrže regenerace kalu a anaerobního kontaktoru. Současná kapacita čistírny odpadních vod je 75 000 EO. Vyčištěná odpadní voda odchází do recipientu – vodního toku Otava (Provozní řád ČOV Strakonice, 2016).

5.1 Technologická linka ČOV

Mechanické čištění – primární stupeň čištění se skládá z:

lapáku šterku, hrubých rotačních česlí, lapáku písku, jímky tuků a dešťových zdrží.

Biologické čištění – sekundární čištění

Je realizováno pomocí aktivačních nádrží. Každá nádrž je rozdělena na jednu denitrifikační a nitrifikační zónu, které jsou od sebe odděleny pomocí dělící stěny. Denitrifikační zóna má kapacitu $2 \times 900 \text{ m}^3$. Přísun kyslíku do denitrifikační zóny zajišťuje čerpání aktivační směsi potrubím vnitřní recirkulace z odtoku nitrifikace pomocí ponorného vrtulového čerpadla.

Kapacita nitrifikačních zón je $2 \times 2700 \text{ m}^3$. V odtoku nitrifikačních zón jsou naistalována vrtulová čerpadla, umožňující vnitřní proudění mezi nitrifikační a denitrifikační zónou. Aerační systém zóny nitrifikace je konstruován pro každou linku 320 aeračními elementy. Množství potřebného vzduchu je dodáváno dmychárnou. V nitrifikačních zónách je vyústěno dávkovací potrubí síranu železitého (Provozní řád ČOV Strakonice, 2016). Nitrifikační zóna je znázorněna na obrázku 5.3.

Obrázek 5.3 – Nitrifikační zóna (ČOV Strakonice, 2016)



Dosazovací nádrže, jakož to uzavírající proces biologického čištění odpadních vod, jsou čtyři kruhové nádrže o objemu každé nádrže 1044 m^3 . Plocha, kterou tyto nádrže pokrývají, činí $4 \times 344 \text{ m}^2$. Tyto nádrže slouží k oddělování aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody, než dojde k vypuštění do recipientu. Každá dosazovací nádrž je vybavena pojezdovým mostem se stíráním a odčerpáváním plovoucích látek z hladiny. Odsání kalu probíhá hydraulicky a to do jímky vratného a přebytečného kalu, která je umístěna mezi dosazovacími nádržemi (Provozní řád ČOV Strakonice, 2016). Dosazovací nádrž je patrná na obrázku 5.4.

Obrázek 5.4 – Dosazovací nádrž (ČOV Strakonice, 2016)



5.2 Kalové hospodářství ČOV Strakonice

V ČOV Strakonice jsou všechny kaly, které jsou odváděny od primárních a sekundárních stupňů čištění dopravovány do vyhnívacích nádrží. Objem vyhnívací nádrže činí 1250 m³ (patrně z obrázku 5.5). Zahřívání kalů se provádí na teplotu 40°C a přepadem je kal z jedné nádrže transportován do druhé vyhnívací nádrže, kde dochází k dokončení stabilizačního procesu při teplotě 32°C. Denní produkce kalu v ČOV Strakonice se pohybuje mezi 8 – 15 tun kalu. Tento kal je vyvážen na kompostování do zařízení na skladování odpadů v Radomyšli. K provozu, zejména k zajištění promíchávání vyhnívacích nádrží slouží plynová kompresorovna, jakož součást plynového systému s dodávkou stlačeného kalového plynu (Provozní řád ČOV Strakonice, 2016). Technologické schéma ČOV Strakonice je uvedeno v příloze č. 1.

Obrázek 5.5 – Vyhnívací nádrže (ČOV Strakonice, 2016)



Odvodňování homogenizovaného vyhnílého kalu zajišťují na ČOV ve Strakonici dva sítopásové lisy s šířkou pásu 1,5 m. K dopravě odvodněného kalu od lisů se starají dva příčné pásové dopravníky a jeden dopravník na podvozku, který zajišťuje transport kalu do nákladního kontejneru k odvozu.

5.3 Hodnoty jednotlivých ukazatelů znečištění.

Tabulky za rok 2014, 2015 – znečišťující látky ve vyváženém přebytečném kalu ČOV Strakonice jsou uvedeny v příloze č. 2.

5.4 Srovnání průměrných hodnot kvality kalu z ČOV Strakonice s hodnotami uvedených ve vyhláškách pro různé možnosti využití

Porovnání výsledků kvality kalu, uvedených v příloze č. 3, vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě znázorňuje tabulka 5.1.

Tabulka 5.1 – Porovnání s vyhláškou č. 382/2001 Sb.

Riziková látka	Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech	Kal-Strakonice, průměrné hodnoty	Kal-Strakonice, průměrné hodnoty
	(mg. kg ⁻¹ sušiny)	2014	2015
As	30	17,75	22,5
Cd	5	0,87	0,73
Cr	200	47,6	51,13
Cu	500	141	149,16
Hg	4	1,43	1,29
Ni	100	39,63	42,73
Pb	200	20,13	24,38
Zn	2500	714	729,16
AOX	500	323,33	326
PCB	0,6	0,81	0,49

Kategorie kalů	Přípustné množství mikroorganismů (KTJ*) v 1 gramu sušiny aplikovaných kalů		
	termotolerantní koliformní bakterie	enterokoky	Salmonella sp.
I.	<10 ³	<10 ³	negativní nález
II.	10 ³ -10 ⁶	10 ³ -10 ⁶	nestanovuje se
Strakonice 2014	11969	712	negativní nález
Strakonice 2015	4493,8	676	negativní nález

Porovnání výsledků kvality kalu, uvedených v příloze č. 10, vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu uvádí tabulka 5.2

Tabulka č. 5.2 – Porovnání s vyhláškou č. 294/2005 Sb.

Ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota	Kal Strakonice 2014 (mg/kg sušiny)	Kal Strakonice 2015 (mg/kg sušiny)
Kovy				
As	mg/kg sušiny	10	17,75	22,5
Cd	mg/kg sušiny	1	0,87	0,73
Cr _{celkový}	mg/kg sušiny	200	47,66	51,13
Hg	mg/kg sušiny	0,8	1,43	1,29
Ni	mg/kg sušiny	80	39,63	42,73
Pb	mg/kg sušiny	100	20,13	24,38
PCB	mg/kg sušiny	0,2	0,81	0,49

Porovnání výsledků kvality kalu, uvedených ve vyhlášce č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologickými rozložitelnými odpady – vlastní kompostování, znázorňuje tabulka 5.3.

Tabulka 5.3 – Porovnání s vyhláškou č. 341/2008 Sb.

Sledovaný ukazatel	Jednotka	Výstupy (skupina 2)			Stabilizovaný biologicky rozložitelný odpad (skupina 3)	Kal Strakonice 2014	Kal Strakonice 2015
		Třída I	Třída II	Třída III			
As	mg/kg sušiny	10	20	30	40	17,75	22,5
Cd	mg/kg sušiny	2	3	4	5	0,87	0,73
Cr _{celkový}	mg/kg sušiny	100	250	300	600	47,6	51,13
Cu	mg/kg sušiny	170	400	500	600	141	149,16
Hg	mg/kg sušiny	1	1,5	2	5	1,43	1,29
Ni	mg/kg sušiny	65	100	120	150	39,63	42,73
Pb	mg/kg sušiny	200	300	400	500	20,13	24,38

Zn	mg/kg sušiny	500	1200	1500	1800	714	729,16
PCB	mg/kg sušiny	0,02	0,2	-	dle způsobu využití	0,81	0,49

Indikátorový mikroorganismus	Výstup	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu		Limit (nálezků/ KTJ)	Strakonice 2014	Strakonice 2015
<i>Salmonella spp.</i>	Rekultivační kompost/rekultivační digestát	nález v 50g	5		negativní	negativní	negativní
<i>Termotolerantní koliformní bakterie**</i>	Rekultivační kompost/rekultivační digestát	KTJ v 1 gramu	5	2	<10 ³		4493,8
				3	<50	11969	
<i>Enterokoky**</i>	Rekultivační kompost/rekultivační digestát	KTJ v 1 gramu	5	2	<10 ³	712	676
				3	<50		

Porovnání výsledků kvality kalu s vyhláškou č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva znázorňuje tabulka 5.4.

Tabulka 5.4 – Porovnání s vyhláškou č. 474/2000 Sb.

Ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota	Kal Strakonice 2014 (mg/kg sušiny)	Kal Strakonice 2015 (mg/kg sušiny)
As	mg/kg sušiny	20	17,75	22,5
Cd	mg/kg sušiny	2	0,87	0,73
Cr celk.	mg/kg sušiny	100	47,66	51,13
Hg	mg/kg sušiny	1	1,43	1,29
Ni	mg/kg sušiny	50	39,63	42,73
Pb	mg/kg sušiny	100	20,13	24,38
Zn	mg/kg sušiny	600	714	729,16
Cu	mg/kg sušiny	150	141	149,16

5.5 Vyhodnocení

Z výsledků porovnání je patrné, že kvalita kalu z ČOV Strakonice je poměrně dobrá a kal je možno použít jak přímo na půdu, tak i jako součást odpadu pro využití

na povrchu terénu, jakožto součást rekultivačních kompostů. Trochu problematičtější se jeví použití kalů jako součást hnojiva z důvodu překročení limitních hodnot těžkých kovů, zejména rtuti a zinku. To může být způsobeno i tím, že povrchové vody s podílem dešťových srážek jsou z této oblasti odváděny jednotnou kanalizací, tj. odpadní i dešťová voda je odváděna společně jedním potrubím. Důležitou zmínkou je i to, že limity pro použití odpadů na skládky jsou daleko přísnější, než limity pro rekultivační komposty.

6. VARIANTNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ ZPRACOVÁNÍ KALŮ

Návrh kompostárny v kombinaci se zařízením pro biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů.

6.1 Legislativa

Stavba zařízení pro biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů je z hlediska stavebního zákona stavbou, a tudíž podléhá územnímu a stavebnímu řízení. To samé platí i pro kompostárny. Výsledné územní rozhodnutí a stavební povolení vydává příslušný stavební úřad na základě poskytnutých dokladů a žádosti dle platné legislativy. Nezbytnou součástí dokončené stavby je žádost o uvedení stavby do užívání – kolaudace.

K žádosti by mělo být doloženo zejména:

- EIA podle zákona č. 100/2001 Sb. (do 1000 t/rok není povinná),
- projektová dokumentace s náležitostmi dle zákona č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb.
- souhlasné vyjádření vodoprávního úřadu dle § 17 č. 254/2001 Sb. vodního zákona
- povolení krajského úřadu dle § 14 zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech,
- vyjádření odboru životního prostředí,
- provozní a havarijní plán.

Navržena bude kompostárna na obrázku 6.1 na volné, vodohospodářsky zabezpečené ploše.

Obrázek 6.1 – Příklad kompostárny (projekční kancelář – Centroprojekt, 2016)



6.2 Charakter území a stavebního pozemku

Obrázek 6.2 – Zájmový pozemek (mapy.cz, 2017)



Plocha 4.563 m², ZPF, p.č. 1190/1 je k dispozici pro zařízení na zpracování biologicky rozložitelných odpadů a dalších 6.852 m² – ZPF, je určená pro uložení materiálu ke kompostování popř. hotového kompostu. Dále jsou pak na základě smlouvy s majiteli k dispozici pozemky p.č. 1190/31 a 1727, které leží v zájmovém území.

Vliv stavby na životní prostředí

Pokud budou dodržovány podmínky kompostovacího procesu tak, aby nedocházelo k narušení všech složek životního prostředí nad míru stanovenou předpisy, zejména zákon o vodách, zákon o ovzduší a zákon o ochraně přírody a krajiny, vliv stavby na životní prostředí bude minimální.

Zajištění vody a energie a napojení na technickou infrastrukturu

Ze stávajících zdrojů.

Napojení na dopravní infrastrukturu

K zájmovému pozemku je bezproblémový přístup ze stávající komunikace.

Zázemí pro obsluhu a parkování techniky

Obsluha bude využívat zázemí v budově stávající ČOV. Z hlediska parkování techniky bude využito stávajících zpevněných ploch u čistírny.

6.3 Účel užívání stavby

Zařízení pro zpracování biologicky rozložitelného odpadu by zpracovávalo jak kal a bioodpad města Strakonice tak i bioodpad z okolních obcí (Dražejov, Rovná, Droužetice, Radomyšl, Řepice...popř. Písek) i ze zemědělských družstev.

Zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů má k dispozici přibližně 4.563 m² a množství kalů, které by bylo ročně ke zpracování, dle informací z ČOV Strakonice činí cca 390 tun.

Vodohospodářsky zabezpečená plocha určená ke kompostování bude zabezpečena a udělána se záchytem kompostovacích šťáv v nepropustné jímce s vyspádováním. Vzniklá voda by se použila recyklací k zavlažování kompostu pro

získání vhodné vlhkosti a přebytečná voda by se likvidovala na ČOV. Promíchaný a nadrcený materiál bude zakládán do lichoběžníkových hromad. Ostatní práce spojené s přípravou materiálu budou probíhat mimo kompostovací plochu. Obrat materiálu na kompostárně je předpokládán 3 krát do roka a doba jednoho kompostovacího cyklu 3 – 4 měsíce.

Plocha kompostárny:

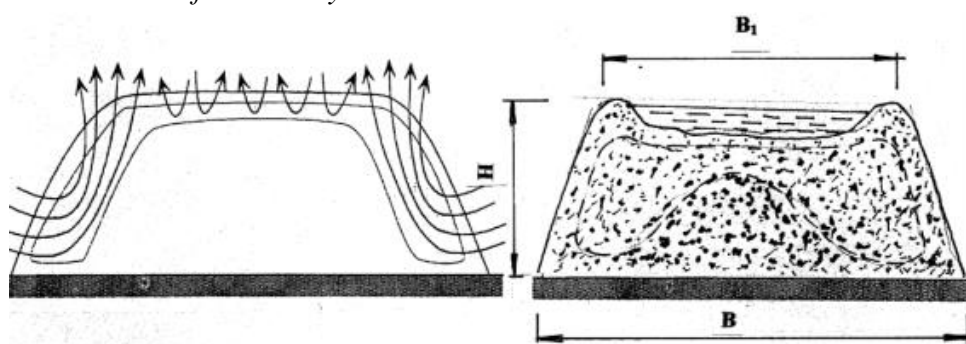
Vycházíme z dvou variant pro řešení a výpočet velikosti plochy a kapacity kompostárny:

- *známá je plocha a je nutné určit kapacitu kompostárny* (Plíva, 2009)
- *známo je množství zpracovávaných surovin a navrhujeme velikost kompostárny (plocha).*

6.4 Návrh příčného profilu a počtu hromad

Vzhledem k tomu, že bude kompostováno větší množství materiálu, profil hromad bude lichoběžníkového tvaru. Lichoběžníkový profil umožní podélné navážení traktorovými přívěsy a úpravu hromad nakladači. Šířka hromady bude 3 m a výška 1,5 m. Počet zakládek kompostu bude 10 a délka zakládky 30 m. Plocha pro pojezd techniky 2,5 m.

Obrázek 6.3 – Profil hromady



B1 – zvlhčovací rýha
H – výška hromady (1,5m)
B – šířka (2,5m)

6.5 Kapacita kompostárny

Tabulka 6.1 – Kapacita kompostárny

Počet hromad	10
Délka hromady	30 m
Plocha příčného profilu hromady	3,38 m ²
Počet ročních obrátek	3
Maximální objem 1 hromady	101,4 m ³
Kapacita 1 hromady při 1 cyklu	25,7 tun
Měrná hmotnost bioodpadu	365 kg/m ³
Kapacita kompostárny	670 t/rok

Pokud budeme brát v úvahu, že se budou kompostovat veškeré produkované kaly z čistírny odpadních vod Strakonice tj. 390 tun/rok.

Tabulka 6.2 – Přehled množství bioodpadu

Procento kalů z celkového množství bioodpadu (%)	Potřebné množství dovezeného bioodpadu (t)	Celkové zpracovávané množství (t)
20	892	1950
30	562	1300
40	397	975
50	237	780
60	105	650

Z kapacity kompostárny vyplývá, že veškerý kal by se mohl zpracovávat, jestliže by jeho kvalita umožnila jeho 60% podíl v celkovém množství. Z dostupných výsledků kvality kalu z ČOV Strakonice lze předpokládat, že by bylo možné zpracovávat celé jeho množství.

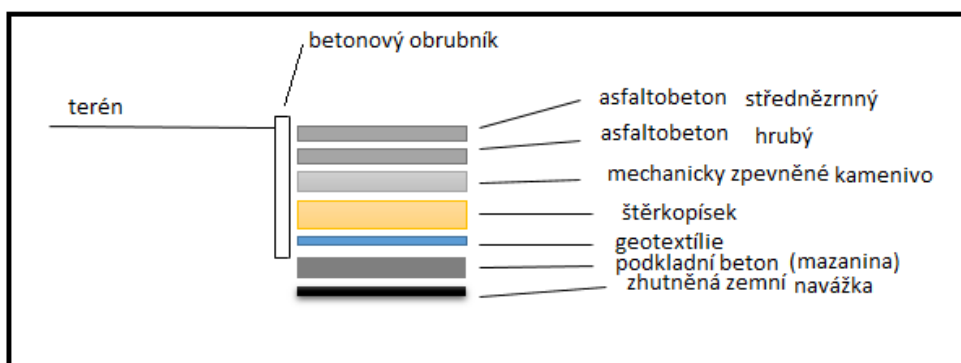
U nižšího procenta kalu by se část čistírenského kalu musela zlikvidovat jiným způsobem, protože kapacita kompostárny by byla nedostačující.

6.6 Návrh vodohospodářsky zabezpečené plochy

Minimální spád do jímky 2%.

Zabránění, aby nedošlo ke kontaktu zpracovávaných surovin s podzemní a okolní vodou. Rozměr plochy cca 50 x 35 m. Navržená zpevněná vodohospodářská plocha bude sloužit k odvodu srážkových vod a splachů z kompostu do jímky. Návrh zabezpečené plochy (profilu) je znázorněn na obrázku č. 6.4.

Obrázek 6.4. - Složení profilu vodohospodářsky zabezpečené plochy – vlastní návrh.



Pokud jde o plochy, které jsou určeny pro skladování materiálu ke kompostování, stabilizovaného kompostu a jeho dalšího zpracování, není potřeba tyto plochy v takové míře vodohospodářsky zabezpečovat.

6.7 Jímka

Jímka bude zřízena na kompostárně jako příslušenství ke kompostovací ploše a má sloužit k zachycování odpadní vody prosakující z kompostu a současně i srážkové vody. Jímka bude zapuštěna do terénu s minimálním vyvýšením okraje s možností přejezdu. Objemově bude jímka dimenzována na zachycení 15 minutového přívalového deště a dešťových srážek za 2 měsíce. Tekutina z jímky bude využívána k vlhčení kompostu. Při výpočtu objemu jímky musíme brát v potaz i to, že uskladněný kompost zachytí 75% srážkové vody, ale dojde až k 40% odparu. Obecně lze uvažovat, že odpar na manipulační ploše je do 30%. Údaje potřebné pro výpočet jsou:

- *Sběrná plocha s kompostem $S_b = 920m^2$*
- *Manipulační plocha $S_b = 1620 m^2$*
- *Roční průměrné srážky pro danou lokalitu: 600 mm*
- *Intenzita přívalového deště: 0,02 l/s.m²*
- *Koeficient odtoku: 0,25*

Podle Šlejška (2005) je výpočet objemu jímky:

$$Q = S_b \cdot O \cdot N_{\varepsilon}, [m^3], \text{ kde}$$

S_b – sběrná plocha v m^2

O – odtok v m^3 , tj. podíl z ročních průměrných srážek nezachycených kompostem

N_{ε} – neodpařená část pro volnou plochu 0,75 a plochu pokrytou kompostem je 0,6

Odtok srážek do jímky ze zaplněné plochy:

$$Q = 920 \times 0,150 \times 0,6 = 82,8m^3$$

Odtok srážek do jímky z manipulační plochy:

$$Q = 1620 \times 0,6 \times 0,75 = 729m^3$$

Celkový odtok do jímky za rok činí 811,8 m^3 , na dvouměsíční období připadá 135,3 m^3 .

Pro 15-ti minutový přívalový déšť se vychází ze vzorce:

$$Q = 0,9 \cdot E \cdot S_b \cdot r, [m^3], \text{ kde}$$

E – součinitel odtoku z výrobních ploch a pro sklon 1-5% má hodnotu 0,8

R – je nezredukováná intenzita 15 minutového přívalového deště $l/s.m^2$

0,9 – je 900 sekund (15 minut) / 1000 (převod z litrů na m^3)

Odtok přívalového deště ze zaplněné plochy:

$$Q = 0,9 \times 0,8 \times 920 \times 0,02 \times 0,25 = 3,31 m^3$$

Odtok přívalového deště z manipulační plochy:

$$Q = 0,9 \times 0,8 \times 1620 \times 0,02 = 23,33 m^3$$

Objem přívalového deště je celkem 26,64 m^3 a potřebná kapacita jímky 161,94 m^3 .

Maximální hladina vody v jímce musí být signalizována na objem bez přívalového deště tj. na 135,3 m³.

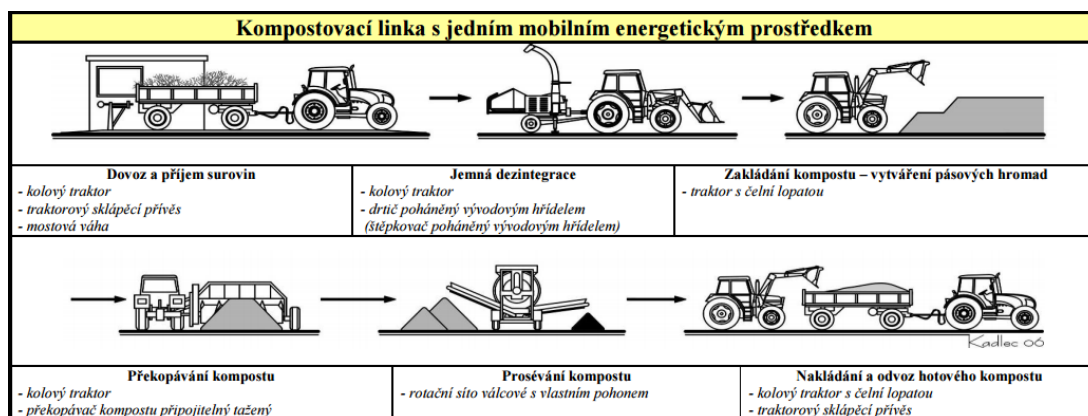
6.8 Projekt

V příloze č. 3 je znázorněn zákres (pozemek), kde bude plánovaná kompostárna se zařízením pro biologické zpracování biologicky rozložitelného odpadu. V této příloze je zakreslena plocha s navrženými zakládkami kompostu, vodohospodářsky zabezpečená plocha s jímkou, dále pak stání pro mechanizaci, objekt ČOV Strakonice a prostor pro uskladnění materiálu.

6.9 Stroje a zařízení

Navržená bude linka s jedním mobilním energetickým prostředkem – schéma linky je znázorněno na obrázku 6.5.

Obrázek 6.5 - Kompostovací linka s jedním mobilním energetickým prostředkem (Plíva a kol., 2008)



Pro příjem a odvoz surovin, pro nakládání, zakládání a odvoz kompostu bude sloužit kolový traktor s možností připojení čelní lopaty pro manipulaci se zpracovávanými surovinami. Kolový traktor je uzpůsoben pro nízkou (plazivou) rychlost se sklápěcím přívěsem a s malým poloměrem otáčení. Vhodným kolovým traktorem je HT Agri JCB, který je zobrazen na obrázku 6.6.

Obrázek 6.6. - Traktor JCB 411 HT Agri (Pekass, 2017)



Technická data:

- 4 – taktní motor s přímým vstřikováním Cummins QSB 6.7
- Výkon motoru 123 kW (165 koní)
- Max. objem lžíce 2,7 m³
- Pohon 4 x 4 s plně automatickou převodovkou ZF Smooth – Powershift s plazivou rychlostí (30 km/h)
- Zdvihový objem 6,7 l

Cena: 1 240 000,- Kč – traktor + nakladač čelní 340 000,- Kč (Pekass, 2017).

Pro nadrcení surovin bude sloužit drtič ZagoEcogreen 1150 GRU, který je na obrázku 6.7. Schopností drtiče je drtit suroviny na částice o objemu 0,6 – 6 cm³.

Technická data:

- Šířka stroje 2m
- Výkonost 43 m³/h.

Systém je tvořen ze dvou šneků pro rozřezávání a promíchávání materiálu. Hlavní předností tohoto stroje je, že je vhodný pro zpracování různých druhů méně

konzistentních složek, jako jsou např. kaly z čistíren odpadních vod a dalších druhů biologických odpadů (Energreen, 2017).

Cena: 1 150 000,- Kč.

Obrázek 6.7 - Drtič ZagoEcoGreen 1150 GRU (Energreen, 2017)



Obrázek 6.8 - Detail šneků drtiče odpadů ZagoEcoGreen 1150 GRU (Energreen, 2017)



Pro překopávání kompostu bude použit překopávač kompostu SMC ST 250 s dobrou kvalitou prokypření materiálu. Pracovní záběr stroje je uzpůsobená na šířku pásové hromady. Při použití překopávače se výrazně zkrátí produkční doba kompostovaného materiálu. Zkrápěním vody nebo urychlovači kompostu lze dovybavit překopávač kompostu. Příklad vhodného překopávače je znázorněn na obrázku 6.9 (Bestjh, 2017).

Obrázek 6.9 - Překopávač kompostu (Bestjh, 2017)



Cena: 570 000,- Kč + zavlažovací adaptér 74 250,- Kč.

Technické parametry:

- Pracovní rychlost 250 – 700 m/h
- Maximální výška a šířka zakládky 1700mm, 3200mm
- Rotor o délce 3000m
- Výkonost 1200 m³/h

Prosévač kompostu, rotační válcové síto pro finalizaci kompostu, které srovnává velikost zrn expedovaného kompostovaného materiálu. Prosévač kompostu je na obrázku 6.10.

Obrázek 6.10 - Prosévač kompostu SEKO (Faguspraha, 2017)



Cena: 320 000,- Kč

Technická specifikace:

- Příkon 3,9 kW
- Velikost síťových ok 25 x 25 mm
- Výkonost stroje 25 m³/h
- Prosévání materiál je dopravován pásem mimo stroj
- Průměr frakcí v prosetém substrátu maximálně 25 mm (Faguspraha, 2017).

6.10 Ekonomický odhad (náklady vs. výnosy)

Tento projekt by byl možný začlenit do osy 3.2 – zvýšení podílu materiálového a energetického využití odpadů programu Životního prostředí pro období 2014 – 2020. Nabízená podpora je ve výši až 85%.

Odhad ceny na pořízení kompostárny:

Vodohospodářsky zpevněná plocha = 1600 Kč/m² x 2050 m² = 3 280 000,- Kč

Jímka 165 m³ = 375 000,- Kč

Kolový traktor s čelním nakladačem = 1 580 000,- Kč

Stroj na drcení materiálu (drtič) = 1 150 000,- Kč

Překopávač kompostu se zavlažovacím adaptérem = 644 250,- Kč

Stroj na prosévání kompostu = 320 000,- Kč

Ostatní zařízení = 150 000,- Kč

Celkem = 7 499 250,- Kč.

Z operačního programu prioritní osy 3.2 lze čerpat z Fondu soudržnosti 85% a dále pak ze Státního fondu Životního prostředí 5%.

Výsledná částka, kterou by musela obec doplatit ze svého rozpočtu pro realizaci kompostárny se zařízením pro biologické zpracování biologicky rozložitelného materiálu, by činila 749 924,- Kč. Rozklad ceny: 85% dotace to je 6 374 363,- Kč a dále pak ze SFŽP 5% – to je 374 963,- Kč.

Z předešlých výpočtů vyplývá, že pořizovací náklady na realizaci kompostárny se zařízením na zpracování biologicky rozložitelného odpadu jsou poměrně vysoké, ale je možné žádat o dotaci, která by mohla pokrýt cca 90% nákladů. Do dalších nákladů je nutné započítat i náklady spojené s opravou strojů, pohonné hmoty a náklady na dopravu surovin. Ve srovnání s příjmy, které bereme v úvahu jako:

- Bioodpad a jeho zpracování – 240 až 970 Kč/tunu
- Prodej kompostu – do 1200 Kč/tunu
- Úspora za likvidovaný kal – cca 90 000 Kč/rok,

jsou náklady výrazně vyšší a návratnost investice velmi nízká. Je potřeba si však uvědomit, že i když kompostování nemá velký tržní přínos, je stále trvalým přínosem udržitelné technologie života.

7. DISKUZE

Zpracování čistírenských kalů je dosti probíraným tématem jak na evropské, tak i světové úrovni a zahrnuje různé metody, jak s čistírenskými kaly nakládat a jak je co nejlépe a nejefektivněji využívat. Literatura uvádí různé způsoby a druhy pro energetické a hospodárné využití kalů. Řada z nich je využívána v praxi, některé jsou v experimentální fázi a další ve zkušebním provozu. Kaly se dají využívat jak pro svoji energetickou hodnotu, tak i jako zdroj aplikace organických látek na půdu. V této diplomové práci se zabývám kompostovacím procesem v kombinaci s biologicky rozložitelným odpadem, který se bude mísit s čistírenským kalem a ukládat do kompostovacích hromad k dalšímu využití, zejména v zemědělství.

V poslední době se začíná prosazovat technologie kompostování ve vacích, zejména v USA a v Evropských zemích jako jsou Švédsko, Finsko a Velká Británie, kde se tento způsob začíná rozvíjet, tedy v zemích, kde je velký důraz kladen na ochranu životního prostředí. Tato technologie je výhodná z ekonomických důvodů – investičních nákladů, zejména úspory na vodohospodářsky zabezpečené plochy. Oproti tomu je nevýhodou to, že vzniká další odpad ve formě recyklovatelných vaků z polyetylenu a dle odborného článku z internetového portálu *enviweb.cz* je zapotřebí dbát při přípravě surovinové zakládky – zejména se jedná o poměr uhlíku a dusíku, homogenitu, poréznost a vlhkost.

Ve směrnici rady 1999/31/ES, o skládkách odpadu je definováno, že povinnost omezování skládkování biologicky rozložitelného komunálního odpadu se má omezit na 35% celkové hmotnosti (roku 1995 – 2016). Z nařízení vlády č. 1997/2003, o plánu odpadového hospodářství, plyne, že je nutné snížit maximální množství biologicky rozložitelných odpadů ukládaných na skládku na 35% hmotnostních z celkového množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů „BRKO“ pro rok 2020.

Z těchto výsledků vyplývá, že kompostování je jedno z efektivních řešení pro ukládání a následné „zpracování“ biologicky rozložitelných odpadů a do jisté míry je tak vyřešen problém „kam s bioodpadem“.

V této diplomové práci je navržena možnost jak zpracovávat čistírenské kaly spolu s biologicky rozložitelnými odpady, které by se do kompostárny neboli zařízení na zpracování biologicky rozložitelného odpadu svázely z města Strakonice a okolní spádové oblasti. Nádoby na biologicky rozložitelný komunální odpad jsou rovnoměrně rozmístěny jak v městě Strakonice, tak v okolních obcích.

Na základě vyhodnocení kvality kalu, který byl porovnán s limitními hodnotami vyhlášek pro různé možnosti využití lze konstatovat, že kal je vyhovující pro použití na zemědělskou půdu a popř. na rekultivační komposty. U parametrů, kde kal nevyhověl, je lehké překročení limitů těžkých kovů, to může být způsobeno i tím, že dešťové vody z povrchu jsou odváděny jednotnou kanalizací.

Vzhledem k tomu, že se bude zavádět do legislativy odpadového hospodářství povinnost pro obce určit systém nakládání s biologickou složkou komunálního odpadu rostlinného původu a tudíž poplatky za skládkování budou výrazně vyšší, je logické, že zařízení na zpracování biologického odpadu budou stále více využívána a vyhledávána.

I přesto, že ekonomická rozvaha pro takovéto zařízení nemá velký ekonomický přínos, má své neocenitelné vlastnosti, které ekonomika volného trhu nedokáže vyjádřit. V České republice je ekonomika ekosystémových služeb poměrně zanedbávána a není jí věnována dostatečná pozornost, přitom půda, která obsahuje dostatečné množství organické hmoty, může poskytnout hodnotné ekosystémové služby, které převýší ekonomické užitky pro případné využití území za ekonomickým účelem.

8. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou využití čistírenských kalů z ČOV. Produkci kalů nelze úplně zabránit, ale je možné snížit jejich množství a tím přispět k trvale udržitelné ekologické ochraně životního prostředí. Možnostmi využití jsou destrukční nebo recyklační metody. U destrukčních metod je kal spalován s využitím energie nebo bez využití popř. zplyňováním a u recyklačních metod se jedná o aplikaci hnojiv na půdu, pro rekultivace. Jedna z metod recyklačních je kompostování. Základní úlohou kompostu spočívá v udržení a obnově kvality půdy a organických látek, dále pak ke zvýšení její úrodnosti a navrácení energie zpět do půdy. Vzhledem k aplikaci průmyslových hnojiv ji půda bezesporu potřebuje. Stabilizovaný kal obsahuje neocenitelné a potřebné množství organické hmoty, a pokud kal svými parametry vyhoví legislativním požadavkům, může být pro půdu velkým přínosem.

Zařízení pro zpracování biologicky rozložitelného odpadu – kompostárna zpracovávající kaly z ČOV se díky nutnosti omezování skládkování bioodpadu stane efektivním zařízením pro smysluplné využití. Velkou obchodní hodnotu mají kvalitní produkty z kalů a praxe ukazuje, že některé kompostárny nemají problém s odbytem kalu hotového, ale dosti často se potýkají s nedostatkem zájemců (zákazníků) o kompost. Tento problém je ovlivněn regionem, kvalitou kompostu, legislativou a také managementem společnosti, která kompostárnu provozuje.

V diplomové práci je jako možnost využití čistírenských kalů navržena kompostárna, jakožto zařízení na zpracování biologicky rozložitelného odpadu pro další distribuci a aplikaci v zemědělství. Kompostárna se bude nacházet v těsné blízkosti stávající ČOV Strakonice a tak bude využívat i plného zázemí čistírny a propojí se tak funkce s užitkem. V úvahu je brána spádová oblast s okolními vesnicemi a zemědělskými podniky. Strojní vybavení a zařízení kompostárny bylo navrženo a upřednostněno od firmy, která má dlouholeté zkušenosti s těmito zařízeními a má zastoupení v dané lokalitě. Vzhledem k tomu, že se počítá s dotací na stavbu tohoto zařízení, uvažujeme s novou mechanizací, i když by připadalo v úvahu pořídit si i starší a použité mechanizace.

I přes velkou finanční pořizovací náročnost takového zařízení je v případě získání dotace realizace pro obec dosažitelná. Možná představa je i taková, že

nastane úzká spolupráce mezi drobnými zahrádkáři, zemědělci a obcí s městem v systému zpracování a využívání biologicky rozložitelných odpadů pro navýšení půdní úrodnosti v místě vzniku. Avšak na jedné straně stojí zemědělec, který potřebuje organickou hmotu pro udržení živin v půdě a její nedostatek tak zvyšuje náklady spojené s erozí pro obdělávání půdy a na používání pesticidů. Naproti tomu obec, která produkuje biologicky rozložitelný komunální odpad, který obsahuje velké procento organické hmoty, která dosti často končí na skládkách odpadů. Tento proces je finančně náročný a zatěžuje složky životního prostředí.

Legislativou (odklon biologické složky komunálního odpadu ze skládek) s nastavením vzájemné spolupráce obce a zemědělců, ale i obyvatel, kteří získají podvědomí o výhodách aplikace kompostu na půdu, je realizace kompostárny velmi výhodná. Již v dřívějších dobách se zdůrazňovalo, že hnojení půdy bioodpady (fekálie lidí a zvířat) je prospěšné a na podíl složky organických látek (humusu) výhodné.

Odborníci v oblasti kompostování v České republice se snaží o to, aby dlouhodobé hledisko starání se o půdu, nebylo přetlačeno krátkodobými ekonomickými zájmy. Z jejich výsledků vyplývá, že chybí globální a hlavně komplexní pohled na půdu, dále pak dotace nejsou kontrolovány, forma podpor není efektivní a dostatečně nejsou vyváženy požadavky pro příjemce o dotace. Poplatky za ukládání bioodpadu na skládky nezahrnuje negativní externality. Je nutné si uvědomit a apelovat na Ministerstvo zemědělství, aby vyneslo jasný signál, že ČR potřebuje organickou hmotu vracet do své půdy a tudíž je nutné a důležité bioodpad třídít.

Tato diplomová práce by mohla přispět k částečné osvětě lidí z hlediska péče o půdu, dále pak k podpoře spolupráce lidí s obcí a zemědělci z hlediska třídění odpadu a nakládání s biologicky rozložitelným odpadem, aby nedocházelo ke zbytečnému zatěžování skládek a složek životního prostředí. Vše souvisí se vším a kompostování a třídění odpadů má velký smysl a přínos jak pro současnou, tak budoucí generaci a prostředí kolem nás.

9. POUŽITÁ LITERATURA

- ARCEIAVALA S.J., ASOLEKAR S.R. (2007): Wastewater treatment for pollution, control and reuse. (3rd edition), Tata Mc Grew-Hill Publishing Company Limited, New Delhi , 511 s.
- Bestjh a.s. katalogové listy (2017). Dostupné <<http://www.bestjh.cz/kompostarny>>, [cit. 16.1.2017].
- BUTLER, David – DAVIES, John W. Urban drainage. Abingdon, Spon Press, 2004. 543s.
- CRITTENDEN, J. et al. Water treatment:Principles and design. Wiley, 2005
- DE WILDE W., RICHARD M., LESJEAN B., TANZI-PAIN A. (2007): Towards standardisation of MBR technology, IWA 4th International Membrane technologies Conference, 15.- 17. Maz 2007, Harrogate, UK
- DOHÁNYOS, M. (1994): Čištění odpadních vod. VŠCHT Praha, s. 68-81.
- DOHÁNYOS, M., KUTIL, J., ZÁBRANSKÁ, J. (2005): Možnosti využití energie z kalů. Odpadové fórum 8: 9-11.
- DOHÁNYOS, M., KUTIL, J., ZÁBRANSKÁ, J. (2004): Termická kondicionace kalu. Odpadové fórum 5: 18.
- DOHÁNYOS, M. Strategie nakládání s čistírenskými kaly. Odpadové fórum,
- DOHÁNYOS, M. (2006): Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>, [cit. 15.7.2016].
- DOHÁNYOS, M., ZÁBRANSKÁ, J. AND JENÍČEK, P. (1997): Enhancement of anaerobic sludge digestion by using of a special thickening centrifuge. Wat.Sci.Tech.36,11, 145-153
- DOHÁNYOS M., ZÁBRANSKÁ J., JENÍČEK P. (1997): Innovative technology for the improvement of the anaerobic methane fermentation. Wat. Sci. Tech. 36, No 6-7, 333-340.
- ENERGREEN, katalogové listy (2017). Dostupné <<http://www.energgreen.eu/technika.html>>, [cit. 16.1.2017]
- FAGUSPRAHA, katalogové listy (2017). Dostupné <<http://www.faguspraha.cz/zemedelska-technika.htm>>, [cit. 18.1.2017]
- FRANK, K. (2015): Nakládání s kaly z ČOV – informace ze semináře SOVAK ČR. SOVAK, 5: 41 – 44.

- HAUSEROVÁ, V. (2005): Zpracování kalů z čistíren odpadních vod. MZLU v Brně, s. 22.
- HENZE M., HARREMOËS P., ARVIN E. 2002 : Wastewater treatment. Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg-New York. ISBN 3-540-58816-7
- HENZE M., LOOSDRECHT M., EKANA G., BRDJANOVIC D. 2003: Biological wastewater treatment Principles, modelling and design. IWA Publishing, Cambridge University Press. ISBN 1843391880
- HLAVÍNEK, P., HLAVÁČEK, J. et al. (1996): Čištění odpadních vod praktické příklady výpočtů. NOEL 2000 s.r.o., 196 s.
- HLAVÍNEK, P., MIČÍN, J., PRAX, P. (2001): Příručka stokování a čištění. NOEL 2000. Brno, 251 s.
- HUSÁKOVÁ, K. (2015): Situace v nakládání s kaly z ČOV. SOVAK, 7 - 8: 27.
- CHUDOBA, P., SOUKUPOVÁ, Š. (2006): Energetická valorizace kalů. Odpadové fórum 9: 12-14.
- CHUDOBA P., DOHÁNYOS M., WANNER J. (1991): Biologické čištění odpadních vod, SNTL Praha.
- JAROLÍMOVÁ, V. (2015): Nakládání s kaly z ČOV pohledem České inspekce životního prostředí. SOVAK 7 – 8: 28.
- JENÍČEK, P., DOHÁNYOS, M., ZÁBRANSKÁ, J. (1999): Combined anaerobic treatment of wastewaters and sludges. Water Science and Technology 40: 85-91.
- KICKUTH R., 1977: Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant hydrosphere under limnic conditions, in: Utilization of Manure by Land Spreading, London.
- KOLEKTIV, sborník přednášek (2000): Technologie čištění průmyslových odpadních vod. Brno: Noel s.r.o.
- KOLEKTIV, sborník přednášek (1994): Využití kalů z ČOV. Praha: Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost.
- KOS, M. (2016): Čistírenský kal – obnovitelný zdroj pro výrobu paliva a hnojiva. SOVAK, 1: 16 – 20.
- KUPEC, J. (2002): Zpracování odpadních vod a čistírenských kalů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: UTB- Academia Centrum Zlín, s. 78-81, 95-98, 114-120
- LEE D.J., TAY J.H. (2003): Energy recovery in sludge management processes. IWA International Specialist Conf. BIOSOLIDS 2003 – Wastewater Sludge as a Resource, NTNU Trondheim, Norsko 23-25.

- LYČKOVÁ, B., FEČKO, P., KUČEROVÁ, R. (2008): Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. Technická univerzita VŠB, Ostrava. Dostupné z: <<http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/charakter.html>>, [cit. 15.7.2016].
- MATOUŠOVÁ, S. (2002): Možnosti využití odpadů živočišného původu. Brno: MZLU v Brně, s. 20-33.
- MŽP, (2016): Kaly z čistíren odpadních vod. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod>, [cit. 15.7.2016]
- OLSEN G., NEWELL B. (1999): Wastewater treatment systems modelling, diagnosis and control. London, IWA Publishing
- PEKASS. a.s. katalogové listy (2017). Dostupné <<http://https://www.pekass.eu/produkty/zemedelska-technika/>>, [cit. 15.1.2017]
- PLÍVA, P., ALTMANN, V., JELÍNEK, A., KOLLÁROVÁ, M., STOLAŘOVÁ, M. (2008): Technika pro kompostování v pásových hromadách. [Techniques for composting in belt heaps]. Praha: VÚZT, 72 s.
- Provozní řád ČOV Strakonice – Textová část, 2016. VAK JČ, České Budějovice.
- RACLAVSKÁ H. (2007): Technologie zpracování a využití kalů z ČOV, VŠB-TU Ostrava.
- RENSING, J. H. AND RULKENS W. H. (1997): Using metazoa to reduce sludge production. Wat.Sci.Tech.36, No 11,171-179.
- RUSSEL D.L. (2006): Practical wastewater treatment. John Wiley & Sons, Inc., USA
- SLAVÍČKOVÁ K., SLAVÍČEK M. (2006): Vodní hospodářství obcí 1 - Úprava a čištění vod. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 194 s.
- SVANSTRÖM M., MODELL M., TESTER J. (2003): Direct energy recovery from primary and secondary sludges by supercritical water oxidation. IWA International Specialist Conf. BIOSOLIDS 2003 – Wastewater Sludge as a Resource, NTNU Trondheim, Norsko 23-25.
- ŠUBRT, J. (2003): Nakládání s kaly z čistíren komunálních odpadních vod. ODPADY 5: 20.
- TCHOBANOGLIOUS, George – BURTON, Franklin (2005) -Wastewater engineering Treatment, disposal, and reuse. New York, Osborne-McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-100824-1. 1334s.

ZÁBRANSKÁ J., DOHÁNYOS M., JENÍČEK P., KUTIL J. (2000): Thermophilic process and enhancement of excess activated sludge degradability - two ways of intensification of sludge treatment in the Prague Central Wastewater Treatment Plant. *Wat. Sci. Tech.*, 41(9), 265-272.

Legislativní zdroje:

Vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě

Vyhláška 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

Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

Vyhláška č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva

Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb

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

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

Zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí)

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

- Obrázek 4.1 – Obecné zpracování čistírenského kalu
- Obrázek 4.2 – Produkce kalů a způsob jejich zneškodnění v ČOV
- Obrázek 4.3 – Obecný postup zpracování kalů
- Obrázek 4.4 – Schéma odděleného odebírání kalu ze systému
- Obrázek 4.5 – Schéma společného odebírání kalu ze systému
- Obrázek 4.6 – Sítopásové lisy kalu
- Obrázek 4.7 – Kalolis
- Obrázek 4.8 – Odstředivka kalu
- Obrázek 4.9 – Kalové pole
- Obrázek 4.10 – Schéma topenišť
- Obrázek 4.11 – Rotační bubnová sušárna
- Obrázek 4.12 – Pásová sušárna
- Obrázek 4.13 – Fluidní sušárna
- Obrázek 4.14 – Disková sušárna
- Obrázek 5.1 – Mapa toku řeky Otavy s vyznačením polohy ČOV
- Obrázek 5.2 – ČOV
- Obrázek 5.3 – Nitrifikační zóna
- Obrázek 5.4 – Dosazovací nádrž
- Obrázek 5.5 – Vyhnívací nádrže
- Obrázek 6.1 – Příklad kompostárny
- Obrázek 6.2 – Zájmový pozemek
- Obrázek 6.3 – Profil hromady
- Obrázek 6.4 – Složení profilu vodohospodářsky zabezpečené plochy
- Obrázek 6.5 – Kompostovací linka s jedním mobilním energetickým prostředkem

Obrázek 6.6 – Traktor JCB 411 HT Agri

Obrázek 6.7 – Drtič ZagoEcogreen 1150 GRU

Obrázek 6.8 – Detail šneků drtiče odpadů ZagoEcogreen 1150 GRU

Obrázek 6.9 – Překopávač kompostu

Obrázek 6.10 – Prosévač kompostu SEKO

Tabulka 4.1 – Produkce kalu

Tabulka 4.2 – Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech

Tabulka 4.3 – Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě.

Tabulka 4.4 – Nejvýše přípustné koncentrace škodlivin v sušině odpadů.

Tabulka 4.5 – Limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků

Tabulka 4.6 – Střední doba zdržení kalu

Tabulka 5.1 – Porovnání s vyhláškou č. 382/2001 Sb.

Tabulka 5.2 – Porovnání s vyhláškou č. 294/2005 Sb.

Tabulka 5.3 – Porovnání s vyhláškou č.341/2008 Sb.

Tabulka 5.4 – Porovnání s vyhláškou č. 474/2000 Sb.

Tabulka 6.1 – Kapacita kompostárny

Tabulka 6.2 – Přehled množství bioodpadu

11. PŘÍLOHY

Příloha č. 1 – Technologické schéma ČOV Strakonice

Příloha č. 2 - Tabulky za rok 2014 a 2015 – znečišťující látky ve vyváženém přebytečném kalu ČOV Strakonice

Příloha č. 3 – Púdorysné řešení kompostárny