



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

NAKLÁDÁNÍ S KALY Z ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD V SOUVISLOSTI S DOPRAVOU A TERMICKÝM ZPRACOVÁNÍM KALŮ

SLUDGE DISPOSAL FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN CASE OF TRANSPORT
AND SLUDGE INCINERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ALENA PETŘÍČKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LUKÁŠ FRÝBA

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Alena Petříčková

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nakládání s kaly z čistíren odpadních vod v souvislosti s dopravou a termickým zpracováním kalů

v anglickém jazyce:

Sludge disposal from wastewater treatment plants in case of transport and sludge incineration

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proč se vůbec kaly zabývat?

Kaly obsahují:

anorganickou hmotu (především dusík, fosfor, draslík, vápník a hořčík)

-vynikající hnojivo

organickou hmotu

-přispívá k regeneraci půd

obsahují však také řadu škodlivin (především těžké kovy)

-kontaminace půd

-kaly není možné využívat jako hnojivo zemědělských půd bez jakékoliv úpravy, která by zabránila šíření škodlivých látek

Možná řešení jak snížit škodlivost kalů:

využití jejich energetického potenciálu spalováním kalů ve spalovnách odpadů

Spalování kalů přímo v areálu ČOV a výroba el. energie

energetické využití kalů je běžným postupem v nakládání s kaly v řadě vyspělých zemí EU

Důležitá poznámka:

Veškeré další informace a upřesnění údajů včetně grafických interpretací naleznete na webových stránkách

<http://www.upei.fme.vutbr.cz/studium/temata-bakalarskych-praci-2014-2015>

nebo přímo u garanta zadání, který Vám vše rád osobně vysvětlí.

Cíle bakalářské práce:

Seznámení se s problematikou (současné možnosti nakládání s kaly a způsoby jejich úpravy a snižování obsahu vody)

Úprava a možnosti nakládání s kaly (Požadavky na kvalitu, doprava a způsoby další úpravy)

Technologie používané ke sušení kalů (principy, používaný zdroj energie, vedlejší produkty, účinnost)

Sumarizace produkce a nakládání kalů v rámci České Republiky na úrovni ORP a pomoc při vývoji výpočtového nástroje NERUDA

Seznam odborné literatury:

Lucie Houdková, Ladislav Bébar, Josef Kutil, Michal Touš, Efektivní energetické využití kalů z ÚČOV Praha, Zborník konferencie Ochrana ovzdušia 2008, p. 35-39, Proceedings AIR PROTECTION, KONGRES management s.r.o., 26.-28. november 2008, Vysoké Tatry – Šrbské Pleso, Slovenská republika, ISBN 978-80- 89275 –14-4

Pavel Štásta, Jaroslav Boráň, Ladislav Bébar, Petr Stehlík, Jaroslav Oral, Thermal processing of sewage sludge Applied Thermal Engineering 26 (2006) 1420–1426

L. Houdková, J. Boráň, V. Ucekaj, P. Stehlík: Impact of sewage sludge dewatering on economic and environmental balance of high capacity waste water treatment plant, In 17th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2006, 7th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2006, August 27-31, 2006, Praha

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Frýba

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá problematikou nakládání s kaly s ohledem na legislativu, způsobem jejich úpravy a technologiemi sušení. Dále se teoretická část věnuje dopravě spojené s kaly. Praktická část obsahuje výpočet spalného tepla a výhřevnosti. Dále se tato část zabývá sumarizací produkce a zpracování kalů, analýzou těchto dat a vyvozením přehledu o hmotnostním toku kalů v rámci celé České republiky na úrovni ORP.

Klíčová slova: kaly z ČOV, nakládání s kaly, sušení kalů, doprava kalů, spalné teplo, výhřevnost, hmotnostní tok kalů

Abstract

The bachelor's thesis in theoretical part deals with the disposal of sludge with respect to legislation, method of sludge treatment and drying technologies. This part is also dedicated to traffic connected with sludge. The practical part includes the calculation of combustion heat and calorific value. This section is also deals with summarization production of sludge and sludge treatment, analysis of these data. This part also includes an overview of the mass flow of sludge across the Czech Republic at locations with extended powers.

Keywords: sludge from wastewater treatment plants, sludge treatment, sludge drying, transport sludge, combustion heat, calorific value, mass flow sludge

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala.

V Brně

Dne 26. 5. 2015

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Lukáši Frýbovi za odborné vedení a podporu při vypracování této bakalářské práce.

Alena Petříčková

Bibliografická citace mé práce:

PETŘÍČKOVÁ, A. *Nakládání s kaly z čistíren odpadních vod v souvislosti s dopravou a termickým zpracováním kalů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Frýba.

OBSAH

1 ÚVOD	11
2 STRUČNÝ POPIS ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD	12
2.1 MECHANICKÉ ČISTĚNÍ.....	12
2.1.1 Předčištění.....	12
2.1.2 Primární čištění.....	12
2.2 BIOLOGICKÉ ČISTĚNÍ.....	13
2.2.1 Biologické aerobní čištění.....	13
2.2.2 Dosazovací nádrže	14
2.3 TERCIÁLNÍ STUPEŇ ČISTĚNÍ.....	14
2.3.1 Fyzikálně – chemické metody.....	14
2.4 OBJEKT ODTOKU	14
2. 5 SHRNUTÍ ROZDĚLENÍ KALŮ.....	15
3 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ	16
3. 1 ČISTÍRENSKÝ KAL	16
3. 2 ÚPRAVY KALU.....	16
3.2.1 Zahušťování kalu.....	17
3.2.2 Předúprava.....	17
3.2.3 Stabilizace a hygienizace kalu.....	18
3.2.4 Odvodňování kalu	20
4 NAKLÁDÁNÍ S KALY	23
4.1 ZEMĚDĚLSKÉ VYUŽITÍ A REKULTIVACE.....	25
4.1.1 Přímá aplikace do půdy.....	25
4.1.2 Kompostování kalů.....	25
4.2 SKLÁDKOVÁNÍ	26
4.3 TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ.....	26
4.3.1 Sušení kalů.....	27
4.3.2 Energie ve formě tepla	27
4.3.3 Energie ve formě plynu	28
5 TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ	30
5.1 ENERGIE OBSAŽENÁ V KALECH	30
5.1.1 Složení kalu s vlivem na hoření.....	30
5.1.2 Obsah energie	30
4.1.4 Vztahy pro spalná tepla a výhřevnost	31
6 DOPRAVA	32
6.1 POTRUBNÍ DOPRAVA	32
6.2 SILNIČNÍ DOPRAVA.....	32
7 LEGISLATIVA	34
8 VÝPOČET SPALNÉHO TEPLA A VÝHŘEVNOSTI	36
9 SUMARIZACE DAT	38
10 ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:	42

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	44
SEZNAM OBRÁZKŮ	45
SEZNAM TABULEK.....	45
SEZNAM GRAFŮ	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

1 Úvod

Čistírenský kal je odpadní látkou při čištění odpadních vod. Tyto vody jsou vyprodukovány každodenní lidskou činností v domácnostech, průmyslu nebo službách.

V čistírnách odpadních vod se z této vody klasickým čistírenským postupem odstraňují nežádoucí látky. Hlavním výchozím produktem je vyčištěná voda splňující ustanovené normy, vedlejším produktem je kal. Cílem čištění odpadních vod je minimalizovat dopady na životní prostředí.

Kaly jsou odpadní látkou, proto nastává problém s jejich následným zpracováním. Nezbytnou součástí je úprava kalů, zejména stabilizace a hygienizace pro odstranění nebezpečných patogenních látek. Neméně důležitou úpravou je snížení obsahu vody. Takto upravený kal je možné přepravovat k dalšímu nakládání.

Při nakládání s kalem máme několik možností jako je uskladnění, recyklace a případná likvidace. Všechny tři případy musí splňovat podmínky dané legislativou s ohledem na životní prostředí, ekonomickou stránku a dostupné technologie.

Nejprospěšnější metodou je recyklace, při které je kal s obsahem organických živin dále využit. Například v zemědělství jako náhrada průmyslových hnojiv. Nejméně prospěšnou metodou je skládkování. Likvidační metody zahrnují termické spalování kalů, kde je využita energie obsažená v kalu v podobě plynu nebo tepla.

V souvislosti s rostoucím počtem obyvatel, rozvojem měst, průmyslu a zvyšujícím se počtem čistíren odpadních vod narůstá i množství kalů. Na vyprodukované množství mají také vliv rostoucí požadavky na kvalitu vypouštěné vody, proto je důležité se touto problematikou zabývat.

2 Stručný popis čistírny odpadních vod

Čistírna odpadních vod neboli ČOV je zařízení, které slouží k čištění odpadních vod (OV). Tedy vod, kterým byly změněny vlastnosti lidskou činností a vody ze srážek. Technologická skladba jednotlivých zařízení je odlišná, vliv na tuto skladbu mají níže uvedené základní parametry.

Základní parametry:

- Znečištění, množství a složení odpadních vod
- Požadavky na kvalitu vyčištěných OV, dle legislativy
- Maximální a minimální teplota OV
- Možnosti konečného využití produktů z ČOV (kal, bioplyn, písek)

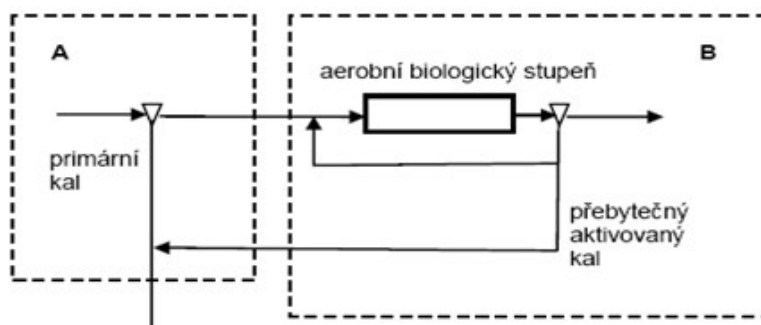
Čistění můžeme rozdělit na 3 hlavní části mechanické, biologické a chemické.

2.1 Mechanické čištění

Zajišťuje odstranění nerozpuštěných látek. Přítok na ČOV je veden přes nátokový objekt, jehož součástí je stavidlová komora sloužící k řízení množství přítoku a dešťové zdrže, která eliminuje náhlé přítoky dešťových vod.

2.1.1 Předčištění

Šnekovým čerpadlem jsou OV čerpány přes lapák šterku, kde vlivem tíhové síly dochází k usazení šterků. Dále pokračuje do česlovny. Pomocí česel dojde k odstranění plovoucích nečistot, díky cezení vody přes otvory (odpad má katalogové číslo 19 08 01). Dále voda prochází přes lapák písku (odpad má katalogové číslo 19 08 02) a lapák tuků. Lapák tuků funguje díky vztlakové síle a rozdílu hustot. [4]



Obr. 1 Schéma kalového hospodářství

(A – primární čištění odpadních vod, B - biologické aerobní čištění s recyklem aktivovaného kalu

2.1.2 Primární čištění

Je zobrazeno na schématu na Obr. 1. Znečištěná voda zbavená hrubých nečistot se přečerpává do usazovacích nádrží (na Obr. 2). Tato část mechanického čištění je nejdůležitější, odstraní 40 až 70% nerozpuštěných, rozptýlených látek. Dochází zde k primární sedimentaci, tedy k separaci OV tzv. frakcí na 3 části:

- Primární kal

- Částečně vyčištěná voda
- Povrchový odpad

Primární kal vzniká usazováním na dně nádrží a dále se přečerpává do vyhnívací nádrže. [7]



Obr. 2 Dosazovací nádrž [5]

2.2 Biologické čištění

Biologické čištění je proces, při kterém se využívá aerobních nebo anaerobních biochemických pochodů. Vykonavatelem procesu jsou bakterie, které rozkládají metabolickými procesy a za účasti enzymů organické látky. Tímto rozkladem získávají potřebnou energii pro fungování a růst.

2.2.1 Biologické aerobní čištění

Probíhá v aktivačních nádržích s dmychadly (obr. 3). Do nádrží je přiváděna odpadní voda z usazovacích nádrží a vratný aktivovaný kal dohromady nazýváno jako aktivační směs.

Aktivační proces je založen na kultivaci (rozmnožování) mikroorganismů. Kultivace je zajištěna přísunem organické hmoty a provzdušňováním nádrží pomocí dmychadel. Součástí procesu je i redukce nutrientů – tedy dusíku a fosforu.

Biologické odstraňování dusíku se skládá z několika reakčních procesů, nitrifikace a následné denitrifikace. Tedy prvotní oxidace dusíkatých látek na dusitany a dusičnany a následné redukce dusitanů a dusičnanů za vzniku plynného dusíku a oxidu dusného.

Biologické odstraňování fosforu se řeší pomocí srážení solí Fe^{3+} v několika stupních čištění nebo využitím kultivovaných PP bakterií s využitím anaerobní nádrže.

2.2.2 Dosazovací nádrže

V dosazovacích nádržích dochází k sekundární sedimentaci. Usazený aktivovaný kal na dně nádrží a vyčištěná voda, která následuje do odtokové části. Kal se dělí na vrátný aktivovaný kal, který se navrácí do aktivační nádrže a na aktivovaný přebytečný kal (odpad má katalogové číslo 19 08 05), který je přečerpán do vyhnívací nádrže. Tento kal s katalogovým číslem 19 08 05, hraje nejvýznamnější roli v kalovém hospodářství, budeme se jím zabývat po zbytek bakalářské práce.[4]



Obr. 3 Aktivační nádrž [5]

2.3 Terciální stupeň čištění

Využívá se jej, pokud je kladen větší požadavek na kvalitu vypouštěné vody do recipientu¹. Jedná se o dávkování chemikálií a další metody čištění. Nejvíce rozšířenými metodami jsou filtrace přes aktivní uhlí nebo filtrace odtoku, kde jsou využívány pískové filtry, membránová filtrace atd.

2.3.1 Fyzikálně – chemické metody

Mezi tyto metody řadíme čiření, tedy koagulaci a srážení. Dále neutralizaci, oxidaci a redukci.

2.4 Objekt odtoku

Na odtoku jsou zařízení pro měření množství a kvality vyčištěné vody odváděné z dosazovacích nádrží do recipientu.

¹ Recipient - nádrž nebo vodní tok odvádějící v povodí povrchovou vodu, vodu z přítoků a odpadní vody

2. 5 Shrnutí rozdělení kalů

Primární kal

- vzniká z primární sedimentace v usazovacích nádržích
- obsahuje větší množství organických látek než sekundární
- má sklon k rychlému rozkladu

Sekundární kal

- vzniká ze sedimentace sekundární v dosazovacích nádržích, dále jej můžeme dělit na:
 - o Aktivovaný vratný kal – navrací se se zpět do oběhu ČOV
 - o Aktivovaný přebytečný kal – dále se zpracovává

Surový/směsný kal

- kombinace primárního a sekundárního kalu
- vyznačuje se vysokou reaktivitou

Chemický kal

- směs hydroxydů a forforečnanů železa nebo hliníku

Stabilizovaný a hygienizovaný kal

3 Kalové hospodářství

3.1 Čistírenský kal

Čistírenský kal je charakterizován jako směs obsahující nejméně 2 složky. Alespoň jednu složku v kapalném stavu a druhou ve stavu tuhém vytvářející dohromady heterogenní suspenzi. Tato suspenze obsahuje jak látky organické, tak anorganické látky.

Konzistence kalů je důležitou vlastností, označuje se jako množství sušiny v kalu a udává se v g/l nebo v %. Sušina se obvykle pohybuje do 10%.

Odpadní kal tvoří až 80% znečištění, které je obsaženo v čištěné OV. Množství kalů se odvíjí od stupně čištění vod. Z tohoto důvodu je značná část nákladů na chod ČOV věnována právě kalovému hospodářství. Zejména se jedná o chemické znečištění, znečištění patogenními mikroorganismy a těžkými kovy.

Obsah a množství kalů nelze jednoznačně uvést. Odlišuje se na základě místních faktorů například místní průmyslná výroba, stupeň čištění odpadních vod nebo technologie zpracování kalů.

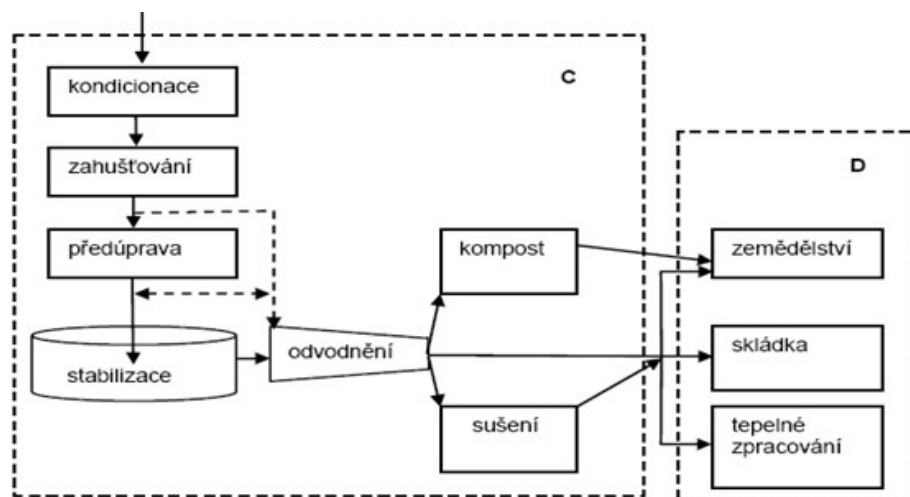
Kal obsahuje přibližně 60 – 70 % organických látek a 40% anorganických. Značnou část kalu tvoří voda, dále jsou obsaženy látky jako dusík, fosfor, draslík, sloučeniny železa a křemíku. Mezi nebezpečný obsah kalu řadíme těžké kovy a patogenní organismy.

3.2 Úpravy kalu

Jedná se o procesy, kterými kal dále upravujeme. Cílem těchto procesů je snížení objemu, redukce zápachu a umožnění širšího využití kalů. Rozdělení je možné vidět na obrázku (obr. 4.)

Mezi tyto procesy patří:

- Zahušťování
- Předúprava
- Stabilizace a hygienizace
- Odvodňování



Obr. 4 Schéma kalového hospodářství – část úprava a zpracování [6]
 (C – operace úpravy a stabilizace kalu, D- následné využití kalu, likvidace)

3.2.1 Zahušťování kalu

Cílem tohoto procesu je snížení objemu, což vede k výraznému snížení nákladů na následné zpracování. Z kalové suspenze je odstraněna část vody, čímž se zvýší koncentrace obsahu tuhých částic. Optimální obsah sušiny je 5-6%. [7]

Gravitační zahušťování

Při této metodě se využívá rozdílu hustot mezi látkami. Hustější kal klesá ke dnu, kde je shrabován a čerpán dále. Obvykle je zahušťovací nádrž kruhového tvaru.

Bývá využito pro primární kal

Tlaková Flotace

Principem této metody je vhnění plynu do kalové suspenze. Tímto se vytvoří mikrobublinky, které na sebe navážou kalové částice a vynesou je k hladině, kde vytvoří plovoucí vrstvu. Je možné dosáhnout zahuštění, při použití organických flokulantů, 4 – 5 % sušiny. [7]

Této metody se využívá především pro přebytečný aktivovaný kal.

Strojní způsoby

- **Zahušťovací odstředivky**

S výhodou používáme k zahuštění zejména přebytečného a primárního kalu bez přidání organických flokulantů. Výhodou je neunikání zápachu do ovzduší, naopak nevýhodou jsou vyšší náklady na údržbu a energie.

Dekantační odstředivka

Pracuje na principu rozdílné hustoty mezi vodou a částicemi kalu stejně jako gravitační zahušťování.

Lyzační odstředivka

Využívá se ke zvýšení účinnosti anaerobní biologické stabilizace. Kromě obvyklého zahuštění kalu je obohacena o novou technologii. Která je založena na rozrušení přebytečného aktivovaného kalu za vzniku buněčného lyzátu. K rozrušení (desintegraci) buněčných stěn a membrán organismů dochází také přirozenou cestou, ale díky lyzačnímu zařízení je tento proces urychlen a umocněn.

- **Sítopásové lisy**

Při tomto způsobu zahušťování je nutné použít polymerní flokulanty a provést kondicionaci kalu. Po té je obsah filtrován, nejdříve samovolně poté pod tlakem. Lze dosáhnout koncentrace sušiny 20 – 30%. [3]

- **Rotační síta**

- **Sítové zahušťovače**

3.2.2 Předúprava

Jedná se o možnou, ne nutnou mezifázi před stabilizací. Dochází ke snižování množství stabilizovaných kalů a jejich desintegraci. Tedy o rozrušování substrátu na menší částice, za vzniku buněčného lyzátu. K tomuto účelu se využívá vysokotlakových homogenizátorů, ultrazvuku a termickou nebo chemickou hydrolýzou.

3.2.3 Stabilizace a hygienizace kalu

Hygienizace je proces, při kterém dochází k usmrcování škodlivých organismů. Metody můžeme rozdělit na:

- chemické – hygienizace silnými oxidačními činidly (H_2O_2 , O_3)
- fyzikální – hygienizace teplotou, ultrazvukem, radiací

Proces hygienizace může být prováděn současně se stabilizací. Jako například při aerobní nebo anaerobní termofilní stabilizaci.

Může být prováděna jako předúprava před stabilizací a to především pomocí ultrazvuku, radiace nebo pasterizace (fyzikální metody). Hygienizace pomocí ozonu (chemické metody).

Stabilizace je proces přeměny biologicky rozložitelných organických látek na látky minerální. Tedy o snížení obsahu organické hmoty a tím i sušiny. V praxi se stabilizace provádí s přihlédnutím na následné nakládání s kaly. Stabilizovaný kal nepáchne a je nezávadný z hygienického hlediska.

Stabilizační metody dělíme

- Dle oxidačně redukčních podmínek
 - Anaerobní metody
 - Aerobní metody
- Dle teploty procesu
- Dle chemických podmínek

Anaerobní biologická stabilizace

Tato metoda probíhá za nepřístupu vzduchu, můžeme se setkat také s označením vyhnívání nebo metanizace. Metanizace je soubor procesů, kde dochází k rozkladu biologicky rozložitelných organických látek díky mikroorganismům. Při tomto rozkladu vzniká biomasa, nerozložitelné zbytky organické hmoty a uvolňuje se bioplyn (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S).

Metoda se provádí ve vyhnívacích nádržích (na Obr. 5) a je nutné, aby byl obsah míchán. K tomuto se využívají mechanická míchadla, čerpadla nebo vháněný bioplyn. Při vyhnívání je důležité dodržovat teplotu. Vyhnívacích nádrží je několik druhů, nejstarším druhem jsou šterbinové nádrže. Dále je můžeme rozlišit na nevyhřívané (otevřené) a vyhřívané (uzavřené), které jsou nejpoužívanější.

Rozlišujeme 2 typy metanizace kalu, jejichž parametry jsou pro srovnání uvedeny v tabulce.

Tab. 1 Parametry normální vyhnívání a rychlovyhnívání [7]

Parametr	Vyhnívání normální (nízko zatížené)	Rychlovyhnívání (vysoko zatížené)
Teplota [°C]	30 - 35	30 - 35
Doba vyhnívání [den]	20 - 30	10 - 15
Obj. zatížení [$kg/m^3/d$]	0,5 – 1,5	2 – 5
Míchání	přetržité	kontinuální
Počet stupňů	1 nebo 2	Vždy 2

Dle teploty procesu rozlišujeme:

- Studené – psychofilní vyhnívání – teplota okolí
- Termofilní vyhnívání - při teplotě 32 – 45°C
- Mesofilní vyhnívání - při teplotě 50°C

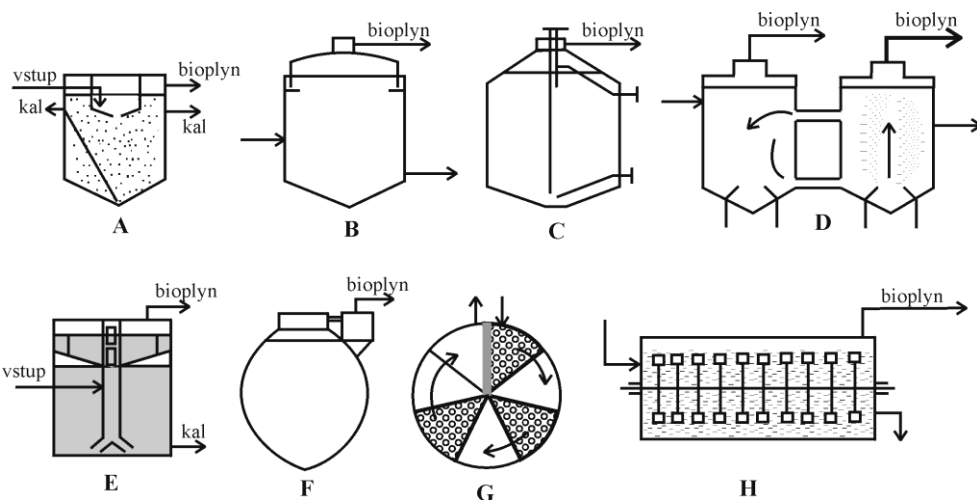
Termofilní vyhnívání má řadu výhod jako například lepší hygienizaci kalů nebo větší rychlost procesu. Nevýhodou jsou vyšší náklady spojené s vyhříváním na vyšší teplotu.

Plyn vzniklý metanizací se shromažďuje v plynojemech, které také slouží k vyrovnávání rozdílů mezi objemy vyrobeného a spotřebovaného plynu. Plynojemy můžeme rozdělit na mokré, suché či membránové.

Bioplyn

Obsahuje vysoké procento metanu (60–70 %), tím je zajištěná vysoká výhřevnost a to 20 – 27,4 MJ/m³. [3]

V dnešní době se bioplyn využívá k výrobě elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách, jedná se o prozatím neefektivnější využití bioplynu. Vyrobena elektrická energie je schopná pokrýt 60 – 100 % potřebné energie na ČOV. Teplo z kogeneračních jednotek se obvykle využívá k ohřevu metanizačních nádrží, vyhřívání budov atd.



Obr. 5 Typy anaerobních reaktorů pro zpracování materiálů v suspenzi [17]

A – historická štěrbinová (Imhoffova) nádrž

B – nádrž s nasazeným plynojemem

C – železobetonová nádrž stojatá válcová s kónickými dny

D – pneumaticky míchaná dvojité nádrž

E – pulzační nádrž systém BIMA

F – nádrž vejčitá s přepadovou komorou

G – válcová nádrž s programově řízenými míchacími sektory (pohled shora)

H – horizontální nádrž s rotačním míchadlem

Aerobní biologická stabilizace kalu

Tato metoda probíhá v aerobních podmínkách pomocí mikroorganismů, které rozkládají organické látky. Při tomto rozkladu jsou organické látky oxidovány na CO₂ a na H₂O. Výstupem je stabilizovaný kal, který je možno dále vysušit na koncentraci 20 – 30 %. [3]

Při porovnání s anaerobní biologickou stabilizací dochází ke srovnatelnému stupni rozkladu organických látek, což je výhodou. Dále dochází k přeměně amoniaku dusíku na dusičnany. Naopak nevýhodou jsou vysoká spotřeba elektrické energie, špatná energetická bilance a v neposlední řadě horší odvodňovací vlastnosti aerobně stabilizovaného kalu.

V dnešní době je nejvyužívanější metoda autotermní termofilní aerobní stabilizace (ATAD), který probíhá při teplotách nad 45°C. Potřebné teplo se získává při samotném procesu rozkladu látek. Zvýšená teplota v reaktoru zajistí usmrcení patogenních látek.

Pro srovnání:

Tab. 2 Teoreticky dosažitelných teplot při ATAD [3]

	Teoreticky dosažitelná teplota při oksylichování vzduchem	Teoreticky dosažitelná teplota při oksylichování kyslíkem
Koncentrace kalu 6%	44 °C	83 °C
Koncentrace kalu 3%	24 °C	44 °C

Hygienizace a stabilizace vápnem

Je metoda, která se provádí alkalizací vápnem nad pH 12. Metodu můžeme rozdělit podle dosažené teploty.

- Dosažená teplota 55 °C – po dobu 2 hodin
- Teplota odpovídající prostředí - po dobu 3 měsíců

Vápnění má řadu nevýhod, mezi které řadíme například zvýšení hmotnosti kalu, což vede k nárůstu nákladů. Dále zde nastává problém s odstraňováním vzniklého amoniaku.

Pasterizace kalu

Je metoda hygienizace kalu, pro kterou platí tato kritéria:

Teplota 70 °C – po dobu 30 minut

Teplota 60 – 70 °C – po dobu 1 – 3 hodin

Výhodou této metody je dosažení vyššího procenta sušiny než při odvodnění. Nevýhodou je, že pasterizovaný kal, který není ihned zpracován, začne znovu vykazovat obsah mikroorganismů, což nemusí vyhovovat legislativě.

OSS – oxyterm sludge systém

Jedná se o novinku v oblasti hygienizace kalů. Tato metoda byla vyvinuta v ČR a poprvé publikována na konferenci v roce 2002.

Princip této metody je podobný jako u autotermní termofilní aerobní stabilizace (ATAD), ovšem s rozdílem využití čistého kyslíku. Výhodou této metody jsou nižší ekonomické náklady. Následně výborná odvodnitelnost. [13]

Mezi technologie zaručující hygienizaci kalu patří také kompostování (viz. kapitola 4)

3.2.4 Odvodňování kalu

Jedná se o konečnou úpravu, kde cílem je zajistit vyšší koncentraci tuhé části v kalu. V případně odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu je možné dosáhnout sušiny 30 – 40 %. Pokud je odvodňován surový kal, je možné dosáhnout sušiny až 31%, tato možnost je složitější na realizaci. [7]

Přirozená

- **Kalová pole**

Jsou určena pro odvodnění již stabilizovaného kalu. Jedná se speciální plochy s vrstvou písku na betonovém dnu. Tato metoda je nejstarší možností, díky své jednoduchosti. Je založena na procesu filtrování a odpařování vody. Nevýhodou je náročnost na plochu, investice a čas. Nápustná vrstva je kolem 20 – 40cm.

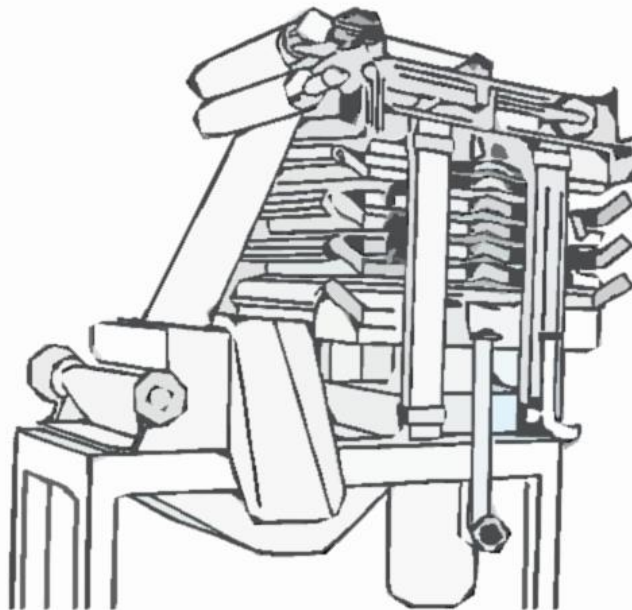
- **Kalové laguny**

Jsou náhradním řešením kalových polí, nejsou určeny pro nestabilizovaný kal. Napouštěná vrstva kalu je kolem 0,7 – 1,5m. Cyklus odvodnění trvá přibližně 1 rok.

Strojní odvodňování

- **Komorové filtry**

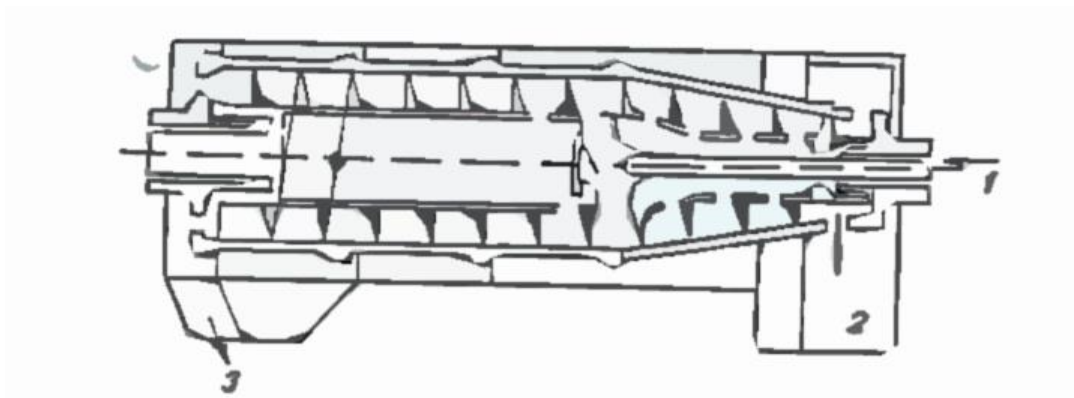
Také označované jako kalolisy (obr. 6). Kal obohacený o flokulatny je čerpán do komor lisu, kde pomocí vysokého tlaku (1-2MPa) dochází k odfiltrování vody přes filtrační plachetku. Lze dosáhnout sušiny 35 – 50%. Nevýhodou jsou vysoké náklady. [4]



Obr. 6 Schéma kalolisu [23]

- **Odvodňovací odstředivky (centrifugy)**

Jedná se o šnekové odstředivky (Obr. 7). Nutná je kondicionace pomocí flokulantů.



Obr. 7 Schéma odstředivky [23]

1 – nátok kalu, 2 – odvodněný kal, 3 – kalová voda (fugát)

Další možnosti strojního odvodňování můžeme zajistit pomocí:

- *Sítopásové lisy* (Viz kap. 3. 2. 1)
- *Rotační odvodňovací síta*
- *Vakuová filtrace*

Odstřed'ování

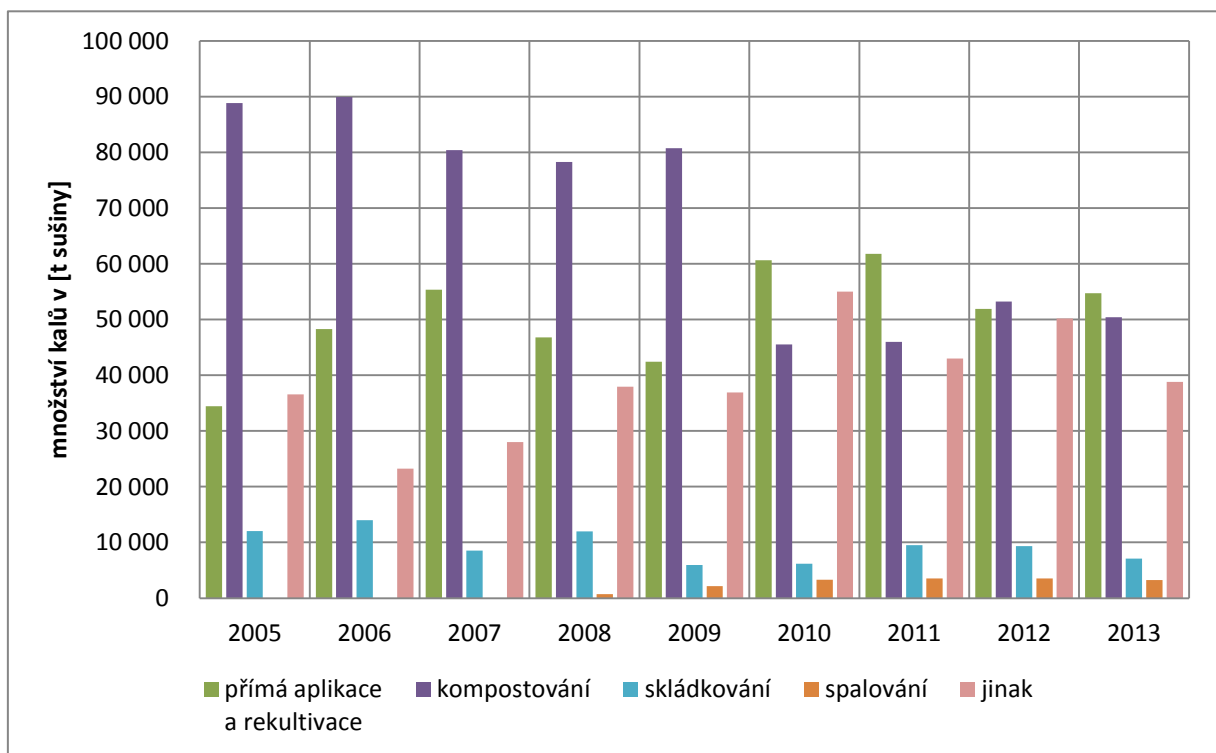
Někdy také nazýván centrifugace je proces oddělování pevných látek z roztoku. Využívá se k zahuštění primárního kalu a především aktivovaného kalu. Dosažená sušina se pohybuje kolem 4 až 6 % bez přidání flokulantů. Nedochází k úniku zápachu a vlhkosti do ovzduší, což je výhodou.

4 Nakládání s kaly

Zpracování kalů se odvíjí od složení kalů, tedy je nutné provést chemické rozbory. Na základě kterých se dále rozhoduje, jak bude s kaly nakládáno. Možnosti zpracování můžeme zjednodušeně rozdělit na:

- zemědělské využití a rekultivace
- skládkování
- termické zpracování

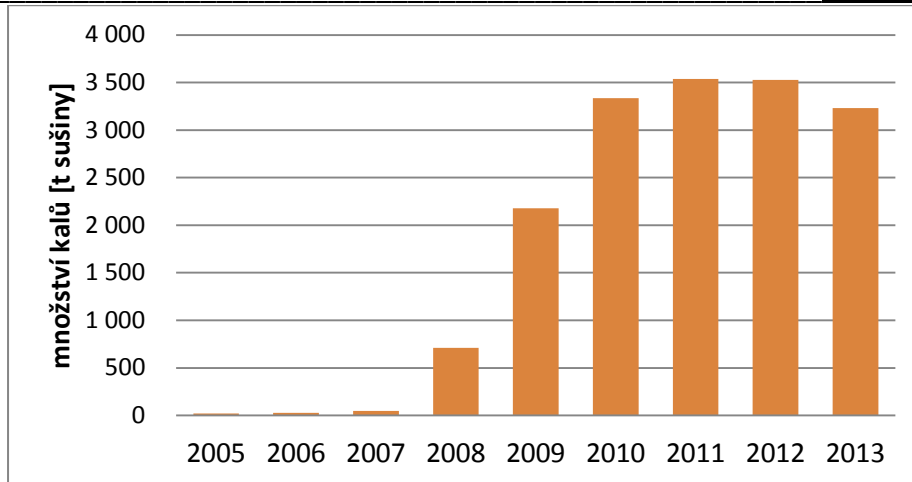
Vývoj ve zpracování kalů v ČR v průběhu 8 let můžeme vidět v grafu. (Graf 1.) Nejvýznamnější roli ve zpracování kalů hraje kompostování, dále přímá aplikace na půdu. Skládkování kalů je praktikováno v omezené míře. Zpracování kalu pomocí spalování začíná nacházet většího uplatnění od roku 2008. (viditelné z Grafu 2.)



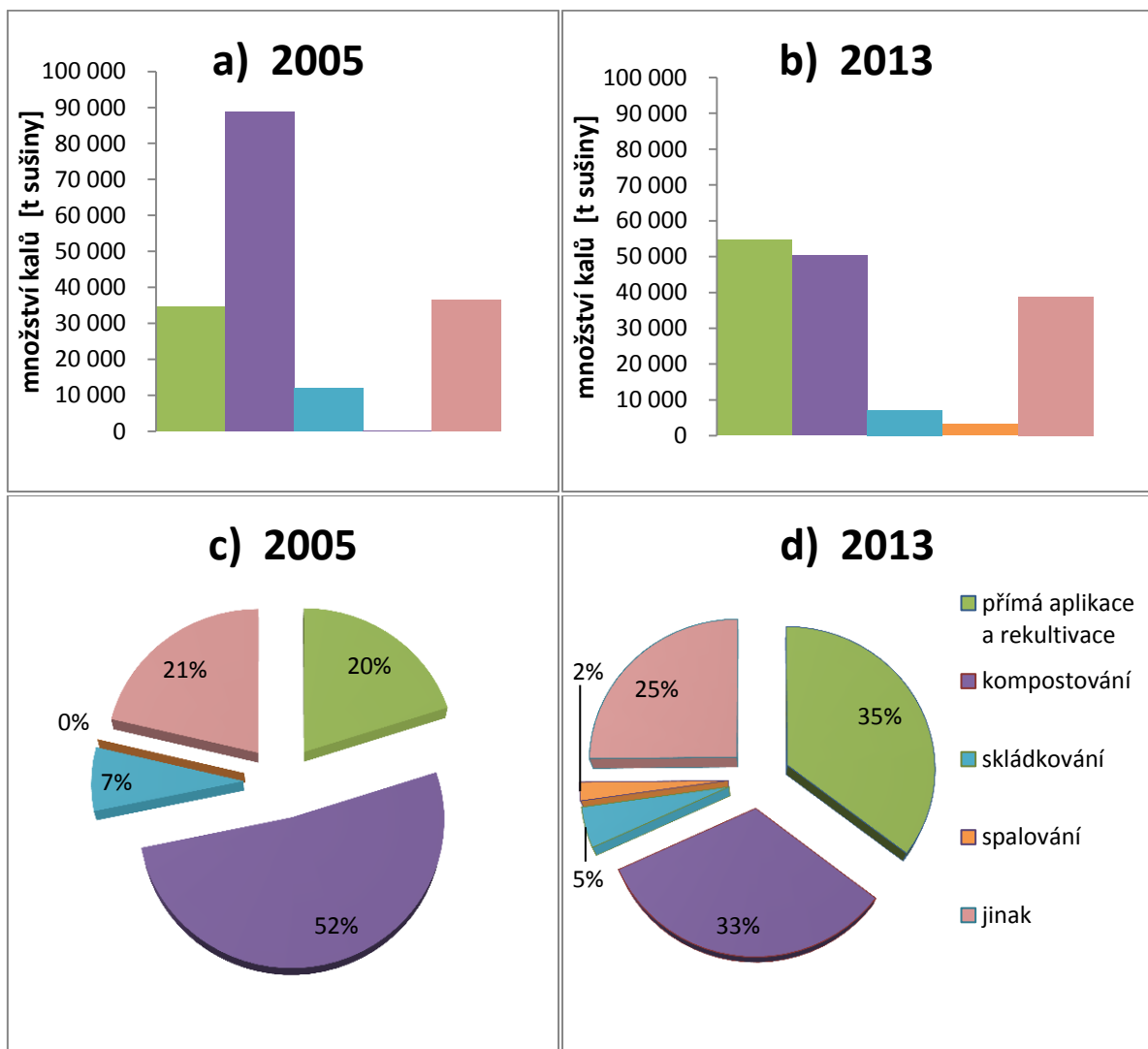
Graf 1. Zpracování kalů z ČOV [24]

Ve čtyřech vykreslených grafech (Graf 3.) je možno porovnat nakládání s kaly s největším časovým rozestupem, a to mezi roky 2005 a 2013. Došlo k významnému poklesu produkce kalu, z 171 888 t sušiny (za rok 2005) na 154 274 t sušiny (za rok 2013), tedy k poklesu o 11 % za 8 let.

Za 8 let zpracování kalu došlo k poklesu kompostování kalu a to z 52 % na 33 % z celkového množství v daném roce (Graf 3 c), d)). Dále došlo k mírnějšímu poklesu skládkovaného kalu a kalu aplikovaného přímo na půdu v roce 2013 oproti roku 2005. Spalováním bylo v roce 2005 zlikvidováno 20 t sušiny oproti 323232 t sušiny v roce 2013. Nárůst je tedy 16 krát větší.



Graf 2. Spalování kalů [24]



Graf 3. Porovnání zpracování kalů za rok 2005 a 2013[24]

4.1 Zemědělské využití a rekultivace

Kaly obsahují anorganickou hmotu především dusík, fosfor v menším množství draslík, vápník a hořčík. Díky těmto prvkům přispívají k regeneraci půd a jsou považovány za vynikající hnojivo.

Kaly s ohledem na možný obsah nežádoucích látek, zejména těžkých kovů a patogenních látek nelze využívat bez úprav, musí projít procesem stabilizace a hygienizace. Zemědělské využití je tedy ošetřeno řadou norem, které stanovují podmínky použití. (viz. kapitola 6)

4.1.1 Přímá aplikace do půdy

Využití kalů na přímou aplikaci do půdy je velmi rozšířeným způsobem. Je považováno za alternativu k průmyslovým hnojivům, která je ohleduplnější pro životní prostředí. Je zde kladen důraz na kvalitu, který je ošetřen řadou zákonů. Musí být dodrženy limitní hodnoty pro toxické látky a jednotlivé prvky.

Stabilizovaný kal obsahuje až 50% organických látek. Z tohoto obsahu jsou 2 – 4 % dusíku, 1 – 2% fosforu a 2 – 10 % vápníku. [3]

Tab. 3 Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě [25]

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

4.1.2 Kompostování kalů

Kompostování je proces přeměny bioodpadu pomocí mikroorganismů na kompost. Tato přeměna je aerobní, tedy za přítomnosti kyslíku. Aby bylo možné kal přidávat do kompostů, musí mít vysoký obsah živin (dusík, fosfor) a musí splňovat limitní hodnoty toxických látek.

Odpadní kal může tvořit až 20% obsahu kompostu. Aby proces proběhl správně, musí se kompost provzdušňovat (obr. 8). Kompostování probíhá za teplot 50° - 60°C, asi po dobu dvaceti dní. Tímto zvýšením teploty dochází k redukci škodlivých látek a znemožňuje rozmnožování patogenním organismům a redukuje zápach. Proces lze urychlit a to termofilním kompostováním při teplotě 65 – 70°C, spolehlivá hygienizace proběhne již po 3 dnech.



Obr. 8 Provdzušňování kompostu [1]

4.1.3 Rekultivace

Je proces navrácení poničené krajiny do původního stavu, aby mohl znovu začít fungovat soběstačný ekosystém. Musí být dodržena zásada minimálního dopadu na životní prostředí. Důležité je, aby rekultivovaná oblast nerušila ráz krajiny. Dále by rekultivovaná oblast měla zajistit obnovu půdního života, zvýšení vodní bilance, zvýšení biologické rozmanitosti, atd.

Rekultivace se využívá při navrácení poničené krajiny následkem lidské činnosti například po skládkách odpadů, lomech, pískovnách, oblastech kontaminovaného území.

Rekultivace můžeme rozdělit podle druhu půdy na:

- Zemědělské (*sady, vinice*)
- Lesnické
- Vodní (*obnovení říčních systémů*)
- Rekreační (*vodní nádrže, golfová hřiště*)

Kaly spolu s dalšími látkami jako například popílky ze spalování hnědého uhlí, zbytky z dřevozpracujícího průmyslu se využívají pro přípravu rekultivačních substrátů.

4.2 Skládkování

Jedná se o nejméně vhodné řešení, proto by se mělo využívat pouze v případě, že se nenalezla vhodnější metoda. Kal je možné skládkovat na řízené skládce pouze v případě, že je stabilizovaný a odvodněný. Kromě odvodnění je třeba snížit i obsah organické sušiny kalu.

4.3 Termické zpracování

Mezi termické zpracování řadíme sušení, spalování dále například zplyňování nebo pyrolýzu. Jedná se o technologie, díky kterým je na kal či jiný odpad působeno teplotou, která přesahuje mez chemické stability. Výhodou je úplná hygienizace nebo snížení objemu na minimum. Mezi nevýhody patří možné znečištění vzduchu spalinami. Kaly z ČOV lze spalovat, díky obsahu organické hmoty, která je spalitelná. Důležitými parametry při spalování jsou obsah sušiny, teplota a obsah organické hmoty.

Složení kalu velmi ovlivňuje energetickou bilanci procesu. Kal může být spalován samostatně, v případě, že obsahuje dostatečné množství složek s vyšší výhřevností. Pokud obsahuje velké množství nespalitelných složek, nemusí být proces spalování vůbec uskutečnitelný.

4.3.1 Sušení kalů

Je proces, při kterém se z kalu odstraňuje vlhkost pomocí vypařování. Vlhkost se odstraňuje pomocí ohřátého vzduchu nebo kouřových plynů, které vlhkost pohltí a dále jsou pomocí ventilátorů odvedeny.

Sušení přispívá ke zvýšení výhřevnosti kalu. Při dostatečné výhřevnosti je možné kal spalovat samostatně. Nevýhodou sušení je energetická náročnost, proto se této metody využívá, pokud je nezbytná pro další zpracování.

- Částečné sušení – 50 - 70 % sušiny
- Úplné sušení – 90 - 95 % sušiny

Sušení ovlivňuje plocha přenosu tepla, velikost vrstvy sušeného materiálu, teplota sušení a množství procházejícího tepla.

Nepříznivým jevem je tzv. klišovitá fáze kalu, ke které dochází při sušině 50 – 60 %. Tato fáze se projevuje tvořením hrudek a následného nabalování na stěny sušáren. Tomuto jevu se zabráňuje přimícháním 3 – 5 násobku usušeného kalu k již částečně odvodněnému kalu.

Rotační bubnová sušárna

Je založena na principu otáčení bubnu, ve kterém se materiál míší a je sušen pomocí horkého plynu. Je nutné mokré kal smíchat k usušenému na sušinu 60 %, tímto zabráníme připékání ke stěnám.

Pásová sušárna

Jedná se o metodu sušení, kdy kal putuje na děrovaném dopravním pásu. Pomocí horkého plynu, který proudí na pás, je odebírána vlhkost. Kal se při této metodě sušení nespéká.

Dalšími sušárnami jsou například fluidní sušárna nebo disková sušárna.

Spotřeba elektrické a tepelné energie je srovnatelná u jednotlivých typů sušáren. Hodnoty, které jsou běžné pro sušárny, můžeme vidět v tabulce. (Tab.4)

Tab. 4 Charakteristická data sušáren [3]

Specifická spotřeba tepelné energie ($\eta = 82\%$)	3500	MJ/t odpařené vody
Spotřeba vody pro kondenzaci odpařené vody	13	m ³ /t odpařené vody
Specifická spotřeba elektrické energie	50	KW/t odpařené vody

4.3.2 Energie ve formě tepla

Spalování kalů

Je proces soběstačný z hlediska energie. Výhodné je, že není nutné kal předem sušit. Nevýhodou je finanční náročnost realizace spalovny, další nevýhodou je čištění spalin.

Etážová pec

Spalování probíhá ve 3 etapách. První část je sušící s teplotou plynu okolo 400 °C. Druhá etapa je spalovací s teplotou 850 – 900 °C a třetí etapa je zónou popela, nachází se v nejnižší části pece a teplota je nižší jak 200 °C. [3]

V devadesátých letech byla nahrazena fluidní pecí.

Fluidní pec

V dnešní době je nejefektivnější metodou spalování. Teplota pece v dolní části je 750 °C, v horní části je 850 °C. Tvarově se jedná o vertikální kolonu, která má výšku až 10 m a průměr až 7 m. [3]

Základem je křemičitý písek, který tvoří lože pece. K udržení expanze v loži je využito vhnávaného vzduchu.

Spolu spalování kalů

Je proces, který se vyznačuje výhodami, jako jsou například nízké investiční náklady.

- **Spolu spalování v cementářské peci**

Při této technologii spalování nevzniká odpad, anorganická hmota obsažená v kalu se zabuduje do cementu, organická hmota slouží jako palivo. Výhodou jsou nízké investiční náklady. Nevýhodou je nutnost kal sušit, bez které není možné kal spalovat v cementárnách.

- **Spolu spalování v teplárnách a elektrárnách**

Kal je spalován spolu s uhlím a to v obsahu do 5 % spotřeby uhlí. Výhodou jsou nízké investice, další významnou výhodou je, že není třeba čištění spalin, kvůli filtrům. Emise vzniklé spalováním jsou ošetřeny legislativou. (kap. 6)

4.3.3 Energie ve formě plynu

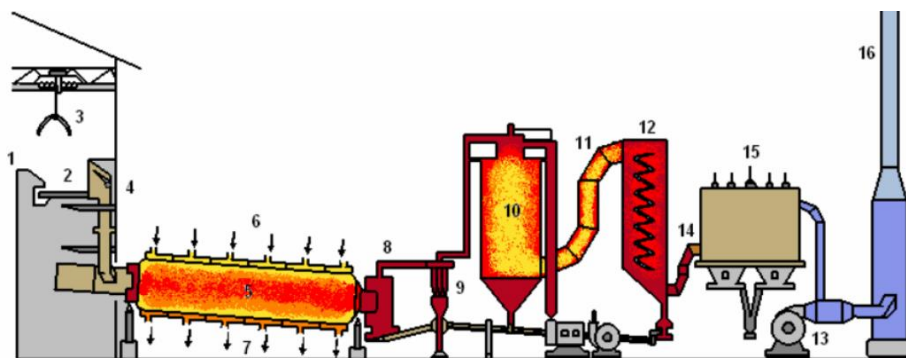
Tyto způsoby produkce energie, mají vyšší účinnost výroby elektrické energie než způsoby s energií tepelnou.

Pyrolýza kalů

Jedná se o termický proces, kde dochází k ohřevu bez přístupu kyslíku na teplotu 450 až 750°C, což je nad hranicí chemické meze stability organických látek v kalu. Výsledkem je pyrolýzní plyn, kapalný odpad (pyrolýzní olej) a tuhý zbytek (polokoks).

Výhodou této metody je velká výhřevnost vyprodukovaných plynů. Zpracování pyrolýzního oleje a polokoksu může být problematické z hlediska složení.

Na obr. 9 můžeme vidět schéma pyrolýzní jednotky, která je určeno pro spalování TKO a čistírenského kalu.



Obr. 9 Schéma pyrolýzní jednotky Babcock [12]

(1 – svoz odpadu do bunkru, 2 – násypka, 3 – drapák suroviny, 4 – vstup vápna, 5 – rotační pyrolýzní pec, 6 – vstup otopových spalin, 7 – odtah otopových spalin, 8 – vynášecí komora, 9 – cyklon, 10 – spalovací komora, 11 – vstup spalin do kotle, 12 – kotel na odpadní teplo, 13 – spalinový ventilátor, 14 – sekundární vstup vápna, 15 – tkaninový filtr, 16 – komín)

Zplyňování kalů

Jedná se o tepelně-chemický proces, kde dochází díky teplu k přeměně uhlíku na plyn. Tento plyn je také označován jako syntézní plyn nebo syngas. Základní látkou syngasu je oxid uhelnatý, vodík, metan a uhlovodíky.

Při této metodě se využívá pouze 20% množství vzduchu (kyslíku), jenž by byl potřebný pro proces spalování. Díky možnosti regulace malého množství kyslíku, úplně hoří pouze malá část paliva. Přesto je vyvinuto teplo, které je dostačující, aby se zbytek paliva proměnil díky pyrolýze a chemického rozkladu na syntézní plyn a popel.

Syntézní plyn může být náhradou za zemní plyn, umožňuje čisté spalování paliva.

Výhodou je, že produktem této metody je pouze syngas a popel, nejsou zde žádné další odpadní látky. Nevýhodou je nutnost kal sušit a vysoké investiční náklady na zařízení.

Mokrý oxidace kalů

Metoda je založena na principu oxidace tekutého kalu při teplotě 200 – 300 °C, tlaku 4 – 6 MPa po dobu 60 min. Pokud jsou splněny tyto podmínky, je 75 – 90 % organických látek přeměněných na mastné kyseliny a metanol.

Mokrý spalování v nadkritické oblasti vody

Nadkritická oblast je vymezena kritickou teplotou vody 374 °C a kritickým tlakem 22 Mpa.

Pokus, který byl proveden švýcarskými a americkými vědci, přinesl zajímavé výsledky. Při teplotě 500-600 °C a tlaku 25 Mpa byl spalován kal s koncentrací 10 % sušiny. Organické látky konverovaly za 30 sekund s účinností 99,99 %. Pro běh procesu je potřeba asi 30 % energie obsaženého v kalu. Zbytek, tedy 70 % lze využít. [11]

Pokud budeme porovnávat termické zpracování vzhledem k účinnosti v získání energie z kalu, pak můžeme sestavit toto pořadí 4 neúčinnějších technologií: [10]

- Mokrý oxidace v nadkritické oblasti vody
- Pyrolýza
- Anaerobní stabilizace
- Přímé spalování

5 Termické zpracování

5.1 Energie obsažená v kalech

5.1.1 Složení kalu s vlivem na hoření

Důležitými prvky pro spalování kalů jsou vodík, uhlík a síra. Prvky, které naopak zhoršují hoření, jsou kyslík a dusík.

- **Uhlík** je hlavní zdrojem tepelné energie. Bývá součástí organických i anorganických sloučenin.
- **Vodík** je obsažen v menším množství. Jeho přítomnost zlepšuje výhřevnost paliva (až čtyřnásobně oproti uhlíku)
- **Síra** je součástí kalů pouze v malém množství a zvyšuje tepelnou energii.
- **Kyslík**, ačkoli obvykle podporuje hoření, v kalech se váže na vodík za vzniku vody a uhlík za vzniku oxidu uhličitého. Tedy je nežádoucí, protože snižuje celkovou výhřevnost.
- **Dusík** rovnou přechází do spalin, bez účasti na hoření. Tedy omezuje množství jiných prvků v obsahu kalu.

5.1.2 Obsah energie

Znečištěná OV obsahuje jistou energii. Dle prof. Jeníčka na ekvivalentního obyvatele² (dále EO) připadá energie 0,4657kWh/EO.d. přepočteno na rok 170 kWh/EO.rok, přičemž se 45% této energie spotřebuje aerobním stupněm čištění, zbytek je obsažen v kalu. Obsah energie v kalu se vyjadřuje jako spálené teplo nebo výhřevnost. [26]

Je výhodné, stabilizovaný kal překlasifikovat na tuhé alternativní palivo (dále TAP). Aby byla tato transformace možná, musí být splněny tyto podmínky:

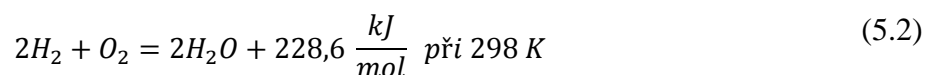
Ekonomická podmínka - výhřevnost

Technická podmínka – obsah chlóru

Environmentální podmínka – obsah rtuti

Výpočet energetického obsahu můžeme provádět za těchto podmínek:

- za dokončení reakce oxidace
- za dokonalého spalování
- výpočet pro každou hořlavou složku zvlášť



Rovnice 5.1 nám vyjadřuje průběh spalování uhlíku, rovnice 5.2 vyjadřuje průběh spalování vodíku a rovnice 5.3 vyjadřuje průběh spalování síry. Jedná se o oxidické reakce, při kterých se uvolňuje teplo. Rozlišujeme spálené teplo a výhřevnost. [26]

² EO = ekvivalentní obyvateľ = (120 g CHSK/EO.d); CHSK – množství kyslíku, které se za daných podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek

Spalné teplo je množství tepla, které se vznikne dokonalým spálením jednotkovým množstvím paliva, pokud dojde k ochlazení spalin na původní teplotu a voda získaná při spalování bude kapalná.

Výhřevnost je množství tepla, které vznikne dokonalým spálením jednotkového množství paliva, pokud dojde k ochlazení spalin na původní teplotu a voda získaná při spalování bude plynná.

4.1.4 Vztahy pro spalná tepla a výhřevnost

Při výpočtu spalného tepla při spalování odpadů vyjdeme ze vztahu Institute Of Gas Technology z roku 1990 (4) vhodného pro spalování biomasy a odpadů. Tento vzorec odpovídá 100 % hořlavině. [9]

$$HHV_h = 341 \cdot C_h + 1322 \cdot H_h + 68,5 \cdot S_h - 120 \cdot (O_h - N_h) \quad (5.4)$$

Pro výpočet výhřevnosti vyjdeme ze vztahu (6), pro přesný výpočet je nutné provést korekci, která zohlední množství vodíku, který reaguje na halogenvodíky (5). Korekce ve vztahu (6) zohledňuje vodík, který zreagoval s kyslíkem za vzniku vodní páry. [9]

$$H_{h,korig} = H_h - \left(\frac{M_H}{M_{Cl}} \cdot Cl_h + \frac{M_H}{M_F} \cdot F_h \right) \quad (5.5)$$

$$LHV = HHV_p \cdot (1 - A_p - W_p) - r_{H_2O} \cdot \left[W_p + \frac{M_{H_2O}}{M_H} \cdot H_{h,korig} \cdot (1 - A_p - W_p) \right] \quad (5.6)$$

6 Doprava

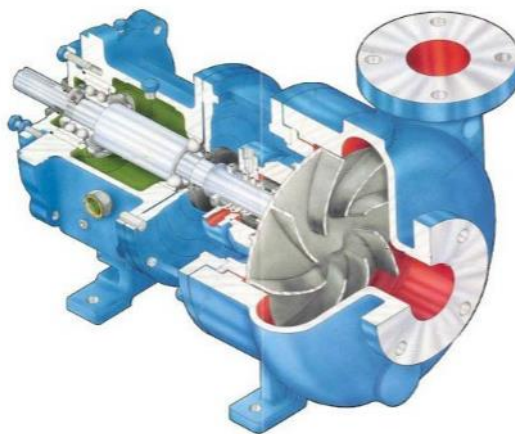
Dopravu týkající se kalů můžeme rozdělit na:

- Potrubní dopravu
- Silniční dopravu

6.1 Potrubní doprava

Je tvořena řadou kalových čerpadel. Tato čerpadla se liší od čerpadel pro dopravu vody zejména možnostmi přepravovat látky se zvýšenou viskozitou dokonce i polotekuté kaly. Tato čerpadla jsou velmi namáhána, proto je zde velký nárok na použité materiály.

Příkladem je vírové čerpadlo se zapuštěným oběžným kolem na obr. 10, které je vhodné pro kaly s hrubými nečistotami. Tato tematika je detailně rozebrána v bakalářské práci. [14]



Obr. 10 Vírové čerpadlo se zapuštěným oběžným kolem [14]

6.2 Silniční doprava

Silniční doprava je ošetřena legislativou a technika přepravující kaly musí být v souladu s touto platnou legislativou zejména se zákonem o silniční dopravě.

Kaly z ČOV jsou přepravovány speciálními silničními vozidly:

- Fekální vozy
- Speciálně upravené nákladní vozy

Dále jsou kaly přepravovány v kontejnerech, přívěsech a návěsech.

Doprava odpadů, mezi které řadíme i kaly, je ošetřena vyhláškou **374/2008 Sb.**, který stanovuje podmínky, za kterých možné odpady přepravovat.

Fekální vůz

Slouží k přepravě odpadních kalů z jímek případně septiků. Jedná se o cisternu, která je vybavena sacím čerpadlem. Čerpadlo vysává vzduch z cisterny, čím vznikne podtlak. Kal je nasáván dovnitř díky vývěvě.

Fekální vůz Renault s recyklační nástavbou je na obrázku Obr. 11.



Obr. 11 Fekální vůz na čištění kanalizací a sání kalů [16]

Přívěsy, návěsy, kontejnery

Jedná se o zařízení, kterými je možné přepravovat částečně vysušený kal a to již 16 % sušiny. Jako příklad je uveden třístranný sklápěcí přívěs za traktor (Obr. 12), Parametry toho zařízení jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5).

Tab. 5 Parametry třístranného sklápěcího přívěsu [15]

Celková hmotnost:	12 000 kg
Pohotovostní hmotnost:	2 650 kg
Užitečná hmotnost:	9 350 kg
Ložná plocha:	4500 x 2240(2180) x 600 mm
Pneumatiky:	12,5/80 - 18/12 PR
Celková délka:	6 530 mm
Celková šířka:	2 420 mm
Bočnice základní výška:	600 mm



Obr. 12 Třístranný sklápěcí přívěs za traktor [15]

7 Legislativa

Nakládání s čistírenskými kaly je v ČR ošetřeno zákonem o odpadech a jeho prováděcími předpisy.

Od 1. Ledna 2002 platí zákon o odpadech č. **185/2001 Sb. Zákon o odpadech**, kde můžeme najít definici kalu a stabilizovaného kalu.

S ohledem na možný obsah patogenních látek v kalu, je surový kal dle zákona považován za nebezpečný odpad. Z tohoto důvodu je surový kal vhodnou technologickou úpravou přeměněn na stabilizovaný materiál, který je možné využít v zemědělství.

382/2001 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě

Prováděcí předpisy zákona o odpadech, které určují podmínky:

294/2005 Sb.

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

341/2008 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

376/2001 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

381/2001 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu

374/2008 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí o přepravě odpadů a o změně vyhlášky č. **381/2001 Sb.**

504/2004 Sb.

Vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

382/2001 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

383/2001 Sb.

Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady. Obsahuje přílohu č. 20 Hlášení o produkci a nakládání s kaly. Tato příloha je k nahlédnutí v přílohách (Příloha III)

Čistírenský kal jako koncový produkt z procesu čištění odpadních vod je řazen dle vyhlášky **376/2001 Sb.** Jako odpad do skupiny 19. Katalogové číslo je 19 08 05.

Rekultivace:

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

Vyhláška č. **294/2001 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

EVROPSKÁ UNIE

Legislativa EU je aplikována do české legislativy, v některých případech česká legislativa zpřísněna.

Směrnice Rady 86/278/EHS o ochraně ŽP a zvláště půd
(využívání kalů na povrchu terénu)

Směrnice Rady 2000/60/ES o vodě
(kontrola znečišťujících látek)

Směrnice Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů
(omezení ukládání čistírenských kalů na skládky)

PRAKTICKÁ ČÁST

8 Výpočet spalného tepla a výhřevnosti

Pro výpočet spalného tepla a výhřevnosti byly použity rovnice z kapitoly 5. Konkrétně pro výpočet spalného tepla rovnice (5.4), pro výpočet výhřevnosti rovnice (5.6). Po dosazení odpovídajících hodnot z tabulky složení směsného kalu (tab. 6) při složení sušiny 68,45 % hořlavina a 34,55 % popeloviny.

Tab. 6 Složení spalitelné části směsného surového kalu [8]

Datum	8. 8. 2005	9. 8. 2005	10. 8. 2005	11. 8. 2005	průměr
<i>Složení sušiny [%]</i>					
Hořlavina	68,45	64,05	65,63	72,15	67,57
Popeloviny	31,55	35,95	34,37	27,85	32,43
<i>Složení hořlaviny [%]</i>					
C	62,64	55,39	59,19	63,84	60,27
H	8,03	6,71	5,03	6,26	6,51
O	23,09	28,39	27,93	20,14	24,89
N	6,24	9,52	7,86	9,79	8,35
S	0	0	0	0	0

Výpočtem rovnice (5.4) dostaneme spalné teplo 100 % hořlaviny, které následně přepočítáme na hořlaviny 68,45 %.

Výpočet spalného tepla:

$$HHV_h = 341 \cdot 62,64 + 1322 \cdot 8,03 + 68,5 \cdot 0 - 120 \cdot (23,09 - 6,24)$$

$$HHV_h = 29953,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{Spalné teplo vypočteno pro 100 \% hořlavinu}$$

$$HHV_h = \frac{29953,9}{100} \cdot 68,45 = 20503,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Při výpočtu výhřevnosti (5.6) je obvykle nutné provést korekci na množství vodíku z rovnice (5.5), který zreaguje na halogenvodíky. Z tabulky (Tab. 6) je zřejmé, že zadané palivo neobsahuje Cl a F, tedy nevznikají ani halogenvodíky. Tuto skutečnost vyjadřuje i výpočet.

Výpočet na korekci vodíku:

$$H_{h,korig} = H_h - \left(\frac{M_H}{M_{Cl}} \cdot Cl_h + \frac{M_H}{M_F} \cdot F_h \right)$$

$$H_{h,korig} = 8,03 - \left(\frac{1,008}{35,453} \cdot 0 + \frac{1,008}{18,998} \cdot 0 \right)$$

$$H_{h,korig} = 8,03 - (0)$$

$$H_{h,korig} = 8,03$$

Při výpočtu výhřevnosti vyjdeme již ze spočítaných hodnot pro korekci vodíku a spalného tepla a dosadím do rovnice (5.6). Vzorek původního paliva neobsahoval žádnou vodu, což můžeme vidět i ve výpočtu.

Výpočet výhřevnosti:

$$LHV = HHV_p \cdot (1 - A_p - W_p) - r_{H_2O} \cdot [W_p + \frac{M_{H_2O}}{M_H} \cdot H_{h,korig} \cdot (1 - A_p - W_p)]$$

$$LHV = 29953,9 \cdot (1 - 31,55 - 0) - 2454 \cdot [0 + \frac{18,0152}{1,008} \cdot 8,03 \cdot (1 - 31,55 - 0)]$$

$$LHV = 9,844 \text{ MJ/kg}$$

9 Sumarizace dat

V praktické části bylo úkolem zjistit hmotnostní toky kalu v rámci ČR a lokalizovat současná zařízení kompostáren, která zpracovávají kal.

Data o produkci a nakládání s kaly

Nejprve bylo nutné získat data vyprodukovaných kalů za rok 2013 na úrovni jednotlivých správních obvodů obcí s rozšířenou působností a nakládání s těmito kaly.

První pokus k získání potřebných dat ohledně produkce byl proveden prostřednictvím emailů, které byly zaslány do 80 vodohospodářských organizací s prosbou o zodpovězení těchto otázek.

Jaké množství kalů vyprodukuje jednotlivé ČOV nad 3000 EO za rok 2014?

Jaké množství kalů vyprodukuje jednotlivé ČOV nad 3000 EO za rok 2013?

Jakým způsobem, jsou vyprodukované kaly dále zpracovány?

První pokus k získání potřebných dat ohledně dopravy byl proveden prostřednictvím emailu s prosbou o zodpovězení otázek uvedených níže. Email byl zaslán do firmy zabývající se touto problematikou.

Jakým způsobem jsou kaly přepravovány?

Jaké jsou náklady spojené s dopravou?

Na odeslané emaily odpověděla pouhá polovina otázaných vodohospodářských společností. Zbytek odpověď neodeslal. Otázky týkající se dopravy zůstaly také nezodpovězeny. Tento způsob sběru informací byl neefektivní.

Další možností bylo získat data z veřejného informačního systému odpadového hospodářství Ministerstva životního prostředí – ISOH Cenia [18].

Při práci s informačním systémem je nutné přesně specifikovat kód hledaného odpadu. Nejprve je nabídnut celý katalog odpadů, kde je nutné specifikovat kategorii. Pro naše účely je z nabídky na Obr. 13 nevhodnější kód 19. Dále z nabídky na Obr. 14 je nevhodnější kód 1908. Ve třetí specifikaci odpadu, výběr v Obr. 15, je odpovídající varianta pod kódem 190805, což skutečně odpovídá odpadu, který je řešen v teoretické části.

Kompostárny

Dále bylo nutné získat informace o kompostárnách v ČR, které jsou uzpůsobeny ke zpracování kalů. Potřebné informace byly získány z Databáze kompostáren dostupné na [19], kde bylo možné dohledat některé informace o množství zpracované hmoty, kapacitě kompostárny nebo množství vyprodukovaného kompostu.

Také bylo potřebné vyhledat GPS souřadnice těchto kompostáren. K tomuto účelu bylo využito map přístupných na internetu. [20].

Zobrazit celý katalog odpadů		
kód	název	vybrat
01	ODPADY Z GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU, TĚŽBY, ÚPRAVY A DALŠÍHO ZPRACOVÁNÍ NEROSTŮ A KAMENE	vybrat
02	ODPADY ZE ZEMĚDĚLSTVÍ, ZAHRADNICTVÍ, RYBÁŘSTVÍ, LESNICTVÍ, MYSLIVOSTI A Z VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ POTRAVIN	vybrat
03	ODPADY ZE ZPRACOVÁNÍ DŘEVA A VÝROBY DESEK, NÁBYTKU, CELULÓZY, PAPIŘU A LEPENKY	vybrat
04	ODPADY Z KOŽEDELNÉHO, KOŽEŠNICKÉHO A TEXTILNÍHO PRŮMYSLU	vybrat
05	ODPADY ZE ZPRACOVÁNÍ ROPY, ČIŠTĚNÍ ZEMNÍHO PLYNU A Z PYROLYTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ UHLÍ	vybrat
06	ODPADY Z ANORGANICKÝCH CHEMICKÝCH PROCESŮ	vybrat
07	ODPADY Z ORGANICKÝCH CHEMICKÝCH PROCESŮ	vybrat
08	ODPADY Z VÝROBY, ZPRACOVÁNÍ, DISTRIBUCE A POUŽÍVÁNÍ NÁTĚROVÝCH HMOT (BAREV, LAKŮ A SMALTŮ), LEPIDEL, TĚSNÍCÍCH MATERIÁLŮ A TISKAŘSKÝCH BAREV	vybrat
09	ODPADY Z FOTOGRAFICKÉHO PRŮMYSLU	vybrat
10	ODPADY Z TEPELNÝCH PROCESŮ	vybrat
11	ODPADY Z CHEMICKÝCH POVRCHOVÝCH ÚPRAV, Z POVRCHOVÝCH ÚPRAV KOVU A JINÝCH MATERIÁLŮ A Z HYDROMETALURGIE NEŽELEZNÝCH KOVŮ	vybrat
12	ODPADY Z TVÁŘENÍ A Z FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A PLASTŮ	vybrat
13	ODPADY OLEJŮ A ODPADY KAPALNÝCH PALIV (KROMĚ JEDLÝCH OLEJŮ A ODPADŮ UVEDENÝCH VE SKUPINÁCH 05, 12 A 19)	vybrat
14	ODPADNÍ ORGANICKÁ ROZPOUŠTĚDLA, CHLADICÍ A HNAČÍ MÉDIA (KROMĚ ODPADŮ UVEDENÝCH VE SKUPINÁCH 07 A 08)	vybrat
15	ODPADNÍ OBALY, ABSORPČNÍ ČINIDLA, ČISTIČÍ TKANINY, FILTRAČNÍ MATERIÁLY A OCHRANNÉ ODĚVY JINAK NEURČENÉ	vybrat
16	ODPADY V TOMTO KATALOGU JINAK NEURČENÉ	vybrat
17	STAVEBNÍ A DEMOLIČNÍ ODPADY (VČETNĚ VYTĚŽENÉ ZEMINY Z KONTAMINOVANÝCH MÍST)	vybrat
18	ODPADY ZE ZDRAVOTNICTVÍ A VETERINÁRNÍ PÉČE A / NEBO Z VÝZKUMU S NIMI SOUVISEJÍCÍHO (S VÝJIMKOU KUCHYŇSKÝCH ODPADŮ A ODPADU ZE STRAVOVAČÍCH ZAŘÍZENÍ, KTERÉ SE ZDRAVOTNICTVÍM BEZPŘÍMĚ NESOUVISÍ)	vybrat
19	ODPADY ZE ZAŘÍZENÍ NA ZPRACOVÁNÍ (VYUŽÍVÁNÍ A ODSTRANOVÁNÍ) ODPADU, Z ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD PRO ČIŠTĚNÍ TĚCHTO VOD MIMO MÍSTO JEJICH VZNIKU A Z VÝROBY VODY PRO SPOTŘEBU LIDÍ A VODY PRO PRŮMYSLOVÉ ÚČELY	vybrat
20	KOMUNÁLNÍ ODPADY (ODPADY Z DOMÁCNOSTÍ A PODOBNÉ ŽIVNOSTENSKÉ, PRŮMYSLOVÉ ODPADY A ODPADY Z ÚŘADŮ) , VČETNĚ SLOŽEK Z ODDĚLENÉHO SBĚRU	vybrat
50	ODPADY VZNIKLÉ Z ELEKTROODPADŮ	vybrat

Obr. 13 Katalog odpadů [18]

Zpět Zobrazit celý katalog odpadů		
kód	název	vybrat
1901	Odpady ze spalování nebo z pyrolyzy odpadů	vybrat
1902	Odpady z fyzikálně-chemických úprav odpadů (např. odstraňování chromu či kyanidů, neutralizace)	vybrat
1903	Stabilizované/ solidifikované odpady	vybrat
1904	Vitřifikovaný odpad a odpad z vitřifikace	vybrat
1905	Odpady z aerobního zpracování pevných odpadů	vybrat
1906	Odpady z anaerobního zpracování odpadů	vybrat
1907	Průsaková voda ze skládek	vybrat
1908	Odpady z čištění odpadních vod jinde neuvedené	vybrat
1909	Odpady z výroby vody pro spotřebu lidí nebo vody pro průmyslové účely	vybrat
1910	Odpady z drčení odpadu obsahujícího kovy	vybrat
1911	Odpady z regenerace olejů	vybrat
1912	Odpady z úpravy odpadů jinde neuvedené (např. třídění, drčení, lisování, peletizace)	vybrat
1913	Odpady ze sanace zeminy a podzemní vody	vybrat

Obr. 14 Specifikace odpadů pod kódem 19[18]

Zpět Zobrazit celý katalog odpadů		
kód	název	kategorie
190801	Shrabky z česlí	O
190802	Odpady z lapáků písku	O
190805	Kaly z čištění komunálních odpadních vod	O
190806	Nasycené nebo upotřebené pryskyřice iontoměníčů	N
190807	Roztoky a kaly z regenerace iontoměníčů	N
190808	Odpad z membránového systému obsahující těžké kovy	N
190809	Směs tuků a olejů z odlučovače tuků obsahující pouze jedlé oleje a jedlé tuky	O
190810	Směs tuků a olejů z odlučovače tuků neuvedená pod číslem 19 08 09	N
190811	Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod obsahující nebezpečné látky	N
190812	Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 11	O
190813	Kaly z jiných způsobů čištění průmyslových odpadních vod obsahující nebezpečné látky	N
190814	Kaly z jiných způsobů čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 13	O
190899	Odpady jinak blíže neurčené	O

Obr. 15 Specifikace odpadů pod kódem 1908 [18]

Zpracování dat

Získané hodnoty vyprodukovaného a zpracovaného kalu v jednotlivých ORP jsou zaneseny do tabulky (Příloha 1). Tabulka dále obsahuje rozdíl těchto hodnot, který vytvořil zajímavý přehled o hmotnostním toku kalů mezi ORP.

Pokud množství vyprodukovaného kalu je vyšší než množství zpracovaného kalu, rozdíl je kladný. A říká nám, že množství kalu rovné hodnotě rozdílu bylo ke zpracování přepraveno do jiného ORP.

Pokud množství vyprodukovaného kalu je nižší než množství zpracovaného kalu, rozdíl je záporný. A říká nám, že množství kalu rovné hodnotě rozdílu bylo ke zpracování přepraveno z jiného ORP.

Analýza hmotnostního toku kalů na úrovni ORP byla provedena pomocí optimalizačního programu. [21]

Výsledky

Díky tabulce (Příloha I) můžeme porovnat vyprodukované celkové množství kalu za celou ČR a celkové zpracované množství kalu, tyto hodnoty jsou si rovny, což vypovídá o správnosti uvedených dat.

Výsledkem analýzy hmotnostního toku kalů jsou dopravní trasy s množstvím přepravovaného kalu. Všechny tyto výsledky jsou zobrazeny na mapě (Příloha II), do které jsou zaneseny také místa, kde se nacházejí kompostárny.

Mapa je oproti tabulce s daty (Příloha I) mnohem názornější. Je tedy jednodušší si udělat představu o dopravě kalu a množství zpracovaného kalu v jednotlivých ORP.

Tyto výsledky budou sloužit jako datová základna pro rozšíření výpočetního nástroje Neruda [22] a výpočet optimalizační sítě nakládání s kaly.

10 Závěr

V úvodu se teoretická část práce se zabývá současnými možnostmi úpravy kalů a snižováním obsahu vody, mezi které patří například zahušťování, stabilizace a hygienizace kalu a odvodňování kalů. Dále uvádí současné možnosti nakládání s kaly.

Ve většině případů provozovatelé ČOV nakládání s kaly sami neřeší, předávají kal firmám s osvědčením, které s kalem dále nakládají sami. ČOV zajišťují obvykle hygienizaci a stabilizaci kalu a dále snížení obsahu vody. Důvodem snížení obsahu vody je cena, která se počítá za tunu materiálu bez ohledu na obsah sušiny. Důvodem stabilizace a hygienizace je cena, která se odvíjí od stavu kalu, který automaticky spadá pod nebezpečný odpad, jestliže nebyla provedena stabilizační úprava. Cena za stabilizovaný materiál je několikanásobně menší než za odpad nebezpečný. V případě menších zařízení ČOV se kaly výrazněji neupravují. Využívá se levných metod pro odstranění vody, kterými jsou například kalolisy se schopností dosáhnout sušiny až 16 %. Tento obsah sušiny je dostačující pro přepravu kalu.

V dnešní době existuje několik technologií používaných pro snížení obsahu vody, můžeme je rozdělit na metody mechanické a energetické. Mechanické metod využíváme běžně, mají ekonomický přínos pro ČOV (snížení ceny). Mezi tyto metody patří zahušťování a odvodňování. Metody energetické se využívají pouze v případě, že se kal využije dále jako palivo a je kladen důraz na vysokou výhřevnost (spolu spalování v cementárnách). V jiném případě je energetické sušení výrazně neefektivní, také v tomto případě je důležité posoudit, ekonomickou stránku v souvislosti s energetickým využitím kalu.

V úvodu praktické části se práce zabývá výpočtem spalného tepla a následným přepočítáním na výhřevnost. V druhé části byla provedena sumarizace dat o nakládání s kaly v rámci České republiky na úrovni ORP a následné zpracování. Zpracovaná data jsou z veřejného informačního systému odpadového hospodářství Ministerstva životního prostředí. Výsledkem je hmotnostní tok kalů v rámci ČR mezi jednotlivými ORP, přehledně zpracovaný do mapy. Mapa dále obsahuje informace o dopravních trasách přepravovaného kalu a lokalizaci kompostáren. Je tedy podloženo, že transport kalů je značný.

Bakalářská práce mi byla velkým přínosem, utvořila jsem si přehled o čištění odpadní vody a následném zpracování kalů, jejich úpravě a sušení. Dále jsem si osvojila znalosti ve výpočtech spalného tepla a výhřevnosti kalů. A také jsem se naučila pracovat s daty, vytvářet přehledné tabulky a grafy a informace z nich hodnotit a porovnávat.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] LYČKOVÁ B., FEČKO P., KUČEROVÁ R.: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. *Zpracování kalů* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/info.html>
- [2] BORÁŇ, J.: *Zpracování kalů z čistíren odpadních vod s energetickým využitím*. Disertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2008. 127s. Vedoucí disertační práce Prof. Ing. Petr Stehlík, CSc
- [3] *Kalové hospodářství čistíren odpadních vod* [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: web.vscht.cz/starad/COV_Skripta_Kal_hosp.doc
- [4] *Sbírky zákonů ČR* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz>
- [5] BRNĚNSKÉ VODÁRNY A KANALIZACE. *ČOV Brno Modřice* [online]. 2005 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/>
- [6] ČERNÝ J.: Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. *Biom.cz* [online]. 2010-06-02 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organickych-latek-a-zivin>>
- [7] SLAVÍČEK M., SLAVÍČKOVÁ K.: *Vodní hospodářství obcí 1 – úprava a čištění vody*. Praha, NAKLADATELSTVÍ ČVUT, 2006, 105-192 s., ISBN 80-01-03534-4
- [8] HOUDKOVÁ, L. *Efektivní využití čistírenských kalů*. Brno, 2009. 104 s. Disertační práce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě strojního inženýrství na Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.
- [9] FRÝBA, L. *Analýza alternativ odstraňování PCDD/F při spalování odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 69s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc..
- [10] LEE D. J., TAY J. H.: *Energy recovery in sludge management processes*. NTNU Trondheim, 2003, IWA International Specialist Conf. BIOSOLIDS 2003 – Wastewater Sludge as a Resource, , Norsko 23.-25. June 2003
- [11] SVANSTRÖM M., MODELL M., TESTER J.: *Direct energy recovery from primary and secondary sludges by supercritical water oxidation*. NTNU Trondheim, 2003, IWA International Specialist Conf. BIOSOLIDS 2003 – Wastewater Sludge as a Resource, Norsko 23.-25. June 2003
- [12] STAF M.: *Výzkum termické konverze odpadní biomasy na plynná a kapalná paliva*. *Biom.cz* [online]. 2005-01-12 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z:

- <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-na-plyna-a-kapalna-paliva>>. ISSN: 1801-2655.
- [13] FOLLER J., JUN M., VÁGNER I.: *Autotermní aerobní termofilní stabilizace kalů na malých ČOV čistým kyslíkem a její hygienizační účinky*; Sborník konference „Kaly a odpady '02“; Brno 16. – 17.10.2002
- [14] VOSÁHLO, D. *Způsoby dopravy znečištěných kapalin a kalů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.
- [15] *Čisticí a sací vozy* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.hercikakriz.cz/nase-technika/cistici-a-saci-vozy>
- [16] *Zemědělská, lesnická a komunální technika* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.somejh.cz/sklapeci-prives-za-traktor-zdk-120-z224.html>
- [17] KÁRA, J., PASTOREK Z. a E. PŘIBYL: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství* [online]. Praha, 2007 [cit. 2015-05-21]. ISBN 978-80-86884-28-8. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2007/086.PDF>
- [18] *Veřejný informační systém odpadového hospodářství Ministerstva životního prostředí* [online]. 2014 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://isoh.cenia.cz/groupisoh/>
- [19] ZERA. *Databáze kompostáren* [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.zeraagency.eu/kompostarny/public/>
- [20] SEZNAM.CZ, A.S. *Mapy* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>
- [21] MÁLEK, M.: *Vybrané optimalizační modely v logistice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 57 s. Vedoucí RNDr. Pavel Popela, Ph.D
- [22] *Neruda* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.upei.fme.vutbr.cz/veda-vyzkum/neruda>
- [23] VŠB TU OSTRAVA. *Úprava a čištění vody* [online]. 2010. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/khcov.html [24] Statistický úřad
- [24] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Životní prostředí* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/zivotni_prostredi_zem
- [25] *Vyhláška. 383/2001 Sb.* 2001. Dostupné také z: <http://www.inisoft.cz/strana/vyhlaska-383-2001-sb>
- [26] HARTIG, K.: *Čištění odpadních vod a stabilizace kalů s ohledem na spotřebu a produkci energie*. Brno, Tribun EU, 2014, 55 -60 s., ISBN 978-80-263-0712-9

Seznam použitých zkratk a symbolů

ČOV	Čistírna odpadních vod
OV	Odpadní voda
TKO	Tuhá alternativní paliva
ATAD	Autotermní termofilní aerobní stabilizace
ORP	Obec s rozšířenou působností
GPS	Global Position System (globální triangulační systém)

Označení	legenda	Jednotky
C	uhlík	
O ₂	molekula kyslíku	
CO ₂	oxid uhličitý	
H ₂	molekula vodíku	
H ₂ O	voda	
S	síra	
SO ₂	oxid siřičitý	
HHV _h	spalné teplo hořlaviny paliva	(kJ/kg)
HHV _p	spalné teplo původního paliva	(kJ/kg)
LHV	výhřevnost hořlaviny	(kJ/kg)
C _h	obsah C v hořlavině	(% hm.)
H _h	obsah H v hořlavině	(% hm.)
O _h	obsah O v hořlavině	(% hm.)
N _h	obsah N v hořlavině	(% hm.)
S _h	obsah S v hořlavině	(% hm.)
Cl _h	obsah Cl v hořlavině	(% hm.)
F _h	obsah F v hořlavině	(% hm.)
W _p	obsah vody v celkovém palivu	(% hm.)
A _p	obsah popeloviny v celkovém palivu	(% hm.)
M _H	molární hmotnost H	(g/mol)
M _F	molární hmotnost F	(g/mol)
M _{Cl}	molární hmotnost Cl	(g/mol)
M _{H₂O}	molární hmotnost H ₂ O	(g/mol)
r _{H₂O}	výparné teplo vody (při 20°C r _{H₂O} = 2454 kJ/kg)	(kJ/kg)

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma kalového hospodářství – část	12
Obr. 2 Dosazovací nádrž	13
Obr. 3 Aktivační nádrž	14
Obr. 4 Schéma kalového hospodářství – část úprava a zpracování	16
Obr. 1 Typy anaerobních reaktorů pro zpracování materiálů v suspenzi	19
Obr. 6 Schéma kalolisu	21
Obr. 7 Schéma odstředivky	21
Obr. 8 Provdzušňování kompostu	25
Obr. 9 Schéma pyrolýzní jednotky Babcock	28
Obr. 10 Vírové čerpadlo se zapuštěným oběžným kolem	32
Obr. 11 Fekální vůz na čištění kanalizací a sání kalů	33
Obr. 12 Třístranný sklápěcí přívěs za traktor	33
Obr. 13 Katalog odpadů	39
Obr. 14 Specifikace odpadů pod kódem 19	39
Obr. 15 Specifikace odpadů pod kódem 1908	39

Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry normální vyhnívání a rychlovyhnívání	18
Tab. 2 Teoreticky dosažitelných teplot při ATAD	20
Tab. 3 Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě	25
Tab. 4 Charakteristická data sušáren	27
Tab. 5 Parametry třístranného sklápěcího přívěsu	33
Tab. 6 Složení spalitelné části směsného surového kalu	36

Seznam grafů

Graf 1. Zpracování kalů z ČOV	23
Graf 2. Spalování kalů	24
Graf 3. Porovnání zpracování kalů za rok 2005 a 2013	24

Seznam příloh

Příloha I	46
Příloha II	52
Příloha III	53

Příloha I

ORP	vyprodukovaný kal (bez B00)	zpracovaný kal (bez B00)	Rozdíl
Aš	211,58627	140,0740677	71,5122
Benešov	2159,50797	2111,61082	47,89715
Beroun	893,93628	1395,988568	-502,052
Bílina	352,336628	179,3881598	172,9485
Bílovec	42,72	13,25821797	29,46178
Blansko	339,9489	151,1921003	188,7568
Blatná	68,797	77,73188948	-8,93489
6Blovice	17,055	84,55217537	-67,4972
Bohumín	358,022996	127,3136528	230,7093
Boskovice	538,06364	303,8205092	234,2431
Brandýs nad Labem-Stará Boleslav	423,160676	2328,049989	-1904,89
Brno	232,07692	774,4146303	-542,338
Broumov	63,1372	42,15939633	20,9778
Bruntál	256,867684	165,9781175	90,88957
Břeclav	730,933	418,0869817	312,846
Bučovice	216,4617	147,6466448	68,81506
Bystřice nad Pernštejnem	221,843	114,3831664	107,4598
Bystřice pod Hostýnem	95,605105	87,41858194	8,186523
Čáslav	186,614	142,2651478	44,34885
Černošice	1541,514085	1847,619336	-306,105
Česká Lípa	3580,33923	2406,729074	1173,61
Česká Třebová	222,26715	88,67985059	133,5873
České Budějovice	4419,46428	4344,003012	75,46127
Český Brod	73,665825	43,7901064	29,87572
Český Krumlov	126,49247	271,6258829	-145,133
Český Těšín	530,00255	199,9843294	330,0182
Dačice	82,803	53,38046615	29,42253
Děčín	1161,29	674,8631629	486,4268
Dobruška	137,1257	61,49926192	75,62644
Dobříš	685,43336	528,3735075	157,0599
Domažlice	52,25672	57,09723715	-4,84052
Dvůr Králové nad Labem	193,41	114,33351	79,07649
Frenštát pod Radhoštěm	345,65292	172,95271	172,7002
Frýdek-Místek	2532,85692	1113,756112	1419,101
Frýdlant	36,06048	28,47661625	7,583864
Frýdlant nad Ostravicí	0	0	0
Havířov	0	0	0
Havlíčkův Brod	1276,48337	1389,133479	-112,65
Hlavní město Praha -kraj	24744,49354	14026,21359	10718,28

ORP	vyprodukovaný kal (bez B00)	zpracovaný kal (bez B00)	Rozdíl
Hlinsko	296,0933	241,983598	54,1097
Hlučín	19,456	41,813492	-22,3575
Hodonín	1209,079942	1090,246826	118,8331
Holešov	413,1512	307,017937	106,1333
Holice	13,03114	15,289055	-2,25791
Horažďovice	47,73192	79,046645	-31,3147
Horšovský Týn	21,861992	35,780857	-13,9189
Hořice	249,62757	280,75683	-31,1293
Hořovice	2064,759	1215,104779	849,6542
Hradec Králové	1986,337	1549,895967	436,441
Hranice	353,8338	413,732107	-59,8983
Humpolec	238,40372	248,702484	-10,2988
Hustopeče	304,67102	283,262448	21,40857
Cheb	22,882556	580,123635	-557,241
Chomutov	1502,02	1544,366056	-42,3461
Chotěboř	84,906853	90,595229	-5,68838
Chrudim	761,380662	648,488111	112,8926
Ivančice	206,412214	211,415862	-5,00365
Jablonec nad Nisou	6,665	66,331036	-59,666
Jablunkov	109,475002	58,534895	50,94011
Jaroměř	36,96268	39,686507	-2,72383
Jeseník	285,2858	228,398203	56,8876
Jičín	763,0125	579,025056	183,9874
Jihlava	779,5301	1295,777281	-516,247
Jilemnice	370,81616	514,561264	-143,745
Jindřichův Hradec	378,31465	649,842663	-271,528
Kadaň	174,072	1599,92453	-1425,85
Kaplice	212,77573	363,751418	-150,976
Karlovy Vary	2064,173288	1360,829575	703,3437
Karviná	954,368979	683,273106	271,0959
Kladno	1607,82182	2403,850698	-796,029
Klatovy	702,906895	956,070614	-253,164
Kolín	467,682872	561,07119	-93,3883
Konice	0	0	0
Kopřivnice	0	0	0
Kostelec nad Orlicí	174,2706	77,724014	96,54659
Králíky	75,94	37,873525	38,06648
Kralovice	107,252	264,526175	-157,274
Kralupy nad Vltavou	853,3835	943,484674	-90,1012
Kraslice	17,177515	27,154828	-9,97731
Kravaře	73,094088	103,540253	-30,4462

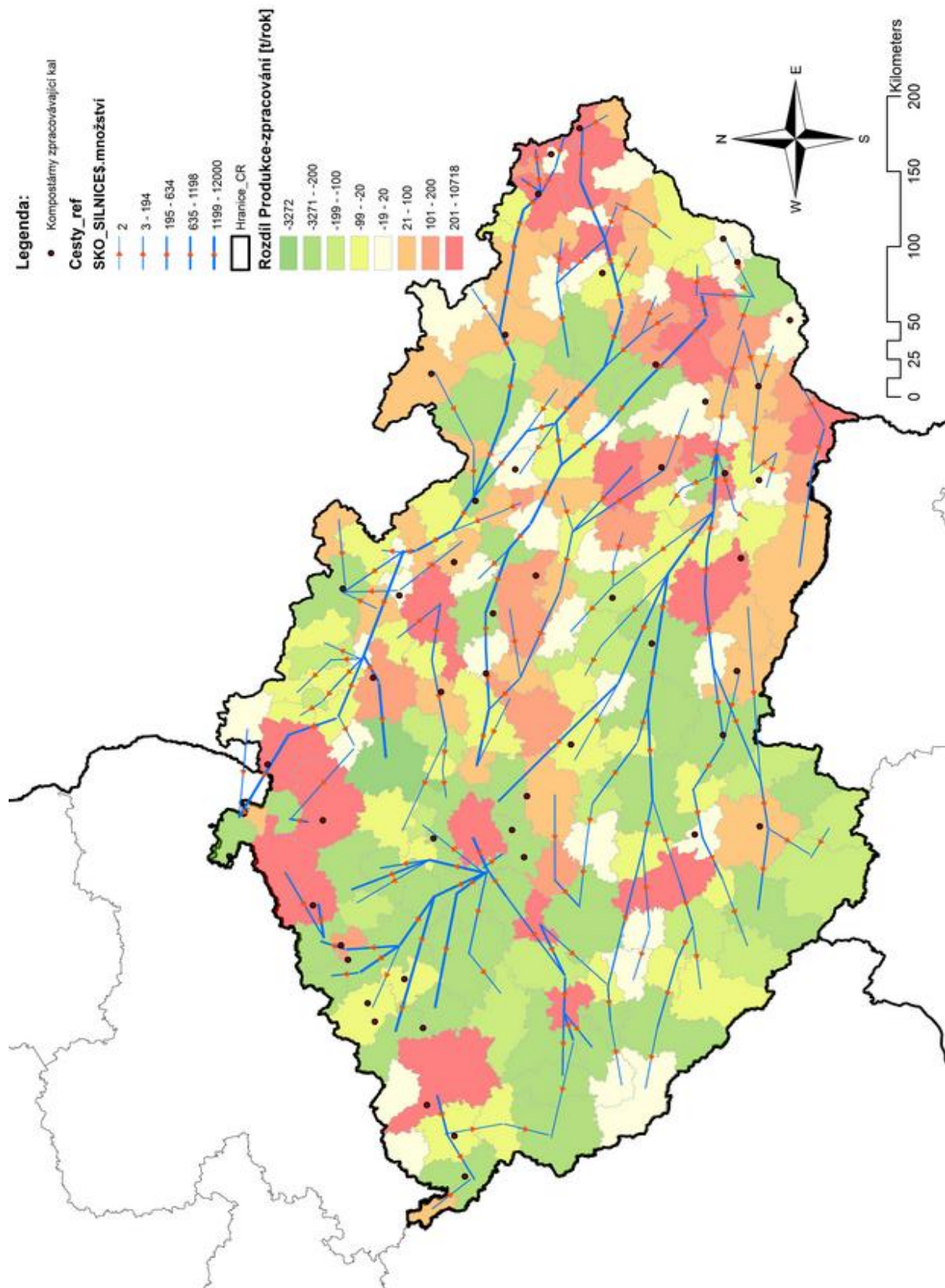
ORP	vyprodukovaný kal (bez B00)	zpracovaný kal (bez B00)	Rozdíl
Krnov	158,03184	142,102025	15,92982
Kroměříž	1117,359664	901,527549	215,8321
Kuřim	0	0	0
Kutná Hora	1096,37503	967,36185	129,0132
Kyjov	866,679902	819,5763	47,1036
Lanškroun	65,016	68,625192	-3,60919
Liberec	3540,14475	3088,674253	451,4705
Lipník nad Bečvou	180,67035	153,371319	27,29903
Litoměřice	891,45	1598,927068	-707,477
Litomyšl	333,224955	353,130475	-19,9055
Litovel	176,035124	155,689015	20,34611
Litvínov	30,08	600,071444	-569,991
Louny	591,715	1530,700864	-938,986
Lovosice	6,632	122,511926	-115,88
Luhačovice	329,4769	327,336181	2,140719
Lysá nad Labem	121,1317	173,89504	-52,7633
Mariánské Lázně	281,207686	324,184209	-42,9765
Mělník	319,84404	419,495424	-99,6514
Mikulov	330,76	226,862117	103,8979
Milevsko	59,51209	79,679034	-20,1669
Mladá Boleslav	1604,683344	4876,653754	-3271,97
Mnichovo Hradiště	0	0	0
Mohelnice	209,994324	274,282523	-64,2882
Moravská Třebová	372,2062	418,932856	-46,7267
Moravské Budějovice	205,6133	139,863727	65,74957
Moravský Krumlov	118,886584	158,85136	-39,9648
Most	194,46693	1414,143768	-1219,68
Náchod	528,842	617,487082	-88,6451
Náměšť nad Oslavou	112,085	153,608714	-41,5237
Nepomuk	1,22544	9,874844	-8,6494
Neratovice	20,6381	202,025384	-181,387
Nová Paka	265,716	267,718045	-2,00205
Nové Město na Moravě	153,05214	160,762491	-7,71035
Nové Město nad Metují	37,411	39,279943	-1,86894
Nový Bor	335,73	1666,953786	-1331,22
Nový Bydžov	279,4425	301,332419	-21,8899
Nový Jičín	1070,112732	753,277186	316,8355
Nymburk	350,5914	452,686875	-102,095
Nýřany	483,1789	1377,710572	-894,532
Odry	0	0	0
Olomouc	2765,086528	3269,723071	-504,637

ORP	vyprodukovaný kal (bez B00)	zpracovaný kal (bez B00)	Rozdíl
Opava	1397,065188	1338,021513	59,04368
Orlová	319,02704	209,905311	109,1217
Ostrava	9942,05834	6075,597498	3866,461
Ostrov	0	0	0
Otrokovice	1850,6955	1096,506879	754,1886
Pacov	115,096	136,651907	-21,5559
Pardubice	252,223333	1335,289429	-1083,07
Pelhřimov	460,08997	705,534799	-245,445
Písek	3002,14956	2556,001126	446,1484
Plzeň	6016,2019	5269,383362	746,8185
Podbořany	345,744	1653,787325	-1308,04
Poděbrady	688,245	629,097507	59,14749
Pohořelice	30,484	39,898367	-9,41437
Polička	302,5665	385,98678	-83,4203
Prachatic	438,4218	742,668209	-304,246
Prostějov	1613,597	2371,710567	-758,114
Přelouč	22,034732	29,41946	-7,38473
Přerov	2456,212904	2286,794473	169,4184
Přeštice	145,8557	706,390617	-560,535
Příbram	1004,73758	1315,246087	-310,509
Rakovník	727,975	1082,532478	-354,557
Rokycany	71,280448	239,213853	-167,933
Rosice	244,2568	164,271553	79,98525
Roudnice nad Labem	314,6182	711,280166	-396,662
Rožnov pod Radhoštěm	254,31006	226,283589	28,02647
Rumburk	451,06	1831,394909	-1380,33
Rychnov nad Kněžnou	223,5	263,329224	-39,8292
Rýmařov	140,034095	333,773783	-193,74
Říčany	304,640682	1095,442192	-790,802
Sedlčany	300,2782	299,319546	0,958654
Semily	248,38233	289,668133	-41,2858
Slaný	338,988	717,971121	-378,983
Slavkov u Brna	229,67753	245,046795	-15,3693
Soběslav	190,9191	223,570501	-32,6514
Sokolov	271,374854	340,16151	-68,7867
Stod	141,715138	381,44834	-239,733
Strakonice	514,38445	676,809969	-162,426
Stříbro	1416,79194	1843,625755	-426,834
Sušice	266,336	323,974743	-57,6387
Světlá nad Sázavou	186,81122	218,521364	-31,7101
Svitavy	299,406	254,511685	44,89432

ORP	vyprodukovaný kal (bez B00)	zpracovaný kal (bez B00)	Rozdíl
Šlapanice	9205,991397	4746,074577	4459,917
Šternberk	211,14736	642,347756	-431,2
Šumperk	1181,730235	1521,911254	-340,181
Tábor	1982,92166	2525,036005	-542,114
Tachov	258,1036	539,83289	-281,729
Tanvald	428,97914	469,232729	-40,2536
Telč	61,5375	62,041961	-0,50446
Teplice	368,4375	3060,454138	-2692,02
Tišnov	307,615	354,117958	-46,503
Trhové Sviny	107,78443	499,505616	-391,721
Trutnov	1730,108874	2359,869731	-629,761
Třebíč	2190,7197	1980,578891	210,1408
Třeboň	87,059015	215,518811	-128,46
Třinec	810,514998	464,229474	346,2855
Turnov	381,51311	446,660226	-65,1471
Týn nad Vltavou	20,865365	33,536711	-12,6713
Uherské Hradiště	829,56476	686,854382	142,7104
Uherský Brod	900,7943	1136,913954	-236,12
Uničov	194,40969	149,712638	44,69705
Ústí nad Labem	3785,36908	2464,143115	1321,226
Ústí nad Orlicí	264,9735	221,635431	43,33807
Valašské Klobouky	166,4262	155,66348	10,76272
Valašské Meziříčí	507,489214	466,086742	41,40247
Varnsdorf	1635,796	1536,88511	98,91089
Velké Meziříčí	383,215	438,682548	-55,4675
Veselí nad Moravou	396,609831	383,116692	13,49314
Vimperk	119,5681	271,241071	-151,673
Vítkov	0	0	0
Vizovice	13,596	40,227529	-26,6315
Vlašim	287,91694	308,935052	-21,0181
Vodňany	7,5	59,847551	-52,3476
Votice	12,1596	177,964673	-165,805
Vrchlabí	355,2254	401,377576	-46,1522
Vsetín	495,50346	556,053572	-60,5501
Vysoké Mýto	999,637	1262,982819	-263,346
Vyškov	388,5174	382,196437	6,320963
Zábřeh	251,9192	246,398351	5,520849
Zlín	2177,41812	741,578984	1435,839
Znojmo	1063,53791	1029,467648	34,07026
Žamberk	100,83856	377,068497	-276,23
Žatec	709,808	778,397195	-68,5892

ORP	vyprodukovaný kal (bez B00)	zpracovaný kal (bez B00)	Rozdíl
Žďár nad Sázavou	572,76298	702,37485	-129,612
Železný Brod	94,27626	205,771842	-111,496
Židlochovice	369,39617	445,551053	-76,1549
Celkový součet	159106	158897	209,7

Příloha II



List č. 4 – Údaje o finanční rezervě a volné kapacitě skládky

IČ															
IČZÚJ provozovny															
Číslo provozovny															

	Označení skládky	Volná kapacita (m ³)
Skupina nebo podskupina skládky		
Skládka s více sektory		
z toho:		
Stav finanční rezervy k 31. prosinci vykazovaného roku:		(Kč)