

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**Hornicko-geologická fakulta**  
Institut environmentálního inženýrství

**Možnosti kompostování kalů z ČOV**

bakalářská práce

**Autor práce:**  
**Vedoucí práce:**

Radek Souček  
Ing. Škrobánková Hana, Ph.D.

Ostrava 2012

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICAL UNIVERSITY OF  
OSTRAVA**

**Faculty of Mining and Geology**  
Institute of Environmental Engineering

**Possibilities of composting the sludge  
from WWTP**

bachelor thesis

**Author:**  
**Supervisor:**

Radek Souček  
Ing. Škrobánková Hana, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Souček**  
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 2102R006 Technologie a hospodaření s vodou  
Téma: **Možnosti kompostování kalů z ČOV.**  
**Possibilities of composting the sludge from WWTP.**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Kalý z ČOV – základní charakteristika
  - 2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti
  - 2.2 Biologické vlastnosti a ekotoxická
3. Možnosti využití kalů z ČOV v EU a ČR
4. Hodnocení obsahu živin v kalech z ČOV
5. Kompostování kalů
6. Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

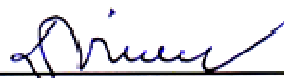
1. [http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/file/seminare/2011-06 14/prezentace/Sbornik\\_BPS.pdf](http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/file/seminare/2011-06%2014/prezentace/Sbornik_BPS.pdf)
2. Raclavská H., (2007): Technologie zpracování a využití kalů z ČOV. VŠB-TUO, ISBN 978824816005.
3. Pitter P. (2009): Hydrochemie. VŠCHT Praha, 1-555

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

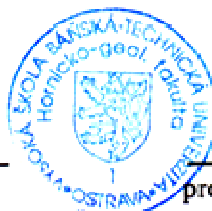
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Hana Škrobánková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Ve své programové aplikaci jsem použil pramenů uvedených v seznamu použité literatury.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencovaná pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne

.....

Radek Souček

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval paní Ing. Haně Škrobánkové, Ph.D., za cenné rady a odborné vedení při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji svým rodičům a osobám blízkým za podporu při studiu.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi kompostování s využitím kalů z ČOV.

V první části práce jsou popsány vlastnosti čistírenských kalů z hlediska stabilizace a hygienizace kalu jako produktu při čištění odpadních vod. Další část práce shrnuje možnosti využití těchto kalů, způsoby a vývoj nakládání s čistírenskými kaly v České republice a ve světě. Následuje hodnocení obsahu živin přítomných v kalech a dále se práce zaměřuje na technologii využití kalů kompostováním, kde jsou popsány podmínky a průběh správného kompostovacího procesu, jednotlivé kompostovací technologie a možnosti následného využití kompostů s obsahem čistírenských kalů.

*Klíčová slova:*

*Čistírenské kaly, BRO, kompostování, živiny, rizikové látky*

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the possibilities of using sludge from wastewater treatment plants on composting

The first part describes the properties of sewage sludge in terms of stabilization and hygienization of sludge as a product of waste water treatment. Next part of this thesis summarizes the use of sludge and describes methods and development of sewage sludge treatment in the Czech Republic and the world. Evaluation of the nutrient content present in the sludge follows and the work focuses on the technology of sludge composting, where the conditions and the course of correct composting process are described and the individual composting technologies and the possibility of subsequent use of composts with the contents of sewage sludge are also mentioned.

*Keywords:*

*Sewage sludge, biodegradable waste, composting, nutrients, substandard substances*

# OBSAH

<b>ÚVOD A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>1</b>
<b>1 KALY Z ČOV – ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA</b> .....	<b>2</b>
1.1 Fyzikální a chemické vlastnosti kalů .....	3
1.1.1 Fyzikální vlastnosti kalů .....	3
1.1.2 Chemické vlastnosti kalů .....	8
1.2 Biologické vlastnosti a ekotoxicita .....	12
1.2.1 Biologické vlastnosti.....	12
1.2.2 Ekotoxicita .....	14
<b>2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ KALŮ Z ČOV V ČR A EU</b> .....	<b>16</b>
2.1 Nakládání s kaly .....	16
2.1.1 Přímá aplikace kalů na zemědělskou půdu .....	17
2.1.2 Rekultivace .....	17
2.1.3 Kompostování .....	18
2.1.4 Termické zpracování kalů.....	19
2.1.5 Alternativní způsoby nakládání s kalem.....	19
2.2 Současné způsoby využití kalu a jeho produkce v ČR .....	20
2.3 Současné způsoby využití kalu a jeho produkce v EU .....	22
2.4 Využití kalu v USA.....	23
<b>3 HODNOCENÍ OBSAHU ŽIVIN V KALECH Z ČOV</b> .....	<b>25</b>
3.1 Makroprvky v kalech .....	26
3.2 Biologická dostupnost živin v kalech .....	27
<b>4 KOMPOSTOVÁNÍ KALŮ</b> .....	<b>29</b>
4.1 Podmínky správného kompostovacího procesu .....	30
4.1.1 Optimální složení směsi.....	30
4.1.2 Vlhkost.....	30
4.1.3 Provzdušňování.....	31
4.1.4 Zrnitost a homogenita směsi .....	31
4.1.5 Obsah fosforu.....	31
4.1.6 Teplota .....	32
4.2 Fáze kompostovacího procesu .....	32
4.3 Legislativa kompostování .....	33
4.4 Technologie kompostování .....	34

4.4.1	Kompostování na volné ploše.....	35
4.4.2	Intenzivní kompostovací technologie .....	36
4.4.3	Kompostování ve vacích.....	37
4.4.4	Vermikompostování.....	38
4.5	Složení a využití kompostu .....	39
<b>VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR.....</b>		<b>41</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>42</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>48</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>49</b>



## Seznam použitých symbolů a zkratek

Al	hliník
AN	aktivační nádrž
AOX	halogenované organické sloučeniny
As	arsen
BRO	biologicky rozložitelný odpad
BSK <sub>5</sub>	biologická spotřeba kyslíku
C	uhlík
CaO	oxid vápenatý
Cd	kadmium
Cr	chrom
CST	Capillary Sunction Time (čas kapilárního sání)
CST <sub>s</sub>	CST specifické
Cu	měď
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN EN	Česká technická norma harmonizovaná podle Evropské normy
DNA	Deoxyribonucleic acid (Deoxyribonukleová kyselina)
EPA	Environmental Protection Agency (agentura ochrany životního prostředí)
EU	Evropská unie
Fe	železo
Hg	rtuť
HHV	Higher Heating Value (spalné teplo)
HNO <sub>2</sub>	kyselina dusitá
CH <sub>4</sub>	metan
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
ISWA	International Solid Waste Association (Mezinárodní Asociace Tuhých Odpadů)
K <sub>2</sub> O	oxid draselný

KI	kalový index
LHV	Lower Heating Value (výhřevnost)
MgO	oxid hořečnatý
Mo	molybden
MZ	Ministerstvo zemědělství
N	dusík
NH <sub>4</sub>	amonium
NH <sub>4</sub> -N	amoniakální dusík
Ni	nikl
NL	nerozpuštěné látky
NO <sub>2</sub> -N	dusitany
NO <sub>3</sub> -N	dusičnany
OKD	Ostravsko – Karvinské doly
P	fosfor
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	oxid fosforečný
PAH	polyaromatické uhlovodíky
PAX	polyaluminiumhalogen (polyaluminiumchlorid)
Pb	olovo
PCB	polychlorované bifenyly
PCDD	polychlorované dibenzodioxiny
PCDF	polychlorované dibenzofurany
pH	vodíkový exponent
SFO	specifický filtrační odpor
TOC	Total Organic Carbon (celkový organický uhlík)
USA	United States of America (Spojené státy Americké)
Zn	zinek

## ÚVOD A CÍL PRÁCE

Značná produkce kalů z čistíren odpadních vod, která navíc ve vyspělých zemích roste s rozvojem lidské společnosti, s sebou nese otázku, jak tyto kaly co nejefektivněji využít.

Upravený kal, který je vedlejším produktem čištění odpadních vod, je zdrojem živin potřebných pro růst zemědělských plodin i ostatní vegetace. Vedle toho však obsahuje řadu potenciálně nebezpečných látek, proto je jeho využití značně ovlivněno mírou znečištění odpadních vod.

Ukládání čistírenských kalů na skládky není řešení, jeví se jako neudržitelné, z hlediska využitelnosti kalů je jeho význam takřka nulový. Je třeba na kal pohlížet jako na produkt možného využití, ne jako na odpad, kterého je třeba se zbavit. Navíc podle implementované směrnice EU 1999/31/ES, která se samozřejmě vztahuje i na Českou republiku, se má množství biodegradabilních odpadů (do této skupiny patří i čistírenské kaly) uložených na skládku do roku 2013 snížit na 50 % produkce těchto odpadů v roce 1995, do roku 2020 pak na 35%.

Kaly, které splňují neustále se zpřísnující kritéria obsahu škodlivin, lze použít jako zdroj živin, ať už ve formě přímé aplikace na půdu nebo jako složku pro výrobu kompostů či rekultivačních substrátů.

Cílem této bakalářské práce je přiblížit problematiku zpracování čistírenských kalů se zaměřením na jejich využití při výrobě kompostů.

## 1 KALY Z ČOV – ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA

Kaly tvoří přibližně 1 – 2 % objemu odpadních vod, je v nich však zkoncentrováno 50 – 80 % původního znečištění [1].

Kal je nevyhnutelným odpadem při procesu čištění odpadních vod. Každá znečištěná voda má v závislosti na svém původu charakteristické složení, dané množstvím a druhem toxických látek, patogenních organismů a těžkých kovů. Aby se zabránilo ohrožení lidského zdraví, ale také negativním dopadům na životní prostředí, je nutné snížit množství těchto látek na minimum. Technologické postupy čištění odpadních vod komunálních či průmyslových jsou založeny na třech stupních. První stupeň představuje mechanické předčištění, následuje biologické čištění a proces chemického dočištění. V každém z těchto stupňů je z odpadní vody odstraňováno znečištění do určité míry [2].

Čistírenský kal představují veškeré suspendované látky, které nezachyceny projdou hrubým předčištěním čistírny odpadních vod (lapákem štěrku, česlemi, lapákem písku apod.), případně vzniknou během vlastního procesu čištění odpadních vod. Podle místa vzniku nebo separace, dále podle procesu, kterým kal vznikl nebo prošel, rozlišujeme kal primární a kal sekundární [2].

Primární kal vzniká ještě před započítáním biochemických procesů biologického čištění. V usazovacích nádržích je do vody přidáváno koagulační činidlo (např. soli Al, Fe, organické látky, vápno aj.) pro odlehčení zatížení biologického stupně čištění a dochází k flokulaci (tvorbě vloček) a následné sedimentaci většiny suspendovaných látek [3].

Sekundární kal je produktem biologického čištění odpadní vody. Podstatou biologického čištění je činnost mikroorganismů v procesu aktivace v aktivačních nádržích, kde dochází k rozkladu organických nečistot, kterými se mikroorganismy živí, a následné separaci biologického kalu v dosazovacích nádržích. Separovaný sekundární kal se dělí na vratný (ten je čerpán zpět do AN) a přebytečný neboli aktivovaný (vhodný na proces zahušťování) [3].

Kaly z čistíren odpadních vod (ČOV) se řadí mezi biologicky rozložitelné odpady, kterým jsou jakékoli odpady podléhající aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu [4].

## 1.1 Fyzikální a chemické vlastnosti kalů

Kaly disponují řadou vlastností, které napomáhají jejich hodnocení a jsou směrníkem při jejich dalším zpracování. Vlastnosti kalu (fyzikální, chemické, biologické) určují jeho stabilitu a hygienizaci.

### 1.1.1 Fyzikální vlastnosti kalů

#### Obsah sušiny

Základním parametrem a důležitou fyzikální vlastností kalů je obsah (koncentrace) sušiny kalu. Ten bývá vyjádřen g/l nebo v % a závisí hlavně, tak jako složení kalu, na charakteru znečištění odpadních vod (jedná-li se o průmyslové odpadní vody nebo odpadní vody komunální), na použité technologii čištění odpadních vod a účinnosti jednotlivých aparátů [3],[5].

Průměrný obsah sušiny v primárních a aktivovaných kalech z městských ČOV činí od 0,5% do 7%. Tato sušina se skládá z 60 – 70% z organických látek a z 30 – 40% látek anorganických [1]. Organický podíl v sušině resp. zbývající anorganický podíl je pro první charakteristiku kalu významný, protože chemické složení částic určuje i fyzikální vlastnosti kalu. Organický podíl se stanovuje přibližně jako ztráta žíháním sušiny při 550 °C, kdy jsou spáleny organické látky, zatímco látky anorganické (minerální) zůstávají většinou nerozloženy [6].

Koncentrace sušiny vyhnílených (odvodněných) kalů činí asi 25 – 40 % v závislosti na obsahu organických látek v kalu, což je hlavním kritériem při procesu odvodňování [3]. Zrnitostní složení tuhé fáze tvoří 80 % částic větších než 0,1 mm a 20 % částic menších než 0,1 mm [1]. Obsah sušiny a složení kalu znázorňuje Tabulka č. 1.

Tabulka č. 1: Obsah sušiny a složení kalu [1].

	<b>Primární kal</b>	<b>Sekundární kal (aktivovaný)</b>	<b>Vyhnilý kal</b>
<b>Obsah sušiny</b>	2,5 – 5 %	0,5 – 1,5 %	25 – 40 %
<b>Organická hmota</b>	60 – 80 %	60 – 75 %	45 – 60 %
<b>Interní látky</b>	20 – 40 %	25 – 40 %	40 – 45 %

### Kalový index

Důležitou fyzikální vlastností a zároveň ukazatelem jakosti kalu je tzv. kalový index (KI), který charakterizuje schopnost kalu sedimentovat a zahušťovat se. KI udává objem, který zaujímá 1 g kalu po 30 minutách sedimentace vztažený na celkovou koncentraci organické sušiny kalu. KI a jeho hodnoty se udává pro tři hlavní druhy kalu a to [7],[8]:

1. Normální kal      KI < 100 ml/g      sedimentace > 0,6 m/h
2. Lehký kal      KI = 100–200 ml/g      sedimentace = 0,3 – 0,6 m/h
3. Zbytnělý kal      KI > 200 ml/g      sedimentace < 0,3 m/h

Menší kalový index tak znamená větší sedimentační rychlost a příznivě ovlivňuje kvalitu vyčištěné vody. Větší kalový index a menší sedimentační rychlost bývá způsobena tzv. vláknitým bytněním aktivovaného kalu, což je nepříznivý jev, kdy se tvoří biologická pěna v důsledku přemnožení mikroorganismů ve tvaru dlouhých vláken na úkor mikroorganismů tvořících kompaktní vločky. Dlouhá vlákna se propletou a vytvoří určitou síť, ve které se pak zachytávají mikrobublinky vzduchu z aerace. Pro odstranění biologické pěny má jediný prokázaný efekt použití koagulantu PAX nebo jiné chemikálie obsahující hliník, který má údajně toxické účinky na obnažená vlákna mikroorganismů [7],[9].

## Kondicionace

Dalším pojmem charakterizujícím kal je schopnost částic kalu separovat se od vody[5]. Kondicionace umožňuje posílení účinnosti kalových částic odstranit vodu. Toho je nejčastěji docíleno přidáním chemických přísad, jako jsou chlorid železa, oxid vápenatý a organické polymery (především kationové). Přidání těchto chemikálií vede k flokulaci kalových částic. Také se používají metody fyzikální (termické) kondicionace, což představuje zmrazování-rozmrazování kalu a zdá se být slibnou alternativou k chemické kondicionaci [10]. Termická kondicionace je založena na skutečnosti, že zmrazovaná voda vylučuje pevné částice před postupující ledové pole [11].

## Čas kapilárního sání

Stanovení odvodňovacích schopností kalu se provádí CST testem. Tato metoda je založena na principu měření rychlosti kapilárního sání kapalné fáze kalu do filtračního papíru, kde se výsledky měření vyjadřují v sekundách jako čas kapilárního sání. CST tedy vyjadřuje dobu potřebnou ke kapilárnímu sání ve standardní vzdálenosti na filtračním papíru. Při těchto měřeních se používají standardní chromatografické papíry Whatman 17 s měřicí celou o obsahu 1,8 nebo 1,0 cm<sup>3</sup>. Z údajů měření a z koncentrace NL zkoušené kalové suspenze se potom vypočte CST<sub>s</sub>, které slouží jako kritérium při posuzování odvodňovacích vlastností daného kalu. Pokud jsou hodnoty CST<sub>s</sub> menší 1,0 pak jsou kalové suspenze dobře odvodnitelné, v případě kdy hodnoty CST<sub>s</sub> jsou větší než 1,0 pak se jedná o suspenze buď velmi špatně odvodnitelné, nebo dokonce neodvodnitelné vůbec [12].

## Distribuce vody v kalu

Voda v kalové suspenzi se vyskytuje v několika formách, charakterizuje ji vždy jiný druh vazby a s tím souvisí i způsob její separace z kalu. Jedná se o tyto 4 formy vody [5]:

1. Volná voda (většina vody v kalu, bez vazby na částice, oddělení sedimentací, filtrací nebo centrifugací)

2. Voda kapilární (v mezerách mezi vločkami, vazba kapilárních sil, odstranění termicky nebo tlakovou filtrací)
3. Voda tzv. povrchová (na povrchu částic nebo buněk, vazba adhezních a adsorpčních sil, odstranění pouze termicky)
4. Voda vázaná (voda obsažená uvnitř buněk nebo chemicky vázaná k molekulární struktuře, odstranění pouze termicky)

Zvýšení separační schopnosti kalových částic viz. Kondicionace. Technologické procesy, kterými se obsah vody v kalu při jeho zpracování postupně snižuje, jsou sedimentace, zahušťování, odvodňování a sušení.

### Hustota kalu

Hustota částic (vloček) má klíčovou roli v procesech mechanického odvodňování. Je to totiž rozhodující faktor výsledné koncentrace sušiny získané právě těmito procesy [13]. Zjednodušeně lze říci, že čím hustější suspenze vstupuje do procesu mechanického odvodňování, tím větší bude koncentrace sušiny v suspenzi po odvodnění. Přehled závislosti koncentrace sušiny na hustotě vloček znázorňuje tabulka níže.

Tabulka č. 2: Efekt hustoty vloček na finální koncentraci sušiny získaný po vakuové filtraci [13].

Hustota vloček [ $\text{g/cm}^3$ ]	Koncentrace sušiny [%]
1,000 – 1,006	7 - 19
1,008 – 1,018	20 - 34
1,030	37
1,297	62



### **Specifický filtrační odpor**

S odvodňováním souvisí i stanovení specifického filtračního odporu – SFO. Jeho hodnota také charakterizuje odvodňovací vlastnosti filtrované kalové suspenze. Stanovení SFO se provádí tlakovou a podtlakovou filtrací [12].

### **Reologické vlastnosti**

Reologické vlastnosti kalu jsou důležité pro manipulaci a transport kalu. Závísí hlavně na obsahu vody (sušiny) a také na charakteru kalových částic. V případě, že podíl sušiny v zahuštěném kalu nepřekročí přibližně 10 hm. %, zůstává kal tekutý a lze jej čerpat. Dalším odvodněním, kdy se obsah sušiny začne pohybovat okolo 20 hm. %, obvykle dochází ke změně tekutého charakteru kalu na pevnou látku, neboť kal vykazuje rýpatelnou konzistenci [14]. Při obsahu sušiny kolem 30 - 60 hm. % označujeme kal jako drobnivý až pevný, při 60 – 90 hm. % za sypký až pevný a při obsahu sušiny kolem 90 hm. % se jedná o kal tzv. prašný.

### **Spalné teplo a výhřevnost**

Při oxidačních reakcích probíhajících při spalování hořlavých látek paliva se uvolňuje teplo, které se vztahuje na hmotnostní jednotku (J/kg). V praxi rozlišujeme spalné teplo paliva (HHV) a výhřevnost paliva (LHV). Hodnota spalného tepla paliva je vyšší než výhřevnost o výparné teplo vody, jak vyplývá z dále uvedených definic těchto parametrů. V praxi stanovujeme spalné teplo a výhřevnost buď experimentálně v kalorimetru, nebo výpočtem [15].

### **Definice spalného tepla dle normy ČSN EN 15170 o charakterizaci kalů – stanovení spalného tepla a výhřevnosti:**

*„Spalné teplo je takové množství tepla, které se vyvine dokonalým spálením jednotkového množství (kg, kmol, mN<sup>3</sup>) paliva, jestliže se spaliny ochladí na původní teplotu paliva a voda po spálení bude získána v kapalném stavu“ [15].*

### **Definice výhřevnosti dle normy ČSN EN 15170 o charakterizaci kalů – stanovení spalného tepla a výhřevnosti:**

*„Výhřevnost je takové množství tepla, které se vyvine dokonalým spálením jednotkového množství (kg, kmol, mN<sup>3</sup>) paliva, jestliže se spaliny ochladí na původní teplotu paliva a voda po spálení bude získána v plynném stavu“ [15].*

## **1.1.2 Chemické vlastnosti kalů**

### **pH**

Hodnota pH je nezbytným parametrem pro sledování procesů zpracování městských a (srovnatelných) průmyslových kalů, kalů z úpraven vody a pro hodnocení vhodnosti využití kalu v zemědělství [16].

1. pH je jedním z faktorů, které ovlivňují proces nitrifikace při biologickém čištění odpadních vod, kde se jeho optimální hodnota má pohybovat kolem 7,2 – 8,2 (při poklesu pH může dojít k autoinhibici tvorbou nestabilní HNO<sub>2</sub>, jejímž produktem je vysoce toxický NO) [17].
2. Alkalizací (vápněním) dochází ke zvýšení hodnoty pH na 12, čímž se docílí usmrcování patogenních organismů v procesu chemické hygienizace kalu.
3. Hodnotu pH čistírenského kalu lze použít ke sledování provozu anaerobního reaktoru [16]. Optimální hodnota pH při procesu metanizace je 6,5 – 7,5. Pokles pH v reaktoru indikuje nadměrnou tvorbu organických kyselin, což vede k vážným poruchám v procesu metanizace (nutné přidání hydroxidu vápenatého) [18].

### **Obsah C, N, P**

Neméně důležitou chemickou vlastností a kritériem pro správný chod procesu biologického čištění je obsah a správný poměr uhlíku, dusíku a fosforu v aktivovaném kalu [19].

Pro správnou účinnost biologického čištění (rozkladu) musí být C, N a P v rovnováze a jejich obsah musí pokrývat potřeby bakterií v aktivovaném kalu. Během

aerobního čištění odpadních vod se poměr C:N:P musí pohybovat mezi 100:10:1 a 100:5:1. V městských odpadních vodách se poměr C:N:P pohybuje kolem 100:20:5, nadbytek N a P lze však obvykle odstranit bez větších potíží využitím moderních metod [19].

Hlavní složkou organických látek v odpadních vodách je uhlík. Ten podléhá mikrobiální biodegradaci (biologický rozklad) v aktivovaném kalu za anaerobních podmínek, v anoxickém prostředí (denitrifikační zóna) a v provzdušňované části biologického stádia (zóna nitrifikace). Mikroorganismy využívají sloučenin uhlíku pro stavbu buněčných struktur a při tvorbě energie. Organické látky se stanovují jako CHSK, BSK<sub>5</sub>, nebo TOC [19].

Dusík je na přítoku do ČOV přítomný jako organický N (organicky vázaná forma - močovina) a jako amoniakální dusík (NH<sub>4</sub>-N). Močovina však velmi snadno podléhá biologické hydrolýze a rozkládá se na NH<sub>4</sub>-N. Časem koncentrace močoviny tedy klesá a zvětšuje se naopak koncentrace NH<sub>4</sub>-N. Potom amoniakální dusík oxiduje na dusitany a následně na dusičnany při procesu nitrifikace. Dusíkaté sloučeniny, které v aktivovaném kalu nepodléhají biologickému odbourání, se přeměňují v anoxických podmínkách na elementární dusík, který uniká ve formě plynného N<sub>2</sub> do atmosféry. Dusíkaté sloučeniny se v kalech a kalových produktech stanovují podle Kjeldahla (dusík obsažený ve volném amoniaku, v anorganických sloučeninách amoniaku a v těch organických dusíkatých sloučeninách, které jsou katalytickou mineralizací kyselinou sírovou převedeny na síran amonný) [19],[20],[21].

Množství fosforu, které je přítomno v kalech z ČOV je velmi významné z hlediska jeho dalšího využití. Fosfor je totiž společně s dusíkem jeden z hlavních nutrietů potřebných pro správné využití kalu. Pokud je fosfor odstraňován z odpadních vod, pak přechází do kalu jednak při biologických metodách jeho odstraňování a dále při chemických metodách. Nejčastěji se používá metoda chemického srážení, často se zároveň probíhající sekundární biologickou úpravou, takže chemická sraženina je přimísena do organického kalu. Pro chemické odstraňování fosforu se nejčastěji používají soli kovů. Účinné odstraňování fosforu vyžaduje vyšší dávky srážecích činidel, což vede ke zvyšování objemu produkovaných kalů až o 40 % [22].

Podle normy ČSN EN 13346 se extrahuje fosfor (a stopové prvky) z kalů a kalových produktů lučavkou královskou. Prvky extrahované lučavkou královskou však

nelze považovat za veškeré. Nemohou být považovány ani za biologicky dostupné, protože extrakční postup je silnější než biologické procesy [23].

### **Toxické látky (rizikové látky, těžké kovy)**

Vedle užitečných prvků (živin) obsahují čistírenské kaly i množství těžkých kovů a jiných nechtěných látek [20].

Těžké kovy mohou pocházet z domácích zdrojů (z domácností, ze saponátů, z korozi rozkládajících se hmot), veřejných zdrojů (průmysl, zdravotní péče) nebo z městských kanalizací [20]. I když jsou některé těžké kovy (Cu, Mo, Ni, Zn) i esenciální, při určité koncentraci jsou všechny toxické. Jejich nebezpečí spočívá v tom, že pouze mění svůj oxidační stav, ale v základu jsou nedegradabilní. Mají sklon k bioakumulaci v terestrických potravních řetězcích. Vyvolávají poškození DNA (As, Cr VI+), denaturaci proteinů, oxidativní stres a pozorovány byly i imunotoxické a genotoxické účinky [24].

Další skupinou škodlivých látek v kalech jsou polychlorované bifenyly (PCB). Je to skupina látek, která zahrnuje teoreticky 209 jednotlivých sloučenin tzv. kongenerů, které se liší fyzikálními a chemickými vlastnostmi i toxicitou. Jedná se o látky uměle vyrobené, v přírodě se přirozeně nevyskytují. V minulosti byly hojně využívány v průmyslu pro své výborné izolační vlastnosti a stabilitu, ale i jako spotřební materiál (přísady do barev, maziv, olejů, vozků nebo jako součást prostředků na ochranu rostlin aj.). PCB jsou látky podezřelé z karcinogenity a mohou se akumulovat v potravních řetězcích, nejohroženější jsou vodní ekosystémy [25].

PAH neboli polyaromatické uhlovodíky představují škálu látek, jako jsou naftalen, fluoren, antracen, pyren, aj. Jsou to látky, tak jako PCB, perzistentní (tzn. mají schopnost odolávat přirozeným rozkladným procesům). PAH vznikají při spalovacích procesech jakýchkoli materiálů obsahujících uhlík a jsou obsaženy v řadě běžných produktů současného průmyslu (motorová nafta, asfalt + materiály užívané při stavbě silnic a pokrývání střech). Jsou to velmi stabilní toxické látky nebezpečné jak pro životní prostředí, tak pro člověka (karcinogeny) [25].

Halogenované organické sloučeniny (AOX) jsou látky, které v naprosté většině vznikají lidskou činností (papírenský průmysl, celulózky) a vyskytují se hlavně v průmyslových odpadních vodách ze závodů, kde jsou vyráběny nebo užívány látky obsahující chlor (obecně halogeny). AOX představují chloroform, chlorfenoly, chlorbenzeny, dioxiny, furany aj. Jsou to látky obecně nebezpečné a toxické pro vodní organizmy i člověka, které mají schopnost bioakumulace (setrvávají v životním prostředí) [25].

Hlavním limitujícím faktorem využívání kalů v zemědělství jsou zvýšené koncentrace vybraných těžkých kovů (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) v kalech a dále pak zvýšené koncentrace persistentních organických polutantů (PCB, PAH) [26],[27].

Mezní hodnoty vybraných rizikových látek stanovuje vyhláška 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě ve znění pozdějších předpisů.

*Tabulka č. 3: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v čistírenských kalech pro jejich použití na zemědělské účely podle vyhlášky 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.*

<b>Riziková látka</b>	<b>Maximální hodnoty koncentrací v kalech (mg.kg<sup>-1</sup> sušiny)</b>
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 kongenerů)	0,6

## 1.2 Biologické vlastnosti a ekotoxicita

### 1.2.1 Biologické vlastnosti

#### Obsah patogenů

Z mikrobiologického hlediska jsou v surovém, smíšeném a částečně i ve stabilizovaném kalu přítomny mj. bakterie (psychrofilní, mezofilní i termofilní), viry (enteroviry), nižší houby (plísňe, kvasinky), nižší živočichové (roztoci, červi) a jejich vajíčka. Jako potenciální patogeny se sledují hlavně tyto skupiny mikroorganismů [5]:

1. termotolerantní koliformní bakterie
2. enterokoky a bakterie rodu *Salmonella* sp.
3. vajíčka helmitů
4. enteroviry

Hlavním zdrojem patogenních mikroorganismů jsou exkrementy infikovaných lidí a zvířat [1].

Pro bezpečnou aplikaci kalů do půdy jsou stanoveny závazné normy, které udávají maximální množství mikroorganismů v jednom gramu sušiny kalu. V ČR je touto normou vyhláška č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, která rozděluje kal do dvou tříd [5].

Třída I. představuje kaly, které je možno obecně aplikovat na půdy využívané v zemědělství při dodržení ostatních ustanovení této vyhlášky. Třída II. pak tvoří kaly, které je možno aplikovat na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin, a na půdy, na kterých se nejméně 3 roky po použití čistírenských kalů nebude pěstovat polní zelenina a intenzivně plodící ovocná výsadba, a při dodržení zásad ochrany zdraví při práci a ostatních ustanovení vyhlášky [28].

Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě podle vyhlášky č. 382/2001 Sb. jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě podle vyhlášky 382/2001 Sb.

	Třída I.	Třída II.
Počet termotolerantních koliformních bakterií	<1000/g	<2 x 10 <sup>6</sup> /g
Počet enterokoků	<1000/g	<2 x 10 <sup>6</sup> /g
Počet bakterií Salmonella sp.	0	nestanovuje se

Snižováním obsahu patogenů v kalech hovoříme o tzv. hygienizaci kalů. V současné době je možné při hygienizaci kalů volit některý z řady technologických postupů, a to s ohledem na dosažení požadované hygienické kvality kalu [2].

Zvoleným technologickým postupem pak může být například [28]:

1. sušení kalu při teplotě vyšší než 80 °C a na sušinu vyšší než 90%
2. autotermní aerobní termofilní stabilizace při teplotě nad 55 °C
3. termická předúprava surového kalu při teplotě nad 70 °C a s dobou zdržení minimálně 30 minut (pasterizace)
4. alkalizace kalu vápnem při dosažení pH nad 12 a teploty nad 55 °C a udržení těchto hodnot po dobu nejméně 2 hodin

### **Biologická stabilita**

Z technologického hlediska se za stabilizovaný kal pokládá kal, který je upravený tak, aby nedocházelo k jeho dalšímu biologickému rozkladu. Toho lze dosáhnout především snížením množství lehce rozložitelných organických látek v kalu, nejčastěji aerobní nebo anaerobní fermentací, na minimální mez a zastavením nebo utlumením dalšího biologického rozkladu [3]. Průmyslová aerobní fermentace je mikrobiální proces,

kdy za přístupu vzduchu při působení vhodných kultur mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek během přibližně 2 až 3 týdnů. Výslednými produkty procesu jsou [29]:

1. hnojivý substrát (používaný dále k výrobě kompostu a hnojiv)
2. plynný CO<sub>2</sub>
3. vodní pára

Při tomto procesu je nutné „substrát“ obracet, převrstvovat a provzdušňovat a při této manipulaci dochází také k emisím pachových látek a plynů (CH<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub> aj.) [29].

Anaerobní fermentací pak hovoříme o metanizaci, tedy o procesu, kdy bez přístupu vzduchu, za optimálně řízených podmínek (např. obsah sušiny, reakční teplota, pH) a při působení vhodných kultur anaerobních mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek za produkce kalového plynu (bioplynu) [29].

## **Bytnění**

Vláknité bytnění aktivovaného kalu spojené s větším kalovým indexem a tvorbou biologické pěny je uvedeno ve fyzikálních vlastnostech (kalový index) této bakalářské práce. Toto bytnění negativně ovlivňuje proces sedimentace a proces zahušťování [5].

### **1.2.2 Ekotoxicita**

Ekotoxicita kalů je důležitým limitujícím faktorem, který omezuje použití kalů při jeho aplikacích coby produkt čištění odpadních vod. Je to vlastnost, která vypovídá o kvalitě kalů z hlediska jejich toxických vlivů na životní prostředí. Testy ekotoxicity se provádějí buď ve vodním prostředí (aquatické testy, testy s vodným výluhem) nebo v pevných maticích (terrestrické testy, kontaktní testy) s různými bioindikátory. Hodnocení ekotoxicity provedené jen na základě testů s vodnými výluhy je však nedostatečné, neboť nachází-li se v pevném odpadu ve vodě nerozpustný a na pevných



částicích nasorbovaný toxický polutant, pak jej testy s vodnými výluhy nemohou postihnout vůbec nebo jen ve velmi omezené míře. Mezi takové polutanty, které jsou ve vodě prakticky nerozpustné a navíc silně sorbují na pevné částice, patří mj. již zmiňované PCB, PAH nebo třeba PCDD (polychlorované dibenzodioxiny), některé chlorované herbicidy a pesticidy a PCDF (polychlorované dibenzofurany) [30]. Mezi patogenní organismy vyskytující se v odpadních vodách patří zejména viry (hepatitida A), bakterie (*Salmonella Sp.*, *Escherichia coli*), protozoa a červi [1].

Podle vyhlášky č. 61/2010 Sb., která novelizuje vyhlášku č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu, se ekotoxicita stanovuje na základě výskytu 4 organismů. Jsou jimi *Daphnia magna*, *Desmodesmus substrictus*, semena *Sinapis alba* a *Poecillia reticulata*. Jedná se o testování na organismech zastupujících každou úroveň potravního řetězce. Otestováním každé trofické úrovně je vytvářen systém hodnocení ekotoxicity. Bakterie (prokaryota), kam spadají mj. i mnohdy testované fotoaktivní bakterie *Vibrio fischeri*, zastupují trofickou úroveň destruentů, řasy a sinice (*Desmodesmus substrictus* aj.) zastupují producenty. Perloočky (*Daphnia magna* aj.) pak tvoří primární konzumenty a sekundárními konzumenty jsou ryby (*Poecillia reticulata*, *Brachydanio rerio* aj.) Tyto organismy jsou bioindikátory toxicity kalů a kompostů při testech ve vodném výluhu [22],[31]. Požadavky na výsledky ekotoxikologických testů, podle metodického pokynu odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů, jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Požadavky na výsledky ekotoxikologických testů [32].

Testovaný organismus	Doba působení (hod.)	Požadavky na organismus
Poecilia reticulata nebo Brachydanio rerio	96	ryby nesmí vykazovat v ověřovacím testu výrazné změny chování ve srovnání s kontrolními vzorky a nesmí uhynout ani jedna ryba
Daphnia magna Straus	48	procento imobilizace perlooček nesmí v ověřovacím testu přesáhnout 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky
Desmodesmus substrictus nebo Raphidocelis subcapitata	72	neprokáže se v ověřovacím testu inhibice nebo stimulace růstu řasy větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky
semena Sinapis alba	72	neprokáže se v ověřovacím testu inhibice

		nebo stimulace růstu kořene semene větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky
--	--	--

Ekotoxikologické kontaktní testy dokážou (na rozdíl od testů s vodným výluhem) podat informaci i o biodostupnosti kontaminantů pro půdní společenstva, protože zahrnují také vlastnosti matrice. Moreira et al., 2008 provedl testy splaškového kalu a od něj odvozeného kompostu pomocí baterie kontaktních testů. Šlo o reprodukční i avoidance testy na žížale *Eisenia andrei* a chvostoskoku *Folsomia candida*. Další testy provedl s kapustou polní *Brassica rapa* a ovsem *Avena sativa*, kde hodnotil růst nadzemní části rostlin. Pomocí této baterie dosáhl rozdílných výsledků. Z tohoto důvodu doporučuje pro testování organického odpadu používat více různých testů. Wilke et al., 2008 testoval ekotoxicitu pevného nebezpečného odpadu (splaškový kal) na základě akutní toxicity na *Eisenia foetida*, ovlivnění reprodukce *Folsomia candida* a inhibice klíčivosti a růstu *Brassica rapa*. V závěru své práce poukazuje na obecně nižší citlivost akutních testů. Vhodná baterie testů by podle Wilke et. al., 2008 měla zahrnovat test s alespoň jedním producentem a konzumentem z terestriálního a akvatického prostředí [33].

## 2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ KALŮ Z ČOV V ČR A EU

Politika zabývající se nakládáním s odpady v EU obecně potlačuje ukládání odpadů a snaží se jejich vznik minimalizovat a odpady recyklovat. V roce 1998 bylo legislativou EU rozhodnuto o zastavení ukládání kalů do moří. Skládkování kalů je považováno při rostoucí produkci kalů za neudržitelné, proto zbývá pouze řešení recyklace nebo destrukčních metod. Recyklace kalů znamená použití kalů jako organického hnojiva na půdu nebo pro vylepšení kvality půdy v zemědělství a pro rekultivace. Destrukční metody představují spalování bez nebo s využitím energie, zplynování a použití kalu coby procesního paliva, kdy je využíván nebo skládkován popel [3].

### 2.1 Nakládání s kaly

Hlavními způsoby zpracování kalů z ČOV tedy jsou [34]:

1. Používání v zemědělství (tekuté, polosuché, suché, kompostované kaly).
2. Spalování (přímé spalování nebo spoluspalování).
3. Skládkování (silné omezení legislativou o nakládání s BRO, krajně nevhodné řešení z hlediska environmentálních dopadů).
4. Ostatní (použití na lesní půdu a porosty, rekultivace).

### **2.1.1 Přímá aplikace kalů na zemědělskou půdu**

Pro aplikaci na zemědělskou půdu se používají odvodněné čistírenské kaly. Výhodou jejich aplikace jako hnojiva je obsah organické hmoty, makroprvků (především N a P), obsah stopových prvků a biologicky aktivních látek [27]. Hlavním limitujícím faktorem, který je v současnosti příčinou řady diskuzí na téma přímé aplikace kalů v zemědělství, je obsah cizorodých látek v kalech a přítomnost patogenních mikroorganismů. I přes limity obsahu patogenů, které jsou stanoveny zákonodárnými orgány, se v posledních letech stále zvyšuje důraz na možnou toxicitu a biologickou závadnost zemědělských plodin pěstovaných na půdách hnojených čistírenskými kaly.

### **2.1.2 Rekultivace**

Pojem rekultivace znamená obnovu přírodního prostředí, kdy dochází k navrácení poškozené nebo zcela zničené krajiny (zpravidla vlivem lidské činnosti) do původního stavu. Při rekultivaci je potřeba značného množství organické hmoty, aby bylo dosaženo správného půdního profilu [35].

Požadavky na obsah škodlivin v odpadech využívaných na povrchu terénu stanovuje vyhláška č. 61/2010 o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu, která novelizuje vyhlášku č. 294/2005 Sb. Téměř všechny podniky vodovodů a kanalizací na území ČR však produkují kaly se zvýšeným obsahem Hg (nepřípustným dle vyhlášky) a obsah kadmia kolísá okolo maximální přípustné hodnoty 1 mg/kg sušiny. Přímé uplatnění kalů z ČOV pro úpravy terénu je tedy ve většině případů téměř nemožné. Vhodným řešením je však výroba biologicky aktivního rekultivačního materiálu (rekultivační substrát), kde jsou právě stabilizované kaly z ČOV jedním ze tří hlavních komponentů, který je z hlediska zajištění vhodného prostředí pro

růst rostlin dokonce nejdůležitější (vysoký obsah živin a organické hmoty) [22],[1]. K organickému hnojení zemitých substrátů se používají čistírenské kaly ve formě tekuté nebo odvodněné a tvoří přibližně 30 % rekultivačního materiálu [35]. Jejich kvalita je sledována s ohledem na legislativu a normy v oblasti průmyslových kompostů a jejich aplikace na ornou půdu.

Dalšími rekultivačními substráty mohou být popeloviny, rašeliny, papírenské kaly, komposty aj. [35].

Plánování rekultivací je zaměřeno zejména na plochy s nižšími stupni ekologické stability, jako např. [1] :

1. Objekty odpadového hospodářství (skládky odpadů)
2. Oblasti hornické činnosti (lomy, pískovny, doly aj.)
3. Oblasti kontaminovaného území (čističky, zemědělské a průmyslové areály aj.)

Na území Moravskoslezského kraje, hlavně v oblastech Karviné a Ostravy, již posledních dvacet let probíhají rekultivační zásahy, které jsou zaměřeny na obnovu pozemků postižených především těžbou uhlí (asanačně rekultivační stavby). Mezi největší rekultivační projekty společnosti OKD patří mj. například rekultivace Darkovského moře s cílem vytvoření příměstské rekreační oblasti, rekultivace lokality Lipiny, kde došlo k vybudování rekreačně sportovního areálu nebo obnova louckých rybníků v obci Louky nad Olší [36].

### **2.1.3 Kompostování**

Jedná se o biochemický proces, při kterém dochází k odbourání organické hmoty činnostmi termofilních mikroorganismů při aerobních podmínkách. Výhody kompostování jsou částečná hygienizace kalu, zmenšení jeho objemu a další využití kompostu jako hnojiva [37].

## 2.1.4 Termické zpracování kalů

Metodami termického zpracování jsou [35],[37]:

1. Samostatné spalování (v ČR zatím málo využívané; přísné emisní limity; při spalování záleží na stupni odvodnění, případně vysušení, složení kalů a výhřevnosti)
2. Společné spalování s energetickým palivem (spalování spolu s energeticky bohatším palivem; v teplárnách, elektrárnách nebo spalovnách spolu s komunálním odpadem)
3. Spalování v cementárenské peci (při vhodné aplikaci kalu za vysokých teplot spalování dochází k úplnému odstranění toxických organických látek, anorganický podíl zůstává fixován ve stavebním materiálu, ale neovlivňuje nijak podstatně jeho vlastnosti)
4. Mokrý spalování (mokrý oxidace; oxidace spalných látek z roztoku či emulze, za přítomnosti energie umožňující intenzivní oxidaci; za vyšší teploty a tlaku)
5. Zplyňování, pyrolýza (přeměna vysušeného kalu na plynné palivo; probíhá prostřednictvím zplyňovacího média, kterým bývá vzduchu nebo kyslíku)

## 2.1.5 Alternativní způsoby nakládání s kalem

### Solidifikace

Solidifikaci lze uplatnit u kalů, které není možné dále zpracovávat jako sekundární suroviny v důsledku nadlimitní koncentrace škodlivých látek. Jedná se o fyzikálně-chemickou metodu zpracování kalů, kdy dochází k stabilizaci odpadu na pevný produkt (snížení specifického povrchu převedením odpadu, pojiva a dalších přísad na matici, ta reaguje s vodou obsaženou v kalu, nežádoucí látky jsou v kalu pevně vázány v důsledku srážení a fixace, roste pH, což vede k ničení patogenů) [35],[38]. Takto připravená směs se pro své dobré vyplňovací vlastnosti hojně používá např. při zasypávání uzavřených dolů.

## Výroba pelet

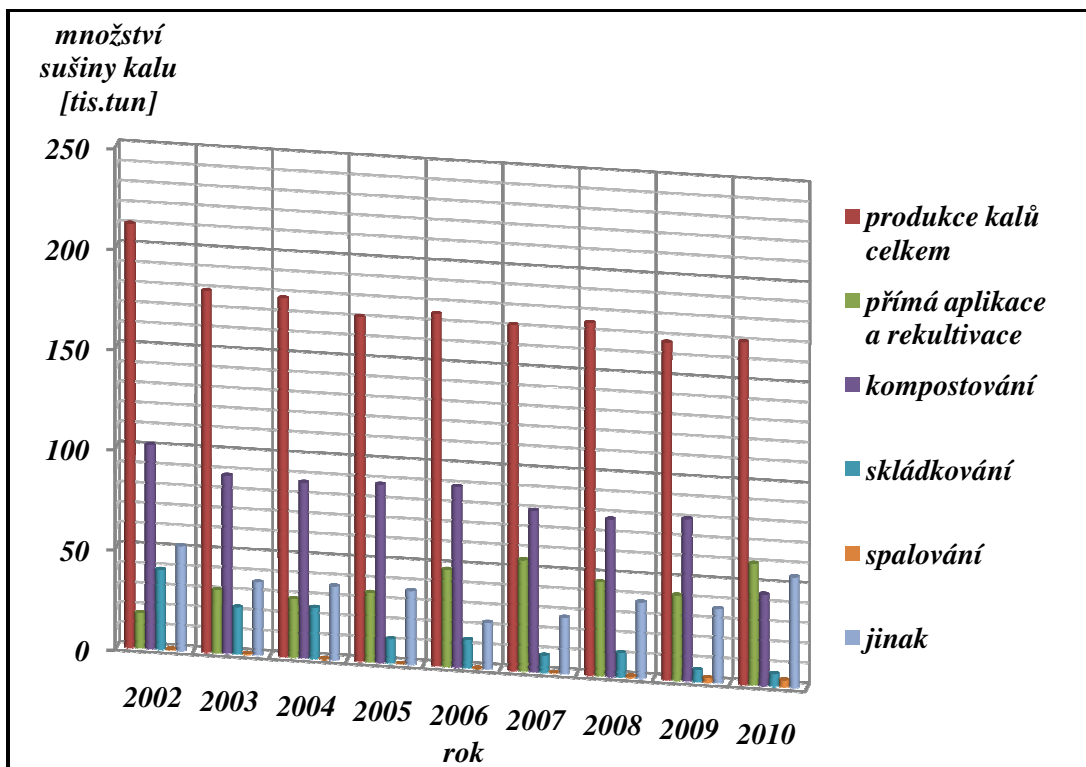
Méně používaným způsobem nakládání s kalem z ČOV je výroba pelet. Pelety jsou nejčastěji vyráběny smícháním dřeva, slámy, kalů. Produktem je ekologické palivo s vysokou výhřevností, které se vyrábí na protlačovacích lisech pod velkým tlakem [35].

## 2.2 Současné způsoby využití kalu a jeho produkce v ČR

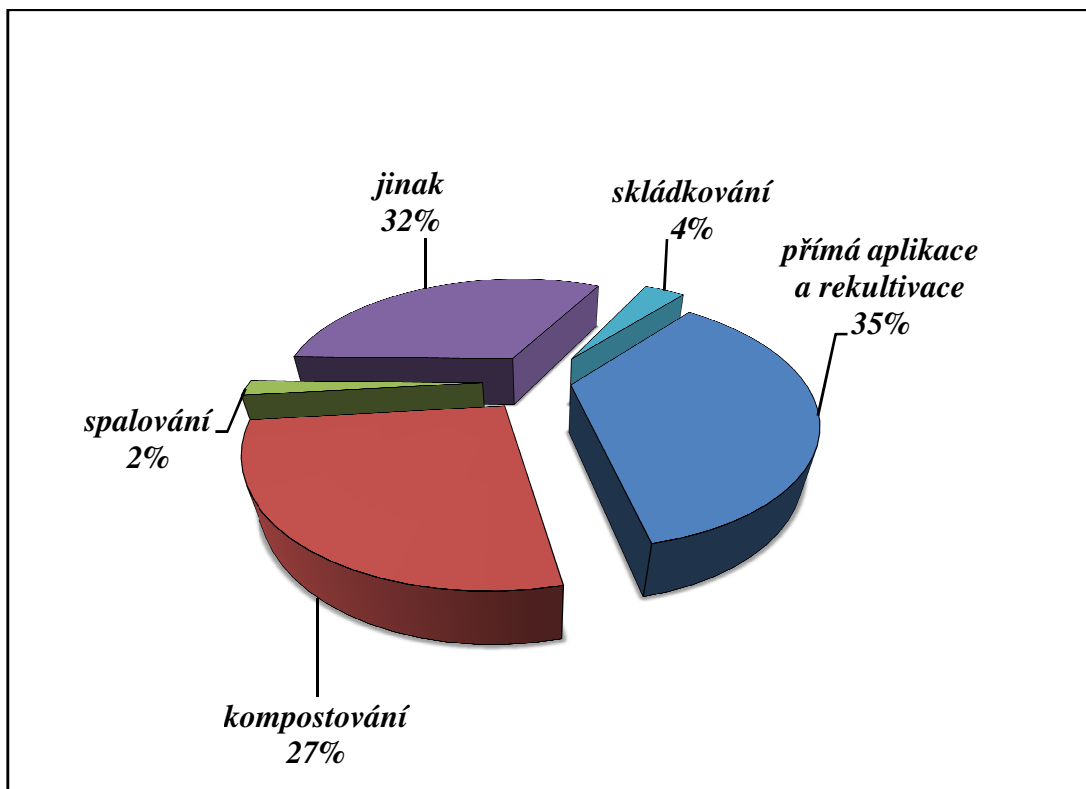
Nakládání s kaly v ČR je řízeno legislativními předpisy:

1. Novela č. 154/2010 Sb. zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších předpisů.
2. Vyhláška č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů ve znění pozdějších předpisů.
3. Novela 61/2010 Sb. vyhlášky č. 294/2005., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.
4. Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady v platném znění.
5. Vyhláška č. 168/2007 Sb., kterou se mění vyhláška č. 381/2001 Sb. (Katalog odpadů) ve znění vyhlášky č. 503/2004 Sb.
6. Vyhláška č. 382/2001 Sb., o používání kalů na zemědělské půdě ve znění pozdějších předpisů.

Roční produkce sušiny kalů z ČOV v ČR činí v současné době zhruba kolem 170 - 175 tisíc tun ročně, kdy přímá aplikace kalů v zemědělství i přes omezení a blížící se zákaz zaujímá první místo z hlediska využívání kalů. Přehled produkce a využití kalů z ČOV v několika posledních letech podle Statistické ročenky České republiky znázornují následující obrázky.



Obrázek č. 1: Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění [39].



Obrázek č. 2: Využití kalů z ČOV v ČR v roce 2010 [39].

## 2.3 Současné způsoby využití kalu a jeho produkce v EU

Základními stanovami EU pro nakládání s kalý jsou:

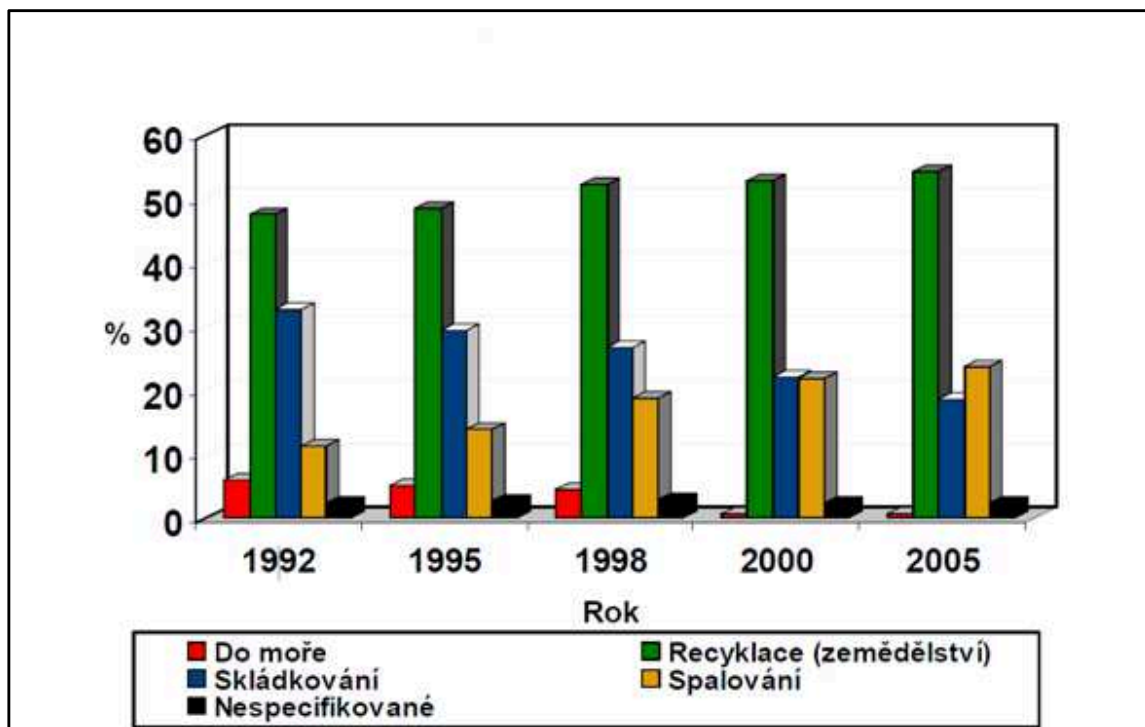
1. Směrnice Rady č. 86/278/EHS o ochraně životního prostředí a zvláště půdy při použití čistírenských kalů v zemědělství.
2. Směrnice č. 2000/76/ES o spalování odpadů včetně kalů.
3. Směrnice č. 1999/31/EC o skládkování a doplňující rozhodnutí rady 2003/33/ES o skládkování kalů.

Legislativa EU obecně v posledních letech neustále zvyšuje požadavky a zpřísňuje kritéria pro kalové hospodaření ČOV. Z toho vyplývá, že v budoucnu se nebude moci dostatečné množství kalu využívat k rekultivacím, v zemědělství, k výrobě kompostů, ale bude ho třeba likvidovat termickými způsoby. Ve Švýcarsku a Nizozemí už byla například zavedena úplná likvidace čistírenských kalů metodou spalování, v zájmu prevence před nebezpečnými průsaky patogenních látek do potravinářského průmyslu a s nimi spojeným šířením nemocí [40]. I v dalších státech EU (Rakousko, Německo, Dánsko) se podmínky pro aplikaci kalů na půdu neustále zpřísňují [41].

Celková produkce kalů činí v EU přibližně 10,13 milionů tun sušiny ročně. Z toho je přibližně 40 % kalů aplikováno do zemědělské půdy (ve Francii, Irsku, Velké Británii, Španělsku, Dánsku je v zemědělství využívána dokonce více než polovina vyprodukovaných kalů) [42].

Z obrázku č. 3 je patrné, že využití kalů v EU v posledních dvou dekáдах jednoznačně dominovala aplikace na zemědělskou půdu.





Obrázek č. 3: Využívání čistírenských kalů v EU.

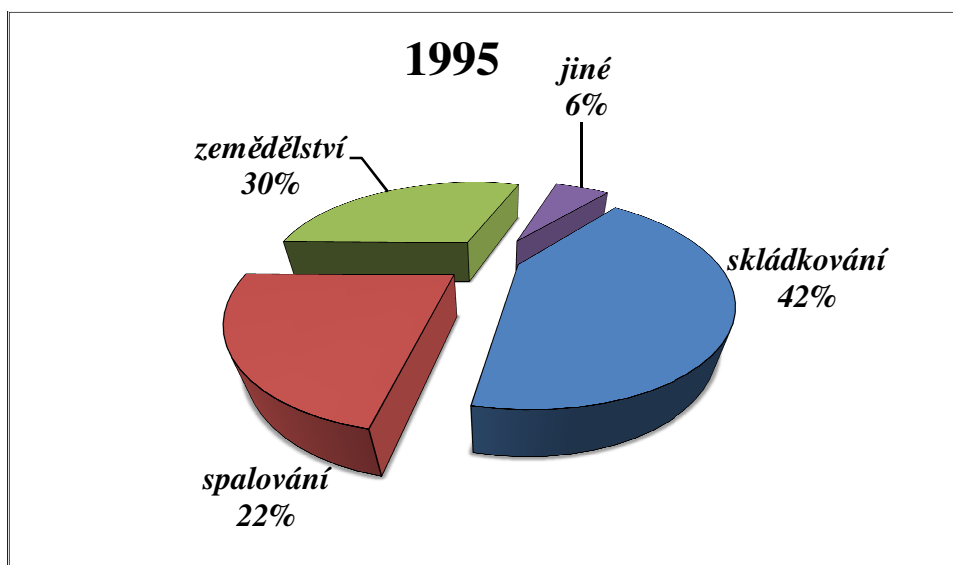
## 2.4 Využití kalu v USA

Celkově se ve spojených státech za posledních 20 let podařilo omezit skládkování kalů z ČOV zhruba na čtvrtinu celkové produkce, zatímco v posledních několika letech už dominovala aplikace kalů na zemědělskou půdu.

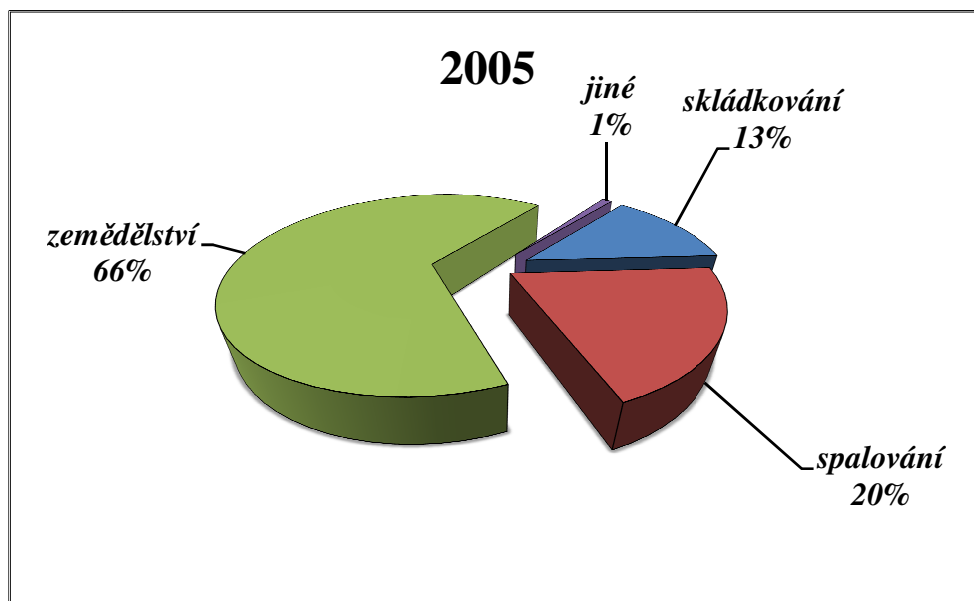
V USA je legislativním orgánem určujícím mj. i nakládání s kaly agentura EPA, pověřená ochranou lidského zdraví a životního prostředí. Ta stanovuje rovněž limity koncentrací rizikových látek v kalech pro aplikaci na zemědělskou půdu.

Studie amerických univerzit hodnotící vliv dvacetileté aplikace kalů třídy II. poukazují na zvýšenou koncentraci C, N a P v půdě, aniž by došlo ke zvýšení celkové salinity. Koncentrace těžkých kovů se zvýšila u Zn, Cu a Cd, ale ani v jednom případě nepřekročila povolené limity. Došlo také ke zvýšení mikrobiální diverzity v půdě, avšak neprokázala se dlouhodobá perzistence enterických patogenů v půdě, ani jejich průnik do podzemních vod [43].

Vývoj finálního zpracování kalů v USA v posledních 20 letech je patrný z obrázků č. 4 a č. 5. [43]:



Obrázek č. 4: Finální zpracování kalů v USA v roce 1995.



Obrázek č. 5: Finální zpracování kalů v USA v roce 2005.

S rostoucím využitím kalů v zemědělství však souvisí zejména v posledních letech stále aktuálnější otázka, kterou se zabývají studie nejen v USA, ale i zemích EU, a sice

zdali jsou zemědělské plodiny pěstované na půdách, kde jsou aplikovány čistírenské kaly, zdravotně nezávadné?

Přestože vyhlášky stanovují limitní hodnoty rizikových prvků v kalech a mohlo by se zdát, že systém prevence rizika plynoucího z jejich aplikace je dobře nastaven, existuje zde řada úskalí. Jednak v kalech mohou být přítomny i jiné nebezpečné látky, ale také biologická dostupnost těžkých kovů nemusí být v přímé korelaci s jejich celkovou koncentrací v kalu ani v půdě. Dostupnost těžkých kovů z čistírenských kalů pro rostliny je dána hlavně vlastnostmi půdy, stejně tak jako mobilita kovů v půdě po aplikaci čistírenských kalů závisí zejména na chemických a fyzikálních vlastnostech systému kal – půda. Kovy pocházející z čistírenských kalů jsou akumulovány převážně v povrchových vrstvách půdy. Pokud jde o toxicitu, současný výskyt více než jednoho těžkého kovu v čistírenských kalech v nadměrném množství může po aplikaci kalu způsobit zesílenou toxicitu v půdě [26].

### **3 HODNOCENÍ OBSAHU ŽIVIN V KALECH Z ČOV**

Obsah živin v kalech, především dusíku, je jedním z hlavních ukazatelů pro stanovení dávky kalů při aplikaci na zemědělskou půdu [44]. Množství živin, které je v kalech přítomno, je závislé na technologii úpravy a charakteru kalů [22]. Zastoupení živin, zejména dusíku, může významně kolísat, a proto je nutné provést analýzu aplikovaného kalu [44].

Živiny z čistírenských kalů jsou rostlinám rychleji přístupné, než například živiny obsažené v chlévském hnoji, což je dáno vlivem rychlejšího rozkladu organických látek čistírenských kalů v půdě po jejich aplikaci v porovnání s hnojem. Může za to nižší obsah uhlíku v huminových kyselinách a nižší stupeň huminifikace než u hnoje. Přesto organická hmota čistírenských kalů představuje stabilnější komponenty ve srovnání s rostlinnými zbytky (sláma, zelené hnojení aj.), které bývají používány pro doplnění organických látek. Stabilizované odvodněné čistírenské kaly tedy představují vhodný typ hnojiva pro zemědělskou půdu z hlediska obsahu organické hmoty, makroprvků (zejména N a P), obsahu stopových prvků a biologicky aktivních látek [27].

### 3.1 Makroprvky v kalech

Za makroprvky v kalech jsou označovány prvky, které společně s jejich sloučeninami tvoří největší část kalové sušiny (řádově desetin až desítek procent sušiny) [45].

**Dusík** se v kalech vyskytuje ve třech formách (organický, amoniakální a dusičnanový). Celkové množství dusíku v kalu se pohybuje přibližně kolem 2 – 6 % z celkové sušiny [46]. Rostliny nemohou využívat veškerý dusík přítomný v kalech, protože se zde vyskytuje převážně v organické formě [22]. Pro jeho využití je nutná mineralizace dusíku na anorganickou formu (což právě kompostování, na které se zaměří příští kapitola této bakalářské práce, umožňuje).

Rostliny potřebují dusík nejvíce na začátku své růstové etapy, tedy v době, kdy mineralizace ještě nemůže probíhat, protože nejsou aktivní půdní bakterie. Proto je při přímé aplikaci kalů na zemědělskou půdu dusík výhodný pouze pro plodiny s delším vegetačním obdobím [22].

**Fosfor** je rovněž důležitým makroprvkem potřebným pro růst rostlin. Celkové množství fosforu stanovené chemickou analýzou jako oxid fosforečný  $P_2O_5$  se v kalech pohybuje v rozmezí 0,5 – 4,0 % z celkové sušiny [46]. Fosfor obsažený v kalech je podstatně méně rozpustný, než fosfor dodávaný umělými hnojivy [22]. Kolem 50 % z celkového obsahu fosforečnanů v kalech je v prvním roce dostupných pro pěstované rostliny. Zbytek fosforečnanů je k dispozici v průběhu dalších let. Nicméně dostupnost může být nižší, jestliže byly kaly terciárně čištěny pomocí železitých a hlinitých solí za účelem odstranění fosforu z odpadních vod. Množství dodaných fosfátů by mělo být adekvátní v závislosti na odběru rostlin a půdní analýze [44].

**Draslík** je taktéž nutričním prvkem důležitým pro růst zemědělských plodin. Obsah draslíku, který se stanovuje chemickou analýzou ve formě oxidu draselného  $K_2O$  se v čistírenských kalech pohybuje v rozmezí 0,3 až 1,0 % [46]. V kalech se draslík vyskytuje převážně v podobě uhličitanu draselného (potaše) [44].

**(Hořčík)** Z kalů se zároveň uplatňuje užitečné množství hořčíku, což přispívá požadavkům plodin a k zachování půdních rezerv [44]. Hořčík se stanovuje jako oxid hořečnatý MgO a jeho obsah v kalech činí průměrně 0,4 až 2 % sušiny kalu [46].

**Vápník** stanovený jako oxid vápenatý CaO se v kalu vyskytuje zpravidla v množství 2 – 8 % [46]. Kaly stabilizované vápnem jsou zároveň materiálem k vápnění půd a mohou vyvážit acidické účinky atmosférických vstupů a anorganických dusíkatých hnojiv (močovina, dusičnany) [44].

### 3.2 Biologická dostupnost živin v kalech

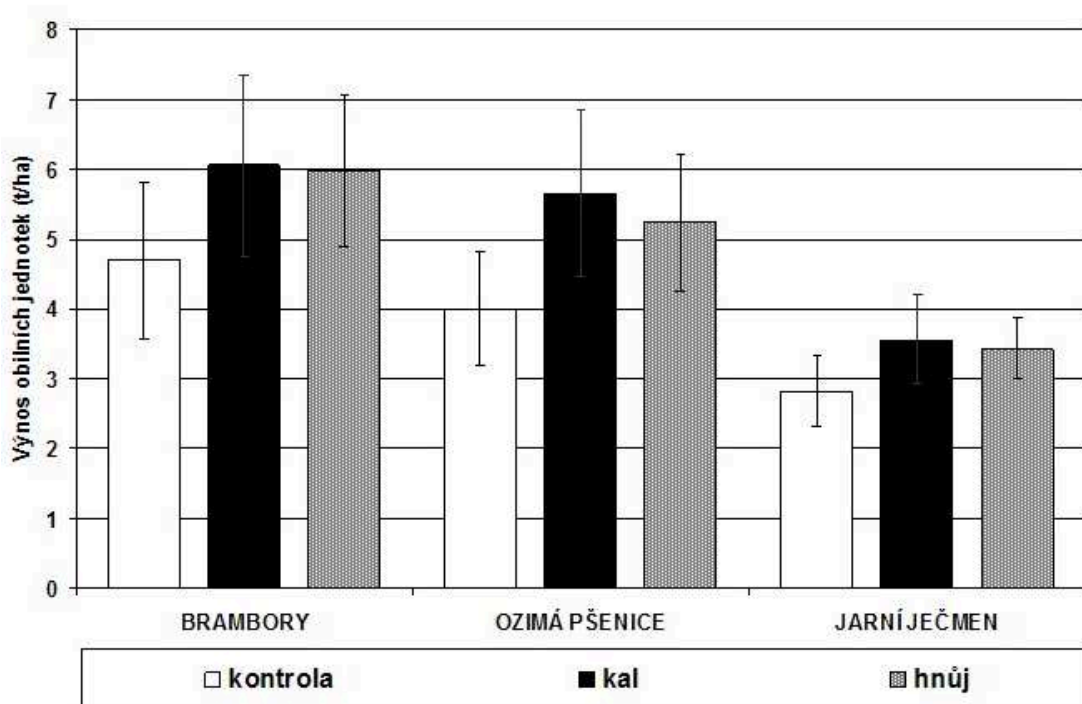
Biologická dostupnost nutrientů a jejich vliv na pěstování plodin v dalších letech jsou také důležitými faktory při aplikaci kalů na zemědělskou půdu. Přehled poskytuje následující tabulka:

Tabulka č. 6: Hodnocení biologické dostupnosti živin z kalů podle ISWA, 1998 [22].

Kal	Biodostupnost	Forma výskytu	Pravděpodobný vliv v dalších letech
<b>Dusík</b>			
<b>Kapalný</b>			
Primární kal	30 – 35 % celkového dusíku na jaře 15 – 20 % celkového dusíku na podzim	Hlavně organický dusík	Ano
Biologický kal	50 % celkového dusíku	Organický dusík	Ano
Anaerobní, vyhnílý kal	100 % NH <sub>4</sub> <sup>++</sup> 15% celk. dusíku	Hlavně amoniakální dusík	Ne
<b>Odvodněný kal</b>			
Primární kal	15 – 20 % celkového dusíku	Organický dusík	Ano
Anaerobní, vyhnílý kal	15 % celkového dusíku	Organický dusík	Ano
<b>Fosfor</b>			
Celkový fosfor	50 – 80 % je využíván v 1. roce rostlinami		Ano
Fosfor rozpustný v citrátu	100 %		Ano

Mnoho studií (Logan et al., 1997; Barzegar et al., 2002; Bozkurt et Yartilgac, 2003; Antolín et al., 2005; Hussein, 2009) uvádí příznivý vliv aplikace čistírenských kalů na výnos plodin. Vyšších výnosů bylo zejména dosaženo následně po aplikaci kalů k pěstovaným plodinám, nebo při jejich opakované aplikaci. Jednorázové hnojení má většinou krátkodobý a malý vliv na výnos plodin [27].

Z výsledků dlouhodobých pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin je zřejmý pozitivní vliv aplikace kalů zejména k obilninám. Výsledky jsou uvedeny na obrázku č. 6. Plodiny jsou pěstovány ve sledu brambory, pšenice, ječmen. Čistírenské kaly a hnůj jsou aplikovány k bramborám ve stejné dávce dusíku, která odpovídá 330 kg N/ha za celý tříletý cyklus. Výsledky představují hodnocení pokusů za čtyři cykly aplikace, tedy za 12 let trvání pokusů [27].



Obrázek č. 6: Výnos brambor, ozimé pšenice a jarního ječmene (t/ha obilních jednotek) – průměr pěti stanovišť v ČR za 12 let [27].

## 4 KOMPOSTOVÁNÍ KALŮ

Kompostování lze definovat jako řízený proces, který zabezpečuje optimální podmínky potřebné pro rozvoj žádoucích mikroorganismů a lze jím získat humusové látky rychleji a produktivněji než při aplikaci kalů na půdu [47]. Kompostování s využitím čistírenských kalů a následná aplikace kompostů v zemědělství se využívá zejména ke hnojení nebo rekultivaci půd [48]. Kompostování kalů z ČOV s sebou nese řadu výhod, ale i nevýhod ve srovnání s ostatními technologiemi zpracování kalů z ČOV [22],[49]:

### Výhody kompostování kalů

1. Redukce objemu materiálu transportovaného k zemědělskému využití.
2. Zjednodušení distribuce materiálu na zemědělské půdy snížením obsahu vody.
3. Kompost je produktem, který zlepšuje vlastnosti humusové vrstvy v půdách.
4. Kompost je hygienicky kontrolován před aplikací v zemědělství.
5. Obsah živin je kontrolován a definován použitím vegetačních standardů.
6. Možnost prodeje kompostu.
7. Nižší náklady v porovnání se spalováním

### Nevýhody kompostování kalů

1. Kal pro kompostování musí být odvodněn na 18 – 30% sušiny.
2. Potřeba přídatného materiálu pro dosažení optimálního kompostovacího poměru C: N.
3. Potřeba velké plochy ke kompostování.
4. Spotřeba energie při provzdušňování.
5. Vyšší náklady než při přímé aplikaci kalů v zemědělství.

## 4.1 Podmínky správného kompostovacího procesu

Při kompostování je pro správný průběh procesu a výsledný kvalitní kompost nutné dodržet vhodné podmínky. Je nutné si uvědomit, že kaly z ČOV lze brát pouze jako jednu ze složek kompostovací směsi. Mísící poměr této směsi se uvádí 30 % hmotnostních dílů kalové složky a 70 % hmotnostních dílů biomasy (sláma, piliny, listí aj.). Pokud má nasákavá biomasa nízkou vlhkost (sláma, hobliny), pak může být mísící poměr i 50 : 50. Záleží však také na míře odvodnění kalu [50].

### 4.1.1 Optimální složení směsi

Důležitý je správný poměr surovin v základce (především uhlíku a dusíku v čerstvém kompostu v rozmezí 30 – 35:1, ve zralém kompostu pak v rozmezí 25 – 30:1), který ovlivňuje rychlost rozkladu různých organických zbytků. Nadbytek uhlíku (C: N kolem 50 : 1) způsobuje pomalý rozklad substrátu a zároveň vede k úniku látky ve formě oxidu uhličitého do ovzduší. V opačném případě přebytek dusíku (C: N kolem 10 : 1) vede k úniku dusíku do vzduchu ve formě čpavku a k rychlému rozkladu substrátu, a poklesu produktivity tvorby humusových látek. Ve výsledku pak v reálném čase nelze získat vyzrálý kompost [22],[47]. Poměr C: N u kalů z ČOV běžně dosahuje hodnot (6-16):1, takže optimalizace konečného poměru kompostu docílíme přidáním látek s vysokým poměrem C: N jako jsou např. drcená stromová kůra, dřevní štěpka, drť z papíru nebo lepenky, řezanka ze slámy aj. a následným důkladným promísením výsledné skladby kompostu [48]. Optimální poměr odvodněného čistírenského kalu o vlhkosti 20 % a dřevní štěpky o průměrné zrnitosti 45 mm a vlhkosti 35 % byl zjištěn 60 : 40 [22].

### 4.1.2 Vlhkost

Zemité komposty vyžadují dodržení vhodné vlhkosti přibližně 55 % obsahu vody. Obsah vody nad 60 % snižuje teplotu, poréznost a tím pádem i provzdušnění, dochází k hnilobným procesům a vede až ke zkysnutí kompostu. Nízká vlhkost kolem 10 – 15 % obsahu vody má za následky zastavování metabolismu bakterií a tvorbu nevhodné mikroflóry s převahou plísní a aktinomycet. Optimální vlhkost kompostů s převahou dřevní štěpky nebo stromové kůry se udává kolem 70 % [51],[1].



### 4.1.3 Provdzušňování

Jedním z nejdůležitějších předpokladů pro průběh kompostovacího procesu je taktéž provdzušňování neboli aerace substrátu, jejíž zajištění je nutné pro metabolismus organismů, které se účastní kompostovacího procesu. Mimo to při provdzušňování substrátu dochází ke snižování vlhkosti kompostovacího materiálu a ke snížení emisí amoniaku i metanu v důsledku upevňování vazeb dusíku v materiálu. Optimální koncentrace kyslíku v zakládkách se udává v rozmezí 5 – 15 % [51],[48]. Pro dobrý průběh aerace je navíc potřebná i dostatečná porozita vsádky přibližně 20 – 30 %. Největší potřeba aerace je během první fáze kompostování. Lze jí dosáhnout různými způsoby, podle použité technologie [51]:

1. Usnadněná aerace (Např. použití perforovaného dna kompostéru, přes které je usnadněna difúze plynů. Rovněž se často používá na zakládku kompostu hrubý materiál, jako piliny, kůra a jiné rostlinné zbytky.)
2. Mechanická aerace (Překopávání, obrácení, promíchání je způsob jednorázové rovnoměrné výměny plynů.)
3. Nucená aerace (Výměna plynů je řízena vháněním nebo odsáváním vzduchu. Lze takto jednoduše regulovat průběh procesu.)

### 4.1.4 Zrnitost a homogenita směsi

Z technického hlediska je dosažení zrnitosti a homogenity kompostovaných surovin jedním z nejvýznamnějších požadavků na výslednou kvalitu kompostu. Rozdrcením a rozmělněním vstupních surovin dochází k jejich desintegraci (zvětšení oxidační a styčné plochy pro mikroorganismy) a rychlejšímu průběhu biodegradabilního procesu. Zařízení k drcení a rozmělnění surovin jsou drtiče a štěpkovače a jsou tedy důležitou součástí technického vybavení kompostáren [52].

### 4.1.5 Obsah fosforu

Surovinová skladba kompostu musí obsahovat minimálně 0,2 %  $P_2O_5$  v sušině, aby byl zajištěn počáteční rozvoj mikroorganismů (a zároveň vhodná mikroflóra) důležitých

pro tvorbu humusu. V případě potřeby lze čerstvý kompost očkovat zrajícím kompostem nebo zeminou, ve výjimečných případech lze obsah  $P_2O_5$  doplnit přídatkem superfosfátu (pouze u kompostů s převažujícím podílem stromové kůry, dřevní štěpky a pilin) [53],[1].

#### **4.1.6 Teplota**

Teplota kompostu by se měla pohybovat v závislosti na jednotlivých fázích kompostovacího procesu. Pro většinu mezofilních mikroorganismů působících v kompostovaném materiálu je optimální teplota pro rozvoj 20 – 30 °C. V čerstvé kompostové zakládce však převládají termofilní mikroorganismy, pro které je optimální teplota 45 – 65 °C. Při zvýšení teploty nad 70 °C dochází k vymírání vhodných mikroorganismů a prodlužování doby zrání kompostu, proto je nutné teplotu sledovat a případný nárůst omezit závlahou [54].

### **4.2 Fáze kompostovacího procesu**

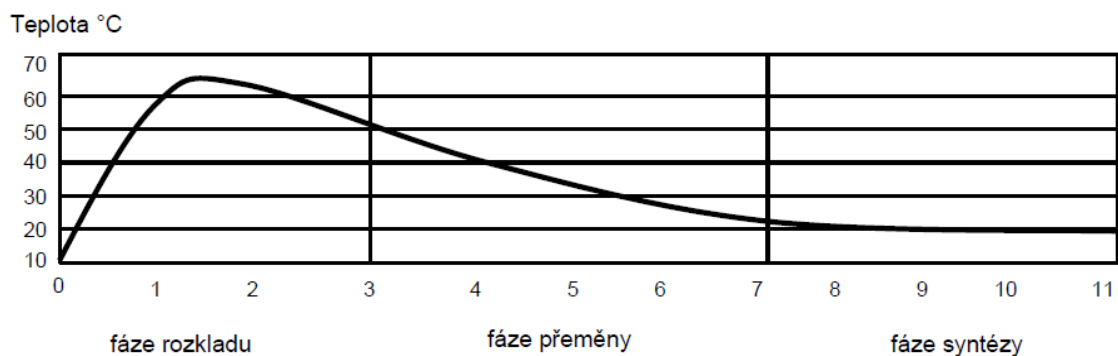
Kompostování probíhá ve 3 fázích [47],[55]:

1. Fáze rozkladu – mineralizace
2. Fáze přeměny
3. Fáze syntézy (zralosti)

ad 1) Fáze rozkladu trvá asi 3 – 4 týdny. Je specifická rychlým nárůstem teploty podle výchozího materiálu na 50 – 70 °C (zánik hnilobných patogenních bakterií). Dále je specifická pro termofilní organismy (bakterie a houby), které rozkládají lehce rozložitelné látky (např. cukry, bílkoviny, škrob), konečnými produkty jsou např. dusičnany, oxid uhličitý, čpavek, aminokyseliny, polysacharidy. Živiny vázané v organické hmotě se uvolňují a zčásti přecházejí až do původní minerální formy (proto fáze rozkladu – mineralizace). Objem hmoty klesá jednak v důsledku zhutňování, ale zejména v důsledku bilančního poklesu celkové hmotnosti z produkce oxidu uhličitého a jiných plynů. Kompost v této fázi není schopen aplikace do půdy, protože nemá vlastnosti humusu.

ad 2) Fáze přeměny trvá od 4 do 8 – 10 týdne. Teplota klesá až k 25 °C. Termofilní bakterie jsou nahrazeny jinou skupinou mikroorganismů a plísňí či nižší formou hmyzu. Mění se původní struktura, pach, vzhled a její jednotlivé částice se rozpadají. Kompost nejvíe známky fytotoxicity a výluhy jsou hygienicky nezávadné. Na konci této fáze má kompost nejlepší hnojící účinek.

ad 3) Fáze syntézy je specifická vyrovnáním teploty s okolím. Kompost získává stále více zemitou strukturu, hnojící účinek je slabší, ale účinnost humusu se zvyšuje.



**Průběh teploty v jednotlivých fázích kompostování, osa x = časový interval, týdny**

*Obrázek č. 7: Průběh teplotních změn ve fázích kompostování [56].*

### 4.3 Legislativa kompostování

Výroba kompostů v ČR je regulována právními předpisy:

1. Vyhláška č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady
2. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a změně některých dalších zákonů
3. Novela č. 9/2009 Sb. zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech a dalších souvisejících zákonech

Kompost je ve znění zákona o hnojivech považován jako hnojivo se všemi právními důsledky. Výroba kompostu se zákonem o hnojivech řídí v tom případě, že je kompost uváděn na trh. V plné míře se tedy vztahuje na výrobu a distribuci průmyslového kompostu a v některých případech i faremních a komunitních kompostů, v případě, že jsou uváděny na trh [57].

Nejvyšší přípustné množství rizikových látek (těžkých kovů) v kompostech stanovuje vyhláška MZ č. 271/2009 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.

*Tabulka č. 7: Limitní koncentrace vybraných rizikových prvků pro komposty dle vyhlášky MZ č. 271/2009 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.*

Sledované látky	Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného vzorku suroviny
As	20
Cd	2
Cr	100
Cu	150
Hg	1
Ni	50
Pb	100
Zn	600

#### 4.4 Technologie kompostování

Kompostování kalů závisí ve značné míře na používaných kompostovacích technologiích [48]. Z technologického hlediska rozlišujeme následující základní způsoby výroby kompostů [58]:

1. Kompostování na volné ploše (kompostování v pásových nebo plošných hromadách)

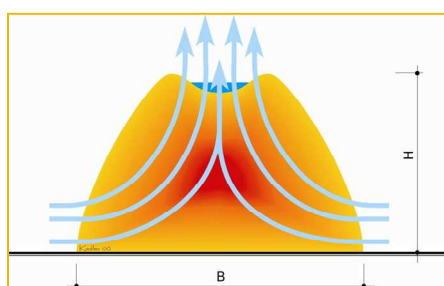
2. Intenzivní kompostovací technologie (kompostování v bioreaktorech nebo v boxech nebo žlabech)
3. Kompostování ve vacích (AG - Bag kompostování)
4. Vermikompostování

#### 4.4.1 Kompostování na volné ploše

Kompostování v pásových hromadách se vyznačuje trojúhelníkovým nebo lichoběžníkovým průřezem hromad (délka hromad je omezena délkou stanoviště). Hromady kompostu umožňují vysoký stupeň mechanizace, bývají umístěny na trvalém stanovišti (vodohospodářsky zabezpečená poloha) nebo na dočasném stanovišti (plní kompostárny). Doba zrání kompostu se pohybuje kolem 8 – 12 měsíců, lze však docílit urychlení celého procesu kontrolovaným mikrobiálním kompostováním (rychloukompostováním). Důležitá je optimalizace surovinové skladby, sledování procesních podmínek, volba vhodné mechanizace pro rozhodující operace a užívají se i kompostovací folie k zakrývání kompostovacích hromad [59].

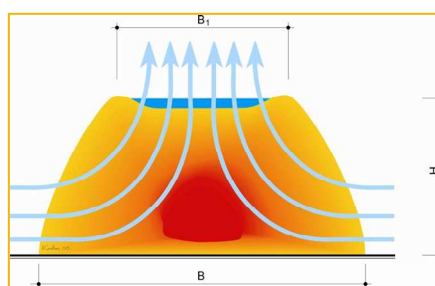
##### Pásové hromady

- **trojúhelníkový průřez**  
(malé hromady)



- + lepší komínový efekt
- + lepší rozložení teplotního pole
- + možnost využívat malou mechanizaci
- nízké využití kompostovací plochy
- nutnost zakrývat hromady plachtami

- **lichoběžníkový průřez**  
(střední hromady)



- + lepší využití kompostovací plochy
- + menší vliv povětrnostních podmínek
- horší přirozené provětrávání
- horší rozložení teplotního pole
- větší záběr pro překopávače kompostu

Obrázek č. 8: Výhody a nevýhody průřezů pásových hromad [59].



Obrázek č. 9: Aerace pásových hromad s využitím techniky [59].

#### 4.4.2 Intenzivní kompostovací technologie

Podstatou intenzivních kompostovacích technologií je intenzifikace rozkladné fáze kompostovacího procesu [60]. Intenzifikace provzdušněním vede k dosažení vyšších teplot a tím i ke zkrácení celé fáze. Zintenzivněním procesu rozkladné fáze dochází k nabourání organické hmoty takovým způsobem, že i další fáze kompostování proběhnou rychleji. Nevýhodou je však investiční náročnost těchto zařízení, proto je třeba dimenzovat právě jen na zdržnou dobu rozkladné fáze kompostování. Intenzivní kompostování probíhá v: [22]:

1. polouzavřených zařízeních (kompostovací žlaby, kompostovací boxy, systémy s vrtnou věží)
2. uzavřených zařízeních (rotační biostabilizátory, uzavřené kompostovací boxy, věžové bioreaktory, tunelové bioreaktory)



Obrázek č. 10: Kompostovací žlaby a uzavřené boxy [59].

#### 4.4.3 Kompostování ve vacích

Technologie kompostování ve vacích (AG - Bag) spočívá ve vytvoření uzavřeného prostoru pro zrání kompostu s řízeným provzdušňováním a vysokým stupněm kontroly procesu. Jedná se o plnění polyetylenových vaků odpadem pomocí speciálního lisu. Je nutné, aby materiál uložený ve vaku měl takovou homogenitu, aby byla zajištěna dostatečná aerace. Ta je řízena monitorovací jednotkou, aby se dodržela optimální teplota při zrání kompostu. V průběhu kompostování dochází k v horní části vaku ke kondenzaci vody, a tím se vytváří vlastní zvlhčovací systém. Výhody kompostování ve vacích jsou [61]:

1. Zabránění úniku nežádoucích pachů a kapalin.
2. Odstranění emisí (prach) a možnosti výskytu a úniku patogenních látek.
3. Eliminace možnosti přístupu hmyzů a hlodavců.
4. Díky kompresi odpadů až 3 krát menší potřeba plochy než při tradičním kompostování.
5. Nízké pořizovací náklady

V USA je technologie kompostování firmy AG – Bag používána při kompostování biologických odpadů velkých měst, v EU se je využívána hlavně ve Skandinávii, Švédsku, Finsku, Francii a Itálii [61].

##### AgBag –kompostování ve vacích



Obrázek č. 11: Kompostování ve vacích (AG – Bag) [59].

#### 4.4.4 Vermikompostování

Metoda vermikompostování je definována jako metoda aerobní fermentace organických materiálů, která využívá potenciálu některých druhů žížal přeměňovat organickou hmotu na kvalitní hnojiva s relativně vysokým obsahem humusových látek [62]. Podstata vermikompostu je ve výkalech žížal, které vznikají při požití a trávení substrátu. Ty jsou charakteristické mj. i zvýšeným obsahem mikroorganismů, kteří ovlivňují přeměnu organické hmoty v půdě, urychlují rozklad materiálu a tím zpětně připravují pro žížaly lepší podmínky pro příjem potravy [62].

Pro vermikompostování jsou vhodné jen některé druhy žížal. V našich podmínkách se využívá hlavně druh *Eisenia foetida*, kalifornský červený hybrid. Dalšími vhodnými druhy užívanými běžně ve světě jsou *Eudrilus eugeniae* a *Perionyx excavatus*.

Při vermikompostování je důležité dodržet vhodnou vlhkost substrátu kolem 60 – 70 %, protože žížaly dýchají celým tělem. Jsou rovněž citlivé na změny pH, optimálně jim vyhovuje pH neutrální [63].

Ve vermikompostu dochází k částečné mineralizaci, snižuje se obsah těžkých kovů a zvyšuje se obsah snadno přístupných živin pro rostliny. Kvalita vermikompostu je obecně vyšší než kvalita kompostu, a proto může být využíváno jako rychlejší prostředek stabilizace kalu než běžné kompostování [37].

V našich podmínkách se vermikompostování zatím spíše rozvíjí na úrovni domácností. Většinou se s ním můžeme setkat ve vědecké literatuře v souvislosti s testováním vlivů čistírenských kalů na žížaly při stanovování ekotoxicity kalů, platí pro něj stejné legislativní podmínky jako pro běžné kompostování [37].



## 4.5 Složení a využití kompostu

Dle vyhlášky 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady by měl kvalitní kompost vykazovat tyto parametry [47]:

1. Vlhkost 40 – 65 %,
2. pH 6,0 – 8,5
3. Spalitelné látky v sušině vzorku min 25 % hm.
4. Celkový dusík přepočtený na vysušený vzorek min. 0,6 % hm.
5. Poměr C: N min 20 : 1, max 30 : 1
6. Nerozložitelné příměsi max 2,0 % hm.

Použití kompostu s obsahem čistírenských kalů v zemědělství je vhodné pro všechny plodiny náročné na organické hnojení. Dávkování se pohybuje od 20 do 100 t/ha, průměrná dávka je 30-40 t/ha stejně jako u hnoje. Cykly hnojení na lehčích půdách jsou v intervalech co 2-3 roky a 3-4 roky na půdách těžších. Aplikace kompostů se provádí zejména na podzim, na jaře pak pouze v případě lehčích půd. Kompost se zapravuje do půdy orbou a nejlépe ihned po aplikaci kvůli uvolňování dusíku [47].

Dále se komposty z kalů z ČOV využívají k tvorbě rekultivačních substrátů, kdy se mísí se zeminou z důvodu vylepšení jejich fyzikálních vlastností. K agrotechnickému využití slouží tzv. mulčkompost, který je určen zejména k vytváření nastýlky (mulče) organické hmoty kolem výsadeb květin, keřů, dřevin. Mulč slouží při rekultivacích nezemědělské půdy a při zakládání technických trávníků. Aplikuje se povrchově, 10 – 30 kg na 1 m<sup>2</sup>, v závislosti na vlhkosti. Při vytváření rekultivační vrstvy se mulč mísí se zeminami až do 30 dílů hmotnostních [64].

Komposty s obsahem čistírenských kalů lze také využívat jako biopalivo, kdy kompost k energetickému využití je v souladu s vyhláškou č. 5/2007 Sb. (o stanovení druhů, způsobu využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy), má drobovitou, hrudkovitou až vláknitou strukturu a ve směsi jsou patrné vstupní složky biomasy (kůra, větve, sláma aj.). Palivo je určeno k spalování v kotlích na tuhá paliva [64].

## VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR

V současnosti, kdy populace roste nezadržitelným tempem, jsou stále více aktuálnější otázky zabývající se biologicky rozložitelným odpadem a způsobem jeho využití. Do kategorie BRO spadají i čistírenské kaly, tudíž otázka zní, jak s nimi co nejefektivněji nakládat.

Tato bakalářská práce měla přiblížit jednu z možných technologií využití kalů - kompostování.

Kaly z ČOV lze považovat za kvalitní složku kompostu, musí však splňovat limity obsahu/výskytu patogenů a rizikových látek podle daných aktuálních vyhlášek a nařízení. Při dodržení podmínek správného kompostovacího procesu je díky dnešním technologiím možné v relativně krátké době docílit velmi kvalitní směsi na výstupu z kompostárny, která má i určitou tržní hodnotu. Komposty s obsahem čistírenských kalů je při dodržení legislativních podmínek možné využívat jako:

1. účinné hnojivo
2. složku rekultivačních substrátů
3. možné biopalivo

Kompostování s využitím kalů z ČOV se jeví ekonomicky jako střední cesta mezi nákladným spalováním kalů a jejich přímou aplikací na půdu. Tato technologie navíc umožňuje redukovat objem kompostovaného materiálu a celkově vykazuje vyšší známku kvality než přímá aplikace. Do budoucna by mělo kompostování kalů (s možnostmi další využitelnosti kompostů) zůstat neopomínanou součástí kalového hospodářství, která nabízí poměrně efektivní způsob nakládání s kaly v poměru cena/kvalita/použitelnost výsledného produktu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů* [online]. 2005. Dostupné z WWW: <<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/charakter.html>>
- [2] VÍTĚZ, T. GRODA, B.: *Čištění a čistírny odpadních vod*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, ISBN: 978-80-7375-180-7.
- [3] DOHÁNYOS, M. a KUTIL, J. (2006): *Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů*. Biom.cz [online]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidacecistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- [4] SIROTKOVÁ, D. Legislativa biologicky rozložitelných odpadů. *Biom.cz* [online]. 2006-04-28 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/legislativa-biologicky-rozlozitelnych-odpadu>. ISSN: 1801-2655.
- [5] POŠTA, J. a kol. : *Čistírny odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, technická fakulta, 2005, 208 stran, ISBN: 80-213-1366-8.
- [6] MALÝ, J a HLAVÍNEK,P. *Čištění průmyslových odpadních vod*. 1. vyd. Brno: Vydavatelství NOEL 2000 s.r.o., 1996, 255 stran, ISBN: 80-86020-05-3.
- [7] ROLENC, M. *Biologické čištění odpadních vod*. Brno, 2009. 27 s. Bakalářská práce na fakultě strojního inženýrství v Brně na institutu procesního a ekologického inženýrství vysokého technického. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pěček.
- [8] *Webová stránka informačního portálu o čističkách odpadních vod* [online]. Kalový index (KI). Dostupné z WWW: <<http://cistickaodpadnichvod.cz/slovník/kalovy-index-ki>>
- [9] *Webová stránka firmy Topol water* [online]. Nejčastější dotazy – kal a odpadní voda. Dostupné z WWW: <[http://topolwater.com/nej-dotazy\\_4.htm](http://topolwater.com/nej-dotazy_4.htm)>
- [10] DENTEL, S. K., 2001. *Conditioning, thickening, and dewatering: research update/research needs*. [online] *Water Science and Technology* 44 (10), 9-18. Dostupné z WWW: <[sludgenews.org/resources/documents/Kouloumbos\\_NPs\\_in\\_sludge.pdf](http://sludgenews.org/resources/documents/Kouloumbos_NPs_in_sludge.pdf) [cit. 13-3-2012]
- [11] TAO, T., PENG, X.F., et. al. 2006. *Micromechanics of wastewater sludge floc: force-deformation relationship at cyclic freezing and thawing*. *Journal of Colloid And Interface Science* 298 (2), 860-868. Dostupné z WWW: [http://sludgenews.org/resources/documents/Kouloumbos\\_NPs\\_in\\_sludge.pdf](http://sludgenews.org/resources/documents/Kouloumbos_NPs_in_sludge.pdf) [cit. 13-3-2012]

- [12] FRANČEL, P., POCHOP, J. 1998. *Technologické testy pro hodnocení odvodňovacích vlastností kalů a sedimentů*. VTEI č. 02. Dostupné z WWW: <<http://mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/c6b5ec4af7601628802567f20042d542?OpenDocument>>
- [13] KNOCKE, W.R., WAKELAND, D.L. 1982. *Floc Property Effects on Sludge Dewatering Characteristics*. Bulletin 133, Virginia Water Resources Research Center on Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia. 66 pages, 24060-3397. Dostupné z WWW: <http://vwrrc.vt.edu/pdfs/bulletins/1982/Bulletin133.pdf>
- [14] HARTMAN, M., SVOBODA, K., et. al. 2003. *Tepelné zpracování čistírenských kalů*. Chemické listy 97, 976 – 982 (2003). Ústav chemických procesů, Akademie věd České republiky, Praha. Dostupné z WWW: [http://chemicke-listy.cz/docs/full/2003\\_10\\_01.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2003_10_01.pdf)
- [15] ČSN EN 15170, Charakterizace kalů – stanovení spalného tepla a výhřevnosti. Praha, 2009
- [16] ČSN EN 12176, Charakterizace kalů – stanovení pH. Praha, 1999
- [17] STARA, J. Odvádění a čištění odpadních vod. Přednáška z předmětu Technologie životního prostředí [online]. Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity. České Budějovice. Dostupné z WWW [http://kbe.prf.jcu.cz/files/prednasky/Technologie\\_ZP/Cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://kbe.prf.jcu.cz/files/prednasky/Technologie_ZP/Cistení_odpadnich_vod.pdf)
- [18] *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku úpravy a čištění vody* [online]. 2010. Dostupné z WWW: <[http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka\\_2010/khcov.html](http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/khcov.html)>
- [19] WINKLER, M. 2008. *Aplikační zpráva Laboratorní analýza & procesní analýza čištění odpadních vod nutrienty* [online]. [cit. 19 – 3 – 2012] Dostupné z WWW: [http://hach-lange.cz/countrysites/action\\_q/download%3Bdocument/DOK\\_ID/14785897/type/pdf/lkz/CZ/spkz/cs/TOKEN/at-NzTMOjLIFVY8iuNvOLm4uuVU/M/1pxF8Q](http://hach-lange.cz/countrysites/action_q/download%3Bdocument/DOK_ID/14785897/type/pdf/lkz/CZ/spkz/cs/TOKEN/at-NzTMOjLIFVY8iuNvOLm4uuVU/M/1pxF8Q)
- [20] STUPAVSKÝ, V. *Bezpečné využití komunálních odpadních vod a čistírenských kalů k závlaze a hnojení plantáží rychle rostoucích dřevin*. Biom.cz [online]. 2008-10-15 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bezpecne-vyuziti-komunalnich-odpadnich-vod-a-cistirenskych-kalu-k-zavlaze-a-hnojeni-plantazi-rychle-rostoucich-drevin> . ISSN: 1801-2655
- [21] ČSN EN 13342 Charakterizace kalů – Stanovení dusíku podle Kjeldahla
- [22] RACLAVSKÁ, H. *Technologie zpracování a využití kalů z ČOV*. Ostrava, 2007. 171 s. ISBN 978-80-248-1600-5.

[23] ČSN EN 13346 Charakterizace kalů – Stanovení stopových prvků a fosforu – Metoda extrakce lučavkou královskou.

[24] HEJLOVÁ, R. *Hodnocení toxického a genotoxického potenciálu kalů z čistíren odpadních vod*. Brno, 2006. 80 s. Diplomová práce na přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Vedoucí diplomové práce RNDr. Pavel Čupr, PhD.

[25] *Webová stránka Ministerstva životního prostředí*. Integrovaný registr znečišťování. Seznam látek. [online] Dostupné z WWW: <http://irz.cz/node/20#seznam>

[26] KUBÍK, L. *Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV)*. Biom.cz [online]. 2009-02-09 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov> . ISSN: 1801-2655.

[27] ČERNÝ, J. *Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin*. Biom.cz [online]. 2009 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organickych-latek-a-zivin>

[28] MACH, P., MAREČEK, J. *Hygienisation of sewage sludges*. [online]. Brno. Department of Agriculture, Food and Environmental Engineering, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno. Dostupné z WWW: [http://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech\\_mach.pdf](http://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech_mach.pdf)

[29] ŠTUDLAR, Z. *Úvod do problematiky energetického využívání biomasy*. [online]. Krajská energetická agentura Jihočeského kraje. Dostupné z WWW: <http://keajc.cz/files/biomasa.pdf>

[30] MATĚJŮ, V. *Ekotoxicita v české legislativě*. [online]. Biotechnologická divize, ENVISAN-GEM, a.s., Praha, 2009. [cit. 2012-03-24] Dostupné z WWW: [http://ekomonitor.cz/sites/default/files/file/prezentace-seminaru/05\\_Mateju\\_0.pdf](http://ekomonitor.cz/sites/default/files/file/prezentace-seminaru/05_Mateju_0.pdf)

[31] KAŠPŘÁK, D. *Využití zelených řas *Desmodesmus substrictus* pro hodnocení akutní toxicity*. Ostrava, 2010. 73 s. Bakalářská práce na přírodovědecké fakultě Ostravské univerzity v Ostravě. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Hana Sezimová, Ph.D. [cit. 2012-03-24]

[32] *Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů*. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Praha, 2007. 17 s. [online]. Dostupné z WWW: [http://inisoft.cz/public/upload/attachments/k-strankam/legislativni-prirucka/metodicke-pokyny/mp\\_ekotoxicita.pdf](http://inisoft.cz/public/upload/attachments/k-strankam/legislativni-prirucka/metodicke-pokyny/mp_ekotoxicita.pdf)

[33] DVOŘÁK, V. *Porovnání ekotoxikologických a mikrobiologických testů při hodnocení zátěže půdy*. Praha, 2009. 110 s. Disertační práce na fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze. Vedoucí disertační práce prof. Ing.

Karel Voříšek, CSc. [cit. 2012-03-24] Dostupné z WWW:

[http://agrobiologie.cz/pds/dp/dvorak\\_vladimir.pdf](http://agrobiologie.cz/pds/dp/dvorak_vladimir.pdf)

[34] *Webová stránka organizace EUROFERT s.r.o.* [online]. 2009. Dostupné z WWW: <http://eurofert.cz/o-kalech-/soucasne-zpusoby-jeho-likvidace/> [cit. 2012-03-30]

[35] ŽERAVA, Z. *Čistírenské kaly – současnost a budoucnost*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2008. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Boráň.

[36] *Rekultivační brožura společnosti OKD a.s.* [online]. Rekultivace krajiny na Ostravsko-Karvinsku. Vydavatel: OKD a.s. 1. vydání. Ostrava, 2010. Dostupné z WWW: [http://okd.cz/dokums\\_raw/okd\\_rekultivacni\\_brozura\\_cz.pdf](http://okd.cz/dokums_raw/okd_rekultivacni_brozura_cz.pdf)

[37] ŠUDOMA, M. *Využití kontaktních testů při hodnocení ekotoxicity kalů a kompostů*. Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2011. 61 s. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Jana Vašíčková.

[38] HLAVÍNEK, P., a kol.: *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno, Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojní, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2003, Brno.

[39] *Statistická ročenka České republiky 2011*. Český statistický úřad. [online]. Dostupné z WWW: <http://czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/kapitola/0001-11-2010-0300>

[40] HARTIG, K. *Využití termických metod zpracování kalů* In DOHÁNYOS, M., et. al. *Minimalizace produkce čistírenských kalů*. Brno: Asociace čistírenských expertů ČR, 2004. S. 55-68. ISBN 80-239-3950-5(brož.).

[41] MICHALOVÁ, M. *Nakládání s kaly z komunálních ČOV v ČR v podmínkách EU. In Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod XIV. : Sborník přednášek ze semináře*. Brno: Asociace čistírenských expertů ČR, 2009. s. 25-29.

[42] *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land : Final report, Part I: Overview Report* [online]. Brussels 2008, [cit. 2012-03-30] Dostupné z WWW: [http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part\\_i\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf)

[43] JENÍČEK, P., et al. *Aktuální trendy v kalovém hospodářství*. [online]. Zpráva Ústavu technologie vody a prostředí na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze. 2010. 6 s. [cit. 2012-04-01] Dostupné z WWW: [http://web.vscht.cz/jenicekp/Kalové\\_hospodářství/aktuální\\_trendy\\_v\\_KH.pdf](http://web.vscht.cz/jenicekp/Kalové_hospodářství/aktuální_trendy_v_KH.pdf)

[44] *Webová stránka defra (Department for Environment Hood and Rural Affairs)*. Fertiliser Manual (RB209) - Sewage Sludges (biosolids). [online]. [cit. 2012- 04-04] Dostupné z WWW: <http://defra.gov.uk/publications/2011/03/25/fertilizer-manual-rb209/>

[45] HANČOVÁ, H., VLKOVÁ, M. *Biologie v kostce I*. 1. vydání. Havlíčkův Brod: Fragment, 1997. s. 112. ISBN: 80-7200-059-4.

[46] FEČKO, P. *Problematika zpracování a využití kalů z čistíren odpadních vod*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2009. s. 132. ISBN: 80-7078-652-3.

[47] *Multimediální výukový text zaměřený na Kompostování*. [online]. [cit. 2012-04-04] Dostupné z WWW: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/Kompostování.pdf](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Kompostování.pdf)

[48] ZEMÁNEK, P., a kol. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. [online] Výzkumný ústav zemědělské techniky. 1. vydání. Praha, 2010. 114 s. ISBN 978-80-86884-52-3 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z WWW: <http://stv.pi.gin.cz/vuzt/novinky/17.pdf>

[49] JENÍČEK, P. *Chemické metody stabilizace kalů a Kompostování čistírenských kalů*. [online]. Výukový text. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 2009. 7 s. [cit. 2012-04-15] Dostupné z WWW: [http://web.vscht.cz/jenicekp/Kalové\\_hospodářství/KH\\_7\\_kompost.+chem.stab..pdf](http://web.vscht.cz/jenicekp/Kalové_hospodářství/KH_7_kompost.+chem.stab..pdf)

[50] *Webová stránka společnosti ekogroup*. [online]. Propagační materiál aerobního fermentoru EWA. Dostupné z WWW: <http://gwg.sk/ekogroup/download/ewa.pdf> [cit. 2012-04-15]

[51] KHALIL, A. I., et al. *Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge*, 2011-03-10, World J Microbiol Biotechnology, volume 27/2011, ISSN 1573-0972.

[52] PLÍVA, P. a kol. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. [online]. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha, 2006. 65 s. ISBN 80-86884-11-2 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: [http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2006\\_01.pdf](http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2006_01.pdf)

[53] VÁŇA, J. *Kompostování odpadů*. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>. ISSN: 1801-2655.

[54] ZEMÁNEK, P. *Speciální mechanizace: mechanizační prostředky pro kompostování*. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. 114 s. ISBN 80-7157-561-5.

[55] KÁRA, J., a kol. *Kompostování zbytkové biomasy*. Biom.cz [online]. 2002-01-31 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>. ISSN: 1801-2655.



[56] HEJÁTKOVÁ, K., a kol. *Řešení bioodpadu v regionu*, první vydání, Zemědělská a ekologická regionální agentura, a.s., Náměšť nad Oslavou, 2008, str. 60, ISBN 80-903548-8-2.

[57] PASTOREK, Z. *Legislativa bioodpadů – kompostování v praxi*. Biom.cz [online]. 2004-04-19 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborné-clanky/legislativa-bioodpadu-kompostovani-v-praxi>. ISSN: 1801-2655

[58] PLÍVA, P. a kol. *Technika pro kompostování v pásových hromadách*. [online]. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha, 2005. 72 s. ISBN 80-86884-02-3 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: [http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2005\\_01.pdf](http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2005_01.pdf)

[59] *Studijní texty zaměřené na nakládání s odpadem*, 2007 [online]. [cit. 2012-04-06] Dostupné z WWW: [http://pohoda.joste.cz/iii/ochr\\_ziv\\_pr/odp\\_recyk\\_trid.doc](http://pohoda.joste.cz/iii/ochr_ziv_pr/odp_recyk_trid.doc).

[60] PASTOREK, Z., PLÍVA, P. *Kompostování*. [online]. [cit. 2012-04-06] Dostupné z WWW: [http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul\\_key=64&idkapitola=17](http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=17).

[61] SALAČ, J. *Kompostování ve vaku*, 2003 [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: [http://odpady.ihned.cz/index.php?p=E00000\\_detail&article\[id\]=12677180&article\[area\\_id\]=10024740](http://odpady.ihned.cz/index.php?p=E00000_detail&article[id]=12677180&article[area_id]=10024740).

[62] MAŇÁKOVÁ, B. *Možnosti snížení rizikovosti arsenu v problematických kalech*. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2011. 104 s. Vedoucí diplomové práce Doc. RNDr. Jakub Hofman, PhD

[63] DOMINGUEZ, J., EDWARDS, C. A. 1997, *Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of Eisenia andrei (Oligochaeta) in pig manure*: Soil Biology & Biochemistry, v. 29, p. 743-746.

[64] *Webová stránka společnosti Agro-eko*. Aerobní fermentor EWA. [online]. [cit. 2012-04-10] Dostupné z WWW: <http://agro-eko.cz/cz/produkty/fermentor-ewa/>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

*Obrázek č. 1: Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění [39].*

*Obrázek č. 2: Využití kalů z ČOV v ČR v roce 2010 [39].*

*Obrázek č. 3: Využívání čistírenských kalů v EU [autor P. Jeníček].*

*Obrázek č. 4: Finální zpracování kalů v USA v roce 1995.*

*Obrázek č. 5: Finální zpracování kalů v USA v roce 2005*

*Obrázek č. 6: Výnos brambor, ozimé pšenice a jarního ječmene (t/ha obilních jednotek) průměr pěti stanovišť v ČR za 12 let [27].*

*Obrázek č. 7: Průběh teplotních změn ve fázích kompostování [56].*

*Obrázek č. 8: Výhody a nevýhody průřezů pásových hromad [59].*

*Obrázek č. 9: Aerace pásových hromad s využitím techniky [59].*

*Obrázek č. 10: Kompostovací žlaby a uzavřené boxy [59].*

*Obrázek č. 11: Kompostování ve vacích (AG – Bag) [59].*

## SEZNAM TABULEK

*Tabulka č. 1: Obsah sušiny a složení kalu [1].*

*Tabulka č. 2: Efekt hustoty vloček na finální koncentraci sušiny získaný po vakuové filtraci [13].*

*Tabulka č. 3: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v čistírenských kalech pro jejich použití na zemědělské účely podle vyhlášky 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.*

*Tabulka č. 4: Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě podle vyhlášky 382/2001 Sb.*

*Tabulka č. 5: Požadavky na výsledky ekotoxikologických testů [32].*

*Tabulka č. 6: Hodnocení biologické dostupnosti živin z kalů podle ISWA, 1998 [22].*

*Tabulka č. 7: Limitní koncentrace vybraných rizikových prvků pro komposty dle vyhlášky MZ č. 271/2009 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.*