



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESSING AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

# **ENERGETICKÉ VYUŽITÍ KALŮ Z ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD**

ENERGY UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**ANNAMÁRIA POLÁKOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**ING. LUKÁŠ FRÝBA**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Annamária Poláková

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

### **Energetické využití kalů z čistíren odpadních vod**

v anglickém jazyce:

#### **Energy utilization of sewage sludge**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše současného stavu úrovně techniky v oblasti využití kalů z čistíren odpadních vod pro výrobu elektřiny a tepla.

Cíle bakalářské práce:

Seznámení s problematikou – Vznik a složení kalů

Úprava a možnosti nakládání s kaly

Technologie používané ke spalování kalů

Seznam odborné literatury:

[1] European IPPC Bureau: Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, Brussels, available on <http://eippeb.jrc.es>, 2006

[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] URBAN, V. Spalování čistírenských kalů s přídavkem alkálií. Brno, 2011. 66 s. Diplomová práce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí diplomové práce Ing. Lucie Houdková Ph.D.

[4] Nařízení vlády č. 354 ze dne 3. července 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu, Sbírka zákonů č. 354/2002, částka 127, s. 7354-7482

## **ABSTRAKT**

Táto práca pojednáva o vzniku a zložení kalov. Zloženie kalu je dané legislatívou, takisto ako jeho úprava a spracovanie. Kaly sa upravujú, aby mohli byť použité na poľnohospodárskej pôde, skládkované, spaľované atď. Jednotlivé postupy úpravy kalu sú popísané ďalej v tejto práci.

Možnosti nakladania s kalmi sú rozmanité, ale nie všade rovnako zastúpené. Tejto problematike je venovaná kapitola s porovnaním nakladania s kalmi v Českej republike a v zahraničí znázornená v grafoch. Najrozsiahljším a najpoužívanejším spôsobom nakladania s kalmi je aplikácia na pôdu a spaľovanie. Spaľovaním sa z kalu získava energia, ktorá je ďalej použiteľná.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Odpadný kal, sušina, úprava kalu, výhrevnosť, bioplyn, spaľovanie

## **ABSTRACT**

This bachelor's work discusses the origin and composition of the sludge. The composition of sludge is given by legislation, as well as its treatment and processing. Sludge shall be adjusted in order to be used on agricultural land, landfilled, incinerated, etc. The sludge processes are described further in this work. Sludge disposal options are varied, but not everywhere equally represented. This is represented in chapter where treatment of sludge in Czech Republic and abroad are compared, illustrated in charts. The most extensive and most common method of disposal of sludge is application on the ground and burning. Usable energy is obtained by burning the sludge.

## **KEY WORDS**

Sewage sludge, dry mass, sludge treatment, calorific value, biogas, combustion

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

POLÁKOVÁ, A. *Energetické využití kalů z čistíren odpadních vod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Frýba.

## **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne a že všetky použité literárne zdroje som správne a úplne citovala.

V Brne dňa

## **POĎAKOVANIE**

Rada by som touto cestou poďakovala pánovi Ing. Lukášovi Frýbovi za odborné vedenie a možnosť realizácie tejto práce. Ďakujem mu za poskytnutie cenných rád a informácií, za korekcie a trpezlivosť.

# Obsah

<b>ZOZNAM SKRATIEK.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2 VZNIK A ZLOŽENIE KALOV .....</b>	<b>10</b>
2.1 ČISTIARENSKÝ KAL .....	10
2.2 ROZDELENIE KALOV .....	11
2.3 LEGISLATÍVA NAKLADANIA S KALMI V ČESKEJ REPUBLIKE .....	11
<b>3 ÚPRAVA KALOV .....</b>	<b>13</b>
3.1 PRIMÁRNE METÓDY ÚPRAVY KALOV .....	13
3.1.1 Zahusťovanie kalov.....	13
3.1.2 Odvodňovanie kalov .....	13
3.1.3 Anaeróbná stabilizácia kalu a jej intenzifikácia.....	13
3.1.4 Aeróbná termofilná stabilizácia kalu.....	14
3.1.5 Sušenie kalov .....	14
3.2 FINÁLNE METÓDY SPRACOVANIA KALOV .....	14
3.2.1 Chemická stabilizácia – vápnenie.....	15
3.2.2 Fyzikálna stabilizácia – pasterizácia.....	15
3.2.3 Technológia KREPRO.....	16
<b>4 SPAĽOVANIE KALOV – VYUŽITIE ENERGIE .....</b>	<b>16</b>
4.1 MOKRÁ OXIDÁCIA .....	19
4.2 PYROLÝZA A SPLYŇOVANIE .....	20
4.3 ZARIADENIA NA SPAĽOVANIE KALOV .....	22
4.3.1 Rotačné vykurovacie zariadenie .....	22
4.3.2 Rotačné etážové vykurovacie zariadenie .....	22
4.3.3 Fluidné vykurovacie zariadenie.....	24
4.3.4 Spaľovanie kalu v cementárenskej peci .....	25
4.4 SPOLUSPAĽOVANIE V ELEKTRÁRŇACH A TEPLÁRŇACH .....	25
4.4.1 Zariadenie na spoluspaľovanie odpadov.....	25
4.4.2 Spoluspaľovanie s uhlím a drevom.....	26
<b>5 NAKLADANIE S KALMI .....</b>	<b>26</b>
5.1 NAKLADANIE S KALMI V ČR.....	26
5.2 NAKLADANIE S KALMI V ZAHRANIČÍ.....	28
5.2.1 Legislatíva EÚ.....	28
5.2.2 Rakúsko.....	28
5.2.3 Francúzsko .....	28
5.2.4 Fínsko .....	28
5.2.5 Taliansko .....	29
5.2.6 Írsko.....	29
5.2.7 Nemecko .....	29
<b>6 ZÁVER.....</b>	<b>33</b>
<b>LITERATÚRA.....</b>	<b>34</b>

## Zoznam skratiek

<i>Skratka</i>	<i>Význam</i>
<b>AL</b>	Anorganické látky
<b>ČOV</b>	Čistiareň odpadových vôd
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>MO</b>	Mokrú oxidáciu
<b>OL</b>	Organické látky
<b>SSK</b>	Spracovanie surového kalu
<b>ÚČOV</b>	Ústredná čistiareň odpadových vôd
<b>VK</b>	Vyhnitý kal



# 1 ÚVOD

Kal z čistenia odpadových vôd je hlavným odpadovým produktom procesu čistenia odpadových vôd. Proces čistenia sa uskutočňuje v čistiarni odpadových vôd (ČOV), na ktorej výstupe odteká voda s podstatne zníženým obsahom znečisťujúcich látok. Nežiaduce zložky sa vo vode koncentrujú do odpadového kalu [1].

Kal patrí k odpadom, ktoré sú každodenným vedľajším produktom spoločnosti. V súčasnej dobe nakladanie s odpadom tvorí významnú zložku ľudskej existencie. Zbavovanie sa odpadu je dôležitým krokom na udržanie zdravia ľudskeho a čistoty planéty. Nevyhnutným produktom človeka sú splašky, ktoré denne spracovávajú čistiarne odpadových vôd. Vďaka nim sa môže znečistená pitná voda stať úžitkovou a bezpečnou pre životné prostredie. ČOV na čistenie tejto vody využívajú rôzne metódy, ktoré zahŕňajú sedimentáciu, odstreďovanie, odstraňovanie chemických látok atď. Avšak prečistením vody to nekončí. Po vyčistení vody ostane kal, ktorý sa ďalej spracováva a to vyhnutím, odvodnením a sušením. Ekologické odstránenie kalu sa uskutočňuje spaľovaním v cementárenských peciach, v spaľovacích zariadeniach, spoluspaľovaním s iným palivom, rekultiváciou, splyňovaním, kompostovaním a využitím v poľnohospodárstve.

Doba sa neustále vyvíja a s ňou aj možnosti nakladania s kalmi. Do dnešných čias bolo vyvinutých niekoľko spôsobov a zariadení na nakladanie s kalmi, z ktorých však nie všetky sú ekonomicky únosné. V Českej republike sa len nedávno sprevádzkovala cementáreň Lafarge, ktorá spaľuje ropné kaly. Na území Európskej únie sa kaly najčastejšie sušia a kompostujú a následne využijú na poľnohospodárskej pôde. Požitie kalu ako hnojiva sa stretáva so stále väčším odporom, kvôli obavám z kontaminácie pôdy a potravín vypestovaných na tejto pôde. Kal, ktorý sa používa ako hnojivo sa musí najprv chemicky stabilizovať – vápniť, pričom vznikajú bioplyny ako metán a oxid uhličitý. Sú to významne škodlivé skleníkové plyny, a preto je potrebné zaistiť, aby pri spracovaní kalu neunikli do ovzdušia. Dobrým spôsobom sa zdá ich využitie na vykurovanie sušiacich zariadení. Pri ďalších spôsoboch úpravy kalu vzniká zase bioplyn, ktorý je využiteľný z hľadiska obsahu vodíku. Vodík je perspektívnym plynom pre palivové články.

## 2 VZNIK A ZLOŽENIE KALOV

### 2.1 Čistiarenský kal

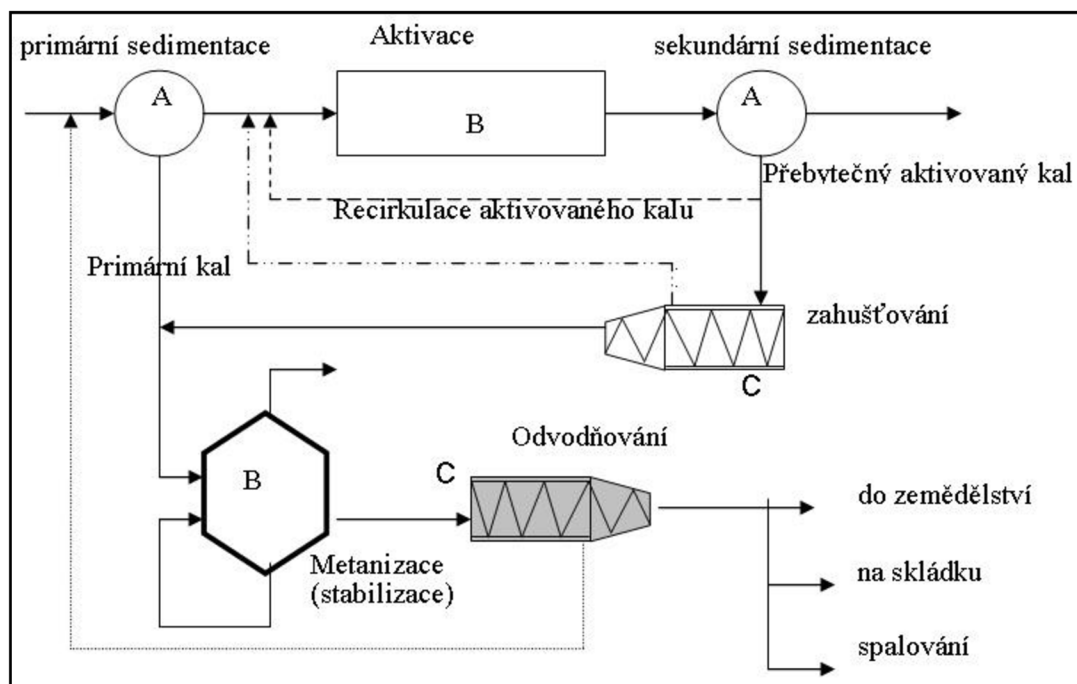
Odpadový kal je zmes dvoch alebo viac odpadových látok, z ktorých najmenej jedna musí byť v kvapalnom skupenstve a vytvárať súvislú fázu a najmenej jedna ďalšia musí byť v tuhom skupenstve rozptýlená (dispergovaná) v kvapalnej fáze [1].

Čistené vody obsahujú asi 1-2% objemu kalu, v ktorom je skoncentrovaných až 50-80% pôvodného znečistenia. Toto znečistenie je spôsobené patogénnymi mikroorganizmami a obsahom toxických chemických látok a ťažkých kovov ako sú kadmium (Cd), chróm (Cr), meď (Cu), ortuť (Hg), olovo (Pb), zinok (Zn). Náklady na čistenie odpadových vôd predstavujú až 50% celkových prevádzkových nákladov ČOV [1],[2].

„Koncentrácia kalov sa vyjadruje ako obsah sušiny kalu (vyjadrený buď v g/l alebo v %)“ [2]. Sušina je pevná zložka kalu. Jej zloženie a obsah závisí na tom, ako veľmi je kal znečistený a akými procesmi čistenia prešla odpadová voda (napr. mechanickým čistením, biologickým čistením, fyzikálno-chemickým čistením, dočistením a pod.). Celkové množstvo produkovaných kalov závisí na množstve spracovávaného znečistenia a na spôsobe čistenia odpadových vôd a typu kanalizácie [2].

Rôznymi spôsobmi technologického postupu spracovania (napr. zahusťovaním, dezintegráciou, odvodňovaním, dezinfekciou a pod.) získame rôzne množstvo kalu. Množstvo získaného kalu ovplyvňuje aj druh činidla (soli železa a hliníku, vápno, polyméry a pod.) pridávaného do procesu čistenia vôd alebo spracovania kalov [2].

Základná schéma spracovania kalov v ČOV je znázornená na obr. 2.1.



Obr.2.1 Základná schéma kalového hospodárstva na ČOV [2]

A – sedimentácia; B – stabilizácia; C – kondicionácia, zahusťovanie a odvodňovanie

## 2.2 Rozdelenie kalov

Kaly sa delia na nasledovné skupiny [1]:

- *Primárny kal* – kal z primárnych usadzovacích nádrží; usaditeľné látky v surovej odpadovej vode;
- *Sekundárny kal* – prebytočný – kal z dosadzovacích nádrží; má vločkovitú štruktúru;
- *Aktivovaný kal* – kal s obsahom mikroorganizmov; nadmerné množstvo mikroorganizmov spôsobuje značné technologické problémy pri usadzovaní a zahusťovaní kalu;

Kvalitatívne aj kvantitatívne zloženie aktivovaného kalu závisí hlavne na zložení substrátu, na ktorom bol daný kal vypestovaný, a na hodnotách technologických parametrov behom kultivácie (doba zdržania, zaťaženia a vek kalu). Aktivovaný kal sa líši od väčšiny čistých kultúr tiež tým, že je schopný oddeľovať sa od kvapalnej fázy sedimentáciou [1].

Spracovanie, resp. nakladanie s kalmi sa delí na dva zásadné postupy [3]:

- Spracovanie surového kalu (SSK), tzn. zmesi kalu primárneho a prebytočného aktivovaného kalu, ktorý je nebezpečným odpadom;
- Spracovanie tzv. vyhnitého kalu (VK), ktorý vzniká po anaeróbnej stabilizácii surového kalu, ktorý sa týmto spôsobom zbaví nebezpečnej hygienickej závadnosti;

Intenzifikačné postupy v kalovom hospodárstve majú zabezpečiť predovšetkým minimalizáciu množstva produkovaných kalov. Intenzifikácia je tiež zameraná na získanie stabilizovaného materiálu, ktorý je hygienicky zabezpečený a nespôsobuje problémy pri jeho konečnom využití. To všetko pri maximálnom využití energetického potenciálu organických látok zachytených v kaloch za súčasnej minimalizácie spätného ovplyvňovania biologického stupňa produktmi kalového hospodárstva a možného využitia aj anorganickej zložky kalu [3].

## 2.3 Legislatíva nakladania s kalmi v Českej republike

Možnosti nakladania s kalmi upravuje legislatíva Českej republiky a to Zákonom č. 185/2001 Sb. o odpadoch a zmene niektorých ďalších zákonov, v znení neskorších predpisov v § 33 špecifikuje povinnosti pri používaní kalov na poľnohospodárskej pôde. Odstavec 1 stanoví, že použité môžu byť len upravené kaly za podmienok stanovených týmto zákonom a vykonávacím právnym predpisom- vyhláškou č. 382/2001 Sb. o podmienkach použitia kalov na poľnohospodárskej pôde, v znení vyhlášky č. 504/2004 Sb.

§ 3 odst. 6 zákona č. 382/2001 Sb. hovorí, že do okamihu predania upraveného kalu poľnohospodárovi na priamu aplikáciu na poľnohospodársku pôdu spolu s programom použitia kalu je teda nutné nakladať s kalom ako s odpadom a predávať ho len zariadeniam oprávneným nakladať s odpadmi podľa zákona. Je treba zdôrazniť, že po vykonaní úpravy odpadu a vypracovaní programu aplikácie kalu na poľnohospodársku pôdu, je nutné odpad predať na priamu aplikáciu na poľnohospodársku pôdu v súlade so zákonom a vyhláškou.

Podľa § 32 zákona č. 185/2001 Sb. o odpadoch sa za kal považuje:

- kal z čistiarní odpadových vôd spracovávajúcich mestské odpadové vody alebo odpadové vody z domácností a z iných ČOV, ktoré spracovávajú odpadové vody rovnakého zloženia ako mestské odpadové vody a odpadové vody z domácností
- kal zo septikov a iných podobných zariadení
- kal z čistiarní odpadových vôd vyššie neuvedených.

§ 3 zákona 354/2002 Sb. Rozdeľuje spalňové zariadenia do nasledujúcich kategórií:  
Zaradovanie spalňovacích zariadení do kategórií zdrojov znečisťovania

(1) Do kategórie zvlášť veľkých zdrojov znečisťovania sa zaradujú spalňové zariadenie podľa menovitej prevádzkovej kapacity a kategórie odpadu takto

1. väčší než 10 ton za deň nebezpečného odpadu,
2. väčší než 3 tony za hodinu komunálneho odpadu a
3. väčší než 50 ton za deň iného než nebezpečného a komunálneho odpadu.

Keďže pri spaľovaní odpadov vznikajú nebezpečné látky, ktoré by vo veľkom množstve ohrozili zdravie človeka a znečistili ovzdušie, stanovuje Česká republika v tomto smere niekoľko zákonov.

§3 Zákona 86/2002 Sb. o ochrane ovzdušia hovorí, že každý je povinný obmedzovať a predchádzať znečisťovaniu ovzdušia a odstraňovať znečisťujúce látky, ktoré vypustil.

§5 Zákona 354/2002 Sb. stanovuje emisné limity nasledovne (viď tab. 2.1):

(7) Spaľovne odpadu a spalňové zariadenie sa projektujú, stavajú, vybavujú a prevádzkujú tak, aby emisiami významne neznečisťovali prízemné vrstvy ovzdušia. Odpadné plyny vznikajúce pri procese sa do ovzdušia vypúšťajú riadeným spôsobom pomocou komínu.

(8) Všetko využiteľné teplo, ktoré vzniká pri spaľovaní alebo spalňovaní odpadov, sa podľa možností ďalej využíva.

<b>Nebezpečné látky</b>	<b>Priemerné denné hodnoty</b>
Tuhé znečisťujúce látky	10 mg/m <sup>3</sup>
Organické látky v plynnej fáze vyjadrené celkovým obsahom organického uhlíku	10 mg/m <sup>3</sup>
Plynné anorganické zlúčeniny chlóru vyjadrené ako HCl	10 mg/m <sup>3</sup>
Plynné anorganické zlúčeniny fluoru vyjadrené ako HF	1 mg/m <sup>3</sup>
Oxid siričitý (SO <sub>2</sub> )	50 mg/m <sup>3</sup>
Oxid dusnatý a dusičitý vyjadrené ako NO <sub>2</sub> pre existujúce spaľovne s menovitou kapacitou nad 6t/h	200 mg/m <sup>3</sup>
Oxid dusnatý a dusičitý vyjadrené ako NO <sub>2</sub> pre existujúce spaľovne s menovitou kapacitou do 6t/h	400 mg/m <sup>3</sup>

Tab. 2.1 Špecifické emisné limity podľa prílohy č. 5 §5 Zákona 354/2002 Sb.

## **3 ÚPRAVA KALOV**

### **3.1 Primárne metódy úpravy kalov**

Pri vstupe kalu do ČOV sa v prvom rade separuje materiál podľa kvality, oddelí sa organická zložka od častí vhodných k recyklácii ako sú kovy, sklo, plasty a pod. Po tomto kroku sa kal predupraví, aby sa zlepšili jeho odvodňovacie vlastnosti [2].

#### **3.1.1 Zahusťovanie kalov**

Zahusťovanie je schopnosť kalu zvýšiť koncentráciu tuhých častíc filtráciou, gravitačne alebo odstred'ovaním. Nasleduje hneď po oddelení kalu od kvapalnej zložky. Každý kal má nejakú schopnosť odvodnenia, ktorá je jedným z hlavných parametrov hodnotenia kalov [1].

#### **3.1.2 Odvodňovanie kalov**

Mechanická technologická operácia, pri ktorej sa kal zbavuje vody. Mechanické odstránenie vody je energeticky rádovo výhodnejšie než odstránenie termické. Z toho vyplývajú aj ekonomické výhody. Hlavným kritériom pre odvodnenie kalu je množstvo organických látok v ňom obsiahnutých. V kalovej vode, ktorá sa získa odvodnením anaeróbne stabilizovaného kalu je vysoká koncentrácia amoniakálneho dusíku (u splaškových kalov až 1500 mg/l), čo sa prezentuje ako nevýhoda tejto metódy [3].

#### **3.1.3 Anaeróbna stabilizácia kalu a jej intenzifikácia**

Všeobecne najrozšírenejšou metódou spracovania surových kalov je ich anaeróbna stabilizácia, pri ktorej dochádza k premene väčšiny rozložiteľných organických látok do bioplynu (jeho hlavnými zložkami sú metán a oxid uhličitý) za súčasnej stabilizácie a hygienizácie kalu. Tento bioplyn sa následne využíva v kogeneračných jednotkách, čo je prínosom pre ekonomiku čistiarne. Takisto je táto metóda ekologická z globálneho hľadiska, pretože neprispieva k zvyšovaniu skleníkového efektu [3].

Bioplyn sa s energetickou výhodnosťou môže získavať aj pomocou niekoľkostupňovej fermentačnej stabilizácie. Kal sa pred úpravou nemusí sušiť. Anaeróbnou fermentáciou je tiež možné získať vodík a to tak, že potlačíme jeho spotrebu pri metanogénzii v prvých štádiách získavania bioplynu.

Produkcia vodíku z biologických zdrojov je dnes zaujímavá a žiadaná, hlavne kvôli možnosti jeho využitia v palivových článkoch. Je však samozrejme nutné jeho čistenie, pretože z fermentácie vychádza ako zmes s iným plynom [4].

Z intenzifikačných metód sa najčastejšie používajú [3]:

- *Predúprava kalu – dezintegrácia* – materiál určený na fermentáciu sa rozomelie na čo najjemnejšie častice, čím sa zväčší povrch častíc a to zlepšuje jeho prístupnosť enzýmovému rozkladu.
- *Termofilná anaeróbna stabilizácia* – umožňuje zníženie potrebného objemu reaktorov a umožňuje pracovať pri vyššom zaťažení reaktorov.

### **3.1.4 Aeróbna termofilná stabilizácia kalu**

Stabilizácia prebieha vďaka pôsobeniu aeróbnych mikroorganizmov, ktoré rozkladajú ľahko rozložiteľné organické látky za súčasného vzniku tepla. Technológia využíva teplo uvoľňované pri biochemickej oxidácii na ohriatie celého objemu nádrže a na udržiavanie teploty medzi 50-60 °C [1].

### **3.1.5 Sušenie kalov**

#### **1. Nepriame sušenie**

Typ sušenia, pri ktorom nedochádza k priamemu styku sušiaceho média (para, horúci olej) s kalom. Teplo je k sušenému materiálu prenášané prostredníctvom tepelných plôch (kontaktné sušenie). Typickým predstaviteľom kontaktnej metódy sušenia kalov sú diskové sušiarne [1].

#### **2. Priame sušenie**

Pri priamom sušení je sušený materiál v priamom kontakte s horúcim plynom. Nazývame ho tiež konvekčné sušenie. Najdôležitejším typom sušiarne je rotačná bubnová sušiareň, pásová sušiareň a fluidná sušiareň [1].

## **3.2 Finálne metódy spracovania kalov**

Spôsoby, akými budú kaly spracované závisia na miestnych podmienkach danej lokality, na fyzikálnych, chemických a biologických vlastnostiach kalov a na možnosti konečného riešenia ich transportu a použitia. V súčasnej dobe prichádzajú do úvahy tri spôsoby konečného spracovania kalov [2].

- využitie v poľnohospodárstve a na rekultivácie (po predchádzajúcej stabilizácii),
- termické spracovanie (rôzne spôsoby spaľovania – samostatne, v cementárni, pyrolýza),
- uloženie na skládku.

### 3.2.1 Chemická stabilizácia – vápnenie

Chemická stabilizácia kalu znamená, že sa do jeho objemu v tekutom alebo odvodnenom stave pridá oxid alebo hydroxid vápenatý, pričom sa zvýši pH zmesi na hodnotu 12 a viac. Zvýšenie pH pomáha likvidovať patogény. Objemové množstvo kalu je dané množstvom látok, ktoré suspendovali do zmesi a obsahom vody [5].

Vápnenie sa dá uskutočniť dvomi spôsobmi:

- úprava kalu páleným vápnom - hygienizácia kalu spolupôsobením zvýšenej teploty a hodnoty pH;
- úprava kalu haseným vápnom - hygienizácia kalu iba v dôsledku zvýšenej hodnoty pH.

Vápnením dochádza k výraznej redukcii mikroorganizmov a zníženiu obsahu dusíku v kale, pretože dochádza k uvoľňovaniu amoniaku do ovzdušia. Produkované plyny musia byť príslušným spôsobom čistené [1].

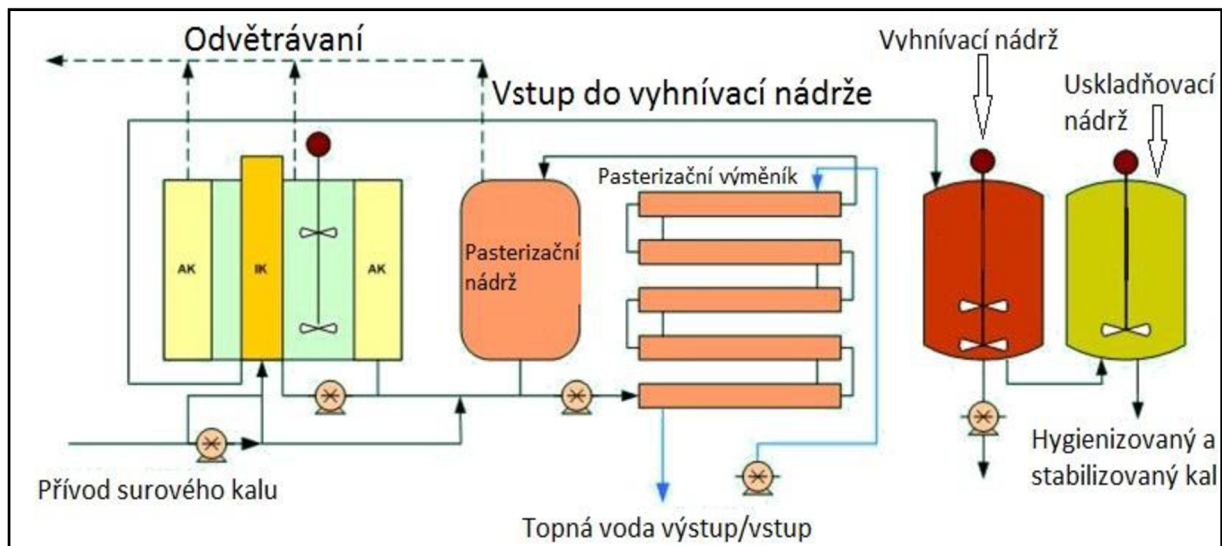
Vzhľadom k tomu, že prakticky všetky väčšie ČOV v ČR majú vybudované odvodnenie kalu, možno bez väčších problémov zaradiť linku vápnenia kalu do existujúcej prevádzky kalového hospodárstva [1].

### 3.2.2 Fyzikálna stabilizácia – pasterizácia

Pasterizácia je fyzikálnym procesom preto, lebo na dostatočne dôkladné odstránenie mikroorganizmov z kalu sa používa iba zvýšená teplota pôsobiaca po krátku dobu. Tento proces musí byť kombinovaný s následnou stabilizáciou kalu, najčastejšie anaeróbnou vo vyhnívacích nádržiach [1]. Technologický postup pasterizácie je uvedený na obr. 3.1.

Prednosti pasterizácie [1] :

- Kal je behom pasterizácie nielen hygienizovaný, ale je tiež priaznivo pripravený pre ďalšie spracovanie (produkcia bioplynu, zahusťovanie);
- Znížená spotreba energie vďaka rekuperácii tepla a produkcii bioplynu;
- Kal plne vyhovuje predpisom pre nakladanie s čistiarenskými kalmi z mikrobiologického hľadiska;
- Zariadenie je nenáročné na priestor;
- Zariadenie je prevádzkovo overené vrátane rekuperačného výmenníku kal/kal a je schopné pružne reagovať na zmeny v množstve vstupujúceho kalu zmenou počtu šarží;



Obr. 3.1 Technologická schéma pasterizácie kalu [1]

### 3.2.3 Technológia KREPRO

Technológia KREPRO umožňuje maximálne využitie a recykláciu cenných zložiek obsiahnutých v kaloch produkovaných v ČOV. Princípom procesu je tepelná hydrolýza v kyslom prostredí prebiehajúca pri teplote cca 130°C a pH 1,5. Kyslé prostredie je zabezpečené použitím kyseliny sírovej a teplota sa získava priamym ohrevom vodnou parou [6].

## 4 SPAĽOVANIE KALOV – VYUŽITIE ENERGIE

Odpadové kaly možno spaľovať, pokiaľ obsahujú aspoň sčasti spáliteľné zložky. Spáliteľné zložky môžu byť prítomné v tuhej aj v kvapalnej fáze. Pri spaľovaní odpadových kalov sú dôležité parametre: teplota, obsah sušiny a organické zložky, výživná hodnota. Ekonomicky závisí spaľovanie na miere požiadaviek na prídavné palivo, pričom uvedené parametre sú podstatou záruky vlastného spaľovania [1].

Hlavnou tuhou spáliteľnou zložkou bežných typov odpadových kalov z ČOV je organická hmota [1].

Spaľovanie má za cieľ dosiahnuť pri vysokej teplote úplnú oxidáciu všetkých OL. Proces môže byť aplikovaný na surový aj stabilizovaný kal. Kľúčovou podmienkou z hľadiska energetického prínosu je stupeň odvodnenia a vysušenia kalu. Energia vo forme tepla môže byť využitá pre presušenie spaľovaného kalu, alebo pre výrobu elektrickej energie.

Snaha o zníženie nákladov na spaľovanie kalov vedie k častým aplikáciám takzvaného spoluspaľovania, pri ktorom sa kal spaľuje napríklad s komunálnym odpadom, alebo fosílnymi palivami v teplárnach alebo cementárnach [4].



Spaľovanie kalov je najperspektívnejší spôsob nakladania s kalmi. Avšak vysoký obsah vody v odvodnenom kale – asi 75% a obsah popolovín v sušine – asi 50% z neho robí skôr hasivo ako palivo. Značnú komplikáciu predstavujú aj ťažké kovy obsiahnuté v kale, ktoré pri vyšších spaľovacích teplotách môžu prejsť do aerosólu a znečistiť tak ovzdušie.

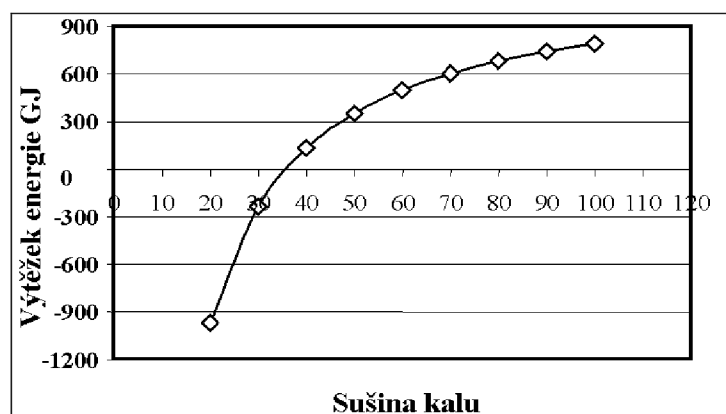
Pri prvých pokusoch spaľovania v 60. rokoch boli k tomuto účelu navrhnuté rotačné pece. Potom sa skúšalo aj priame spaľovanie kalu a tiež spoluspaľovanie v kombinácii s uhlím či komunálnym odpadom. Spoluspaľovanie však nie je najlepším riešením, a to z hľadiska možnej kontaminácie výsledných produktov nežiaducimi prvkami obsiahnutými v kaloch, a z hľadiska nutnosti dodržania spaľovacích teplôt, pri ktorých sa však uvoľňujú ťažké kovy do ovzdušia v podobe aerosólu a tavia sa popoloviny, čo zhoršuje spaľovací proces [7].

Najlepším riešením sa zdá fluidná vrstva, ktorá predstavuje teplotne homogénne prostredie bohaté na kyslík so silne abrazívnym pôsobením na častice kalu. Fluidná vrstva sa dá veľmi presne teplotne riadiť a je možné ovplyvniť jej dynamiku a bohatosť prostredia na kyslík [7].

Zatiaľ je spaľovanie kalov závislé na dodávaní energie, pretože kaly nie sú celkom schopné samostatného horenia. Ďalšou možnosťou je zvýšenie sušiny v kale. Je však treba zvážiť, ktorá cesta je energeticky a ekonomicky výhodnejšia. Vzhľadom na to, že do spracovania kalov musíme započítať aj manipuláciu s ním, jeho prepravu do spaľovni a podobne, je lepšie zamerať sa na ich likvidáciu priamo v mieste vzniku tzn. v areáloch ČOV [7].

Dôležité vlastnosti a úpravy kalu vhodného na energetické využitie:

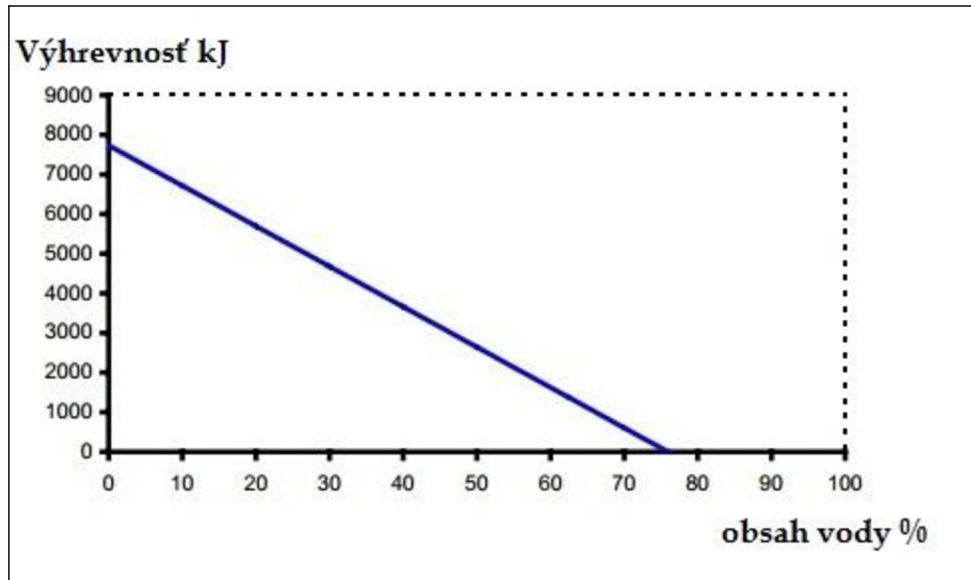
- čo najväčší obsah organických látok v kale [8];
- predúprava kalu pre čo najvyšší anaeróbny rozklad [8];
- optimalizácia podmienok anaeróbného procesu [8];
- aplikácia termofilnej anaeróbnej fermentácie [8];
- samospáliteľnosť surového kalu pri obsahu 70% OL v sušine nastáva pri odvodnení na viac ako 30%. Obrázok 4.1 ukazuje závislosť výťažnosti energie pri rôznej sušine odvodneného surového kalu; [3]



Obr. 4.1 Závislosť výťažnosti energie na sušine odvodneného SSK kalu [3]

- výhrevnosť (mokrý kal s obsahom sušiny 1-5% má výhrevnosť 0,16 – 0,8 MJ/kg kalovej zmesi, odvodnený kal s obsahom sušiny 15-30% má výhrevnosť 2,4 – 6,0 MJ/kg mokrého koláča a je surovinou pre termické procesy) [8];

Závislosť výhrevnosti na obsahu vody v kale znázorňuje obr. 4.2.



Obr. 4.2 Závislosť výhrevnosti vyhnitého kalu z ÚČOV Ostrava na obsahu vody [9]

- obsah nebezpečných látok, najmä ťažkých kovov – tento musí byť čo najnižší, pretože pri spaľovaní sa kovy dostávajú do ovzdušia a znečisťujú ho;

Energia z kalov sa dá získať niekoľkými spôsobmi [8]:

- anaeróbnou stabilizáciou kalov
- spoluspaľovaním v teplárňach alebo elektrárňach
- pyrolýzou a splyňovaním
- spaľovaním v cementárni
- mokrou oxidáciou atď.

## 4.1 Mokrá oxidácia

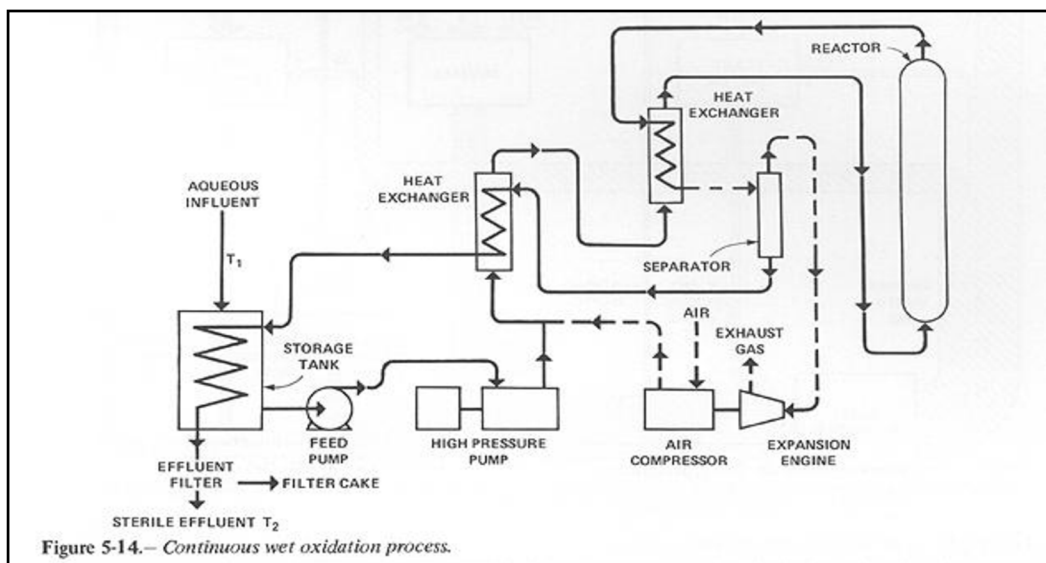
Princíp mokrej oxidácie je znázornený na obr. 4.3. Mokrá oxidácia (MO) je sľubnou alternatívou spaľovania kalu. Princípiálne je založená na vysokoteplotnej oxidácii OL kalu v mokrom stave, bez plameňa. V tomto prípade nie je potrebné odvodnenie a sušenie kalu. Výhoda tejto metódy spočíva v tom, že sa nemusí riešiť problém so spalinami, pretože ostávajú v kvapalnom stave alebo vôbec nevzniknú [4].

MO môže prebiehať v takzvaných podkritických alebo nadkritických podmienkach [4]:

- Nadkritické podmienky – vodné prostredie pri teplote nad  $374^{\circ}\text{C}$  a tlaku 22,1 MPa. Voda v tomto stave dramaticky mení svoje vlastnosti a prechádza do nadkritického stavu.
- Nadkritická voda
  - ideálne rozpúšťadlo pre nepolárne látky (má schopnosť úplne rozpustiť kyslík, naopak sa v nej ľahko zrážajú všetky anorganické soli);
  - ideálny katalyzátor či reakčné prostredie podľa toho, v akej zmesi sa nachádza.

Pre nadkritické podmienky ešte nie je úplne vyvinuté reakčné zariadenie a správny materiál. Podkritická MO má už svoje prevádzkové aplikácie. Napríklad ČOV Brusel-sever od roku 2007 prevádzkuje a overuje technologické usporiadanie kalového hospodárstva: termická hydrolýza, mezofilná anaeróbna fermentácia, mokrá oxidácia ( $250^{\circ}\text{C}$  a 5,4 MPa). Dosahovaná účinnosť oxidácie OL je 75-80% .

Biologický materiál a ostatné organické látky sú konvertované s účinnosťou 99,99% a to pri dobe zdržania do 30 sekúnd. Uhlík a vodík z organických látok sú premenené na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ , dusík (vrátane amoniakálneho), síra a fosfor na  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{PO}_4^{3-}$ , organicky viazaný chlór na  $\text{Cl}^-$ . Ťažké kovy sú oxidované na príslušné oxidy [4].



Obr. 4.3 Schéma mokrej oxidácie [10]

aqueous influent – vodný prítok, effluent filter – odpadný filter, storage tank – skladovacia nádrž, heat exchanger – tepelný výmenník, feed pump – napájacie čerpadlo, high pressure pump – vysokotlaké čerpadlo, air compressor – kompresor, expansion engine – expanzný motor, reactor – reaktor, exhaust gas – výfukový plyn

## 4.2 Pyrolýza a splyňovanie

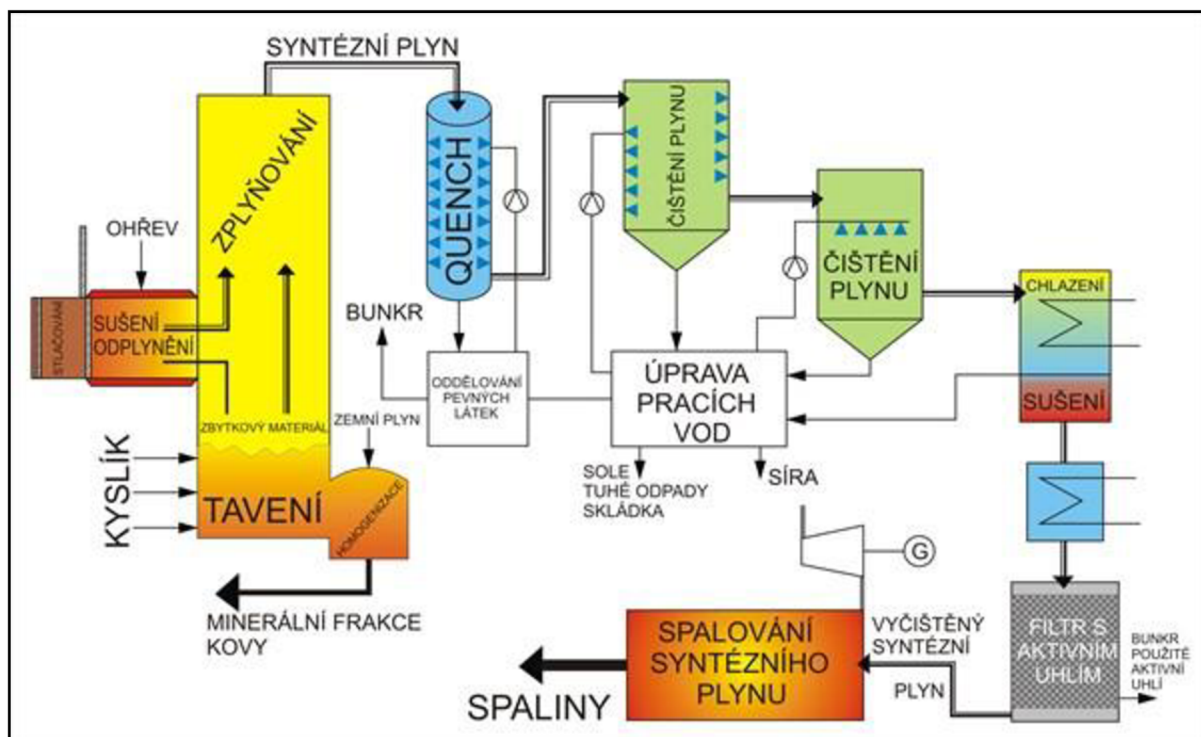
Pyrolýza a splyňovanie zabezpečujú termický rozklad kalov, líšia sa reakčnými podmienkami a v dôsledku toho aj kvalitou produktov. Pyrolytický rozklad je anaeróbny proces prebiehajúci pri teplotách 450-750°C [5]. Inými slovami, pyrolýza zahŕňa ohrievanie kalu v inertnej atmosfére a následné uvoľnenie organickej hmoty a jej možnú recykláciu. Táto metóda sa zdá byť menej znečisťujúca ako konvenčné metódy (spopolnenie, horenie), pretože sústreďuje ťažké kovy na pevné uhlíkaté zvyšky, takže ich vyplavovanie nie je také náročné ako z popola po spálení nebezpečných odpadov [11].

V porovnaní so spaľovaním ide síce o technologicky zložitejšie procesy, oba ale majú niekoľko výhod. Dôležité je, že konverzia spáliteľných látok na elektrickú energiu je účinnejšia a nie je nutné čistiť veľké množstvo spalín. Pevné palivo je prevádzané na plynné, čo so sebou nesie celý rad ďalších výhod. Obrázok 4.4 znázorňuje schému pyrolýzy.

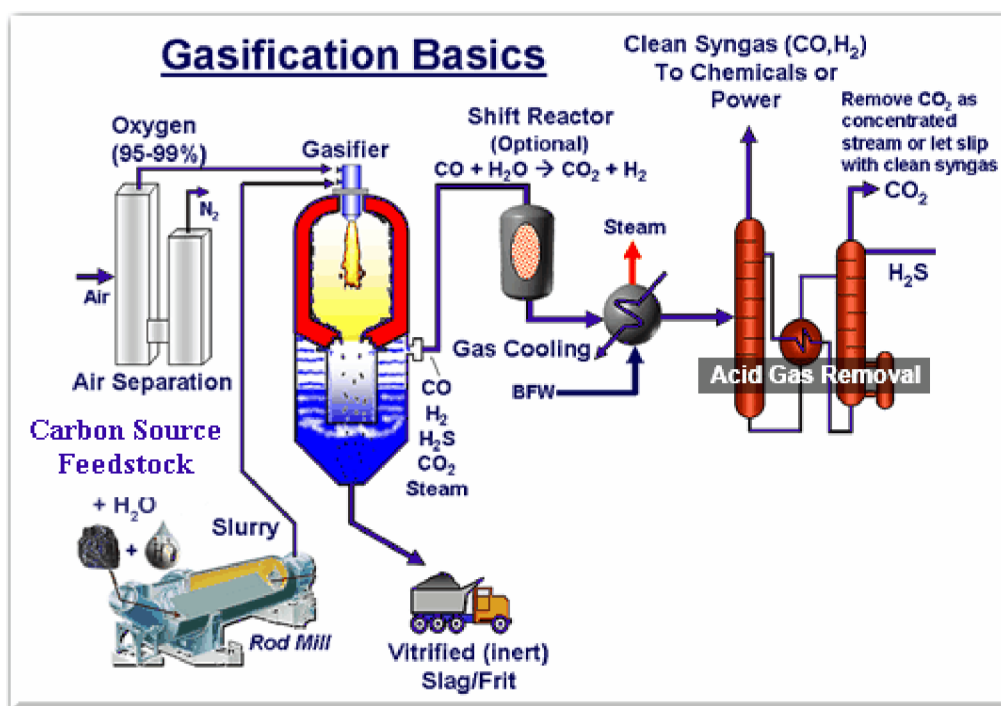
Produkty pyrolýzy sú plynné s relatívne veľkou výhrevnosťou (oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, vodík, metán a ďalšie uhľovodíky), kvapalné (kondenzát a vyššie uhľovodíky) a tuhý zvyšok. Pomer kvapalného a pevného produktu závisí na podmienkach a teplote pyrolýzy. Je známy rad technologických variant, líšiaci sa tlakom, teplotou a eventuálne použitím katalyzátorov. Pyrolýzny plyn a kvapalný podiel sa spaľujú, tuhý zvyšok je možno skládkovať. Je žiaduce viesť proces tak, aby bol minimalizovaný kvapalný podiel a tuhý zvyšok bol čo najmenej vylúhovateľný [4].

Splyňovanie kalu (obr. 4.5) znamená termický rozklad organických látok pri obmedzenom množstve kyslíku. Proces splyňovania prebieha obvykle pri teplotách 800-1300°C a produkuje plyn s nižšou výhrevnosťou. Tento plyn obsahuje najmä CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, vyššie uhľovodíky ale aj dusík, vodu, amoniak. Plyn, ktorý vzniká splyňovaním kalov je možné efektívne využívať, čo je výhodou oproti čistému spaľovaniu. Ďalšou výhodou je, že pri splyňovaní nevznikajú toxické dioxíny furánov, polycyklické aromatické uhľovodíky a oxidy dusíku [8].

Až doposiaľ aplikácii týchto technológií bránili predovšetkým ekonomické dôvody, avšak v súčasnej dobe pri neustálom raste ceny fosílnych palív, najmä ropy a zemného plynu a tlaku proti ich využívaniu môže byť táto technológia technicky i ekonomicky atraktívna [2].



Obr. 4.4 Schéma pyrolýzy [12]



Obr. 4.5 Schéma splyňovania [13]

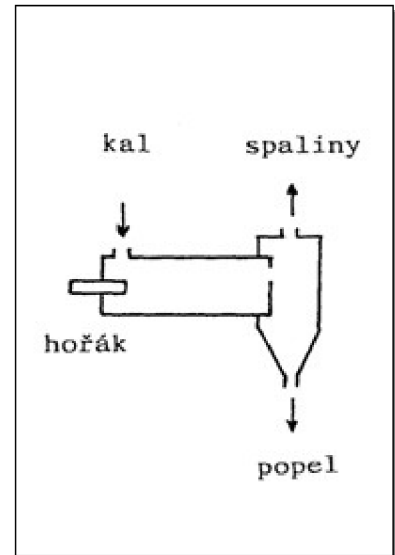
air separation – rozdelenie vzduchu, oxygen – kyslík, carbon source feedstock – zdroj uhľikatej suroviny, slurry – riedky kal, rod mill – otáčavá miešačka, gasifier – splyňovač, shift reactor – rídavný reaktor, gas cooling – chladenie plynu, steam – para, acid gas removal – odstránenie kyslého plynu, clean syngas – čistenie syntetického plynu, remov CO<sub>2</sub> as concentrated steam – odstránenie CO<sub>2</sub> ako koncentrovanej pary

## 4.3 Zariadenia na spaľovanie kalov

### 4.3.1 Rotačné vykurovacie zariadenie

Zariadenie je používané najmä na spaľovanie priemyselných kalov. Toto zariadenie (obr. 4.6) je vodorovný, pomaly sa otáčajúci valcový bubon z oceleového plechu so žiaruvzdornou výstelkou. Do bubna vstupuje vzduch a spaľovaný kal na vstupnej strane a na výstupnej strane je odvod spalín. V prípade potreby je na vstupe zavedený horák plynového alebo olejového kúrenia. Spaliny sú obvykle ešte úplne spálené v komore dodatočného tepelného spracovania, kde sa spália aj nedokonale spálené zložky. Okrem toho sa v tomto prídavnom zriadení spália aj prchavé látky, ktoré by inak unikli do ovzdušia.

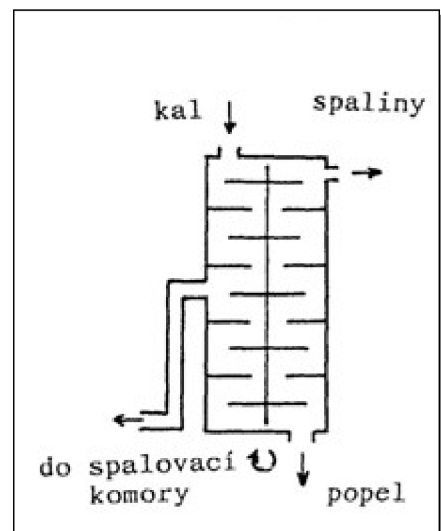
Pretože sa pec otáča, dochádza v nej k dobrému premieseniu a prehrnutiu odpadov spolu s privedeným vzduchom. Proces spaľovania a prispôbenie pece rôznym druhom odpadov a spaľovacích režimov je možné riadiť zmenou otáčok [1].



Obr. 4.6 Rotačná pec

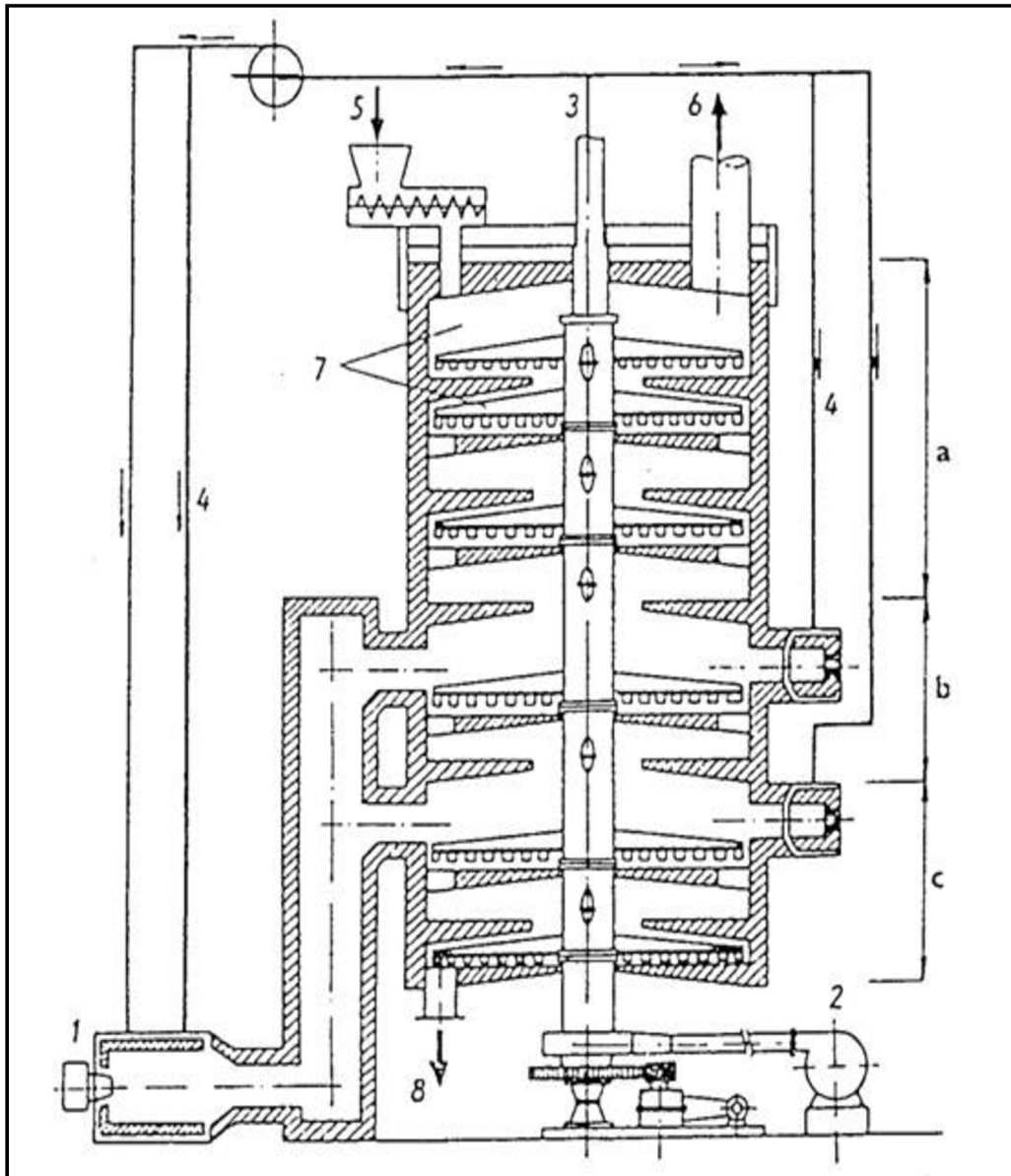
### 4.3.2 Rotačné etážové vykurovacie zariadenie

Princíp spaľovania je obdobný ako u rotačných zariadení. Je to vlastne niekoľko valcových ohnísk nad sebou v zvislej polohe (obr. 4.7). V osi valca je masívny hriadeľ, ktorého ramená zasahujú so jednotlivých etáží. Na hriadeľi sú umiestnené lopatky nasmerované tak, aby pri otáčaní zhrňali kal do otvorov, ktoré sú v etážach striedavo umiestnené na obvode a v strede valca. Kal vstupuje zhora a lopatkami je zhrnutý od obvodu do stredu valca, kde prepadne na nižšie ležiacu etáž a tam je lopatkami zhrnutý k obvodu, kde zase prepadne na nižšiu etáž. Týmto spôsobom sa zaisťuje dlhá doba priechodu odpadu spaľovacím zariadením a tým lepšie spálenie kalu. Aj pri tejto metóde sa za hlavným ohniskom umiestňuje dodatočné spaľovacie zariadenie [1].



Obr. 4.7 Rotačná etážová pec

Medzi najznámejšie etážové zariadenie patria pece systému Lurgi (obr. 4.8).



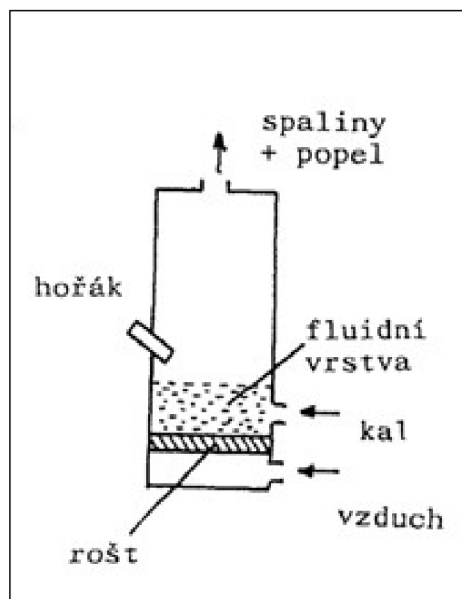
Obr. 4.8 Etážová pec typu Lurgi [1]

a – sušiacie pásmo; b – spaľovacie pásmo; c – chladiace pásmo;

- 1 – prídavné spaľovanie odpadových kvapalných palív; 2 – ventilátor chladiaceho vzduchu;  
 3 – výstup ohriateho vzduchu; 4 – ohriaty vzduch do horáku; 5 – prívod odpadového materiálu; 6 – odvod  
 plyných spalín; 7 – etáže sušiacieho pásma; 8 – odvod tuhých zvyškov po spaľovaní

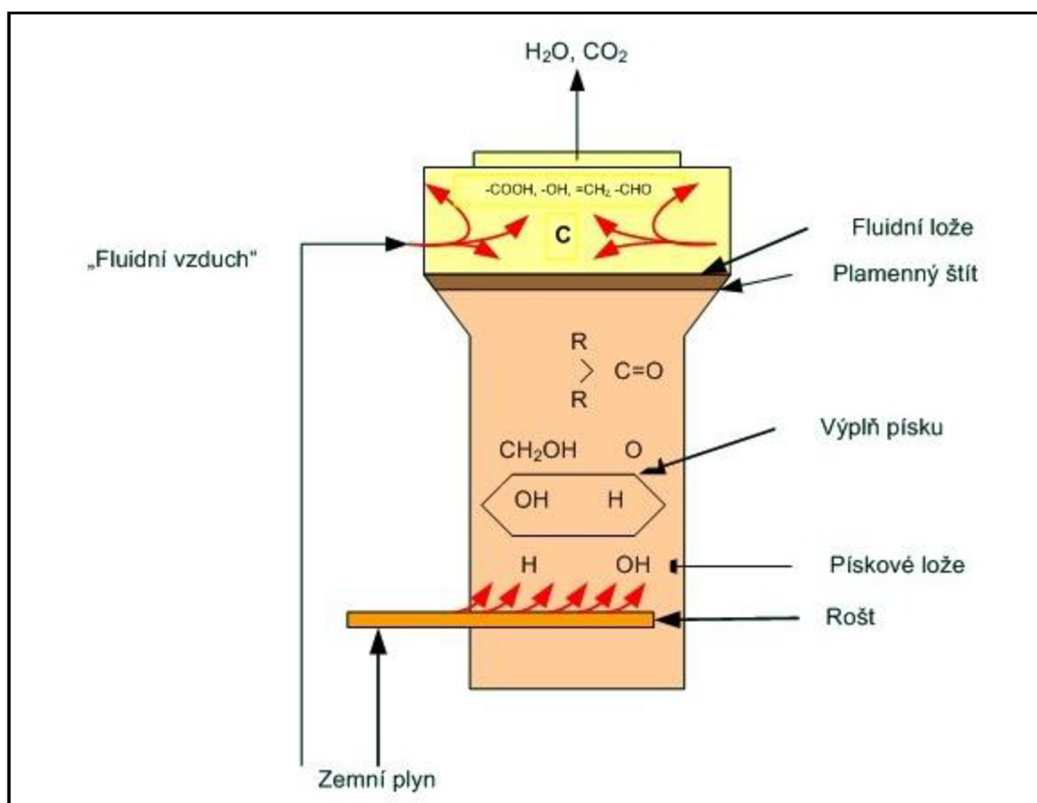
### 4.3.3 Fluidné vykurovacie zariadenie

Zvyčajne má tvar zvislého valca (obr. 4.9). V spodnej časti pece je nainštalovaný tryskový alebo keramický rošt, pomocou ktorého je do spaľovacieho priestoru privádzaný vzduch. Na rošte je uložená vrstva piesku, ktorá je uvedená do vznášavého stavu vstupujúcim vzduchom. Týmto sa nad roštom vytvorí vírivý mrak, v ktorom prebieha spaľovanie rozprašovaného kalu. Tento kal musí byť veľmi dobre odvodnený resp. vysušený, aby bolo možné ho rozprášiť na dostatočne jemné čiastočky. Z toho vyplýva, že túto technológiu nemožno použiť na kal, ktorý sa nedá účinne rozprášiť. Vhodne upravený kal je rozprašený do priestoru nad rošt pomocou rozmetávacieho zariadenia a unášaný prúdom vzduchu do hornej časti spaľovacieho priestoru, ktorý funguje aj ako priestor pre dodatočné tepelné spracovanie. Spaliny odchádzajú hornou časťou ohniska a unášajú so sebou jemnozrnný popol. Do spodnej časti je v prípade potreby ďalšieho paliva zavedený plynový alebo olejový horák [1].



Obr. 4.9 Fluidná pec

Schéma postupu je znázornená na obr. 4. 10.



Obr. 4.10 Schéma fluidného spaľovania [1]



#### **4.3.4 Spaľovanie kalu v cementárenskej peci**

Táto metóda má nasledujúce výhody [1]:

- úplné odstránenie všetkých toxických organických látok v dôsledku vysokej teploty vypaľovania (>1000°C);
- ťažké kovy sú viazané do cementárskeho slinku a nemôžu byť vylúhované;
- úspora uhlia a surovín;
- zníženie emisií CO<sub>2</sub>;
- bezodpadové spracovanie kalu.
- je možné spracovávať nie len sušený ale aj odvodnený kal

Pre udržanie dobrých vlastností cementu je možno sušeným kalom nahradiť len 5% používaného uhlia a použitý kal musí byť vysušený na vysoký obsah sušiny cca 95% [1].

V Českej republike sa na jar tohto roku uviedla do prevádzky cementáreň Lafarge Čížkovice na spaľovanie ropných kalov.

### **4.4 Spoluspaľovanie v elektrárňach a teplárňach**

#### **4.4.1 Zariadenie na spoluspaľovanie odpadov**

Zariadenie na spoluspaľovanie je zariadenie stacionárne alebo mobilné a jeho hlavným účelom je [14]:

- výroba energie alebo
- iného materiálového produktu, v ktorom sa odpady používajú ako:
  - primárne palivo alebo
  - prídavné palivo alebo
  - v ktorom sa odpady tepelne upravujú, aby boli zneškodnené.

Ak sa spoluspaľovanie odpadov uskutočňuje tak, že hlavným účelom zariadenia na spoluspaľovanie odpadov nie je výroba energie alebo iného materiálového produktu, ale tepelná úprava odpadov, zariadenie na spoluspaľovanie odpadov sa považuje za spaľovňu odpadov. [14]

#### 4.4.2 Spoluspaľovanie s uhlím a drevom

Spaľovanie kalov s uhlím sa môže uskutočňovať v kotloch s inštalovaným čističom spalín. Tieto zariadenia majú zaistiť odstránenie takých plynných zložiek ako je oxid siričitý (SO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) a prach. Spaľovacia komora musí mať takú veľkosť a prevedenie, aby zaistila kompletnú redukciu oxidu uhoľnatého (CO), uhl'ovodíkov a iných spáliteľných zložiek – v tomto prípade spaľovacia komora slúži ako prídavná poskytujúca požadovanú teplotu a dobu zdržania. Optimálnym riešením spaľovania kalov pre malé ČOV je spaľovanie vo vykurovacích komorách.

Pridávaním kalu do uhlia sa mení jeho výhrevnosť a to podľa množstva a vlastností pridaného kalu. V praxi to znamená, že na zabezpečenie plynulého spaľovacieho procesu je potrebné predsušiť kal na obsah vody asi 30-40%. Výhrevná hodnota takto vysušeného kalu je okolo 7MJ/kg [15].

## 5 NAKLADANIE S KALMI

### 5.1 Nakladanie s kalmi v ČR

Po zavedení vyhlášky č. 382/2002 Sb., o podmienkach použitia kalu na poľnohospodárskej pôde nastal v ČR odklon od tohto spôsobu využitia kalu. Podiel kalov z produkcie ČOV použitých na poľnohospodárskej pôde sa však od roku 2004 opäť výrazne zvyšuje z 3,4 % v roku 2004 na 25,9 % v roku 2007 (viď tabuľka 5.1). V roku 2008 došlo k poklesu využívania kalov na poľnohospodárskej pôde na 25,9 % , v roku 2009 k poklesu na 17,9 % a v roku 2010 na 16,7 %.

Podiel produkcie	Kaly z ČOV použité na poľnohospodárskej pôde									
	Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
%		1,6	10,0	3,4	11,4	11,5	25,9	20,6	17,9	16,7

Tab. 5.1 Podiel kalov z produkcie ČOV použitých na poľnohospodárskej pôde v ČR [16]

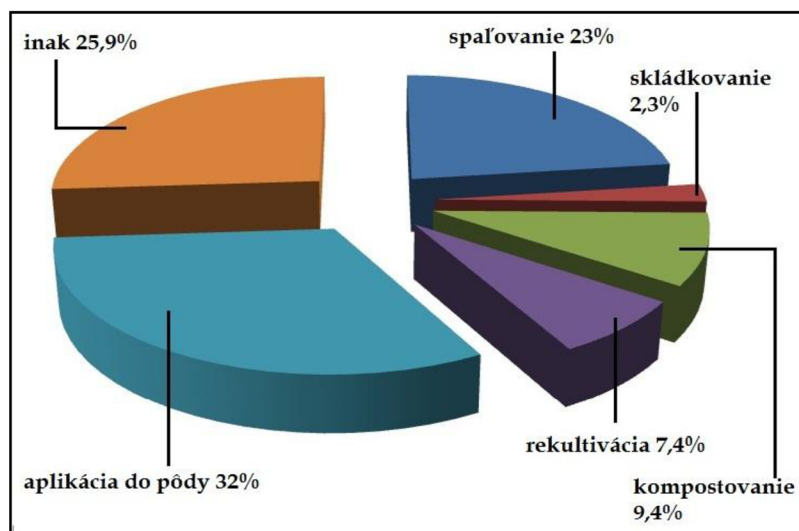
Ministerstvo životného prostredia Českej republiky v rámci hodnotenia plnenia nariadení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodárství České republiky, za rok 2010 vypracovalo tabuľku (tab. 5.2) množstva vyprodukovaného kalu v ČR v rokoch 2002-2010.

Celková produkcia odpadov	Kaly z čistiarní odpadových vôd									
	Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
t/rok		498 978	469 062	349 543	239 783	220 683	231 661	467 231	168 866	162 724

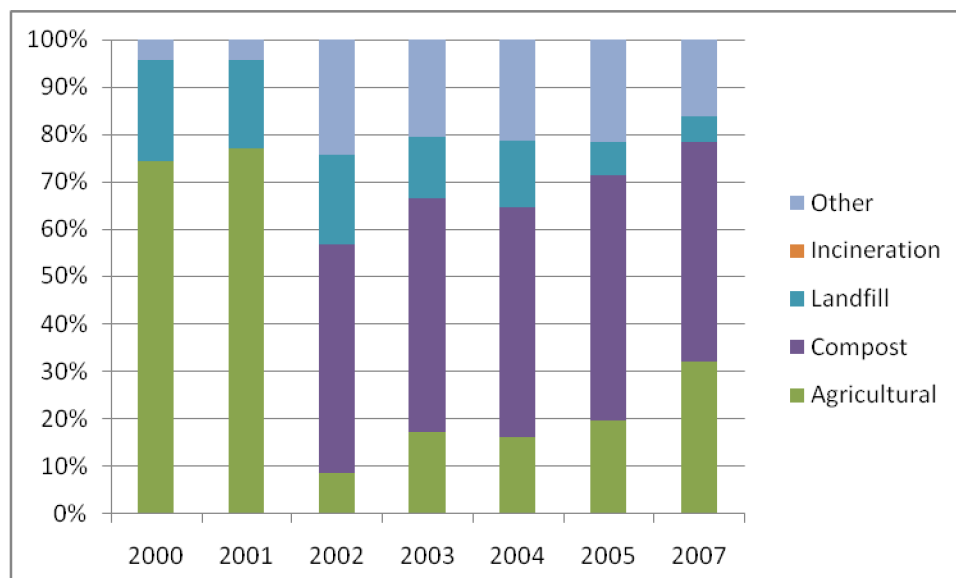
Tab. 5.2 Celková produkcia kalov z čistiarní odpadových vôd v ČR v rokoch 2002 – 2010 [16]

Len nedávno bola do prevádzky uvedená cementáreň na spaľovanie ropných kalov, Lafarge v Čížkoviciach. Aj keď je spaľovanie kalov vo svete bežnou praxou, u nás sa stretávalo so značnou nevôľou. Vyskytli sa obavy, že by cementáreň mohla znečisťovať ovzdušie. Vedúci a zástupcovia cementárne však prehlasujú, že dodržiavajú emisné limity a preto nie je potrebné sa obávať prílišného znečistenia ovzdušia.

Spôsoby nakladania s odpadovými kalmi nariaďuje zákon č. 185/2001 Sb. o odpadoch. Zákon dáva prednosť využitiu odpadov pred ich odstraňovaním a uprednostňuje materiálové využitie pred energetickým. Vývoj nakladania s kalmi reprezentuje graf 5.2.



Graf 5.1 Spôsoby nakladania s kalmi v Českej republike za rok 2010 (vdb.czso.cz)



Graf 5.2 Vývoj nakladania s kalmi v ČR za roky 2000-2007 (ec.europa.eu/eurostat)

## **5.2 Nakladanie s kalmi v zahraničí**

### **5.2.1 Legislatíva EÚ**

Európska únia schválila nasledujúce smernice o spracovaní odpadov:

- Už v roku 1975 rámcová smernica požadovala, aby členské štáty podporovali prevenciu a ekologické likvidovanie odpadov.
- Kalová smernica 86/278/EEC sa snaží podporovať využitie kalu v poľnohospodárstve. Súčasne upravuje jeho použitie takým spôsobom, aby sa zabránilo škodlivým účinkom na pôdu, rastliny, zvieratá a ľudské bytosti.
- Smernica 98/15/EC, platná od roku 2005, stanovila prísnejšie normy pre kvalitu odpadových vôd. Článok 14 hovorí, že „kal, ktorý vzniká pri čistení odpadových vôd musí byť znovu použiteľný v prípade potreby“.

### **5.2.2 Rakúsko**

Približne 20% produkovaných kalov je použitých v poľnohospodárstve, 32% je spaľovaných. Rakúska agrárna komora zakázala aplikovanie kalov na poľnohospodársku pôdu, pretože stále existuje vysoké riziko kontaminácie potravín, ktoré sú vyrobené z rastlín pestovaných na tejto pôde. Prijateľným spôsobom nakladania s kalmi je ich spaľovanie alebo používanie na nepoľnohospodárskych trávnatých plochách. [7]

### **5.2.3 Francúzsko**

Od roku 2002 je vo francúzsku striktné obmedzené skládkovanie kalu. Preferovaným spôsobom nakladania s kalmi je ich použitie v poľnohospodárstve (60%). Avšak k tomuto spôsobu sú výhrady, pretože existujú obavy z nedostatočnej kvality použitého kalu a kontaminácie potravín. So vzrastajúcim odporom k používaniu kalov na poľnohospodársku pôdu sa hľadajú iné spôsoby, napr. aplikácia na lesnú pôdu. Tento spôsob ale nemusí byť najlepším riešením vzhľadom na možnú kontamináciu vody, narušenie ekosystému lesa, technické problémy a odpor susediaceho obyvateľstva. Francúzsky úrad pre lesy tiež namietá proti tomuto spôsobu, avšak nemá nič proti aplikácii kalov na porasty, ktoré sa využívajú ako energetické zdroje. [7]

### **5.2.4 Fínsko**

Vo Fínsku je aplikácia kalu na poľnohospodársku pôdu ekonomicky nevýhodná, pretože krajina má prísne limity pre ťažké kovy a teda je náročné spracovať kal vyhovujúcim spôsobom. Spotreba kalu na v poľnohospodárstve preto činí iba 31%. Očakáva sa preto úplný útlm tejto metódy. Predpokladá sa používanie na rekultivácie založené na kompostovaných kaloch. V lesníctve kaly nie sú využívané z technických dôvodov a spaľovanie nie je preferované. [7]

### 5.2.5 Taliansko

Taliansko nemá jednoznačný názor na nakladanie s odpadovými kalmi. Najväčšia časť kalov (81%) je skládkovaná, 18% sa využíva v poľnohospodárstve a na spaľovanie sa využíva len 1%. Národné authority chcú podporovať používanie kalov v poľnohospodárstve. Tu sa ale stretávajú s limitujúcimi faktormi ako je napr. veľkosť fariem. [7]

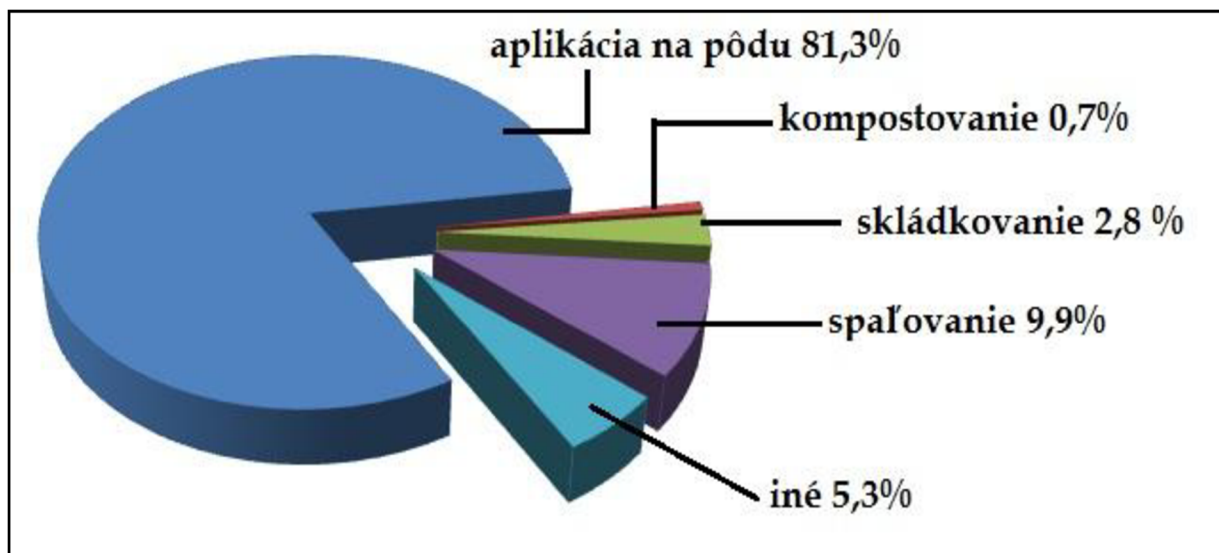
### 5.2.6 Írsko

V Írsku je podporované používanie kalov v poľnohospodárstve. Tu sa využíva 11% produkcie kalov. Spaľovanie odmietajú, a preto v tejto krajine v súčasnosti neexistujú žiadne spaľovacie kapacity. Skládkovanie zase nie je výhodné z hľadiska nedostatku vhodných lokalít a ceny. [7]

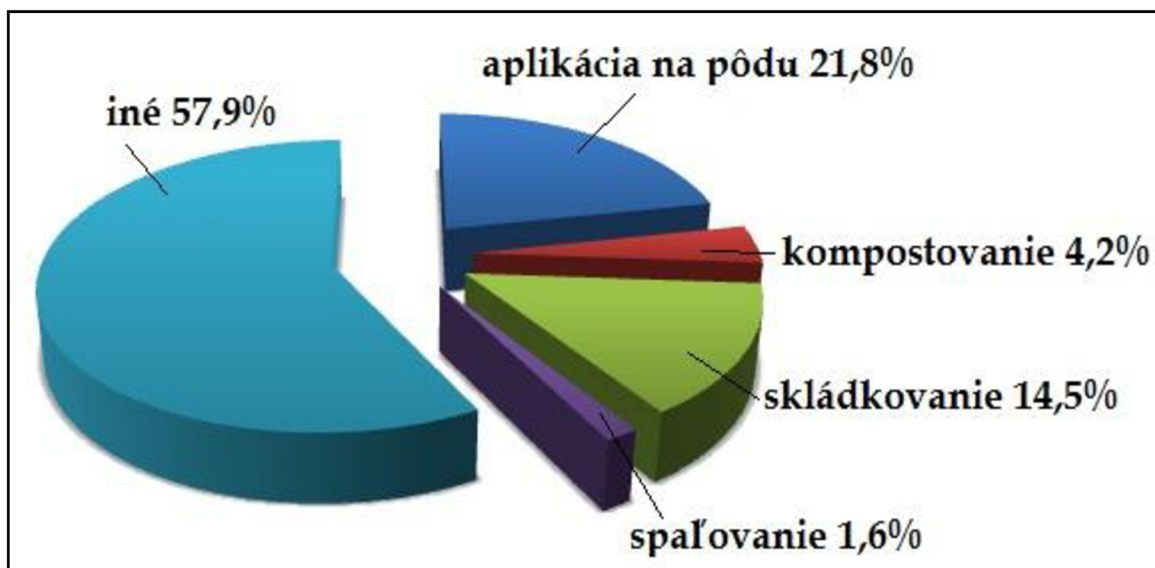
### 5.2.7 Nemecko

V prípade Nemecka, kde väčšinu pôdy vlastní cirkev, je zakázané používanie kalov na tejto pôde. Mimo cirkevnej pôdy sa v poľnohospodárstve aplikuje len 40% kalov. Podľa asociácie spotrebiteľov je jediným prijateľným spôsobom spaľovanie. [7]

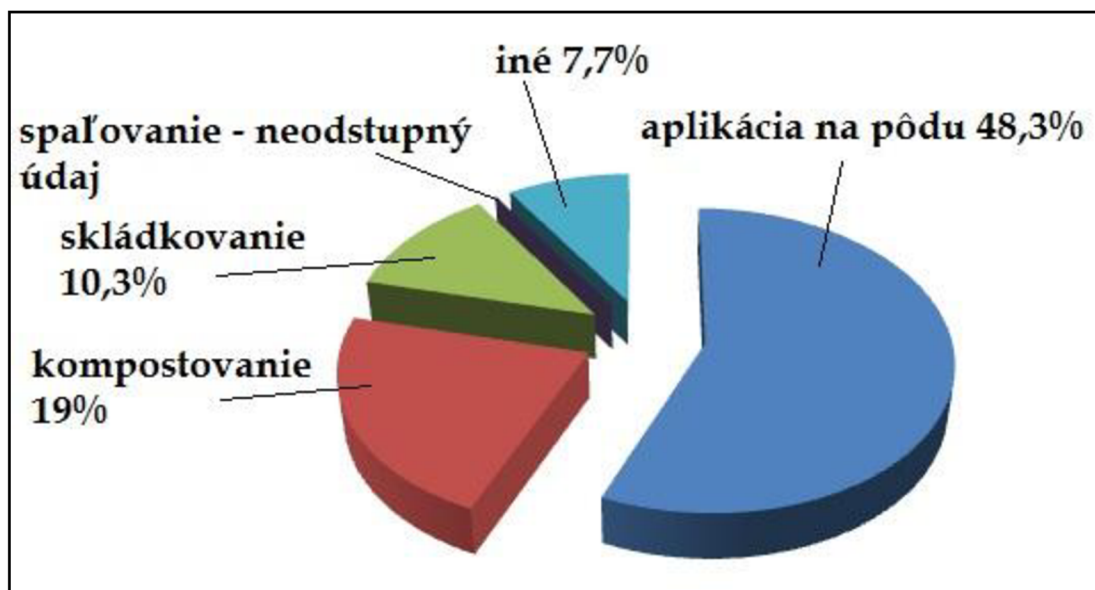
Nakladanie s kalmi vo vybraných krajinách Európy znázorňujú grafy 5.3 až 5.7. Je vidieť, že vo väčšine krajín je hlavným použitím kalu jeho aplikácia na pôdu.



Graf 5.3 Spôsoby nakladania s kalmi v Anglicku a Walese za rok 2008 (ec.europa.eu/eurostat)

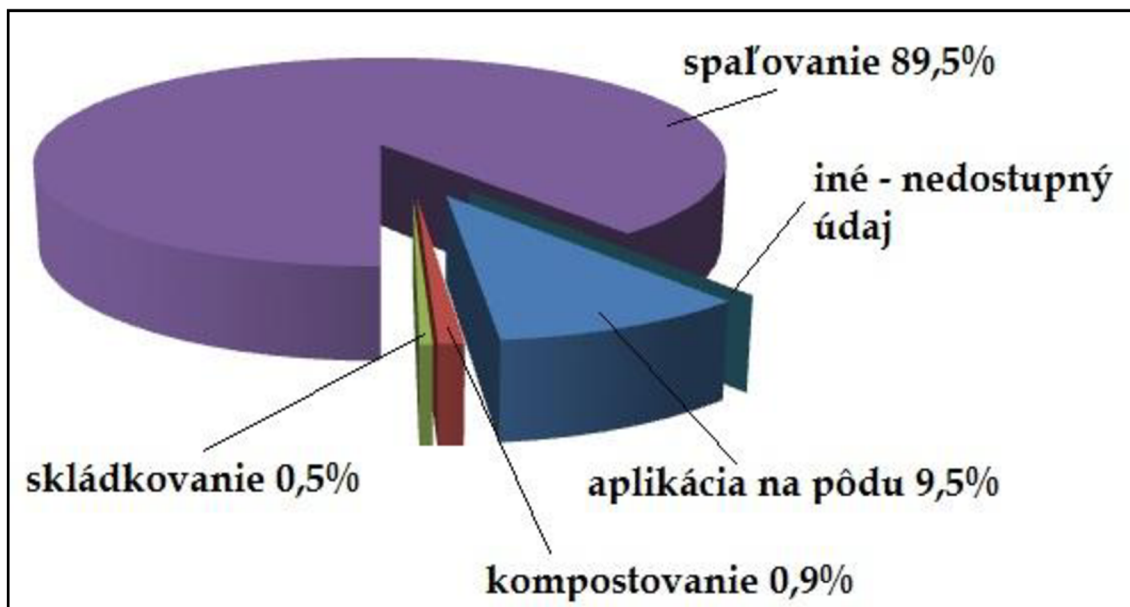


Graf 5.4 Spôsoby nakladania s kalmi v Poľsku za rok 2009 (ec.europa.eu/eurostat)

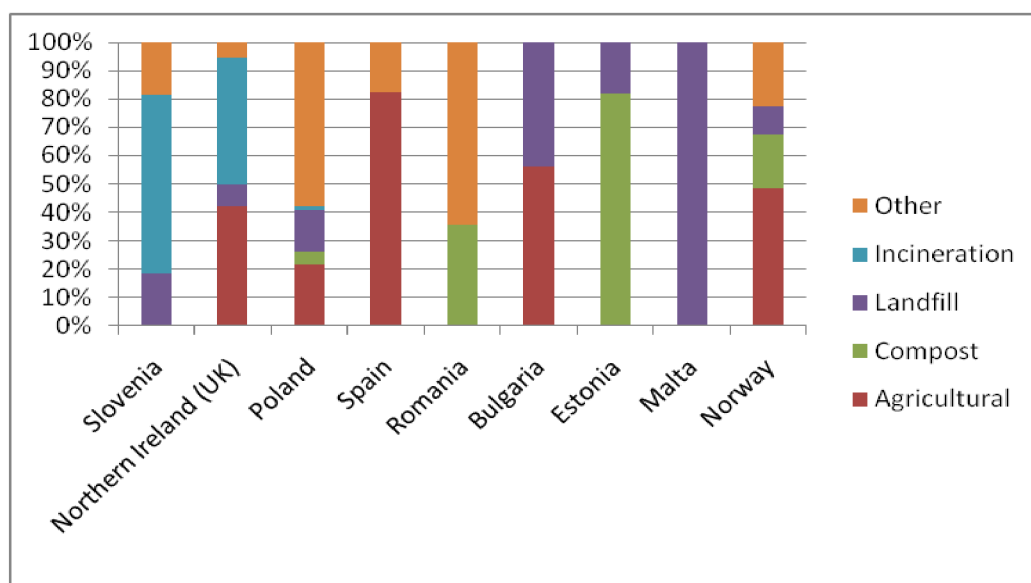


Graf 5.5 Spôsoby nakladania s kalmi v Nórsku za rok 2009 (ec.europa.eu/eurostat)

Vo Švajčiarsku sa od roku 2006 nesmie používať kal ako hnojivo. Pred týmto nariadením, v roku 2000, sa v poľnohospodárstve využívalo 40% kalov, v roku 2002 použitie kleslo na 20%. V súčasnosti sa najviac využíva metóda spaľovania v špeciálnych zariadeniach alebo spaľovanie spolu s komunálnym odpadom. Ak sa kal po odvodnení vysuší, je možné ho spoluspaľovať v cementárňach. [7]



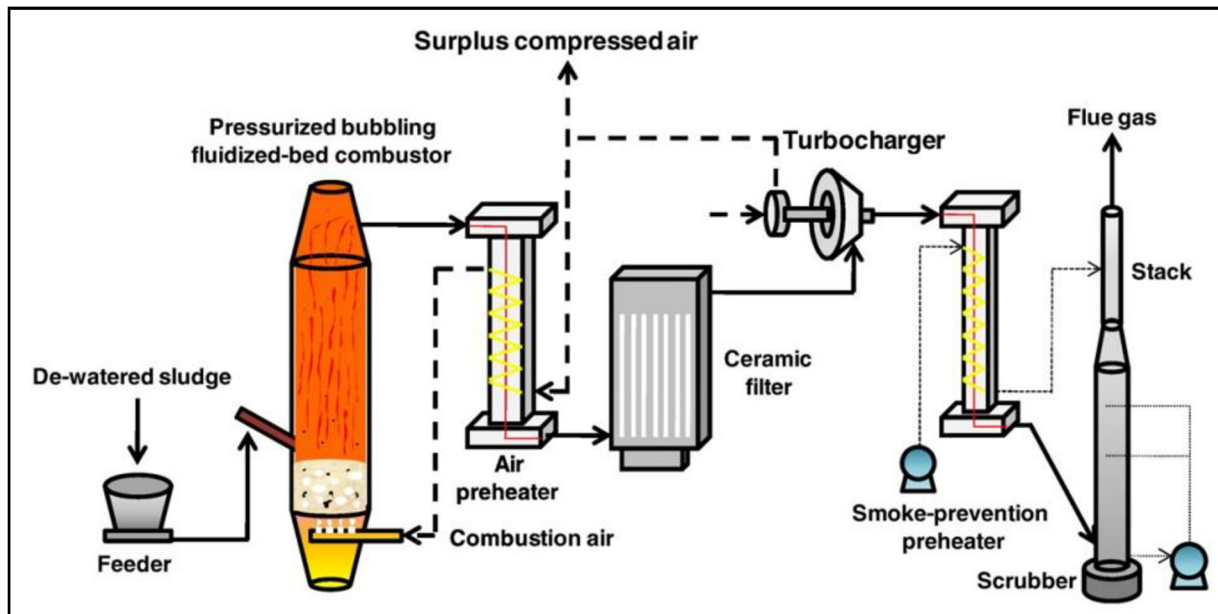
Graf 5.6 Spôsoby nakladania s kalmi vo Švajčiarsku za rok 2009 (ec.europa.eu/eurostat)



Graf 5.7 Zastúpenie nakladania s kalmi vo vybraných štátoch Európy za rok 2009 (ec.europa.eu/eurostat)

Other – iné, incineration – spaľovanie, landfill – skládkovanie, compost – kompostovanie, agricultural – poľnohospodárstvo

Najrozvinutejšie a najprepracovanejšie metódy spaľovania kalov sú v Japonsku. Využívajú fluidné spaľovanie s turbodúchadlom ako je zobrazené na obr. 5.1 [3].



Obr. 5.1 Schéma zariadenia, ktoré je vybavené fluidným prebublávacím spaľovačom spojeným s turbodúchadlom [17]

feeder – plnič, de-watered sludge – odvodnený kal, combustion air – spaľovací vzduch, air preheater – predhrievač vzduchu, pressurized bubbling fluidized-bed combustor – tlakový fluidný prebublávací spaľovač, ceramic filter – keramický filter, turbocharger – turbodúchadlo, smoke-prevention preheater – preventívny predhrievač spalín, scrubber – pračka plynov, stack – komin, flue gas - spaliny

V porovnaní s konvenčnými metódami spaľovania má použitie fluidnej pece s turbodúchadlom niekoľko ďalších výhod: pri kapacite spaľovania t/deň ušetrí 50% spotreby energie, množstvo prídavného paliva znížené o 25% vďaka natlakovaniu, redukcia produkcie  $\text{CO}_2$  o cca 1000 t, redukcia  $\text{NO}_x$  [17].



## 6 ZÁVER

Úvodná časť práce popisuje pojmy kal a sušina. Kal je suspenziou tuhých látok vo vode. Obsahuje anorganické aj organické látky, ktoré je potrebné z kalu odstrániť. Tieto látky sa odstraňujú v spaľovacích zariadeniach. Spáliteľnosť kalu závisí na obsahu organických látok. Na množstve sušiny závisí výhrevnosť kalu a spôsob jeho ďalšieho spracovania. Pri spaľovaní kalov vznikajú ďalšie nebezpečné látky, ktoré znečisťujú ovzdušie a tak ovplyvňujú zdravie človeka. Preto je dôležité dodržiavanie emisných limitov, ktoré stanovujú zákony.

Pred samotným spálením kalu je nutné ho upraviť. To znamená zbaviť ho čo najväčšieho množstva vody, stabilizovať jeho chemické a mikrobiálne zloženie a rozhodnúť akým spôsobom sa s ním bude ďalej nakladať. Pri anaeróbnej stabilizácii vzniká bioplyn s obsahom metánu a oxidu uhličitého, ktorý sa následne využíva v kogeneračných jednotkách a tak odľahčuje ekonomiku čistiarne. Týmto spôsobom je možné získať aj vodík a využiť ho v palivových článkoch. Sebestačnou metódou je aeróbna stabilizácia, pretože pri jej aplikácii vzniká teplo z biochemickej reakcie, ktoré ohrieva celý objem nádrže.

Po týchto úpravách sa rozhodne ako sa kal využije. Môže sa kompostovať, skládkovať (toto nie je preferovaná možnosť), použiť na poľnohospodárskej pôde a hlavne spáliť s využitím uvoľnenej energie.

Spaľovaním kalov sa zaoberá najrozsiahlejšia kapitola práce. Spaľovanie je perspektívnou metódou zbavovania sa kalov. Avšak nie každá krajina plne využíva túto metódu. Dôvody sú ekonomické aj ekologické. V dnešnej dobe sa vyvíjajú metódy, ktoré by mali čo najmenší, v ideálnom prípade nulový, dopad na životné prostredie. V tomto smere sa zdá byť najlepším spôsobom spaľovanie v cementárenských peciach, pretože vysokou teplotou procesu sa spália všetky toxické organické látky a ťažké kovy sú pri tomto spôsobe viazané do slinku. Nevýhodou je, že kal musí byť vysušený na obsah sušiny 95% a môže nahradiť len 5% používaného uhlia. Táto nevýhoda je výrazne ekonomicky nezanedbateľná. Navyše nie je reálne, aby sa všetok kal využíval pri výrobe cementu, pretože neexistuje a ani nie je možné vytvoriť kapacitu cementárenských zariadení, aby bolo možné odstrániť všetko množstvo produkovaného kalu

Mokrý kal sa môže spaľovať pri vysokých teplotách a bez plameňa mokrou oxidáciou. V prípade MO nie je potrebné sušiť kal, čo je veľkou výhodou tohto spôsobu spaľovania. Ďalším prínosom pre životné prostredie je absencia spalín, pretože ostávajú v kvapalnom stave. Dosahovaná účinnosť oxidácie OL je 75-80%. Táto metóda je používaná v Nemecku od roku 2007 a bolo by ekonomickým aj ekologickým prínosom, keby sme ju využívali aj u nás.

Z ekologického hľadiska je zaujímavá aj metóda pyrolýzy, pretože sústreďuje ťažké kovy na pevné uhlíkaté zvyšky. Dôležité je tiež, že konverzia spáliteľných látok na elektrickú energiu je účinnejšia ako pri spaľovaní.

## Literatúra

- [1] Lyčková, B., Fečko, P., Kučerová R.: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů [online]. Vysoká škola baňská – Technická univerzita Ostrava. [cit. 7. Februára 2012]. Dostupné z <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/info.html>
- [2] Dohányos, M.: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů [online]. Zveřejněné dňa: 9.5.2006 [cit. 18. marca 2012]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- [3] Kutil, J., Dohányos, M.: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů [online]. Zveřejněné dňa: 5.1.2005 [cit. 23. apríla 2012]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.
- [4] Holba, M., Bartoník, A., Škorvan, O., Horák, P., Počinková, M., Plotěný, K.: Energetický potenciál odpadních vod. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 62, č. 2, s. 44, 53-54
- [5] Křiška, M., Šálek, Jan, Šálek Jiří: *ACTA ENVIRONMENTALICA UNIVERSITATIS COMENIANAE (BRATISLAVA)*, 2012, č. 20, roč. 1, s. 38-43. ISSN 1335-0285
- [6] Jeníček, P.: Chemické metody stabilizace kalů [online]. Zveřejněné dňa: 17.12.2009 [cit. 5. mája 2012]. Dostupné z <http://web.vscht.cz/jenicekp/Kalov%C3%A9%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD/KH%207%20kompost.+chem.%20stab..pdf>
- [7] Dostupné z <http://www.eurofert.cz>
- [8] Dohányos, M., Kutil, J., Todt, V., Záborská, J.: Komplexní využití energie z čistírenských kalů. Ústav technologie vody a prostředí, Fakulta technologie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
- [9] Milčák, P.: Možnosti termického využívání čistírenských kalů v kotli s cirkulující fluidní vrstvou [online]. Energie z biomasy IV – odborný seminář. [cit. 1. mája 2012]. Dostupné z [http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa\\_iv/papers/milcak.pdf](http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iv/papers/milcak.pdf)
- [10] <http://www.nss.org/settlement/nasa/75SummerStudy/Chapt5.html>
- [11] Fytily, D., Zabaniotou, A.: Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review [online]. Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. [cit. 13. Mája 2012]
- [12] <http://www.odpadjeenergie.cz/jine-zpusoby/pyrolyza-a-plazma/thermoselect-schema.aspx>
- [13] <http://www.waste2energyworld.com/gasification.htm>

- [14] Dostupné z <http://www1.enviroportal.sk/dokumenty/spalovne.php>
- [15] Nadziakiewicz, J., Koziół, M.: Co-combustion of sludge with coal [online]. Department for Systems for Waste Management, Silesian Technical University, Gliwice, Poland. [cit. 6. mája 2012]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261903000370>
- [16] Šestá hodnotící zpráva o plnění nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky, za rok 2010 [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni\\_narizeni\\_vlady/\\$FILE/OODP-Sesta\\_hodnotici\\_zprava\\_POH\\_CR\\_2010-120212.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf)
- [17] Murakami, T., Suzuki, Y., et.: Combustion characteristics of sewage sludge in an incineration plant for energy recovery [online]. *Fuel Processing Technology* 90 (2009), s. 778-783.[cit. 11. Mája 2012]. Dostupné z [http://www.technologia.gda.pl/dydaktyka/index/s/easm\\_tos/pdf/Seminarium\\_5A.pdf](http://www.technologia.gda.pl/dydaktyka/index/s/easm_tos/pdf/Seminarium_5A.pdf)