

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

KATEDRA AGROENVIROMENTÁLNÍ CHEMIE A VÝŽIVY ROSTLIN



Vliv aplikace čistírenských kalů na výnos plodin a obsah živin v rostlinách

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

Zpracoval: Julius Kahanec

2012

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Jindřichu Černému Ph.D. za trpělivé vedení a odborné rady při zpracování bakalářské práce.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv aplikace čistírenských kalů na výnos rostlin a obsah živin v rostlinách vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne: 13.4. 2012

Podpis autora:

Souhrn

V této bakalářské práci byly řešeny problémy spojené s aplikací čistírenských odpadních kalů do půdy a jejich následným vlivem na obsah živin v půdě a v rostlinách.

Čistírenský kal je odpadní látka vzniklá čištěním odpadních vod. Tento kal je separován do 1 – 2 % z celkového objemu čištěných odpadních vod a je v něm obsaženo 50 – 80 % původních nečistot. Před aplikací kalů na pole je důležitá jejich předúprava ve které dochází k hygienizaci a stabilizaci surových kalů.

Hlavním pozitivem u kalů je obsah organických a minerálních látek, zvláště potom velmi vysoký obsah N a P. N může být až 14 kg/t což je až dvojnásobné množství oproti ostatním organickým hnojivům, ale pokud se jedná o nekompostované kaly, tak musíme počítat s určitou dobou kdy bude probíhat mineralizace organické hmoty a po tuto dobu může být dusík nedostatkový.

Jedním z hlavních problémů spojeným s aplikací kalů do půdy je obsah těžkých kovů (Pb, Hg, Cu, Cd), který je limitující pro maximální množství kalu aplikovaného do půdy. Těžké kovy v kálech jsou rozpustné hlavně v půdách s nižším pH (pH 5 a méně). Proto je vhodné kaly hygienizovat vápnem, čímž je jejich pH zvýšeno na hodnou okolo pH 7 a tím se dá zabránit uvolňování těžkých kovů. Tato problematika je také upravena zákony. Tyto zákony předepisují maximální možné množství těžkých kovů které lze aplikovat do půdy aby nebyly překročeny maximální možné hladiny v půdě a nedocházelo ke znehodnocování půdy.

Pokud jsou dodržena pravidla minimalizující rizika spojená s aplikací kalů do půdy, jedná se o hnojivo, které dokáže nahradit nedostatkově statková hnojiva a v budoucnu se může jednat o výraznou součást zemědělské činnosti.

Klíčová slova: Čistírenský kal, těžké kovy, růst rostlin, organická hmota, půda

Summary:

In this thesis work have been addressed problems associated with application of sewage sludge into the soil and their subsequent influence on the nutrient content in soil and plants.

Sewage sludge is the waste product of purified waste water. Sludge is separated from sludge water in 1 to 2 % of the total volume of treated waste water and it is contained in 50 to 80 % of all impurities. Before application on the soil is an important pre-treatment involving. Hygienization and stabilization of raw sludge. The main positive aspect is content of organic matter and minerals, especially a very high content of N and P. N can be up to 14 kg/T. It is twice the amount compared to other organic fertilizers. If it is an composting sludge, so we have to time when it will be indicate mineralization of organic matter in soil and in this time can be scarce nitrogen.

One of the major problems is associated with application of sludge to soil are heavy metals (Pb, Hg, Cu, Cd), which is limiting the maximum amount of sludge applied into land. Heavy metals in sludge are mainly soluble in the soils with low pH (pH 5 or less). It is therefore appropriate hygienization sludge by lime and the pH increased to worthy about pH 7. And this procedure can be prevent before heavy metals released. This issue is also regulated by laws. Law prescribes the maximum amount of heavy metals, which can be applied into the soil.

If you are complying with the rules minimize risks associated with application sewage sludge into soil, so it is fertilizer, which can replace scarce manure and in the future it may be a significant of agricultural activity.

Key words: Sewage, plant growth, organic matter, soil

Obsah

1	ÚVOD	5
2	CÍL PRÁCE	6
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	7
3.1	<i>Aplikace čistírenských kalů na pole.....</i>	7
3.2	<i>Čistírenský kal.....</i>	7
3.3	<i>Snižování obsahu vody v kalech.....</i>	8
3.3.1	Odvodňování kalů	9
3.4	<i>Hygienizace kalů.....</i>	11
3.4.1	Hygienizace a stabilizace vápnem	12
3.4.2	Pasterizace kalů	12
3.5	<i>Stabilizace kalů.....</i>	13
3.5.1	Anaerobní stabilizace kalů	13
3.5.2	Výhody anaerobní stabilizace	14
3.5.3	Nevýhody anaerobní stabilizace	14
3.5.4	Termofilní aerobní stabilizace kalů.....	15
3.6	<i>Kompostování kalů.....</i>	15
3.6.1	Různé technologie kompostování	15
3.7	<i>Pozitivní vliv kalů.....</i>	16
3.7.1	Porovnání ostatních organických hnojiv s čistírenskými kaly	17
3.7.2	Vliv kalů na obsah organické hmoty a mikrobiální činnost.....	17
3.7.3	Obsah N.....	18
3.7.4	Obsah P	19
3.7.5	Obsah K.....	20
3.8	<i>Negativní vliv kalů.....</i>	20
3.8.1	Kontaminace půd	20
3.8.2	Perzistentní organické polutanty (POP).....	21
3.8.3	Těžké kovy v kalech.....	21
3.8.4	Shrnutí.....	23
3.8.5	Aplikace kalů na plantáže rychle rostoucích dřevin	24
3.9	<i>Legislativní úprava.....</i>	25
3.9.1	Hlavní body kterými se legislativa věnuje	25

3.9.2	Vyhláška č. 382/2001 Sb.....	25
3.9.3	Problematika Perzistentních organických polutantů (POP).....	27
3.9.4	Seznam legislativních úprav týkajících se kalů	27
3.10	<i>Porovnání zemí Evropy</i>	28
3.11	<i>Diskuse</i>	30
3.12	<i>Závěr</i>	31
4	LITERÁRNÍ ZDROJE:	32

1 Úvod

V posledních letech klesá živočišná produkce a v souvislosti s tím i produkce organických hnojiv, jejichž prostřednictvím byla tradičně dodávána organická hmota do orné půdy. Proto je snaha hledat alternativní cesty jak nahradit tradiční zdroje chlévského hnoje novými.

Zde se nabízí využívání čistírenských kalů, jejichž produkce naopak stoupá. Kaly jsou zatím hlavně skládkovány, ale tento způsob likvidace, je z dlouhodobého hlediska považován za neúnosný a vzhledem k poměrně vysokému obsahu organické hmoty a minerálních látek v nich obsažených se nabízí možnost aplikace přímo do zemědělské půdy jako alternativa v rámci udržitelného rozvoje. Tato práce řeší možná pozitiva a rizika spojená s aplikací kalů na pole a jejich následný vliv na plodiny.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zpracovat literární rešerši zaměřenou na problematiku a výzkum spojený s aplikací čistírenských kalů na pole a jejich následný vliv na obsah živin v půdě nebo těžkých kovů a na případné další změny v půdě.

3 Literární řešerše

3.1 Aplikace čistírenských kalů na pole

Cílem dalšího využití a zpracování kalů je takové řešení, které je nejméně zatěžující pro životní prostředí a zároveň je ekonomicky únosné. Zpracování kalů obvykle představuje více jak 50% celkových nákladů čistíren odpadních vod. Komplexnost zpracování kalů se bude zlepšovat zvyšováním standardů na životní prostředí a postupným legislativním omezováním.

Odpadová politika EU se snaží potlačovat ukládání odpadů na skládky a snaží se zabránit vzniku odpadů, jejich opětovným použitím tzv. recyklací. Přímořské země mohly kaly ukládat do moře do konce roku 1998. Skládání kalů, které je v Evropě často hlavním řešením jak likvidovat kaly je považováno za dlouhodobě neudržitelné. Vzniku kalů nelze zamezit, navíc stále se zvyšujícími nároky na kvalitu vody vypouštěné z čistíren odpadních vod, lze očekávat zvyšování množství jejich produkce. Proto je nutné rozvíjet metody šetrné likvidace a možnosti recyklace kalů. V případě recyklace lze využít kaly jako organické hnojivo na půdu pro zvýšení kvality zemědělské půdy a pro rekultivace. Mezi destrukční metody patří spalování, zplynování či využití kalu jako procesního paliva a následně je využíván či skládčován popel. (Dohányos, 2006)

Vzhledem ke stále se snižující produkci tzv. statkových hnojiv je nutné hledat náhradní možnosti jak dostat na pole organickou hmotu. Lze využít zbytky z bioplynových stanic, které ale prošli fermentací a předpokládá se, že výrobou bioplynu byla spotřebována většina aktivní organické hmoty.

Z dlouhodobých pokusů s odpadními kaly vyplývá, že jejich aplikací se zvyšuje vododržnost půd, zvyšuje se retenční kapacita, aerace, propustnost a infiltrace. (Černý et al. 2007).

3.2 Čistírenský kal

Cílem čištění odpadních vod je separovat odpadní látky do co nejmenšího objemu. Dnes se tak daří separovat odpadní látky do 1-2% z celkového objemu čištěných vod, přičemž je v nich koncentrováno 50-80% původního znečištění. Náklady na úpravu a likvidaci těchto kalů činí až 50% celkových nákladů na provoz čistírny odpadních vod.

Kaly jsou suspenzí pevných látek a agregovaných koloidních látek separovaných v průběhu čištění odpadní vody obsahující podstatné množství organických látek částečně rozložených nebo vázaných stavebních. (Najman et al. 2012). Složení a obsah sušiny se obvykle vyjadřuje jako obsah sušiny v g/l nebo v %. Jaké složení a jaký obsah sušiny v kalu bude ovlivňuje především druh znečištění a čistírenský proces který byl použit k vyčištění odpadní vody (mechanické Čištění, biologické čištění, fyzikálně-chemické čištění popř. dočištění, hygienizace atd.).

Kaly primární vznikají v usazovacích nádržích, přičemž jejich struktura je zrnitá složená z nerozpuštěných částic, které prošly mechanickou částí čištění, a z různých organických látek, z nichž je většina snadno rozložitelná a vhodná pro výrobu bioplynu.(Raclavská 2007)

Kaly sekundární (aktivované) jsou přebytečnými aktivovanými kaly z dosazovací nádrže vznikající v biologickém stupni čištění odpadních vod a obsahuje mnoho mikroorganismů. Jeho struktura je vločkovitá, což je způsobeno srážedly přidávanými do čištěné vody za účelem vysrážení odpadních látek a snadnějším oddělení od vyčištěné vody.(Raclavská 2007)

Kaly surové vznikají sloučením kalů primárních a sekundárních. (Raclavská 2007)

3.3 Snižování obsahu vody v kalech

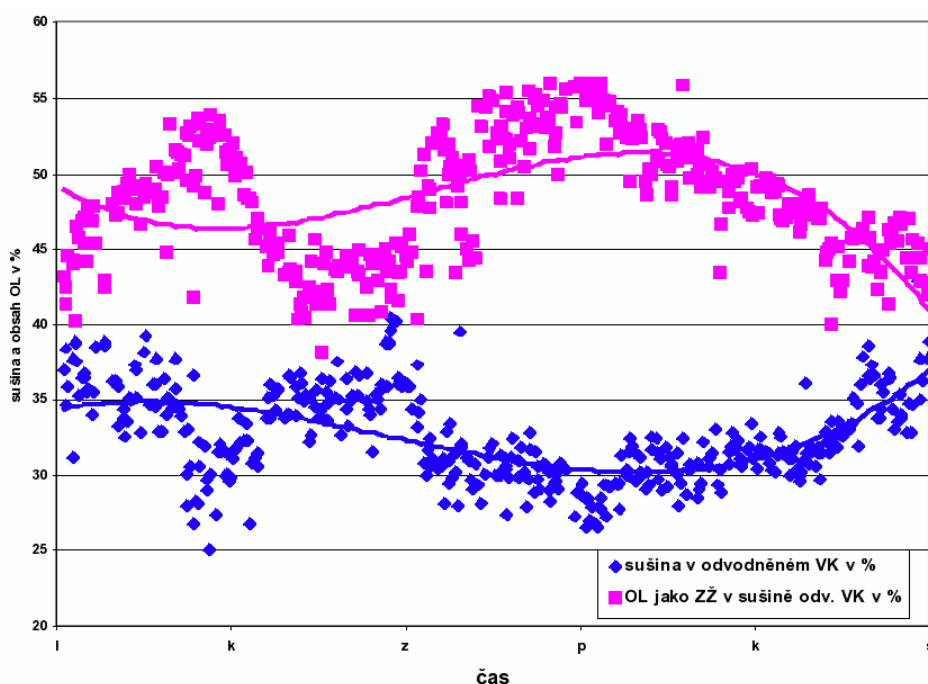
Jedná se o velice důležitý proces v rámci úpravy kalů. Dochází ke snížení objemu kalu a ke zvýšení obsahu sušiny, což pozitivně ovlivňuje ekonomiku dalších procesů zpracování kalů.

Sedimentace je nejnazší způsob oddělování vody od kalu. Probíhá v sedimentačních nádržích a to ve dvou fázích. V primární usazovací nádrži (primární kal) a v dosazovací nádrži (sekundární kal)

Zahušťování je proces, kdy se podíl sušiny v kalu zvyšuje na 8 až 10%. Lze provádět více způsoby, přičemž nejstarší metoda je gravitační. Dnes se již zahušťuje strojově, k čemuž se používají zahušťovací síta a zahušťovací centrifugy. Při použití zahušťovacích sít je nutné kal „kondicionovat“ polymerním flokulantem zatímco u centrifug kondicionace není nutná.

3.3.1 Odvodňování kalů

Jde o odstraňování vody „volné“ a částečně i vody „vmezeřené“ obsažené v již anaerobně stabilizovaném kalu. Pokud je kal dobře stabilizovaný, lze docílit 30 až 40% koncentrace sušiny, což je výhodné pro další zpracování kalů.



Obr 1.) Vztah mezi stupněm odvodnění vyhnílého kalu a obsaženými organickými látkami. (Kutil a Dohányos 2004)

Kalová pole jsou nejstarším používaným způsobem odvodňování kalů. Použití je ve velké míře ovlivněno klimatickými a povětrnostními podmínkami dané lokality, protože se jedná o kombinaci filtrace a odpařování. Základem celé technologie je ohraničená plocha se drenážním dnem pro sedimentaci. Drenážní potrubí je zasypáno štěrkovou vrstvou o výšce 20cm a vrstvou písku o výšce 10cm. Na toto se napustí kal do vrstvy cca 30cm. Za suchého počasí lze docílit až 65% sušiny v kalu.

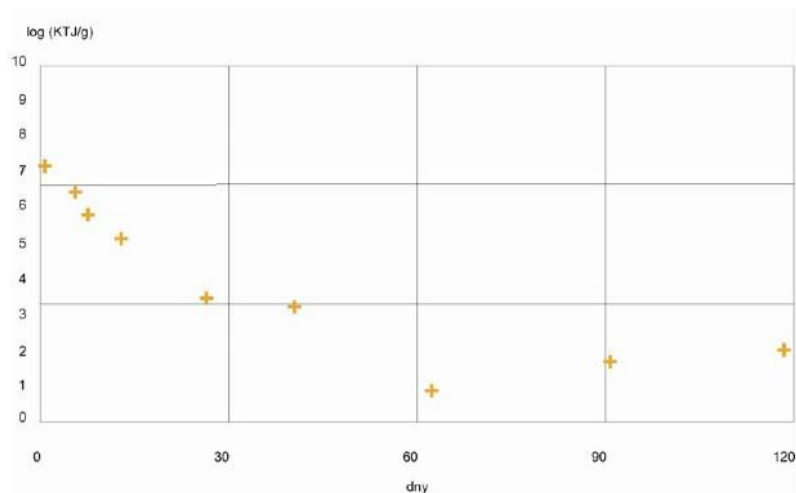
Síto- pásové lisy jsou v současné době nejpoužívanější metodou v čistírnách odpadních vod. Kal je nejdříve nutné kondicionovat polykolagulanty. poté přichází předvodňovací fáze kdy je kal filtrován jen volně a později pod tlakem cca 0,1 MPa mezi dvěma nekonečnými filtračníma plachtami, které meandrovitě prochází systémem válců kde dochází k hlavnímu odvodňování. Při použití této metody lze dosáhnout 27 až 36% sušiny v kalu.

Kaolisy- komorové lisy využívají k filtraci vysoký tlak (1,5 až 2,5 MPa) bez nutné kondicionace. Touto metodou lze dosáhnout 35 až 50% sušiny v kalu, ale nevýhodou je velká pracnost a vysoké náklady.

Odvodňovací centrifugy se vyznačují malými prostorovými požadavky a vysokou výkonností oproti ostatním odvodňovacím technologiím. V centrifuze lze dosáhnout 30 až 35% sušiny v kalu.

Reed-bed technologie je odvodňování pomocí kořenových systémů rostlin a to nejčastěji rákosu. Principem této technologie je vertikální kořenový filtr který odvádí přebytečný již stabilizovaný kal do mělkých nádrží. Tyto jímky jsou pasivně aerovány s porostem rákosu. Zde dochází k zachycování pevných částic nacházejících se v kalu, které jsou následně mineralizovány. Voda odtékající z nádrží je natolik vyčištěná, že jí lze vypouštět přímo do recipientu.

Mineralizací se obsah organických látek ve výsledku sníží o cca 25% a tak dochází rychle a efektivně k redukci patogennů jako jsou třeba bakterie *Salmonella* nebo *Escherichia coli* a enterokoky. (Najman et al. 2010)



Obr 2.) Snížení výskytu bakterie E. coli v závislosti na obsahu sušiny v kalu (Najman 2010)

3.4 Hygienizace kalů

K dispozici je více možností úpravy kalů pro zlepšení jejich kvality. Tyto úpravy jsou obecně zaměřeny na snižování objemu vody v kalech, na eliminaci patogenů a zápachu. Je možné využívat i technologie, které jsou schopné odstranit i těžké kovy, ale tyto technologie jsou příliš drahé, a tím pádem z ekonomického hlediska v současnosti nevyužitelné. V dalším zkvalitňování kalů budou stále více nutné vyspělé technologie zaručující odstranění patogenů či produkovat kal s vysokým obsahem sušiny, čímž se dále rozšíří možnosti využití kalů jako topiva či hnojiva.

Zvyšování kvality upravených kalů je v zájmu samotných čistíren odpadních vod, protože kvalitní hygienizovaný kal má vyšší tržní hodnotu.

Množství vyprodukovaných kalů závisí na množství čištěné odpadní vody (počet EO) a na technologii použité pro čištění a na typu kanalizace. Pro představu, když zařadíme do čistícího procesu fyzikálně chemické odstraňování fosforu, tak stoupne množství produkovaného kalu o cca. 30%. Dalším faktorem ovlivňujícím množství produkovaného kalu je technologický postup zpracování kalu (odvodňování, stabilizace, desinfekce, sušení atd.). Pozornost je nutné věnovat také různým činidlům jako jsou soli železa a hliníku, různé polymery, vápno atd., aplikovaná při procesu čištění odpadních vod. (Dohányos 2006)

3.4.1 Hygienizace a stabilizace vápnem

Při hygienizaci vápnem máme dvě možné cesty. První je alkalizace nad pH 12 při dosažení teploty vyšší než 25 °C po dobu alespoň dvou hodin. Druhou možností je alkalizace nad pH 12 za teploty okolí po dobu alespoň 3 měsíců aniž by pH kleslo pod danou hodnotu.

Hygienizace vápnem je pro aplikaci kalů na pole důležitá z několika důvodů. Kombinace vysoké teploty vyvolaná exotermní reakcí CaO s vodou, silná alkalita prostředí zapříčiněná vnikem Ca(OH)₂ a následná desinfekce vytěsněným amoniakem z alkalizovaného materiálu. Vysokou hodnotou pH dochází ke snižování obsahu těžkých kovů. Je to způsobeno vlivem vysoké hodnoty pH, kdy kationty těžkých kovů vyskytující se ve formě různých solí přecházejí do hydroxidových forem, které se sráží. Tyto hydroxidy přeměněné na uhličitany se rozpouštějí jen v kyselém prostředí. (Prášek 2003) Z tohoto důvodu je nutné brát ohled na kyselost půdy v případě aplikace kalů aplikovaných na pole, které před tím byly hygienizovány vápnem.

Například při pH = 11 po jedné hodině přežívá jen 0,5% Salmonely taphi z původního množství a s časem působení tento podíl dále klesá.

iont	Al ³⁺	Cd ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
pH min.	5,0	9,5	7,0	0,5	9,0	6,5	8,5

Tab. 1) Minimální hodnoty pH pro vybrané ionty, při nichž nastává úplné srážení kovových iontů ve formě hydroxidů. (převzato a upraveno podle Kusá, H., Růžek, P. 1999)

3.4.2 Pasterizace kalů

Podmínky pro pasterizaci kalů jsou teplota 70 °C po dobu minimálně 30 minut avšak průmyslově dodávané pasterizační jednotky obvykle zahřívají kal na 60 – 70 °C po dobu 1 až 3 hodin a poté následuje anaerobní stabilizace při teplotě 38 °C. (ekomvo.cz)

3.5 Stabilizace kalů

Stabilizací kalů klesá množství organických látek vůči anorganickým a zároveň stoupá podíl rizikových látek limitujících jejich následné využití.(Najman et al. 2012)

3.5.1 *Anaerobní stabilizace kalů*

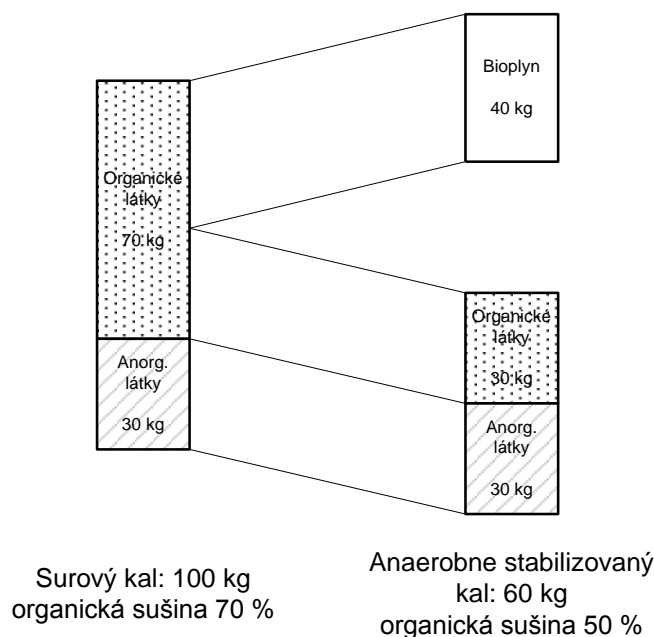
Anaerobní stabilizace je jedním z nejdůležitějších procesů při získávání potřebné kvality kalu pro aplikaci do polního systému. Anaerobní stabilizace (metanizace) je proces při kterém je biologicky rozložitelná organická hmota rozkládána mikroorganismy bez přístupu vzduchu.(Switzenbaum 1995)

Výslednými produkty jsou biomasa, (bio)plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a zbylá nerozložená organická hmota, která již splňuje hygienické senzorké podmínky nezávažnosti.

Anaerobní stabilizace je v podstatě nejlepším systémem pro stabilizaci kalů, kdy dochází k několika požadovaným jevům najednou. Velká část organického uhlíku je uvolňována v plynné formě (CO_2 , CH_4), takže dochází k objemovému i hmotnostnímu úbytku a uvolnění vody, která byla původně vázána chemicky i fyzikálně. Výrazně se snižuje výskyt patogenů (Bridle a Mantele 2003)

Výsledná účinnost anaerobní stabilizace kalů se hodnotí podle reálného úbytku organické sušiny kalu. Vypočítává se podle bilance celkové sušiny kalu organické sušiny surového kalu a kalu po metanizaci.

Anaerobně stabilizovaný kal je takový, ve kterém neprobíhají žádné intenzivní biologické pochody, které by působily senzorké nebo hygienické problémy. Dobře stabilizovaný kal je takový, ve kterém obsah organických látek klesl pod 50%. (Switzenbaum, 1995)



Obr.3.) úbytek organické hmoty při anaerobní stabilizaci

3.5.2 Výhody anaerobní stabilizace

Vznikem bioplynu v průběhu anaerobní stabilizace se celý proces stává energeticky soběstačný (ohřev reaktorů, míchání). Přebytečná energie je dále využívána na vytápění budov čistírny, ohřev vody nebo na výrobu elektrické energie. Tímto se výrazně zlepšuje ekonomika čistírny.

Další výhodou anaerobní stabilizace je výrazný úbytek organických látek díky jejich konverzi na bioplyn. Snížení obsahu sušiny je 40 až 65% oproti surovému kalu. Toto má samozřejmě pozitivní vliv na ekonomiku čistírny při dalším nakládání s kaly.

Anaerobně stabilizovaný kal je výborným prostředkem k hnojení a zlepšení struktury půdy. Anaerobní stabilizací se odstraní nepříjemný zápach surového kalu.

Při anaerobní stabilizaci dochází k částečné hygienizaci kalu - převážná část patogenů je průběhem procesu zničena.

3.5.3 Nevýhody anaerobní stabilizace

Nevýhodou jsou poměrně vysoké investiční náklady a dlouhá doba zdržení kalů v reaktorech. Dalším problémem je zbylá voda po odvodnění již stabilizovaného kalu. Je nutno ji dále čistit samostatně.

3.5.4 Termofilní aerobní stabilizace kalů

Při průběhu termofilní aerobní stabilizace dochází k odbourávání odbouratelné organické hmoty za teploty kolem 55 °C a za přístupu kyslíku. V ideálním případě je organická hmota rozkládána na CO₂ a H₂O.

Termofilní stabilizace v porovnání s mezofilními procesy přináší mnoho výhod. Jedny z hlavních výhod jsou zvýšená rychlost rozkladu organických látek a zvýšená účinnost rozkladu organických látek (Radimská I. 2003)

3.6 Kompostování kalů

Výsledná efektivita kompostování kalů ve velké míře závisí na použité kompostovací technologii. Překážkou při kompostování bývá jejich tekutá konzistence, takže při použití technologie pásových hromad zhoršuje manipulaci a překopávky takových hromad a je nutné tyto kaly míchat s nasákavými materiály.

Nejvhodnější kaly ke kompostování jsou stabilizované s vysokým obsahem organických a minerálních látek. K úpravě kalů pomocí kompostování je nutné znát jejich kvalitativní složení z hlediska fyzikálního, chemického a biologického. Pro následnou přímou aplikaci kompostovaných kalů jsou určující agrochemická kritéria a požadavky na výživu jednotlivých druhů plodin. (Zemánek et al. 2010).

Kompostováním kalů lze úspěšně snižovat hladinu těžkých kovů v nich obsažených, tak že bez problémů splňují limity dané zákonem. Výrazně také kleslo množství niklu obsaženého v organické hmotě. (Soumita et al. 2004).

3.6.1 Různé technologie kompostování

Jako velmi efektivní metoda se osvědčilo míchaní kalů z ČOV s dřevní štěpkou, slámou a pilinami v poměru 3:1:1:1. Při této kompostovací směsi lze dosáhnout teploty až 66°C, což přispívá ke zrychlení kompostování. (Hubálek a Rodová 2007). Dalším pozitivem je, že se jedná o nasákavé materiály, takže se zlepšuje konzistence kalu a následně i usnadňuje případná manipulace při přeorávce. Dosažení takové teploty také podporuje studie Nakasaki et al. (1985) kteří měřili míru spotřeby kyslíku při kompostování odpadních kalů při teplotách 50°C, 60°C a 70°C a nejlépe jim vyšla teplota 70°C při které byla spotřeba kyslíku čtyřikrát větší než při teplotě 60°C.

3.7 Pozitivní vliv kalů

Obsah chemických a biologických látek v kalu závisí na technologii použité při čištění a na průběhu jejich ošetření. Živiny v nich obsažené zvyšují jejich význam pro aplikaci do zemědělské půdy. (Černý 2010)

Dlouhodobou aplikací kalů na pole se zvyšuje okamžitá půdní vlhkost, maximální kapilární kapacita, pórovitost půdy a sorpční kapacita (Nerudová 1984).

Dalším důvodem proč aplikovat kaly na pole je snižující se produkce statkových hnojiv zapříčiněná celkovou změnou hospodaření po roce 1989. Výrazně poklesla živočišná produkce nebo byla přesunuta do podhorských a horských oblastí kde není propojena s rostlinou produkcí. Tento výpadek zemědělci řeší nahrazováním statkových hnojiv hnojivy minerálními. Mnohé studie uvádí, že používání pouze minerálních hnojiv má pozitivní vliv na půdní vlastnosti. V půdě totiž zůstává více posklizňových zbytků a kořenů což zvyšuje objem organických složek půdy. Také zlepšuje kořenovou exsudaci a rozvoj půdních mikroorganismů. Jenomže toto vše funguje jen při vyrovnané výživě rostlin.

Problémem je nevhodný poměr minerálních látek dodávaných v minerálních hnojivech. Tato hnojiva jsou z 90% tvořena dusíkem a fosfor a draslík jsou obsaženy ve zbývajících 10% hnojiva. Z toho vyplývá, že poměr aplikovaných živin neodpovídá potřebě jednotlivých druhů a výsledkem je odebrání živin na úkor půdních zásob, které jsou ale omezené a podíl živin v sorpčním komplexu se snižuje. Jednostranné, dlouhodobé hnojení (zvláště dusíkaté) může snížit úrodnost (snížení pH snížení sorpční kapacity atd.). (Černý et al. 2010)

Aplikace čistírenských kalů do půdy zvýšila růst rostlin papriky a výnos plodů. Živiny obsažené v čistírenských kalech jsou ideální k využívání jako organického hnojiva na podporu růstu plodin. Zvýšená produktivita rostlin vede k závěru, že používání kompostovaných kalů z odpadních vod na paprikách není jen dobrý způsob nakládání s odpady z hlediska udržitelnosti, ale také zvyšuje produkci paprik, zejména v podmínkách skleníku. Zvýšený výnos biomasy po aplikaci kalů je ovlivněn větší dostupností živin pro rostliny. (Pascual et al. 2008)

3.7.1 Porovnání ostatních organických hnojiv s čistírenskými kaly

Statkové hnojivo	Průměrný obsah sušiny	Dusík (N)	Fosfor (P ₂ O ₅)	Draslík (K ₂ O)
	(%)			
Hnůj skotu	23	5	3,1	7,1
Hnůj skotu (z hluboké podestýlky)	23	6	3,1	10,7
Hnůj prasat	23	6,2	5,7	5,1
Hnůj prasat (z hluboké podestýlky)	23	7,4	5,7	7,1
Koňský hnůj	29	5,2	3,2	7,3
Ověčí hnůj, kozí hnůj	28	7,6	3,7	10,4
Močůvka skotu a hnojůvka	2,4	2,5	0,2	5,3
Močůvka prasat a hnojůvka	2	2,8	0,5	2,5
Kejda skotu	7,8	3,2	1,5	4,8
Kejda prasat	6,8	5	3	2,3
Čistírenské kaly*	28	11,2	8	0,4

Tab. 2) (Zdroje: ÚKZÚZ, * Přepočítáno a zprůměrováno z Černý 2009)

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že oproti jiným statkovým hnojivům má čistírenský kal nejvyšší obsah sušiny a z minerálních látek má nejvyšší obsah N a P co je ale pod průměrem je obsah K.

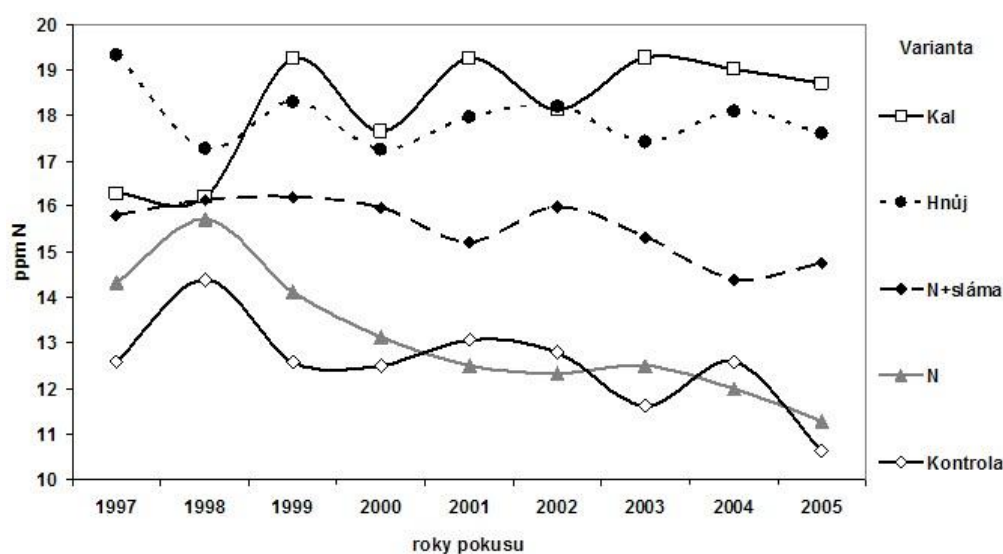
3.7.2 Vliv kalů na obsah organické hmoty a mikrobiální činnost

V půdě jsou 2-5% organické hmoty, která je bezprostředně důležitá výživu a růst rostlin. Je to velice složitý komplex různých organických sloučenin, které jsou do půdy aplikovány formou organických hnojiv (hnůj, kejda, zelené hnojení, kompost, odpadní kaly atd.) nebo vznikají přímo v půdě jako trvalý humus- edafon. Organické látky obsažené v půdě dělíme na látky nehumifikované, humifikované a přechodné. V minulosti byl již mnohonásobně prokázán zásadní význam organické hmoty v půdě pro zachování a zvyšování její kvality.

Co se týče mineralizace kalů v půdě tak organický C a N zvyšuje počet bakterií proteinázy v 1. - 2. dni, přičemž nejvyšší je aktivita 3. Den a poté prudce klesá. Aktinobakterie (*Actinobacteria*) a aktivita hub je maximální po 2 až 3 týdnech a dále zůstává neměnná. (Hattori 1988)

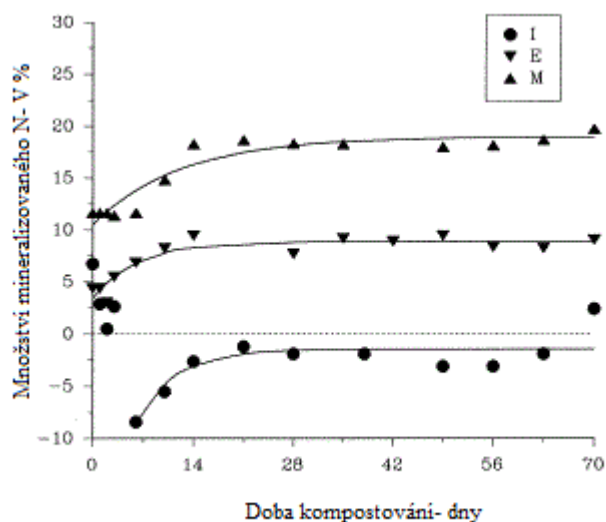
3.7.3 Obsah N

Množství využitého N bylo vyšší na plochách kde byl aplikován kal než na plochách kde bylo aplikováno dusičnanové hnojivo. Na tento výsledek mohou mít vliv i další živiny obsažené v kalu. (Binder a Sander 1996)



Obr 4.) V grafu jsou zobrazeny změny množství v obsahu dusíku mikrobiální biomasy v ornici po aplikaci různých hnojiv. Také je zde potvrzeno zjištění, že po aplikaci kalů je množství N spíše nižší a s postupující mineralizací se přístupnost N zvyšuje. (Černý 2010)

Hladina minerálního N v kompostovaném kalu stoupá s dobou kompostování kalu. V počáteční kompostovací směsi na začátku kompostovacího procesu dochází k imobilizaci N. V aktivní fázi kompostování se hladina N zvyšuje na 5,5 % minerálního N a ve zralém kompostu je již na úrovni 9,1%. Tento vývoj mineralizace byl potvrzen i v následném pokuse, kdy byl na porost *Jilku vytrvalého* (*Lolium perenne*) aplikován nekompostovaný kal a zpočátku bylo množství anorganického dusíku nedostačující ale s postupujícím časem se začal uvolňovat mineralizovaný N. Proto je nutné aplikovat nekompostovaný kal ještě než je plodina zasetá aby v době růstu již byl dostatek uvolněného N, naproti tomu lze kompostovaný kal aplikovat do již vzrostlé vegetace. (Bernal et al. 1998)



Obr 5.) Graf zobrazuje hladiny mineralizovaného N přístupného pro rostliny v jednotlivých fázích kompostování. I- počáteční (nekompostovaný) kal, E- konec aktivní fáze, M- vyzrálý kompost. (Bernal et al. 1998)

Nutnost určité doby mineralizace podporuje i studie Warman a Termeer (2005) kdy v pokuse byly aplikovány kaly a běžné hnojivo na porost travní píče. Zpočátku byl přístupnější N z běžného hnojiva, ale postupem času N z kalů předčil v přístupnosti N z klasického hnojiva. Avšak opakovaná aplikace kalů vede ke zvýšené dostupnosti N.

3.7.4 Obsah P

Obsah minerálních sloučenin P v půdě závisí na hloubce profilu, druhu a typu půdy. V oblastech mírného pásma je více jak polovina veškerého obsahu P v půdách využívaných pro zemědělské účely vázána v minerálních vazbách ve vodě nerozpustných a pro rostliny málo přístupný. Aby se omezila přeměna fosforu na hůře rozpustné formy doporučuje se mimo jiné pravidelně zapravovat do půdy organickou hmotu, která je obsažená právě v odpadních kalcích.

Malá dostupnost P z kalů pro rostliny byla způsobena povrchovou aplikací a omezenou mobilitou P v nedokonale odvodněné půdě. (Warman a Termeer 2005)

Odpadní kaly jsou také zdrojem P, ale jsou zde i nějaká rizika. Porovnáme-li několik druhů hnojiv: tri-fosfát, kejdu, kapalný anaerobně vyhníly kal a odvodněný anaerobně stabilizovaný kal, zjistíme, že v kalech je P dost, ba naopak tím že v kalech je více P než v ostatních hnojivech, tak dochází k nevhodnému poměru N:P a může docházet k nadměrné eutrofizaci vod. (Withers et al. 1996)

3.7.5 Obsah K

Draslík se v půdě vyskytuje ve třech formách: draslík rozpustný ve vodě, výměnný draslík a nevýměnný draslík. Z toho největší část draslíku se vyskytuje ve formě nevýměnné (95% veškerého draslíku obsaženého v půdě) a pro nás je nejdůležitější, protože naprostou většinu draslíku získávají rostliny právě odtud.

Odpadní kaly obsahují poměrně malé množství K, protože většina K prochází poměrně snadno čistícím procesem a následně je vypouštěna do recipientu s vyčištěnou vodou. Po aplikaci čistírenského kalu do půdy, bývá následně v této půdě nedostatek K také proto že spolu s kalem je aplikováno poměrně velké množství Ca a Mg které dále limitují K obsažený v kalech a v důsledku toho je nutné spolu s kaly aplikovat také anorganická hnojiva pro zajištění dostatku K pro rostliny. (Warman a Termeer 2005)

3.8 Negativní vliv kalů

3.8.1 Kontaminace půd

Jedná se o jeden z limitujících ukazatelů při aplikaci upravených čistírenských kalů na pole. Toto je upravováno vyhláškou č. 382/2001 sb. Podle této vyhlášky musí být dodrženy mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků.

Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou v mg. kg-1 sušiny v půdě									
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Běžné půdy	20	5	90	60	0,3*	50	60	120	
Písky, hlinité písky, štěrkopísky	15	4	55	45	0,3*	45	55	105	
Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg. kg-1 sušiny)									
PCB**	AOX	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
0,6	500	30	5	200	500	4	100	200	2500

Tab 3.) *(celkový obsah), **(PCB= Σ 6 koegenerů – 28+52+101+138+153+180)

(zdroj: zákony ČR)

Při obvyklých hodnotách pH jaké kaly mívají se rizikové prvky hojně vyskytují v nerozpustné formě. Jejich biologická dostupnost přímo nekoreluje s celkovou koncentrací v kalu ani v půdě. Dostupnost těchto látek je nejvíce ovlivněna půdními vlastnostmi a stejně jako mobilita kovů v půdě po aplikaci kalů je závislá na chemických a fyzikálních vlastnostech systému kal-půda. Pokud se v kalu vyskytne více těžkých kovů ve zvýšené míře může po aplikaci dojít k zesílené (synergické) toxicitě v půdě. Dostupnost těchto těžkých kovů z čistírenských kalů klesá v pořadí $(Cd + Zn) > (Ni + Cu) > (Pb + Cr)$. Toto pořadí souvisí s různě silnými vazbami kovů v půdě. Těžké kovy z čistírenských kalů se nejvíce akumulují při povrchových vrstvách půdy a pro organismy je nejdostupnější Zn. (Kubík, 2009)

3.8.2 *Perzistentní organické polutanty (POP)*

POP jsou významnou skupinou látek, které mají vysokou potenciální toxicitu a tak mohou ohrozit životní prostředí. Pro POP neexistuje u nás ani ve světě hierarchicky vyšší hodnota, vztahující se k transferu těchto látek do rostlin. Tak je tomu v návrhu vyhlášky pro rizikové prvky- tzv. indikační limit. Transferová cesta nemobilních POP látek z půdy do rostlin je totiž velice těžko sledovatelná, jejich přeměny na jiné typy sloučenin a na jiné typy rizik zátěže POP, kdy může docházet k nadměrnému zatěžování lidského organismu při pobytu na takto znečištěných plochách, protože může hrozit vytékání do ovzduší. Z tohoto důvodu se začaly komplexně analyzovat rizika na nejvíce kontaminovaných plochách.

Dlouhodobým výzkumem POP obsažených v čistírenských kalech se zabývá řada zahraničních pracovišť již od konce 80.-tých let a v několika posledních letech se problematika znečištění POP začala sledovat i u nás (např. monitoring UKZÚZ). Z těchto výzkumů, sledujících jejich přesun do půdy, popř. i do rostlin vyplynulo, že dlouhodobou aplikací může dojít k výraznému zvýšení obsahu těchto látek v půdách. (Vácha et al. 2007)

(Právní problematika je uvedena v části „Legislativní úprava“).

3.8.3 *Těžké kovy v kalech*

Arzen se ve zvýšené míře v půdě vyskytuje v jílovitých půdách obsahující sulfidy a uhelnou příměs. Nejvyšší zatížení zemědělských půd arzenem je v oblastech s většími emisemi popílku a odsiřovacími produkty. (Richter 2004)

Kadmium se v půdě vyskytuje jako součást půdního roztoku a za posledních 150 let se jeho obsah v půdě zvýšil o 27- 55%. Kadmium se nejvíce akumuluje při povrchu ve vrstvě 0-5cm. Snadno přechází do roztoku a přechází do kationtové formy Cd^{2+} . Dostupnost kadmia pro rostliny záleží na druhu rostliny a na pH půdy, redoxním potenciálu a složení půdního roztoku.

Kadmium je nejrozpuštěnější a zároveň nejpohyblivější v půdě při pH 4,5- 5,5. Z výše uvedeného jasně vyplývá, že dostupnost kadmia prudce stoupá právě v kyselé půdní reakci. A zde vzniká problém při využívání anaerobně kompostovaných kalů. Byla zjištěna změna pH kalu směrem dolů až na hodnotu pH 4,35 přičemž u neošetřeného kalu bylo naměřeno pH 7,82. (Balík et al.).

Chrom v půdě se vyznačuje několika oxidačními stupni (+2 až +6) a schopností vytvářet komplexní anionty a kationty. ($\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, CrO_4^{2-} , CrO_3). Vysoké oxidační stupně chromu jsou méně stabilní než chrom trojmocný. Většina kationtů chromu se vyskytuje ve stabilní formě Cr^{3+} vázaná na oxidy Fe a Al. Mobilita chromu je dána půdní reakcí, stupněm rozkladu organické hmoty, obsahu jílových minerálů a redoxním potenciálu půdy.

Postupnou oxidací chrom vytváří ionty CrO_4^{2-} , které jsou velice mobilní a jsou slabě sorbovány jíly a oxidy. Dobře rozpustný chrom je toxický pro rostliny i živočichy. (Richter 2007)

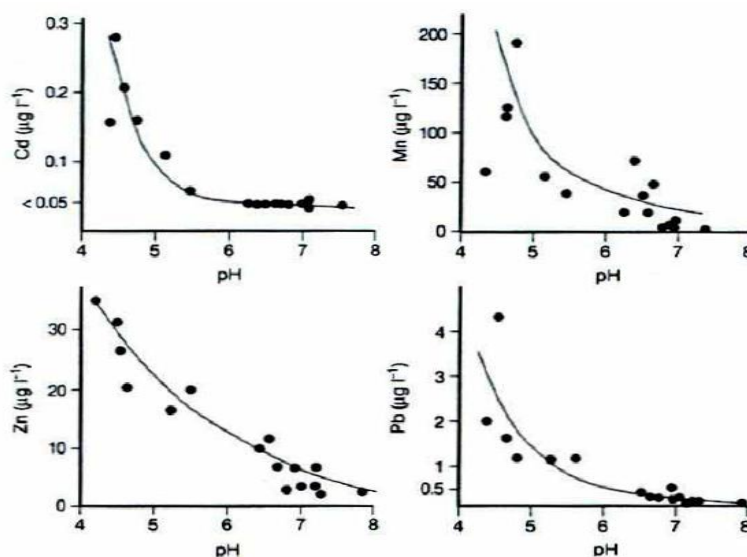
Olovo se v půdě vyskytuje hlavně ve formě kationtu Pb^{2+} a nejvíce je zastoupeno v kyselých vyvěřelých horninách (10-30 mg/kg). Směrem k ultrabazickým horninám jeho koncentrace klesá. Pohyblivost olova je poměrně nízká, olověné soli jsou totiž velice málo rozpustné a olovo je také dobře vázáno na jílové materiály a na humusové látky. Ale za přítomnosti chelátů pohyblivost olova překvapivě stoupá. (cheláty jsou stabilní komplexy tvořené železitým kationtem s organickými látkami humusu udržující železitý kation v rozpustné formě) (ABZ slovník cizích slov). Navíc tato forma olova je mnohem snáz vstřebatelná pro rostliny, ale i lidský organismus, čímž stoupá nebezpečí zvýšené koncentrace olova v půdě. Olovo je velice snadno rozpustné v kyselém prostředí. Vlivem vápnění jeho rozpustnost klesá, protože se sráží formou hydroxidu, fosforečnanu nebo jako uhličitan. (Richter 2007)

Rtuť se v půdě vyskytuje ve třech možných formách. V elementární formě (Hg), kdy je těkavá a slabě rozpustná ve vodě. Druhá možná forma je methylrtuť (CH_3Hg^+) což je perzistentní forma. Třetí forma je dvojmocná anorganická molekula (Hg^{2+}) vyznačující se vysokou afinitou k organickým i anorganickým ligandům. Největším problémem je dvojmocná rtuť, která se velice rychle a silně váže na organickou hmotu a tak se dostává do plodin. Také je poutána na povrchu jílových minerálů a hydratovaných oxidů Fe a Mn. Pokud se jedná o mikrobiální metylaci mají tyto sloučeniny poměrně vysokou těkavost. Poté tento podíl rtuť v půdě těká do ovzduší odkud se může dostávat do potravního řetězce anebo srážkami zpět do půdy. Hlavním zdrojem kontaminace je spalování uhlí. (Richter 2007)

Zinek je dalším limitujícím prvkem pro aplikaci kalů do půdy. Této problematice se věnuje Balík et al (2002) v pokuse studujícím akumulaci zinku v biomase ovsa. Bylo zjištěno, že největší vliv na akumulaci zinku v biomase má půdní typ. Obsah zinku v rostlinách pěstovaných na fluvizemi byl vyšší o 143% než v rostlinách pěstovaných na černozemi. Tento výsledek dobře koresponduje s rozdílnými sorpčními vlastnostmi a s rozdílným pH půd.

3.8.4 *Shrnutí*

Podle studie Zufiaurre et al. (1998) jsou těžké kovy obsažené v odpadních kalech vázány hlavně v minerální frakci a z tohoto důvodu vykazují nízkou dostupnost pro rostliny, takže pokud budeme aplikovat kaly správně ošetřené a budeme-li je aplikovat do s vyšším pH, tak riziko uvolňování těžkých kovů do půdy není, tak velké a limitní hodnoty kovů v půdě by neměly být překročeny.



Obr. 6) Vliv hodnoty pH na rozpustnost těžkých kovů. (Yahya a Aabulfatai 2005)

Co se týče akumulace těžkých kovů rostlinami, tak se toto liší plodina od plodiny. Davis a Carlton-Smith (1980) uvádějí celou řadu chronologicky seřazenou od plodin s největší schopností akumulovat těžké kovy a ž po plodiny s nejnižší schopností akumulovat těžké kovy v tomto pořadí a ve vztažnosti k těmto těžkým kovům

- tabák> salát> špenát> celer> zelí na CD, kale> jílek> celer pro Pb
- cukrové řepy> některé odrůdy ječmene pro Cu, cukrová řepa> Jílek> mangold> vodnice pro Ni
- cukrová řepa> Mangold> vodnice pro Zn

Tuto problematiku dále rozšiřují ve své studii Allowayi et al. (1990), kde uvádějí že schopnost přijímat Cd plodinami je v tomto pořadí.

- salát> zelí> ředkev> mrkev

Dále také uvádí, že Cd má obecně tendenci akumulovat se v listech, proto je riskantní pěstovat listovou zeleninu na hnojenou kaly.

Také byla pozorována zvýšená akumulace Cd, Cu, Ni, a Zn v bramborových hlízách, zatímco žádný významný trend nebyl pozorován u akumulace Co, Cr, Fe, Mn a Pb.

3.8.5 Aplikace kalů na plantáže rychle rostoucích dřevin

Jedná se o levný, nezávadný a efektivní způsob pro využívání čistírenských kalů. V první řadě jde o ideální způsob odstraňování těžkých kovů z půd prostřednictvím rychle rostoucích dřevin, které mají schopnost vázat právě těžké kovy ve svých pletivech. Je zde také uplatněn hnojivý účinek kalů jako organického hnojiva.

Další výhodou takovýchto plantáží je možnost finančního zisku z vypěstované biomasy, zvláště v době kdy se začíná využívat jako levnější náhrada za fosilní paliva. Ze strany elektrárenských a teplárenských společností se v poslední době zvyšuje poptávka po dřevní štěpce a toto je jedna z možností jak tuto poptávku uspokojit. (Kotovicová a Vaverková 2012)

3.9 Legislativní úprava

Při aplikaci čistírenských kalů je nutné zamezit jejich možnému negativnímu vlivu na životní prostředí nebo lidské zdraví. Proto jsou vypracovány legislativní předpisy, které určují kvalitativní a kvantitativní užití kalů v praxi.

Hlavní podmínkou bezpečnosti využívání kalů je co největší eliminace patogenních organismů. V České Republice jsou maximální limity patogenních organismů upraveny zákony a vyhláškami, které vycházejí ze směrnic Rady ES.

3.9.1 Hlavní body kterými se legislativa věnuje

- kvalita aplikovaných kalů (např. koncentrace nebezpečných látek)
- kvantita aplikovaných kalů (např. max. množství nebezpečných látek dodávaných na pole)
- kvality půdy po aplikaci kalů

3.9.2 Vyhláška č. 382/2001 Sb.

Podle současné české legislativy lze kal z ČOV aplikovat na půdu pouze v případě, že byl podroben biologické, chemické či tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů, a tím i zdravotní riziko spojené s jeho aplikací.

Původci kalů (ČOV, bioplynová stanice) jsou povinni ve spolupráci s uživateli půdy vytvořit plán použití kalů na zemědělské půdě. V plánu musí být seznam pozemků vybraných pro aplikaci kalů a jejich zařazení v osevním postupu. Po aplikaci na pole musí proběhnout jejich zaorávka nejdéle do 48 hodin po aplikaci a dále nesmí být překročena maximální hmotnost 5t sušiny kalů na ha půdy za 3 roky. Tato hmotnost může být zvýšena na 10t/ha pouze v případě, že obsah jednotlivých sledovaných rizikových látek je méně než polovina maximálního limitního množství.

Úplný zákaz aplikace kalů do zemědělské půdy platí na pozemcích ležících na chráněných územích, v ochranném vodním pásmu, na záplavových územích a na pozemcích s půdní reakcí nižší než pH 5,6. Dále se kaly nesmí aplikovat na polích kde je pěstována zelenina v roce pěstování a v roce předcházejícím, v ovocných výsadbách, v průběhu vegetace pěstovaných pícnin, kukuřice a cukrové řepy s následným využitím chřástu jako krmiva a na travních porostech v průběhu vegetačního období až do poslední seče. Maximální přípustné koncentrace rizikových látek v kalech a v půdě včetně maximálních přípustných koncentrací těžkých kovů, které mohou být přidány do orné půdy za deset let a mikrobiologické limity pro použití kalů stanovuje vyhláška č. 382/2001 Sb. „Podmínky pro použití upravených kalů na zemědělské půdě. (Vyhláška č. 382/2001 Sb).

Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou v mg. kg-1 sušiny v půdě

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Běžné půdy	20	5	90	60	0,3*	50	60	120
Písky, hlinité písky, štěrkopísky	15	4	55	45	0,3*	45	55	105

Tab. 4) (Vyhláška č. 382/2001 Sb).

Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě

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

Tab. 5) (Vyhláška č. 382/2001 Sb).

Minimální četnost chemických a mikrobiologických analýz kalů využívaných na zemědělské půdě za rok

Tab. 5) (Vyhláška č. 382/2001 Sb).

Produkce kalů z ČOV (v tunách sušiny kalů za rok)	Minimální počet analýz za rok			
	agrochemické parametry* (živiny)	rizikové prvky (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	mikrobiologie (termotoler. koliform. bakterie, enterokoky, Salmonella sp.)	organické kontaminanty (AOX, PCB)
<250/>	2	2	2	- **

250-1000	4	4	4	- **
1000-2500	4	4	6	1
>2500	12	12	12	1

3.9.3 *Problematika Perzistentních organických polutantů (POP)*

Problematiku obsahů sloučenin ze skupiny POP se zabývá metodický postup MŽP ČR z roku 1996. Limitní obsahy a kritéria znečištění jsou uvedeny ve vyhlášce MŽP ČR 13/1994 Sb. Výběr sloučenin byl volen podle tzv. „Holandského seznamu“, kde byly zachyceny zdravotně nejnebezpečnější látky. Bohužel tento seznam se neosvědčil, protože limitní hodnoty byly vypočítány pouze statisticky z několika zahraničních pramenů a nebylo počítáno s reálným zatížením zemědělských půd u nás. Z tohoto důvodu byl vypracován novelizační návrh.

V rámci EU byla vypracována novela již zastaralé směrnice 86/278/EEC, která udává maximální rozpětí výskytu šesti rizikových prvků (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn). Novela byla zpřístupněna i odborné veřejnosti. V novele byla zpřísněna dosavadní kritéria a to hlavně v oblasti POP. Byly stanoveny maximální koncentrace pro sedm skupin POP, dále AOX- sumaorganicky vázaných halogenů, LAS- lineární alkylbenzeny vázané na síru, di(2-ethylhexyl)ftaláty (DEHP), nonylfenoly a nonylfenoloxyláty (NPE), , sumu devíti polyaromatických uhlovodíků (PAU) a sumu sedmi kongenerů PCB (28+52+101+118+138+153+180) a ještě byla stanovena maximální hodnota mezinárodního toxického ekvivalentu (I-TEQ) pro polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDD/F).

Jenomže schválení novely bylo komplikováno zájmy různých skupin a vysokými finančními náklady na analýzy POP, takže novela nebyla přijata a stále platí zastaralá směrnice e 86/278/EEC. (Vácha et al. 2007)

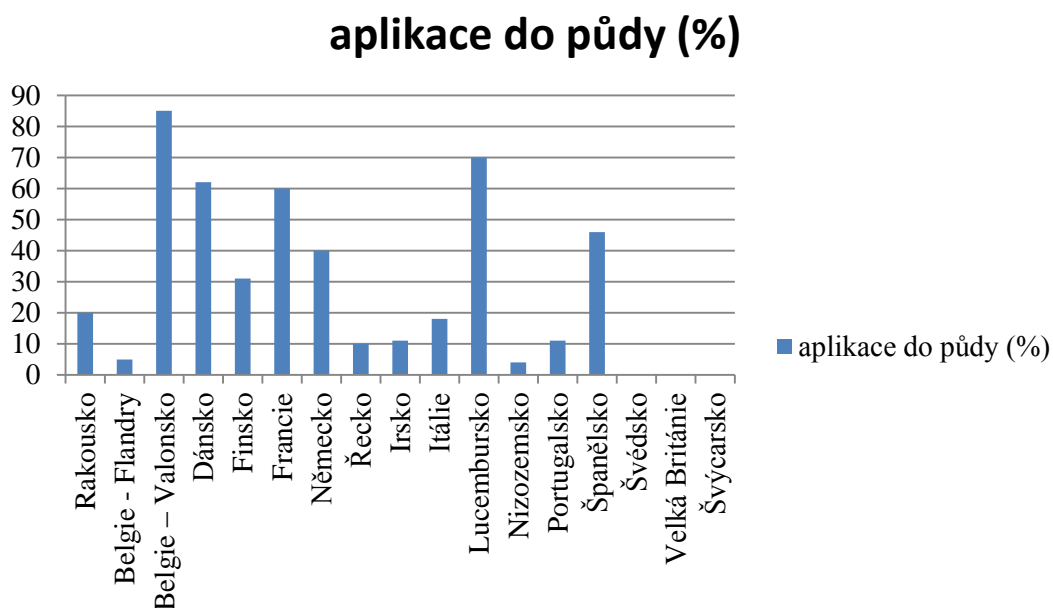
3.9.4 *Seznam legislativních úprav týkajících se kalů*

- Zákon č. 185/2001Sb., o odpadech - ve znění pozdějších předpisů“
Tento zákon upravuje pojem odpad, zařazování a hodnocení nebezpečnosti odpadů. Dále určuje pravidla pověřování a odjímání pověření osobám hodnotícím nebezpečnost odpadu...
- Vyhláška č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů - ve znění pozdějších předpisů

- Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady - ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů) - ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.
- Vyhláška č. 382/2001 Sb., o používání kalů na zemědělské půdě - ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

3.10 Porovnání zemí Evropy

Legislativní omezení pro využívání kalů jako hnojiva se v jednotlivých zemích EU a USA poměrně liší. Dánsko, Švédsko, Nizozemsko, Švýcarsko, a USA mají legislativně limitováno množství živin dodávaných na pole kaly. Ve Finsku, Německu, Irsku, Itálii a Španělsku je omezení dáno množstvím sušiny a Francie s Velkou Británií mají omezení dané množstvím těžkých kovů. Některé země mají tak přísné limity, že aplikace kalů do půdy je omezena na minimum (viz. graf níže). (Raclavská 2007)



(zdroj dat: Eurofert)

Z tohoto grafu je vidět rozdílnost jednotlivých legislativních omezení pro aplikaci kalů na pole. Jako paradox bych zdůraznil situaci v Belgii kde na území jednoho státu mají dvojí legislativu, takže ve Flandrách je možné aplikovat na pole jen 5% celkové produkce kalů, zatímco ve Valonsku to je neuvěřitelných 85% celkové produkce. Dalším extrémem je Švédsko a Velká Británie, kde z důvodu zachování kvality potravin bylo využívání kalů jako hnojiva zcela zakázáno. Ve Švýcarsku byly kaly původně hojně využívány. 40% celkové produkce kalů bylo aplikováno na zemědělskou půdu, jenomže postupně bylo využívání odpadních kalů jako hnojiva legislativně omezováno až od roku 2006 došlo k úplnému zákazu aplikace kalů na půdu. V Řecku a Itálii dosud neproběhla plošná diskuze jak využívat či nevyužívat odpadní kaly, takže jsou využívány spíše sporadicky. Ostatní státy využívají kaly podle názoru zemědělců a producentů potravin na zachování kvality potravin, takže třeba Lucembursko využívá 70% kalů jako hnojiva a naopak Rakousko „jen“ 20% vyprodukovaných kalů. (Eurofert 2009).

3.11 Diskuse

Největší přínos kalů je v organické hmotě v nich obsažené a v nadprůměrném obsahu N a P. Obsah P je ale podprůměrný, takže je vhodné kaly aplikovat v kombinaci s minerálními hnojivy a to hlavně fosforečnany.

Pokud používáme nekompostovaný kal musíme brát v úvahu, že hlavní část N je vázána v organické hmotě a mineralizace bude probíhat na poli a může dojít k počátečnímu nedostatku N. Proto je dobré aplikovat kal v dostatečném předstihu před výsevem nebo použít kompostovaný kal, kde už mineralizace proběhla a je zde dostatek mineralizovaného N.

Také musí být brán ohled na vysoké množství P, který pokud bude aplikován nevhodně např. na půdy propustné pro P, může dojít k nadměrné eutrofizaci podzemních vod a vodních toků nebo vodních nádrží.

Dalším diskutovaným problémem je obsah těžkých kovů a možná kontaminace půdy. Schopnost akumulovat těžké kovy je různá podle druhu plodiny a podle půdního druhu. Pokud budeme respektovat tyto podmínky, neměli by těžké kovy přesáhnout maximální možné množství dané zákonem.

3.12 Závěr

Pokud budeme respektovat omezení která jsou s užíváním čistírenských kalů spojená, tak se nemusíme obávat negativních vlivů na životní prostředí. Naopak by kaly se svými vlastnostmi mohly být jednou z důležitých cest jak likvidovat čistírenské kaly bez nadměrné zátěže životního prostředí.

4 Literární zdroje:

Alloway B. J., Jackson A.P., Morgan H., The behavior of heavy metals in sewage sludge amended soils, *Sci. Total Environ.*, Vol. 100, 1991, str. 151-176

Antolin M.C., Pascaul I, Garcia C., Polo A., Sanchez-Diaz M., Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions *Field Crops Res.*, 94 (2005), pp. 224-237

Balík J., Tlustoš P., Száková J., Pavlíková D., Černý J., The accumulation of zinc in oat grown in soils treated by incubated sewage sludge with peat and straw, *Rostliná výroba*, 48, 2002 (12): 548–555

Balík J., Tlustoš P., Pavlíková D., Száková J., Kaewrahn S., Balíková M., Cadmium Sorption in soils treated by anaerobically composted sewage sludge, *Katedra agrochemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Agrokrom*, 2001 str. 245- 251

Barbarika A., Sikora J., Colacicco D., Factors Affecting the Mineralization of Nitrogen in Sewage Sludge Applied to Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 1984 Vol. 49 No. 6, p. 1403-1406

Bernal M. P., Navarro A. F., Sánchez-Moderero M. A., Roig A., Cagerra J., Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 30, Issue 3, 1998, str. 305-313

Bridle T., Mantele S.S., (2003): Experience and lessons learned from sewage sludge pyrolysis in Australia. IWA International Specialist Conf. BIOSOLIDS 2003 – Wastewater Sludge as a Resource, NTNU Trondheim, Norsko 23.-25. June 2003

Dohányos M., Zábranská J., Jeníček P., Fialka P., Kajan M., Anaerobní čistírenské technologie. 1. vyd, NOEL 2000 s.r.o., Brno 1998, 345 str., ISBN 80-86020-19-3

Hattori H, Microbial activities in soil amended with sewage sludges, *Soil Science*, Vol. 34, 1988, str. 221-232

Hubálek T., Rodová A., Kompostování kalů z ČOV a využití kompostů pro bioremediace, 13. listopadu 2007, dostupné na http://www.soveko.cz/web/print_1/art_22105/lay_3/kompostovani-kalu-z-cov-a-vyuziti-kompostu-pro-bioremediace.aspx

Kotovicová J. a Vaverková M., Výzkum možnosti využití kalů z čistíren odpadních vod na plantážích rychle rostoucích dřevin, *Acta and Enviromentalica Universitatis Comenianae*, Vol. 20, 1(2012), str. 29-37 ISSN 1335-0285

Nakasaki K., Shoda M., Kubota H., Effect of Temperature on Composting of Sewage Sludge, *Applied and Enviromental Microbiology*, 1985, Vol. 50, NO. 6, str. 1526- 1530

Pascual I., Avilés M., Aguirreolea J. and Sánchez-Díaz M., Effect of sanitized and non-sanitized sewage sludge on soil microbial community and the physiology of pepper plants, *Plant Soil* (2008) 310:41–53

Száková J., Tlustoš P., Balík J., Pavlíková D., Balíková M., Použití sekvenčního extrakčního postupu pro posouzení vlivu přídatku upraveného čistírenského kalu na vliv Cd a Zn v půdě. *Chem. Listy* 2001, 95, 645 - 648

Vácha R., Horváthová V., Vysloužilová M. a Čechmánková J., (Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague, Czech Republic):, Problém perzistentních organických polutantů v čistírenských kalech určených k přímé aplikaci na půdu, *Problem of Persistent Organic Pollutants in Sludge for Application in Agricultural Soil*, *Chem. Listy* (2007), vol. 101, str. 811–815 (2007)

Vaněk V., Kolář L., Pavlíková, D.: Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2

Warman P.R., Termeer W. C., Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and N, P and K content of crops and soils, *Bioresource Technology*, Vol. 96, 8, 2005, str. 955-961

Withers P. J. A., Clay S. D., Breeze V. G., Phosphorus Transfer in Runoff Following Application of Fertilizer, Manure, and Sewage Sludge, Publikováno v Journal of Environmental. Qual.30:180–188.

Zemánek P., Burg P., Kollárová M., Marešová K., Plíva P., Biologicky rozložitelné odpady a kompostování, Praha 2010, 113 str., 1. Vydání ISBN 978-80-86884-52-3, kapitola 2: Charakteristika odpadů BRO a jejich bilance str. 9-22.

Zufiaurrea R., Olivara A., Chamorroa P., Nerín*band C., Callizoa A., Speciation of metals in sewage sludge for agricultural uses, Analyst, February 1998, Vol. 123, str. (255–259).

Nerudová M. (1984): Komplexní systém hnojení kaly z čistíren odpadních vod veřejných kanalizací. ÚVTIZ, Praha, 1984, 49 s.

Raclavská Helena, Technologie zpracování a využití kalů z Čov, VŠB-TU Ostrava 2007 str.131,

Radimská I., Termofilní Aerobní Stabilizace Kalu, 5. Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí – Brno 2003

Yahya M. D., Abdulfatai J., Mathematical Modelling and Simulation of Mobility of Heavy Metals in Soil Contaminated With Sewage Sludge, v držení autora

Citované zákony:

Česko, zákon 185, ze dne 15. května 2001, o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In. Sbírka zákonů České republiky, 2001, částka 71, str. 4074-4113, dostupné také z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/\\$file/185-01%20-%20odpady.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/$file/185-01%20-%20odpady.pdf)

Česko, zákon 382, Vyhláška ministerstva životního prostředí, ze dne 17. října 2001 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, In. Sbírka zákonů České republiky, 2001, částka 145, str. 8341- 8354, dostupné také z: www.ukzuz.cz/Uploads/142920-7-Vyhlasaka+c+3822001+Sbpdf.aspx

Česko, zákon 13, Vyhláška Ministerstva životního prostředí, ze dne 29. prosince 1993 kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, In. Sbírka zákonů České republiky, 1994, částka 38, dostupné také z: http://www.kr-karlovarsky.cz/NR/rdonlyres/A6B0CF9D-6BDB-4D83-959D-9C13F6AEDBF7/0/Z_zpf_1994_13.pdf

Interetové zdroje:

Amira S., Hafidia M., Merlinab G., Revel J. C., Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge, [online], Publikováno 24.9.2004, [cit. 2012-03-14] Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653504010653>

Binder D.L. and Sander D.H., Sewage Sludge vs. Nitrogen Fertilizer, [online], publikováno 1996, [cit. 2012-02-16] dostupné z: <http://lancaster.unl.edu/enviro/biosolids/research.shtml>

Černý J., Vaněk V., Martin Kulhánek, Vliv hnojení na výnos a úrodnost půdy [online], 2.10.2007 [cit. 2012-03-25], dostupné na: http://www.agroweb.cz/Vliv-hnojeni-na-vynos-a-urodnost-pudy__s1301x46964.html

Černý J., Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin [online], publikováno 2010, [cit. 2012-04-06], dostupné na: <http://biom.cz/cz/projekty/konference-racionalni-pouziti-hnojiv-2009>

Dohányos M.: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2006-05-09 [cit. 2012-02-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.

Kubík L.: Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV). Biom.cz [online]. 2009-02-09 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov?all_ids=1>. ISSN: 1801-2655.

Kutil J., Dohányos M.: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2005-01-05 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.

Najman M., Najmanová P., Bárta L.: Odvodnění a redukce objemu čistírenských kalů pomocí kořenových systémů. Biom.cz [online]. 2012-01-03 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/odvodneni-a-redukce-objemu-cistirenskych-kalu-pomoci-korenovych-systemu>>. ISSN: 1801-2655.

Prášek J., Těžké kovy a jejich výskyt, mj. v půdách při rekultivačních pracích, Výzkumný ústav rostlinné výroby [online], 2003-01-31 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.phytosanitary.org/projekty/2002/vvf-13-02.pdf>

Switzenbaum M. S., Obstacles in the implementation of anaerobic treatment technology, [online], Publikováno 20.6.1995 [cit. 2012-03-18] Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096085249500093T>

Váňa J.: Využívání odpadů ke hnojení podle legislativy odpadů. Biom.cz [online]. 2004-08-02 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuzivani-odpadu-ke-hnojeni-podle-legislativy-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.

www.eurofert.cz

www.ukzuz.cz

<http://www.kompostarny.cz>

<http://slovník-cizích-slov.abz.cz>

www.ukzuz.cz

<http://www.agroweb.cz>