

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Matěj Elbogen

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

EXTENZIVNÍ METODY ZPRACOVÁNÍ KOMUNÁLNÍCH

ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. TEREZA HNÁTKOVÁ, Ph.D.

BAKALANT: MATĚJ ELBOGEN

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matěj Elbogen

Aplikovaná ekologie

Název práce

Extenzivní metody zpracování komunálních čistírenských kalů

Název anglicky

Extensive methods for processing municipal sewage sludge

Cíle práce

Cílem práce je zhodnotit aplikovatelnost extenzivních metod (kompostování, reed-bed technologie) zpracování komunálních čistírenských kalů pro malé a střední obce (do 1000 EO), včetně analýzy možnosti využití výstupních materiálů (kompost, mineralizovaný kal) těchto technologií při aplikaci na zemědělskou půdu ve vztahu k platné legislativě.

Metodika

Práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část bude shrnovat problematiku zpracování čistírenských kalů s ohledem na jejich environmentální dopad a extenzivní, přírodě blízká, řešení jejich úpravy in-situ pomocí metody kompostování a reed-beds systémů.

Praktická část práce bude na základě pilotních testů, v poloprovozním měřítku, porovnávat kvalitu výstupních materiálů z procesu úpravy kalů kompostováním a s využitím technologie reed-beds systému ve vztahu k platné legislativě a volbě následného využití materiálu.

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

kaly, kompostování, reed-beds systémy, hygienizace, půda

Doporučené zdroje informací

- Dominiak, D., Christensen, M.L., Keiding, K. and Nielsen, P.H. (2011) Sludge Quality Aspects of Full-Scale Reed Bed Drainage. *Water Research*, 45, 6453-6460. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.045>
- Nielsen, S. and Willoughby, N. (2005) Sludge Treatment and Drying Reed Bed Systems in Denmark. *Water and Environment Journal*, 19, 296-305. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.tb00566.x>
- Nielsen, S. (2011) Sludge Treatment Reed Bed Facilities—Organic Load and Operation Problems. *Water Science and Technology*, 63, 942-948. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2011.273>
- Paing, J. and Voisin, J. (2005) Vertical Flow Constructed Wetlands for Municipal Wastewater and Septage Treatment in French Rural Area. *Water Science and Technology*, 51, 145-155.
- Uggetti, E., Ferrer, I., Nielsen, S., Arias, C., Brix, H. and Garcia, J. (2012) Characteristics of Biosolids from Sludge Treatment Wetlands for Agricultural Reuse. *Ecological Engineering*, 40, 210-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.030>
- Vincent, J., Forquet, N., Molle, P. and Wisniewski, C. (2012) Mechanical and Hydraulic Properties of Sludge Deposit on Sludge Drying Reed Beds (SDRBs): Influence of Sludge Characteristics and Loading Rates. *Bioresource Technology*, 116, 161-169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.023>
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Mgr. Michal Šereš

Elektronicky schváleno dne 25. 4. 2017

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2018

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Terezy Hnátkové, Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 23. 4. 2018

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mé vedoucí Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky i čas, který mi věnovala při konzultacích k bakalářské práci. Dále mému konzultantovi Mgr. Michalovi Šerešovi a mé rodině.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením aplikovatelnosti extenzivních metod. Pro účely zkoumání byla sestrojena a provozována jedna řídicí jednotka na funkci reed-bed technologie. Ta se skládala ze dvou vrstev substrátu společně s odvodňovací PVC trubkou, odkud odtékala přebytečná voda. V prvním roce provozu bylo zařízení bez osázení rostlinami. Byly zkoumané tři faktory a to koncentrace těžkých kovů, obsah sušiny a výskyt mikroorganismů. Výsledky z těchto analýz byly porovnávány s platnou legislativou. Koncentrace těžkých kovů, konečný obsah sušiny kalu a výskyt mikroorganismů nepřesáhly limitní hodnoty stanovené vyhláškou pro půdní aplikaci.

KLÍČOVÁ SLOVA:

kaly, kompostování, reed-beds systémy, hygienizace, půda

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with evaluation of the applicability of extensive methods. For the examination, one control unit was built and operated for reed-bed technology. It consisted of two layers of substrate together with a PVC drainage pipe, from which excess water flowed. In the first year of operation, no plants were planted. Three factors have been examined, the concentration of heavy metals, the dry matter content and the presence of microorganisms. The results of the examination were compared with valid legislation. Concentration of heavy metals, the final sludge content of the sludge and the occurrence of microorganisms did not exceed the limit values set out in the Decree for Soil Application.

KEYWORDS:

sludge, composting, reed-bed system, hygienisation, land

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle.....	12
3	Teoretická část	13
3.1	Vznik čistírenského kalu	13
3.2	Druhy čistírenského kalu	13
3.2.1	Primární kal.....	13
3.2.2	Sekundární kal (přebytečný)	13
3.2.3	Chemický kal	13
3.3	Nakládání s kaly v ČR.....	14
3.4	Způsoby zpracování kalu.....	15
3.4.1	Zahušťování kalu	16
3.4.2	Strojní zahušťování	17
3.4.3	Stabilizace kalu	18
3.4.4	Hygienizace kalu	19
3.4.5	Odvodňování kalu	20
3.5	Využití kalu	20
3.5.1	Využití v zemědělství.....	20
3.5.2	Kompostování čistírenských kalů	22
3.6	Přehled legislativy týkající se kalů – jejich zpracování a využití na povrchu terénu	24
3.7	Legislativní povinnosti spojené se zpracováním kalů v technologiích k tomu určených	25
3.8	Popis technologie reed-bed systémů	26
3.9	Hlavní výhody a nevýhody reed-bed technologie	26
4	Praktická část	28
4.1	Metodika práce	28

4.2	Poloprovodní zařízení	29
4.3	Plán odběrů vzorků	30
5	Výsledky reed-bed technologie	32
5.1	Výsledky chemické analýzy	32
5.2	Výsledky naměřené sušiny	33
5.3	Výsledky mikrobiologické analýzy	35
6	Diskuse	36
7	Závěr	38
8	Přehled literatury a použitých zdrojů	40
8.1	Literatura	40
8.2	Internetové zdroje	42
8.3	Legislativní zdroje	43
9	Seznam příloh	45

1 Úvod

Tato bakalářská práce vznikla na základě výzkumného projektu společnosti DEKONTA, a.s. Kalové hospodářství, jeho problematika je neustále řešena a to i například při stavbě malých čistíren odpadních vod. U těch nejmenších čistíren odpadních vod, které vznikají většinou v obcích pro malý počet obyvatel, jsou odborníci nuceni řešit otázku kalového hospodářství. Například při svozu fekálními vozidly, přičemž nejsou vždy schopni využít naplno kapacitu nádrže vozu. Naskytá se efektivní řešení tohoto problému, a to pomocí kalových polí, které jsou nazývány v zahraničí jako „reed-bed“ systémy.

Reed-bed systémy vzniklé pro čištění čistírenského kalu z ČOV jsou již úspěšně používány po dobu dvou desetiletí. (Uggeti et al. 2010) Jejich značnou výhodou je efektivnost, bezpečnost, šetrnost k životnímu prostředí a v neposlední řadě hospodárnost této technologie, která souvisí zejména s nízkou investicí, provozem, údržbou a nízkou spotřebou energií. (De Maeseneer 1997; Nielsen 2003) Hlavní funkcí této technologie je bezpochyby vysoké snížení objemu vody a vznik stabilizovaného kalu. (Burgoon et al. 1997) Takto stabilizovaný kal může být použitý jako organické hnojivo, nebo pro půdní aplikaci. (Nielsen a Willoughby 2005)

Bakalářská práce se soustředí na pomoc pro malé a střední obce (do 1000 EO), u kterých je cílem, v maximální míře zjednodušit a ekonomicky zefektivnit postup úpravy a stabilizace čistírenských kalů. Následně tyto kaly využít např. v zemědělství.

Výsledky této technologie jsou zajištěny pomocí jednoho objektu v nejmenované čistírně odpadních vod, testuje se na jednom kalovém poli bez přístřešku a bez osázení rostlinami. Pokud by kal z reed-bed systému vyhověl legislativním požadavkům dané vyhláškou č. 437/16 Sb. podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, je díky jeho vlastnostem vhodný k využití jako hnojivo na zemědělskou půdu. Jestliže by kal nevyhověl po stránce nezávadnosti, tedy obsahu rizikových látek např. těžkých kovů, výskytu vyššího počtu mikroorganismů a dalších různých faktorů, lze tento kal dále zpracovávat v kompostárnách.

2 Cíle

Cílem práce je zhodnotit aplikovatelnost extenzivních metod (kompostování, reed-bed technologie) zpracování komunálních čistírenských kalů pro malé a střední obce (do 1000 EO), včetně analýzy možnosti využití výstupních materiálů (kompost, mineralizovaný kal) těchto technologií při aplikaci na zemědělskou půdu ve vztahu k platné legislativě.

3 Teoretická část

3.1 Vznik čistírenského kalu

Kal je nevyhnutelným odpadem procesu čištění odpadních vod. Kaly představují suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původně přítomných v odpadních vodách a vzniklých při různých způsobech jejich čištění. V průběhu čištění se všechny tyto látky separují z odpadní vody v různých částech čistírny. Podle toho, kde kal vzniká nebo procesu, ho můžeme označit jako primární, sekundární (přebytečný) nebo chemický. (Groda a Vítěz 2008)

3.2 Druhy čistírenského kalu

3.2.1 Primární kal

Jako primární je označen kal, který vzniká v objektech primární sedimentace, tj. v usazovacích nádržích. Vyznačuje se z pravidla zrnitou strukturou, která je tvořena nerozpuštěnými látkami, které prošly lapákem písku a česlemi. Látky obsažené v primárním kalu nazýváme organické, jsou velmi dobře a rychle rozložitelné. Jejich množství závisí především na obsahu nerozpuštěných látek přivádějících do čistírny odpadních vod a na účinnosti primární sedimentace. (Pytl et al. 2004)

3.2.2 Sekundární kal (přebytečný)

Sekundární neboli přebytečný kal vzniká oddělením z biologického stupně čištění v dosazovacích nádržích. Produkce kalu je podmíněna na technologické konfiguraci čistírenské linky a množství fyzikálních a biochemických faktorů. Mezi tyto faktory řadíme: stáří kalu, teplota vody, účinnost dosazovací nádrže a v neposlední řadě přítomnost primární sedimentace. (Groda a Vítěz 2008)

Sekundární kal nazýváme přebytečný kal, především proto, že část sekundárního kalu je vracena zpět do procesu biologického čištění.

3.2.3 Chemický kal

Chemický kal vzniká jako produkt srážecích reakcí, které jsou využívány většinou ke snížení obsahu fosforu ve vyčištěné vodě. Dále v oddělené upravované kalové vodě nebo ke zlepšení sedimentačních vlastností primárního kalu. (Groda a Vítěz 2008)

3.3 Nakládání s kaly v ČR

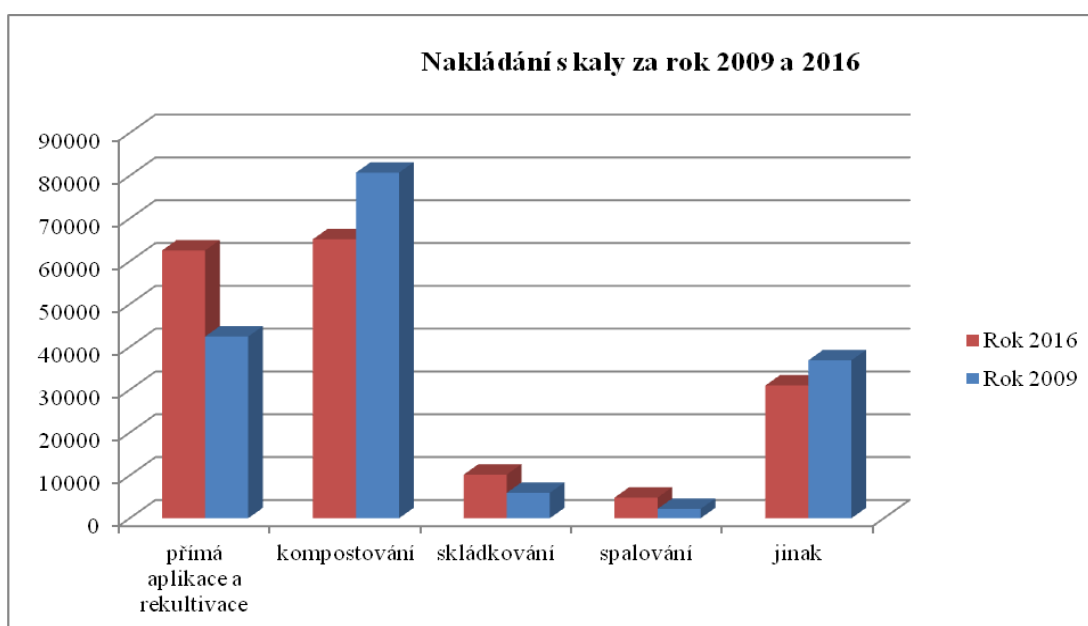
Pro porovnání, jak se nakládání s kaly v České republice měnilo, byly použity nejnovější údaje z Českého statistického úřadu za rok 2016 a za rok 2009.

V České republice bylo v roce 2009, dle výkazu ČSÚ Vodovody a kanalizace, napojeno na kanalizaci 8 529 847 obyvatel, tj. 81,3 % celkového počtu obyvatelstva a z toho 8 000 514 obyvatel bylo napojeno na čistírnu odpadních vod. Ve srovnání s rokem 2009 došlo během roku 2016 k významnému navýšení připojených obyvatel. Dle výkazu ČSÚ bylo za rok 2016 napojeno na kanalizaci 8 944 402 obyvatel, tj. 84,7 % celkového počtu obyvatelstva a z toho 8 584 513 obyvatel na čistírnu odpadních vod.

Co se týče produkce kalu z čistíren odpadních vod, v České republice se za rok 2009 vyprodukovalo 168 164 tun sušiny kalu. Z toho bylo 42 442 tun použito k přímé aplikaci a rekultivaci, 80 727 tun na kompostování, 5 931 tun na skládkování, 2 179 tun na spalování a 36 885 tun na jiné účely.

Pro srovnání, během roku 2016 se vyprodukovalo 173 709 tun sušiny kalu. Z toho bylo 62 551 tun použito k přímé aplikaci a rekultivaci, 65 163 tun na kompostování, 10 183 tun na skládkování, 4 814 tun na spalování a 30 998 tun na jiné účely. (Český statistický úřad ©2010; Český statistický úřad ©2017)

Obrázek 1: Nakládání s kaly za rok 2009 a 2016



Zdroj: Vlastní zpracování

Z následujícího grafu lze vyčíst, že v roce 2016, se oproti roku 2009 ve velké míře snížilo nakládání s kaly v rámci kompostování i nakládání jiným způsobem. Dále se ve srovnání s rokem 2009, dle Českého statistického úřadu, rozšířil způsob využití kalů pro přímou aplikaci a rekultivaci. Dalším důležitým poznatkem je, že se téměř přes 50 % zvýšil způsob využívání kalů spalováním a navýšil se i způsob využití skládkováním.

3.4 Způsoby zpracování kalu

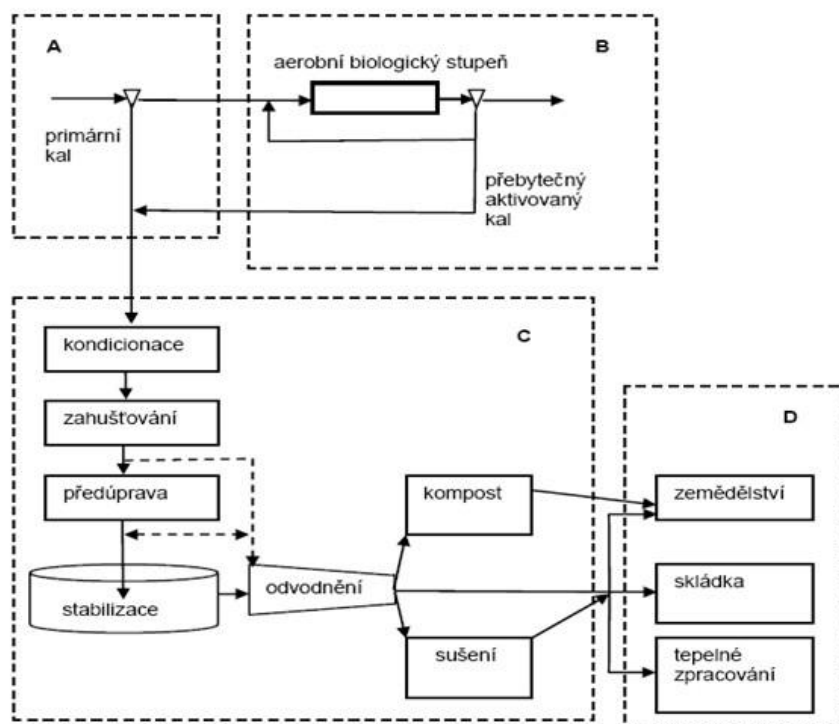
V minulých letech bylo kalové hospodářství velice opomíjeno. Dnes tomu tak není, pozornost je zaměřena především na oblast spoření nákladů při zpracování kalů a posléze jeho odstranění.

K hlavním cílům zpracování kalu patří redukce objemu, redukce zápachu a možnost dalšího využití. To zahrnuje sled technologických procesů (viz. obrázek 2), které jsou v souladu s platnou legislativou a zajišťují plnění kritérií umožňující použití kalů např. v zemědělství nebo v jiné oblasti, kde je kal využíván jako surovina.

Mezi technologické zpracování kalu řadíme tyto procesy:

- Zahušťování
- Stabilizace
- Hygienizace
- Odvodňování

Obrázek 2: Schéma tvorby a zpracování čistírenského kalu. Dle (Černý 2010)



A - primární (mechanické) čištění odpadních vod, separace suspendovaných látek; B - biologické aerobní čištění s recyklem aktivovaného kalu a odvodem přebytečného aktivovaného kalu; C - operace úpravy a stabilizace kalu; D - způsoby využití a likvidace kalu

3.4.1 Zahušťování kalu

Zahušťování kalu je první technologický proces, který má velký vliv především na snížení investičních nákladů pro následné zpracování.

Cílem tohoto procesu je snížení objemového množství kalu. Z kalové suspenze je odstraněna část vody, čímž se zvýší koncentrace obsahu tuhých částic. Na konci zahuštění je vhodné, aby měl kal tekutou konzistenci a optimální hodnotu obsahu sušiny mezi 5-6 %. (Hlavínek et al. 2003)

Pro zahuštění lze použít metodu gravitační, flotační či strojní. (Slaviček a Slavičková 2013)

3.4.1.1 Gravitační zahušťování

Gravitační zahušťování se uplatňuje u čistíren odpadních vod s primární sedimentací. Kal se pomocí gravitace zahušťuje v kalových prohlubních usazovacích nádržích.

Obvykle je zahušťovací nádrž kruhového tvaru. Při dosahování optimální hodnoty se musí přihlížet ke specifickým vlastnostem kalu a v neposlední řadě k technické vybavenosti provozu ČOV. Optimální hodnoty obsahu sušiny u primárního kalu se pohybují mezi 3,5- 4,5 %. (Groda a Vítěz 2008)

3.4.1.2 Flotace

Jedná se o proces oddělování suspendovaných částic z vody pomocí plynu. Do kalové suspenze je přidáván plyn. Nejčastěji využívaným plynem je vzduch, jeho použití má za následek vytvoření mikrobublinek. Ty jsou nabalovány kalovými částicemi a posléze vznášeny k hladině, kde tvoří zahuštěnou plovací vrstvu tzv. float. Takto vzniklý vyflotovaný kal, má povahu husté pěny, která je z hladin stírána. Flotaci lze rozdělit na tlakovou a volnou. Nejvíce používaná v praxi je flotace tlaková. Využívá se k zahuštění přebytečného aktivovaného kalu. (Hlavínek et al. 2003)

3.4.2 Strojní zahušťování

3.4.2.1 Zahušťovací odstředivky

V zahušťovací odstředivce je využívána odstředivá síla. Pro představu je tato síla zhruba 2 000 krát větší než je gravitace. Má několik výhod, ale zároveň i nevýhod. Mezi výhody se řadí malé nároky na prostor, hygiena prostředí a nižší spotřeba provozní vody. Další významnou výhodou jsou dobré zahušťovací parametry. Lze použít pouze malou dávku fukulantu, nebo nemusí být použit vůbec. Doporučená dávka je však 1 g fukulantu na 1 kg sušiny. Optimální hodnota sušiny kalu po zahuštění je 4-6 %. Mezi nevýhody zahušťování odstředivky patří její hlučnost, pořizovací cena a velká spotřeba energie. (Hlavínek et al. 2003)

3.4.2.2 Sítové zahušťovače

Mezi sítové zahušťovače řadíme rotační, pásové, šnekové a šterbinové zahušťovače. Hlavní funkce těchto zařízení spočívá v přivádění kalu přes síto s přidáním flokulantů. Dávka flokulantů je výrazně vyšší než u odstředivek přibližně 4-6 g.kg⁻¹, ale záleží na druhu kalu, typu flokulantu a také průběhu koagulace přes filtraci. Filtrace pracuje přerušovaně, v určité době pere – čistí síta. Nevýhodou těchto mechanismů je, že potřebují velké množství kvalitní prací vody. (Hlavínek et

al. 2003) Mezi výhody zařízení lze zařadit nenáročnost na obsluhu, snadnou údržbu a v neposlední řadě nenáročnost na plochu. (Malý et al. 1996)

3.4.3 Stabilizace kalu

Při skladování hnilobných kalů se biologicky rozkládají přítomné organické látky, které mohou být z hygienického hlediska škodlivé. Proto je zapotřebí tyto kaly stabilizovat. Stabilizace kalu je vlastně destrukce jeho mikrobiální, lehce přístupné organické složky. Výsledným produktem je nezapáchající, hygienicky nezávadný kal, který je možný jednoduše odvodnit. V provozní praxi se nejčastěji uskutečňuje fermentace kalu za aerobních, anaerobních či chemických podmínek. (Chmielewska 2004)

Druhy stabilizace:

- aerobní
- anaerobní
- chemická

Nejpoužívanějším způsobem stabilizace je vyhnívání-anaerobní stabilizace. Mikroorganismy rozkládají organické látky obsažené v surovém kalu za vzniku uvolňovaného bioplynu. Nádrže, v nichž metanizace probíhá, jsou vyhřívány na teplotu 27-45° C. Méně často se používá tzv. termofilní vyhnívání (45-60° C) kdy se urychluje proces vyhnívání a tím i doba a efektivnost stabilizace. Teplo je do nádrže dodáváno formou teplé páry nebo vody ve vyhříváných tělesech uvnitř nádrže, jsou přiváděny tepelnými výměníky zvenčí nebo přímým přívodem páry do nádrže nebo kalu. Míchání je zajištěno mechanickými míchadly, čerpadly a bioplynem. V současnosti se využívají dva způsoby výroby metanu – nízkozátěžová a vysocezátežová stabilizace. (Vesilind 2003) Tento způsob stabilizace patří mezi nejpoužívanější, avšak je nutné zmínit i jeho nevýhodu, tou jsou vysoké investiční náklady. (Pošta 2005)

Při vysocezátežové aktivaci jsou potřeba dvě nádrže, přičemž v první probíhá samotné vyhnívání. V druhé, se kal uskladňuje, zde postupně dochází k dokončení stabilizace a kal se odděluje od kalové vody, která se vrací zpět na začátek mechanického stupně. Oddělený kal je nutné před vývozem odvodnit. Plyn, který se uvolní při vyhnívání, putuje do zásobníku-plynojemu, který slouží

pro vyrovnávání objemu mezi jeho výrobou a spotřebou. (Slavíček a Slavičková 2006)

Při nízkozátěžové aktivaci probíhá aerobní biologická stabilizace, kdy biologicky rozložitelná organická hmota surového kalu oxiduje na CO₂ a H₂O prostřednictvím mikroorganismů. Chemická stabilizace je založena na jednoduché technologii, která spočívá v přidání zásady (Oxidu nebo hydroxidu vápenatého) do odvodněného kalu, přičemž dochází k alkalizaci na pH 12 a exotermní reakce vápna s vodou. Tak vysoké pH způsobí usmrcení patogenů, ale organická hmota zůstane nevyhnilá. Dlouhodobějším skladováním poklesne pH a organická hmota se začne rozkládat mikrobiálními procesy. (Slavíček a Slavičková 2006)

3.4.4 Hygienizace kalu

Hygienizace čistírenských kalů je nezbytným technologickým procesem, který umožňuje jejich využití na zemědělské účely jako součást hnojiva nebo přímou aplikací do zemědělské půdy. Zemědělské využití čistírenských kalů je totiž přirozeným zakončením koloběhu živin. Pokud nejsou čistírenské kaly zatíženy nepřiměřeným obsahem těžkých kovů z lidské činnosti, pak jsou jen hygienická kritéria limitujícím faktorem jejich využitelnosti v zemědělství. Kaly z ČOV představují suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek, které jsou z části původem z čištění odpadních vod a z části vznikají při procesu čištění, v závislosti na použité technologii.

Z mikrobiologického hlediska jsou v surovém a částečně i ve stabilizovaném kalu přítomné, kromě jiných i následující skupiny mikroorganismů:

- Bakterie (psychrofilní, mezofilní a termofilní)
- Viry (enteroviry)
- Nižší houby (plísňe, kvasinky), jejich spory a toxiny
- Nižší živočichové (červi, roztoči) a jejich vajíčka.

V současné době se jako potenciálně patogeny sledují především následující skupiny mikroorganismů:

- Termotolerantní koliformní bakterie
- Enterokoky
- *Salmonella* sp.

- Vajíčka helmintů a enteroviry

V praxi se zatím jako indikátory hygienických vlastností čistírenských kalů sledují zejména následující skupiny mikroorganismů: Termotolerantné koliformní bakterie, Enterokoky a *Salmonella* sp. (Groda a Vítěz 2008)

3.4.5 Odvodňování kalu

Odvodňování čistírenského kalu je mechanická technologická operace, při které se kal zbavuje vody. Odstranění vody je energeticky řádově výhodnější než odstranění termické. Z toho plynou i ekonomické výhody. Hlavním kritériem pro odvodnění kalu je množství organických látek v něm obsažených. V kalové vodě, která se získá odvodněním anaerobního stabilizovaného kalu je vysoká koncentrace amoniakálního dusíku (u splaškových kalů až 1500 mg/l), která je nevýhodou této metody. (Kutil a Dohányos 2005)

Získaný kal se vyznačuje pevnou konzistencí, se kterou lze nakládat jako se zeminou, obsah sušiny je okolo 20-50 %. Odvodnění lze provádět několika způsoby a to přirozeně nebo mechanicky. (Hubáčiková 2015) Přirozené odvodnění kalu lze provádět na kalových polích či lagunách. Zatímco strojní odvodnění se provádí pouze na určitém zařízení, kterým jsou např. kalolisy, pásové lisy, dekantační odstředivky, vakuové a tlakové filtry. (Dzianik a Chriaštel 2011)

3.5 Využití kalu

Možnosti využití kalů upravuje platná legislativa. (Stupavský 2008) Mezi tyto možnosti patří: Zemědělství, kompostování, rekultivace, spalování a skládkování.

3.5.1 Využití v zemědělství

„Předpokladem pro využívání čistírenských kalů v zemědělství je jejich nezávadnost, a to z hlediska vnosu cizorodých látek do půdy (organické látky apod.) a z hlediska hygienického možnosti mikrobiologické kontaminace půdy – vnosem zárodků patogenních mikroorganismů. Vzhledem k tomu, že přítomnosti toxických látek (těžkých kovů) v kalech lze do značné míry zabránit zásahem již u producenta tohoto znečištění, stává se nejdůležitějším kritériem pro aplikaci kalů v zemědělství jejich hygienické zabezpečení.“ (Dohányos 2006)

Podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě jsou dány novou vyhláškou č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

Podmínky:

- U kalů, které mohou být použity na zemědělskou půdu, nesmí dojít u žádného ze vzorku k překročení mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek uvedených v tabulce 1.
- Nepřekračují mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků uvedené v tabulce 2 a zároveň vyhovují mikrobiologickým kritériím uvedeným v tabulce 3.

Tabulka 1: Mezní hodnoty koncentrací prvků v extraktu lučavkou královskou v mg.kg⁻¹ sušiny v půdě

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Be	Co	V	PCB	PAU
Běžné půdy	20	0,5	90	60	0,3	50	60	120	2	30	130	0,02	1,0
Lehké půdy	15	0,4	55	45	0,3	45	55	105	1,5	20	120	0,02	1,0

Zdroj: vyhláška č. 437/2016 Sb.

Tabulka 2: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů)

Riziková látka	Mezní (maximální) hodnoty koncentraci v kalech (mg.kg ⁻¹) sušiny
As - arzén	30
Cd - kadmium	5
Cr - chrom	200
Cu - měď	500
Hg - rtuť	4
Ni - nikl	100
Pb - olovo	200
Zn - zinek	2500
AOX	500
PCB	0,6
PAU	10

Zdroj: vyhláška č. 437/2016 Sb.

Tabulka 3: Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě

Indikátorový mikroorganismus	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu	Limitní hodnota (nález/ KTJ*)	
<i>Salmonella</i> spp.	Nález v 50 g	5	negativní	
Escherichia coli nebo enterokoky	KTJ* v 1 gramu	5	4	$< 10^3$
			1	$< 5 \cdot 10^3$

Zdroj: vyhláška č. 437/2016 Sb.

3.5.2 Kompostování čistírenských kalů

Kompostování je další možností využití čistírenských kalů. Ohrožujícím faktorem tohoto způsobu je výskyt těžkých kovů, které jsou pro kompostování nežádoucí. Mezi další nežádoucí prvky řadíme Fe (železo) a Al (hliník). Ke kompostování se používá stabilizovaný kal, jež prošel anaerobním procesem, ze kterého se při tomto procesu odvodní na 35 % a smíchá se s organickým materiálem. Mezi vhodný organický materiál patří např. dřevinná štěpka v poměru 3:1 (3 díly štěpky a 1 díl kalu). Kladen je důraz na velikosti štěpky, optimální délka je minimálně 25 mm. To zajistí, aby v kompostované hromadě docházelo k přívodu vzduchu částicím kalu. Posléze následuje aerobní fáze. Vyhláška stanovuje dvě různé délky kompostování při různých teplotách. První teplota je $> 55^\circ \text{C}$ s dobou zrání 21 dní, druhá teplota je $> 65^\circ \text{C}$ při době zrání 5 dní. Tyto teploty zaručí destrukci patogenních mikroorganismů. (Dzianik a Chriaštel 2011)

Pro rozvoj mikroorganismů je nutné vytvořit optimální podmínky, které spočívají především ve správném poměru uhlíku a dusíku (C:N) a zároveň ve vhodné skladbě čerstvého kompostu. V čerstvém kompostu by měl být poměr C:N v rozmezí 30-35:1 a ve zralém kompostu 25-30:1. Pokud se nedodrží správný poměr C:N a bude příliš široký, dojde k prodloužení zrání kompostu. Naopak při příliš úzkém poměru, klesá produktivita tvorby humusových látek. (Váňa 2002)

Obrázek 3: Provdzušňování kompostu (Lyčková et al. 2008)



Technologické požadavky na proces kompostování:

- Kompostárny podléhají stavebnímu povolení či územnímu souhlasu dle zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).
- Nezbytným vybavením kompostáren je:
 - a) zařízení ke sledování teploty,
 - b) zařízení pro zvlhčování,
 - c) zařízení pro provzdušňování, překopávání.
- Pro kompostování bioodpadů s očekávaným hygienizovaným výstupem, podle technologie používané v zařízení, musí být dodrženy teploty uvedené v tabulce 4, přičemž teplota kompostových zakládek vyšších než 2 m se měří ve středu zakládky v minimální hloubce 1 m od povrchu zakládky. Teplota nižších kompostových zakládek se měří ve středu zakládky v minimální hloubce 0,5 m od povrchu zakládky.
- Minimální doba procesu po provedené homogenizaci je 60 dnů. Při kompostování v uzavřených prostorách je možná i doba kratší, v případě zpracování pouze rostlinných tkání nebo je-li výrobcem zařízení stanovena minimální doba zpracování jinak.
- Při kompostování kalů z komunálních ČOV musí být ověřena účinnost hygieničce. Při kompostování vstupů do zařízení vyžadujících zvláštní způsoby nakládání (např. kaly z čištění komunálních vod), je účinnost hygienizace v zařízení, v tomto případě, potvrzena ověřením vnesenými organismy.

- Při procesu kompostování je pro expedici kompostu přípustná teplota nižší než 40° C.
- V průběhu celého procesu kompostování je nutné důsledně dodržovat opatření, která jsou stanovená k dodržení požadavků i jiných právních předpisů, zejména ve vztahu k ochraně podzemních a povrchových vod, ochraně zdraví a pro omezení znečišťování okolního prostředí zápachem (nesmí dojít k překročení přípustné míry obtěžování zápachem).

Tabulka 4: Teplotní režimy při hygienizaci kompostováním

Technologie	Vstupy	Teplota, doba
Kompostování	Odpady ze zahrad a zeleně, zbytková biomasa ze zemědělství	≥45°C, 10 dní
Kompostování	Biologicky rozložitelné odpady (např. kaly z ČOV)	≥55°C, 21 dní ≥65 °C, 5 dní
Kompostování v uzavřených prostorách	Biologicky rozložitelné odpady (např. kaly z ČOV)	≥65 °C, 5 dní

Zdroj: vyhláška č. 341/2008 Sb.

3.6 Přehled legislativy týkající se kalů – jejich zpracování a využití na povrchu terénu

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

- Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů
- Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky 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. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky 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

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

- Vyhláška č. 273/1988 Sb., o odběrech a chemických rozborech vzorků hnojiv

- Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva
- Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv

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

- Vyhláška č. 450/2005 Sb., o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu, způsobu a rozsahu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků
- Nařízení vlády 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu
- Nařízení vlády 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

3.7 Legislativní povinnosti spojené se zpracováním kalů v technologiích k tomu určených

Legislativa umožňuje pouze dva způsoby, jak mohou být reed-bed systémy případně kompostárny a používány k úpravě kalů z čistíren odpadních vod (ČOV). Prvním z nich je využití technologie přímo na ČOV jako součást kalového hospodářství ČOV. Druhá možnost je mít technologii schválenou krajským úřadem jako zařízení pro využívání, odstraňování sběr nebo výkup odpadů dle zákona 185/2001 Sb., o odpadech.

Pokud bude technologie využívána jako součást kalového hospodářství v ČOV, nemusí být zařízením pro využívání, odstraňování, sběr nebo výkup odpadů dle zákona 185/2001 Sb., o odpadech. V tomto případě musí být technologie využívána pouze v rámci uzavřeného systému ČOV jako součást technologie čištění odpadních vod. ČOV tedy může zpracovávat pouze vlastní kaly a do technologie nesmí vstupovat kaly z jiných subjektů.

Pokud by reed-bed systémy nebo kompostárny byly používány mimo ČOV, nebo by do těchto technologií byly přebírány kaly i od jiných subjektů, musela by být technologie schválena krajským úřadem jakožto zařízení pro využívání, odstraňování sběr nebo výkup odpadů dle § 14 odst. 1 zákona 185/2001 Sb., o odpadech.

3.8 Popis technologie reed-bed systémů

V komunálních čistírnách odpadních vod vzniká velké množství kalu, který lze díky vysokému obsahu organických látek a živin dále využívat např. v zemědělství. Surový kal, který vychází z ČOV často nemá požadovanou konzistenci a navíc může obsahovat patogenní mikroorganismy. Proto ho bez úpravy nelze aplikovat na zemědělskou půdu.

Technologie reed-bed systémů je technologie na odvodnění a redukcii objemu čistírenského kalu. Technologie je vhodná pro zpracování kalů z ČOV do 500 EO. Podstatou technologie je odvádění přebytečného stabilizovaného čistírenského kalu do speciálních mělkých aerovaných nádrží s porostem rákosu, ve kterých dochází k zachycení pevných částic a jejich mineralizaci doprovázené tvorbou humusu. Kal je dávkován do rákosových nádrží, kterých je v provozu vždy více. Kal je do nich dávkován střídavě. Počítá se s cyklem plnění nádrže po dobu 8 – 10 let. Poté je vzniklá hmota z nádrže vytěžena. Výstupem je kvalitní humusovitá půda s obsahem sušiny 30–40 %. Přestože je tato technologie vhodná spíše k odvodnění a redukcii objemu kalu než ke konečnému zpracování kalů pro použití v zemědělství, obsah patogenních mikroorganismů je v takto zpracovaném kalu stejně nízký jako v kalu zpracovaném kompostováním. Výsledný materiál je tedy dále využitelný v zemědělství, nebo jako substrát pro další zpracování např. v kompostárnách.

Pokud upravené kaly z reed-bed systémů nebudou splňovat legislativní požadavky pro ukládání na zemědělskou půdu (více v kapitole 5.1), mohou být dále zpracovávány v kompostárnách. Kompostárnami a procesem kompostování se blíže zabývá vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.

3.9 Hlavní výhody a nevýhody reed-bed technologie

Uggeti et al. (2012) uvádějí základní výhody a nevýhody reed-bed technologie.

Hlavní výhody:

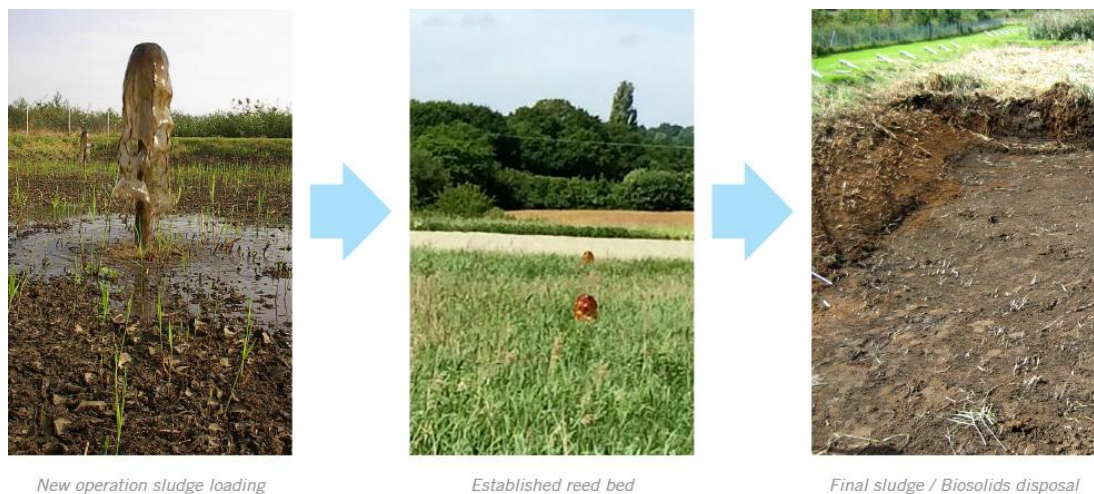
- Nízká energetická náročnost systému
- Výrazně nižší nároky na provoz a obsluhu
- Jde o jednoduchý systém, tudíž menší náchylnost k haváriím

- Minimální údržba
- Z technologie nevzniká hluk ani zápach
- Nevyžadují přidání chemikálií
- Snižuje obsah vody

Hlavní nevýhody:

- Poměrně vysoká náročnost na plochu
- Možnost zamrznutí v zimě
- Nízká efektivnost odstraňování fosforu a dusíku
- Složitější analýza případných problémů

Obrázek 4: Cyklus reed-bed technologie. (The water & carbon group ©2007)



Obrázek 4 popisuje tři základní cykly reed-bed technologie. První obrázek zobrazuje prvotní aplikaci kalu do zařízení. Poté začíná růst rákos a poslední část cyklu zahrnuje vyzvednutí konečného kalu ze zařízení. Tento cyklus se může opakovat.

4 Praktická část

4.1 Metodika práce

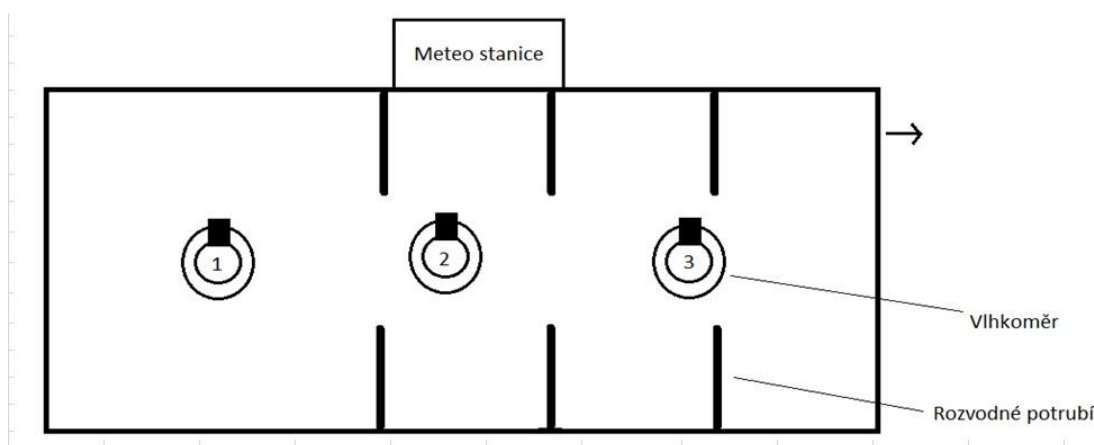
Pro účinnosti REED-BED systému v podmínkách České republiky, byla sestavena poloprovozní jednotka reed-bed systému, která byla instalována na čistírně v prvním roce provozu, bez osázení vegetací. Doba nakládky a sledování kalů byla 6 měsíců a byla provedena od srpna 3. 8. 2017 do ledna 31. 1. 2018.

Poloprovozní jednotka je sestrojena jako malý mobilní kontejner o parametrech: délka= 4,28 m, šířka= 2,3 m, výška= 1,2 m a užitný objem= 11,8 m³. Souhrn těchto parametrů je uveden v tabulce 5. Dno se skládá ze dvou vrstev substrátu a odvodňovací PVC trubky, ze které odtéká drenážním systémem přebytečná voda. Pro zajištění bezproblémového odtoku vody je dno kontejneru svahováno – sklonem 1,7°. Na spodní drenáž je použit jemný štěrk o výšce 0,2 m, nad ním je rozprostřen hrubší štěrk o výšce 0,1 m. Z toho plyne užitný objem 8,9 m³, využitelný pro akumulaci a odvodňování kalu. Jednotka není zakrytá žádným přístřeškem, je tedy ponechána působení deště, větru a dalším vlivům. Poloprovozní jednotka je vybavena meteostanicí, která sumarizuje data o srážkách a teplotách na lokalitě, tyto data umožní zpřesnit interpretace výsledků. Meteostanice se skládá ze třech vlhkoměrů (viz. obrázek 5), ze kterých dokážeme vyčíst údaje o teplotě vzduchu, teplotě půdy, množství srážek, vlhkosti vzduchu a vlhkosti půdy na všech třech vlhkoměrech.

Samotný kal je napouštěn pomocí hasičské hadice o průměru 52 mm. Výška jednotlivé dávky kalu je 10 cm. Kal byl aplikován každý sedmý den, se šesti dny odpočívajícími mezi aplikacemi, jak navrhuje Koottatep (2002). Vzorky kalu byly odebírány na třech místech, kde jsme měli uložené vlhkoměry. S cílem získat reprezentativní vzorek kalu, byl každý vzorek odebírán z minimálně dvou různě umístěných bodů. Poté, byl v laboratoři stanoven obsah sušiny v kalu. Obsah sušiny se stanovil tak, že se petriho miska zvažila, před přidáním surového kalu. Následně se přidal surový dosud nevysušený kal o určité hmotnosti. Takto připravené vzorky se vložily do sušárny, po dobu dvou hodin při 105° C. Po dvou hodinách byl vzorek ze sušárny vyndán a znovu zvážen, porovnání výsledků určilo rozdíl hmotnosti.

Finální obsah sušiny se poté dopočítal trojčlenkou. To bylo provedeno pro každý vzorek z jednotlivých profilů, které byly námi v zařízení zvoleny. Dále byl každý třetí týden proveden odběr vzorku pro mikrobiální analýzu a analýzu obsahu rizikových látek. Tyto vzorky byly odebrány do sterilních vzorkovnic, aby nemohlo dojít ke kontaminaci. Sledovány byly parametry: *Salmonella*, termotolerantní koliformní bakterie, enterokoky, těžké kovy, spalitelné látky v sušině vzorky. V analýze rizikových látek byly zkoumány zejména tyto těžké kovy: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn. Výsledky analýz byly porovnány s legislativními požadavky pro aplikaci kalů na zemědělskou půdu. Analýzy byly prováděny dle SOP společnosti Dekonta, a.s.

Obrázek 5: Náčrt poloprovozního zařízení



Zdroj: Vlastní zpracování

4.2 Poloprovozní zařízení

Poloprovozní jednotka byla instalována na čistírně v prvním roce provozu bez osázení vegetací. Doba nakládky a sledování kalů byla 6 měsíců, provedena byla od srpna 3. 8. 2017 do ledna 31. 1. 2018.

Poloprovozní jednotka je sestrojena jako malý mobilní kontejner o parametrech: délka= 4,28 m, šířka= 2,3 m, výška= 1,2 m a užitný objem= 11,8 m³. Dno se skládá ze dvou vrstev substrátu a odvodňovací PVC trubky, ze které odtéká drenážním systémem přebytečná voda. Pro zajištění bezproblémového odtoku vody je dno kontejneru svahováno-sklonem 1,7°. Na spodní drenáž je použit jemný štěrk o výšce 0,2 m, nad ním je rozprostřen hrubší štěrk o výšce 0,1 m. Z toho plyne užitný objem 8,9 m³, využitelný pro akumulaci a odvodňování kalu. Jednotka není zakrytá

žádným přístřeškem, tudíž je ponechána působení deště, větru a dalším vlivům. Poloprovozní jednotka je vybavena meteostanicí, která sumarizuje data o srážkách a teplotách na lokalitě, tyto data umožňují zpřesnit interpretaci výsledků. Meteostanice se skládá ze třech vlhkoměrů, ze kterých dokážeme vyčíst údaje o teplotě vzduchu, teplotě půdy, množství srážek, vlhkosti vzduchu a vlhkosti půdy na všech třech vlhkoměrech.

Tabulka 5: Parametry poloprovozního zařízení

Délka	4,28	m
Šířka	2,3	m
Výška	1,2	m
Užitná výška	0,9	m
Objem	11,8	m ³
Objem filtru	3,0	m ³
Užitný objem	8,9	m ³
Sklon	1,7	°

Zdroj: Vlastní zpracování

Tato tabulka 5 obsahuje přehledné parametry poloprovozního zařízení uloženého na čistírně odpadních vod.

Tabulka 6: Přehled filtračních vrstev v poloprovozním zařízení

Kamenivo 8-16 mm	0,2	m
Kamenivo 8-16 mm	1,97	m ³
Kamenivo 4-8 mm	0,1	m
Kamenivo 4-8 mm	1,0	m ³
Celkem	0,3	m
Celkem	3,0	m ³

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro přehlednější představu, z jakých částí a vrstev se skládá zařízení reed-bed technologie byla vytvořena tabulka 6.

4.3 Plán odběrů vzorků

Odběry byly prováděny každý sedmý den, aby byl dodržen šesti denní vegetační klid. Odběr probíhal každou středu v 8 hodin ráno od srpna 3. 8. 2017 do února 31. 1. 2018. Avšak vyskytly se i důvody, kdy odběr nebyl možný. Mezi ně patří nepříznivé počasí, kdy se vzorky nemohly odebrat, nefunkčnost zařízení na přívod kalu

do zařízení nebo z důvodu velkých mrazů. Vzorke kalu byly odebírány do sterilních vzorkovnic na třech místech, kde se nacházely uložené vlhkoměry. S cílem získat reprezentativní vzorek kalu, byl každý vzorek odebírán z minimálně dvou různě umístěných bodů.

5 Výsledky reed-bed technologie

5.1 Výsledky chemické analýzy

Tabulka 7: Hodnoty těžkých kovů po analýze

Těžké kovy	Datum odběrů vzorků						
	3. 8. 2017	31. 8. 2017	28. 9. 2017	25. 10. 2017	22. 11. 2017	3. 1. 2018	31. 1. 2018
	Hodnoty koncentrací v kalech (mg.kg-1) sušiny						
As (kal)	7,59	2,05	-	4,77	-	-	-
As (Pmix)	-	7,32	9,12	7,23	8,24	5,69	11,40
Cd (kal)	2,01	0,36	-	1,39	-	-	-
Cd (Pmix)	-	1,00	0,53	2,27	0,47	0,32	0,62
Cr (Kal)	33,00	12,40	-	21,50	-	-	-
Cr (Pmix)	-	36,70	39,30	29,70	33,30	23,30	47,40
Cu (kal)	96,10	39,70	-	125,00	-	-	-
Cu (Pmix)	-	103,00	104,00	96,00	105,00	67,30	133,00
Hg (kal)	1,26	0,09	-	0,27	-	-	-
Hg (Pmix)	-	0,30	0,56	0,22	0,25	1,19	0,39
Ni (kal)	23,20	7,27	-	14,70	-	-	-
Ni (Pmix)	-	20,70	24,60	18,60	19,20	14,70	23,50
Pb (kal)	24,00	7,66	-	17,00	-	-	-
Pb (Pmix)	-	23,50	27,10	21,10	30,80	20,80	46,20
Zn (kal)	476,00	163,00	-	343,00	-	-	-
Zn (Pmix)	-	498,00	496,00	452,00	445,00	290,00	621,00

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro větší přehlednost byla vytvořena tabulka 7. Zde jsou zaznamenána jednotlivá data sesbíraná od 3. 8. 2017 do 31. 1. 2018. Tabulka obsahuje koncentraci těžkých kovů, které se vyskytovaly v přiváděném kalu či odleženém kalu z reed-bed systému. K nejvyšším dosaženým hodnotám dosahovaly prvky Zn, Cu, Pb, Cr.

Prvek (kal): Hodnoty se získávaly z přiváděného kalu do poloprovozního zařízení.

Prvek (Pmix): Hodnoty se získávaly z reprezentativního vzorku kalu.

(-): Vzorky se neodebíraly, vyskytly se problémy spjaté s nepříznivým počasím, nefunkčnost zařízení na přívod kalu do zařízení nebo z důvodu velkých mrazů.

Tabulka 8: Porovnání s limitujícími hodnoty z legislativy

Statistické vyhodnocení	Těžké kovy (mg.kg ⁻¹ sušiny)							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Minimální hodnota	2,05	0,32	12,40	39,70	0,09	7,27	7,66	163,00
Maximální hodnota	11,40	2,27	47,40	133,00	1,26	24,60	46,20	621,00
Průměr	7,05	1,00	30,73	96,57	0,50	18,50	24,24	420,44
Směrodatná odchylka	2,52	0,69	9,87	26,66	0,40	5,21	9,91	127,33
Limitní hodnota	30	5	200	500	4	100	200	2500

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 8 obsahuje výsledky koncentrace těžkých kovů vyskytujících se v produkovaných kalech z čistírny odpadních vod. U vzorků se stanovovala minimální a maximální hodnota, průměr a směrodatná odchylka. Tabulka rovněž obsahuje řádek s limitními hodnotami. Z výsledků bylo zjištěno, že hodnoty z žádného ze sledovaných ukazatelů nepřekročily limity, které byly stanoveny vyhláškou č. 437/2016 Sb. pro aplikaci na zemědělskou půdu.

5.2 Výsledky naměřené sušiny

Tabulka 9: Naměřené hodnoty koncentrace sušin

Datum	Vstupní sušina (%)	Sušina (%)		
	Kal	Profil 1	Profil 2	Profil 3
3. 8. 2017	5,31	-	-	-
10. 8. 2017	4,88	-	16,16	12,24
17. 8. 2017	4,84	17,90	12,01	12,21
24. 8. 2017	11,62	12,40	8,16	16,81
31. 8. 2017	5,10	13,85	13,20	14,90
7. 9. 2017	2,60	14,40	13,35	13,40
14. 9. 2017	5,10	14,30	16,65	13,50
21. 9. 2017	11,62	12,40	8,16	16,81
28. 9. 2017	1,00	12,75	10,30	11,80
4. 10. 2017	4,57	14,67	11,77	12,78
11. 10. 2017	-	12,77	11,01	12,58
18. 10. 2017	4,64	11,59	11,28	12,45
25. 10. 2017	3,50	13,55	11,85	13,30
1. 11. 2017	4,26	12,70	12,26	12,82
8. 11. 2017	-	12,79	9,98	15,48
15. 11. 2017	-	11,77	11,14	12,66

Datum	Vstupní sušina (%)	Sušina (%)		
	Kal	Profil 1	Profil 2	Profil 3
22. 11. 2017	-	18,76	18,36	17,09
29. 11. 2017	-	11,71	10,72	11,81
6. 12. 2017	-	12,51	11,42	11,92
13. 12. 2017	-	13,85	11,90	13,15
20. 12. 2017	-	-	-	-
27. 12. 2017	-	-	-	-
3. 1. 2018	-	24,70	12,90	13,10
10. 1. 2018	-	13,85	11,90	13,15
17. 1. 2018	-	13,46	12,26	12,11
24. 1. 2018	-	14,64	13,91	14,38
31. 1. 2018	-	13,78	12,80	13,97

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 9 obsahuje seznam hodnot koncentrace sušiny v % a datum, kdy byly jednotlivé vzorky odebrány. V tabulce jsou vyobrazeny hodnoty pro vstupní sušinu kalu, které byly odebírány pouze do 1. 11. 2017. Po tomto datu se kal nepřiváděl do poloprovozního zařízení. Dále se jsou zde uvedena data pro jednotlivé profily, ze kterých se odebíral reprezentativní vzorek, poté se stanovila sušina kalu.

Tabulka 10: Vyhodnocení naměřených hodnot sušin kalu

Statistické vyhodnocení	Vstupní sušina kalu	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Minimální hodnota	1,00	11,59	8,16	11,80
Maximální hodnota	11,62	24,70	18,36	17,09
Průměr	5,31	14,13	12,23	13,52
Směrodatná odchylka	2,93	2,82	2,30	1,57
Limitní hodnota	18 %			

Zdroj: Vlastní zpracování

V tabulce 10 jsou vyhodnoceny koncentrace sušin pro vstupní kal a jednotlivé profily nacházející se v zařízení. Vyhláška č. 437/2016 Sb. stanovuje limit, kde upravené kaly obsahují minimálně 18 % sušiny, aby mohly být využity pro aplikaci na zemědělskou půdu. Z těchto výsledků lze vyčíst, že žádné hodnoty sušiny kalu nepřekračují tento limit pro aplikaci na zemědělskou půdu.

5.3 Výsledky mikrobiologické analýzy

Tabulka 11: Koncentrace mikroorganismů v kalu

Datum	<i>Salmonella</i> [KTJ/g suš.]		Termotolerantní bakterie [KTJ/g suš.]		Enterokoky [KTJ/g suš.]	
	Kal	Pmix	Kal	Pmix	Kal	Pmix
3. 8. 2017	neg.	-	$1,10 \cdot 10^3$	-	$6,00 \cdot 10^2$	-
31. 8. 2017	neg.	neg.	$2,30 \cdot 10^3$	$7,00 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	<50
28. 9. 2017	-	neg.	-	<50	-	<50
25. 10. 2017	neg.	neg.	$4,00 \cdot 10^2$	$5,00 \cdot 10$	$7,00 \cdot 10^2$	$5,00 \cdot 10$
22. 11. 2017	-	neg.	-	$5,50 \cdot 10^2$	-	$1,00 \cdot 10^2$
3. 1. 2018	-	neg.	-	<50	-	<50

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 11 obsahuje informace o naměřených hodnotách koncentrace mikroorganismů v kalu. U bakterie rodu *Salmonella* se určovalo pouze, zda je výskyt v kalu negativní či pozitivní. U ostatních bakterií přítomných v kalu se určovaly hodnoty výskytu. V některých případech se objevily hodnoty < 50, které jsou mimo detekční hodnoty, v kalu se tedy téměř nenacházely.

Tabulka 12: Vyhodnocení mikrobiologických parametrů z kalu

Statistické vyhodnocení	<i>Salmonella</i> [KTJ/g suš.]		Termotolerantní bakterie [KTJ/g suš.]		Enterokoky [KTJ/g suš.]	
	Kal	Pmix	Kal	Pmix	Kal	Pmix
Minimální hodnota	-	-	$4,00 \cdot 10^2$	$5,00 \cdot 10$	$2,50 \cdot 10^2$	$5,00 \cdot 10$
Maximální hodnota	-	-	$2,30 \cdot 10^3$	$7,00 \cdot 10^2$	$7,00 \cdot 10^2$	$1,00 \cdot 10$
Průměr	-	-	$1,27 \cdot 10^3$	$4,33 \cdot 10^2$	$5,17 \cdot 10^2$	$7,50 \cdot 10$
Směrodatná odchylka	-	-	$7,85 \cdot 10^2$	$2,78 \cdot 10^2$	$1,93 \cdot 10^2$	$2,50 \cdot 10$

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 12 obsahuje hodnoty mikroorganismů, které se v kalu vyskytují. U vstupního kalu byla zjištěná průměrná hodnota $1,27 \cdot 10^3$ KTJ termotolerantní koliformních bakterií na 1 g sušiny a $5,17 \cdot 10^2$ KTJ enterokoků na 1 gram sušiny kalu. V kalu vystupujícím ze zařízení byla zjištěná průměrná hodnota $4,33 \cdot 10^2$ KTJ termotolerantní koliformních bakterií na 1 gram sušiny a $7,50 \cdot 10$ KTJ enterokoků na 1 gram sušiny kalu. Bakterie rodu *Sallmonela* nebyla detekovaná v přivádějícím ani ve vystupujícím kalu. Na závěr lze říct, že u žádných druhů bakterií nebyla překročena limitní hodnota pro aplikaci na zemědělskou půdu.

6 Diskuse

Tato bakalářská práce se zabývá aplikovatelností extenzivních metod (kompostování, reed-bed technologie) zpracování komunálních čistírenských kalů. Pro tuto metodu bylo sestrojeno poloprovozní zařízení na funkci reed-bed technologie po dobu 6 měsíců od srpna 3. 8. 2017 do ledna 31. 1. 2018. V prvním roce provozu bylo u odebraných vzorků sledováno několik parametrů: přítomnost Salmonely, termotolerantní koliformní bakterie, enterokoky, těžké kovy, spalitelné látky v sušině vzorky.

První zkoumaná analýza byla zaměřena na koncentraci těžkých kovů, jak v přiváděném kalu (značen „kal“), tak i z vystupujícího vzorku kalu (značen „Pmix“). Byly analyzovány zejména tyto těžké kovy: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn. Hodnoty získané během prvního roku jsou uvedené v tabulce 7. V kalu byly převažující těžké kovy Cu, Pb, Zn, které dominovaly i v dalších studiích reed-bed (Uggetti et al. 2010; Peruzzi et al. 2011). U každého těžkého kovu se získané hodnoty zprůměrovaly a srovnaly s limitními hodnotami pro aplikaci kalu na zemědělskou půdu, které uvádí vyhláška č. 437/2016 Sb. v platném znění. U žádného prvku nebyly překročeny mezní hodnoty, které stanovila platná legislativa.

Dalším zkoumaným faktorem bylo hodnocení koncentrace sušiny v přivádějícím a vystupujícím kalu, ty nedosahovaly mezních hodnot stanovených vyhláškou. Mezní hodnota pro aplikaci na zemědělskou půdu byla stanovena na 18 % sušiny upraveného kalu. Výsledné hodnoty v přiváděném kalu do zařízení dosahovaly průměrné hodnoty 5 % obsahu sušiny a vystupující kal 14 % obsahu sušiny. Proto může být kal použit jako organické hnojivo, nebo pro půdní aplikaci. To je srovnatelné k čemu došli pánové Nielsen a Willoughby (2005). V další studii Nielsen et al. (2015) zkoumali vývoj obsahu sušiny v šesti Dánských městech po dobu 10 až 20 let. Obsah sušiny z těchto měst dosahoval průměrné hodnoty 22 %, tj. vysoký rozdíl od této studie. Tento výsledek by nebyl pro tuto práci uspokojivý, protože konečný produkt z jejich zařízení přesahuje limitní hodnoty danou vyhláškou pro Českou republiku. Hodnot, kterých dosahovali, mohly být ovlivněny několika faktory např. dobou aplikace kalu, dobou zrání, nebo klimatem v Dánsku. Jak již

bylo zmíněno, v této práci vystupující sušina dosahovala průměrné hodnoty 14 %, to je velice pozitivní výsledek, který byl dosažen po půl roce provozu této technologie. Je důležité nadále v tomto projektu pokračovat a sledovat, zda dojde k nějaké změně např. zvýšení obsahu sušiny, větší zastoupení mikroorganismů či těžkých kovů.

Poslední analýza se zabývala koncentrací mikroorganismů v přiváděném a vystupujícím kalu. Obsah bakterií musí být snížen před tím, než se kal rozloží na zemědělskou půdu jako hnojivo. (Nielsen a Bruun 2015) Výsledky z této analýzy nepřekračují limitní hodnoty stanovené vyhláškou. Potvrzují tak závěry Benešové (2004), která uvádí, že touto technologií vznikne stabilizovaný a hygienizovaný kal, dojde k usmrcení bakterií rodu *Salmonella* a snížení výskytu termotolerantních koliformních bakterií i enterokoků. Tohoto výsledku dosáhla i studie Macha (2014), u kterého rovněž nebyly detekovány bakterie rodu *Salmonella* a docházelo, ke snížení ostatních druhů bakterií.

Ve srovnání s jinými technologiemi, jako např. s centrifugou, pásovými filtračními lisami. Ty vyžadují přidání chemikálií (např. koagulátů, polyelektrolytů) a dostatek energie. Kal z těchto technologií dosáhne obsahu sušiny asi 20 %. Naopak pomocí reed-bed technologie, lze dosáhnout obsahu sušiny od 20 % do 30 %, pokud je správně navrženo zařízení na principu této technologie. (Uggeti et al. 2010) V optimálních podmínkách může dosahovat až 40 %. (Nielsen 2003; Nielsen 2007)

Lze tedy sdělit, že reed-bed technologie má několik výhod oproti běžně používaným manipulačním technikám. Kromě odvodnění je organická hmota v kalu částečně mineralizována, čímž se minimalizuje objem kalu a zlepšení kvality kalu. (Nielsen a Bruun 2015) Sníží se celkový objem kalu bez použití chemikálií a zahrnuje pouze velmi nízkou úroveň spotřeby energie pro čerpání kalu. Konečný produkt může být bezpečně aplikován jako hnojivo na zemědělské účely země. Kapitálové náklady reed-bed jsou obvykle vyšší než mechanické odvodňovací zařízení. Nicméně, provozní výdaje jsou výrazně nižší než náklady na mechanické odvodnění, které přinášejí ekonomického zlomu kolem 3-5 let. (Nielsen a Larsen 2016)

7 Závěr

Tato bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. V teoretické části byly podrobně popsány základní informace z oblasti čistírenských kalů z čistíren odpadních vod. Jaké druhy čistírenských kalů existují a jak vznikají. K tomu patří i způsoby jakými se kaly zpracovávají a posléze využívají. Práce byla zaměřena na aplikovatelnost extenzivních metod (kompostování, reed-bed technologie). Aby kaly mohly být využity k aplikaci na půdu, musely splnit legislativní podmínky, které uvádí vyhláška č. 437/2016 sb. Dále byla řešena důležitá otázka z oblasti nakládání s kaly v České republice. Proto byla porovnána nejnovější data z roku 2016 s rokem 2009, z důvodu zjištění rozdílu mezi jednotlivými způsoby nakládání s kaly. V roce 2016, se oproti roku 2009 ve velké míře snížilo nakládání s kaly v rámci kompostování a nakládání jiným způsobem. Ve srovnání s rokem 2009 se podle Českého statistického úřadu rozšířil způsob využití kalů pro přímou aplikaci a rekultivaci. Dalším důležitým poznatkem je, že se téměř přes 50 % zvýšil způsob využívání kalů spalováním a zároveň se navýšil i způsob využití skládkováním.

Praktická část je zaměřena na výsledky dat z reed-bed technologie a na diskuzi těchto výsledků. Data byla sbírána po dobu šesti měsíců od srpna 3. 8. 2017 do ledna 31. 1. 2018. Výsledky byly rozděleny do třech částí-koncentrace sušín, těžkých kovů a hodnoty mikroorganismů. Následně byla data porovnána s limitními hodnotami vyhlášky.

První část výsledků se zabývala analýzou těžkých kovů, z toho vyplývají hodnoty, které byly pro každý prvek zvlášť zprůměrovány a porovnány s legislativními hodnotami. Nejvíce se v kalu vyskytoval prvek zinku, jeho maximální dosažená hodnota byla $621 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, to je až čtyřikrát méně, než co dovoluje vyhláška pro aplikaci na zemědělskou půdu. Nejméně se vyskytoval prvek rtuti, přičemž jeho minimální hodnota dosáhla $0,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Druhá část je zaměřena na výsledky obsahu sušín v kalu. Pro získání sušiny z kalu se odebíraly vzorky ve třech částech v námi sestrojeném zařízení. Tyto části byly označeny-profil 1, profil 2, profil 3. Výsledky z těchto profilů byly zprůměrovány

a porovnány s limitními hodnotami, které stanovila vyhláška. Největší obsah sušiny se objevoval v profilu 1, to mohlo být způsobné sklonem zařízení o 1,7°, kde byla malá vrstva kalu, tím docházelo k rychlejšímu vysychání oproti zbylým dvěma profilům.

Třetí část výsledků souvisí s výskytem mikroorganismů. Byly sledovány tři druhy bakterií a to *Salmonella*, termotolerantní koliformní bakterie a enterokoky. Hodnoty, jako v předcházejících případech, byly podrobeny statistickým vyhodnocením a jejich průměrné hodnoty byly porovnány s vyhláškou. U všech odebraných vzorků kalů, nebyly detekovány bakterie rodu *Salmonella*, to má za následek tento typ technologie, která má zajistit usmrcení této bakterie. Nejméně se objevovaly enterokoky ve vystupujícím kalu, jejich průměrná hodnota dosahovala 7,50·10 KTJ na 1 gram sušiny.

Ze všech třech analýz, plynou výsledky, ze kterých lze konstatovat jejich bezpečné uložení na zemědělskou půdu. To je způsobené tím, že u analýz koncentrace těžkých kovů, obsah sušiny a u výskytu mikroorganismů nedošlo v žádných případech k překročení limitních hodnot, které uvádí platná vyhláška č. 437/2016 Sb., v platném znění.

Na závěr bych chtěl konstatovat, že tato bakalářská práce přináší četné výsledky, na základě měření a teoretických informací. Ty alespoň z části objasní a zároveň usnadní vyřešit problémy spojené s čistírenskými kaly z čistíren odpadních vod. Kaly z reed-bed technologie, lze použít pro zpracování čistírenského kalu. Produkují stabilizovaný kal, který splňuje legislativní podmínky pro využití kalu např. v zemědělství.

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

8.1 Literatura

Benešová J., 2004: Technické řešení hygienizace kalů. Odpadové fórum: Odborný měsíčník o všem, co souvisí s odpady. České ekologické manažerské centrum, Praha, č. 5, s. 17-18. ISSN 1212-7779.

Burgoon P. S., Kirkbride K. F., Henderson M., Landon E., 1997: Reed beds for biosolids drying in the arid northwestern United States. In Water Science and Technology. 35 (5), 287–292.

De Maeseneer J. L., 1997: Constructed wetlands for sludge dewatering. Water science and Technology. 35 (5), 279–285.

Dzianik F., Chriaštel' L., 2011: Čistenie odpadných vôd. Nakladateľstvo Slovenská technická univerzita, Bratislava, s. 198. ISBN 978-80-227-3432-5.

Groda B., Vítěz T., 2008: Čištění a čistírny odpadních vod. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, s. 126. ISBN 978-80-7375-180-7.

Hlavínek P., Mičín J., Prax P., 2003: Stokování a čištění odpadních vod. Akademické nakladatelství CERM, Brno, ISBN 80-214-2535-0.

Hubáčiková V., 2015: Vodní hospodářství. Mendelova univerzita v Brně, Brno, ISBN 978-80-7509-239-7.

Chmielewska E., 2004: Ochrana vôd. Epos, Bratislava, ISBN 80-8057-620-3.

Koottatep T., Polprasert C., Thi N., Oanh K., Surinkul N., Montangero A., Strauss M., 2002: Constructed Wetlands for Septage Treatment – Towards Effective faecal Sludge Management. In IWA 8th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control.

Mach P., 2014: Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod. Mendelova univerzita v Brně, Fakulta agronomická, Brno.

Mlejnská E., 2009: Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, ISBN 978-80-85900-92-7.

- Nielsen S., 2003: Sludge drying reed beds. *Water Science and Technology*. 48 (5), 101–109.
- Nielsen S., 2007: Helsing sludge reed bed system: Reduction of pathogenic microorganisms. *Water Science and Technology*. 56 (3), 175–182.
- Nielsen S., Willoughby N., 2005: Sludge treatment and drying reed bed systems in denmark. *Water and Environment Journal*. 19 (4), 296–305.
- Nielsen S., Bruun E. W., 2015: Sludge quality after 10-20 years of treatment in reed bed systems. *Environmental Science and Pollution Research International*. 22(17), 12885–12891.
- Nielsen S., Larsen J. D., 2016: Operational strategy, economic and environmental performance of sludge treatment reed bed systems-based on 28 years of experience. *Water Science and Technology*. 74(8), 1793–1799.
- Peruzzi E., Masciandaro G., Macci C., Doni S., Ravelo S. G. M., Peruzzi, P., Ceccanti, B., 2011: Heavy metal fractionation and organic matter stabilization in sewage sludge treatment wetlands. *Ecological Engineering*. 37 (5), 771-778.
- POŠTA J., 2005: Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Praha, ISBN 978-80-213-1366-8.
- Pytl V., 2004: Příručka pro provozovatele čistírny odpadních vod. Medim, Líbeznice u Prahy, ISBN 80-239-2528-8.
- Slavičková K., Slaviček M., 2006: Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody. Nakladatelství ČVUT, Praha, ISBN 80-010-3534-4.
- Slavičková K., Slaviček M., 2013: Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody. 2., přepracované vydání, České vysoké učení technické, Praha, ISBN 978-80-01-05390-4.
- Uggetti E., Ferrer I., Llorens E., Garcí'a J., 2010: Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresource Technology*. 101 (9), 2905-2912.
- Uggetti E., Ferrer I., Nielsen S., Arias C., Brix H., García J., 2012: Characteristics of biosolids from sludge treatment wetlands for agricultural reuse. *Ecological Engineering*. 40, 210–216.

Vesilind P., 2003: Wastewater treatment plant design. Water Environment Federation, Alexandria, ISBN 978-157-2781-771.

Zhang D., Gersberg R. M., Keat T. S., 2009: Constructed wetlands in China. Ecological Engineering. 35 (10), 1367-1378.

8.2 Internetové zdroje

Český statistický úřad, ©2010: Vodovody, kanalizace a vodní toky (online) [cit. 2018.03.07], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2009-vagf0of2zf>>.

Český statistický úřad, ©2017: Vodovody, kanalizace a vodní toky (online) [cit. 2018.03.07], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2016>>.

Černý J., 2010: Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin (online) [cit. 2018.01.17], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organickych-latek-a-zivin>>.

Dohányos M., 2006: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů (online) [cit. 2018.03.02], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>.

Kutil J., Dohányos M., 2005: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů (online) [cit. 2018.02.26], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>.

Lyčková B., Fečko P., Kučerová R., 2008: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů (online) [cit. 2018.01.28], dostupné z <<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/info.html>>.

Štupavský V., 2008: Bezpečné využití komunálních odpadních vod a čistírenských kalů k závlaze a hnojení plantáží rychle rostoucích dřevin (online) [cit. 2018.03.02], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bezpecne-vyuziti-komunalnich-odpadnich-vod-a-cistirenskych-kalu-k-zavlaze-a-hnojeni-plantazi-rychle-rostoucich-drevin>>.

The water & carbon group, ©2007: Sludge treatment reed beds (online) [cit. 2018.04.12], dostupné z <<http://waterandcarbon.com.au/technology/sludge-treatment-reed-beds/>>.

Váňa J., 2002: Kompostování odpadů (online) [2018.03.02], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>.

8.3 Legislativní zdroje

Nařízení vlády 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, v platném znění.

Nařízení vlády 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, v platném znění.

Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění.

Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, v platném znění.

Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými, v platném znění.

Vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, v platném znění.

Vyhláška č. 273/1988 Sb., o odběrech a chemických rozborech vzorků hnojiv, v platném znění.

Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, v platném znění, v platném znění.

Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, v platném znění.

Vyhláška č. 450/2005 Sb., o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu, způsobu a rozsahu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků, v platném znění.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění.

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

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

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění.

9 Seznam příloh

Příloha 1: Zhotovené poloprovozní zařízení, před jeho uložení na ČOV

Příloha 2: Odvodňovací trubky v poloprovozním zařízení

Příloha 3: Úprava vrstev substrátu, před uložení vlhkoměrů do zařízení

Příloha 4: Uložení vlhkoměrů v poloprovozním zařízení

Příloha 5: Prvotní aplikace kalu do zařízení

Příloha 6: Stav aplikovaného kalu po 6 dnech

Příloha 7: Další aplikace kalu do zařízení

Příloha 8: Kal na konci aplikační sezóny

Příloha 1: Zhotovené poloprovozní zařízení, před jeho uložení na ČOV



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 2: Odvodňovací trubky v poloprovozním zařízení



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 3: Úprava vrstev substrátu, před uložení vlhkoměrů do zařízení



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 4: Uložení vlhkoměrů v poloprovozním zařízení



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 5: Prvotní aplikace kalu do zařízení



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 6: Stav aplikovaného kalu po 6 dnech



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 7: Další aplikace kalu do zařízení



Zdroj: Vlastní zpracování

Příloha 8: Kal na konci aplikační sezóny



Zdroj: Vlastní zpracování