

Mendelova
univerzita
v Brně



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ROSTLIN Z FYTOSANAČNÍCH POSTUPŮ PRO PRODUKCI BIOPLYNU V BIOPLYNOVÝCH STANICÍCH

Závěrečná zpráva

**Milan Geršl, Jan Mareček, Martin Šotnar,
Tomáš Koutný, Jan Kudělka, Jana Šofrová**

Brno 2015

Název	Možnosti využití rostlin z fytošanačních postupů pro produkci bioplynu v bioplynových stanicích
Objednatel	Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 1, Těšnov 17, PSČ 117 05 Odbor bezpečnosti potravin a zemědělsko potravinářského inženýrství IČO: 00020478
Číslo klienta	
Důvěrnost, copyright a kopírování	Tento dokument byl zpracován v rámci Smlouvy o dílo Čj.: 27330/2015-MZE-18111 o poskytnutí prostředků z funkčních úkolů MZe ČR z rozpočtu běžných výdajů pro rok 2015. Obsah nesmí být poskytován třetím stranám za jiných podmínek, než jak je uvedeno ve smlouvě.
Jednací číslo	
Zpráva číslo	
Status zprávy	Vydání 1 34 stran
Zhotovitel	Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Zemědělská 1, 613 00 Brno

	Jméno	Podpis	Datum
Vypracoval	Mgr. Milan Geršl, Ph.D.		
Kolektiv autorů	prof. Ing. Jan Mareček, Dr.Sc. dr.h.c. Ing. Martin Šotnar Ing. Tomáš Koutný Ing. Jan Kudělka Ing. Jana Šofrová, Ph.D.		
Schválil	prof. Ing. Jan Mareček, Dr.Sc., dr.h.c.		

Mendelova univerzita v Brně
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky
Zemědělská 1, 613 00 Brno

Kolektiv autorů

Mgr. Milan Geršl, Ph.D.
prof. Ing. Jan Mareček, Dr.Sc., dr.h.c.
Ing. Martin Šotnar
Ing. Tomáš Koutný
Ing. Jan Kudělka
Ing. Jana Šofrová, Ph.D.

Závěrečná zpráva

34 stran

Brno, listopad 2015

OBSAH

1	ÚVOD	6
2	BIOREMEDIACE.....	8
3	DEKONTAMINACE TĚŽKÝCH KOVŮ	9
3.1	PROCES DEKONTAMINACE	9
3.2	FYTOREMEDIACE.....	10
3.2.1	Fytodegradace	11
3.2.2	Rhizodegradace	12
3.2.3	Fytoakumulace	12
3.3	RHIZOFILTRACE.....	12
3.3.1	Fytovolatilizace	12
3.4	PŘÍSTUPNOST A VAZBA KOVŮ	13
4	EKOTOXIKOLOGIE A EKOTOXICITA	15
4.1	EKOTOXIKOLOGIE	15
4.2	EKOTOXICITA	15
5	TECHNOLOGIE BIOPLYNU	16
5.1	VÝROBA BIOPLYNU A PROCES ANAEROBNÍ FERMENTACE	16
5.2	SLOŽENÍ BIOPLYNU	17
6	METODIKA TESTŮ	18
6.1	CHARAKTERISTIKA LABORATOŘE.....	18
6.2	POUŽITÉ PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	18
6.3	CHARAKTERISTIKA TESTOVANÝCH MATERIÁLŮ	20
6.4	POSTUP TESTŮ	20
6.5	VÝSLEDKY TESTŮ.....	22
7	ANALÝZY VZORKŮ Z REÁLNÝCH BIOPLYNOVÝCH STANIC	25
7.1	RENTGENOFUORESCENČNÍ ANALÝZA DIGESTÁTU	25
7.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ A METODIKA MĚŘENÍ	25
7.3	VÝSLEDKY ANALÝZ	27
7.4	DĚLENÍ BIOPLYNOVÝCH STANIC PODLE VSTUPNÍCH SUROVIN	29
7.4.1	Dělení bioplynových stanic podle vstupních surovin	29
7.4.2	Podle způsobu následného využití fermentačního zbytku	29
8	ZÁVĚR.....	32
9	LITERATURA	33

Seznam obrázků

Obr. 1: Celorepubliková referenční laboratoř bioplynových transformací, reaktory o objemu 120 dm ³	19
Obr. 2: Celorepubliková referenční laboratoř bioplynových transformací, plynoměry reaktorů o objemu 5 dm ³	19
Obr. 3: Obsluha laboratorního reaktoru o objemu 120 dm ³	22
Obr. 4: Produkce bioplynu po přidavku 4-chlorfenolu, reaktor o objemu 5 dm ³	22
Obr. 5: Produkce bioplynu po přidavku nanostříbra, reaktor o objemu 120 dm ³	23
Obr. 6: Produkce bioplynu po přidavku stříbra, reaktor o objemu 5 dm ³	23
Obr. 7: Produkce bioplynu po přidavku zinku, reaktor o objemu 5 dm ³	24
Obr. 8: Produkce bioplynu po přidavku olova, reaktor o objemu 5 dm ³	24

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Příklady akumulace kovů vybranými mikroorganismy (podle Gadd, 1992).....	10
Tabulka 2: Příklady využitelných rostlin k fytoremediaci (podle Saudek et. al., 2008).....	13
Tabulka 3: Biosorpce kovů vybranými organismy (podle Singh a Stapleton, 2003)	14
Tabulka 4: Složení bioplynu (Bischofsberger, 2006).....	17
Tabulka 5 Charakteristika analyzovaných vzorků	28
Tabulka 6: Výsledky analýz digestátů	28
Tabulka 7 Limitní hodnoty rizikových prvků v org. hnojivech (vyh. MŽP 474/2000 sb.).....	30

1 Úvod

V současné době existuje v oblasti energetiky České republiky i celé Evropy zřetelný odklon od tradičních fosilních paliv. S tím souvisí nutná potřeba jejich nahrazení obnovitelnými zdroji energie. Důvodem jsou mimo jiné klesající zásoby fosilních paliv i snaha o energetickou soběstačnost jednotlivých zemí. Členské státy Evropské unie se zavázaly k zajištění výroby energií v roce 2020 ze 20 % z obnovitelných zdrojů. K naplnění těchto cílů je třeba hledat dosud nevyužité zdroje, které jsou snadno dostupné a stabilní, v současné době se jedná především o energii z biomasy. Jednou z možností energetického využití biomasy je anaerobní fermentace s cílem výroby bioplynu.

V České republice bylo k 31. 12. 2014 evidováno 507 bioplynových stanic o celkovém instalovaném výkonu 358 MW s množstvím vyráběné elektřiny 2566 GWh. Podle české bioplynové asociace se výroba elektrické energie za prvních šest měsíců roku 2015 oproti stejnému období loňského roku výrazně nelišila a dosáhla 44 239 GWh. Množství elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie v prvním pololetí 2015 vzrostlo o 9,9 % oproti stejnému období loňského roku. OZE se v červnu tohoto roku podílely na celkové výrobě elektřiny 14,8 % podobně jako v červnu 2014, kdy to bylo 14,5 %. Bioplyn se na celkové výrobě energie v červnu podílel 3,4 %. Zemní plyn se na celkové výrobě elektřiny podílel 1,1 %. Podíl bioplynu na celkové výrobě energie z OZE v červnu 2015, stejně jako v červnu loňského roku, dosahoval přibližně 23%.

Převážnou část instalovaného výkonu tvoří zemědělské bioplynové stanice, které využívají jako vstupní substrát cíleně pěstovanou biomasu. Z hlediska ekonomiky provozu je cíleně pěstovaná biomasa nejvýhodnější varianta, protože pro tyto stanice je garantována nejvyšší výkupní cena elektrické energie a zároveň se díky kvalitě vstupních materiálů jedná o nejméně problémový provoz.

Nedílnou součástí tohoto řešení je otázka získávání vhodných surovin pro výrobu bioplynu, a v neposlední řadě otázka odstranění odpadů v bioplynových stanicích. V současné době, kdy často poptávka po tradičních substrátech jako je hnůj, kejda a siláž začíná převyšovat nabídku, je nutné detailně zhodnotit také možnosti jiných substrátů. Jednou z možností je použití substrátů v podobě siláží z rostlin, které byly využity k bioremediaci, resp. fytořemesiaci kontaminovaných půd. V bioplynových stanicích lze hojně využívat také čistírenské kaly nebo některé druhy odpadů. Jednou z obvyklých škodlivin v těchto

substrátech jsou těžké, resp. toxické kovy. Jejich přítomnost v nadlimitní koncentraci však znemožňuje optimální využití fermentačního zbytku vznikajícího z těchto substrátů a může mít celkově nepříznivý vliv na mikrobiální procesy probíhající v bioplynových fermentorech.

Autoři této práce děkují majitelům a provozovatelům bioplynových stanic za poskytnuté relevantní informace o daných provozech, za přínosné názory na zpracovávanou problematiku a především za poskytnuté vzorky.

Autoři upozorňují, že se jedná o specifický výzkum. Vzorky v tomto případě mohou být zpracovávány jinými než obvyklými metodami, zvláště byla hodnocena podsítná frakce digestátu, která je nejdostupnější pro přítomné mikroorganismy a její složení se od celkového substrátu může značně lišit. Uvedené výsledky analýz nelze použít pro běžné hodnocení bioplynových stanic podle platné legislativy.

2 Bioremediace

Kontaminace životního prostředí je v podstatě od tzv. průmyslové revoluce silně ovlivňována antropogenní činností. Rozsáhlé plochy s výraznou kontaminací nejsou v podmínkách České republiky zaznamenány. Jedná se tedy především o lokální problémy. (Kučerová et. al. 1999)

Mezi kontaminanty můžeme řadit organické těkavé látky, jako je například benzen, toluen, ethylbenzen, ostatní těkavé ropné uhlovodíky, nižší alkany a alkeny, chlorované alifatické uhlovodíky. Dále pak organické látky obtížně těkavé, jako jsou polyaromatické uhlovodíky (mimo naftalen), polychlorované bifenylly, fenoly. Další skupinou jsou anorganické kontaminanty, mezi které patří především toxické kovy, ale i např. kyanidy, amoniak, dusičnany, sírany aj.

Bioremediace je de facto jakýkoliv proces, kterým jsou působením živých organismů, případně enzymů přeměňovány toxické nebo rizikové látky na látky netoxické nebo nerizikové. Zpravidla jde o rozklad organických polutantů prostřednictvím specifických mikroorganismů anebo pouze o optimalizaci podmínek prostředí pro působení již přítomné mikroflóry. Optimalizace podmínek spočívá v aeraci, přidávání živin, přidáváním látek stimulujících použité mikroorganismy.

Obvyklé dělení bioremediace:

- **Fytoremediace** – využívá k odstranění toxické zátěže rostlin. Tuto metodu je možné kombinovat s produkcí biomasy pro energii.
- In situ bioremediace
 - přirozené mikroorganismy
 - uměle přiváděné mikroorganismy
- Ex situ bioremediace
 - kompostování
 - řízené biologické ošetření
 - zemědělské zpracování
 - řízené biologické ošetření suspenze (kalu)
- Biologické čištění vod

3 Dekontaminace těžkých kovů

3.1 Proces dekontaminace

Dekontaminace těžkých kovů je poměrně obtížným tématem. Při dekontaminaci životního prostředí se nabízí biodegradace. Biodegradace, neboli biologicky katalyzované snížení komplexity chemických sloučenin znamená v podstatě rozklad organických látek na anorganické sloučeniny. Bioremediace je metoda, při které se akcelerují přirozené biodegradční procesy nebo je biodegradace cíleně řízena (Šotnar, 2013). V tomto případě již nehovoříme pouze o dekontaminaci organických sloučenin. Bioremediaci můžeme tedy rozdělit na fertilizaci, což je podpora již probíhajících přirozených procesů biodegradace a na seeding, což je obohacení prostředí s kontaminanty o degradátory se známým katabolickým potenciálem.

Jedním z možných způsobů dekontaminace je bioakumulace. Jedná se o seeding s použitím organismů se známým účinkem. Při bioakumulaci těžkých kovů je možné využít mikroorganismy. Je nutné využívat mikroorganismy resistantní na životní prostředí s obsahem kontaminantu. Vzhledem k obtížnosti aplikace mikroorganismů do různých prostředí se výzkum zaměřil na schopnost bioakumulace buněčných stěn mikrobiální buňky, u které nedochází k výrazným metabolickým změnám vlivem vnějšího prostředí. Tím vzniká pasivní fyzikálně – chemická schopnost bioakumulace. Od roku 1986 je ustanoven termín bioadsorpce či biosorpce různých kovů. Příklady mikroorganismů schopných akumulace vybraných těžkých kovů jsou v tabulce 1.

Mikroorganismus	Prvek
<i>Zoogloea sp.</i>	Co, Ni
<i>Citrobacter sp.</i>	Cd, U
<i>Bacillus sp.</i>	Cu, Zn
<i>Chlorella vulgaris</i>	Au
<i>Rhizopus arrhizus</i>	Pb, Ag, Hg
<i>Aspergillus niger</i>	Th

Tabulka 1: Příklady akumulace kovů vybranými mikroorganismy (podle Gadd, 1992)

3.2 Fytoremediace

Fytoremediace je metoda remediace u které se využívají zelené rostliny k odstranění znečišťujících látek z prostředí. Vybrané druhy rostlin se využívají k extrakci toxických kovů, včetně radioaktivních izotopů, i k extrakci a rozkladu některých organických látek. Jedná se o metodu in-situ, využívající živých rostlin přímo na místě znečištění. Název fytoremediace pochází z řeckého slova phyto = rostlina a latinského remedium = čistit.

Nejčastěji sanovanou matricí je v tomto případě půda, metodu lze však aplikovat i při sanaci sedimentů, kalů a vody. Mezi znečišťující látky, které jsou takto odstraňovány, patří například těžké kovy, radionuklidy, exploziva, barviva, pesticidy nebo i léčiva. Úspěšnost ovlivňuje zejména rozpustnost znečišťující látky, typ média a doba uplynulá od kontaminace. Do budoucna existuje předpoklad navýšení úspěšnosti fytoremediace pomocí genetických manipulací u vhodných rostlin. K rostlinám patří neoddělitelně i s nimi vázané mikroorganismy. Při výběru vhodné rostliny je nutné přihlížet mimo jiné také k místním podmínkám, jako je složení půd, vod či sedimentů, úhrn srážek, denní teploty a světelný režim dne (Šotnar, 2013). Dalším neopomenutelným hlediskem je možnost použití

agronomických technik, jako je hnojení, střídání plodin, možnost obdělávání kontaminovaného prostředí a další.

V případě využití fytořemediace při znečištění organickými látkami se jedná o extrakci a rozklad těchto látek. V případě kontaminace toxickými kovy však z podstaty věci nelze kovy rozložit a zneškodnit, je možné je pouze extrahovat ze sanované matrice. Kovy se poté ve změněné vazbě nacházejí v rostlinném materiálu.

Výhodami fytořemediace je využívání již známých agrotechnických postupů běžně používaných při zemědělském hospodaření a běžně pěstovaných rostlin, které lze pro tento účel využít. Ekonomické investice při přípravě sanace i následné udržování procesu jsou tedy obvykle minimální. Další nespornou výhodou je estetický přínos, který rostoucí zeleň poskytuje zdegradované krajině. S tím souvisí také snížení prašnosti, zvýšení stabilizace vody v půdě a vzdušné vlhkosti a následné zvětšení biodiverzity.

Nevýhodou je omezená možnost řízení tohoto procesu, oproti procesům průmyslovým. Úspěšnost ovlivňuje řada biotických i abiotických faktorů, které nelze vždy dokonale simulovat a předpovídat. Podstatnou nevýhodou je značná časová náročnost, což znamená nemožnost jiného využití dané lokality. V některých případech znečištění proniká do hloubek, kam již podzemní orgány rostlin nepronikají a sanace není umožněna. S ohledem na charakter média existuje značné riziko vstupování kontaminantů do potravního řetězce.

Fytosanační technologie lze rozdělit na fytodegradaci, rhizodegradaci, fytoakumulaci, rhizofiltraci a fytovalitilizaci.

3.2.1 Fytodegradace

Fytodegradace je proces, během kterého dojde k absorpci kontaminantu do těla rostliny, kde proběhne následná přeměna a odbourání kontaminantu na látky neškodící životnímu prostředí. Jako fytodegradace se také označuje proces vylučování enzymů kořenovým systémem rostlin, u kterého však hrozí i přeměna kontaminantu na více toxické látky než původní. Rostliny s možností využití k dekontaminaci prostředí jsou uvedeny v tabulce 2.

3.2.2 Rhizodegradace

Tato metoda uvažuje o zvýšeném množství mikroorganismů přítomných s kořenovým systémem rostlin. Tyto mikroorganismy pak slouží jako dekontaminant a nositel kontaminantu.

3.2.3 Fytoakumulace

Fytoakumulace je metoda užívaná k dekontaminaci těžkých kovů. Jedná se o příjem kontaminantu kořenovým systémem a jeho ukládání do těla rostlin. Pro dekontaminaci prostředí touto metodou je nutná sklizeň rostlin a jejich následné odstranění.

3.3 Rhizofiltrace

Rhizofiltrace je metoda k dekontaminaci velkých objemů povrchových, splaškových či odpadních vod s nízkou koncentrací kontaminantu. Jedná se precipitaci či absorpci kořenovým systémem. Tato metoda je využívána například v Černobyli k dekontaminaci CS a Sr z povrchových vod.

3.3.1 Fytovolatilizace

U této metody je kontaminant přijímán kořenovým systémem do těla rostlin. Po transportu do nadzemní části následuje transpirace těkavého kontaminantu nebo těkavého produktu metabolismu. Metoda je vhodná pro dekontaminaci organickými polutanty. Problémem této metody je přesun kontaminantu z jedné složky životního prostředí do druhé. (Soudek et. al., 2008).

Technologie	Prostředí	Kontaminanty	Aplikovatelné rostliny
Fytotransformace	půda, podzemní voda, výluhy ze skládek	herbicide; chlorované alifatické uhlovodíky (např. TCE); aromatické uhlovodíky (např. BTEX); živiny (dusičnany, amoniak, fosfáty)	freatofytické stromy (čeled' Salix, včetně topolu, vrby, amerického topolu); trávy (žito, kostřava, troskut prstnatý, čirok, proso panenské, rákos
Rhizosferní bioremediace	půda, sedimenty	biodegradovatelné organické látky (BTEX, TPH, PAHs, PCBs, pesticidy)	traviny s vláknitými kořeny (troskut prstnatý, kostřava, žito)
Fytostabilizace	půda	kovy (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U); hydrofobní organické sloučeniny, které nejsou degradovatelné	freatofytické stromy pro hydraulickou kontrolu; trávy s vláknitými kořeny pro kontrolu eroze
Fytoextrakce	půda, sedimenty	kovy (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu)	hořčice sarepská (<i>Brassica juncea</i>); Slunečnice (<i>Helianthus</i>)
Rhizofiltrace	podzemní voda, odpadní voda přes umělé mokřady	kovy (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu); radionuklidy, hydrofobní organické sloučeniny	vodní rostliny; mokřadní (orobinec, růžkatec, Potamogeton nodosus, maranta třtinová); vodní (řasy, paro.-natka, stolítek vodní)
Fytovolatilizace	půdy a sedimenty	Se, As, Hg, těkavé organické sloučeniny	mokřadní rostliny; freatofytické stromy pro zachycení podzemních vod

Tabulka 2: Příklady využitelných rostlin k fytoremediaci (podle Saudek et. al., 2008)

3.4 Přístupnost a vazba kovů

Dostupnost a vazba kovů je ovlivněna fyzikálně – chemickými faktory. Jedním z faktorů, které ovlivňují získání kovu je hodnota pH prostředí. Nízké pH okolí způsobuje při povrchu buňky přítomnost H^+ iontů a tím znemožňuje přístup jiných kationtů. Při zvýšení pH se povrch buněk zpřístupňuje i dalším kationtům. Například u *Chlorella vulgaris* je při pH 5 rychlost adsorpce olova $15,4 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Při pH 2 je rychlost adsorpce olova jen $1,2 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. (Horáková, 2006) Rychlost biosorpce kovů má obecně rostoucí tendenci u pH 4-8.

Dalším faktorem je teplota. Teplota ovlivňuje stabilitu kovů v roztoku, konfiguraci buněčné stěny a případně stabilitu komplexu mezi buňkou a kovem. Biosorpce kovů ovlivňuje také koncentrace kovů v kontaminovaném prostředí. Koncentrace, u které má proces biosorpce lineární charakter je individuální pro každý kov a organismus. Například u buněk *Streptomyces viridochromogenes* se při vyšších koncentracích než 8 ppm uranu projevil pokles původně lineárního růstu biosorpce.

Důležitým faktorem je i charakter použité biomasy. Obecně lze říci, že vyšší koncentrace biomasy je schopna v roztoku odstranit vyšší množství kovu. Pro průmyslové využití je v posledních letech snaha využít mikrobiálního biofilmu k dekontaminaci těžkých kovů. Tyto mikrobiální biofilmy jsou na pevné matrici s výplní porézního materiálu tvořeny koloniemi mikroorganismů. (Horáková, 2006) Bylo zjištěno, že *Alcaligenes eutrophus* je schopen z odpadní vody kontaminované kovy odstraňovat Cd, Zn, Ni, Cu a Co. V tabulce 3 jsou uvedeny biosorpce vybranými heterotrofy – houbami, kvasinkami a bakteriemi.

Organismus	Adsorpce těžkých kovů v mg·g ⁻¹													
	Ag	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Pb	Zn	Au	Ni	U	Th	Co	Fe
<i>Rhizopus arrhizus</i>	54	30	31	16	54	12	91	20	164	18	220	160	-	-
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	4,7	-	-	17-40	-	-	-	14-40	-	-	24	70	4,7	-
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	-	1,7	-	-	-	-	176	-	12	-	-	-
<i>Penicillium chrysogenum</i>	-	56	0,33	9	20	-	122	6,5	-	-	25	-	-	-
<i>Candida tropicalis</i>	-	60	4,6	80	-	-	-	30	-	20	-	-	-	-
<i>Bacillus subtilis</i>	-	101	-	152	-	44	601	137	79	6	-	-	-	201
<i>Citrobacter sp.</i>	-	-	-	-	-	-	4000	-	-	-	8000	-	-	-
<i>Bacillus licheniformis</i>	-	-	-	32	-	38	-	-	59	29	-	-	-	45

Tabulka 3: Biosorpce kovů vybranými organismy (podle Singh a Stapleton, 2003)

4 Ekotoxikologie a ekotoxicita

4.1 Ekotoxikologie

Ekotoxikologie je interdisciplinární vědní obor kombinující poznatky vědy studující ekosystémy (ekologie) a vědy studující interakce chemických látek s živými organismy (toxikologie). Ekotoxikologie se zabývá studiem působení škodlivých látek na ekosystém, studuje toxické vlivy v přírodě, v organismech, zejména vlivy v populacích a společenstvech, monitoruje a předpovídá osud a vlivy cizorodých látek v prostředí (<http://www.wikiskripta.eu>). Její hlavní cíle jsou ochrana živé přírody a člověka jako její integrální součásti, analýza a pochopení přímých a nepřímých účinků chemikálií na všechny biologické úrovně ekosystému, studium a hodnocení (škodlivých) účinků chemických látek, prevence poškození a ohrožení ekosystémů, předpověď a odhady škodlivosti chemikálií, předpověď a odhad rizik spojených s životním cyklem chemikálií a vývoj praktických nástrojů pro odhady škodlivosti a rizik. Ekotoxikologie byla poprvé definována roku 1969 členem francouzské akademie věd Dr. Rene Truhaudem.

4.2 Ekotoxicita

Ekotoxicita je obecně definována jako toxické působení na životní prostředí nebo také toxické působení na živé organismy. Nejedná se však pouze o toxické účinky na jednotlivé organismy, ale o toxické účinky na ekosystém jako celek. Významným faktorem ekotoxických látek je jejich stabilita v prostředí. Čím je látka stabilnější, tím může v prostředí působit dlouhodoběji a může větší měrou poškodit přírodu. Mezi persistentní látky jsou řazeny toxické kovy, halogenované a polyaromatické uhlovodíky a celá řada dalších látek, zejména antropogenního původu

5 Technologie bioplynu

5.1 Výroba bioplynu a proces anaerobní fermentace

Bioplyn v bioplynových stanicích je vyráběn prostřednictvím tzv. anaerobní fermentace. Anaerobní fermentace zahrnuje komplex biochemických procesů, při kterých dochází k rozkladu organického materiálu v anaerobních podmínkách. V průběhu čtyř základních fází hydrolýzy, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze mikroorganismy přítomné v procesu anaerobní fermentace vytváří rozkladem organické hmoty meziprodukty, které jsou pak spotřebovávány jinými mikroorganismy. Absence mikroorganismů tvořících meziprodukty pro průběh následující fáze může mít negativní dopad na celý průběh anaerobní fermentace.

V průběhu hydrolýzy dochází především k hydrolytickému štěpení polysacharidů, proteinů a tuků. Štěpení těchto látek je katalyzováno extracelulárními enzymy a může probíhat i za přítomnosti kyslíku. Produktem této fáze jsou především aminokyseliny, mastné kyseliny a cukry. Během fáze acidogeneze vzniká majoritně kyselina máselná, propionová, mléčná a kyselina octová. Dále vzniká etanol, oxid uhličitý a vodík. Acidogenní bakterie nejsou příliš citlivé na změny prostředí. Výkyvy pH a teplot v této fázi proto nemusí znamenat inhibici procesu. V průběhu acetogeneze jsou organické kyseliny a etanol přeměňovány na kyselinu octovou, oxid uhličitý a vodík. Koncentrace vodíku je důležitým faktorem pro průběh procesu. Syntrofní společenstva bakterií spotřebovávají kyslík, který následně opět produkují při současném ovlivnění vzniku kyseliny octové. Kyselina octová je základem pro poslední fázi metanogeneze. V procesu metanogeneze je kyselina octová přeměněna na oxid uhličitý, dusík, vodík, sirovodík a především metan. V této fázi jsou dominantní archea bakterie.

Produktem anaerobní fermentace je tedy fermentační zbytek a bioplyn, který obsahuje především metan a oxid uhličitý. Dalšími produkty jsou vodík, sirovodík, dusík, vodní pára a další. Spalitelnou složkou bioplynu je především metan. Jeho koncentrace je podstatná pro energetické využití a měla by se pohybovat od 50 % objemových.

5.2 Složení bioplynu

Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu (tab. 4) závisí na surovinové skladbě vstupních materiálů a na použité technologii anaerobní fermentace. Hlavními složkami bioplynu jsou metan v koncentraci 50–70 % a oxid uhličitý v koncentraci 25–50 %. Dále jsou v bioplynu obsaženy příměsi dalších minoritních plynů, které mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků v materiálu nebo poruch průběhu anaerobní fermentace (Weiland, 2010; White, 2011; Ryckebosch, 2011).

Podíl	Koncentrace
Metan (CH ₄)	50–75 [% obj.]
Oxid uhličitý (CO ₂)	25–45 [% obj.]
Voda (H ₂ O)	2–7 [% obj.] (20 – 40 °C)
Sirovodík (H ₂ S)	20–20000 [ppm]
Dusík (N ₂)	< 2 [% obj.]
Kyslík (O ₂)	< 2 [% obj.]
Vodík (H ₂)	< 1 [% obj.]

Tabulka 4: Složení bioplynu (Bischofsberger, 2006)

6 Metodika testů

6.1 Charakteristika laboratoře

Testy toxicity těžkých kovů na proces anaerobní fermentace byly provedeny v Celorepublikové referenční laboratoři bioplynových transformací Ústavu zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Mendelovy univerzity v Brně.

Laboratoř byla vybudována s cílem provádět nezávislá měření zaměřená na problematiku zpracování biologicky rozložitelných materiálů anaerobním způsobem. K tomuto účelu byly pro laboratoř vyrobeny unikátní bioreaktory-fermentory, které umožňují pomocí automatických řídicích prvků simulovat provozní podmínky bioplynových stanic. V laboratoři je k dispozici 8 fermentorů o objemu 120 dm³ a 24 fermentorů o objemu 5 dm³.

6.2 Použité přístrojové vybavení

Bioreaktor: zabezpečí podmínek pro testování substrátů pro výrobu bioplynu s přidanými kontaminanty

Analyzátor plynů Combimass GA-m : měření kvality bioplynu CH₄, CO₂, H₂S, O₂

Plynoměr BK G4: měření kvantity vznikajícího bioplynu

Elektrická sušárna KBS G 100: stanovení sušiny

Muflová pec LMH 07/12: stanovení organické sušiny

Laboratorní váhy RADWAG AS 220/C/2: vážení vzorku při stanovení sušiny



Obr. 1: Celorepubliková referenční laboratoř bioplynových transformací,
reaktory o objemu 120 dm³



Obr. 2: Celorepubliková referenční laboratoř bioplynových transformací,
plynoměry reaktorů o objemu 5 dm³

6.3 Charakteristika testovaných materiálů

Jako testované materiály byl vybrán substrát z fermentoru zemědělské bioplynové stanice. Tento substrát byl zároveň inokulačním materiálem. Inokulační substrát je materiál, který slouží při zahájení testu jako prvek dodávající potřebné mikroorganismy. Výběr vhodného inokulačního materiálu se dlouhodobě ukazuje jako významný faktor při designování celého testu. Aby byl materiál vhodný pro laboratorní testy, měl by obsahovat pouze přirozené kultury mikroorganismů a přirozené enzymy. Pro tyto účely nejlépe složí materiál z provozní bioplynové stanice, kde nejsou používány bioenzymatické přípravky na podporu procesu tvorby bioplynu. Dalším důležitým faktorem je sušina a obsah organických látek v inokulátu. Čím je sušina vyšší, tím je náročnější zabezpečit homogenitu materiálu při dávkování do reaktoru a výsledná produkce bioplynu a jeho složení pak může být významně ovlivněna. Z těchto důvodů je již dlouholetou praxí osvědčen jako inokulační materiál substrát z druhého stupně fermentace zemědělské bioplynové stanice v Čejči.

Pro každý test byl vždy zabezpečen čerstvý inokulační materiál, jehož složení se při jednotlivých testech významně nelišilo

6.4 Postup testů

Před zahájením vlastního testu byl nejprve z vybrané zemědělské bioplynové stanice dovezen inokulační materiál. Ten byl v množství 100 kg do reaktoru o objemu 120 dm³ nebo 3 kg do reaktoru o objemu 5 dm³ nadávkován do každého reaktoru. Poté byly reaktory uzavřeny a byl zapsán aktuální stav plynoměru. Po dobu jednoho dne byly v reaktorech udržovány podmínky, které byly stanoveny pro daný test, zejména se jedná o teplotu a intenzitu míchání. Po dvaceti čtyřech hodinách bylo provedeno měření skladby bioplynu a zaznamenána jeho produkce. Pokud dojde k rozptylu naměřených údajů, signalizuje tento stav riziko úniku bioplynu z reaktoru případně ovlivnění biochemických procesů v reaktoru. V takovém případě se provede kontrola těsnosti reaktoru případně jeho servis.

Po kontrole všech reaktorů bylo přistoupeno k zahájení vlastního testování. Při každém testu byl vybrán jeden reaktor jako kontrolní, který obsahoval pouze inokulační materiál. Znalost produkce bioplynu a jeho složení z čistého inokulačního materiálu je

nezbytná pro následnou korekci výsledků získaných z ostatních testovacích reaktorů. Do ostatních reaktorů byl pak přidán testovaný materiál ve stanoveném množství. Testovaným materiálem byly toxické kovy v podobě jejich anorganických solí. Kovy byly vybrány podle nejčastějšího výskytu v běžně provozovaných systémech, jednalo se o olovo, zinek a stříbro, které je v poslední době stále častěji užíváno ve své nano- podobě jako desinfekční činidlo v mnoha různých průmyslových odvětvích. V jednom případě byl testován přídatek 4-chlorfenolu. Fenolické látky, zejména chlorfenoly a nonylfenoly jsou vysoce toxické sloučeniny, které pro své baktericidní účinky představují vysoké riziko pro mikrobiální složku bioplynové stanice a mohou tak narušit správný průběh rozkladného procesu. Mezi substráty s vysokým obsahem fenolických látek patří obzvláště čistírenské kaly.

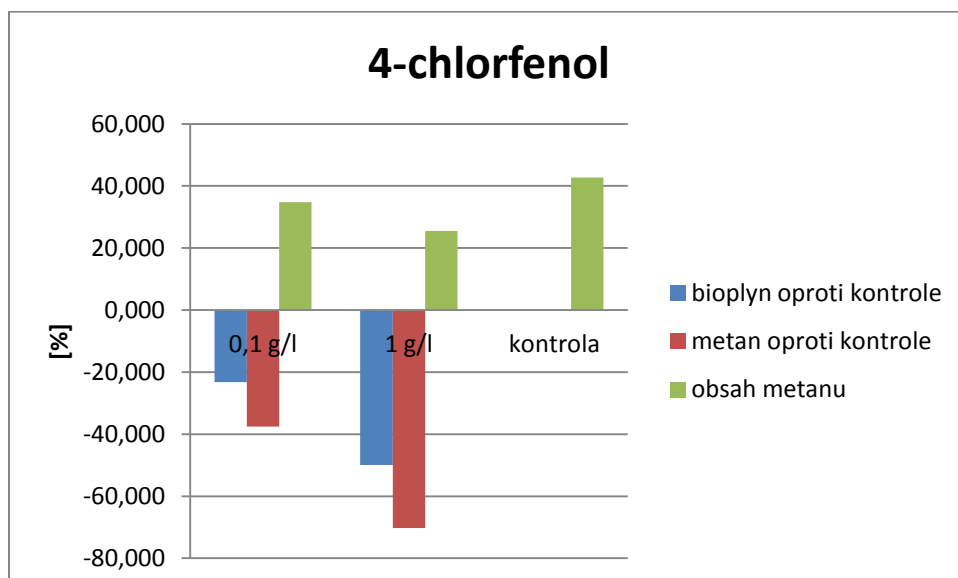
Po nadávkování testovaného materiálu byl obsah fermentoru důkladně promíchán a fermentory uzavřeny. V průběhu testu byla jedenkrát za den odečítána produkce bioplynu a pomocí přístroje Combimass GA-m měřeno složení.

Procesní podmínky všech reaktorů při prováděných testech odpovídaly mezofilnímu teplotnímu režimu 41,9 °C. Míchání reaktorů probíhalo po dobu 60 sekund v intervalu 15 minut. Aby nedošlo k ovlivnění testu v důsledku výkyvu teploty, jsou údaje o teplotě kontinuálně zaznamenávány řídicím počítačem a v průběhu testu jsou kontrolovány. Testy probíhaly po dobu max. 28 dní. Tato doba zdržení byla zvolena na základě denní produkce bioplynu, která byla při ukončení již téměř na hranici meze detekce. Provozní bioplynové stanice pracují s delší dobou zdržení, nicméně v laboratorních podmínkách je zajištěn dokonalý kontakt mikroorganismů s materiálem pomocí intenzivního míchání. Navíc se jedná o vsázkové testy, kdy je čerstvý materiál nadávkován pouze na začátku testu. Vyčerpání dostupných organických látek probíhá tedy rychleji.

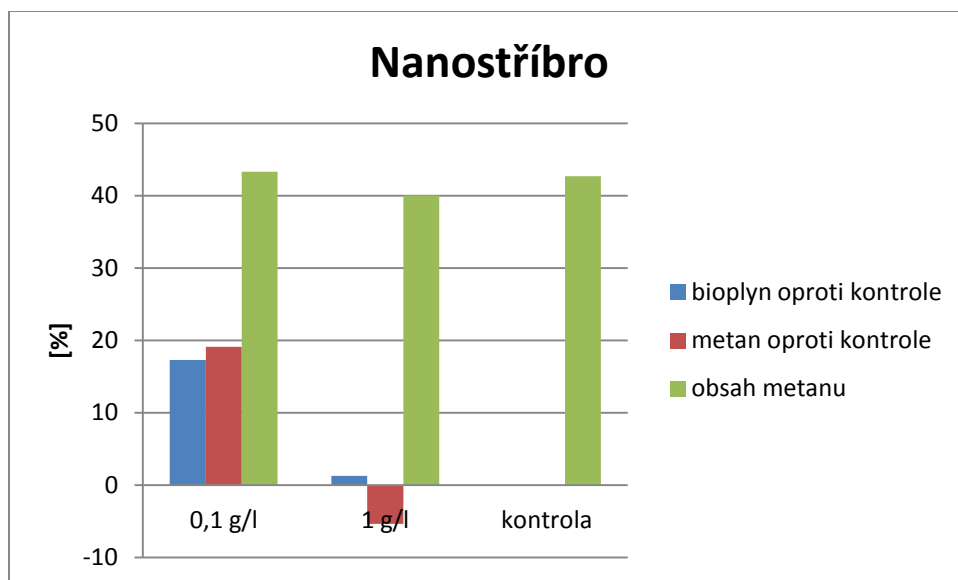


Obr. 3: Obsluha laboratorního reaktoru o objemu 120 dm³

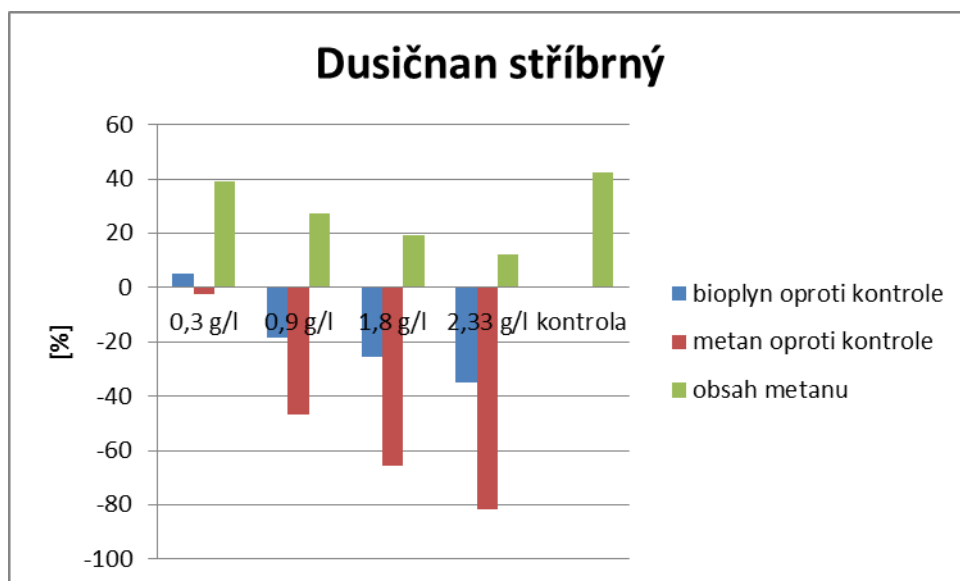
6.5 Výsledky testů



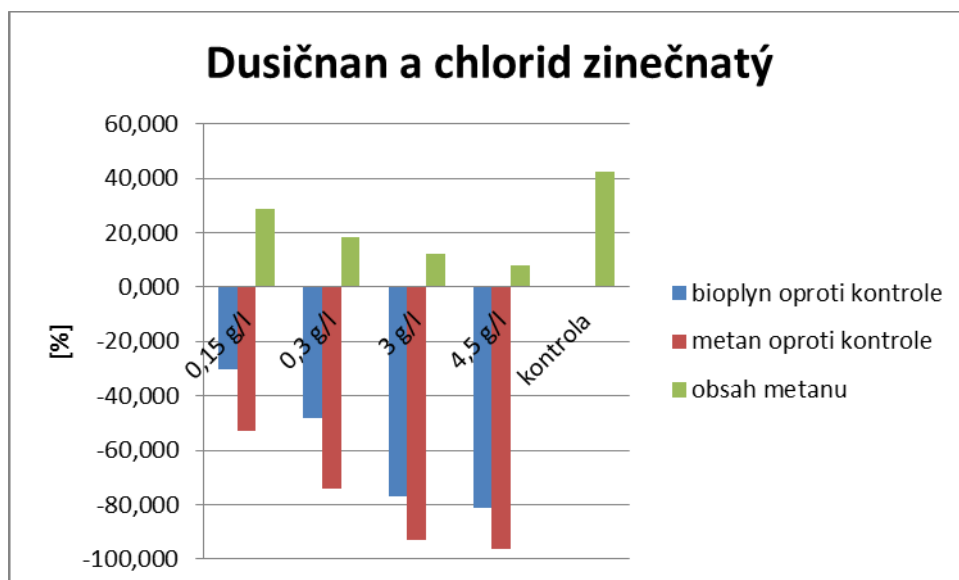
Obr. 4: Produkce bioplynu po přidavku 4-chlorfenolu, reaktor o objemu 5 dm³



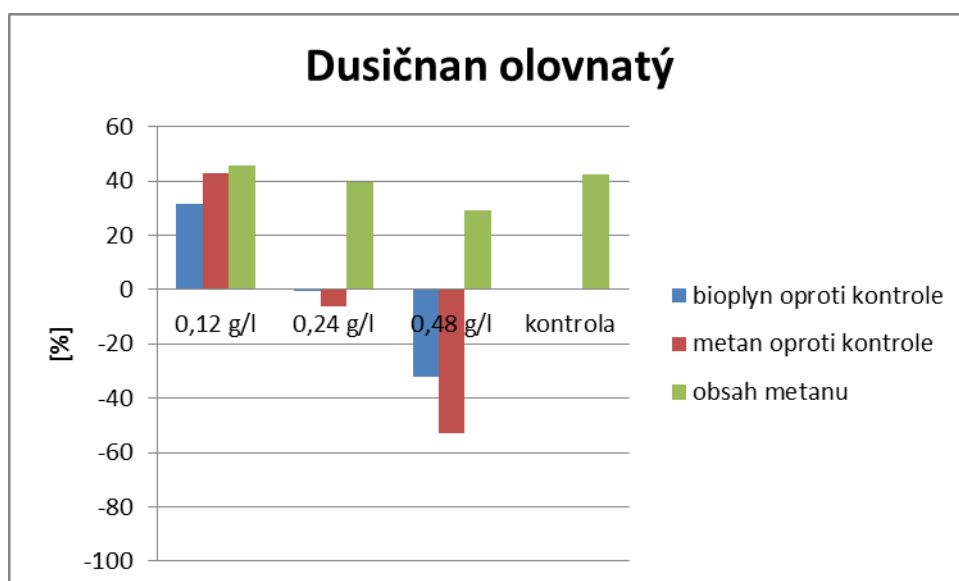
Obr. 5: Produkce bioplynu po přidavku nanostříbra, reaktor o objemu 120 dm³



Obr. 6: Produkce bioplynu po přidavku stříbra, reaktor o objemu 5 dm³



Obr. 7: Produkce bioplynu po přidavku zinku, reaktor o objemu 5 dm³



Obr. 8: Produkce bioplynu po přidavku olova, reaktor o objemu 5 dm³

7 Analýzy vzorků z reálných bioplynových stanic

7.1 Rentgenofluorescenční analýza digestátu

Analýza rentgenofluorescenčním analyzátozem (RFA) v terénní podobě je v současné době rozšířená metoda screeningové anorganické analýzy materiálů na moderních pracovištích pedologického, geologického, geochemického a mnoha dalších zaměření. Při vhodném použití poskytuje výsledky na vysoké kvalitativní úrovni. Srovnání rentgenofluorescenčních analýz terénním spektrometrem s klasickými laboratorními metodami FAAS provedli např. Mäkinen et al. (2005) a srovnání mezi terénní rentgenovou fluorescencí a klasickou ICP-OES testovali např. Kilbridge et al. (2006). Výsledky porovnání výsledků běžných analytických metod s metodou terénní rentgen-fluorescenční spektrometrie na geologických vzorcích při praktickém průzkumu ukazují Knésl et al. (2013). Validaci RFA zaměřenou na analýzu půd, říčních sedimentů a suspendované hmoty ve vodních tocích provedli Geršl a Knésl (2009). Posouzení využitelnosti této metody pro analýzu organominerálních maticí provedl Geršl et al. (2014).

7.2 Příprava vzorků a metodika měření

Měření bylo provedeno na vzorcích odebraných z 8mi různých komerčně provozovaných zemědělských bioplynových stanic v České republice. Vzorky byly před analýzou homogenizovány a následně rozděleny síťováním sítem s velikostí ok 2 mm. Poté byla zvlášť zpracovávána frakce nad 2 mm, de facto separát a frakce pod 2 mm, de facto frakce kapalná. Vzorky byly před analýzou sušeny při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti a mlety ve střížném mlýně na frakci pod 100 µm. Všechny vzorky byly analyzovány v plastových kyvetách pro XRF s mylarovou krycí fólií. Kyvety zajišťují jednotnou geometrii vzorku i prostupnost rentgenového záření definovanou vlastnostmi mylarové fólie.

Podmínky analýzy RFA pro RM i reálné vzorky: Innov-X Systems, Inc., Delta, doba měření: 1. 1-40 kV 140 s.; 2. 2-10 kV 140 s., analytický mód: geochem2 V. Počet opakování měření každého vzorku: 2x duplikátní vzorek, vypočten průměr. Před měřením byl přístroj standardizován vnějším standardem dodaným výrobcem. Kvalita analýz byla průběžně kontrolována měřením 6ti různých referenčních materiálů.

Zvlášť byla hodnocena podsítná frakce digestátu, která je nejdostupnější pro přítomné mikroorganismy a její složení se od celkového substrátu může značně lišit. Uvedené výsledky analýz nelze použít pro běžné hodnocení bioplynových stanic podle platné legislativy.

Použité referenční materiály:

ERM-CD281 – Certifikovaný referenční materiál

Číslo šarže: 000262

Matrice: jílek vytrvalý. Práškový materiál.

Výrobce: Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Retieseweg 111, B – 2440 Geel, Belgium.

GBW 07603 (GSV-2) – Certifikovaný referenční materiál

Číslo šarže: 02281; Datum expirace: 2015

Matrice: větve a listy keřů, oblast Xitieshan, Qinghai Province, China. Práškový materiál, velikost zrna 80 mesh.

Výrobce: Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang, Čína

NIST 1515 – Standardní referenční materiál (SRM)

Matrice: jablečné listí Golden Delicious a Rome varieties

Výrobce: National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Materials Program, 100 Bureau Drive, Stop 2300, Gaithersburg, Maryland, USA

NIST 2781 – Standardní referenční materiál (SRM)

Matrice: domestic sludge kovy

Výrobce: National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Materials Program, 100 Bureau Drive, Stop 2300, Gaithersburg, Maryland, USA

Metranal 3 – Materiál pro kontrolu jakosti (QCM),

Číslo šarže: 007; Datum expirace: 12/2016

Matrice: jahodové listí; práškový materiál, velikost zrna <100 µm.

Výrobce: Analytika spol. s r.o., Ke Klíčovu 816, 190 00 Praha 9, ČR

Metranal 34 – Materiál pro kontrolu jakosti (QCM), původní CRM 7004

Číslo šarže: 002; Datum expirace: 12/2015

Matrice: hlinitá půda, zvýšený obsah analytů. Práškový materiál, velikost zrna <100 µm.

Výrobce: Analytika spol. s r.o., Ke Klíčovu 816, 190 00 Praha 9, ČR

7.3 Výsledky analýz

Analýzy byly provedeny metodou rentgenové fluorescenční analýzy, viz kap. 7.2. Podmínky analýzy RFA pro RM i reálné vzorky: Innov-X Systems, Inc., Delta, doba měření: 1. 1-40 kV 140 s.; 2. 2-10 kV 140 s., analytický mód: geochem2 V. Počet opakování měření každého vzorku: 2x duplikátní vzorek, vypočten průměr. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6 a je možno je porovnat s hodnotami, resp. s mezními koncentracemi uvedenými ve vyhlášce MŽP 474/ 2000 sb. v platném znění (Tab. 7).

Z důvodu požadavku provozovatelů bioplynových stanic na zachování anonymity jsou vzorky označeny pod čísly 1-8. Charakteristika použitých vzorků je uvedena v tabulce 5.

Označení stanice	Zpracovávaný materiál	Počet stupňů fermentace	Instalovaný výkon
č. 1	Kukuřičná siláž, cukrovarské řízky, drůbeží trus	2	1 000 kW
č. 2	Kukuřičná siláž, kejda prasat	2	1 000 kW
č. 3	Kukuřičná a travní siláž, GPS	1	1 800 kW
č. 4	Kukuřičná siláž, kejda prasat	2	750 kW
č. 5	Kukuřičná siláž, kejda prasat, cukrovarské řízky, obilí, GPS	1	530 kW
č. 6	Kukuřičná siláž, kejda prasat, cukrovarské řízky	1	1 000 kW
č. 7	Kukuřičná a travní siláž, nedožerky z výkrmu skotu, kejda prasat	1	1 000 kW
č. 8	Kejda prasat, kukuřičná siláž, obilný šrot	1	1 000 kW

Tabulka 5 Charakteristika analyzovaných vzorků

Č. vzorku	Označení vzorku	As	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
		mg/ kg sušiny										
150193a	č.1 separát	<MD	<MD	<MD	46,93	3377,67	<MD	403,82	4,90	<MD	3,25	327,90
150193b	č.1 < 2 mm	<MD	<MD	125,21	125,62	8094,92	<MD	934,64	<MD	<MD	33,02	597,80
150194a	č.2 separát	<MD	<MD	<MD	135,33	2383,98	<MD	469,58	5,51	<MD	<MD	610,47
150194b	č.2 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	343,76	5945,85	<MD	1345,04	6,89	26,65	5,41	1266,07
150218a	č.3 separát	<MD	<MD	<MD	21,06	2261,29	<MD	227,34	2,91	<MD	3,77	121,34
150218b	č.3 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	89,63	5783,38	<MD	581,83	<MD	<MD	6,01	391,03
150216a	č.4 separát	<MD	<MD	<MD	24,76	2906,60	<MD	220,72	2,85	<MD	<MD	189,19
150216b	č.4 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	53,78	6063,66	<MD	475,47	1,65	<MD	4,12	320,89
150209b	č.5 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	282,10	8606,95	<MD	1516,30	<MD	<MD	5,04	1527,24
150208a	č.6 separát	<MD	<MD	<MD	114,06	1208,40	<MD	239,23	2,07	<MD	<MD	258,27
150208b	č.6 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	284,20	3507,86	<MD	778,19	<MD	<MD	4,21	483,77
150222a	č.7 separát	<MD	<MD	<MD	46,73	2999,05	<MD	354,08	2,65	<MD	1,94	316,01
150222b	č.7 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	46,73	2999,05	<MD	354,08	2,65	<MD	1,94	316,01
150220a	č.8 separát	<MD	<MD	<MD	38,30	2644,95	<MD	251,79	3,02	<MD	<MD	209,43
150220b	č.8 < 2 mm	<MD	<MD	<MD	83,60	5095,30	<MD	650,10	2,11	<MD	3,93	374,87

Tabulka 6: Výsledky analýz digestátů

7.4 Dělení bioplynových stanic podle vstupních surovin

7.4.1 Dělení bioplynových stanic podle vstupních surovin

Bioplynové stanice, v nich vznikající fermentační zbytky rozlišujeme podle druhu vstupních surovin, jelikož existuje řada vstupních materiálů, které mohou být používány v procesu anaerobní fermentace.

Fermentační zbytky z biologicky rozložitelných odpadů (BRO)

Pro bioplynové stanice využívající jako vstupní materiál biologicky rozložitelné odpady se vztahuje vyhláška č. 341/2008 sb. v platném znění. Ve vyhlášce je uveden seznam bioodpadů využitelných při výrobě bioplynu. Vyhláška rovněž řeší postupy, při nakládání s fermentačním zbytkem.

Fermentační zbytky ze zpracování vedlejších živočišných produktů (VŽP)

V případě, že jsou v bioplynové stanice zpracovány vedlejší živočišné produkty, musí být plněny podmínky Nařízení Rady Evropského parlamentu 1069/2009. V současné době se často hovoří o fermentačních zbytcích ze společného zpracování čistírenských kalů a jatečních nebo kuchyňských odpadů. Výstup z podobných zařízení je možné využívat pouze jako upravený kal podle navazující vyhlášky zákona o odpadech č. 382/ 2001 sb., o podmínkách použití upravených čistírenských kalů na půdě. Zároveň musí být tyto BPS schváleny Krajskou veterinární správou.

7.4.2 Podle způsobu následného využití fermentačního zbytku

Využití fermentačního zbytku jako hnojivo

Použitím fermentačního zbytku jako hnojiva se do půdy aplikují makro i mikroživiny. Fermentační zbytek lze použít jako hnojivo při splnění podmínek zákona o hnojivech (156/1998 sb. v pl. znění). Rovněž musí splňovat dané podmínky pro registraci. Výjimku mají pouze fermentační zbytky, které vznikly na zemědělských BPS. Provozovatel je ale povinen tyto zbytky aplikovat na vlastních pozemcích. O registraci hnojiva rozhoduje ÚKZUZ na základě žádosti, který je zároveň příjemcem žádosti. Společně s žádostí žadatel předkládá

vzorek fermentačního zbytku, který musí být analyzován. Případně musí umožnit odběr pověřenou osobou.

Podle vyhlášky MŽP č. 474/ 2000 sb. o stanovení požadavků na hnojiva je fermentační zbytek organickým hnojivem typově (18.1 e). Laboratorním rozbohem akreditovanou laboratoří se ve vzorku zjišťují následující parametry: Obsah sušiny, spalitelné látky, celkový dusík N, hodnota pH, celkový fosfor ve formě P_2O_5 , celkový draslík ve formě K_2O , přítomnost - množství rizikových prvků. Požadavky na fermentační zbytek a seznam sledovaných rizikových prvků s mezními koncentracemi je uveden ve vyhlášce MŽP 474/ 2000 sb. v platném znění. (Tab. 6).

	mg/kg sušiny								
	Kadmium	Olovo	Rtuť	Arsen	Chrom	Měď	Molybden	Nikl	Zinek
	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Sušina do 13 %	2	100	1	20	100	100	5	50	300
Sušina nad 13 %	2	100	1	20	100	150	20	50	600

Tabulka 7 Limitní hodnoty rizikových prvků v org. hnojivech (vyh. MŽP 474/2000 sb.)

Využití fermentačního zbytku jako paliva

Fermentační zbytek obsahuje převážně špatně rozložitelnou stabilní organickou hmotu. Voda obsažená ve fermentačním zbytku snižuje jeho výhřevnost. K odstranění vody z fermentačního zbytku se využívá fyzikálních metod (odlučování) anebo tepelných metod (sušení). K primárnímu kroku při zpracování fermentačního zbytku patří odvodnění. Následuje separace fermentačního zbytku na síťových nebo bubnových separátorech. Získaný separát je polotuhý „koláč“, který je jednodušší skladovat.

Pro následný proces sušení se vyžaduje konečná sušina separátu v rozmezí 10 – 15 %. Pro sušení jsou využívány pásové sušárny konstruované pro různé výkonové velikosti bioplynových stanic. Pracují s teplotou od 80 do 120 °C. Jako hlavní zdroj tepla se využívá zbytkové teplo z kogenerace a teplo z chladicí vody. Na usušení celkového množství separátu však není množství odpadního tepla dostatečné. Výrobci pásových sušáren Dorset GM uvádí,

že na usušení materiálu na potřebnou sušinu 85 – 88 % je nutné dodat 0,6 – 1,1 kWh/kg. V případě potřeby se usušený produkt následně granuluje. Pokud je vlhkost fermentačního zbytku dostatečně nízká a účinnost spalování vysoká, spalování může probíhat bez potřeby vnějšího zdroje tepla nebo přídavného paliva a může dojít k zisku energie. Spalováním fermentačního zbytku vzniklého zpracováním kalů a VŽP se při teplotě 350 – 700 °C mohou uvolňovat jedovaté a karcinogenní polychlorované dioxiny a dibenzofurany. Při obsahu draslíku, síry nebo sodíku vznikají spalováním silně korozivní spaliny. Konečný produkt ze spalování (popel) je buď ukládán na skládky, nebo po vyloučení všech nebezpečných vlastností může být využit jako stavební materiál.

8 Závěr

V úvodní části práce přehledně shrnuje fytoimediační metody zaměřené na sanaci výskytu toxických kovů v půdách. Výsledkem užití těchto metod je biomasa, která je kontaminována toxickými kovy ze sanovaného prostředí. Jednou z možností, jak tuto biomasu využít je jejich zpracování v bioplynových stanicích. Toto zpracování je možné především prostřednictvím přípravy a využití substrátu v podobě siláže o vyšší sušině, tzv. travní senáže. Toxické kovy jsou při tomto zpracování rozptýleny v substrátu a dojde k jejich naředění. Výsledný digestát lze použít jako hnojivo, v případě, že toxické kovy nepřesáhnou legislativně stanovené mezní hodnoty, nebo jej lze využít v energetických procesech spalováním. Kladná energetická bilance je podstatným pozitivním prvkem celého procesu. Té je dosaženo výrobou bioplynu, resp. elektrické energie v bioplynových stanicích a případně také výrobou tepelné energie při následném energetickém využití digestátu.

V praktické části byl testován vliv olova, zinku stříbra, včetně jeho nano- podoby a 4-chlorfenolu na proces anaerobní fermentace. U všech kontaminantů byla nalezena koncentrace, která ještě negativně neovlivňuje proces anaerobní fermentace. Nebyla pozorována inhibice procesu a bioplyn vznikl v obvyklém množství.

Pro vytvoření přehledu o reálné situaci v zemědělských bioplynových stanicích byly odebrány vzorky z osmi různých bioplynových stanic. Vzorky byly rozděleny sítím o velikosti ok 2 mm na nadsítnou a podsítnou frakci. Nadsítná frakce se svou strukturou a chemickým složením blíží tzv. separátu. Podsítná frakce, kde je větší část látek přítomna v roztoku se svou podobou blíží tzv. fugátu. V této frakci jsou nutrienty i kontaminanty lépe dostupné pro mikrobiální kmeny v bioplynových procesech, proto byla tato frakce analyzována zvlášť. Posouzením výsledků analýz podle platné legislativy lze konstatovat, že všech osm posuzovaných bioplynových stanic má v obsahu toxických kovů v digestátu jisté rezervy. Z tohoto pohledu je v takovýchto provozech biomasu s vyššími obsahy toxických kovů zpracovávat.

9 Literatura

- Bischberger, W. – Dichtl, N. – Rosenwinkel, K.H. – Seyfried, C. F. – Böhnke, B. (2005): Anaerobtechnik, 2nd Edition, Springer-Verlag, Heidelberg, ISBN 3-540-06850-3.
- Gadd G. M., (1992): Microbial control of heavy metal pollution. Microbial control of pollution, 59–88.
- Geršl, M. – Geršlová, E. – Findura, P. – Mareček, J. (2014): Využití terénního rentgenofluorescenčního spektrometru pro analýzu organominerálních maticí. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku. 2014. sv. 21, č. 1-2, s. 90--93. ISSN 1212-6209.
- Geršl, M. – Knésl, I. (2009): Validace terénního rentgen-fluorescenčního spektrometru pro potřeby analýz půd, říčních sedimentů a suspendované hmoty. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2008, 17, 126-130.
- Horáková, D. (2006): Bioremediace. Academia, Praha, 1. vydání, 82 s.
- Kilbridge, C. – Poole, J. – Hutchings, T. R. (2006): A comparison of Cu, Pb, As, Cd, Zn, Fe, Ni and Mn determined by acid extraction/ICP–OES and ex situ field portable X-ray fluorescence analyses. – Environmental Pollution, 143, 16–23.
- Knésl, I. – Pecina, V. – Buda, J. – Dvořák, I. (2013): Porovnání výsledků klasických analytických metod s metodou přenosné rentgen-fluorescenční spektrometrie na mapových listech 1 : 25 000 Brno-sever a Mokrý-Horákov. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku 20, 1-2, 170-174.
- Kučerová, P. – Macková, M. – Macek, T. (1999): Perspektivy fyto remediacce při odstraňování organických polutantů a xenobiotik z životního prostředí. Cemické listy 93, 19-26 s.
- Mäkinen, E. – Korhonen, M. – Viskari, E. L. – Haapamäki, S. – Järvinen, M. – Lu, L. (2005): Comparison of XRF and FAAS methods in analysing CCA contaminated soils. – Water, Air, and Soil Pollution, 171, 95–110.
- Rackebosch, E. – Drouillon, M. – Vervaeren, H. (2011): Techniques for transformation of biogas to ethane, Review Article, ass and Bioenergy, Issue 5, 35: 1633-1645s.
- Singh, V.P. – Stapleton, R.D. (2003): Biotransformation: Bioremediation Technology for Health and Environmental Protection. Progress in Industrial Mikrobiology 36.
- Soudek, P. – Petrová, Š. – Benešová, D. – Kotyza, J. – Vaněk, T. (2008): Fyto remediacce a možnosti zvýšení jejich účinnosti. Chemoické listy 102, 346 – 352 s.
- Šotnar, M. (2013): Zpracování fyto remediacčních rostlin vybraným biotechnologickým procesem, Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, 77 s.

Weiland, P. (2010): Biogas production: current state and perspectives. – Appl Microbiol Biotechnol 85:849–860 s.

White, J. A. – Kirk, W. D. – Graydon, W. J. (2011): Analysis of small-scale biogas utilization systems on Ontario cattle farms, 36: 1019-1025 s.

<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Ekotoxikologie>