

Uplatněná certifikovaná metodika 35/16

NOVÁ TECHNOLOGIE A ZAŘÍZENÍ NA CHEMICKOU ÚPRAVU KAPALNÉ FRAKCE DIGESTÁTU A ROZŠÍŘENÍ JEHO VYUŽITÍ

RNDr. Jan Nedělník, Ph.D.

Ing. Martin Mrůzek, Ph.D.

Prof. Ing. Pavel Dítl, CSc.

doc. Ing. Pavel Šulc, Ph.D.

RNDr. Jiří Nápravník

Ing. Karel Vyškovský

Ing. Magda Vičíková

Ing. Marie Kubáňková, Ph.D.

Uplatněná certifikovaná metodika

Metodika 35/16

NOVÁ TECHNOLOGIE A ZAŘÍZENÍ NA CHEMICKOU ÚPRAVU KAPALNÉ FRAKCE DIGESTÁTU A ROZŠÍŘENÍ JEHO VYUŽITÍ

RNDr. Jan Nedělník, Ph.D.

Ing. Martin Mrůzek, Ph.D.

Prof. Ing. Pavel Ditl, CSc.

doc. Ing. Pavel Šulc, Ph.D.

RNDr. Jiří Nápravník

Ing. Karel Vyškovský

Ing. Magda Vičíková

Ing. Marie Kubáňková

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TA04021623
*„Nová technologie a zařízení na chemickou úpravu kapalné frakce digestátu
a rozšíření jeho využití“*



Obsah

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. | Cíl metodiky a dedikace | 7 |
| II. | Vlastní popis metodiky..... | 8 |
| | 1. Vymezení základních pojmů..... | 8 |
| | 2. Průběh testování | 14 |
| | 3. Úpravy reglementu | 19 |
| | 4. Finální reglement..... | 21 |
| | 5. Bilance pro zvětšování měřítka | 22 |
| | 6. Kompostování kalu odloučeného při předpravě..... | 26 |
| III. | Srovnání novosti postupů | 27 |
| IV. | Popis uplatnění metodiky | 29 |
| V. | Ekonomicko – environmentální aspekty nové technologie..... | 30 |
| VI. | Seznam použité literatury | 31 |
| VII. | Seznam publikací a právně chráněných výsledků, které předcházely metodice | 32 |
| VIII. | Seznam tabulek..... | 33 |

Metodiku zpracovali:

RNDr. Jan Nedělník, Ph.D., Ing. Martin Mrůzek, Ph.D., Prof. Ing. Pavel Dítl, CSc.,
doc. Ing. Pavel Šulc, Ph.D., RNDr. Jiří Nápravník, Ing. Karel Vyškovský,
Ing. Magda Vičíková, Ing. Marie Kubáňková

Oponenti:

Ing. Michaela Budňáková
Doc. Ing. Tomáš Vítěz, PhD.

Vydavatel:

© Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko
© agriKomp Bohemia, s.r.o. Střelice
1. vydání

ISBN: 978-80-88000-12-9



I. Cíl metodiky a dedikace

Cílem metodiky je popsat technologický postup pro efektivnější a environmentálně příznivější úpravu digestátu-fugátu, který vznikl jako výsledek řešení výzkumného projektu TAČR TA04021623. Tato technologie byla ověřena v laboratorních a poloprovozních podmínkách. Je využitelná a adaptovatelná pro provozovatele bioplynových stanic při výběru vhodné technologie pro úpravu digestátu-fugátu při současné eliminaci nežádoucích látek. Takto upravený digestát-fugát lze využít jako vysoce kvalitní hnojivo. Tato certifikovaná metodika rovněž předkládá konkrétní příklady metodických postupů zpracování digestátu-fugátu.

V dalším textu pro zjednodušení je uváděn pouze termín digestát.

II. Vlastní popis metodiky

1. Vymezení základních pojmů

Digestát je tekutý fermentační zbytek po anaerobní digestaci (biozplyňování) objemných krmiv, statkových hnojiv nebo jiných bio zemědělských odpadů. Má pach dobře zkvašené kejdy se slabým amoniakálním zápachem. Podíl sušiny u digestátu se pohybuje v rozmezí 3–13 %.

Fugát je tekutý fermentační zbytek po anaerobní digestaci (biozplyňování) objemných krmiv, statkových hnojiv nebo jiných biozemědělských odpadů získaný separací digestátu. Má pach dobře zkvašené kejdy se slabým amoniakálním zápachem. Podíl sušiny u fugátu je nižší < 3 %.

Separát je tuhý fermentační zbytek po anaerobní digestaci (biozplyňování) objemných krmiv, statkových hnojiv nebo jiných bio zemědělských odpadů získaný separací digestátu. Má pach dobře zkvašené kejdy se slabým amoniakálním zápachem. Podíl sušiny u separátu je vyšší > 13 %. (definice vymezeny vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva).

Digestát je možné definovat také jako vedlejší produkt fermentačního procesu v bioplynové stanici, stabilizovaný materiál v kapalné podobě. Jeho složení, podobně jako složení bioplynu, významnou měrou ovlivňuje typ vsázky, tedy druh materiálu vedeného na anaerobní fermentaci. Potenciál produkce bioplynu závisí především na druhu substrátu/obsahu organického podílu sušiny zpracovávaného materiálu (Pastorek *a kol.*, 2009) a na jeho oxidačním stupni, tj. na množství dostupných elektronů, které má molekula k dispozici (Dohányos, 2004). Skutečná výtěžnost bioplynu je však vždy nižší než odpovídá teoretickým výpočtům, jelikož část substrátu je za daných podmínek biologicky nerozložitelná a zároveň část substrátu je využita na tvorbu nové biomasy anaerobních mikroorganismů. Jako substrát pro anaerobní fermentaci lze použít široké spektrum organických materiálů. Zejména organické materiály ze zemědělské produkce jsou vhodným zdrojem substrátu.

Organické materiály, respektive komodity v zemědělské produkci lze kvantifikovat dle původu vzniku. A sice na materiály živočišného původu a na materiály rostlinného původu. Je zřejmé, že produkce (množství) a složení bioplynu se bude lišit v závislosti na daném materiálu. Biologická rozložitelnost a s tím spojená výtěžnost bioplynu je závislá na chemickém složení daného substrátu, tedy především na obsahu sacharidů, tuků, proteinů, ale i na podílu celulózy, hemicelulózy, ligninu a dalších inertních složek (Dohányos, 2004). Také závisí na vzájemném poměru jednotlivých složek substrátu, který je u různých substrátů odlišný.

Pokud se jedná o polysacharidy, jsou součástí rostlinné biomasy a patří sem škrob, celulóza a hemicelulóza. Z jedné molekuly sacharidu teoreticky vzniknou při anaerobní fermentaci tři molekuly methanu a tři molekuly oxidu uhličitého. To znamená, že teoretický obsah methanu v bioplynu je 50 %. Z polysacharidů je nejlépe rozložitelný škrob, který se poměrně snadno hydrolyzuje amylolytickými enzymy (Dohányos, 2004). Naproti tomu biologická rozložitelnost ligninu – též je součástí rostlinných pletiv, ale i materiálů z ní pocházejících, jako je kejda či hnůj – je téměř nulová.

Lipidy vykazují nejvyšší výtěžnost bioplynu. To je dáno jejich nízkým průměrným oxidačním číslem a navíc relativně snadno podléhají enzymové hydrolyze. Ovšem při anaerobní fermentaci materiálů s vysokým obsahem lipidů se mohou vyskytnout problémy s jejich oddělováním z vodné fáze, zvýšeným výskytem pěny v reaktoru a navíc mají tendenci vyplouvat k hladině.

Proteiny, stejně jako lipidy, vykazují vysoký výtěžek bioplynu a patří tedy mezi dobře biologicky rozložitelné látky. Jelikož proteiny obsahují ve svých molekulách další heteroatomy, hlavní problém týkající se jejich zpracování představuje zvýšené riziko výskytu vysokých koncentrací volného amoniaku, a tedy inhibici procesu.

Materiál určený na zpracování prostřednictvím anaerobní fermentace by měl vykazovat následující obecné vlastnosti (Pastorek *a kol.*, 2004):

- vysoký podíl biologicky rozložitelných látek – za účelem získání vysoké produkce bioplynu je nutné materiál dostatečně homogenizovat;



- nízký obsah anorganického podílu;
- optimální obsah sušiny pro pevné substráty je v rozmezí 22–25 %, pro tekuté substráty 8–14 %¹;
- optimální hodnota pH vstupujícího materiálu je v rozmezí 7–7,8, na počátku anaerobní fermentace může hodnota pH vlivem metabolické činnosti acidogenních skupin mikroorganismů klesnout až na 4. V případě, že hodnota pH klesne pod 5, je nutné počítat se zvýšeným rizikem výskytu inhibičních účinků. Pro úprava hodnoty pH na vstupu se jako jednoduchý a účinný přístup ukazuje prostá homogenizace různých materiálů nebo dávkování alkalických přísad;
- důležitý je také poměr uhlíku a dusíku ve zpracovávaném materiálu. Jako optimální poměr je uváděn 25–30:1 (vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík). Např. exkrementy hospodářských zvířat vykazují vysoké koncentrace dusíku, a tedy následně zvýšené koncentrace volného amoniaku v bioplynu. Pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatčných a kafilérních odpadů se za optimální poměr C : N považuje 16–19:1 (Dohányos, 2004). Jako kritický poměr obecně je považována hodnota C : N rovna 12:1 (Dohányos, 2004). Materiály rostlinného původu jsou charakteristické vysokým obsahem uhlíku. Jak již bylo uvedeno výše, v provozní praxi dochází velmi často k míchání různých materiálů vykazující odlišné vlastnosti;
- nepřítomnost, nebo alespoň minimální obsah antibiotik používaných jako léčiva pro zvířata, nebo preventivně jako součást krmných směsí pro drůbež
- nepřítomnost oplachových vod, obsahující dezinfekční prostředky
- nepřítomnost hnojiv a konzervačních látek

¹ Pokud je obsah sušiny pod hodnotou 3 %, anaerobní systém vykazuje negativní energetickou bilanci a je nutné dodávat energii na udržení chodu procesu externě. Naopak horní limitní hranice obsahu sušiny ve zpracovávaném materiálu je určena rheologickými vlastnostmi daného materiálu, např. viskozitou/čerpateľností. Maximální obsah sušiny je však okolo 50 %. Při vyšším obsahu dochází již k zastavení procesu anaerobní fermentace.



Využití neupraveného digestátu

Využitelnost neupraveného digestátu závisí především na jeho kvalitě a na podmínkách konkrétní bioplynové stanice. Zemědělské podniky digestát a jeho frakce nejčastěji využívají jako hnojivo nebo separát po vysušení jako podestýlku pro hospodářská zvířata.

Ve srovnání se statkovými hnojivy (surovou kejdou) je použití digestátu vhodné zejména proto, že obsah snadno rozložitelného uhlíku je redukován, ale žádoucí formy organického uhlíku v digestátu zůstávají, koncentrace patogenů je částečně redukována, snižuje se žíravý účinek surové kejdy na plodiny, čímž tedy celkově digestát přispívá ke zlepšení odolnosti plodin a nižší spotřebě pesticidů.

Nicméně při použití neupraveného digestátu jako hnojiva je nutné dodržovat podmínky vyplývající z těchto zákonných předpisů:

- zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, ve znění pozdějších předpisů
- vyhlášce č. 474/2000 o stanovení požadavků na hnojiva
- vyhl. č. 377/2013 Sb. „o skladování a způsobu používání hnojiv“
- zákona č. 254/2001 Sb., o vodách
- nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech

Digestát není možné aplikovat na půdu převlhčenou, zasněženou nebo promrzlou, nelze jej aplikovat mimo vegetační období, platí omezení pro aplikace digestátu na půdu, kde není provedena meliorace.

Proto je nutné zajistit jeho skladování. Aplikace digestátu musí být rovnoměrná po celém pozemku, přičemž je nutné zapracováním do půdy zabránit úniku amoniaku, zachovat ochranný pás, kde nebude digestát aplikován, na pozemku se sklonem k vodnímu toku. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách definuje

digestát jako závadnou látku, proto je nutno přijmout opatření proti jeho vniknutí do podzemních nebo povrchových vod.

Aplikovat jako organické hnojivo je možné pouze takový digestát (resp. jeho separované složky), který obsahuje minimální deklarované živiny obsažené v organické formě (Tab. č. 1), limity obsahu rizikových prvků, které mohou negativně nepříznivě ovlivnit vlastnosti půdy nebo kvalitu produkce (tabulka č.2) a hygienické limity (tabulka č.3)

| Číslo typu | Označení typu | Minimální obsah živin | Součástí označující typ formy a rozpustnost živin | Hodnocené součásti a další požadavky | Složení, způsob výroby |
|------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 18.1. | Organické hnojivo | e) digestát 3–3 % | sušina | spalitelné látky v sušině hodnocené jako ztráta žíháním | zejména ze statkových hnojiv anaerobní fermentací |
| | | 0,3 % N | celkový dusík | dusík hodnocený jako celkový dusík v sušině | |
| | | f) digestát – fugát < 3 % | sušina | spalitelné látky v sušině hodnocené jako ztráta žíháním | zejména ze statkových hnojiv anaerobní fermentací |
| | | 0,1 % N | celkový dusík | dusík hodnocený jako celkový dusík v sušině | |
| | | g) digestát – separát >13 % | sušina | spalitelné látky v sušině hodnocené jako ztráta žíháním | zejména ze statkových hnojiv anaerobní fermentací |
| | | 0,5 % N | celkový dusík | dusík hodnocený jako celkový dusík v sušině | |

Zdroj: platná legislativa

| Rizikový prvek | mg/kg sušiny |
|----------------|--------------|
| As | 20 |
| Cd | 2 |
| Cr | 100 |
| Cu | 250 |
| Hg | 1 |
| Mo | 20 |
| Ni | 50 |
| Pb | 100 |
| Zn | 1200 |

Zdroj: platná legislativa

| Indikátorové organismy | Počet vzorků, které mají být testovány | Prahová hodnota počtu bakterií | Maximální hodnota počtu bakterií | Počet vzorků, kde je povolena hodnota mezi prahovou a maximální |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <i>Salmonella</i> (nepřítomnost v 25 g) | 5 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Enterococaceae</i> (nepřítomnost v 1 g) | 5 | 0 | 1 000 | 5 |
| <i>Escherichia coli</i> (nepřítomnost v 1 g) | 5 | 0 | 1 000 | 5 |

Zdroj: platná legislativa

Vzhledem k vysokému organickému zatížení digestátu a přítomnosti stabilních koloidních komplexů nelze digestát zpracovat v běžné aerobní mechanicko-biologické čistírně. Navržená chemická předúprava digestátu pomocí srážení a koagulací přítomných přírodních sorbentů na bázi montmorillonitu nebo zeolitu v železitém cyklu, doplněné úpravou pH na hodnotu 8,5 umožňuje získat na jedné straně kapalnou vodní fázi, kterou je již možno vyčistit v běžné aerobní čistírně nebo v kalové laguně, a na straně druhé kal, bohatý na biogenní prvky. Vzniklý kal s obsahem biogenních prvků, doplněný i o dostatečné množství organického uhlíku po kompostování může být využit nejen ke hnojení, ale velmi zlepšit drobtovitost půdy. Je třeba upozornit, že v oblasti pH nad 10 dochází k uvolňování amoniaku.

2. Průběh testování

Neupravený stabilizovaný digestát má charakter velmi stabilní koloidní disperze o koncentraci cca 32 g.dm⁻³, nacházející se v alkalické oblasti pH (hodnota pH se pohybuje v rozmezí 7,5–9) a obsahující také komplexní (též koordinační) sloučeniny.

V experimentech byla analyzována řada vzorků digestátů, pro ilustraci jsou v této metodice uvedeny výsledky dosažené u tří vzorků (vzorky jsou dále číslovány pořadovými čísly 1, 2, 3). Ve všech těchto případech se jednalo o silně koloidní disperzi o koncentraci cca 32 g.dm⁻³ (viz analýza odparek při 105 °C – vzorek č. 1.) o výši pH 7,5–9.

Vzorek č. 1. ALFA-K10126-001 pochází z bioplynové stanice zpracovávající vedle kukuřičné siláže také slepičí trus, silážní šťávy², prasečí kejda a jiné biologicky rozložitelné organické látky. Průměrné denní dávky vstupních surovin do BPS – viz tabulka č. 4.

| Průměrné denní dávky vstupních surovin | | Hmotnostní složení substrátu | |
|---------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|---|
| kukuřičná siláž | 20 t | 43,0 | % |
| kuřecí podestýlka z výkrmu brojlerů | 4 t | 8,6 | % |
| kukuřičný šrot (odpad z potravinové výroby) | 2,5 t | 5,4 | % |
| kejda vepřová vč. pevných prošlapů z roštového ustájení | 4 m ³ | 8,6 | % |
| povrchová voda a silážní šťávy | 10 m ³ | 21,5 | % |
| fugát | 6 m ³ | 12,9 | % |

Zdroj: autorský kolektiv

Vzorek koncového produktu BPS byl odebrán za separátorem. Složení vzorku uvádí následující tabulka.

² Podle dosavadních zkušeností představují např. silážní šťávy mimořádně organicky znečištěný odpad s vysokým obsahem organických i anorganických látek např. alifatické kyseliny, vysoký obsah amoniakálního dusíku, soli Mn, Fe apod. (P. Pitter: Hydrochemie, SNTL 1981).

| Ukazatel | Digestát neředěný | Jednotka | Nejistota měření |
|--------------------|-------------------|----------|------------------|
| CHSK _{Cr} | 88 700 | mg/l | ±10 % |
| BSK ₅ | 13 600 | mg/l | ±15 % |
| RL 105 °C | nelze měřit | | |
| NL 105 °C | 31 500 | mg/l | ±10 % |
| Dusík celkový | 6 700 | mg/l | ±15 % |
| Fosfor celkový | 67 | mg/l | ±10 % |

Zdroj: autorský kolektiv

Vzhledem k tomu, že vsázka BPS obsahovala vedle typické kukuřičné vsázky zmiňovaný slepičí trus, testovaná frakce fugátu obsahovala vysoké množství dusíku, jak ukazuje výše uvedený protokol. Pro srovnání uvádíme hodnoty poměru BSK₅ : CHSK_{Cr} pro některé druhy odpadních vod (tabulka 7).

| vzorek 1 | kg/0,5 l | kg/l-řed. | kg/l-sur. |
|--------------------------------|----------|-----------|-----------|
| H ₂ SO ₄ | 1,5 | 3,00 | 9,00 |
| FeCl ₃ | 0,015 | 0,30 | 0,90 |
| bentonit | 1 | 2,00 | 6,00 |
| CaO | 1,8 | 3,60 | 10,80 |
| PK | 0,027 | 0,05 | 0,16 |

Zdroj: autorský kolektiv

| Původ odpadů | BSK ₅ / CHSK _{Cr} |
|-------------------|---------------------------------------|
| Pivovary-Sladovny | 0,5 |
| Škrobárny | 0,57 |
| Prádelny | 0,5 |
| Prasečí kejda | 0,65–0,72 |
| Chovy skotu | 0,59–0,7 |
| Silážní šťávy | 0,85–0,9 |

Zdroj: Pitter: Hydrochemie, SNTL, Praha 1981

Výsledky analýzy:

Na základě prvních informativních zkoušek byla analyzována odsazená kapalina po sedimentaci kalu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.

| Ukazatel | Jednotka | Digestát neředěný | Po chemické předúpravě-měreno | Účinnost separace |
|--------------------|----------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| CHSK _{Cr} | mg/l | 88 700 | 1590 | 94,6 |
| BSK ₅ | mg/l | 13600 | 269 | 94,1 |
| RL 105 °C | | nelze měřit | 6379 | |
| NL 105 °C | mg/l | 31500 | ≤ 2 | 100,0 |
| Dusík celkový | mg/l | 6700 | 1230 | 44,9 |
| Fosfor celkový | mg/l | 67 | 0,9–1 | 95,5 |

Zdroj: autorský kolektiv

Výsledky zkoušek potvrdily stabilitu digestátu a jeho obtížnou rozložitelnost. Proto byla použita tzv. „kývačka pH“, kdy se na obtížně rozložitelné koloidní komplexy aplikuje šoková změna pH do kyselé a následně do alkalické oblasti. Proto, aby bylo možné tuto metodu aplikovat, musela být nejprve vstupní disperze digestátu naředěna vodou, a to v poměru 1:3. Poté bylo sníženo pH digestátu na hodnotu 4–4,5 s použitím desetiprocentního roztoku kyseliny sírové (H₂SO₄), přičemž bylo zjištěno, že dochází k uvolňování CO₂ a k pění, zřejmě vlivem rozkladu přítomného CaCO₃ v kukuřičném šrotu. Následně byl přidán bentonit 75 a 30procentní chlorid železitý (FeCl₃). Po homogenizaci směsi byl dávkován nasycený roztok oxidu vápenatého (CaO) a po dosažení hodnoty pH cca 8,5 byl aplikován flokulant SOKOFLOK 56. Při vhodném dávkování těchto komponent došlo k velmi dobré koagulaci a následně flokulaci, doprovázené velmi účinnou sedimentací.

Testy byly prováděny na dalších dvou vzorcích:

- **Vzorek č. 2:** ALFA–K10126–002 – vzorek ze stejné BPS jako byl první vzorek (ALFA–K10126–001).

- **Vzorek č.3:** ALFA–K10055–003 – vzorek fugátu z BPS, která obsahuje „standardní“ (nezvýšené) množství dusíku.

U těchto dvou vzorků je hodnota CHSK_{Cr} poněkud nižší kolem 65 000 mg/l, poměr BSK/CHSK je obdobný, jakož i obsah dusíku a fosforu.

Vzorek č. 2. ALFA–K10126–002

- vzorek byl zředěn vodou v poměru 1:3 (celkový objem 800 cm³) a vstupní hodnota pH vykazovala hodnotu 9,5
- nejprve byla aplikována 10 procentní kyselina sírová (H₂SO₄), která snížila **pH pod 4,5** (22 cm³),
- následně bylo aplikováno 1,5 g bentonitu a 0,3 g chloridu železitého (FeCl₃),
- dále následovala zpětná úprava pH dávkováním roztoku oxidu vápenatého (CaO, 10 cm³ nasyceného roztoku) na hodnotu pH 8,5
- srážení proběhlo dobře a po přidání roztoku fukulantu PK SOKOFLOK 56 (15 cm³ 0,01 %) vznikly velké, dobře sedimentující flokule, které po 10 min. sedimentace zaujímaly cca 30 % objemu.
- odsazená kapalina byla odfiltrována a odebrán vzorek na stanovení CHSK_{Cr} a BSK₅, současně byl odebrán surový vzorek digestátu a vzniklého kalu na stanovení obsahu těžkých kovů.
- tento vzorek je i po filtraci žlutohnědě zbarven, odpovídá použitým materiálům použitých při výrobě bioplynu(kreatin v moči prasat-prasečí kejda, další močová barviva urerytrin, laurin urochrom (viz Organická chemie O. Červenka a kol.SNTL, Praha 1980)
- při digestaci bioměsí, které obsahující i silážní zbytky, jsou v digestátu přítomny např. chlorofyl, xantofyl, tedy barviva, která se jen velmi obtížně odstraňují; k jejich odstranění slouží však poměrně drahá technologie, založená např. na Fentonově reakci, kde působí velmi reaktivní hydroxylový radikál, dále je to oxidace ozonizací.(J.Zábranská: ANAEROBNÍ TECHNOLOGIE ORGANICKÝCH ODPADŮ, 2005)

- dalším možným znečištěním jsou silážní rezidua z kukuřice, která nejen vodu zabarvují, ale svým koloidním charakterem proces čištění velmi komplikují (proto je k rozrážení uvedených komplexů aplikována zř.kyselina sírová (xantofyl, beta-karoten, gluten, lutein apod.)

Tab. 9 – Výsledky analýzy vzorku 2

| Vzorek č. 2 | Jednotka | Digestát neředěný | Po chemické předúpravě-měřeno | Účinnost separace % |
|--------------------|----------|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| CHSK _{Cr} | mg/l | 47 400 | 100 | 99,4 |
| BSK ₅ | mg/l | 7 920 | 175 | 93,4 |
| RL 105 °C | | | 4150 | |
| NL 105 °C | mg/l | 17 400 | 160 | 97,2 |
| Dusík celkový | mg/l | 5 700 | 330 | 82,6 |
| Fosfor celkový | mg/l | 390 | 7,1 | 94,5 |

Zdroj: autorský kolektiv

Vzorek č. 3 - ALFA-K10055-003

Obdobným způsobem jsme pak odzkoušeli i vzorek digestátu- fugátu K10055-003:

- vzorek byl naředěn vodou v poměru 1:3 (800 cm³), vstupní hodnota pH po zředění vykazovala hodnotu 10,0;
- úpravu pH „šokem“ pomocí zředěnou kyselinu sírovou (H₂SO₄) na hodnotu pH 4,5 (bylo zjištěno, že dochází k uvolňování oxidu uhličitého (CO₂) a k následnému pění, zřejmě vlivem rozkladu přítomného uhličitanu vápenatého (CaCO₃) v kukuřičném šrotu, byl dávkován bentonit (1,5 g), FeCl₃ (0,3 g) a pro zpětnou úpravu pH na hodnotu 8,5 pak nasycený roztok CaO (20 cm³)
- průběh chemického srážení velmi dobrý a po přidavku flokulantu PK SO-FOLK 56 (15 cm³; 0,01 %) proběhla výborná flokulace, doprovázená velmi rychlou sedimentací
- objem kalu po 10 min. zaujímal 50 % z celkového objemu roztoku, odsazený roztok byl následně filtrován a byl čirý. Byly odebrány vzorky surového digestátu fugátu, filtrátu na stanovení obsahu CHSK_{Cr}, BSK a vzorek vzniklého kalu na obsah těžkých kovů.

Tab. 10 – Výsledky analýzy vzorku 3

| Vzorek č. 3 | Jednotka | Digestát Fugát neředěný | Po chemické předúpravě-měřeno | Účinnost separace % |
|--------------------|----------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|
| CHSK _{Cr} | mg/l | 48 000 | 385 | 97,6 |
| BSK ₅ | mg/l | 4 200 | 206 | 85,3 |
| RL 105 °C | | | 5150 | |
| NL 105 °C | mg/l | 29 850 | 2 | 100,0 |
| Dusík celkový | mg/l | 3 600 | 280 | 76,7 |
| Fosfor celkový | mg/l | 420 | 1,2 | 99,1 |

Zdroj: autorský kolektiv

3. Úpravy reglementu

Řešitelský tým testoval ještě další úpravy reglementu chemické úpravy fugátu pro výslednou intenzifikaci procesu a dosažení provozních úspor vedoucích k jeho zlevnění.

Byly tedy testovány další kyseliny, a to HCl a kyselina fosforečná, nicméně ani jedna z nich se neosvědčila z důvodů nedokonalého rozkladu komplexních koloidních látek ve digestátu fugátu. Proto se jako nejvýhodnější jeví H₂SO₄. Dále byly rovněž testovány další koagulační soli. Způsob srážení, který je založen pouze na přidávání samotného chloridu vápenatého CaCl₂ bez „houpačky“ pH je bez účinku. Je vždy nutné použít „houpačku pH“ tak, jak byla popsána ve výsledném reglementu. Dále byly vyzkoušeny tyto další modifikace původně navržené technologie:

- náhrada FeCl₃ chloridem vápenatým, který umožňuje vytvářet větší vločky a velmi dobré vložkování, nicméně vločky jsou lehčí a způsobují zhoršenou sedimentaci;
- náhrada FeCl₃ chloridem vápenatým při současné náhradě bentonitu křemelinou – v laboratorních podmínkách byla zjištěna horší filtrovatelnost, pouze při zvýšeném dávkování flokulantu lze dosáhnout vyhovujících výsledků
- náhrada FeCl₃ lacinější zelenou skalicí (odpad při výrobě titanové běloby), případně i s přidavkem Ca(OCl)₂ pro převedení Fe₂⁺ na Fe₃⁺ oxidací vzhledem k tomu, že tvorba a velikost vloček závisí na oxidačním stupni solí kovů.



Použití přírodních sorbentů zlepšuje čištění, neboť sorbenty na sebe váží koloidní a rozpuštěné látky, ale také zlepšuje sorpční vlastnosti a hrudkovatelnost zeminy po kompostování a rozvoz na pole. Přírodní sorbenty zlepšují flokulaci a následnou sedimentaci či filtrovatelnost. V průběhu laboratorních pokusů byly testovány tři přírodní sorbenty – bentonit, bentonit aktivovaný FeCl_3 a křemelina. Přidávání bentonitu aktivovaného FeCl_3 snižuje podstatně dávku FeCl_3 . Křemelina zlepšuje podstatně filtrovatelnost a urychluje sedimentaci, neboť slouží i jako „zatěžkávadlo“, její nevýhodou jsou nižší sorpční vlastnosti ve srovnání s bentonitem, nebude mít tedy tak vysoký vliv na zlepšení sorpční vlastnosti půdy jako bentonit. Pokusy ukázaly na vhodnost kombinace přidávání bentonitu a křemeliny, tento způsob by také mohl snížit materiálové náklady (zejména při využití použité křemeliny). Vzhledem k nákladové náročnosti flokulantů, která může představovat více než 80 % hodnoty materiálových nákladů, realizační tým rozhodl o testování dalších variant pro zlevnění celého procesu. Bylo testováno 9 flokulantů, přičemž výrazně nejlepší výsledky vykazuje flokulant VGP 53, kterým je možné dosáhnout stejného účinku jako při použití základního flokulantu Sokoflok 56A, a to při 7 x nižším dávkování.

V poloprovozních podmínkách se u určitých vzorků vyskytl problém nadměrné tvorby pěny, jejíž příčinou může být rozklad CaCO_3 , který je do siláže a krmení přidáván jako zaživací a hlavně stabilizační činidlo. Realizační tým proto provedl laboratorní pokusy na odstranění této pěny přidáváním některé látky dodávané Lučebními závody Kolín a.s., které umožní odpěnění. Zatím se zdá, že z cenového hlediska se jeví nejvýhodnější typ: LUKOSAN-S (LUKOSANU-P2 či LUKOSANu E202), které byly přidány v množství 2 kg/m^3 . Pro snadnější dávkování byly odpěňovače ředěny vodou v poměru 1:3 až 1:10. Druhým testovaným způsobem bylo mechanické odpěňování, kdy byla na hladinu položena mříž z taho-kovu (využívaná např. při výrobě saponátu Procter Gamble).

Na základě výsledků předchozích pokusů byla pro zlepšení sedimentovatelnosti dávkována křemelina jako zatěžkávadlo. V případě použití flokulantu Sokoflok 56 A došlo ve srovnání s předchozími pokusy k vytvoření rychleji se-



dimentující sraženiny. Vytvořené vločky byly dobře filtrovatelné a to i pomocí sítky. Filtrát vykazoval CHSK 1260 mg/l . V případě použití flokulantu VGP 53 došlo k vytvoření velkých vloček. Po přidávku flokulantu Sokoflok 56A došlo vlivem odvodnění ke zvýšení rychlosti sedimentace. Vytvořené vločky byly dobře filtrovatelné a to i pomocí sítky.

4. Finální reglement

Na základě poznatků o odzkoušeném a navrhovaném postupu chemické úpravy digestátu, byl vytvořen závazný technologický postup, koncentrace chemických činidel a jejich dávkování

1. Zředění digestátu vodou, obvykle v poměru 1:3, v případech vysokých koncentrací koloidních látek i v poměru až 1:4.
2. Měření pH po naředění zpracovávaného digestátu.
3. Úprava pH dávkováním zředěné kyseliny sírové (H_2SO_4 cca 10procentní) na hodnotu 4–4,5.
4. Dávkování suspenze bentonitu.
5. Dávkování roztoku síranu železitého ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)
6. Důkladná homogenizace.
7. Dávkování roztoku oxidu vápenatého (CaO) na hodnotu pH 8,5.
8. Homogenizace.
9. Dávkování roztoku flokulantu SOKOFLOK VGP53
10. Homogenizace pomalejší
11. Dávkování roztoku flokulantu PK-SOKOFLOK 56
12. Homogenizace pomalejší
13. Flokulace při pomalém míchání.
14. Sedimentace.
15. Dekantace vyčištěného difestátu
16. Separace sedimentovaného kalu

Koncentrace roztoků přehledně uvádí Tab. č. 11.

| Tab. č. 11 – Koncentrace roztoků | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| H ₂ SO ₄ | 10 hm % |
| Bentonit | 10 hm.% |
| FeCl ₃ | 3 hm.% |
| CaO | nasycený roztok při teplotě okolí |
| Flokulant SOKOFLOK 56 | 0,1 hm.% -čerstvý roztok |
| Flokulant SOKOFLOK VGP53 | 0,1 hm.% -čerstvý roztok |

Zdroj: autorský kolektiv

5. Bilance pro zvětšování měřítka

Pro modelování hmotnostní bilance byla v programu EXCEL vypracována kalkulační tabulka. Modely jsou vypracovány pro tři základní reglementy popsané níže, v této metodice je pro příklad uveden model 1.

List1-reglement-1st siláž je pro výpočet reglementu z experimentálních dat provedených v kádince a to pro jednostupňovou úpravu při zpracování siláže.

List2-reglement-2st gastro je pro výpočet reglementu z experimentálních dat provedených v kádince a to pro dvoustupňovou úpravu při zpracování odpadů obsahující ch gastroodpady a sýry (zde nestačil jeden stupeň)

List3-bilance-1st je bilance jednostupňové úpravy při zpracování siláže na základě reglementu.

List1-reglement-1st siláž je pro výpočet reglementu z experimentálních dat provedených v kádince a to pro jednostupňovou úpravu při zpracování siláže.

Stanovení reglementu jednostupňová úprava

typ: siláž, senáž, veprová kejda

1. Experimentální stanovení

Vsadka

objem kapalné frakce

$$V_{kd} = 200 \text{ ml}$$

ředěbá digestát: voda = 1:x (obj)

$$x = 3 \text{ (-)}$$

Veličina

dávka

Položka

(ml)

10 % hm. H₂SO₄

70

bentonit 150 g/l

10

30 g/l FeCl₃ (50 g/l FeCl₃·5H₂O)

15

20 g/l CaO

400

0,1 % hm. flokulant

11

Pozn. Flokulant VGP 53

Sedimentace

Objem odsazené vody

600 ml

objem kalu

706 ml

sedimentace: kal:voda = 1:z (ob..... doplnit)

$$z = 0,850$$

2. Reglement

Položka

Složka

10 % hm. H₂SO₄

$$D_{H_2SO_4} = 9,319 \text{ g/dm}^3$$

bentonit 150 g/l

$$D_{bentonit} = 1,875 \text{ g/dm}^3$$

30 g/l FeCl₃ (50 g/l FeCl₃·5H₂O)

$$D_{FeCl_3} = 0,563 \text{ g/dm}^3$$

20 g/l CaO

$$D_{CaO} = 10,000 \text{ g/dm}^3$$

0,1 % hm. flokulant

$$D_{flokulant} = 0,014 \text{ g/dm}^3$$

Pozn. Dávkování vztaženo k objemu směsi.

Položka

Složka

10 % hm. H₂SO₄

$$D_{H_2SO_4} = 37,275 \text{ g/dm}^3$$

bentonit 150 g/l

$$D_{bentonit} = 7,500 \text{ g/dm}^3$$

30 g/l FeCl₃ (50 g/l FeCl₃·5H₂O)

$$D_{FeCl_3} = 2,250 \text{ g/dm}^3$$

20 g/l CaO

$$D_{CaO} = 40,000 \text{ g/dm}^3$$

0,1 % hm. flokulant

$$D_{flokulant} = 0,055 \text{ g/dm}^3$$

Pozn. Dávkování vztaženo k objemu kapalné frakce digestátu.

Pozn. Přebytek CaO

přebytek CaO

$$\lambda_{CaO} = 1,877$$



Výpočty

1. Hustota chemikálií

| Položka | Hustota (kg/m ³) |
|-----------------------------------------|------------------------------|
| voda | 1 000 |
| 10 % hm. H ₂ SO ₄ | 1 065 |

2. Koncentrace roztoků

| Veličina | Aktivní složka | cmv i | cmi (-) |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------------------------------|
| Položka | | (g/l) | |
| 10 % hm. H ₂ SO ₄ | | 106,5 | cm _{H₂SO₄} = 0,1 |
| bentonit 150 g/l | | 150 | cm _{bentonit} = |
| 30 g/l FeCl ₃ (50 g/l FeCl ₃ ·5H ₂ O) | | 30 | cm _{FeCl₃} = |
| 20 g/l CaO | | 20 | cm _{CaO} = |
| 0,1 % hm. flokulant | | 1 | cm flok = 0,001 |

3. Experiment

| | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|
| objem kapalné frakce | V _{kd} = | 200 | ml |
| řešení digestát: voda = 1:x (obj.) | x = | 3 | (-) |
| ředící voda | V _{ředw-v} = | 600 | ml |
| objem směsi | V _{kd+řw} = | 800 | ml |

| Veličina | dávka roztoku | dávka složky |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Položka | (ml) | (g) |
| 10 % hm. H ₂ SO ₄ | 70 | 7,455 |
| bentonit 150 g/l | 10 | 1,50 |
| 30 g/l FeCl ₃ (50 g/l FeCl ₃ ·5H ₂ O) | 15 | 0,45 |
| 20 g/l CaO | 400 | 8,00 |
| 0,1 % hm. flokulant | 11 | 0,01 |
| Celkem | 506 | 17,416 |

4. Reglement

| Položka | Složka |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 10 % hm. H ₂ SO ₄ | D _{H₂SO₄} = 9,319 g/dm ³ |
| bentonit 150 g/l | D _{bentonit} = 1,875 g/dm ³ |
| 30 g/l FeCl ₃ (50 g/l FeCl ₃ ·5H ₂ O) | D _{FeCl₃} = 0,563 g/dm ³ |
| 20 g/l CaO | D _{CaO} = 10,000 g/dm ³ |
| 0,1 % hm. flokulant | D _{flokulant} = 0,014 g/dm ³ |

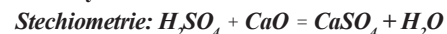
Pozn. Dávkování vztaženo k objemu směsi.



| Položka | Složka |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 10 % hm. H ₂ SO ₄ | D _{H₂SO₄} = 37,275 g/dm ³ |
| bentonit 150 g/l | D _{bentonit} = 7,500 g/dm ³ |
| 30 g/l FeCl ₃ (50 g/l FeCl ₃ ·5H ₂ O) | D _{FeCl₃} = 2,250 g/dm ³ |
| 20 g/l CaO | D _{CaO} = 40,000 g/dm ³ |
| 0,1 % hm. flokulant | D _{flokulant} = 0,055 g/dm ³ |

Pozn. Dávkování vztaženo k objemu kapalné frakce digestátu.

5. Přebytek CaO



| Veličina | φ i | Mi | ni | mi | mi l |
|--------------------------------|----------|----------------|----------|---------|--------|
| Položka | (-) | (g/mol) | (mol) | (g) | (g) |
| H ₂ SO ₄ | 1 | 98,08 | 1 | 98,08 | 1 |
| CaO | 1 | 56,0794 | 1 | 56,0794 | 0,5718 |

Přebytek CaO – molově

| Veličina | přebytek | ni-stechio | ni l dávka | ni dávka | ni dávka |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|----------|----------|
| Položka | (-) | (mol) | (mol) | (mol) | (g) |
| H ₂ SO ₄ | x | 1 | 1 | 0,0950 | 9,319 |
| CaO | 1,877 | 1 | 1,877 | 0,1783 | 10,000 |

Přebytek CaO – hmotnostně

| Veličina | přebytek | mi stechio | mi l dávka | ni dávka |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| Položka | (-) | (g) | (g) | (g) |
| H ₂ SO ₄ | x | 1 | 1 | 9,319 |
| CaO | 1,877 | 0,578 | 1,073 | 10,000 |

6. Sedimentace

| | | | |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------|----|
| objem vsadky | V _{kd + řw} = | 800 | ml |
| objem chemikálií | V _{chem} = | 506 | ml |
| objem vsadky včetně chemikálií | V _{vs} = | 1306 | ml |
| objem odsazené vody | V _{ods voda} = | 600 | ml |
| objem kalu | VD _{kal} = | 706 | ml |
| sedimentace: kal:voda = 1:tz (ob.... doplnit) | z = | 0,850 | |



6. Kompostování kalu odloučeného při předpravě

Pro použití kalu odloučeného při předpravě surového fugátu je nutné zdůraznit výsledek chemického rozboru surového fugátu, vyskytuje se výrazná disproporce mezi hodnotami CHSKCr ($88\ 700\ \text{mg}, \text{O}_2.\text{dm}^{-3}$) a BSK5 ($13\ 600\ \text{mg O}_2.\text{dm}^{-4}$); je zřejmé, že biologicky rozložitelné látky organického charakteru byly zpracovány již při anaerobním procesu výroby bioplynu. Přítomnost obtížněji biologicky rozložitelných látek pravděpodobně výrazně zvýší dobu kompostování, s čímž je třeba při přípravě kompostu počítat. Dále byl:

- zjištěn poměrně nízký obsah celkového fosforu ($67\ \text{mg}.\text{dm}^{-3}$), který by také v kompostu chyběl; jedním z řešení je varianta přidání zředěné kyseliny fosforečné (H_3PO_4) při chemické úpravě, čímž by se obsah celkového fosforu v kalu zvýšil, další možností je využití bentonitu a orthofosforečnanu draselného příp. sodného společně s enzymatickým prostředkem (např. Amalgerol)
- zjištěn nízký obsah organického uhlíku; zdrojem doplňkového organického uhlíku může být přídatný organický substrát, který by se přidával buď před chemickou úpravou digestátu, nebo před vlastním kompostováním upraveného kalu.
- bylo zjištěno, že chemická předúprava využívá bentonit (přírodní zeolit), který zůstává ve zbytkovém množství v separovaném kalu, čímž při aplikaci kalu na pole a přispívá ke zlepšení půdní drobtovitosti a zvýšení půdního potenciálu iontové výměny pro biogenní prvky.



III. Srovnání novosti postupů

Stávající postup zpracování digestátu

Stávající postup zpracování digestátu spočívá v separaci tuhé fáze a skladování kapalně fáze-fugátu po dobu, kdy není možné fugát (nebo alternativně přímo surový digestát) aplikovat na pole. Vzhledem k tomu, že aplikace na pole je limitována řadou omezení, jak legislativními, které se neustále zpřísňují, tak přírodními podmínkami hledali autoři této metodiky nový postup. Vzhledem k vysokému organickému zatížení digestátu a přítomnosti stabilních koloidních komplexů nelze digestát zpracovat v běžné aerobní mechanicko-biologické čistírně. Výše uvedené faktory vyžadují návrh nových postupů pro zpracování digestátu.

Nově navržený postup zpracování digestátu

Nově navržený postup zpracování zachovává první fázi procesu – separaci tuhé fáze a kapalně fáze-fugátu. Odlišnost spočívá ve způsobu zpracování kapalně fáze-fugátu. Navržená chemická předúprava fugátu díky destrukci stabilních organických koloidních komplexů umožňuje zpracovat odsazenou kapalnou fázi v tzv. laguně nebo v běžné aerobní biologické čistírně

Sedimentovaný kal obsahuje látky vhodné ke kompostování a může být výhodně kompostován například s biologickým kalem z ČOV. Kal vedle zbytkových organických látek obsahuje bentonit nebo přírodní zeolit, který pak v kompostu přispívá ke zlepšení půdní drobtovitosti a zvyšuje půdní potenciál iontové výměny pro biogenní prvky.

Vyčištěnou technologickou vodu lze výhodně vracet do procesu předpravy k ředění fugátu či k přípravě používaných činidel a prostředků. Jak již bylo uvedeno, vyčištěnou technologickou vodu lze také výhodně shromažďovat v tzv. laguně, opatřené rákosovým porostem (biologické dočišťování od reziduí N-slou-



čenin). Vodu z laguny lze používat k ředění fugátu nebo ji lze použít jako vodu technologickou či závlahovou.

Vzhledem k tomu, že se při výrobě bioplynu používají nehomogenní směsi organického charakteru, sestávající např. z prasečí kejdy, hnoje, silážních substrátů a dalších biologicky rozložitelných materiálů, je velmi obtížné stanovit přesné dávkování chemických komponent, potřebných pro chemickou předúpravu fugátu z výroby bioplynu. Výhodně se proto fugát před zpracováním shromažďuje a egalizuje, analýzou se sleduje poměr CHSKCr a BSK5, hodnoty pH, a poté se pro celou egalizovanou šarži laboratorně ověří optimální dávkování chemických komponent, určených pro danou úpravu.



IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika poskytuje majitelům a provozovatelům bioplynových stanic informace a argumenty pro zavedení nového technologického prvku do procesu výroby bioplynu, kterým je úprava kapalné složky po fermentaci. Tříleté experimentální ověřování v laboratorních, poloprovozních a provozních podmínkách prokázalo, že lze navrženým reglementem dosáhnout výrazného snížení biologických i chemických kontaminantů tekuté frakce. Takto upravená frakce může tak být po případném biologickém dočištění využita zpětně v procesu fermentace či vypouštěna do vodoteče. Metodika také stručně popisuje možnosti využití sedimentačního zbytku pro kompostování. Metodika je využitelná jako zdroj informací v rozhodovacím procesu státní správy, pro vlastníky či provozovatele bioplynových stanic.



V. Ekonomicko – environmentální aspekty nové technologie

Manažeři v podnikatelském sektoru i tvůrci veřejných politik potřebují informace pro rozhodování a podklady pro prognózu dopadů těchto rozhodnutí na výkonnost, a to jak v ekonomické, sociální tak environmentální perspektivě (Curran, 2013). Dlouhodobě udržitelná zemědělská produkce vytváří přidanou hodnotu jak v ekonomické, sociální, tak také environmentální perspektivě. Soustavná nutnost zvyšovat intenzitu zemědělské produkce sebou samozřejmě přináší zvýšené požadavky na rozhodování jak tvůrců politik, tak zemědělské praxe. Posuzování nových technologií tak nelze zúžit pouze na ekonomickou analýzu, je potřeba brát v úvahu také dopady environmentální.

Budoucí uživatelé této technologie mají nyní k dispozici užitečný vzor a patent, které mohou využívat na základě nevýlučných licencí, které jsou jejich autoři ochotni uzavírat.

Stávající postup zpracování digestátu vyžaduje budování investičně nákladných nádrží, které je potřeba udržovat, dále uhradit náklady na rozvoz a umístění digestátu. Nová technologie vyžaduje pouze stavbu zařízení (u menších bioplynových stanic je možné provedení mobilní), výstupní technologickou vodu lze biologicky dočistit a sedimentovaný kal přímo použít jako hnojivo nebo zpracovat ve formě kompostu.

Nová vytvořená technologie má z pohledu uživatelů a celé společnosti výrazné environmentální přínosy spočívající jednak ve snižování kontaminace vody biologickými i chemickými kontaminanty a dále ve využití hnojiva nebo kompostovaného kalu pro zlepšení kvality půdy. Efektivitu technologie znázorňuje tabulka č. 10, ze které je patrné, že účinnost separace CHSK dosahuje 94%, u BSK5 dosahuje tato hodnota 87%. Právě tyto aspekty by měly být zohledněny při rozhodování o volbě technologie zpracování digestátu.



VI. Seznam použité literatury

- CURRAN, M. A. (2013) *Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability*. Current Opinion in Chemical Engineering, 2, 273–277.
- ČERVENKA, O. a kol. (1980) Organická chemie. SNTL, Praha
- DOHÁNYOS, Michal: Anaerobní reaktor není černou skříňkou – teoretické základy anaerobní fermentace. Biom.cz [online]. 2008-11-17
- PASTOREK, Z. a kol. (2009) Využití techniky a agronomických opatření při obhospodařování travních porostů v podmínkách horských oblastí LFA a svažitých chráněných krajinných oblastí, VUZV Praha
- PITTER, P. Hydrochemie, SNTL, Praha 1961.
- ZÁBRANSKÁ, J. (2005) Anaerobní technologie organických odpadů. Zákon o hnojivech č.474/2000 Sb.



VII. Seznam publikací a právně chráněných výsledků, které předcházely metodice

NÁPRAVNÍK, J.; DITL, P. Moderní metody likvidace prasečí kejdy, In: Aktuální problémy chovu prasat. Praha: Česká zemědělská univerzita (ČZU), 2004, s. 79–91. ISBN 80-213-1176-2.

Užitný vzor číslo 29611. Zařízení pro čištění fugátu z bioplynových stanic. PV datum zápisu 4. 7. 2016

Patent číslo 306188. Způsob čištění fugátu z bioplynových stanic a zařízení pro provádění tohoto způsobu. ÚPV 3. 8. 2016



VIII. Seznam tabulek

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 – Minimální obsah živin dle typu hnojiva | 12 |
| Tab. 2 – Limitní obsah rizikových prvků | 13 |
| Tab. 3 – Limitní obsah indikátorových mikroorganismů | 13 |
| Tab. 4 – Vsázka BPS - vzorek č. 1 | 14 |
| Tab. 5 – Rozbor vzorku č. 1. | 15 |
| Tab. 6 – Dávkování komponent vzorek 1 | 15 |
| Tab. 7 – Hodnoty BSK ₅ : CHSK _{Cr} v silně znečištěných odpadních vodách | 15 |
| Tab. 8 – Výsledky analýzy vzorku 1 | 16 |
| Tab. 9 – Výsledky analýzy vzorku 2 | 18 |
| Tab. 10 – Výsledky analýzy vzorku 3 | 19 |
| Tab. 11 – Koncentrace roztoků roztoků | 22 |







Vydavatel: Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko,

Zahradní 1, Troubsko, 66441

Vydání: první (říjen 2016)

Náklad: 300 výtisků

Počet stran: 40

Grafická úprava: Jana Adamová

Tisk: Agriprint, s.r.o., Wellnerova 7, 779 00 Olomouc

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.

ISBN: 978-80-88000-12-9