

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

MECHANIZAČNÁ FAKULTA

Katedra mechaniky a strojnictva

Zhodnotenie možností produkcie bioplynu z energetických rastlín

Autoreferát dizertačnej práce
na získanie vedecko-akademickej hodnosti philosophiae doctor
vo vednom odbore: 41-15-9
Technika a mechanizácia poľnohospodárskej a lesníckej výroby

Ing. Ladislav Košík

Nitra, 2008

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre mechaniky a strojnictva Mechanizačnej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Doktorand: Ing. Ladislav Košík
Katedra mechaniky a strojnictva
Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vedúci dizertačnej práce: doc. Ing. Ján Gaduš, PhD.
Katedra mechaniky a strojnictva
Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Oponenti: doc. Ing. Ľubomír Gonda, PhD.
SCPV Nitra – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva
Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica

prof. Ing. Štefan Mihina, PhD.
Slovenské centrum poľnohospodárskeho výskumu
Hlohovská 2, 949 92 Nitra

doc. Ing. Zdenko Tkáč, PhD.
Katedra vozidiel a tepelných zariadení
Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Autoreferát bol odoslaný dňa .06.2008

Stanovisko k dizertácii vypracovala Katedra mechaniky a strojnictva, Mechanizačná fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.

Obhajoba doktorandskej dizertácie sa koná dňa 10.07.2008 o 09.00 hod pred komisiou pre obhajobu dizertačných prác vedného odboru 41-15-9 Technika a mechanizácia poľnohospodárskej a lesníckej výroby na Mechanizačnej fakulte, Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Miesto konania: Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Miestnosť: veľká zasadačka MF SPU v Nitre, IV. posch.
S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na dekanáte Mechanizačnej fakulty.

Predseda komisie pre obhajoby vo vednom odbore 41-15-9

prof. Ing. Jozef Hrubec, PhD.
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

ABSTRAKT

Predkladaná dizertačná práca popisuje experimenty, uskutočnené v prevádzkových podmienkach poľnohospodárskej bioplynovej stanice, zamerané na kofermentáciu hnojovice od hovädzieho dobytku ako majoritného materiálu s energetickými plodinami a priemyselným organickým odpadom. Dôležitou časťou tejto práce je aj overenie vplyvu mechanického predspracovania materiálu kofermentovaných energetických substrátov na kvantitu a kvalitu vznikajúceho bioplynu. Na základe týchto podkladov bola popísaná jedna z možností, ako zvýšiť podiel metánu a dennú produkciu bioplynu. To môže mať za následok výrazné zvýšenie účinnosti prevádzkových parametrov bioplynovej stanice. Použitie zariadenie pozostávalo najmä z malej nádrže o objeme 2 m^3 pre intenzívnu homogenizáciu a experimentálneho fermentora (5 m^3), pracujúceho v mezofilných anaeróbných podmienkach $37 \pm 2^\circ\text{C}$. Takmer všetky kofermentované substráty dosahovali vyššiu dennú produkciu bioplynu, než aká bola zistená u fermentácie čistej hnojovice. Taktiež kvalita bioplynu (najmä podiel metánu), bola lepšia u substrátov s prímiesami energetickým materiálom. U niektorých kofermentovaných zmesí vzrástla v podmienkach jednostupňovej anaeróbnej fermentácie biologická rozložiteľnosť nad 90% počas relatívne krátkeho hydraulického zadržného času (15-23 dní podľa použitého kosubstrátu). Počas experimentov bola taktiež zistená optimálna doba mechanického predspracovania pre rôzne kofermentované substráty s dôrazom na čo najvyšší disponibilný výťažok elektrickej energie po odpočte spotreby miešadla. Získané výsledky môžu pomôcť zrýchliť biodegradáciu organických kofermentovaných substrátov v mezofilných podmienkach anaeróbnej fermentácie, čo môže byť v praxi využité buď pre zvýšenie organického zaťaženia alebo pre zníženie pracovného objemu fermentora.

Kľúčové slová: bioplyn, biomasa, anaeróbná fermentácia, kofermentácia, mechanické predspracovanie

ABSTRACT

This dissertation thesis describes experiments carried out under operational conditions of an agricultural biogas power plant, focused on co-fermentation of cattle manure as a major material, with energy crops and industrial organic waste. The important part of this thesis is verification of mechanical pre-treatment effect co-fermented energetic substrates to quantity and quality of produced biogas. On the basis of this groundwork was described one of the chances, how to increase the methane rate and biogas daily production. This can result in a significant enhance of the biogas power plant operational parameters efficiency. Used facility was consisted especially from a small 2 m^3 tank for intensive homogenisation and a pilot fermentor (5 m^3) working under mesophilic anaerobic conditions $37 \pm 2^\circ\text{C}$. Almost all co-fermented substrates obtained higher biogas daily production in comparison with pure cattle manure. Also, quality of biogas (especially methane rate) looked better for the substrates with minor energetic materials. Biodegradation of some co-fermented substrates was increased, by mechanical pre-treatment, over 90% during relative short hydraulic retention time (15-23 days according to used materials) under 1-step anaerobic digestion conditions. Likewise, during experiments was found out optimal period of mechanical pre-treatment according to different co-fermented substrates forcefully to highest disposable electricity yield after deduction of stirrer's consumption. Achieved results can help to speed up biodegradation of organic co-fermented substrates under mesophilic conditions of anaerobic digestion, which in experience could be used either for organic loading rate increase or working volume of fermentor decrease.

Keywords: biogas, biomass, anaerobic digestion, co-fermentation, mechanical pre-treatment

POUŽITÉ SKRATKY, SYMBOLY A ZNAČKY

BP		bioplyn
BPS		bioplynová stanica
CH ₄	%	celkový obsah metánu v bioplyne
CO ₂	%	oxid uhličitý
COD	mg.l ⁻¹	chemická spotreba kyslíka (chemical oxygen demand) - množstvo kyslíka, potrebného na oxidáciu organických látok
ČT		čerstvá tráva
DP	kg.d ⁻¹	celková denná produkcia (exkrementy, slama, kal, odpad)
Ferm.		fermentor
H ₂ S	%	podiel sírovodíka
HD		hovádzí dobytok
HN		hnojovica
KH		konský hnoj
KJ		kogeneračná jednotka
KO		kuchynský odpad
KS		kukurličná siláž
MH		maštalný hnoj
MHM		malá homogenizačná nádrž
MKM		mäsokostná múčka
N _{TOT}	mg.l ⁻¹	celkový dusík
NH ₃	%	amoniak
NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	amóniové ióny
Nm ³		normálový meter kubický plynu (273,15 K a 101,3 kPa)
OLR	kg COD.m ⁻³ .h ⁻¹	organické zaťaženie reaktora (organic loading rate)
oTS	%TS , %	organická sušina (organic fraction of total solids) – obsah organických rozpustených látok, t.j. strata žíhaním
OZE		obnoviteľné zdroje energie
SRV		kyslá srvátka
TS	%	celková sušina (total solids)
VFA	mg.l ⁻¹	nenасыtené mastné kyseliny (volatile fatty acids)

ÚVOD

V súčasnosti sa na celom svete zvyšuje záujem o využitie biomasy ako obnoviteľného energetického zdroja, a to predovšetkým z dôvodu obmedzovania produkcie skleníkových plynov. Všeobecne však môžeme konštatovať, že biomasa je vďaka svojej variabilite schopná vyhovieť prakticky všetkým technologickým a technickým nárokom a v dohľadnej dobe bude, v závislosti na rýchlosti rastu cien fosílnych energií, tiež ekonomicky výhodná pre oveľa širšiu mieru aplikácií než dnes.

Dnes je zrejmé, že obnoviteľné zdroje energie by boli schopné plne nahradiť fosílnu palivá. Celosvetové zásoby biomasy sú obrovské a množstvo energie, vytvorenej každý rok fotosyntézou, vo forme biomasy je desaťkrát väčšie, ako je celosvetová spotreba energie. Navyše i odpad je často hodnotnou surovinou resp. polotovarom pre výrobu, prípadne zdrojom energie, ako je tomu u biomasy.

Pri získavaní energie z biomasy prevažujú termické konverzné procesy, t.j. spaľovanie, splyňovanie a pyrolyza, ale stále viac sa uplatňuje anaeróbna fermentácia spojená s produkciou bioplynu a organického hnojiva (digestátu). Proces anaeróbnej fermentácie biomasy má celý rad ekologických predností a je považovaný za jednu z technológií, ktoré prispievajú k trvale udržateľnému rozvoju ľudskej spoločnosti na našej planéte [16].

CIEĽ PRÁCE

Cieľom dizertačnej práce, ako aj projektu AMONCO, No: NNE5-2001-00067, ktorý sa finančne podieľal na realizácii výskumu, bolo zhodnotenie možnosti produkcie bioplynu z energetických materiálov v kombinácii s exkrementmi, tzv. kofermentáciou biomasy.

Súčasťou práce bolo zároveň overenie vplyvu mechanického predspracovania substrátu pred anaeróbnou fermentáciou na množstvo, zloženie a kvalitu bioplynu. Súčasťou výskumu bola analýza a vyhodnotenie získaných výsledkov z meraní a vyvodenie záverov a odporúčaní pre prax.

Jednotlivé úlohy dizertačnej práce boli zhrnuté do nasledovných bodov:

- previesť merania s rôznymi zmesami substrátov v poloprevádzkových podmienkach na bioplynovej stanici vo VPP Koliňany a zaznamenať sledované parametre;
- určiť vzťah medzi zložením vstupného substrátu a kvantitatívnu a kvalitatívnu charakteristikou bioplynu;
- posúdiť účinnosť fermentácie z hľadiska miery rozkladu organickej hmoty obsiahnutej vo vstupnom substráte;
- posúdiť účinnosť procesu mechanického predspracovania substrátu z hľadiska produkcie a kvality bioplynu a následnej možnej produkcie elektrickej energie;

- analyzovať a vyhodnotiť získané výsledky z meraní pomocou popisnej štatistiky;
- vyvodiť závery s ohľadom na produkciu bioplynu, energetickú efektívnosť kofermentácie a mechanického predspracovania substrátu.

Práca je okrem výsledkov z fermentácie plánovaných poľnohospodárskych substrátov (energetických plodín) obohatená aj o výsledky zo spracovania ďalších materiálov, s ktorými sa pri prvotnom návrhu a riešení dizertačnej práce nepočítalo. Vďaka týmto možnostiam bolo možné zahrnúť výsledky z fermentácie aj týchto materiálov do predkladanej práce a priniesť tak ďalšie cenné poznatky v problematike.

MATERIÁL A METÓDY

Všetky uvedené experimenty s kofermentáciou substrátov ako aj návrh, výroba a inštalácia celého zariadenia na mechanickú úpravu substrátu, boli realizované v poloprevádzkových podmienkach na bioplynovej stanici Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku SPU, s.r.o. (VPP SPU) v Koliňanoch, v rámci projektu 5. rámcového programu AMONCO.

Bolo zvolených osem rozdielnych testovaných sérií, kde séria s hnojovicou od HD mala slúžiť ako referenčná vzorka. Hydraulický zádržný čas (HRT) jednotlivých kofermentovaných zmesí vo fermentore predstavoval 15 – 23 dní, v závislosti od dennej dávky substrátu.

Tabuľka 1 Prehľad jednotlivých testovaných sérií substrátov

Séria	Zloženie substrátu	Zastúpenie, obj. %
I.	Hnojovica HD	100 (bez kosubstrátu)
II.	Hnojovica : Kukuričná siláž	60 : 40
III.	Hnojovica : Kukuričná siláž	40 : 60
IV.	Hnojovica : Čerstvá tráva	90 : 10
V.	Hnojovica : Kuchynský odpad	90 : 10
VI.	Hnojovica : Kónsky hnoj : Kukuričná siláž	65 : 25 : 10
VII.	Hnojovica : Mäsokostná múčka	90 : 10
VIII.	Hnojovica : Kyslá srvátka	60 : 40

Hrubá homogenizácia základnej hnojovice a jej riedenie na požadovanú hodnotu sušiny, sa vykonávala v hlavnej homogenizačnej nádrži pomocou mobilného propelerového miešadla. Po homogenizácii bola denná dávka hnojovice prečerpávaná do malej homogenizačnej nádrže, kde sa okrem prvej testovanej série realizovalo pridávanie prímiesí, závislých od typu testovanej zmesi a následne prebiehalo mechanické predspracovanie substrátu. Predspracovanie zabezpečoval rotačný mechanický drvič s dvomi rezacími nožmi, poháňaný asynchrónnym elektromotorom s otáčkami 2800 min⁻¹ a výkonom 2,2 kW. Na zníženie odporov, vznikajúcich na začiatku mixovania substrátu,

bolo nutné znížiť hrúbku rezacích nožov z 5 mm na 2 mm [6]. Hodnota objemového prietoku kalového čerpadla bola výrobcom udávaná ako 150 l.min⁻¹, avšak vplyv hustoty substrátu spôsoboval jej mierne kolísanie.

Pre potreby testovania bol použitý experimentálny horizontálny fermentor s kontinuálnym plnením o objeme 5 m³. Svojou veľkosťou sa radí medzi priemyselné zariadenia, pričom mokrá anaeróbna fermentácia v ňom prebiehala za mezofilných podmienok 35-40°C, do maximálneho podielu sušiny 10-12%. Tvorený surový bioplyn sa akumuloval v malom flexibilnom plynojeme, odkiaľ bol prečerpávaný cez merač plynu do veľkého plynojemu, umiestneného nad dohňovacou nádržou. Tu sa skladoval sfermentovaný substrát (digestát) a vznikajúci bioplyn sa spaľoval v inštalovanej kogeneračnej jednotke TEDOM Premi S22.

K hlavným zisťovaným parametrom patrilo množstvo vyprodukovaného bioplynu vo vyjadrení jeho špecifickej produkcie (Nm³/m³.h) na jednotku objemu fermentora, obsah metánu (CH₄) a ďalšie parametre, určujúce základné zloženie bioplynu (CO₂, O₂ a H₂S). Analýza zloženia bioplynu sa realizovala dva krát denne analyzátorom plynu SSM 6000 firmy Schmack.

Medzi základné sledované parametre kofermentovaných vzoriek, patrilo stanovenie hodnoty pH, teploty vzoriek, sušiny (TS), straty žihanim (oTS), chemickej spotreby kyslíka (COD), amóniových iónov (NH₄⁺), celkového dusíka (N_{TOT}), síranov (SO₄²⁻), nenasýtených mastných kyselín (VFA), obsahu železa (Fe), organického zaťaženia reaktora a anaeróbnej rozložiteľnosti.

Parametre analýzy boli zisťované priamo v chemickom laboratóriu bioplynovej stanice v Koliňanoch, pričom sa vykonávalo dvojité stanovenie každého meraného parametra pre vylúčenie hrubých chýb z nameraných dát. Metodika jednotlivých chemických analýz bola vypracovaná s ohľadom na zhodu metodiky, platnej pre projekt AMONCO. Tým bola zabezpečená jednotnosť a porovnateľnosť dosiahnutých výsledkov medzi všetkými zúčastnenými partnermi projektu.

Na základe dosiahnutých hodnôt bol vykonaný prepočet produkcie elektrickej energie zo získaného bioplynu podľa normy ISO 6976. Hodnoty produkcie elektrickej energie boli prepočítavané s dolnou výhrevnosťou za podmienky merania a spaľovania pri 0°C (t.j. 0/0°C) so súčasným zohľadnením 30%-nej elektrickej účinnosti nami použitej kogeneračnej jednotky. Zo získaných hodnôt bolo možné vykonať porovnanie výsledkov na základe druhu testovaného substrátu a doby mechanického predspracovania so zohľadnením spotreby energie mechanického drviča a vyjadrením disponibilného zisku elektrickej energie. Všetky výsledné hodnoty predstavujú stredné hodnoty s odpovedajúcou štandardnou odchýlkou.

VÝSLEDKY

Na základe prvých testov u kofermentovaných zmesí sa ukázalo, že efekt mechanického predspracovania možno očakávať už na druhý deň po prečerpaní dennej dávky substrátu z malej homogenizačnej nádrže do experimentálneho fermentora. Spôsob odčitavania a zaznamenávania údajov z kontinuálnych reaktorov (kam patril aj nami používaný fermentor) v nasledujúci deň, je štandardný a všeobecne užívaný po celom svete, pričom má dostatočnú vypovedaciu váhu a jednoduchú porovnávaciu schopnosť.

Pre možnosť porovnania výsledkov meraní bolo nevyhnutné pomocou regulačných prvkov dosiahnuť približne konštantné podmienky anaeróbného rozkladu vo fermentore u všetkých skúmaných substrátov.

Testovaná (referenčná) séria Hnojovica HD – 100 obj.%

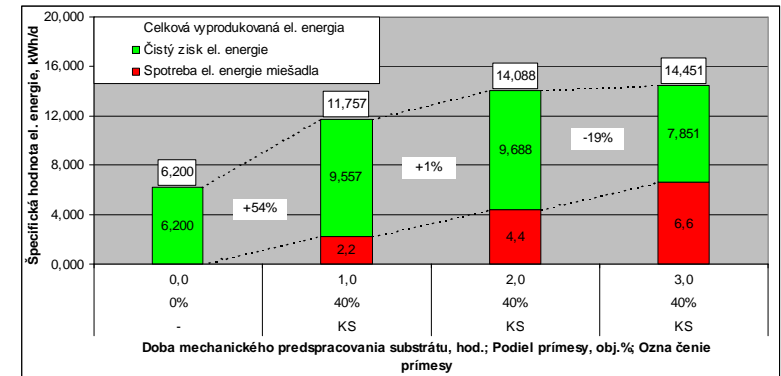
Tento substrát bol bez akéhokoľvek spracovania či mechanickej úpravy, okrem hrubej homogenizácie a zriedenia na požadované percento sušiny. Vo všeobecnosti išlo o zmes pevných výkalov a moču od hovädzieho dobytku, ustajneného na podstielke, s pridaním primeraného objemu technologickej vody, aby sa celková sušina hnojovice pohybovala v rozsahu 5-12%.

Hodnoty pH pre substrát v homogenizačnej nádrži aj vo fermentore sa bezpečne držali v neutrálnom až mierne zásaditom prostredí. To vypovedalo o dostatočnej neutralizačnej kapacite skúmaného materiálu. Počas anaeróbnej fermentácie dochádzalo k redukcii sušiny približne o 18%. Nakoľko u danej série neprebíhalo žiadne mechanické predspracovanie substrátu, celková produkcia elektrickej energie sa zhodovala s čistým disponibilným ziskom elektrickej energie (viď obr. 1). Všetky výsledky z kofermentácie substrátov boli porovnávané s výsledkami tejto referenčnej série.

Testovaná séria Hnojovica : Kukuričná siláž = 60 : 40 obj.%

Výrazný efekt v špecifickej produkcii bioplynu sa odrazil počas mechanického predspracovania substrátu v trvaní od 1 do 2 hodiny (nárast o cca 13%), avšak pri vyjadrení čistého zisku elektrickej energie to predstavovalo nárast len o 1%.

Následný rast produkcie BP pri 3-hodinovej mechanickej úprave už v čistom vyjadrení elektrickej energie predstavoval oproti 2-hodinovému predspracovaniu pokles o 19%. V porovnaní s referenčnou čistou hnojovicou je však evidentný vysoký nárast disponibilného zisku elektrickej energie až o 54% (viď obr. 1). Výrazný rast je evidentný vo všetkých sledovaných parametroch aj ukazovateľoch.



Obrázok 1 Vzájomné zobrazenie a porovnanie hodnôt elektrickej energie

Z pohľadu celkovej vyprodukovanej elektrickej energie či produkcie bioplynu, je medzi 2. a 3. hodinou mechanického predspracovania, sledovaný len mierny nárast a ustáľovanie hodnôt. Z toho môžeme predpokladať, že jemnosť kofermentovanej zmesi sa po dvoch hodinách mechanickej úpravy začína javiť ako optimálna.

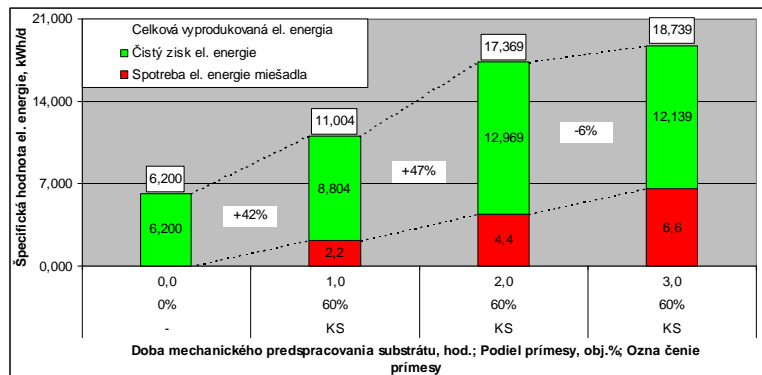
Stupeň homogenizácie v trvaní od 1 do 2 hodín mechanického predspracovania danej kofermentovanej zmesi, možno považovať za ekonomicky výhodné. I keď substrát ešte len začínal nadobúdať optimálnu homogenizáciu, bol dosiahnutý najvýraznejší rozdiel medzi disponibilným ziskom el. energie a spotrebou miešadla.

Testovaná séria Hnojovica : Kukuričná siláž = 40 : 60 obj.%

Aj u tejto série bol preukázaný evidentný rast produkcie bioplynu, čo sa odrazilo aj v príslušnej produkcii elektrickej energie. Kým pri čistej hnojovici sa za deň dokázalo vyprodukovať cca 0,9 Nm³ bioplynu na 1 m³ objemu fermentora, pri 40%-nom zastúpení kukuričnej siláže to už predstavovalo približne 1,6 Nm³ bioplynu a pri tejto sérii (60 obj.% KS) dokonca 2,25 Nm³ bioplynu na jednotku objemu fermentora.

Z pohľadu čistého disponibilného zisku elektrickej energie, bol nárast medzi 1. a 2. hodinou 47% (viď obr. 2). Nepomer v nárastoch produkcie bioplynu a elektrickej energie je vysvetliteľný zohľadnením okrem množstva aj kvality bioplynu a hlavne odpočtom príslušnej spotreby el. energie miešadla.

Následný nárast produkcie BP pri 3-hodinovej mechanickej úprave už v čistom vyjadrení elektrickej energie predstavoval oproti predchádzajúcemu spracovaniu pokles o 6%. V porovnaní s referenčnou čistou hnojovicou bol dosiahnutý nárast disponibilného zisku elektrickej energie až o 42%.



Obrázok 2 Vzájomné zobrazenie a porovnanie hodnôt elektrickej energie

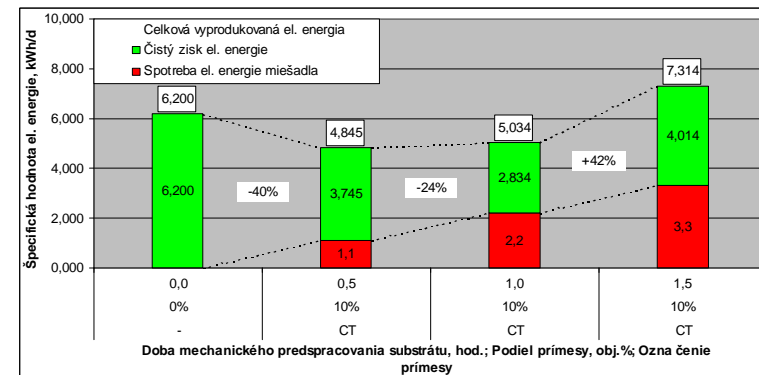
Z pohľadu celkovej vyprodukovanej elektrickej energie či produkcie bioplynu, je počas spracovania od 2 do 3 hodín, sledovaný len mierny nárast (tak ako u predošlej série). Z toho možno predpokladať, že jemnosť kofermentovanej zmesi sa po dvoch hodinách mechanickej úpravy začína opäť javiť ako optimálna.

Odlíšnosť tejto série oproti predošlej je v tom, že až stupeň homogenizácie medzi 2. a 3. hodinou mechanickeho predspracovania danej kofermentovanej zmesi, možno považovať za ekonomicky výhodnejší. Substrát už nadobudol optimálnu homogenitu, pričom sa navyše dosiahol najvýraznejší rozdiel medzi disponibilným ziskom el. energie a spotrebou el. energie miešadla.

Testovaná séria Hnojovica : Čerstvá tráva = 90 : 10 obj. %

Dosiahnuté vyššie hodnoty pH možno zdôvodniť tým, že čerstvá fytomasa má vo všeobecnosti vyššie zastúpenie proteínov oproti silážovým alebo inak upravovaným materiálom. Pri tejto sérii dochádzalo k zvyšovaniu podielu sušiny vo fermentore oproti sušine vstupného materiálu v homogenizačnej nádrži. Možným vysvetlením je rýchle vyplavovanie tekutej zložky substrátu z fermentora, ku ktorej zrejme došlo nedostatčným premiešavaním zmesi. Najmenší nepomer medzi sušinou z MHN a fermentora možno pozorovať u najdlhšej doby mechanickeho predspracovania danej zmesi (1,5 hod.). Takže možno povedať, že intenzívnejšou homogenizáciou materiálu pred fermentáciou sme vyrovnávali nedostatčnú homogenizáciu substrátu vo fermentore.

S dlhšou dobou mechanickej úpravy materiálu možno sledovať zvyšovanie obsahu celkového dusíka so súčasným znižovaním amóniových iónov v kofermentovanom substráte. Tým mohlo dôjsť k zhoršeniu kvality bioplynu, poklesu podielu metánu a k nárastu CO₂ v bioplyne.



Obrázok 3 Vzájomné zobrazenie a porovnanie hodnôt elektrickej energie

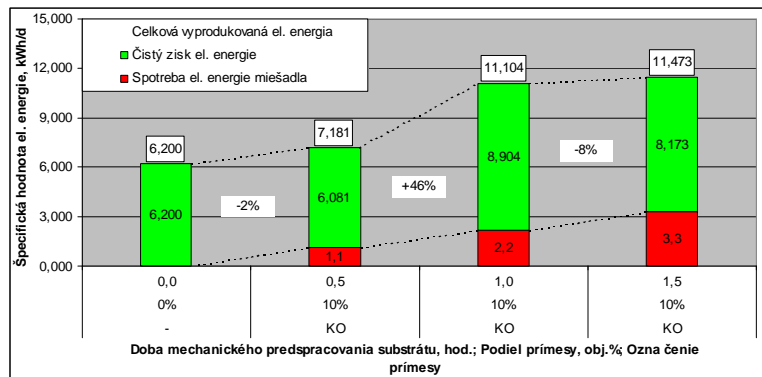
Výrazný nárast špecifickej produkcie bioplynu sa odrazil až počas mechanickej úpravy substrátu v trvaní od 1 do 1,5 hodiny (nárast o 49%), čo však u čistého zisku el. energie predstavovalo nárast o 42%. Z obrázku 3 je vidieť výrazný nárast el. energie až pri poslednej (1,5-hodinovej) úprave materiálu. Možno predpokladať, že až po takomto raste nastáva ustálenie produkcie bioplynu.

V porovnaní s referenčnou čistou hnojovicou, je evidentný nízky počiatkový stav produkcie energie, ktorý pre najkratšiu dobu spracovania predstavoval v čistom vyjadrení pokles o 40%. Z toho vyplýva, že mechanickej úprave takéhoto substrátu je ekonomicky nevýhodná. Vhodnosť mechanickej úpravy sa časom pôsobenia výrazne zlepšuje. Nízka produkcia BP mohla byť ovplyvnená najmä kvalitou pridávaného kosubstrátu, podmienkami jeho skladovania a vhodných podmienok fermentačného procesu. Lepšie výsledky a vyššie výtazky by bolo možné dosiahnuť napr. zvýšením fermentačnej teploty alebo častejším pridávaním substrátu do fermentora než 1 krát denne.

Testovaná séria Hnojovica : Kuchynský odpad = 90 : 10 obj. %

Opäť bolo zaznamenané zvyšovanie podielu sušiny vo fermentore oproti sušine vstupného substrátu v homogenizačnej nádrži. Zmenou doby mechanickeho predspracovania materiálu nastala mierna zmena v zložení bioplynu. Zaujímavý je najmä nárast podielu metánu v priemere o viac ako 2%.

Kým výrazný rast v špecifickej produkcii BP sa odrazil medzi polhodinovým a hodinovým cyklom mechanickej úpravy substrátu (nárast o cca 55%), vo vyjadrení čistého zisku el. energie to predstavovalo nárast o 46%. Následný rast produkcie bioplynu pri 1,5-hodinovom predspracovaní už v čistom vyjadrení el. energie predstavoval oproti predchádzajúcemu cyklu pokles o 8%.



Obrázok 4 Vzájomné zobrazenie a porovnanie hodnôt elektrickej energie

Podľa mierneho zvýšenia produkcie bioplynu pri 1,5-hodinovom predspracovaní materiálu možno konštatovať, že daná kofermentovaná zmes dosiahla optimálnu homogenitu okolo hodinovej mechanickej úpravy.

Za ekonomicky najvhodnejšiu sa ukazuje hodinová mechanickej úprava substrátu, pri ktorej bol po odpočítaní spotreby miešadla, dosiahnutý najvyšší disponibilný zisk el. energie. Ako ekonomicky výhodné sa javí aj predspracovanie substrátu do 1,5 hodiny, pričom už nastáva postupný pokles disponibilnej elektrickej energie.

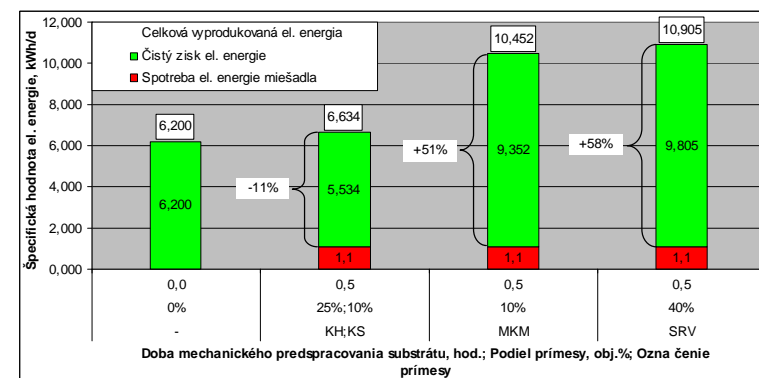
Testovaná séria Hnojovica : Kanský hnoj : Kukuričná siláž = 65 : 25 : 10 obj.%

Zloženie danej série bolo zostavené na základe požiadavky dodávateľa skúmaného kanského hnoja, ktorý mal záujem o vybudovanie vlastnej bioplynovej stanice.

Na základe hodnôt chemickej spotreby kyslíka, ktorá bola o 72% vyššia oproti čistej hnojovici, bola očakávaná aj vysoká produkcia bioplynu, ktorá sa však nepotvrdila. Príčinou nízkej produkcie bolo pravdepodobne nedostatočné ustráženie zaťaženia fermentora (cez 3,9 kg COD.m⁻³.d⁻¹), alebo aj vysoké zastúpenie slamy v hnojovici a kosubstrátoch. Prekvapivo pri vyššom OLR nebola evidentná ani akumulácia mastných kyselín počas fermentácie. Pravdepodobne sa musela v substráte nachádzať látka (napr. lignín), ktorá bránila pôsobeniu baktérií v prvotných fázach anaeróbnej fermentácie, čím mohla zabráňovať tvorbe kyselín a následne produkcii bioplynu.

Z hodnôt zloženia možno pozorovať zvýšenie zastúpenia CH₄ v bioplyne o 3% v porovnaní s BP z čistej hnojovice. Celková produkcia el. energie z kofermentovanej zmesi bola síce vyššia ako z čistej hnojovice, avšak pri zohľadnení spotreby miešadla pre kofermentáciu, klesol čistý zisk energie pod hodnotu zisku zo samotnej hnojovice.

Čím vyššie bolo podielové zastúpenie kosubstrátov v substráte, tým bola produkcia bioplynu viac citlivejšia na zmeny teploty vo fermentore. Výrazná produkcia bioplynu bola dosiahnutá pri fermentačnej teplote nad 40°C. Rovnako aj kvalita bioplynu (vyšší podiel CH₄) bola lepšia, ak teplota vo fermentore sa pohybovala blízko úrovni 40°C. Pri poklese teploty po 36°C bol zaznamenaný pokles v produkcii aj kvalite bioplynu. Čím vyšší podiel kosubstrátu bol zastúpený, tým bol prepad v produkcii väčší.



Obrázok 5 Vzájomné zobrazenie a porovnanie hodnôt elektrickej energie

Na obrázku 5 je pre lepšiu prehľadnosť a úsporu uvedený sumárny grafický prehľad dosiahnutých produkcií elektrickej energie pre kanský hnoj, mäsokostnú múčku a kyslú srvátku, v porovnaní s čistou hnojovicou ako referenčným substrátom. Z daného grafu je kofermentácia kanského hnoja jednoznačne najmenej prínosná a efektívna. Pri vyjadrení čistého zisku elektrickej energie je dokonca menej vhodná ako mechanicke neupravená čistá hnojovica, a to o cca 11%.

Význam kofermentácie maštalného hnoja nemožno jednoznačne vylúčiť. Jej vhodnosť a úspešnosť však musí byť zabezpečená najmä optimalizáciou fermentačného procesu. Nemenej významným faktorom je používanie vhodnej technológie danej bioplynovej stanice, ako je systém ohrevu fermentora, spoľahlivé zabezpečenie konštantnej teploty, vhodná technika miešania, atď.

Testovaná séria Hnojovica : Mäsokostná múčka = 90 : 10 obj.%

U danej série treba brať do úvahy, že nebola použitá klasická hnojovica (t.j. zmes maštalného hnoja s močovkou), ale maštalný hnoj od HD riedený vodou. Problémom bola dlhá zima a chladné počasie, ktoré znemožnilo v družstve dovoz močkovky v danom období. Celková produkcia bioplynu oproti produkcii len z hnojovice vzrástla približne

o 25%. Veľkým prínosom bolo aj zvýšenie podielu CH₄ v bioplyne o takmer 7%. To spôsobilo, že zvýšená kvantita i kvalita bioplynu predstavovala vo vyjadrení elektrickej energie nárast o takmer 69%. Pri odpočítaní spotreby el. energie miešadla to predstavuje nárast disponibilného zisku el. energie o 51% (viď obrázok 5).

Pozorovaný bol zvyšujúci sa obsah sírovodíka až do hodnoty 2000 ppm. Ide o nežiaduci jav, spôsobený použitím kyseliny sírovej pri samotnej výrobe mäsokostnej múčky. Z pohľadu výťažku na jednotku organickej sušiny, sa produkcia bioplynu z kofermentovanej zmesi zvýšila asi o 3,6 násobok, pričom výťažok elektrickej energie predstavoval zvýšenie produkcie asi o 4,9 násobok.

Význam kofermentácie mäsokostnej múčky je jednoznačný. Postupom času bude stále viac naberat' na význame, nakoľko sa anaeróbna fermentácia javí ako perspektívne riešenie zužitkovania tohto hromadiaceho sa "odpadu". Nutnosťou však bude čo najvhodnejšie riešenie celkovej bioplynovej technológie, optimalizácia fermentačného procesu a overenie si optimálneho organického zaťaženia fermentora, čím bude zabezpečená čo najvyššia stabilita a spoľahlivosť prevádzky.

Testovaná séria Hnojovica : Kyslá srvátka = 60 : 40 obj. %

Opäť nebola použitá klasická hnojovica, ale zmes maštalného hnoja HD, riedená vodou. Dôvodom bol rovnaký problém ako u série s mäsokostnou múčkou.

Priemerná koncentrácia COD bola o cca 68% vyššia než u čistej hnojovice, na základe čoho sa predpokladala aj vyššia produkcia bioplynu. Celková produkcia bioplynu vzrástla o viac ako 27%, pričom sa zvýšil aj podiel metánu na 63,5% (nárast o 8,6%). Z obrázku 5 sa kofermentácia kyslej srvátky v danom pomere, javí ako jedna z najprínosnejších kombinácií. Pri vyjadrení čistého zisku elektrickej energie dosiahla o 58% lepší výsledok ako mechanicky neupravená čistá hnojovica.

Vzrástlo však aj množstvo sírovodíka na viac ako 2,5 násobok. Nárast obsahu H₂S bol sledovaný až do hodnoty 800 ppm. Zvýšená koncentrácia bola zrejme zapríčinená syrárskymi technológiami, ktorými samotný kosubstrát vznikol počas spracovania v mliekarni.

Výťažok bioplynu na jednotku organickej sušiny vzrástol o viac ako 8 násobok, pričom výťažok el. energie bol takmer 11,5-násobný. Tým je jednoznačne potvrdený pozitívny vplyv kofermentácie kyslej srvátky s hnojovicou. Čím vyššie bolo podielové zastúpenie srvátky v substráte, tým bola produkcia bioplynu viac citlivejšia na zmeny teploty. Rovnako aj podiel metánu výrazne kolísal v závislosti na teplote vo fermentore.

ZÁVERY

V predkladanej dizertačnej práci je podaný prehľad o problematike možného zvýšenia produkcie bioplynu pomocou kofermentácie a mechanického predspracovania substrátov. Dôraz je pritom kladený najmä na využívanie kofermentácie. Najvyššia produkcia bioplynu sa dosahovala pri sériách s kukuričnou silážou pri 60%-nom objemovom zastúpení a najnižšia u kofermentácie čerstvej trávy. Podobné poradie sa zachovalo aj na základe množstva transformovanej disponibilnej elektrickej energie, kde ako najvýhodnejšia sa opäť ukázala kofermentácia so 60 obj.% kukuričnej siláže, pričom ako druhá najlepšia sa javila kofermentácia kyslej srvátky.

Preukázalo sa, že čím vyššie bolo podielové zastúpenie kosubstrátov v zmesi, tým bola produkcia bioplynu viac citlivejšia na zmeny teploty vo fermentore. Množstvo aj kvalita bioplynu (vyšší podiel CH₄) bola lepšia, ak sa teplota vo fermentore pohybovala blízko úrovni 40°C. Pri poklese teploty po 35°C bol zaznamenaný pokles v produkcii aj kvalite bioplynu. Čím vyšší podiel kosubstrátu bol zastúpený, tým bol prepad v produkcii bioplynu väčší. Súčasne vplyv mechanického predspracovania substrátu na produkciu elektrickej energie bol tým vyšší, čím energeticky kvalitnejší materiál sa použil. Možno predpokladať, že pri použití väčšieho podielu kvalitnejších kosubstrátov, bude ekonomicky výhodnejší dlhší čas spracovania. Vyplýva to z porovnania testovaných sérií so 40 a 60%-ným objemovým zastúpením kukuričnej siláže. Zvýšením zastúpenia prímiesí, spolu s dlhšou mechanickou úpravou, by súčasne mala rásť aj celková anaeróbna rozložiteľnosť substrátov.

Na základe dosiahnutých výsledkov je viac pravdepodobné, že výrazný vplyv a vhodnosť mechanického predspracovania substrátu pri kofermentácii s rastlinnými prímiesami nastáva hlavne počas mechanickej úpravy v trvaní od 1 do 2 hodín, čo sa javí ako dôležitý poznatok. Potvrdzujú to série s kukuričnou silážou aj s prímiesami trávy.

Všeobecne možno na základe výsledných hodnôt vykonávať prepočty určujúce, pre ktorý substrát by bolo vhodné dlhšie alebo kratšie mechanické predspracovanie (t.j. zistenie optimálnej doby mechanickej úpravy pre rôzne substráty), za účelom dosiahnutia čo najvyššej disponibilnej produkcie elektrickej energie pri súčasnom zohľadnení ekonomickej a energetickej náročnosti spracovania.

Nakoľko je vplyv mechanického predspracovania substrátov dostatočne preukázateľný, možno takúto úpravu materiálov pre prax len odporučiť. Zároveň je prevádzkovateľom BPS poskytnutý základný kľúč, k akej skladbe kofermentovanej zmesi a podmienkam procesu sa treba priblížiť, aby sa predišlo zvýšeniu energetickej náročnosti bez dostatočného zvýšenia produkcie elektrickej energie.

Dokázalo sa, a potvrdzujú to aj ďalšie výskumné tímy, že mechanickou úpravou substrátu sa zníži čas na rozloženie organického materiálu (sušiny). U niektorých skúmaných kofermentácií sa dosiahol stupeň anaeróbnej rozložiteľnosti cez 90% za relatívne krátky hydraulický zádržný čas cca 15 – 23 dní a to v podmienkach jednostupňovej fermentácie. V praxi to predstavuje menšiu potrebu veľkých pracovných objemov fermentačných nádrží, čím opäť môže dôjsť k zníženiu investičnej náročnosti a vyššej rentabilite počas optimálnej prevádzky bioplynovej stanice. Ďalším možným využitím výsledkov môže byť zvýšenie organického zaťaženia fermentora na základe rýchlejšej biologickej degradácie substrátov v mezofilných podmienkach anaeróbnej fermentácie.

Získané výsledky a grafické priebehy ukazujú na vplyv mechanickej úpravy, ale nemožno prehliadnuť, že v podstate ide o pôsobenie viacerých faktorov a vplyvov súčasne. Treba hlavne zohľadniť fakt, že vo fermentore sa stretáva viacero rôznorodých upravených substrátov, ktorých jemnosť častíc a tým aj biologický rozklad a sedimentácia je rozdielna podľa doby pôsobenia mechanickej úpravy.

Všetky merania však majú jednu zásadnú spoločnú vlastnosť. Ide o merania, ktoré boli realizované za podmienok blízkyh podmienkam, s akými sa stretávame v praxi v podobnom klimatickom prostredí a technologickom riešení.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] AMON, T. – KRYVORUCHKO, V. – AMON, B. – ZOLLITSCH, W. – PÖTSCH, E. – MAYER, K.: Estimation of biogas production from maize and clover grass by the new methane energy value system. In: Anaerobic Digestion 2004. Proceedings of the 10th World Congress, Montreal, Canada, 2004. p. 1716–1719.
- [2] BRAUN, R.: Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe. Springer-Verlag, Wien, 1982. ISBN 3-211-81705-0.
- [3] DOHÁNYOS, M. et al.: Anaerobní čistírenské technologie. Brno: NOEL 2000, 1998. ISBN 80-86020-19-3.
- [4] DRTIL, M. – BODÍK, I. – RAJCZYKOVÁ, E. – HUTŇAN, M. – KRCHO, L.: Experience from application of Water Law and Governmental Decree 491/2002 in practice. In: Odpadové vody 2004 (Zborník konferencie). Asociácia čistiarenských expertov SR: 2004. s. 224-230.
- [5] FEYNMAN, R. P.: Radost z poznání. Praha: AURORA, 2003. ISBN 80-7299-068-3.
- [6] GADUŠ, J. – HAŠKOVÁ, A. – ŠÁRGOVÁ, S. – KOŠÍK, L.: Report of the pre-treatment of wastes - Advanced prediction, monitoring and controlling of anaerobic digestion

processes behaviour towards Biogas usage in Fuel Cells. Acronym: AMONCO. Slovak Agricultural University in Nitra, 2004.

- [7] ISO 6976: 1995: Zemný plyn – výpočet výhrevnosti, hustoty, relatívnej hustoty a Wobbovho indexu zmesi.
- [8] MOCKAITIS, G.: Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR) : effects of organic loading and supplemented alkalinity. In: Journal of Environmental Management London, 2006. v. 79, No 2, p. 198-206. ISSN 0301-4797
- [9] NORDBERG, A.: One- and two-phase anaerobic digestion of ley crop silage with and without liquid recirculation (Dissertation). Swedish Univ. Agric. Sci., Rep. 64, 1996.
- [10] RATAJ, V. – RYBANSKÁ, M. – JUREKOVÁ, Z. – BOREKOVÁ, B.: Metodika písania záverečných prác na SPU v Nitre. Nitra: SPU, 2004. 82 s, ISBN 80-8069-328-5.
- [11] SKLENKA, P.: Bioplyn pre Slovensko. Nitra: Jamis, 1998. 17 s.
- [12] SPEECE, R. E.: Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. USA: Archae Press, 1996. ISBN 0-9650226-0-9.
- [13] STRAKA, F. a kol.: Bioplyn : příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. Řičany: GAS s.r.o., 2003. 517 s. ISBN 80-7328-029-9.
- [14] STRAKA, F. a kol.: Zpracování veterinárního asanačního odpadu anaerobní technologií. Biom.cz. 2005-09-19 [cit. 2006-04-12]. In: <http://biom.cz/index.shtml?x=602264>. ISSN: 1801-2655.
- [15] URL: <http://www.tedom.cz>. [cit. 2003-11-14].
- [16] VÁŇA, J. – SLEJŠKA, A.: Bioplyn z rostlinné biomasy. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací : Studijní informace – rostlinná výroba 5/98. 1998. 41 s. ISBN 80-86153-92-4.
- [17] WEILAND, P. – ROZZI, A.: The start-up operation and monitoring of high-rate anaerobic treatment systems: Discusser´s report. Water Sci. Technol., 1991. No 24, s. 257–277.

PUBLIKOVANÉ PRÁCE SÚVISIACE S PROBLEMATIKOU

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Možnosti energetického zhodnotenia bioplynu v rezorte poľnohospodárstva (Medzinárodná študentská vedecká konferencia). Nitra: SPU, 2003. s. 182–187. ISBN 80-8069-178-9.

GADUŠ, J. – HAŠKOVÁ, A. – ŠÁRGOVÁ, S. – KOŠÍK, L.: Report of the pre-treatment of wastes - Advanced prediction, monitoring and controlling of anaerobic digestion processes behaviour towards Biogas usage in Fuel Cells. Acronym: AMONCO. Slovak Agricultural University in Nitra, 2004.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Aplikácia bioplynovej technológie na Poľnohospodárskom družstve Ludanice (Biogas technology application for agricultural Cooperative Ludanice). In: 4. International Slovak biomass forum. Bratislava: Energetické centrum, 2004. s. 104-109.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Konštrukčné riešenie homogenizačnej nádrže na predspracovanie substrátov. In: Nové trendy v konštruovaní a v tvorbe technickej dokumentácie. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2005. s. 64-69. ISBN 80-8069-517-2.

KOŠÍK, L.: Microbial Fuel Cell : Study stay report. Vienna: University of Natural Resources and Applied Life Sciences. 2006. 15 s.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Použitie konského hnoja s kukuričnou silážou v procese anaeróbnej kofermentácie na bioplynovej stanici v Kolíňanoch : výskumná správa. Nitra: SPU, 2006. 7 s.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Použitie mäsokostnej múčky v procese anaeróbnej fermentácie na bioplynovej stanici v Kolíňanoch : výskumná správa. Nitra: SPU, 2006.

GADUŠ, J. – KOŠÍK, L.: Možnosti zefektívnenia produkcie bioplynu kofermentáciou živočíšnych odpadov. In: Technika ochrany prostredia 2006 (zborník prednášok z medzinárodnej konferencie TOP 2006). Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2006. ISBN 80-227-2436-X.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Použitie kyslej srvátky v procese anaeróbnej fermentácie na bioplynovej stanici v Kolíňanoch : výskumná správa. Nitra: SPU, 2006. 8 s.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Bioplyn z konského hnoja s kukuričnou silážou v procese anaeróbnej kofermentácie. Biom.cz, 23.11.2007. In: <http://biom.cz/index.shtml?x=2058843>. [cit. 2007-05-12].

KOŠÍK, L.: Vplyv a možnosti zvýšenia elektrickej účinnosti kogeneračnej jednotky na rentabilitu prevádzky bioplynovej stanice. In: Technika ochrany prostredia 2007. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-227-2693-1.

GADUŠ, J. – KOŠÍK, L.: Možnosti zvyšovania produkcie bioplynu mechanickou predprípravou substrátu (Possibilities to increase biogas production through substrate mechanical pre-treatment). In: Biomasa pre regionálnu energetiku. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2007. s. 49-57. ISBN 978-80-8069-892-8.

KOŠÍK, L. – GADUŠ, J.: Použitie kyslej srvátky v procese anaeróbnej fermentácie na bioplynovej stanici. In: Mliekarstvo – Bulletin pre internú potrebu výrobcov a spracovateľov mlieka, 2007, č. 3/07, s.41-45.

GADUŠ, J. – KOŠÍK, L. – KOLLÁR, R.: Bioplyn z kofermentácie hnojovice s kukuričnou silážou. In: Agrobioenergia, 2008, č. 1/08, ročník 3, s. 5-8. ISSN 1336-9660