



TRENDY VO VÝVOJI HLAVNÝCH TECHNOLOGICKÝCH CELKOV BIOPLYNOVÝCH ZARIADENÍ

DEVELOPMENT TRENDS IN BASIC TECHNOLOGY AGGREGATES OF BIOGAS PLANTS

Ján Gaduš, Tomáš Giertl, Štefan Jančo, Lukáš Košík

Abstract

The paper presents some development trends in the field of basic technology aggregates construction of agricultural biogas plants. It emphasizes the importance of relevant substratum preparation and its influence on the amount and quality of the biogas production. The paper briefly lists basic principles of several ways of treating the input substratum. In more detail it describes one of the more progressive ways – thermo-mechanical system of solid biomass preparation with e.g. some straw in it, which uses extruder technology.

Key words: Agricultural biogas plant, fermenter, control system, mesophile range, extruder technology

Úvod

Diverzifikácia energetických zdrojov je dnes jedným z kľúčových problémov vo všetkých členských krajinách Európskej únie (EÚ) a to nielen podľa jednotlivých typov energetických zdrojov, ale aj podľa oblastí ich geografického pôvodu. Pre posilnenie energetickej sebestačnosti sa javí ako jedna z efektívnych riešení širšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE).

V záveroch Rady EÚ z marca 2007 je vytýčený ambiciózny cieľ, a to aby EÚ do roku 2020 dosiahla 20 % - ný podiel OZE na celkovej spotrebe energií, 20 % - né zníženie emisií skleníkových plynov a 10 % - ný podiel OZE v doprave. Európska komisia vydala aj viaceré významné dokumenty ako: Akčný plán o biomase, Stratégiu EÚ v oblasti biopalív, Zelenú knihu ako Európsku stratégiu o energii a Klimaticko-energetický balíček, v ktorých je vytýčené smerovanie európskej energetickej politiky. Členské krajiny EÚ totiž v súčasnosti takmer polovicu svojej spotreby energie pokrývajú dovozom z teritória tretích krajín.

Slovenská republika takmer 90 % primárnych energetických zdrojov zabezpečuje nákupom mimo teritória vnútorného trhu EÚ. Jediným významnejším domácim energetickým zdrojom je hnedé uhlie, nakoľko vlastná ťažba zemného plynu a ropy je nevýznamná. Z tohto dôvodu neustále rastie aj v SR význam intenzívnejšieho využívania obnoviteľných zdrojov energie. Pre Slovenskú republiku, najmä vďaka jej vhodným geografickým a klimatickým podmienkam, predstavuje biomasa z lesa a poľnohospodárskej výroby významný energetický potenciál. Napriek tomu je súčasné využívanie OZE v SR na úrovni 4,3 % z ročnej spotreby primárnych energetických zdrojov, teda hlboko pod úrovňou, ktorá sa dosahuje v krajinách s podobnými prírodnými podmienkami.

Kontaktná adresa:

Ján Gaduš, prof., Ing., PhD., Tomáš Giertl, Ing., Štefan Jančo, Ing., Lukáš Košík, Ing., Katedra konštruovania strojov, Technická fakulta SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, e-mail: Jan.Gadus@uniag.sk



Materiál a metódy

Bioplyn, ktorého majoritnou zložkou je metán (CH_4) a kyslíčnik uhličitý (CO_2), vzniká vždy tam (Straka a kol., 2003), kde sa biomasa rozkladá bez prístupu vzdušného kyslíka (anaeróbne), ako napr. v tráviacom trakte prežúvavcov alebo vo vodných sedimentoch. Objavením „horľavého vzduchu“ z močiarov a dokázaní obsahu metánu v tomto plyne fyzikom Voltom v roku 1778 začína éra hľadania pôvodu bioplynu. Mikrobiálny pôvod plynu bol ale dokázaný až v roku 1906 Omelianskim. Ďalším míľnikom vo výskume anaeróbného vyhnívania bolo objavenie acetogénnych baktérií Bryantom v roku 1967. Dnes sú už mikrobiologické základy tvorby metánu vo všeobecnosti známe a objasnené.

Počiatky bioplynových technológií v európskom poľnohospodárstve sú datované až po druhej svetovej vojne. Je možné uviesť zariadenie s kvasným kanálom vyvinuté na Technickej univerzite v Darmstadte (systém Darmstadt) a metódu Shmidta a Eggersglüssa. V tom čase však ešte technická úroveň zvlášť miešačov substrátu, ako aj konkurencia nízkych cien ropy spôsobili útlm záujmu o výrobu bioplynu, aj keď už boli známe výhody lepšej kvality organického hnojiva po anaeróbnom spracovaní. Až ropná kríza začiatkom sedemdesiatych rokov minulého storočia, ako aj potreba zdokonaľovania hnojivého hospodárstva so známymi prednosťami, dali podnet pre skutočný rozvoj výroby bioplynu. Napr. v roku 1985 bolo v Nemecku v prevádzke 75 bioplynových staníc, väčšinou v južnej časti krajiny. Dnes je v Nemecku nainštalovaných viac ako 4 900 bioplynových zariadení rôznej výkonovej kategórie.

Jedným z najväčších producentov organických zvyškov živočíšneho a rastlinného pôvodu v podmienkach Slovenska je moderné poľnohospodárstvo, ktoré najmä vo veľkochovoch hospodárskych zvierat produkuje veľké množstvá exkrementov. Vhodnou alternatívou ich využitia je práve splyňovanie metódou anaeróbnej fermentácie a následne energetické zhodnotenie vyprodukovaného bioplynu v kogeneračných jednotkách (elektrická a tepelná energia), čím je možné dosiahnuť zníženie celkových výdavkov za energie samotného podniku.

Výsledky a diskusia

Zariadenia na výrobu bioplynu je všeobecne možné rozdeliť do troch hlavných skupín a to: jednoduché (primitívne), zariadenia s klasickým dizajnom fermentorov pre biologické čistenie komunálnych kalov a nové progresívne typy priemyselných zariadení. Ďalej je možné rozdeliť podľa obsahu suchej hmoty vo vstupnom substráte zariadenia na výrobu bioplynu nasledovne:

- a) pre suchú fermentáciu – obsahom suchej hmoty od 25 do 35%
- b) pre mokrú fermentáciu – obsah suchej hmoty do 15%

Podľa spôsobu plnenia fermentora:

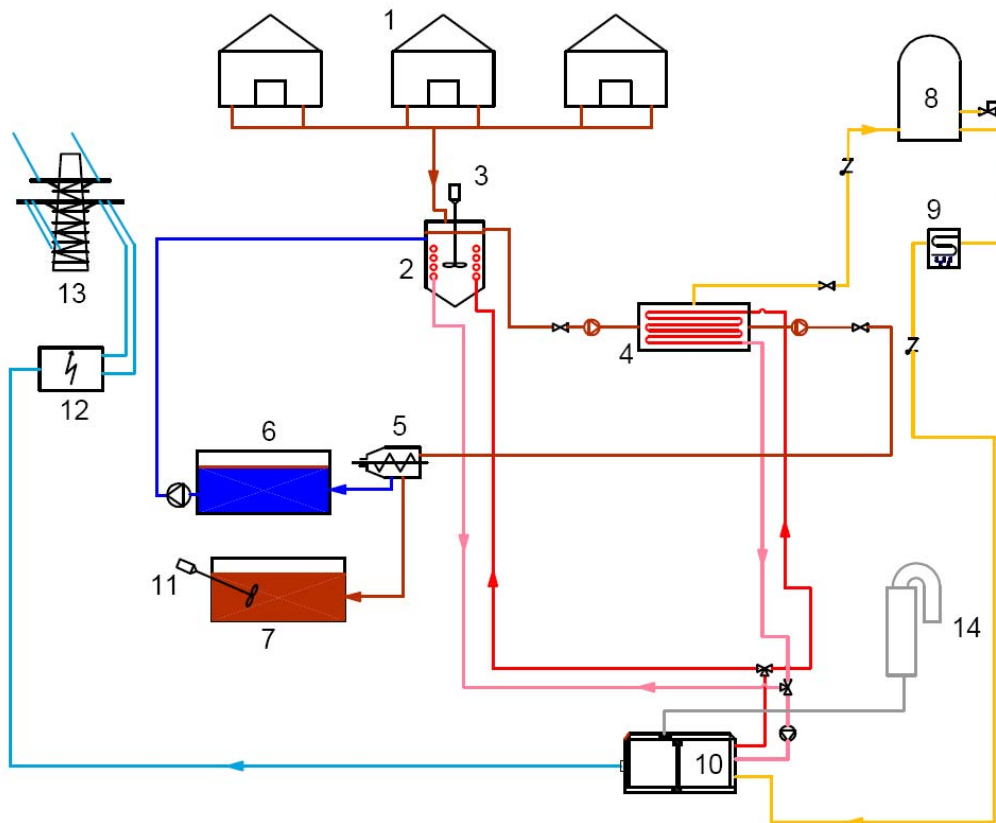
- a) diskontinuálne – fermentor sa po naplnení uzavrie a po uplynutí času zdržania sa vyprázdni a znovu naplní čerstvým substrátom.
- b) kontinuálne – fermentory sa plnia v pravidelných časových intervaloch, pričom množstvo odvádzaného substrátu sa rovná približne množstvu privedeného substrátu.

Fermentory môžu mať rôzny tvar, napr. valcový, kužeľový a môžu byť zhotovené z rôznych materiálov – z betónu, zo železobetónu, z ocele (v poslednom období aj z nehrdzavejúcej ocele) a pod. Podľa uloženia môžu byť ležaté alebo stojaté, nadzemné alebo umiestnené v zemi.

Všetky typy poľnohospodárskych zariadení na výrobu bioplynu zvyčajne pozostávajú z nasledovných základných technologických celkov (Obrázok 1):



- **príprava biomasy (napr. homogenizačná nádrž s mixérom, (poz. 2 a 3) - slúži na prípravu vstupného substrátu do vhodnej formy a aj ako zásobník biomasy;**



Obrázok 1 Hlavné technologické celky typickej poľnohospodárskej bioplynovej stanice
Figure 1 Basic technology aggregates of typical agricultural biogas plant

- **fermentor** (poz. 4) – dimenzuje sa podľa denného množstva vstupného substrátu a času zdržania, prebieha tu anaeróbny rozklad substrátu bez prítomnosti kyslíka pri vhodnej teplote a pH a tvorí sa bioplyn;
- **plynojem** (poz.8) – slúži na skladovanie najnutnejšej prevádzkovej rezervy bioplynu, jeho objem sa dimenzuje na pol až jednodňovú produkciu bioplynu;
- **zberná nádrž spracovaného substrátu** (poz. 6 a 7) – slúži ako konečný sklad vyhnitého substrátu a dimenzuje sa pre skladovaciu kapacitu na 180 až 200 dní (v prípade ak v zostave nie je využívaný separátor (poz.5)).

Ďalej súčasťou technologického vybavenia sú ďalšie dôležité zariadenia a systémy ako: čerpadlá, miešače a ohrev jednotlivých nádrží, najmä fermentora.

Zmiešané kultúry baktérií zúčastňujúcich sa procesu anaeróbneho rozkladu je možné na základe teploty procesu rozdeliť na (Braun, 1982):

- psychofilné (teplota do 20°C),
- mezofilné (30 až 40°C)
- termofilné baktérie (50 až 75°C).



Priebeh procesu a zloženie konečného produktu anaeróbného rozkladu ovplyvňuje množstvo faktorov: zloženie vstupného substrátu, hodnota pH, oxidačno - redukčný potenciál, teplota, parciálna veľkosť tuhých častíc a iné.

U bioplynových zariadení v klasickom usporiadaní ako je uvedené na Obrázku 1., ktorých je v prevádzke väčšina, pre zabezpečenie dávkovania čerstvého substrátu do fermentora sú využívané kalové čerpadlá, schopné pracovať so substrátom do obsahu suchej hmoty (SH) max. 12% (výnimočne 15%). Táto technológia predpokladá používanie tekutej formy exkrementov – hnojovice (ideálne bez prítomnosti slamy) čo na druhej strane vyžaduje bezpodstielkové ustajnenie hospodárskych zvierat. V prípade kofermentácie hnojovice, napr. s kukuričnou alebo trávnu silážou, vyžaduje sa čo najmenšia dĺžka rezanky (ideálna veľkosť okolo 1 cm) a homogenizácia, napr. vo vstupnej nádrži ponorným vrtuľovým miešačom. V prípade výskytu slamy alebo stebiel trávy v substráte, tieto komponenty sa bez predchádzajúcej prípravy javia ako balastné a nezúčastňujú sa tvorby metánu.

Nové trendy v bioplynových technológiách

Na základe analýzy súčasného stavu v oblasti konštrukcie poľnohospodárskych bioplynových zariadení je možné vysloviť nasledovné závery:

- zvýšená pozornosť je venovaná príprave vstupného substrátu,
- neustále sa zdokonaľujú systémy miešačov vo fermentore,
- vyvíjajú sa nové technologické zariadenia na dosiahnutie zlepšenia kvality vyrobeného bioplynu (na úroveň zemného plynu – tzv. biometán),
- riešia sa otázky automatického riadenia a kontroly základných parametrov biologického procesu ako aj produktu (dávkovanie, miešanie, kontrola a riadenie teploty procesu, kontrola množstva vstupného substrátu, kontrola množstva vyrobeného bioplynu, kontrola kvality bioplynu) s možnosťou diaľkového ovládania a riadenia prostredníctvom počítačových sietí.

Tieto trendy sú zamerané hlavne na zvýšenie kvality vyrobeného bioplynu, ale aj zníženie potreby priamej ľudskej práce pri samotnom zariadení. Riadiace systémy sú vysoko inteligentné a dokážu signalizovať vzniknutý problém zodpovednému pracovníkovi napr. zaslaním mailovej správy, resp. SMS správy na mobilný telefón. Poruchy sú zatriedené do kategórií podľa závažností a systém dokáže rozhodnúť o potrebe zaslania správy. Za normálnych okolností je potom obsluha potrebná na krátky čas na zabezpečenie prísunu materiálu do zásobníkov, ktorých veľkosť je tak nadimenzovaná, že túto činnosť je nutné zabezpečiť len jeden až dvakrát v priebehu dňa. Výkon kogeneračnej jednotky je tiež automaticky regulovaný podľa množstva bioplynu v plynojeme.

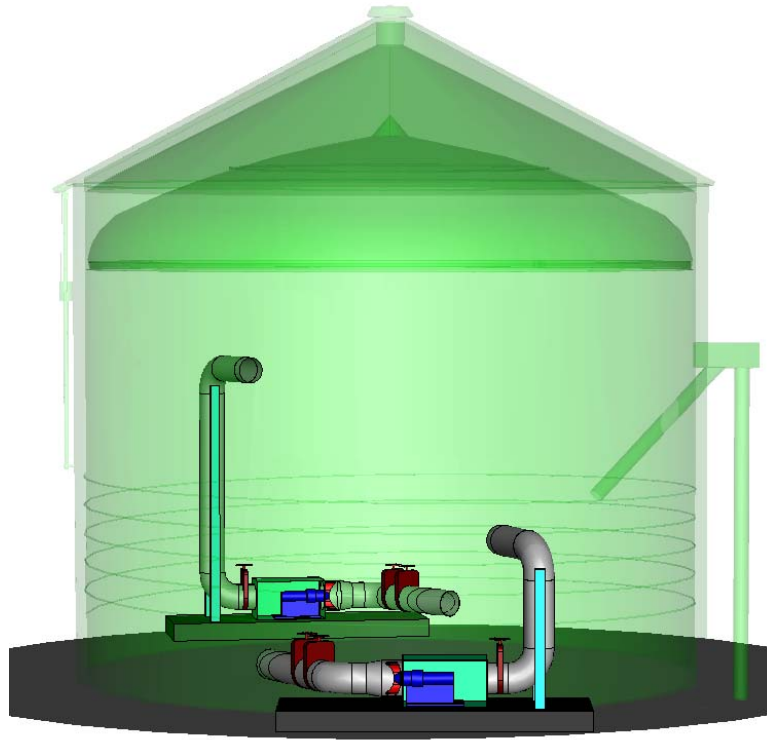
Na základe skúseností, ale aj dôkazov z experimentov sa ako najvhodnejšia a ekonomicky aj energeticky prijateľná pre bežné bioplynové stanice javí oblasť mezofilných teplôt a to ich horná hranica, t.j. 40° C udržiavaná podľa možnosti veľmi presne ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) v celom objeme. Preukázalo sa, že bakteriálne kultúry sú veľmi citlivé práve na kolísanie teplôt, čo značne znižuje ich produktivitu.

Progresívny systém miešania substrátu vo fermentore

Zabezpečenie efektívneho miešania substrátu vo fermentore je tiež jeden z hlavných predpokladov dosiahnutia čo najvyššej výťažnosti bioplynu z biomasy privedenej do procesu. Veľmi progresívny systém chránený patentom predstavila jedna nemecká firma. Pri tomto riešení (Obrázok 2) v samotnom priestore fermentora nie je žiadna súčasť miešača. Tento je navrhnutý ako externý, čo zabezpečí efektívny výkon miešania so zlepšenou homogenizáciou kvasného média a čo je tiež veľmi dôležité umožní servisné práce na miešačoch bez prerušenia produkcie bioplynu, prípadne potreby vyprázdňovania nádrží. Tento externý systém miešača totiž umožní po uzavretí prívodu a vývodu od samotných rotačných častí, úplnú demontáž miešača, pritom nie je potrebné, ako



to bolo spomenuté vypustiť fermentor, čo pri dnes používaných objemoch (nad 1000 m³) a výkonoch bioplynových zariadení (1 MW) nie je jednoduchá operácia.



Obrázok 2 Fermentor s externým systémom miešania

Figure 2 Fermenter with external mixing system

Príprava vstupného substrátu

Medzi veľmi dôležité faktory, ktoré ovplyvňujú výkon bioplynového zariadenia a ktorému sa venuje zvýšená pozornosť vo výskume, ale už aj u výrobcov bioplynových technológií je efektívna predpríprava substrátu a to dezintegrácia na čo najmenšie možné častice využívajúc rôzne fyzikálne princípy. V ďalšom stručne popíšeme niektoré možné spôsoby predprípravy vstupného substrátu, najmä jeho dezintegrácia.

Biologické metódy

Medzi biologické metódy dezintegrácie sa zaraďuje prídavok vhodných enzýmov prípadne mikroorganizmov napomáhajúcich rýchlejší priebeh hydrolýzy. V literatúre je použitie enzýmov k zlepšeniu anaerobnej stabilizácie často diskutované. Využitie enzýmov pre úpravu primárneho kalu s vysokým obsahom lignocelulóзовých materiálov sa zdá byť ako najúspešnejšie. Určitou nevýhodou biologických metód je v porovnaní s ďalšími ťažká reprodukovateľnosť výsledkov. Je možné, že biologické metódy dezintegrácie budú mať v budúcnosti širšie uplatnenie hlavne pre špecifické substráty ako napr. celulóza, lignín a pod. V súčasnosti však nie je dostatok prevádzkových aplikácií, ktoré by zdôvodňovali ekonomickú výhodnosť týchto metód.

Chemické metódy

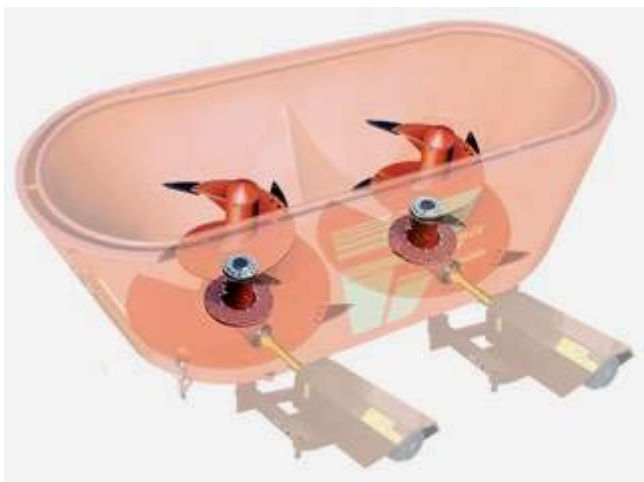
Patria obecné medzi vysoko účinné spôsoby hydrolýzy. Celý rad chemických látok reagujúcich so zlúčeninami bunecnej steny napr. u čistiarenských kalov (detergenty, rozpúšťadlá, ozón) je odskúšaný minimálne v laboratórnych podmienkach. Najväčšia pozornosť je však venovaná použitiu minerálnych kyselín a zásad,



zvyšujúcich rozklad aj materiálov s vysokým obsahom celulózy. Hydrolýzu je možné realizovať v podstate v celom rozsahu pH.

Mechanické metódy

Do skupiny mechanických metód predprípravy biologicky rozložiteľných materiálov zaraďujeme dezintegráciu a mletie tuhých látok prítomných v substrátu rôznymi druhmi mlynov (vysokorychlostný guľový mlyn, disperzný mlyn, koloidný mlyn), vysokotlakovým homogenizátorom, ultrazvukom, a pod. U poľnohospodárskych bioplynových zariadení sa môžeme stretnúť tiež s viacerými princípmi mechanickej predprípravy materiálu a to buď ešte v stave pevnom (napr. slamnatý maštalný hnoj, siláž a pod.), ktorý sa premiešava a čiastočne dezintegruje v tzv. miešacích zásobníkoch (Obrázok 3) alebo v tekutom substráte (premiešaný napr. s hnojovicou), kedy je možné aplikovať rotačné rezacie ústrojenstvo (Obrázok 4).



Obrázok 3 Miešací zásobník s dezintegráciou
Figure 3 Mixing holder with desintegration



Obrázok 4 Zariadenie s rotačným rezacím ústrojenstvom (RotaCut)
Figure 4 Equipment with rotary cutting mechanism

Fyzikálne metódy

Z hľadiska prevádzkových aplikácií je z tejto skupiny najrozšírenejšia termická hydrolýza - využívajúca pôsobenie zvýšenej teploty a tlaku na úpravu a dezintegrácia ultrazvukom.

Extrúderová technológia predprípravy substrátu

Pre dosiahnutie vysokej efektívnosti produkcie bioplynu je nutné získať vstupný substrát za najnižšie nadobúdacie náklady na jednej strane a dosiahnutie čo najvyššej konverzie energie obsiahnutej v biomase na strane druhej. Pritom je nutné zabezpečiť čo najlepšie podmienky pre samotný proces fermentácie.

Ako výhodný variant overený už aj v praxi sa javí systém s priamym prívodom tekutej zložky, napr. hnojovice samostatným potrubím a extrudovaných pevných vstupných látok druhým vedením do fermentora. S takto koncipovanou technológiou je možné dosiahnuť, že všetka vstupujúca biomasa, ktorá je na každom poľnohospodárskom dvore k dispozícii, vo forme pevnej, zrnitej, múčnej, vláknitej, tvaru rezanky, kvapalnej a pod. bude čo najdokonalejšie využitá v samotnom procese metanogenézy.

Jadrom termo-mechanickeho zariadenia slúžiaceho na rozdrvenie biomasy je extrúderová technológia (Obrázok 5). Extrúder je zariadenie tvorené dvomi vretenami rotujúcimi proti sebe v tlakovej komore. Tieto rotory zabezpečia stlačenie drvenej biomasy pulzujúcim na vysoký tlak pri súčasnom vytlačení materiálu cez dýzu. Tento efekt explózie spôsobí aj vysoké ohriatie vody obsiahnutej v bunkách, čo napomáha k dokonalému



rozbitiu vláknitých štruktúr až na úroveň samotných buniek, za súčasného ohriatia biomasy. S takto predpripraveným vstupným materiálom, medzi ktorým môže byť napr. slamnatý hnoj, kukuričná siláž, siláž z celej plodiny a iné, je dosahované podstatné zvýšenie výťažnosti bioplynu.



Obrázok 5 Extrúderová technológia na predprípravu substrátu

Figure 5 Extruder technology for substrate preparation

Teda aj materiál vykazujúci nízku produkciu pri bežnom spôsobe fermentovania po takejto úprave dosahuje výťažnosti bioplynu blízkej výťažnosti napr. kukuričnej siláže. Ako prednosti tohto nového postupu je možné uviesť:

- zväčšenie povrchu biogénnych zložiek prostredníctvom odvláknenia,
- vysoká sacia a vodu-viažuca schopnosť predpripravenej hmoty,
- rozloženie lignínu, celulózy a hemicelulózy,
- zamedzenie tvorby plávajúcich vrstiev vo fermentore,
- zlepšenie pomeru C-N,
- zredukovanie doby zdržania na 16 až 18 dní pri vyššom zhodnotení biomasy.

Popísanou metódou je možné zabezpečiť podmienky, významne zvyšujúce výkonnosť bioplynového zariadenia, ako napr. zaťaženie reaktora 5,0 až 7,0 kg suchej hmoty na m³ jeho objemu. Dodaním biologických materiálov z rozrušenou štruktúrou vláknin sa súčasne urýchľuje biologické odbúravanie nosného média – hnojovice. Dosahuje sa tým aj vyššia efektívnosť výroby bioplynu zo slamnatého maštalného hnoja, ale aj zámerne pestovanej biomasy (napr. kukuričnej siláže).

Záver

V príspevku uvedený prehľad nových trendov v konštrukcii základných technologických celkov poľnohospodárskych bioplynových staníc je zameraný hlavne na oblasť predprípravy vstupného substrátu. Jednou z možností zvýšenia produkcie bioplynu z maštalného hnoja je jeho kombinácia s ďalšími organickými materiálmi. Ešte výhodnejším variantom je kombinácia kofermentácie s možnosťou optimálnej homogenizácie



substrátu. V súčasnosti tzv. mono-fermentácia sa ukazuje ako najnevýhodnejšia alternatíva z hľadiska ekonomickej efektívnosti celého zariadenia.

Použitá literatúra

1. Braun, R. (1982): Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe. Wien: Springer-Verlag, 1982, ISBN 3-211-81705-0
2. Daruľa, I., Smitková, M.: Nové zdroje energie, in EE – časopis pre elektrotechniku a energetiku, 3/2006, Bratislava, Slovak Republic, 2006, pp. 8-10
3. Janíček, F., Daruľa, I., Gaduš, et al. (2007): Obnoviteľné zdroje energie 1. Technológie pre udržateľnú budúcnosť. STU Bratislava : Renesans, s.r.o. 2007, 176 s. ISBN 978-80-969777-0-3
4. Kubica, J.: Utilization of Biogas in Combined Generation of Electrical Energy and Heat in Slovakia. In: Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej. - ISSN 1429-1533. - Z. 60, Nr. 323 (2008), s. 125-128
5. Lucke, I. (2002): Biogas - Die regenerative Energie der Zukunft. Oldenburg : Hochschule Vechta, 2002
6. Pípa, M., Kubica, J.: Parametrical Model of Biogas Station. In: Electric Power Engineering 2008 : Proceedings of the 9th International Scientific Conference. Brno, Czech Republic, 13. – 15. 5. 2008. – Brno : Brno University of Technology, 2008. – ISBN 978-80-214-3650-3., s. 65 – 66.
7. Steffen, R., Szolar, O., Braun, R. (1998): Feedstocks for Anaerobic Digestion, str. 17 <http://www.ad-net.org/assets/images/Feednw1.pdf> (1998-09-30)
8. Straka, F. a kol. (2003): Bioplyn. Říčany : GAS s.r.o., 2003, ISBN 80-7328-029-9.

Súhrn

Príspevok poukazuje na smerovanie vývoja v oblasti konštrukcie základných technologických častí poľnohospodárskych bioplynových zariadení. Podčiarkuje význam vhodnej predprípravy substrátu a jej vplyv na množstvo a kvalitu produkovaného bioplynu. Stručne sú uvedené základné princípy viacerých spôsobov úprav vstupného substrátu. Podrobnejšie je zdokumentovaný progresívny termo-mechanický systém prípravy tuhej biomasy obsahujúcej napr. slamu, využívajúci extrúderovú technológiu.

Kľúčové slová: Poľnohospodárska bioplynová stanica, fermentor, riadiaci systém, mezofilná oblasť, extrúder

Pod'akovanie

Tento príspevok bol podporený grantom MŠ SR VEGA 1/0813/10 „Degradácia kovových materiálov v procesoch výroby a exploatácie alternatívnych palív“ a KEGA 3/7248/09 „Začlenenie laboratória OZE do vzdelávacieho procesu formou multimediálneho interaktívneho webového rozhrania“.