

Možnosti energetického využitia exkrementov hospodárskych zvierat

J. Gaduš: Possibilities of the Energy Use of Farm Animal Excrements. Život. Prostr., Vol. 42, No. 6, p. 325 – 329, 2008.

The paper presents a brief overview and description of the most important elements of biogas facilities used for anaerobic processing of biological materials. The introductory part of the paper shows some historical links and it also gives a picture of the current situation in Germany where there is more than 3 700 biogas working plants of all size categories which can be found in Europe. In Slovakia we have got just 5 agricultural biogas plants at present, though the production of excrements, which could be used as the input substrate, is big enough for the continual production of 277 million m³ of the biogas per year. This could be a substantial contribution to the development of renewable energy resources use in Slovakia. The following part of the paper describes the results of experiments with co-fermentation of cow stock excrements with different varieties of biomass. For co-fermentation they have used one after another first corn silage, then kitchen waste and silage grass. The experimental plant for the biogas production has been designed as a flow one with the capacity of 5 m³ and with quasi-continual filling. The experiment lasted for a year and during its duration samples of fresh substrate, samples of the substrate from the fermenting tun and composition of the produced biogas were analyzed. On the basis of the biogas composition according to the ISO standard 6976 for calculation of gas qualities the efficiency of the produced biogas has been determined and on the basis of its daily production also the energy output of the experimental plant for the biogas production has been determined.

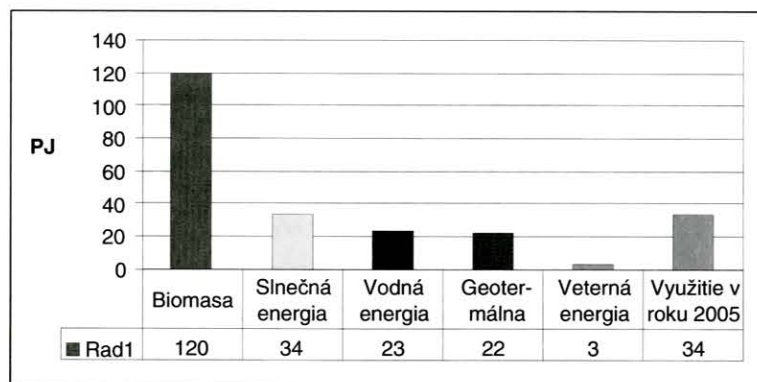
V súčasnosti sa vo všetkých členských krajinách Európskej únie (EÚ) stáva kľúčovým problémom diverzifikácia energetických zdrojov, a to nielen podľa jednotlivých typov energetických zdrojov, ale aj podľa oblastí ich geografického pôvodu. Na posilnenie energetickej sebestačnosti, členské krajiny EÚ kladú čoraz väčší dôraz na využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE).

Ambicióznym cieľom EÚ do r. 2020 je dosiahnuť 20 % podiel OZE z celkovej spotreby energie, 20 % znížiť emisie skleníkových plynov a 10 % podiel OZE v doprave. Na podporu využívania OZE bolo vytvorených viacero inštitucionálnych a finančných nástrojov a schém. Najväčší rozmach dosahuje využívanie veternej energie a biomasy. Európska komisia vydala niekoľko významných dokumentov, ako: *Akčný plán o biomase, Stratégiu EÚ v oblasti biopalív, Zelenú knihu ako Európsku stratégiu o energii a Klimaticko-energetický balíček*, v ktorých je vytyčená stratégia európskej energe-

tickej politiky. Členské krajiny EÚ totiž v súčasnosti takmer polovicu svojej spotreby energie pokrývajú dovozom z tretích krajín.

Podobne Slovenská republika takmer 90 % primárnych energetických zdrojov zabezpečuje nákupom mimo teritória vnútorného trhu EÚ. Jediným významnejším domácim energetickým zdrojom je hnedé uhlie, lebo vlastná ťažba zemného plynu a ropy je nevýznamná. Z tohto dôvodu neustále rastie aj na Slovensku význam intenzívnejšieho využívania OZE.

Podiel obnoviteľných zdrojov v energetickej bilanci je v SR skutočne veľmi nízky a nezodpovedá reálnym možnostiam. Celú situáciu len zdôrazňuje skutočnosť, že kým na jednej strane pretrvávajú dlhodobá závislosť od dovozu fosílnych palív zo zahraničia, niektoré obnoviteľné zdroje, napr. slama, ktorá sa ako kvalitné palivo využíva pre obecné kotelne v Rakúsku, sa tam vyváža aj zo Slovenska. V poľnohospodárskych podnikoch na Slovensku sa biomasa na energetické



1. Technický potenciál obnoviteľných zdrojov energie v SR. Zdroj: Stratégia energetickej bezpečnosti SR. MH SR, 2008

účely vo väčšej miere zatiaľ nevyužíva, aj keď možný potenciál je vysoký (obr. 1).

Možnosti výroby bioplynu

Bioplyn, ktorý pozostáva prevažne z metánu (CH_4) a kyslíčnika uhličitého (CO_2), vzniká vždy tam, kde sa biomasa rozkladá bez prístupu vzdušného kyslíka (anaeróbne), ako napr. v tráviacom trakte prežúvavcov alebo vo vodných sedimentoch (Straka a kol., 2003).

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

V prípade využitia celého odhadovaného potenciálu exkrementov hospodárskych zvierat na Slovensku by produkcia bioplynu predstavovala 277 mil. m^3 ročne.

Základy fermentačného procesu

Tvorba bioplynu je viacstupňovým procesom, pri ktorom mikroorganizmy v anaeróbných podmienkach využívajú chemickú energiu obsiahnutú v uhľohydrátoch, tukoch a proteínoch. Na základe chemicko-mikrobiologickej analýzy priebehu procesu bolo vytvorených postupne niekoľko reakčných schém. Dnes sa považuje za správny nasledovný štvorfázový model (Braun, 1982):

1. *Hydrolyza* – makromolekuly organických zlúčenín sa prostredníctvom enzýmov hydrolyznych baktérií rozkladajú na nižšie zložky.

2. *Acidogénna (kyselinotvorná) fáza* – medzi produkty hydrolyzy sa ďalej rozkladajú prostredníctvom acidogénnych baktérií na organické kyseliny (kyselinu octovú, propiónovú alebo maslovú), na nižšie alkoholy, aldehydy, vodík, CO_2 a ďalšie plyny, ako amoniak a sírovodík.
3. *Acetogénna fáza* – medzi produkty predchádzajúceho stupňa sa ďalej transformujú pomocou acetogénnych baktérií na kyselinu octovú.
4. *Metanogénna fáza* – metánové baktérie štiepia kyselinu octovú na metán (CH_4), oxid uhličitý (CO_2) a vodu. Vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2) sa redukujú na metán a vodu.

Všetky procesy, ktoré uskutočňujú mikroorganizmy, vyžadujú fyziologicky priaznivé podmienky prostredia. Ide predovšetkým o teplotu, hodnotu pH, koncentráciu substrátu a inhibítorov v médiu, ktoré ovplyvňujú proces tvorby bioplynu. Stúpajúca teplota vo fermentore spôsobuje aj zvyšovanie reakčnej rýchlosti. Väčšina bioplynových zariadení využíva mezofilnú teplotnú oblasť ($32 - 40\text{ }^\circ\text{C}$) a pH neutrálnu hodnotu substrátu ($7 - 8,5$).

Technológie používané na výrobu bioplynu

Anaeróbnou fermentáciu vlhkých organických materiálov so zachytávaním bioplynu možno zaradiť medzi tzv. nízkopotenciálne energetické zdroje. Tieto technológie pritom prispievajú k zníženiu plynných emisií z organických odpadov všetkého druhu pri ich súčasnom energetickom využívaní. Spracúvanie biologických „odpadov“ anaeróbnou fermentáciou poskytuje:

- *bioplyn* (zdroj čistej obnoviteľnej energie), možno ho priamo spaľovať v kotloch alebo efektívnejšie využiť ako palivo v kogeneračnej jednotke s kombinovanou produkciou elektriny a tepla,
- *kvalitné organické hnojivo*, po anaeróbnej fermentácii ho možno využiť priamo ako tekuté hnojivo, alebo ho separovať a získať substrát na pestovanie plodín,
- *ochranu životného prostredia*, pri energetickom využívaní biomasy sa oxid uhličitý, ktorý sa spotrebúval pri fotosyntéze, uvoľňuje späť do atmosféry a uzatvára sa tak jeho kolobeh v prírode v relatívne krátkom čase.

Podľa pôvodu alebo druhu používaného substrátu môžeme zariadenia rozdeliť na:

- poľnohospodárske,
- kofermentačné (priemyselné).

Bioplynové stanice v princípe delíme aj podľa obsahu suchej hmoty v spracúvanom substráte na zariadenia:

- s mokrou fermentáciou (obsah suchej hmoty < 15 %),
- so suchou fermentáciou (obsah suchej hmoty 25 – 60 %).

Podľa teplotných rozmedzí, pri ktorých dochádza k tvorbe metánu, rozdeľujeme zariadenia na:

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

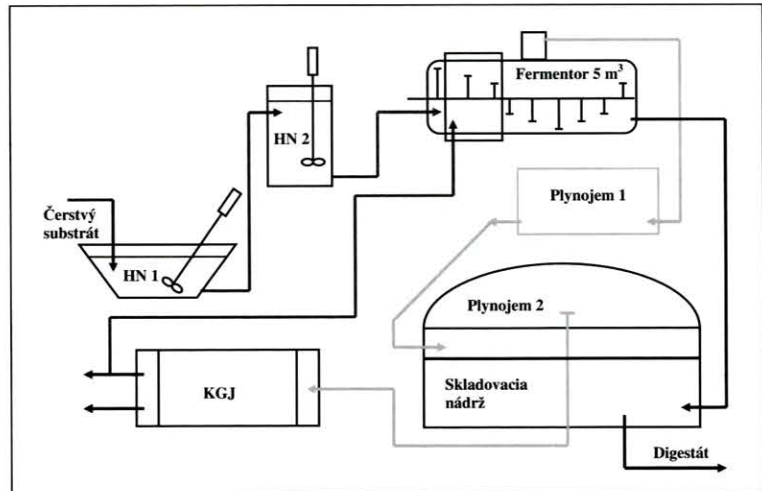
Energetické využitie exkrementov a kofermentácia

Pri projektovaní nových bioplynových zariadení konštruktéri vychádzajú hlavne z empiricky získaných údajov, z výskumu nielen v laboratórnych podmienkach, ale aj priamo pri prevádzkovaní zariadení na výrobu bioplynu. V poľnohospodárskej sfére pri kofermentácii tvorí základný substrát väčšinou odpad z chovu hospodárskych zvierat (napr. hnojovica, hydinový trus) a ako prímies (kosubstrát) možno využiť rôzny sezónny odpad (repné odrezky, vňate, zvyšky silážovaných plodín a pod.).

Niektoré laboratórne pokusy s kofermentáciou preukázali zvýšenie špecifickej produkcie bioplynu alebo obsahu metánu v bioplyne pri miešaní živočíšnej a rastlinnej biomasy (Braun, 1982, FAL, 2001). Napríklad pri laboratórnych pokusoch kofermentácie hnoja hovädzieho dobytky s domovým triedeným odpadom bol nárast obsahu metánu proti pôvodnej hodnote až o 80 % (FAL, 2001). Podľa Brauna (1982) možno kofermentáciou exkrementov hospodárskych zvierat s inými odpadmi doceliť nárast produkcie bioplynu o 0,5 – 1 m³ na 1 kg suchej organickej hmoty. Hlavný problém pri kofermentácii spočíva v stanovení vplyvu kosubstrátu pri jeho pridávaní do základného substrátu na energetický výkon zariadenia na výrobu bioplynu.

Cieľom dlhodobého testovania na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku SPU v Kolíňanoch bolo porovnať energetický zisk pri fermentácii čistej hnojovice z chovu hovädzieho dobytky a pri kofermentácii hnojovice s inými druhmi odpadu. Na výrobu bioplynu sa počas experimentu s kofermentáciou použilo zariadenie s mokrým procesom (s obsahom suchej hmoty v substráte do 12 %) a kvázikontinuálnym plnením fermentora.

Hlavnými technologickými prvkami, z ktorých zariadenie pozostáva, sú dve homogenizačné nádrže, experimentálny fermentor, flexibilný plynojem 1 a skladovacia nádrž s integrovaným flexibilným plynojemom 2. Základný substrát, ktorým bola hnojovica z chovu hovädzieho dobytky, sa privádzal do homo-



2. Schéma experimentálneho zariadenia na výrobu bioplynu
KGJ = kogeneračná jednotka, HN = homogenizačná nádrž

genizačnej nádrže (HN1), kde sa podľa potreby riedil a dôkladne zhomogenizoval pomocou posuvného, tangenciálne uloženého, propelerového miešadla poháňaného elektromotorom. Pri fermentácii čistej hnojovice sa vstupný substrát pridával do fermentora priamo z tejto nádrže. Pri kofermentácii hnojovice s ostatnými substrátmi sa na prípravu vstupnej zmesi používala ďalšia homogenizačná nádrž (HN2) s objemom 2 m³ vyhotovená z polypropylénu.

Zmes vstupného substrátu v homogenizačnej nádrži HN2 sa miešala pomocou napevno osadeného vertikálneho miešadla. Do fermentora sa dodávala raz denne v stanovenej dávke 250 l pomocou ponorného kalového čerpadla. Obsah fermentora sa premiešaval v pravidelných časových intervaloch (10-krát za deň 15 min.) pomocou pomalobežného horizontálneho lopatkového miešadla. Dĺžka zdržania substrátu vo fermentore 20 dní sa stanovila na základe údajov z odbornej literatúry. Po pridaní čerstvého substrátu rovnaké množstvo odchádzalo cez prepád fermentora, umiestnený v jeho zadnej časti, do skladovacej nádrže. Tvoriaci sa bioplyn sa zhromažďoval vo vrchnej časti fermentora a vlastným pretlakom sa dostával oceľovým potrubím do flexibilného plynojemu s objemom 5 m³. Po naplnení 1. plynojemu sa bioplyn pomocou dúchadla prečerpával do 2. plynojemu.

Monitorovanie procesu výroby bioplynu počas jedného roka bolo rozčlenené do niekoľkých fáz. V každej fáze bol anaeróbnemu rozkladu podrobený substrát s iným zložením. V prvej fáze sa použila ako vstupný substrát čistá hnojovica z chovu hovädzieho dobytky, ktorý bol ustajnený s podstielkou. V ďalších fázach sa



1. Vysokoškolský poľnohospodársky podnik SPU, s. r. o. Koliňany. Foto: J. Gaduš

použili rôzne zmesi substrátov, pričom v každom prípade predstavovala hnojovica základný substrát a pridávaná zložka kosubstrát. Trvanie meraní počas

Tab. 1. Členenie jednotlivých fáz monitorovania a použité substráty

Fáza	Použitý substrát	Trvanie meraní [počet dní]
I	100 % hnojovice	60
II	40 % hnojovice, 60 % silážovanej kukurice	32
III	60 % hnojovice, 40 % silážovanej kukurice	33
IV	85 % hnojovice, 15 % kuchynských odpadkov	48
V	90 % hnojovice, 10 % silážovanej trávy	53

Tab. 2. Energetické vyhodnotenie experimentu s kofermentáciou

Použitý substrát	Výhrevnosť [MJ.m ⁻³]	Spalné teplo [MJ.m ⁻³]	Výhrevnosť [kWh.m ⁻³]	Spalné teplo [kWh.m ⁻³]	Energetický zisk		Denná produkcia bioplynu [m ³ .d ⁻¹]
					z výhrevnosti	zo spal. tepla	
					[kWh.d ⁻¹]	[kWh.d ⁻¹]	
Čistá hnojovica	20,90	23,40	5,81	6,50	40,81	45,70	7,03
60 % KS + 40 % HN	21,32	23,79	5,92	6,61	49,10	54,78	8,29
40 % KS + 60 % HN	21,06	23,44	5,85	6,51	37,89	42,17	6,48
KO + HN	22,51	25,04	6,25	6,96	18,56	20,64	2,97
10 % ST + 90 % HN	21,66	24,09	6,02	6,69	21,66	24,09	3,60

KS = kukurica silážovaná, HN = hnojovica, KO = kuchynský odpad, ST = silážovaná tráva

jednotlivých fáz a zloženie použitých zmesí uvádza tab. 1.

Anaeróbny rozklad substrátu prebiehal v mezofilných podmienkach pri teplote 37 ± 2 °C v optimálnom rozmedzí pH 6,9 – 7,6. Analýzy zloženia bioplynu sa robili automaticky dvakrát denne pomocou analyzéra plynu SSM 6000 firmy Schmack.

Výsledky a diskusia

Počas experimentu sa získalo mnoho údajov, ktoré sa vyhodnotili a štatisticky spracovali. Podľa chemických analýz zvyčajne stanovovaných parametrov pri produkcii bioplynu sa vstupné parametre použitých substrátov od seba významne neodlišovali. Avšak významné rozdiely možno pozorovať pri analýze výstupných parametrov, t.j. hlavne v produkcii bioplynu a v celkovom energetickom zisku.

Hodnota chemickej spotreby kyslíka je priamo úmerná obsahu organických látok vo vstupnom substráte, ktoré môžu byť teoreticky premenené na bioplyn. Ako vyplýva zo štatistických údajov, pri fermentácii zmesi silážovanej trávy bola hodnota chemickej spotreby kyslíka najvyššia, avšak priemerná špecifická produkcia bioplynu na 1m³ privedeného množstva substrátu bola takmer o polovicu nižšia ako pri kofermentácii hnojovice s kukuričnou silážou. Môže to byť nielen chýbajúcou mikrobiálnou kultúrou, ktorá by bola vhodná pre rozklad daného substrátu, ale aj pomerne vysokým zaťažením fermentora organickými látkami. Veľké rozdiely možno pozorovať aj pri špecifickej produkcii bioplynu pre jednotlivé substráty, čo poukazuje na rozdielnu kinetiku anaeróbného rozkladu v jednotlivých fázach experimentu. Množstvo mastných kyselín vo fermentore sa stanovovalo hlavne

z dôvodu prevencie proti preťaženiu fermentora, ktoré by viedlo k úplnému zastaveniu procesu tvorby bioplynu. Výsledné zloženie bioplynu nie je významne rozdielne a obsah metánu bol najvyšší pri kofermentácii hnojovice s kuchynským odpadom, kde bol oproti experimentu s čistou hnojovicou zaznamenaný nárast o viac ako 4 %. Zrejme by bolo možné dosiahnuť v tomto prípade aj vyšší obsah metánu, avšak použitý kuchynský odpad mal veľmi nízky obsah suchej hmoty, tvorili ho prevažne tekuté odpady. Množstvo pridaného kuchynského odpadu sa denne menilo a ich priemerný objemový podiel bol nižší ako 15 %.

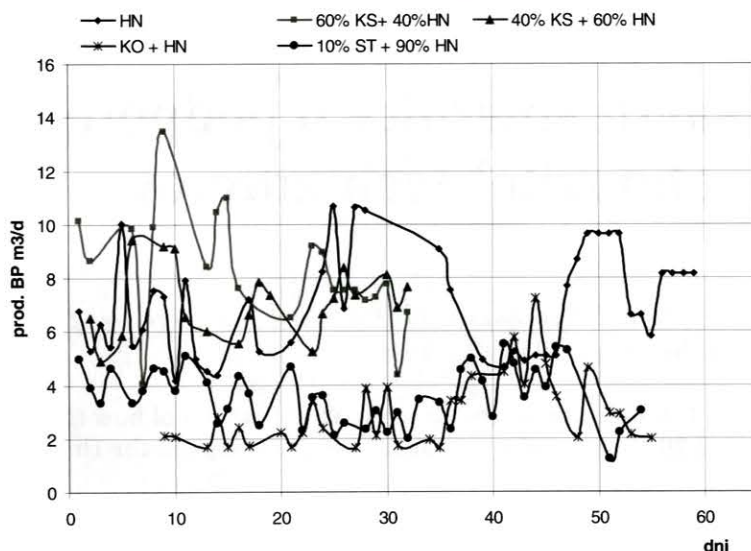
Najdôležitejšou fázou experimentu bolo porovnanie energetického zisku pri použití rôznych zmesí substrátov na výrobu bioplynu. Toto porovnanie je uvedené v tab. 2.

Údaje z experimentu s anaeróbnym rozkladom čistej hnojovice slúžia ako referenčné hodnoty.

Výhrevnosť a spalné teplo vyprodukovaného bioplynu sa vypočítali na základe normy ISO 6 976 pre výpočet vlastností plynov podľa zloženia vyprodukovaného bioplynu. Ako vyplýva z tab. 2, zvýšená produkcia bioplynu a celkovej energie sa zaznamenala iba v prípade kofermentácie hnojovice so silážovanou kukuricou, kde siláž predstavovala až 60 %, pričom prírastok získanej energie bol 20,3 % a prírastok produkcie bioplynu 17,92 %.

Pri kofermentácii hnojovice so 40 % podielom silážovanej kukurice bol celkový energetický zisk nižší o 7,3 % a celková denná produkcia bioplynu poklesla o 7,8 %. Pri kofermentácii hnojovice s kuchynským odpadom a silážovanou trávou poklesla hodnota získanej energie až na polovičnú hodnotu a rovnako aj produkcia bioplynu. Časové priebehy dennej produkcie bioplynu v jednotlivých fázach experimentu sú znázornené na obr. 3, z ktorého vyplýva, že denná produkcia bioplynu v prevádzkových podmienkach značne kolísala. Najstabilnejšia produkcia bioplynu bola pri kofermentácii hnojovice s kuchynskými odpadkami a so silážovanou trávou.

Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že je perspektívne vyrábať bioplyn aj zo zmesí rôznych substrátov, ale pri prechode z jedného substrátu na iný treba očakávať pokles produkcie bioplynu. Na získanie hodnovernejších výsledkov však treba



3. Časový priebeh produkcie bioplynu

urobiť dlhodobejšie experimenty, pretože bakteriálne kultúry, ktoré sa nachádzajú v hnojovici, potrebujú dlhší adaptačný čas na to, aby boli schopné spracúvať aj kofermentát. Každá fáza experimentu trvala z časových dôvodov len krátko, čo zjavne nepostačuje na celkovú stabilizáciu anaeróbného rozkladu.

Literatúra

- Braun, R.: Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe. Wien: Springer-Verlag, 1982. ISBN 3-211-81705-0
- Bundesforschung für Landwirtschaft (FAL) 2001. Jahresbericht 2000. Braunschweig: Oeding Druck und Verlag GmbH, 2001, s. 88.
- Janiček, F., Daruľa, I., Gaduš, J., Regula, E., Smitková, M., Polonec, L., Ludvík, J., Kubica, J.: Obnoviteľné zdroje energie 1. Technológie pre udržateľnú budúcnosť. Bratislava STU: Renesans, s. r. o. 2007, 176 s. ISBN 978-80-969777-0-3.
- Lucke, I.: Biogas – Die regenerative Energie der Zukunft. Oldenburg: Hochschule Vechta, 2002, s. 131.
- Steffen, R., Szolar, O., Braun, R.: Feedstocks for Anaerobic Digestion, 1998, p. 17, <http://www.ad-net.org/assets/images/Feednw1.pdf> (1998-09-30).
- Straka, F. a kol.: Bioplyn. Řičany: GAS, s. r. o., 2003, s. 517. ISBN 80-7328-029-9.

Doc. Ing. Ján Gaduš, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, jan.gadus@uniag.sk