Biblid: 0350-2953 (2015) 41(2): 111-120
UDK: 631.248

Originalni naučni rad
Original scientific paper

ENERGETSKI POTENCIJALI TEČNOG STAJNJAKA ENERGY RESOURCES OF LIQUID MANURE

Miodrag Zoranović, Mladen Ivanišević, Somer Deže

Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad, Srbija
e-mail: zormi@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Kao besplatne i potencijalno toksične materije, čvrsti i tečni stajnjaci domaće stočarske proizvodnje najpovoljniji su digestati malih i većih biogas postrojenja. Produkcijom biogasa stajnjak se stabilizuje, pri tome, u najvećoj meri, izdvajajući metan i ugljen-dioksid. Postdigestat, kao ostatak fermentacije, sadrži približno istu, ali signifikantno lakše usvojivu formu azota za biljni svet u odnosu na sirov stajnjak. Visoka kapitalna ulaganja za formiranje većih kogenerativnih biogas postrojenja u Srbiji nameću potrebu razvoja manjih digestor sistema, kao sastavnih delova srednjih govrdarskih, svinjarskih i peradarskih farmi.

Ključne reči: stajnjak, digestor, digestat, biogas, energija, postdigestat

1. UVOD

Stajnjak oduvek predstavlja značajan energetske resurs za stočarske farmere, Burton H, Turner C., 2003. U anaerobnom digestoru pripremljen stajnjak-digestat delimično se pretvara u biogas, sa metanom kao energetkom bazom i CO₂, paralelno sa propratnim elementima u formi nus produkta, tab. 1.

Tabela 1. Sastav biogasa

Table 1. Composition of biogas

Komponenta Component	Hemijska formula Chemical formula	Zapreminsko učešće Volume percentage, %
Metan, Methane	CH ₄	50-70
Ugljen-dioks, Carbon dioxide	CO ₂	20-40
Azot, Nitrogen	N ₂	<3
Vodonik, Hydrogen	H ₂	<3
Amonijak, Ammonia	NH ₃	<1
Vodena para, Water vapor	H ₂ O	1-5
Sumpor-vodonik, Sulfur hydrogen	H ₂ S	<1

Uopšteno, organski materijali izloženi dekompoziciji u toplom i bezvazdušnom okruženju-digestija, emituju biogas. Inače, digestija je spontan prirodan proces, jer su močvarni gas i biogas približno identična gasna jedinjenja, Zoranović et al., 2011.. Kod adekvatnih organskih materijala, smeštenih u dogrevanu, termički i hermetički zaptivenu komoru digestora, produkcija biogasa postaje ubrzan proces, Stoner, Carol H., 1974. Evolucijski, Humphrey Davy izveo je 1808. prvi eksperiment na produkciji metana putem anaerobne digestije stajnjaka. Od tada je anaerobna digestija uglavnom korišćena za tretmane sa gradski otpadnim materijalima organskog porekla, Persson, S.P.E. and H.D. Bartlett, 1979. Kao primer, biogas iz gradskog otpada Exetera-Engleska 1895., sakupljan je i korišćen kao izvor uličnog osvetljenja. Tokom drugog svetskog rata, za gorivom „gladna“ Nemačka izgradila je trideset digestora, koristeći trećinski deo biogasa za pogon

farmerskih traktora. Od 1970-tih, mali, jeftini digestori u Indiji i Kini, proizvode biogas za kuvanje i pogon električnih generatora. U Indiji, R. B. Singh, pionir je popularizacije anaerobne digestije, pri tome ubeđujući druge na polju prepoznavanja potencijala produkcije biogasa.

Vojvodina raspolaže velikim potencijalima čvrstog i tečnog stajnjaka, kao i biomasom u formi resursa za kogeneraciju biogasa u električnu i toplotnu energiju, Martinov et al. 2008. Shodno tome, kao i tendencijski povećavajućoj potrebi ka toplotnoj i električnoj energiji, stepen iskorišćenja pomenutih resursa nizak je. Početkom 80-tih godina XX veka funkcionisalo je 1200 različitih postrojenja na biomasu (140 MW). Od toga, 7 postrojenja na biogas: farme svinja u Surčinu, Vizelju, Banatskom Karlovcu, Vladimirovcu, Negotinu, Varvarinu i Sečnju. Predviđeno proizvodnja gasa sedam pomenutih postrojenja namenski je trebalo transformisati u toplotnu energiju. Međutim, realni tokovi života, posebno devedesetih, a po inerciji do danas, omeli su uspešnu izgradnju i funkcionalnost ovih postrojenja. Shodno tome, danas je 25% starih postrojenja na biomasu još uvek u funkciji, ali ne i stara postrojenja na biogas. Činjenično, do kraja 2010. u Vojvodini nije izgrađeno ni jedno savremeno biogas postrojenje za produkciju električne energije, Anonim, 2009f. Trenutno rade 4 nova postrojenja za proizvodnju električne energije iz biogasa:

- Alltech Fermin (Senta) – 1,6 MWe+1,8MWth
- Lazar Dairy (Blace) - 1 MWe+1,2MWth
- EnviTech Biogas AG – 635 kW
- Sava Kovačević - 1 MWe+1MWth

U sve izraženijom nedostatku realnih kapitalno novčanih tokova državnih fondova, vredna poena je potencijalna primena manjih digestorskih sistema na nivou farmske produkcije u govedarstvu, svinjarstvu i peradarsstvu, zasnovanih na principu „korak po korak“, Zoranović et al. 2012. Pod određenim uslovima, produkcija biogasa poprima formu ekonomski opravdanog tehnološkog procesa. Shodno političkim i ekonomskim kretanjima na globalnom nivou, kao i pojačanom intenzitetu korišćenja, cene konvencionalnih goriva u bliskoj budućnosti enormno će rasti. Ovo je jedan u nizu razloga ka atraktivnosti biogasa u formi energetske alternative. Očigledno, povećanje stepena zastupljenosti unapređene tehnologije anaerobne digestije raznih organskih materijala, obaraće cene njenih sistemski operativnih komponenti.

Kao referentan primer, u Pensilvaniji mlečne krave godišnje proizvode oko 5,5 miliona tona aktivno korišćenog stajnjaka. Ostvarena dnevna neto produkciona stopa gasa putem Penn State digestora, aktivne zapremine 1,2 m³ po kravi, pruža farmerima mogućnost ka godišnjoj produkciji gasa od 140 biliona m³. Ova količina gasa predstavlja relativni energetski resurs oko 20% od ukupno angažovane energije na nivou farmi mlečnih krava Pensilvanije.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Na osnovu stranih literaturnih izvora, a shodno praktičnim i teorijski primenjenim iskustvima u domaćoj praksi tokom zadnje dve decenije, izvršena je pregledna analiza sa predlogom varijante digestor sistema nižih kapaciteta u produkciji biogasa iz tečnog i čvrstog stajnjaka na srednjim i manjim govedarskim, svinjarskim i peradarskim farmama.

3. REZULTATI SA DISKUSIJOM

U digestoru bakterije razlažu organske materijale bez prisustva vazduha, posledično stvarajući metan i ugljen dioksid, sl. 1. Kiseloinske bakterije razlažu i transformišu čvrsto isparljive sastojke stajnjaka u tečni fluid, time ih menjajući u proste masne kiseline. Potom metanske bakterije pretvaraju isparljive kiseline u metan i ugljen dioksid. Obe vrste bakterija osetljive su na uzročno toplotne i posledično hemijske promene u njihovom okruženju, posebno metanske. Stoga su rapidna digestija i efikasna produkcija biogasa uslovljene ograničenim intervalom temperature tretiranja materijala, kao i njegovom strukturom u sirovom stanju.

Sl. 1 Dekompozicija stajnjaka u anaerobnom digestoru, Jewell, William J. (1975)

Fig. 1 The breakdown of manure in an anaerobic digester, Jewell, William J. (1975)

Temperatura digestata

Optimalnu produkciju biogasa karakterišu dva temperaturna intervala. Tako se mezofilne bakterije uspešno razvijaju pri temperaturama digestata oko 35°C, dok termofilne zahtevaju proširen interval 49°C do 60°C. Inače, produkcija biogasa signifikantno opada sa izlaganjem bakterija temperaturama digestata van naznačenih intervala, sl. 2. Naime, dok termofilne bakterije proizvode nešto više gasa, često on nije vredan energije potrebne za povišenje temperature tretiranog materijala sa 35°C na 49°C.

Sl. 2. Uticaj temperature tretiranog materijala na produkcionu stopu gasa

Fig. 2. Effect of treated material temperature to a gas production rate

Sirovi materijal

Sastav stajnjaka varira u saglasnosti sa vrstom hraniva i načinom upravljanja farmom. Njegova količina takođe je varijabilna, a zavisi od: tipa, mase i broja uzgajane životinjske vrste, primenjenog sistema njihove ishrane i stepena zatvorenosti uzgojnog sistema. Na primer, ako sav produkovan stajnjak mlečne krave mase 680 kg može biti sakupljen, na dnevnom nivou raspolaže se aproksimativno sa 57 kg·dan⁻¹ sirovog stajnjaka.

Generalno, u digestoru je moguće procesuirati druge farmske otpade organskog porekla: otpadna voda u izmuzištu, slama, kukuruzne ljuspice, trave i lišće itd., sa ili umesto kravlje stajnjaka. Govedi, svinjski i peradarski stajnjaci predstavljaju uobičajene bazne forme digestata, a peradarski imaju specifične tehnološke i tehničke zahteve. No, bez obzira na vrstu sirovog materijala, produkcija gasa postaje efikasnija kada adekvatan digestat raspolaže izvesnom odnosom C/N i pH vrednošću.

Pomenute bakterije razvijaju se u tečnom stajnjaku pri $\text{pH}=7$. Prema tome, ako pripremljen digestat raspolaže sa $\text{pH}=7$, proces transformacije poprima formu homogenog. Pod normalnim uslovima digestija materije balansira između viška kiselosti, ili pak alkalnosti procesne sredine.

Ugljenik je bazni hemijski elemenat u stajnjaku, a bakterije ga vare, propratno oslobađajući biogas. Međutim, pri izvlačenju energije ugljenika bakterije zahtevaju dostupan azot digestata. Za adekvatan materijal C/N predstavlja krucijalan faktor po efikasnost digestorskog ciklusa. Recipročno, nizak odnos C/N, ili pak značajno više N u odnosu na C, rezultira visokom koncentracijom amonijaka, kao opasnog toksina za anaerobne bakterije.

Dodavanjem adekvatne količine komplementarnog materijala u već popunjen digestor odabranim digestatom, moguće je podesiti odnos C/N. Kao primer, odgovarajuća drvena strugotina, sa visokim odnosom C/N, može se dodati u peradarski stajnjak izraženo niskog odnosa C/N. Inače, stajnjak mlečnih krava ima odnos C/N neznatno ispod nivoa bakterijskog zahteva.

Dizajn digestor sistema varira prema individualnim potrebama farmera, a treba da je prilagođen topografiji farme, postojećoj opremi, tipu uzgojnih objekata i sistemu menadžmenta, Baaske W, Trogisch S. 2004. Glavne komponente farmski dimenzionisanog digestor sistema su: elementi za manipulaciju tečnim stajnjakom (uključujući površinu za njegovu priremu), pumpa za tečni stajnjak (ili drugi punjački metodi), rezervoar za postdigestat, jedna ili više komora za digestiju, oprema za zagrevanje, agitaciju i hidrauličke radnje. Za tendencijski dobre performanse sistema, ove komponente treba da obezbede:

- sniženje nivoa toplotnih gubitaka sistema,
- jednostavnu protočnu stazu tretiranog materijala kroz sistem,
- adekvatnu kontrolu sistema i
- dostupno održavanje i popravku komponenti sistema.

Kao intenzivno sagoriv, biogas je opasan. Naime, on raspolaže potencijalom za gušenje humanih faktora, a pri mešavini sa vazduhom, u koncentraciji 6 do 15%, postaje eksplozivan.

Svi elementi sistema u kontaktu sa stajnjakom i biogasom, moraju biti otporni na koroziju. Na primer, pri manipulaciji sa pripremljenim tečnim stajnjakom do komore digestora, u najvećoj meri zastupljeni su PVC materijali. Shodno tome, dizajn celog sistema mora predvideti alternativne metode za transport stajnjaka i samog biogasa. Blokada cevi u sistemu distribucije može dovesti do ozbiljnih gubitaka tehničkih faza: sirovog materijala, digestata i postdigestata. Stoga, cevno-distribucione mreže baznih i finišnih komponenti sistema treba da su pristupačne održavanju, Effenberger M. et al., 2009a.

Tipovi niskokapacitetnih digestora

Digestori ovog tipa mogu se puniti tečnim stajnjakom kontinualno ili serijski. Kod serijski punjenog digestora, on je zatvoren sistem do adekvatne stope produkcije biogasa, a potom nastupa njegovo praznjenje sa propratnim punjenjem. Kao većina životnih tokova, produkcija gasa neujednačena je. Bez dodatne inicijacije, razvoj tome je spor startni razvoj bakterija. Potom nastupa vršna tačka njihove aktivnosti, pri kraju asimptotski nestajući usled gubljenja volatilnih materija digestata. Očigledno, ova metoda korisna je sa aspekta efektivnosti stajnjaka, ali signifikantno manje prema stepenu iskorišćenja digestorskog prostora.

Kod fermentora sa kontinualnim punjenjem, pripremljen digestat dozira se svakodnevno. Produkcija gasa konzistentna je, jer bakterije uvek imaju pristup svežem dodatku volatilno digestivnih materija. Generalno, kontinualno punjen digestor efikasno koristi veća ulaganja, mada ne može proizvoditi veću količinu gasa po kilogramu digestata u odnosu na serijske fermentore.

Prema cilju rada, dva tipa digestora sa kontinualnim punjenjem prikazana su na sl. 3. Naime, blokadno-protočni digestor predstavlja horizontalni cilindar, sa 2/3 visine ukopan u zemlju. Dakle, digestat se pomera po pravolinijskom pravcu kroz komoru fermentora, pri čemu ulazni gura već

procesuiran. Ovaj dizajn često je formiran od jeftinih fleksibilnih, ali ne dugotrajnih materijala, osim u slučaju njihove zaštite od degradacije agresivnom tečnom fazom.

Zapušacki-protocno pomeranje, Plug-flow displacement

Sl. 3. Dizajn kontinualno punjenog digestora, Pöschl Martina et al., 2010

Fig. 3. Design of continuous-load digester, Pöschl Martina et al., 2010

Primer vertikalnog digestora sa duplom komorom dat je na sl. 4. Očigledno, on raspolaže krutim zidovima, opremom za agitaciju i minimalnim prostorom za toplotne gubitke. Naime, formiran je od betonskih silo panela kao 4,8 m visoki rezervoar, prečnika 6 m. Po obodu betonskih panela ugrađeni su ojačavajući čelični obruči. Za izuzimanje nataloženog mulja sa dna komore digestora postavljen je pužni transporter.

Zagrevni sistem obezbeđen je cevnim razmenjivačem toplote, dužine 57 m, prečnika cevi 2 cm, smeštenim u pregradnom zidu, time obezbeđujući 6,5 m² razmenjivačke površine.

Krov digestora služi kao gasni kolektor i skladišni prostor, kapaciteta od 6 sati kontinualne produkcije biogasa. Kao plutajući element, vertikalno nezavisan od baze digestora, njegovom donjom ivicom zaronjen je u digestat. Donja površina krova otpor je pritisku kontinualno produkovanog gasa iznad površine digestata. Ovim su obezbeđeni anaerobni uslovi sistema, uz mogućnost podizanja i spuštanja krova, a saglasno produkciji i potrošnji biogasa. Spoljnog prečnika 5,4 m i 1 m vertikalnog zida, plutajući krov konstruisan je od galvaniziranog čelika.

Radi redukcije toplotnih gubitaka dve trećine visine digestor panela ukopano je u zemlju i termoizolovano stirodurom $\delta_{st}=10$ cm i plastificirano uretanskom penom $\delta_{up}=2,5$ cm. Krov je termoizolovan uretanskom penom $\delta_{up}=7,5$ cm, ojačan posebnom nailonskom folijom.

Za izgradnju ovakvog fermentora, sa vremenom zadržavanja digestata 14 dana, farmer treba da obezbedi zapreminu od 0,9 m³ po grlu mlečne krave u laktacionom periodu, telesne mase 680 kg. Ako farmer sakuplja stajnjak od zasušenih krava i stoke u stanju zamene, za svako grlo prosečne mase 455 kg potrebno je dodati oko 0,45 m³ zapremine digestorskog prostora.

Sl. 4. Poprečni presek testiranog digestora

Fig. 4. Cross section of a tested digester

Sistem za snabdevanje fermentora digestatom

Činjenično, stajnjak je manipulativno kompleksna supstanca. Shodno tome, efikasno snabdevanje fermentora digestatom krucijalan je faktor za uniformnu operativnost sistema. Kao primer, testirani digester sistem za 100 mlečnih krava, aktivne zapremine 100 m³, procesuirá 6,25 t·dan⁻¹ digestata. Protočna staza pripremljenog digestata prikazana je na sl. 5. Očigledno, kanali za čišćenje čvrstog ili tečnog stajnjaka dostavljaju ih iz uzgojnih do objekta za formiranje digestata. Naime, sirovi materijal upada u prijemni rezervoar pumpe, sa definisanom količinom vode u cilju redukcije čvrste materije, sa oko 15% na 13%. Dakle, varijanta čvrstog stajnjaka razređuje se radi prevencije začepjenja cevne mreže i same pumpe, uz paralelno lagano mešanje u komori digestora. Generalno, sistem je utoliko bolji, ukoliko zahteva minimalno razređenje suve materije, jer dodata voda smanjuje stepen iskorišćenja zapremine digestora i povećava gubitke toplote.

Sl. 5. Putanja doradenog stajnjaka kroz digestor

Fig. 5. Slurry path through the digester

Na značajnom broju ovakvih fermentatora punjenje digestatom vrši se centrifugalnom pumpom. Pri tome se razređen stajnjak prepumpava u nadzemni rezervoar, a iz njega gravitaciono dozira u fermentacionu komoru. Daljim uavršavanjem sistema centrifugalna pumpa zamenjena je klipnom sa direktnim ubacivanjem digestata u fermentor. Time je obezbeđena operativnost više od 13% čvrste mase i čestica dužih vlakana, bez potencijalnog zagušenja. Osim navedenih, interesantna su rešenja gravitacionog doziranja pripremljenog digestata bez prisustva pumpe.

Stopa punjenja digestora

Stopa punjenja predstavlja dnevno ubačenu masu volatilno čvrste materije u digestor. Koncentracija volatilno čvrste materije digestata ograničava stopu produkcije biogasa. Tako, digestor napunjen sa četiri jedinice volatilno čvrste materije produkovaće dvostruku količinu gasa kao isti digestor sa njene dve jedinice.

Rezultati testiranja digestora sa sl. 4, za tri različite stope punjenja, prikazani su u tab. 2. Oni ukazuju da su visoko punjačke stope usaglašene sa visokim dnevnim autputom gasa po jedinici zapremine digestora, što rezultira većom stopom povraćaja kapitalnih ulaganja za konstrukciju sistema. Sa kapitalnim ulaganjem, prema veličini sistema, visoka stopa dozvoljava korišćenje manjeg digestora i niže operativne troškove pri datoj veličini stada mlečnih krava. Dakle, visoka stopa punjenja znači malu redukciju volatilno čvrste materije, a koja rezultira nižom produkcijom gasa po jedinici volatilnih materija. Posmatrane stope punjenja i prpratna vremena zadržavanja tretiranog materijala, omogućavaju dovoljno vreme digestije u cilju stabilizacije procesuiranog fluida, kao nus produkta digestije-postdigestata.

Tabela 2. Rezime testiranih kapaciteta digestora zapremine 100 m³

Table 2. Summary of capacity tests of digester volume 100 m³

Volatilne materije za digestor Volatile solids fed to digester $\text{kg} \cdot \text{dan}^{-1}$ $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$	Vreme zadržavanja Retention time	Ekvivalentni broj krava Equivalent of cows	Ukupna produkcija gasa, Total gas production			
	Dani, Days	Broj, Number	$\text{m}^3/\text{cow day}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \text{ digester/day}$	m^3/day	$\frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{\text{kg VS/day}}$
346	35	50	1,34	0,67	67	0,19
554	21	80	1,61	1,29	129	0,23
1030	11	150	1,35	2,02	202	0,20

Vreme zadržavanja

Volumen digestata ostaje konstanta, tj. ulazni materijal zamenjuje identičnu količinu procesuiranog materijala iz digestora pri svakom njegovom dopunjavanju. Dnevna zamena frakcija digestata ograničava vreme njegovog zadržavanja. Kao primer, ako ubačen ekvivalent svežeg digestata zamenjuje desetinu tretiranog volumena, njegovo vreme zadržavanja je 10 dana.

Logično, kratko vreme zadržavanja bakterijama ne omogućava dovoljno vremena za potpunu digestiju evaporativnih materija, dok dugo vreme zadržavanja ne obezbeđuje dovoljno svežeg digestata za adekvatan podsticaj razvoju bakterija, tj. zadovoljavajuću stopu produkcije gasa.

Postdigestat

Tečni nusprodukt digestora ističe kroz prelivnu cev u pokrivenu skladište. Organski sadržaj procesuiranog stajnjaka redukovan je i stabilizovan, čime je posdigestat mirisno homogenizovana tečnost, neprivlačna za glodare ili muve.

Generalno, samo mali procenat stajnjaka stvarno je konvertovan u biogas. Tako stajnjak mlečnih krava čini 85% vode i 15% čvrstih materija. Od ovih čvrstih materija, oko 91% su isparive, a testirani digestor konvertuje 20-30% u biogas. Mlečna krava produkuje oko 7,7 kg volatilnih materija na dan, od čega jedna četvrtina biva konvertovana u biogas. Prema tome, anaerobni digestor je sistem za tretiranje stajnjaka, a ne njegovu dispoziciju.

Postdigestat je značajan nutritivno energetski resurs. Naime, on sadrži skoro sav azot zastupljen u sirovom stajnjaku, što ga čini visoko kvalitetnim fertilajzerom. Dakle, azot u njemu mnogo je prihvatljiviji od strane tretiranih biljaka nego iz sirovog stajnjaka. Okvirno, dnevni postdigestat, poreklom od čvrstog stajnjaka sto muznih krava, sadrži oko 24 kg biljkama lako upotrebnog azota. Prema tome, postdigestat više je kompatibilan sa tečnim stajnjakom, kao produktom načina izdubavanja, najviše zastupljenog u svinjarstvu. Međutim, voda može biti odstranjena iz postdigestata i reciklirana kroz sistem u formi razblažne vode. Talog sa dna digestora može koristiti kao oblik prostirke ili malča, a tokom 70-ih prošlog veka, testiran je kao dodatak u recepturi stočne hrane. Inače, nataloženi mulj na dnu digestora mora se redovno odstraniti, jer akumulacija taloga redukuje aktivni prostor digestora. Talog se odstranjuje kroz hidrauličke ventile, a putem spiralnog transportera u posebno skladište.

Sistem zagrevanja digestata

Sistem zagrevanja digestata dizajnira se tako da toplotno kontroliše proces fermentacije u adekvatnoj klimatskoj zoni. Standardni gasni bojler, napajan biogasom, u najvećem broju slučajeva održava temperaturu procesuiranog materijala tokom cele godine oko 35°C. Električna pumpa recirkuliše toplu vodu kroz cevi locirane ispod površine pregradnog zida u digestoru. Ovaj metod zagrevanja pokazao se zadovoljavajućim. Međutim, ako je temperatura zagrevne površine veoma visoka, iznad 77°C, tečni stajnjak biće pregrejan na razmenjivačkoj površini, što nije evidentirano kod testiranog digestora. Osim u startu procesa, digestor je koristio u njemu produkovan biogas za zagrevni sistem, pri tome sagorevajući aproksimativnih 30% od ukupno godišnje proizvode količine biogasa.

Sistem za agitaciju digestata

Mešanje digestata potpomaže fermentacioni proces, održavajući njegovu uniformnu temperaturu, zastupljenost adekvatnog bakterijskog roda, kao i distribuciju volatilnih materija kroz njega. Osim toga, ono minimizira količinu muljnog sloja i sprečava formiranje penaste kore na površini, što signifikantno posreduje u stepenu otpuštanja biogasa. Električno pogonjena vakum pumpa izuzima biogas iz skladišta ispod plutajućeg krova, injektujući ga u dve zone dna digestora. Dakle, recirkulacija biogasa omogućava agitaciju tretiranog materijala. Druge metode agitacije uključuju pumpe za recirkulaciju tretiranog materijala i mehaničke lopatice. Međutim, mehaničke komponente, izložene tretiranom materijalu, mogu korodirati, čime su teške za remont i zamenu bez narušavanje procesa digestije putem ozračivanja fermentora.

Biogas

Produkovan biogas testiranog digestora aproksimativno sadrži 60% metana i 40% CO₂. Ovo znači da gas raspolaže sa 60% energije u prirodnom gasu ili oko 22 MJ·m³ gasa. Sadržaj metana u biogasu fluktuirae u saglasnosti sa uslovima tretiranog materijala unutar digestora. Biogas sadrži tragove H₂S, kao ekstremno visokog korozivnog sredstva, ali sklonog relativno lakoj proceduri filtracije kroz čeličnu vunu ili čelnežne strugotine. Pošto je biogas topao pri izlasku iz digestora, on sadrži vodenu paru, koja će kondenzovati pri izlaganju hladnoći spoljnog okruženja. Kondenzacioni filteri u gasnoj liniji potrebni su radi sklonosti vode ka blokiranju niske tačke distribucione linije. Nakon kondenzacije vodene pare, gas može biti korišćen kao gorivo peći, grejačima vode i bojlerima. Međutim, mlaznica gasnog gorionika mora biti proširena radi kompenzacije snižene toplotne moći niskoenergetskog goriva.

Testovi upotrebe biogasa, kao jedinog goriva u benzinskom motoru, pokazali su da je energija 5,7 m³ biogasa ekvivalentna energiji 0,00378 m³ (3,78 l) benzina. Testirani digestor produkovao je energetski ekvivalent od 76 l benzina na dan. U dizel motorima biogas zamenjuje većinu tečnog goriva sa potrebom adekvatnih podešavanja i propratnim konverzionim alatima.

Tehnički, biogas je teško skladištiti, sabiti, ili prevesti u tečno stanje. Naime, za prevođenje u tečno stanje metan zahteva temperaturu okruženja -83°C, pri pritisku 35 Mpa. Međutim, za prevođenje metana u tečno stanje, pri normalnom atmosferskom pritisku vazduha, potrebna je temperatura -162°C. Ako se biogas koristi kao pogonsko gorivo SUS motora, on treba da je

stacionaran, blizu digestora i aktiviran frekventno. Na taj način, voda za hlađenje motora može biti korišćena kao zagreivni resurs digestata, time povećavajući efikasnost sistema.

Kao energetski izvor, biogas je preporučljiv za procese kuvanja, zagrevanja kontrolisanog ambijenta i vode, sušenje useva, hlađenje kontrolisanog ambijenta ili materije u sva tri agregatna stanja, irigaciju, kao i kogeneraciju električne energije.

Pored kapitalnih i operativnih troškova, izuzetih iz analize, energetski trošak u produkciji biogasa testiranog digestora ekvivalent je konvencionalnim gorivima sa relativnim cenama prikazanim u tab. 2. Dakle, poređenje u tab. 3. nudi ideju o relativnom energetskom trošku za razne vrste energenata prema troškovima biogasa, Obernberger I, Thek G., 2008.

Tabela 3. Troškovna ekvivalentnost energije biogasa prema konvencionalnim gorivima

Table 3. Biogas energy cost equivalency to conventional fuels

Gorivo, Fuel	Jedinična energija Energy per unit	Ekvivalent goriva Fuel equivalent 924.000 MJ	Cena ekvivalenta Equivalent price
Biogas, Biogas	22,2 MJ/m ³	42.000 m ³	0,13 RJ/m ³
Prirodni gas, Natural gas	37,00 MJ/m ³	25.000 m ³	0,22 RJ/m ³
Lož ulje, Fuel oil	39,00 MJ/l	23.700 l	0,23 RJ/l
Benzin, Gasoline	34,50 MJ/l	26.700 l	0,21 RJ/l
Dizel, Diesel	37,60 MJ/l	24.600 l	0,23 RJ/l
Tečni gas, L.P. gas	25,50 MJ/l	36.000 l	0,15 RJ/l
Električna energija, Electricity	3,6 MJ/kWh	257.000 kWh	0,22 RJ/kWh
Ugalj, Coal	29 MJ/Mg	32 Mg	173,00 RJ/Mg

Na osnovu analize, biogas može biti podesan:

- kad može stvarno zameniti konvencionalno gorivo,
- kad je cena konvencionalnog goriva viša od njegove cene i
- kad se u potpunosti koristi.

Kao primer, za grejač vode sa stepenom korisnog dejstva 0,7, pri zagrevanju vode jeftinije je korišćenje biogasa u celosti nego električne energije, kada je njena cena viša od 3,2 RJ-kWh⁻¹ (RJ-relativna novčana jedinica).

Godišnji troškovi testiranog digestora su aproksimativnih 5.557 RJ, uz produkciju 42.000 m³ biogasa iz stajnjaka 100 mlečnih krava, energetske moći 924.000 MJ. Ako je poznata relativna energetska vrednost konvencionalnih goriva, aproksimativno je moguće proračunati ekvivalentnu cenu konvencionalnih goriva prema biogasu, pri tome deleći godišnje troškove sa energetskim ekvivalentnom produkovanog biogasa.

4. ZAKLJUČCI

Kontrolisana produkcija biogasa, sa njegovim efikasnim korišćenjem, pruža mogućnosti: zaštite životne sredine, pogodne alternative energetskog resursa, a time značajne podrške nacionalnoj ekonomiji razvojem ruralnih oblasti.

Kao besplatni substrati za produkciju biogasa, u Vojvodini najpovoljniji su čvrsti i tečni stajnjaci iz stočarsva, u značajnoj meri obeleženi etiketom kompleksnog toksina.

Ostatak fermentacije je nusproizvod produkcije biogasa, a najčešće se koristi kao đubrivo. Njegova distribucija na poljoprivredne površine doprinosi očuvanju i povećanju plodnosti zemljišta, jer sadrži značajne količine makroelemenata i organske materije, lako dostupnih širokom spektru uzgajanih biljnih vrsta.

Zbog visokih kapitalnih ulaganja u veća kogenerativna postrojenja, za domaći, usitnjem farmski sektor treba razvijati manje digestorske jedinice u svrhu produkcije toplotne energije, sa propratnim pozitivnim osobinama postdigestata, kao resursa baznih nutrienata i signifikantno snižen intenzitet emisije neprijatnih mirisa sirovog ili dezintegriranog tečnog stajnjaka.

5. LITERATURA

- [1] Anonim. (2009f): Energetski bilans AP Vojvodine - plan za 2010. godinu. Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine AP Vojvodine. Novi Sad.
- [2] Burton H, Turner C. (2003): Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture. Silsoe Research Institute, Bedford, UK.
- [3] Baaske W, Trogisch S. 2004. Biogas powered fuel cells: Case studies for their implementation. Trauner Verlag, Linz, Austrija.
- [4] Effenberger M, Lehner A, Đatkov Đ, Gronauer A. (2009a): Performance figures of Bavarian agricultural biogas plants. Contemporary Agricultural Engineering 35(4): 219-227.
- [5] Jewell, William J. (1975): Energy, Agriculture and Waste Management. Proceedings of the Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, Inc. The Mother Earth News Handbook of Homemade Power. New York: Bantam Books: 278-355.
- [6] Martinov M, Đatkov Đ, Dragutinović G, Brkić M, Pešenjanski I, Veselinov B, Kiš F, Stanica Milojević Veselinov, Tešić M, Đaković D. (2008): Mogućnosti kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije iz biomase u AP Vojvodini. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [7] Obernberger I, Thek G. 2008: Costs assessment of selected decentralised CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification. In Proc. 16th European Biomass Conference & Exhibition, June 2008, Valencia.
- [8] Persson, S.P.E., and H.D. Bartlett, (1979): Agricultural Anaerobic Digesters. Design and Operation. University Park, PA. The Pennsylvania State University, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Bulletin 827.
- [9] Pöschl Martina, Shane W, Owende P. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. Applied Energy 87(2010): 3305-3321.
- [10] Stoner, Carol H. (1974): Producing Your Own Power. Emmaus, PA: Rodale Press: 137-190.
- [11] Zoranović, M., Potkonjak, V., Turan, J., Ivanišević, M. (2011): Problemi aerobnih i anaerobnih emisija gasova iz stočnog stajnjaka. Savremena poljoprivredna tehnika. Vol. 37, No. 2, pp.213-222.
- [12] Zoranović, M., Potkonjak, V., Turan, J., Ivanišević, M. (2012): Ekološki i energetski značaj emisije amonijaka u fazama tretmana stajnjakom. Savremena poljoprivredna tehnika. Vol. 38, No. 2, pp. 109-119.

ENERGY RESOURCES OF LIQUID MANURE

Miodrag Zoranović, Mladen Ivanišević, Deže Somer,

SUMMARY

As a free and potentially toxic substances, solid and liquid manures of domestic livestock production are favorable digestate of small and large biogas plants. Vojvodina has a great potential of solid and liquid manure, as well as biomass in the form of resources for cogeneration of biogas into electrical and thermal energy. In accordance to that, as well as the increasing tendency of the need to heat and electricity, efficiency of the mentioned resources is low. Biogas production stabilizes manure. Thereby, for the most part, methane and carbon dioxide are emitted. Effluent, like the rest of the fermentation, contains approximately the same, but significantly easier adoptable form of nitrogen for plant life compared to raw manure. Controlled production of biogas, with its efficient use, provides features: environmental protection, suitable alternative energy resources, and thus significant support to national economy development of rural areas. The high capital investment for the formation of larger cogeneration biogas plant in Serbia necessitate the development of smaller digester systems, as integral parts of cattle, swine and poultry medium capacity farms.

Key words: manure, digester, biogas, energy, effluent

Napomena: Ovaj rad je deo istraživanja na projektu republičkog Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, br. TR31046

Primljeno: 17. 03. 2015. god.

Prihvaćeno: 02. 04. 2015. god.