

**UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET
INSTITUT ZA POLJOPRIVREDNU TEHNIKU
i
ZADRUŽNI SAVEZ SRBIJE**

18. Naučno stručni skup sa međunarodnim učešćem
AKTUELNI PROBLEMI MEHANIZACIJE POLJOPRIVREDE

*18th Scientific Conference
CURRENT PROBLEMS AND TENDENCIES
IN AGRICULTURAL ENGINEERING*

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

ISBN 978-86-7834-262-2

UDK 631 (059)

Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6
Zemun – Beograd, Republika Srbija
9.12.2016. godine

TEČNI STAJNJAK U SISTEMU KOGENERACIJE ENERGIJE NA PORODIČNIM FARMAMA

Dušan Radivojević¹, Dušan Radojičić¹, Ivan Zlatanović¹, Milan Dražić¹,
Kosta Gligorević¹, Miloš Pajić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Zemun

SAŽETAK

Naturalni tečni stajnjak, kao suspenzija celokupnih izlučevina krava i pratećih kategorija, bez primesa prostirke i ostataka neiskorišćene hrane, predstavlja raznorodni energetska izvor, jer se od njega može dobiti gas, toplota, električna struja, gorivo za pogon i dr. Uvođenjem naturalnog tečnog stajnjaka u tretman ka proizvodnji energije, kao primarnim postupkom njegovog iskorišćenja, pored energetske efikasnosti farme, doprinosi se većoj zaštiti životne sredine jer se, smanjuju emisije sumpor-dioksida, ugljen-dioksida i azot-dioksida, u odnosu na sagorevanje fosilnih goriva. Pored toga u značajnoj meri se uništavaju patogeni, kao i sposobnost klijanja semena korovskog bilja koje se može naći u stajnjaku.

U radu se predlaže optimalna tehnologija i tehnička rešenja korišćenja tečnog stajnjaka, radi poboljšanja energetske efikasnosti proizvodnje na mini farmi, ali i njegovog daljeg potpunog iskorišćenja kao organskog đubriva. Obrađena je mini farmi muznih krava kapaciteta 50 muznih grla kakvih već sada ima dosta u Srbiji. Postupci prikupljanja, obrade, pripreme, kao i korišćenja tečnog stajnjaka, u našim uslovima nisu naišli na širu primenu, zbog ekstenzivnog načina proizvodnje i nedomaćinskog načina poslovanja.

Ogromne količine ovog organskog đubriva sa visokim đubrivnim potencijalom u oblicima lakopristupačnim za biljke, ni na koji način se ne koriste, već se nekontrolisano puštaju u okruženje zagađujući, na sve moguće načine, životnu sredinu. Ta se praksa mora prekinuti.

Ekonomski efekti u zemljama sa manje razvijenom stočarskom proizvodnjom, kakva je naša, ukazuju da se tom pitanju mora posvetiti adekvatna pažnja i pravilno usmeriti proizvodnja, koja sa svojim sekundarnim proizvodima može doprineti pozitivnijem rezultatu. Ovaj rad daje usmerenja ka tome.

Ključne reči: tečni stajnjak, energija, farma muznih krava, kogeneracija energije, organsko đubrivo

¹ Kontakt autor: Dušan Radivojević, e-mail: rdušan@agrif.bg.ac.rs

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu TR31051 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

LIQUID MANURE IN SYSTEMS OF ENERGY COGENERATION ON FAMILY FARMS

Dušan Radivojević¹, Dušan Radojičić¹, Ivan Zlatanović¹, Milan Dražić¹,
Kosta Gligorević¹, Miloš Pajić¹

University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, Zemun

ABSTRACT

Natural liquid manure as a suspension of overall cow and related categories excreta, with out of admixtures of bedding materials and residues of anused feed, is diversified energetic source, because it can produce gas, heat, electric power, fuel, etc. Teh introduction of natural liquid manure in treatment towards energy production, contribute not only to energy efficiency of farm, but also to better environment protection because of increased emission of sulfur dioxide, carbon dioxide and nitrogen dioxide, compared to combustion of fossil fuels. In addition, a significant ammount of pathogens are destroyed and weeds seeds that can be found in manure germination energy is significantly lower.

This paper presents optimal technology and technical solutions of liquid manure usage for improving energy efficiency of small farms, and also the following total usage of liquid manure as organic fertilizer. In this paper, a mini farm of 50 dairy cows, which are now common i Serbia has been considered. Methods of collecting, processing, preparation, and use of liquid manure, in our conditions are not met at a wider application, due to the extensive production.

Huge ammounts of this organic fertilizer with graet nutritive potential in forms that are easily accessible to plants are not used in any way, and are uncontrollably released to environment causing pollution to environment in any possible way. That practise must be stopped.

Economic effects in countries with less developed livestock production, such as ours, suggest that this issue must be given adequate attention and redirected the way of production, which, with secondary products can significantly improve the outcome. This paper gives direction to it.

Keywords: liquid manure, energy, dairy farm, cogeneration energy, organic fertilizer.

UVOD

Razvoj društva prati proizvodnja sekundarnih proizvoda, uključujući i otrovne i opasne supstance, a zagađenje zemlje, vode i vazduha se širi. Potrebno je doneti odluke ekonomske i ekološke politike, koje bi morale da promovišu ekološki čiste tehnologije, koje minimiziraju zagađenje i recikliraju sekundarne proizvode u sve većoj meri.

Spoznaja datog stanja svakim danom povećava brigu o iskorišćavanju prirodnih resursa i globalno isticanje potrebe uspostavljanja uslova na Zemlji za održiv razvoj, uspostavljanje striktno kontrole emisije štetnih materija, korišćenje izvora energije sa malim sadržajem ugljenika i širenje primene čistih i obnovljivih izvora energije.

Nije samo bliska perspektiva iscrpljivanja, doskora i naizgled neizmernih, izvora fosilnih goriva, uticala na podsticanje upotrebe obnovljivih vidova energije. U efektu staklene bašte koji se povezuju sa povišenjem temperatura u globalnim razmerama, dominantno učestvuje povećan sadržaj CO₂ u atmosferskom vazduhu.

Biomasa može da podmiri 14 % ukupne svetske potrebe za energijom [6], [3]. Sa ekološkog stanovišta posebno je značajna činjenica da biomasa u svom elementarnom sastavu u principu ne sadrži sumpor, ili je sadržaj sumpora, bar za red veličine manji od sadržaja u fosilnim gorivima.

Osnovu razvoja tehnologija za korišćenje biomase za proizvodnju posebnih vrsta biogoriva i upotrebnih oblika energije čine klasične tehnologije termohemijskog pretvaranja - sagorevanje, gasifikacija i piroliza.

MATERIJAL I METOD RADA

Karakteristike tečnog stajnjaka kao sirovine za kogeneraciju:

Tečni stajnjak sa govedarske farme se može koristiti i za proizvodnju biogasa. Korišćenje tečnog stajnjaka za proizvodnju biogasa, koji se može upotrebiti kao zame-na za prirodni gas ima ekonomskog opravdanja. To je naročito opravdano na mestima gde postoji velika količina tečnog stajnjaka, kao što su farme srednjih i velikih kapaciteta [4], [2].

Biogas je mešavina metana i ugljendioksida, a može sadržati i amonijak, sumpordioksid i vodonik, u zavisnosti od korišćene biomase. Biogas nastaje pri bakterijskom razlaganju organske materije u anaerobnim uslovima.

Električna energija dobijena sagorevanjem biogasa je pogodna da se koristi kao bazna energija. Praktične primene razvijenih tehnologija i izgrađeni sistemi, daju tehničku potvrdu projektima u kojima sistemi integrisane gasifikacije i kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije - kogeneracije. Razvoj sistema malog kapaciteta je značajan za relativno nerazvijena ruralna područja, bez energetske infrastrukture i nestabilnog snabdevanja energijom.

Širenje primene kogeneracije u svetu i EU je rezultat porasta cena fosilnih goriva i uvođenja taksi na korišćenje fosilnih goriva, zbog zagađenja okoline. EU je planirala da do 2010. godine udeo biomase u proizvodnji finalne energije dostigne u proseku 12 %, dok danas Austrija, Švedska i Finska imaju 20 % ukupne proizvodnje energije iz biomase [1], [7].

Prognozira se da će do 2020 godine u svetu biti instalisano 30 000 MW proizvodnje električne energije iz biomase. Najviše proizvodnje iz biomase imaju zemlje u razvoju zbog brzog ekonomskog razvoja, povećanja potrošnje električne energije, problema zagađenja okoline, i veće potrebe za energijom u seoskim naseljima.

Cena električne energije proizvedene iz biomase zavisi od korišćene tehnologije, veličine elektrane i cene biogoriva. Elektrane na biomasu imaju snagu od nekoliko kW (za kućnu upotrebu) do 200 MW.

Međunarodne obaveze svake zemlje u oblasti ekologije nalažu brze promene u odnosu prema zagađivačima. Tehnologija biogasa može da pruži znatan doprinos unapređenju pokazatelja ekološkičnosti naše (poljo)privrede, a takođe i energetske efikasnosti, otvaranja novih radnih mesta, tehnološkog razvoja, pa i pokazatelja primene naučnih dostignuća u praksi.

Značajno je i potrebno podsticanje uvođenja tehnologije biogasa i proizvodnje električne struje iz njega uz vrednovanje, pre svega, ekoloških parametara rada takvih postrojenja [3], [5]. Problematika biogasa dotiče brojne sektore privrede i ekonomike, npr. energetska politika, politika o životnoj sredini, politika razvoja poljoprivrede, vodoprivrede, elektroprivrede, nacionalna ekonomika, mala i srednja preduzeća, politika zapošljavanja, naučna politika, podsticaji tehnološkog razvoja, poreska politika).

Izbor tehnološkog rešenja

Za korišćenje tečnog stajnjaka kao sirovine za proizvodnju biogasa moguće je primeniti sledeće sisteme za izdubavanje, kao i njihove karakteristike:

- kontinuirano prikupljanje tečnog stajnjaka ostvaruje se pomoću sistema samooticanja,

- korišćenjem sistema sa ustavama sa potpunim pražnjenjem pojedinačnih kanala.

U prvom slučaju tečni stajnjak se prikuplja u neki bazen za prikupljanje (predbazen ili drugi manji bazen), tako što se u toku celog dana, osim nekoliko sati u toku noći (5-6 časova), iz objekata za držanje stoke, izbacuje približno podjednaka količina stajnjaka.

To se istovremeno događa u svim objektima jedne farme, tako da se svakodnevno dobija ujednačena mešavina stajnjaka svih kategorija sa jedne farme. Znači, u toku godine se dobija stajnjak ujednačenog sastava i količine. Razlike u jednom i u drugom mogu biti izazvane samo promenom načina ishrane i sastava hrane. To je najvažniji pokazatelj sa stanovišta obezbeđenja sirovine za proizvodnju biogasa.

U drugom slučaju vrši se pražnjenje pojedinih kanala, i to kako jednog objekta, tako i različitih objekata. Na taj način se u pojedinim danima dobija tečni stajnjak od različitih kategorija stoke, koje se hrane različitim sastavom obroka. Iz tog razloga, sastav stajnjaka može biti različit. Radi toga se kod ovakvih farmi vrši grupisanje objekata istih kategorija grla, kao i usaglašavanje vremena pražnjenja. Svakako da je neophodna dodatna priprema sirovine pre uvođenja u bioreaktor.

Korišćenje vode za ispiranje kanala ni u kom slučaju nije poželjno, iz više razloga. Razređivanjem stajnjaka, smanjuje se sadržaj suve materije u stajnjaku i povećava se njegova količina, što povećava troškove manipulacije sa njim uz male efekte. Ukoliko je ispiranje kanala neophodno za normalno funkcionisanje sistema izdubavanja, onda se preporučuje separacija naturalnog tečnog stajnjaka i povratno kretanje tečne faze kojom se izvodi ispiranje kanala. Novije farme treba da imaju mogućnost pražnjenja kanala sa obe strane. Na taj način se sprečava zadržavanje čvrste faze u kanalu, te tako prestaje potreba za ispiranjem bilo koje vrste.

Uslovi pripreme tečnog stajnjaka za proizvodnju biogasa

Kod korišćenja tečnog stajnjaka za proizvodnju biogasa postavljaju se dva osnovna preduslova, kao značajna pre početka proizvodnje. To su:

1. Tečni stajnjak u svom sastavu ne sme sadržati strana tela organskog ili neorganskog porekla, koja onemogućavaju uobičajeno korišćenje pumpi. Pri ovome se pre svega misli na mehaničke primese.

2. Uspeh u proizvodnji biogasa u najvećoj meri zavisi od sadržaja organske suve materije u tečnom stajnjaku. Proces proizvodnje se ne može ostvariti dok se ne raspolože sa minimalnim količinama organske suve materije, kod stajnjaka goveda oko 5%.

Smanjenjem sadržaja organske suve materije od neke prosečne količine u velikoj meri se snižava proizvodnja biogasa, a istovremeno udeo procesne energije jako raste.

Vrednost sadržaja organske suve materije bi trebao da se kreće u granicama koje su prirodne za stajnjak u trenutku njegovog formiranja. Te veličine su za stajnjak goveda oko 8%. Povećanje sadržaja suve materije ili bolje rečeno, održavanje tog sadržaja u prirodnim granicama, bi trebalo da bude uobičajen postupak. On može da bude sproveden na razne načine i pod raznim uslovima. Uobičajena su tri načina:

1. Sprečavanje neracionalnog rasipanja vode,
2. Povećanje sadržaja suve materije,
3. Dodavanje drugih materija.

U stajama iz kojih se stajnjak koristi za proizvodnju biogasa, treba eliminisati bilo kakvo nepotrebno pranje vodom. U slučajevima neophodnog pranja objekata i opreme u njima, treba koristiti pumpe visokog pritiska koje troše veoma male količine vode, uz visoku efikasnost. Sedimentacija je najjednostavniji način da se jedan deo tečne faze iz tečnog stajnjaka odvoji od ukupne mase. Time se značajno povećava sadržaj organske suve materije u ostatku stajnjaka.

Sedimentacija kao vid povećanja sadržaja organske suve materije kod govedeg stajnjaka nije moguća. Osnovni razlog je način raslojavanja na faze. Čvrsta, zbog manje specifične mase pluta nad tečnom. Kod govedeg stajnjaka se čvrsta faza izdvaja na površinu, zbog male specifične mase kojoj doprinosi vrlo visok sadržaj celuloze. Povećanje sadržaja organske suve materije u tečnom stajnjaku goveda se može ostvariti dodavanjem živinskog stajnjaka, koji ima 3 puta veći sadržaj suve materije od navedenih vrsta [4]. U takvim slučajevima neophodno je dobro rešiti postupak homogenizacije mešavine. Za homogenizaciju se preporučuju mehanički rotacioni uređaji, koji pored kvalitetnog mešanja u masu uvode i manje količine vazduha. Ta pojava se odražava povoljno na stvaranje preduslova za mikrobiološku razgradnju i pojavu gasa. Takođe dolazi do povećanja temperature mase, koja je značajni faktor za postupak fermentacije.

U stajnjaku se mogu naći primese koje štetno deluju na proces razgradnje i dobijanje gasa. To su pre svega antibiotici, koji u nekim slučajevima mogu potpuno zaustaviti proces. Za preporuku je da se stajnjak ne uvodi u proizvodnju gasa u vreme velikih akcija lečenja grla antibioticima. Posebno u slučajevima kada se koriste lekovi iz grupe furazolidona i sulfametazina. Od sredstava za pranje i dezinfekciju najmanji uticaj na proces dobijanja gasa imaju hloroform i fenoli, a najveći aldehidi.

Merodavni pogonski parametri procesa anaerobne fermentacije

Intenzitet procesa anaerobne fermentacije meri se količinom biogasa obrazovanog u jedinici vremena, pri određenim vrednostima parametara procesa. Za potpunu razgradnju nekog supstrata do prestanka fermentativne aktivnosti potreban je vrlo dug period. Zato se iz ekonomskih razloga proces vodi do određenog stepena razgradnje organskih materija. U postupcima za obradu otpadnih voda definiše se "tehničko vreme razlaganja², kao i vremenski interval ukome se dobija 90 % količine gasa, koja bi se mogla teorijski dobiti (to odgovara razlaganju 30 – 50% mase polaznih organskih materijala).

Na brzinu fermentativne aktivnosti na određen način utiču i brojni faktori, od kojih su najvažniji:

- temperatura supstrata u reaktoru;
- koncentracija organskih suvih materija;
- pH vrednost supstrata;
- prisustvo inhibirajućih faktora.

Uticaj temperature supstrata

Temperaturni nivo, a takođe i kolebanje temperature supstrata, imaju presudan uticaj na intenzitet fermentativnih reakcija. Prvi stupanj procesa, hidroliza, suštinski je malo osetljiv na temperaturne promene, što zavisi od prirode bakterijske flore koja uslovljava ovu fazu. Nasuprot tome, druga i treća faza procesa zahtevaju približno konstantnu i uniformnu temperaturu supstrata u reaktoru, pošto u slučaju promene temperature, acetogene i metanogene bakterije reaguju naglim padom fermentativne aktivnosti, jer su adaptirane na ujednačenu procesnu temperaturu. Zbog toga temperaturno polje supstrata tokom procesa u reaktoru treba da bude što bliže homogenom i stacionarnom (ako se želi nesmetano odvijanje procesa odstupanja temperature ne smeju preći $\pm 2^{\circ}\text{C}$ [4].

Uticaj koncentracije organskih suvih materija

Specifično opterećenje zapremine reaktora M_s je masa organskih suvih materija, koja se dnevno unosi po jedinici zapremine reaktora. Veći deo organskih supstanci prolazi kroz uređaj kao biološki balast, bez uticaja na tok biohemijskih zbivanja, pa su vrednosti specifičnog opterećenja za teže razgradljive supstance (goveđi stajnjak), u principu veće nego za one koje se lakše anaerobno razgrađuju (svinjski stajnjak).

Koncentracija organskih suvih materija u supstratu, koji se uvodi u reaktor, neposredno utiče na vrednost kinetičke konstante K_M (Tabela 4). Za stajnjak goveda, kinetička konstanta K_M ima konstantnu vrednost 0,95 za S_R £90 kg/m³ (Tabela 2), a iznad te vrednosti raste sa povećanjem koncentracije S_R .

Uticaj PH vrednosti

Katalitička aktivnost bakterijskih fermentata u tesnoj je vezi sa pH vrednošću supstrata. Najveći broj bakterija razvija svoje specifično katalitičko dejstvo samo u određenom pH području, izvan koga brzina fermentativne aktivnosti brzo opada. Najpovoljnija koncentracija vodonikovih jona poznata je kao optimalna pH vrednost.

Metanogene bakterije zahtevaju za svoju aktivnost sredinu u kojoj se, pored izvora ugljenika (ugljeni hidrati) koji su izvori energije za metabolične procese bakterija, nalaze i joni amonijuma (nastali razlaganjem proteina, nitrata, amonijaka itd.) (izvori azota), a neophodni su za sintezu novih ćelijskih struktura. Optimalna vrednost odnosa količine ugljenika i azota ($^{\circ}\text{C}/\text{N}$ odnos²) iznosi oko 30. Ako u sirovom materijalu preovlađuju ugljeni hidrati u odnosu na pomenuta azotna jedinjenja, stvara se nedovoljno jona amonijuma (niske vrednosti pH supstrata), pa zbog povećanja kiselosti sredine nastaje biogas sa smanjenim udelom metana. S druge strane, povećana koncentracija jona amonijuma prouzrokuje rast pH vrednosti preko 8, što će zaustaviti metanogene procese. Otuda koncentracija jona amonijuma treba da bude u rasponu 1000–1400 g/m³.

Optimalna vrednost pH supstrata određena je oblastima maksimalne aktivnosti acidofornih (acidogenih) i metanogenih bakterija. Populacija acidofornih bakterija

najbolje se razvija pri vrednosti pH od 5–6, a metanogenih pri pH od 6–8. Vodeći računa o obe vrednosti, smatra se da se optimalne pH vrednosti nalaze u intervalu 6,4–7,2 (mada ima i podataka da bi pH trebalo da bude 7–7,5 zbog sprečavanja "kiselinskog preopterećenja") [4].

Uticaj prisustva inhibirajućih faktora

Mnogi fizički faktori, kao što su povećana temperatura ili jaki mehanički potresi i neke vrste zračenja, usporavaju ili inaktiviraju dejstvo fermentata. Pored toga, postoji više hemijskih agensa i supstanci koje mogu lako, preko hemijskih reakcija, kompletno ili selektivno da inaktiviraju fermente ili da inhibiraju aktivnost bakterija. S obzirom na poreklo stajnjaka, potencijalni inhibitori procesa anaerobne fermentacije jesu joni metala: bakra, cinka, kalijuma, magnezijuma, nikla i hroma. Određene koncentracije deterdženata i nekih sredstava za ubrzanje prirasta životinja i za dezinfekciju objekata takođe deluju negativno na tok fermentativnih procesa. Teorijski proračun količine metana, odnosno biogasa obrazovanog u jedinici vremena (obično jedan dan) tokom procesa anaerobne fermentacije, zasniva se na korišćenju jednačina kinetičkih zavisnosti. Specifična produkcija gasa V_s , koja je globalna karakteristika energetskog potencijala organskog materijala za proces fermentacije, predstavlja osnov za ocenu tehnokonomske opravdanosti gradnje postrojenja. Pošto se u praksi pojavljuju različite definicije te veličine, treba usvojiti one koje daju najpogodnije uslove za energetske i ekonomske analize procesa (Tabela 1).

Tabela 1. Pregled definicija specifične produkcije biogasa
Table 1. Overview of definitions of specific biogas production

OZNAKA	DEFINICIJA	JEDINICA
V_{SBS} V_{SMS}	Količina biogasa V_{SBS} (ili metana V_{SMS}) svedena na 1 kg dnevno unetih suvih materija u reaktor, koja se dnevno obrazuje pri datim vrednostima temperature fermentacije i retencijskog perioda	$\frac{m^3}{kgSMdan}$
V_{SBO} V_{SMO}	Količina biogasa V_{SBO} (ili metana V_{SMO}) svedena na 1 kg dnevno unetih organskih suvih materija u reaktor, koja se dnevno obrazuje pri datim vrednostima temperature fermentacije i retencijskog perioda	$\frac{m^3}{kgOSMdan}$
V_{SBR} V_{SMR}	Količina biogasa V_{SBR} (ili metana V_{SMR}) svedena na 1 kg dnevno razgrađenih organskih suvih materija, koja se dnevno obrazuje pri datim vrednostima temperature fermentacije i retencijskog perioda	$\frac{m^3}{kgRSMdan}$
V_{SBV} V_{SMV}	Količina biogasa V_{SBV} (ili metana V_{SMV}) svedena na 1 m ³ zapremine supstrata u reaktoru, koja se dnevno obrazuje pri datim vrednostima temperature fermentacije i retencijskog perioda i zapreminskog opterećenja reaktora	$\frac{m^3}{m^3 dan}$
V_{SBU} V_{SMU}	Količina biogasa V_{SBU} (ili metana V_{SMU}) svedena na jedno uslovno grlo** (UG), koja se dnevno obrazuje pri datim vrednostima temperature fermentacije i retencijskog perioda	$\frac{m^3}{UGdan}$

Ako je specifična produkcija data kao zapremina (m³), njena vrednost važi za normalne fizičke uslove², tj. p=101325 Pa i T=273,1°C

** Uslovno grlo (UG) – 500 kg mase životinje

Biohemijska potreba kiseonika BPK (kg po m³ supstrata) (Tabela 2.) jeste masa kiseonika potrebna za potpunu biohemijsku oksidaciju jedinice količine (najčešće zapremine) nekog supstrata. BPK-5 jeste masa kiseonika potrebna za petodnevnu biohemijsku reakciju.

Tabela 2. Merodavni parametri materijala
Table 2. Govern parameters of metherials

VELIČINA (PARAMETAR)	OZNAKA	JEDINICA
maseni udeo suvih materija	g_{SM}	kg/kg
koncentracija suvih materija	S_R	kg/m ³
maseni udeo organskih suvih materija	g_{OSM}	kg/kg
koncentracija organskih suvih materija	C_{OSM}	kg/m ³
maseni udeo organske materije u suvoj supstanci	SM	kg/kg
biohemijska potreba kiseonika	BPK	kg/m ³ (g/l, mg/l)
hemijska potreba kiseonika	HPK	kg/m ³ (g/l, mg/l)

Hemijska potreba kiseonika HPK (kg po m³ supstrata) (Tabela 2) tj. masa kiseonika potrebna za potpunu hemijsku oksidaciju jedinice količine (najčešće zapremine) nekog supstrata. Služi kao ocena potencijala hemijske aktivnosti celokupne, a ne samo biohemijski razgradnjive supstance.

Tabela 3. Vrednosti teorijske maksimalne vrednosti $V_{S,MAX}$ specifične produkcije metana čistih komponenata organske mase supstrata

Table 3. The values of the theoretical maximum value $V_{S,MAX}$ specific methane production of pure components of organic matter substrate

VRSTA POLAZNOG SUPSTRATA	VRSTA ANALIZE SUPSTRATA	$V_{S,MAX}$	RELATIVNI ZAPREMINSKI UDEO METANA
/	/	m ³ /kg	/
svi tipovi	HPK	0,35	1
ugljeni hidrati	OSM	0,79	0,50
Masti	OSM	1,44	0,72
proteini (C ₈ H ₁₄ O ₃ N ₅)	OSM	0,96	0,53
sirćetna kiselina	OSM	0,75	0,50
mlečna kiselina	OSM	0,81	0,58
metil-alkohol	OSM	1,12	0,75
etil-alkohol	OSM	0,97	0,75

Tabela 4. Određivanje vrednosti merodavnih parametara kinetike procesa anaerobne fermentacije stajnjaka domaćih životinja
 Table 4. Determining the value of respective parameters of kinetics of anaerobic fermentation of manure of farm animals

PARAMETAR	JEDINICA	JEDNAČINA	PRIMEDBA
B_s	Nm ³ /kg dan	$B_s=0,30$ – stajnjak goveda	granice odstupanja: ±10%
m_M	kg/kg	$\mu_M = 0,013 \cdot (T_R - 273,1) - 0,129$	važi u opsegu 290-340 K
K_M	/	stajnjak goveda: $K_M=0,95$ ($S_R \leq 90$ kg/m ³) $K_M=0,06875 \cdot S_R - 4,55$ ($S_R \leq 90$ kg/m ³)	
K_D	kg/kg	$K_D = 0,1 \cdot \mu_M$	

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Potencijali mini farme muznih krava i proračun raspoložive količine biogasa

Uspeh u proizvodnji biogasa u najvećoj meri zavisi od sadržaja organske suve materije u tečnom stajnjaku. Vrednost sadržaja organske suve materije bi trebalo da se kreće u granicama koje su prirodne za stajnjak u trenutku njegovog formiranja. Te veličine su za stajnjak goveda oko 80 kg/m³.

Održavanje koncentracije suve materije u prirodnim granicama predstavlja veoma težak problem u uslovima uobičajene primene. Proračun raspoložive količine biogasa baziran na vrednostima koncentracija suve materije naturalnog stajnjaka, prema našoj proceni, ne predstavlja realnu sliku stanja. Zbog neracionalnog rasipanja vode u objektima, treba računati sa smanjenim vrednostima koncentracije suvih materija. Prosečne vrednosti sa kojim treba računati produkciju biogasa iznose 60 kg/m³ za stajnjak goveda.

Nadalje, s obzirom na velike troškove transporta stajnjaka, realne uslove za širenje primene imaju samo decentralizovani sistemi proizvodnje i potrošnje gasa, sa „toplotnom“ primenom biogasa na licu mesta bez pretvaranja u „više“ oblike energije. Proračun raspoložive količine biogasa određen je za sledeće uslove:

Stajnjak goveda: koncentracija suvih materija: $S_R=60$ kg/m³, udeo organske u suvoj materiji: $SM=0,85$, temperatura stajnjaka u fermentoru: $T_R=308^{\circ}\text{C}$ vreme zadržavanja: 25 dana. Prosečna vrednost produkcije biogasa: $V_{SMV}=1,0$ Nm³/m³ dan. Proračun toplotnog ekvivalenta biogasa određen je pod sledeću uslovima: relativni zapreminski udeo metana u biogasu: $r_M=0,6$, toplotna moć biogasa: $H_D=22,5$ MJ/Nm³. Prosečne vrednosti merodavnih parametara nerazblaženog stajnjaka na farmi muznih krava su ilustrovani u Tabeli 6. Mogućnosti produkcije biogasa na porodičnoj farmi kapaciteta 50 krava sa pratećim kategorijama, kao i mogućnost da proizvode električnu energiju koristeći biogas od stajnjaka, ilustrovane su u Tabeli 7.

Tabela 5. Prosečne vrednosti merodavnih parametara nerazblaženog stajnjaka na farmi muznih krava

Table 5. Average values of respective parameters undiluted manure on dairy farms

VRSTA ŽIVOTINJE	MASENI UDELI			BPK-5, g/m ³	HPK, g/m ³
	g _{SM} , kg/kg	g _{OSM} , kg/kg	SM, kg/kg		
krave i junad	0,11	0,85	0,77	15000	26000
telad u tovu	0,035	0,032	0,89	11500	22000

Tabela 6. Mogućnosti porodične farme muznih krava da proizvede električnu energiju koristeći biogas od stajnjaka

Table 6. Potential of familydairy cows farm to produce electric power by using manure based biogas

Gazdinstvo	Broj grla	Dnevna količina stajnjaka, m ³ /dan	Moguća proizvodnja biogasa, Nm ³ /dan	Moguće postrojenje*, kW _e /dan
Muzne krave	50	3	45	9
Junice	25	1	15	3
Junad u tovu	20	1	15	3
telad	16	0,3	4	0,9
Ukupno:		5,3	79	15,9

* – srednji stepen korisnosti proizvodnje električne energije 40%.

– faktor opterećenja 0,685 (ekvivalentno radu punim kapacitetom tokom 6.000 h

Instalisana snaga postrojenja za proizvodnju električne energije na farmi kapaciteta 50 muznih krava sa pratećim kategorijama, koja bi kao gorivo koristilo samo biogas nastao od tečnog stajnjaka sa sopstvene farme, bi se kretala oko 16 kW.

Analizom podataka u tabeli 7, može se zaključiti da svaka ovakva pojedinačna farma u slučaju korišćenja stajnjaka samo sa svoje farme ima mogućnosti da gradi postrojenja za proizvodnju električne energije samo relativno malih snaga, maksimalno do 30 kW_e. Može se sa sigurnošću pretpostaviti da za određen broj mini farmi, ali ipak nešto manjeg kapaciteta, neće biti opravdano graditi postrojenje malog kapaciteta. Ako se usvoji donja granica kapaciteta postrojenja od 50 kW_e, što zahteva proizvodnju biogasa od minimalno 250 m³/dan, onda sledi da za sve farme malog kapaciteta ne bi bilo opravdano graditi postrojenje.

Specifična vrednost investicije u postrojenje (€/kW) se smanjuje sa povećanjem kapaciteta. Iz tog razloga je poželjno imati postrojenje većeg kapaciteta, pogotovo što snaga 100 kW_e pripada donjoj granici opsega snaga kod kojih se primenjuje ova vrsta postrojenja. Povećanje snage postrojenja na biogas na jednoj farmi moguće je ostvariti uzimanjem stajnjaka sa drugih farmi. Međutim, transport tečnog stajnjaka nije jeftin.

Opravdanost transporta tečnog stajnjaka sa jedne farme na drugu postoji samo ako su ove farme relativno blizu, do maksimalno 15 km. Pored toga, danas se koriste i druge otpadne organske materije (otpad iz klanice, otpad od prerade žvinskog mesa ili ribe), a takođe i sucokret, silažna trava i kukuruz. Sve ove materije doprinose povećanju proizvodnje biogasa, a tretmanom otpadnih materija se istovremeno rešavaju i

ekološki problemi. Posebno je značajan doprinos povećanju kapaciteta proizvodnje biogasa, a time i snage postrojenja, dodavanje čvrste biomase, koja sadrži samo prirodnu količinu vlage.

ZAKLJUČAK

Uspeh u proizvodnji biogasa u najvećoj meri zavisi od sadržaja organske suve materije u tečnom stajnjaku. Vrednost sadržaja organske suve materije bi trebalo da se kreće u granicama koje su prirodne za stajnjak u trenutku njegovog formiranja. Te veličine su kod stajnjaka goveda oko 80 kg/m^3 . Održavanje koncentracije suve materije u prirodnim granicama predstavlja veoma težak problem u uslovima uobičajene primene.

Proračun raspoložive količine biogasa baziran na vrednostima koncentracija suve materije naturalnog stajnjaka, ne predstavlja realnu sliku stanja. Zbog neracionalnog rasipanja vode u objektima, treba računati sa smanjenim vrednostima koncentracije suvih materija. Prosečne vrednosti sa kojima treba računati produkciju biogasa iznose 60 kg/m^3 za stajnjak goveda. Može se zaključiti da svaka ovakva pojedinača farma u slučaju korišćenja stajnjaka samo sa svoje farme ima mogućnosti da gradi postrojenja za proizvodnju električne energije samo relativno malih snaga, maksimalno do 30 kW_e .

Može se sa sigurnošću pretpostaviti da za određen broj mini farmi, ali ipak nešto manjeg kapaciteta, neće biti opravdano graditi postrojenje malog kapaciteta. Ako se usvoji donja granica kapaciteta postrojenja od 50 kW_e , što zahteva proizvodnju biogasa od minimalno $250 \text{ m}^3/\text{dan}$, onda sledi da za sve farme malog kapaciteta ne bi bilo opravdano graditi postrojenje.

LITERATURA

[1.] Di Blasi, C., Tanzi, V. And Lanzetta, M.: A study on the production of agricultural residues in Italy, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, No. 5 (1997), pp. 321-331.

[2.] Ilić, M., Grubor, B., Tešić, M.: The state of biomass energy in Serbia, *Thermal science*, 8:2,2004, 5-20.

[3.] Oka, S., Jovanović, Lj.: Biomasa u energetici, Biomasa - obnovljivi izvori energije, monografija, Biblioteka naučnoistraživačkih dostignuća, Jug. društvo termičara, Beograd, 1997.

[4.] Radivojević D. i dr. (2003): Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu primenu i energetsko iskorišćenje u Srbiji .Studija broj *NP EE611-113A* ,p.p.11-25..

[5.] Rakin, P.: Obnovljivi izvori energije na početku trećeg milenijuma, "Alternativni izvori energije i budućnost njihove primene u zemlji", naučni skupovi, knjiga 58, odjeljenje prirodnih nauka, knjiga 7, Podgorica, 2002, 21-29.

[6.] Todorović, Marija, Ećim, Olivera, Zlatanović, I.: Prilaz optimizaciji algoritma upravljanja sistemom kogeneracije na osnovi OIE, *Poljoprivredna tehnika*, god. XXX, Br. 4, 2005, 87-95.

[7.] Todorović, Marija, Kosi, F.: Obnovljivi izvori energije i sirovina - tehnologije korišćenja biomase za energiju i industriju, "Informacione tehnologije i razvoj poljoprivredne tehnike", DPT' 98, Beograd, 1998, 29 - 36.