

ORGANSKI OTPAD KAO IZVOR ENERGIJE I ORGANSKOG ĐUBRIVA

Ljiljana Tanasić¹, Biljana Delić¹, Saša Spasojević¹, Bojan Damnjanović²

¹Akademija strukovnih studija Šabac, Odeljenje za poljoprivredno - poslovne studije i turizam, Vojvode Putnika 56, 15 000 Šabac, Srbija

²Akademija strukovnih studija Šabac, Odeljenje za medicinske i poslovno-tehnološke studije, Hajduk Veljkova 10, 15 000 Šabac, Srbija, ljiljana3101@gmail.com

SAŽETAK

Održivo snabdevanje energijom moguće je samo uz optimalnu kombinaciju karakterističnih prednosti svakog od obnovljivih izvora energije. Za razliku od fosilnih goriva, biogas je trajno obnovljivo gorivo, proizvedeno od biomase, koja je živo skladište solarne energije putem fotosinteze. Korišćenje biogasa pomaže poboljšanju energetske bilansa zemlje i doprinosi očuvanju prirodnih resursa i zaštiti životne sredine. Ovaj rad predstavlja ekološki efikasan način odlaganja otpada, tako da otpad dobija novu ekonomsku vrednost u vidu električne i toplotne energije, kao i organskog đubriva. Detaljno opisan proces dobijanja biogasa opisan je upotrebom različitih sirovina, kao i mogući načini njegove primene u energetske svrhe. U anaerobnom digesteru ili fermentoru odvijaju se biološki i hemijski procesi koji rezultiraju odvajanjem biogasa u poslednjoj fazi digestije. Da bi anaerobne bakterije, koje su zadužene za proizvodnju biogasa, imale najidealnije uslove, potrebno je obezbediti, pored adekvatnog i redovnog hranjenja biološkim otpadom, kontinuirano mešanje i održavanje konstantne temperature unutar digestera. Proizvodnja električne energije je primarni cilj i svrha elektrana na biogas, ali takođe važan aspekt ovog procesa je formiranje organskog đubriva. Primena organskih đubriva poboljšava kvalitet zemljišta i smanjuje potrebu za upotrebom veštačkih đubriva, što pozitivno utiče na životnu sredinu.

Ključne reči: energija, otpad, biogas, organski otpad.

UVOD

Glavni cilj ovog rada je razmatranje mogućnosti proizvodnje i upotrebe biogasa, kao i tehnologija za njegovu proizvodnju i upotrebu energije. Elektrane na biogas ne treba posmatrati isključivo kao proizvođače električne energije, već ih treba posmatrati tokom čitavog procesa. Iako je proizvodnja električne energije primarni cilj i svrha elektrana na biogas, potrebno je istaći brojne pozitivne uticaje na životnu sredinu. Osim energije iz obnovljivih izvora, bioplinska postrojenja proizvode i visokokvalitetna đubriva bogata hranljivim materijama i humusom, što čini tehnologiju biogasa zaista pogodnom za mnoge svrhe. Proizvodnjom kvalitetnog organskog đubriva poboljšava se kvalitet samog tla i smanjuje potreba za upotrebom veštačkih đubriva. Ako se koriste čiste biorazgradive sirovine, digestat se može koristiti u poljoprivredi kao organsko đubrivo ili sredstvo za poboljšanje tla.

BIOGAS I BIOGASNA TEHNOLOGIJA

Biogas je mešavina gasova nastala razlaganjem organske materije u uslovima bez prisustva kiseonika (anaerobnim uslovima), pri konstantnoj temperaturi.

Iz samog naziva, može se zaključiti da „bio“-gas nastaje u biološkom procesu. Pri tome se bez prisustva kiseonika (odnosno anaerobno) iz organske mase formira mešavina gasova, takozvani biogas. Ovaj u prirodi veoma široko rasprostranjen proces odvija se na primer u močvarama, na dnu mora i okeana, u jamama za tečni stajnjak kao i u buragu preživara. Pri tome se organska masa pomoću niza mikroorganizama gotovo u celini konvertuje u biogas. Uz to dodatno nastaje izvesna količina energije (toplota) i nove biomase.

Formirana mešavina gasova sastoji se pretežno od metana (50–75 vol%) i ugljen-dioksida (25–50 vol%). Pored toga se u biogasu nalaze i male količine vodonika, vodonik-sulfida, amonijaka i drugih gasova u tragovima. Na sastav načelno utiču korišćeni supstrati, postupak fermentacije i tehnički uslovi (Tabela 1).

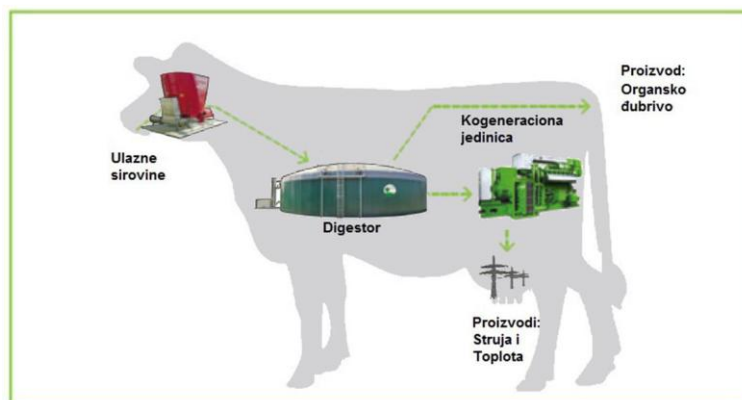
Tabela 1. Sastav biogasa (Kaltschmitt, & Hartmann, 2001).

Table 1. Biogas composition (Kaltschmitt, & Hartmann, 2001).

| Sastojak | Hemijski simbol | Zapreminski udeo, % |
|----------------|------------------|---------------------|
| Metan | CH ₄ | 50-75 |
| Ugljen-dioksid | CO ₂ | 25-45 |
| Vodena para | H ₂ O | 2-7 |
| Kiseonik | O ₂ | < 2 |
| Azot | N ₂ | < 2 |
| Amonijak | NH ₃ | < 1 |
| Vodonik | H ₂ | < 1 |
| Vodonik-sulfid | H ₂ S | 20-20.000* |

Anaerobna digestija

Proizvodnja biogasa zasnovana je na veoma prirodnom procesu koji je prisutan u tresetištima i močvarama, kao i u digestivnom traktu životinja, naročito u buragu kod preživara (Slika 1). Pri razlaganju organskih materija, pomoću populacija mikroorganizama u odsustvu slobodnog kiseonika (anaerobna digestija), dolazi do proizvodnje visokokaloričnog metana i organskog đubriva.



Slika 1. Prirodni process digestije metana. $\text{Organika materija} + \text{H}_2\text{O} = \text{metan (CH}_4\text{)} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{digestat} + \text{toplota}$.

Figure 1. Natural process of methane digestion. $\text{Organic matter} + \text{H}_2\text{O} = \text{methane (CH}_4\text{)} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{digestate} + \text{heat}$.

U anaerobnom digestoru ili fermentoru se odvijaju svi neophodni biološki i hemijski procesi, koji za rezultat u poslednjoj fazi digestije imaju takozvanu metanogenezu, odnosno izdvajanje biogasa. Kako bi anaerobne bakterije, koje su zadužene za proizvodnju biogasa, imale što idealnije uslove, neophodno je da se pored adekvatne i redovne ishrane biološkim otpadom, obezbedi kontinuirano mešanje i održavanje konstantne temperature unutar digestora. Prosečno vreme zadržavanja supstrata u digestoru je od 30-60 dana, nakon čega se tečni supstrat transportuje do posebne otvorene lagune za skladištenje fermentisanog supstrata. Pre istakanja u lagunu, supstrat prolazi kroz separator, koji razdvaja čvrstu i tečnu frakciju.

Ovako dobijen biogas nije pogodan za direktno korišćenje, već je neophodan tretman kojim se izdvaja sumpor, voda i ostale štetne primese. Nakon tretmana, biogas je spreman za korišćenje u kotlu ili kogenerativnom postrojenju. Poljoprivredna biogas postrojenja pogodna su za korišćenje nusproizvoda poljoprivredne proizvodnje (stajnjak, ostaci biljne proizvodnje), ili energetskih biljaka (kukuruzna silaža, sirak, sudanska trava). Stajnjak može da bude jedini supstrat, mada se veće energetske vrednosti postižu kombinovanjem stajnjaka kao glavnog suprata i kukuruzne silaže, energetskih biljaka i žetvenih ostataka ostalih ratarskih kultura kao ko-supratata. Kontrola i regulisanje biološkog procesa predstavljaju izazov. Cilj procesa anaerobne razgradnje u poljoprivredi u normalnom slučaju jeste ostvarivanje konstantne stope proizvodnje metana. Najčešće primenjenu vrstu postupka predstavlja (polu) kontinualni kotlasti reaktor sa potpunim mešanjem (engl. CSTR: Continuous Stirred Tank Reactor). Ovdje se konstantna proizvodnja metana postiže kada se ustali stacionarno pogonsko stanje. U stacionarnom stanju su promene procesnih veličina ravne nuli i ostvaruju se procesno-specifične maksimalne stope konverzije (Braha, 1988).

Biogasna tehnologija

Tehnologija biogas postrojenja i vrsta supstrata koji se koristi u određenom postrojenju su dve odlučujuće stvari. Konfiguracija postrojenja za proizvodnju biogasa najviše zavisi od vrste i karakteristike supstrata. S druge strane, konfiguracija opreme utiče na količinu i kvalitet biogasa (procenat metana).

Ovako dobijen biogas nije pogodan za direktno korišćenje, već je neophodan tretman kojim se izdvaja sumpor, voda i ostale štetne primese. Nakon tretmana, biogas je spreman za korišćenje u kotlu ili kogenerativnom postrojenju.

Proces proizvodnje biogasa, odnosno anaerobne fermentacije, odvija se u četiri faze: hidroliza, kiselinska, sirćetna i metanogena (Slika 2). U svakoj fazi učestvuju druge grupe bakterija, a produkti prethodne faze su polazne sirovine za odvijanje naredne faze. Sve faze odvijaju se prostorno i vremenski paralelno, a svakoj grupi bakterija odgovaraju drugačiji uslovi. Zapreminski udeli prikazani su u Tabeli 1, u opsezima, a zavise od sirovine (supstrata) i uslova u kojima biogas nastaje.

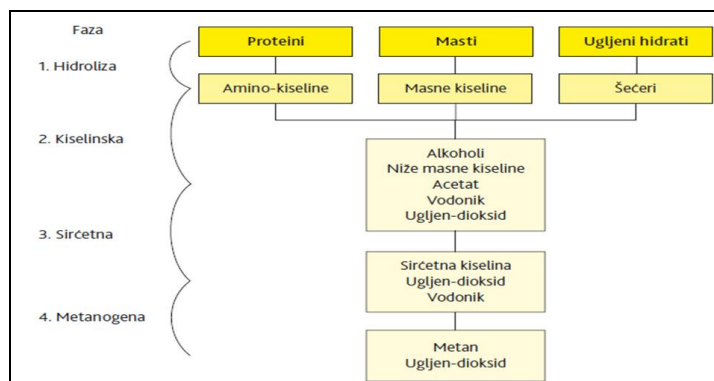
U prvoj fazi, tzv. „hidrolizi“, se kompleksna jedinjenja ulazne sirovine (npr. ugljeni hidrati, proteini, masti) razlažu na jednostavnija organska jedinjenja (npr. aminokiseline, šećer, masne kiseline). Hidrolitičke bakterije uključene u taj proces u tu svrhu oslobađaju enzime koji organsku masu razlažu biohemijskim putem. Nastali intermedijarni proizvodi se zatim u

Drugoј fazi, takozvanoј „kiselinskoј fazi“ (acidogenezi) pomoću fermentativnih (acidogenih) bakterija dalje razlažu na niže masne kiseline (sirćetna, propionska i buterna kiselina) kao i ugljen-dioksid i vodonik. Međutim, pored toga se formiraju i male količine mlečne kiseline i alkohola. Na vrstu proizvoda nastalih u ovoj fazi utiče koncentracija intermedijarno formiranog vodonika. Ovi proizvodi se nakon toga u okviru faze acetogeneze, tj. „sirćetne faze“, pomoću acetogenih bakterija konvertuju u prekursorsme supstance biogasa (sirćetna kiselina, vodonik i ugljen-dioksid). U tom kontekstu veliki značaj ima parcijalni pritisak vodonika. Previsok sadržaj vodonika iz energetskih razloga sprečava konverziju intermedijarnih proizvoda acetogeneze. Kao posledica toga dolazi do akumulacije organskih kiselina, npr. propionske, izobuterne, izovalerijanske i kapronske kiseline, i inhibiranja nastanka metana. Acetogene bakterije (koje formiraju vodonik) iz tog razloga moraju da oforme tesnu životnu zajednicu sa metanogenim arheja koji prilikom nastanka metana zajedno sa ugljen-dioksidom troše i vodonik (interspecijski transfer vodonika) i tako za acetogene bakterije obezbeđuju prihvatljive uslove u okruženju (Wandrey, & Aivasidis, 1983).

U narednoj fazi „metanogenezi“, poslednjoj fazi nastanka biogasa, se pre svega sirćetna kiselina kao i vodonik i ugljendioksid pomoću strogo anaerobnih metanogenih arheja konvertuju u metan. Hidrogenotrofni metanogeni metan proizvode od vodonika i ugljen-dioksida, dok acetoklastični metanogeni metan formiraju cepanjem kiselina. Pod uslovima koji preovlađuju u poljoprivrednim biogas postrojenjima se formiranje metana u slučaju većih opterećenja organskom

materijom pretežno odvija u reakciji sa vodonikom, a samo u slučaju relativno malih opterećenja organskom materijom razlaganjem sirćetne kiseline (Bauer, Korthals, Gronauer, & Lebuhn, 2008).

Načelno se četiri faze anaerobne razgradnje u jednostepenom procesu odvijaju vremenski istovremeno. Međutim, bakterije pojedinačnih faza razgradnje imaju različite zahteve u pogledu svog životnog okruženja (npr. pH vrednost, temperatura), stoga je neophodno u procesu pronaći balans. Pošto metanogeni mikroorganizmi usled male brzine rasta predstavljaju najslabiju kariku biocenoze i najosetljivije reaguju na uslove u okruženju, moraju da se prilagode zahtevima metanogena. Pokušaj da se hidroliza i kiselinska faza dvema odvojenim procesnim koracima prostorno odvoje od metanogene faze (vođenje dvostepenog procesa), u praksi doduše uspeva samo uslovno, pošto uprkos niskoj pH vrednosti u fazi hidrolize (pH < 6,5) ipak delom dolazi do formiranja metana. Stoga gas formiran u fazi hidrolize pored ugljen-dioksida i vodonika sadrži i metan, zbog čega taj gas mora da se iskoristi ili tretira da bi se izbegli negativni uticaji na životnu sredinu i bezbednosni rizici (Oechsner, & Lemmer, 2009).



Slika 2. Šematski prikaz anaerobne razgradnje po fazama.

Figure 2. Schematic representation of anaerobic degradation by phases.

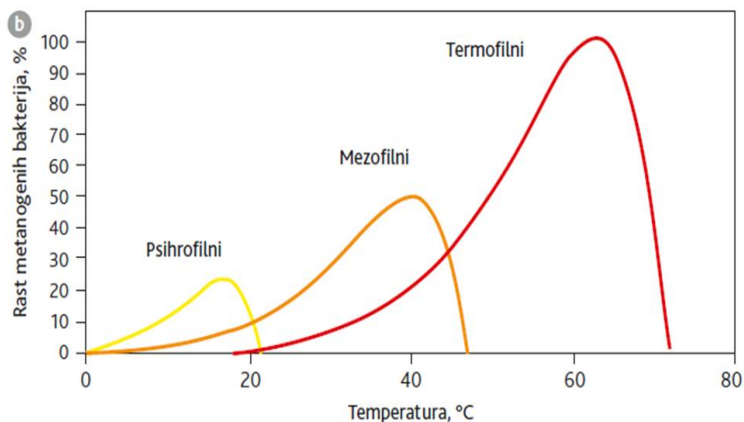
U zavisnosti od konstrukcije i načina rada biogas postrojenja, kao i sastava i koncentracije sveže mase korišćene kao supstrat, kod višestepenih procesa u pojedinim fazama fermentacije mogu da nastanu različiti uslovi u okruženju. A uslovi okruženja opet utiču na sastav i aktivnost mikrobiološke biocenoze i stoga imaju direktan uticaj na formirane metaboličke proizvode. Kod opisa uslova u okruženju treba se bazirati na mokru fermentaciju, jer u p praksi dominira. Opšti uslovi obuhvataju: kiseonik, temperature, pH, Snabdevanje hranljivim materijama i inhibitori procesa.

Kiseonik. Metanogene arheje spadaju u najstarija živa bića na zemlji i nastale su pre oko tri do četiri milijarde godina, davno pre nego što je nastala atmosfera kakvu poznajemo danas. Iz tog razloga ti mikroorganizmi i danas zahtevaju životne uslove bez prisustva kiseonika. Većina vrsta odumire već usled malih količina kiseonika. Međutim, unos kiseonika u fermentor po pravilu ne može da se izbegne u celini. Činjenica da metanogene arheje ne bivaju odmah sprečene u svojoj aktivnosti ili čak potpuno odumiru, uslovljena je okolnošću da žive u zajednici sa bakterijama koje troše kiseonik iz prethodnih faza razgradnje (Kaltschmitt, & Mory, 2001).

Neke od njih su takozvane fakultativno anaerobne bakterije. One mogu da prežive kako uz prisustvo kiseonika, tako i skroz bez kiseonika. Sve dok unos kiseonika nije suviše velik, one će ga potrošiti pre nego što ošteti metanogene arheje koje nužno zavise od okruženja bez prisustva kiseonika. Stoga i atmosferski kiseonik, koji se radi biološke desumporizacije unosi u gasni prostor fermentora, nema negativan uticaj na formiranje metana.

Temperatura. Načelno važi da se hemijske reakcije odvijaju utoliko brže što je veća okolna temperatura. To, međutim, samo uslovno može da se primeni na proces biološke razgradnje i konverzije. Ovde treba uzeti u obzir da za različite mikroorganizme uključene u metaboličke procese postoje različite optimalne temperature. Ukoliko se te optimalne temperature ne dostignu,

odnosno prekorače, to može da dovede do inhibicije i u ekstremnom slučaju do nepopravljivog oštećenja uključenih mikroorganizama. U zavisnosti od temperature na kojoj se razlaganje odvija, razlikujemo psihofilni, mezofilni i termofilni proces (Slika 2).



Slika 2. Uticaj temperature na rast populacije metanogenih bakterija (Holm-Nielsen, Al Seadi, & Oleskowicz-Popiel, 2009).

Figure 2. Influence of temperature on population growth of methanogenic bacteria (Holm-Nielsen, Al Seadi, & Oleskowicz-Popiel, 2009).

Mikroorganizmi uključeni u razgradnju prema optimalnoj temperaturi mogu da se podele u tri grupe. Ovde se pravi razlika između psihofilnih, mezofilnih i termofilnih mikroorganizama. Psihofilni proces se odvija na temperaturama u rasponu od 15 do 25°C, mezofilni na temperaturama od 35°C do 45°C, a termofilni na temperaturama preko 55°C (Slika 1). Ovaj proces se naziva još i anaerobna digestija.

Praksa je u tom pogledu pokazala da su granice između temperaturnih opsega prelazne i da u prvoj liniji brze promene temperature dovode do oštećenja mikroorganizama, dok u slučaju spore promene temperature metanogeni mikroorganizmi mogu da se prilagode različitim temperaturnim nivoima. Za stabilan tok procesa je stoga odlučujuća ne toliko apsolutna temperatura, već mnogo više konstantan nivo temperature.

U tom kontekstu treba navesti efekat samozagrevanja koji je često uočljiv u praksi. Taj efekat nastupa u slučaju korišćenja supstrata koji pretežno sadrže ugljene hidrate kombinovano sa izostavljanjem tečnih ulaznih materija i dobro izolovanim rezervoarima. Samozagrevanje je uslovljeno proizvodnjom toplote od strane pojedinih grupa mikroorganizama prilikom razgradnje ugljenih hidrata. Ono kao posledicu može da ima da temperatura sa izvorno mezofilnog režima rada može da naraste i do 43–48 °C. U slučaju sprovođenja intenzivnih pratećih analiza i regulacije procesa na osnovu toga, promena temperature može da se izvrši uz veoma malo smanjenje proizvodnje gasa (VDI-Richtlinie 4630, 2006). Međutim, ukoliko se ne izvrše neophodne intervencije u procesu (npr. smanjenje količine ulaznog materijala), mikroorganizmi ne mogu da se prilagode promeni temperature i u najgorem slučaju dolazi do potpune obustave proizvodnje gasa.

pH vrednost. Za pH vrednost važe slične uslovljenosti kao i za temperaturu. Mikroorganizmi uključeni u različite faze razgradnje zahtevaju različite pH vrednosti pri kojim mogu optimalno da rastu. Tako se optimalna pH vrednost hidrolizujućih i acidogenih bakterija kreće od 5,2 do 6,3 [2-6]. One, doduše, ne zavise nužno od toga i supstrate još uvek mogu da razgrade i pri nešto većim pH vrednostima. Time se jedino pomalo smanjuje njihova aktivnost. Naspram toga je acetogenim bakterijama i metanogenim arhejama obavezno potrebna pH vrednost u neutralnom opsegu od 6,5 do 8 (Lebuhn, Bauer, & Gronauer, 2008). Ako se proces fermentacije odvija samo u jednom fermentoru, pH vrednost shodno tome mora da se održi na tom nivou. Nezavisno od toga da li je proces jednostepen ili višestepen, pH vrednost unutar sistema se automatski podešava alkalnim i kiselim metaboličkim proizvodima koji se formiraju u toku anaerobne razgradnje. U pogledu

kontrole procesa, međutim, treba imati u vidu da pH vrednost zbog svoje inertnosti samo uslovno može da se koristi za regulaciju postrojenja, ali bi zbog njenog velikog značaja trebalo konstantno da se meri.

Snabdevanje hranljivim materijama. Mikroorganizmi uključeni u anaerobnu razgradnju poseduju specifičnu potrebu za makro- i mikroelementima, kao i vitaminima. Koncentracija i raspoloživost tih komponenti utiču na brzinu rasta i aktivnost različitih populacija. Postoji svojstvena minimalna i maksimalna koncentracija koju je usled mnoštva različitih kultura i njihove delom jako izražene sposobnosti prilagođavanja teško utvrditi. Da bi se iz korišćenih supstrata generisalo što je moguće više metana, mora biti osigurano optimalno snabdevanje mikroorganizama hranljivim materijama. Koliko metana u krajnjoj liniji može da se generiše iz korišćenih supstrata, određuje se pomoću njihovog sadržaja proteina, masti i ugljenih hidrata. Ti faktori podjednako utiču na specifičnu potrebu za hranljivim materijama (Weiland, 2000).

Za stabilan tok procesa potreban je uravnotežen odnos makro- i mikroelemenata. Azot posle ugljenika predstavlja najpotrebniju hranljivu materiju. On je potreban za formiranje enzima koji sprovode metabolizaciju. Zato je odnos C/N korišćenih supstrata od značaja. Ako je taj odnos previsok (mnogo C i malo N), postojeći ugljenik usled nedovoljne metabolizacije ne može da se konvertuje u celini, tako da se ne ostvaruje maksimalno moguć prinos metana. U suprotnom slučaju, usled viška azota može da dođe do nastanka prekomerne količine amonijaka (NH₃), koji već u malim koncentracijama inhibira rast bakterija i čak može i da dovede do potpunog uništenja celokupne populacije mikroorganizama. Stoga za neometani tok procesa odnos C/N mora da se kreće u rasponu od 10 do 30.

Inhibitori. Ako je nastanak gasa, odnosno odvijanje procesa inhibirano, za to mogu da postoje različiti razlozi. To s jedne strane mogu biti operativno-tehnički razlozi. S druge strane, inhibitori mogu da uspore dalje odvijanje procesa. To su materije koje pod određenim okolnostima već u neznatnim količinama mogu da umanje kapacitet razgradnje, odnosno da u slučaju toksične koncentracije obustave proces razgradnje. Treba praviti razliku između inhibitora koji u fermentor dospevaju dodavanjem supstrata i onih koji nastaju kao intermedijarni proizvodi pojedinih faza razgradnje.

U toku fermentacije formira se niz materija koje mogu da inhibiraju proces. Pri tome u tom kontekstu treba ukazati na veliku sposobnost bakterija da se prilagode, pošto ne može da se počne od opšte važećih apsolutnih granica. Pre svega, anjonski slobodni amonijak (NH₃) već u malim koncentracijama deluje štetno na bakterije (Schattner, & Gronauer, 2000).

MATERIJAL ZA PROIZVODNJU BIOGASA

Pod biomasom se podrazumevaju materije organskog porekla koje mogu da se koriste za proizvodnju energije. Tako biomasa sadrži fitomasu i zoomasu (biljke i životinje) prisutnu u prirodi i iz njih proistekle otpadne materije (na primer ekskreme). U biomasu se ubrajaju i organski otpad i ostaci (na primer slama, klanični otpad). Biomasa se načelno deli na energetske biljke, žetvene ostatke, organske sporedne proizvode i otpad.

Iz biomase može da se proizvede toplotna energija, električna energija i/ili motorno gorivo. Za to na raspolaganju stoje razne tehnologije (direktno sagorevanje u odgovarajućim gorionicima pomoću kojih je moguća i kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije). Pri tome „klasičan“ slučaj proizvodnje finalne, odnosno korisne energije iz biomase predstavlja isključiva proizvodnja toplotne energije iz čvrstih biogenih goriva. Pri tome proizvodnja (anaerobna razgradnja supstrata za dobijanje biogasa) i korišćenje biogasa predstavlja jedan od mogućih biohemijskih postupaka tretmana. Ovde se pravi razlika između termičkih, fizičkih i biohemijskih postupaka tretmana.

Za proizvodnju i kvalitet biogasa veoma značajnu ulogu ima poreklo supstrata – biomase i njihove najznačajnije karakteristike kao što su suva materija (SM), organska suva materija (oSM), hranljive materije (N, P, K) ili postojeće organske štetne materije (Tabela 2). Osim toga se pružaju informacije o očekivanim prinosima gasa i kvalitetu gasa, na osnovu dobijenih podataka, kao i o načinu manipulisanja supstratima. Supstrati podležu godišnjim promenama kvaliteta, zbog čega podaci o materijalnim karakteristikama i o prinosima ne predstavljaju apsolutne vrednosti.

Tabela 2. Karakteristike različitih vrsta supstrata i prinos metana
Table 2. Characteristics of different substrate types and methane yield

| SUPATRAT | %SM | %OSM | N | NH ₃ | P ₂ O ₅ | PRINOS BIOGASA | UDEO CH ₄ |
|------------------------|-----|------|-----|-----------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| | ∞ | ∞ | | %, ∞ | | Nm ³ /t | zapr. % |
| Tečni goveđi stajnjak | 10 | 80 | 6 | 3 | 2 | 25 | 56 |
| Čvrsti goveđi stajnjak | 20 | 72 | 2,5 | 10 | 7 | 110 | 56 |
| Svinjski stajnjak | 30 | 82 | 3 | 1,5 | 1 | 30 | 65 |
| Živinski stajnjak | 40 | 75 | 18 | / | 14 | 270 | 64 |
| Silaža kukuruza | 30 | 95 | 1,5 | / | / | 180 | 55 |
| Silaža trave | 40 | 85 | 5 | 15 | 0,6 | 190 | 54 |
| Šećerna repe | 23 | 90 | 2,6 | 0,2 | 0,4 | 175 | 53 |
| Pivski trop | 23 | 75 | 4 | 1,5 | / | 120 | 60 |
| Pulpa krompira | 13 | 90 | 0,7 | 0,2 | 1,8 | 80 | 60 |

Podaci o prinosima biogasa, odnosno metana, navedeni su uvek u normiranim kubnim metrima (Nm³). Pošto zapremina gasa zavisi od temperature i vazdušnog pritiska (zakon idealnog gasnog stanja), normiranje zapremine omogućava poređenje različitih uslova rada. Normirana količina gasa odnosi se na temperaturu od 0 °C i vazdušni pritisak od 1.013 mbara. Osim toga, na taj način za udeo metana u biogasu može da se odredi egzaktna donja toplotna moć koja za metan iznosi 9,97 kWh/Nm³. Na osnovu donje toplotne moći opet može da se izvede zaključak o proizvodnji energije, što može biti potrebno za različite interne komparativne obračune.

Proizvodnja biogasa predstavlja takođe odličan način da se smanji količina otpadnog organskog materijala i pritom proizvedu vredni resursi. Kao krajnji nusproizvod biogas postrojenja dobija se visoko kvalitetno organsko đubrivo koje se zatim iznosi na obradive površine.

Prednosti ovog organskog đubriva odnosno digestata su sledeće:

- intenzitet neprijatnog mirisa se smanjuje čak i do 90%,
- uništavaju se patogene bakterije,
- tokom proizvodnje biogasa povećava se pH-vrednost đubriva,
- tokom proizvodnje biogasa đubrivo postaje tečnije pa se lakše raspoređuje i prodire u zemljište, biljke brže usvajaju hranljive materije iz njega,
- skoro svi minerali koji su bili u ulaznim supstratima biće sadržani i u digestatu,
- uglavnom ugljenik, nešto malo kiseonika i vodonik će ispariti iz digestata u formi biogasa.

Sirovine za biogasna postrojenja mogu biti sve vrste organskog materijala, koji se može anaerobno razgrađivati pomoću mikroorganizama. Osim toga, čistoća sirovina definiše kvalitet proizvoda koji izlazi iz digerstora (digestat), a samim tim i uslove za pripremu i mogućnosti primene digestata.

Moguće sirovine su svrstane u sledeće kategorije: komunalni biootpad (koji se sakuplja odvojeno ili se tehnički sortira) i mulj iz kanalizacionog sistema, industrijski i komercijalni otpad, sporedni proizvodi životinjskog porekla poput tečnog i čvrstog stajnjaka, kao i sporedni proizvodi biljnog porekla. Većinu vrsta biootpada i sporednih proizvoda životinjskog porekla (izuzev stajnjaka i nekih sporednih proizvoda biljnog porekla, koji se u praksi mogu direktno razbacivati) potrebno je podvrgnuti sanitaciji radi uništenja ili smanjenja na prihvatljivo nizak, sanitarni nivo patogena životinjskog i biljnog porekla odnosno neželjenog semena.

Supstrati za proizvodnju biogasa je široko rasprostranjen naziv sirovine za proizvodnju biogasa: Supstrati iz poljoprivrede: (Organsko đubrivo -govedarstvo i svinjarstvo, Žetveni ostaci),

Supstrati iz prerađivačke agroindustrije (Proizvodnja piva , Proizvodnja alkohola, Proizvodnja biodizela, Prerada krompira (proizvodnja skroba), Proizvodnja šećera), Zeleni i travnati otpad, otpad.

ZAKONSKI USLOVI ZA KORIŠĆENJE ODREĐENIH SUPSTRATA

U zavisnosti od izbora ulaznih materijala prilikom rada biogas postrojenja postoje zahtevi koji proističu iz pravnih propisa o zbrinjavanju otpada, propisa o higijenskoj bezbednosti, odnosno propisa o đubrenju. Ti zahtevi se pre svega odnose na skladištenje i korišćenje ostatka fermentacije. Osim toga postoje i zahtevi u odnosu na korišćene sirovine, pre svega ako se radi o otpadu. Ministarstvo energetike Republike Srbije je 2012. godine donelo Uredbu o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije (feed-in tarife) i time omogućilo otvaranje novog tržišta. U Srbiji u junu mesecu 2016. je usvojena nova Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, privremenog povlašćenog proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije. Ugovor o feed-in tarifama se potpisuje sa EMS-om i važi narednih dvanaest godina. Visina feed – in tarifa zavisi od instalisane snage i iznosi oko 18 evro centi. Vrlo bitno navođenje u novoj Uredbi je da u elektrani na biogas udeo kukuruzne silaže u godišnjem masenom bilansu suve materije supstrata ne prelazi 40%. Ono što je bitno jeste prvo da sistem podrške od strane države mora da postoji, a i s druge strane da lanac snabdevanja biomase ka biogas postrojenju mora da bude stabilan i pouzdan na dugoročne staze. U zavisnosti od izbora ulaznih materijala prilikom rada biogas postrojenja postoje zahtevi koji proističu iz pravnih propisa o zbrinjavanju otpada, propisa o higijenskoj bezbednosti, odnosno propisa o đubrenju. Ti zahtevi se pre svega odnose na skladištenje i korišćenje ostatka fermentacije. Osim toga postoje i zahtevi u odnosu na korišćene sirovine, pre svega ako se radi o otpadu.

Korišćenje energetske biljke

Energetske biljke spadaju u obnovljive sirovine i proizvode se isključivo radi korišćenja u energetske svrhe. Ostaci fermentacije od energetske biljke spadaju u oblast primene Zakon o sredstvima za ishranu bilja i oplemenjivačima zemljišta (Zakon o sredstvima za ishranu bilja i oplemenjivačima zemljišta [ZSIOZ], 2019) kojim se regulišu stručna primena đubriva.

Ostatak fermentacije biljnog porekla se nakon anaerobne fermentacije u biogas postrojenju zajedno sa ostalim ostacima fermentacije kao takozvano organsko đubrivo razastire po pašnjacima, odnosno oranicama. Zakon između ostalog propisuje da đubriva, poštujući dobru stručnu praksu, vremenski i količinski treba razastirati na način da đubrivo ne ugrožava ljude ili životinje, niti ekosistem. Ostaci fermentacije kao đubrivo na poljoprivrednim površinama mogu da se razastiru samo prema potrebi i u toku vegetativnog perioda. Takođe i mehanizacija korišćena za razastiranje đubriva mora da ispunjava opštepriznate tehničke standarde da osigura adekvatno odmeravanje količine i distribuciju đubriva. Đubriva ne smeju da se razastiru po površinama koje se nalaze direktno uz vode.

Korišćenje tečnog stajnjaka i ostalih sporednih proizvoda životinjskog porekla

Organsko đubrivo životinjskog porekla, kao na primer tečni stajnjak ili ekskrementi peradi, nakon žetve glavnog useva po poljoprivrednim površinama može da se razastire samo još u ograničenoj meri i do određene maksimalne granice. Od 1. novembra do 31. januara zabranjeno je razastiranje organskog đubriva po poljoprivrednim površinama. Na pašnjacima ne sme da se razastire đubrivo u periodu od 15. novembra do 31. januara. Razastiranje ne sme da se sprovodi ni kada je zemlja skroz smrznuta i u toku dana se ne otopi ni na površini.

Osim toga se primenjuju propisi o zbrinjavanju sporednih proizvoda životinjskog porekla. To su konkretno Uredba 1069/2009 o zdravstvenim pravilima za sporedne proizvode životinjskog porekla koji nisu namenjeni za ishranu ljudi. Uredba EU 142/2011 o zdravstvenim pravilima za sporedne proizvode životinjskog porekla koji nisu namenjeni za ishranu ljudi i u odnosu na neke uzorke i predmete koji se izuzimaju od veterinarske kontrole na granici. Shodno tome se sporedni proizvodi životinjskog porekla u zavisnosti od potencijalnog rizika svrstavaju u razne kategorije. U

navedenim uredbama utvrđeno je koji tehnički zahtevi moraju da se ispune u odnosu na zbrinjavanje sporednih proizvoda životinjskog porekla, na primer:

- postojanje dela postrojenja za pasterizaciju/dekontaminaciju,
- zahtevi u odnosu na udaljenost biogas postrojenja od prostora u kome se drže životinje,
- prostorno razdvajanje stočnog fonda, biogas postrojenja, stočnih hraniva i prostorke, kao i
- dopuštene granične vrednosti za ostatak fermentacije itd.

Zakon o zbrinjavanju sporednih proizvoda životinjskog porekla i Uredba o zbrinjavanju sporednih proizvoda životinjskog porekla sadrže dodatne konkretne zahteve za tretman raznih vrsta sporednih proizvoda životinjskog porekla i tečnog stajnjaka u biogas postrojenjima. Ako se tečni stajnjak i sporedni proizvodi životinjskog porekla klasifikuju kao otpad, osim toga se primenjuju i propisi o zbrinjavanju otpada.

Korišćenje ostatka fermentacije

Karakteristike ostataka fermentacije, odnosno njihove sastojke, u najvećoj meri određuju materije korišćene za anaerobnu fermentaciju i sam proces fermentacije. U poljoprivrednim biogas postrojenjima pretežno se koristi tečni stajnjak goveda i svinja, čvrsti stajnjak goveda i svinja i ekskrementi peradi iz tova živine. Organska đubriva od kokošaka nosilja se zbog visokog sadržaja amonijuma i ostataka od dopunskog prehranjivanja stočnom kredom koriste u manjem obimu. Fermentacijom organskih đubriva se već dugo ostvaruju poznati i cenjeni efekti u pogledu karakteristika ostatka fermentacije kao što su:

- smanjenje emisija neprijatnih mirisa usled razgradnje isparljivih organskih jedinjenja,
- pretežna razgradnja kratkolančanih organskih kiselina i usled toga smanjenje rizika od nagrizanja lista,
- poboljšanje reoloških svojstava (tečenja) i usled toga smanjenje zaprljanja lista na krmnim biljkama i manji posao prilikom homogenizacije,
- poboljšanje kratkoročnog dejstva azota usled povećanja sadržaja brzodelujućeg azota i
- uništavanje ili inaktivacija semena korova i uzročnika bolesti (humani i zoopatogeni, kao i fitopatogeni).

Pošto se usled fermentacije načelno menja frakcija ugljenika u supstratu, u njemu sadržane hranljive materije ostaju sačuvane u celini. One su usled anaerobnog procesa razgradnje bolje rastvorljive i stoga je njihova raspoloživost za biljke bolja.

U slučaju da se za proizvodnju biogasa pretežno koriste energetske biljke, sa sličnim supstratima, odnosno stočnim hranivima, dolazi do bioloških procesa sličnih procesima u digestivnom traktu domaćih životinja. Stoga nužno moraju da nastanu ostaci fermentacije koji su po svojim karakteristikama uporedivi sa onim od organskih đubriva. Ta teza je potvrđena u ispitivanjima Centra za poljoprivredne tehnologije- Nemačka u kojim su ostaci fermentacije iz postojećih postrojenja u Baden-Virtembergu ispitani u pogledu količine i kvaliteta hranljivih materija, vrednih sastojaka i efekata đubrenja.

Ispitani su ostaci fermentacije koji potiču od fermentacije tečnog stajnjaka goveda i energetskih biljaka, tečnog stajnjaka svinja i energetskih biljaka, pretežno energetskih biljaka, kao i otpada (delom u mešavini sa energetskim biljkama). Radi bolje klasifikacije rezultata analiziran je proizvoljni uzorak prirodnog tečnog stajnjaka. Najznačajnija saznanja stečena iz tih ispitivanja su:

- Sadržaji suve materije u ostacima fermentacije (u proseku 7 % SM) su za oko 2 % niži nego kod sirovog tečnog stajnjaka.
- Sadržaji ukupnog azota u ostacima fermentacije su sa 4,6 do 4,8 kg/t SM nešto veći nego u tečnom stajnjaku goveda.
- Odnos C/N kod ostataka fermentacije iznosi oko 5 do 6 i stoga znatno manje od odnosa kod sirovog tečnog stajnjaka (C/N: 10).
- Razgradnja organske materije prouzrokuje prelazak organskog u neorganski vezani azot i usled toga veći udeo frakcije amonijuma (oko 60 % do 70 %) u ukupnom N u ostacima fermentacije.

Ostaci fermentacije u mešavini tečnog stajnjaka svinja i ostataka fermentacije organskog otpada imaju tendenciju da pokazuju veće sadržaje fosfora, veće sadržaje amonijačnog azota, a naspram toga niže sadržaje suve materije i kalijuma, kao i niže sadržaje organske materije, nego ostaci fermentacije od tečnog stajnjaka goveda ili obnovljivih sirovina i njihovih mešavina. U pogledu hranljivih materija magnezijuma, kalcijuma i sumpora nisu utvrđene jasne razlike.

Štetne materije

Veća koncentracija štetnih materija u ostatku fermentacije u velikoj meri zavisi od korišćenih supstrata. U procesu nastanka biogasa ne dolazi do promene apsolutnih količina teških metala, a svođenjem na SM i razgradnjom organske materije se sadržaji teških metala nakon fermentacije povećavaju. Od graničnih vrednosti za teške metale u odnosu na elemente olovo (Pb), kadmijum (Cd), hrom (Cr), nikel (Ni) i živa (Hg) ostvaruje samo maksimalno 17 %, a za bakar (Cu) i cink (Zn) 70 % i 80 %. Ukupno su sadržaji teških metala na sličnom nivou kao i kod tečnog stajnjaka goveda. Tečni stajnjak svinja sadrži znatno veće koncentracije Pb, Cd, Cu i Zn. Cu i Zn, koji doduše pripadaju teškim metalima, ali takođe predstavljaju i esencijalne mikro hranljive materije za prehranu životinja i biljaka, kao i mikrobiološke procese u biogas postrojenju. Oni se dodaju kako u prehrani životinja, tako i u biogas postrojenjima koja koriste obnovljive sirovine. Stoga za elemente Cu i Zn u Uredbi o đubrivima nisu definisane granične vrednosti. Pri postojećim koncentracijama nije očekivano zagađenje zemljišta i voda usled korišćenja ostatka fermentacije.

Usled procesa fermentacije povećani sadržaj amonijaka kao i visoke pH vrednosti u ostatku fermentacije pogoduju emisijama amonijaka u toku skladištenja. Često je samo još u graničnoj meri moguće formiranje plivajućeg sloja. Stoga se radi sprečavanja oslobađanja amonijaka, u slučaju otvorenih skladišnih rezervoara za ostatak fermentacije kod postrojenja puštenih u pogon pre 2012. godine, obavezno preporučuje pokrivanje, na primer seckanom slamom, to već iz razloga emisije neprijatnih mirisa povezane sa emisijom amonijaka.

DISKUSIJA O EKOLOŠKIM BENEFITIMA

Proizvodnja biogasa predstavlja takođe odličan način da se smanji količina otpadnog organskog materijala i pritom proizvedu vredni resursi. Kao krajnji nusproizvod biogas postrojenja dobija se visoko kvalitetno organsko đubrivo koje se zatim iznosi na obradive površine. Prednosti ovog organskog đubriva odnosno digestata su sledeće:

- Intenzitet neprijatnog mirisa se smanjuje čak i do 90%,
- Uništavaju se patogene bakterije,
- Tokom proizvodnje biogasa povećava se pH-vrednost đubriva.
- Tokom proizvodnje biogasa đubrivo postaje tečnije pa se lakše raspoređuje i prodire u zemljište, biljke brže usvajaju hranljive materije iz njega,
- Skoro svi minerali koji su bili u ulaznim supstratima biće sadržani i u digestatu,
- Uglavnom ugljenik, nešto malo kiseonika i vodonik će ispariti iz digestata u formi biogasa,
- Digestat može da 10-15 puta poveća prinose u organskoj proizvodnji, posebno je efikasno usvajanje azota.

LITERATURA

- Bauer, C., Korthals, M., Gronauer, A., & Lebuhn, M. (2008). Methanogens in biogas production from renewable resources—a novel molecular population analysis approach. *Water Science and Technology*, 58(7), 1433-1439.
- Braha, A. (1988). *Bioverfahren in der Abwassertechnik*. Pfiemer in der Bauverlag.
- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478-5484.
- Kaltschmitt, M., & Hartmann, H. (2001). Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle. In *Proceedings Energie aus Biomasse* (pp. 95-122). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Lebuhn, M., Bauer, C., & Gronauer, A. (2008). Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. *VDLUFA-Schriftenreihe*, 64, 118-125.
- Oechsner, H., & Lemmer, A. (2009). Was kann die Hydrolyse bei der Biogasvergärung leisten. *VDI-Ber*, 2057, 37-46.
- Schattner, S., & Gronauer, A. (2000). Methanbildung verschiedener Substrate—Kenntnisstand und offene Fragen. *Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial*, *Gülzower Fachgespräche*, 15, 28-38.
- Splithoff, H., Kaltschmitt, M., & Mory, A. (2001). Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren.
- VDI-Richtlinie 4630 (2006) Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI-Gesellschaft Energietechnik.
- Wandrey, C., & Aivasidis, A. (1983). Zur reaktionstechnik der anaeroben fermentation. *Chemie Ingenieur Technik*, 55(7), 516-524.
- Weiland, P. (2000). Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und-erzeugung in Deutschland. *FNR Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Biogas-Stand der Technik und Optimierungspotenzial*, 8-27.
- Zakon o sredstvima za ishranu bilja i oplemenjivačima zemljišta, Službeni glasnik RS, 17/2019.

ORGANIC WASTE AS A SOURCE OF ENERGY AND ORGANIC FERTILIZER

Ljiljana Tanasić¹, Biljana Delić¹, Saša Spasojević¹, Bojan Damnjanović²

¹Academy of Vocational Studies Sabac, Department of Agricultural - Business Studies and Tourism, Vojvode Putnika 56, 15 000 Šabac, Serbia

²Academy of Vocational Studies Sabac, Department of Medical and Business-Technological Studies, Hajduk Veljkova 10, 15 000 Šabac, Serbia, ljiljana3101@gmail.com

ABSTRACT

Sustainable supply of energy is possible only with an optimal combination of the characteristic benefits of each of the renewable energy sources. Unlike fossil fuels, biogas is a permanently renewable fuel, produced from biomass, which is a living storehouse of solar energy through photosynthesis. The use of biogas helps to improve the energy balance of country and contributes to the preservation of natural resources and environmental protection. This paper presents an ecologically efficient way of waste disposal, so that waste gets a new economic value in the form of electricity and heat, as well as organic fertilizer. Detail process of obtaining biogas is described with the use of various raw materials, as well as possible ways of its application for energy purposes. In an anaerobic digester or fermenter, biological and chemical processes take place, which result in the separation of biogas in the last phase of digestion. In order for anaerobic bacteria, which are in charge of biogas production, would have the most ideal conditions, it is necessary to ensure, in addition to adequate and regular feeding with biological waste, continuous mixing and maintaining a constant temperature inside the digester. Production of electricity is the primary goal and purpose of biogas power plants, but also important aspect of this process is the formation of organic fertilizer. The application of organic fertilizers improves the quality of the soil and reduces need for use of artificial fertilizers, which has a positive impact on the environment.

Keywords: Energy, waste, biogas, organic waste.