

## ISTRAŽIVANJE PRINOSA BIOPLINA U PROCESU ANAEROBNE DIGESTIJE OTPADA IZ MESNE INDUSTRIJE

## RESEARCH YIELD BIOPLIN IN AN ANAEROBIC DIGESTION OF WASTE FROM INDUSTRIAL SLAUGHTERHOUSE

Mr.sc. Nusret Imamović, dipl.inž.maš.

Prof.dr. Šefket Goletić

Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica

### REZIME

*Proizvodnja i korištenje bioplina nastalog anaerobnom razgradnjom biorazgradivog organskog otpada iz industrijskih klaonica predstavlja značajan potencijal u ostvarivanju energetske, ekološke i ekonomske koristi. Predmet interesovanja postaje količina i kvalitet bioplina kao funkcija parametara odvijanja procesa u pojedinim fazama anaerobne digestije za odgovarajući sistem bioreaktora, te količina i kvalitet ulaznih komponenti. Definisanjem što kvalitetnijeg modela produkcije metana, koji bi simultano uključivao faktore procesa i parametre uzoraka otpada iz industrijskih klaonica i pogona za preradu mesa u anaerobnom digestoru, otvaraju se dodatni aspekti optimizacije rada anaerobnog bioreaktora, čime se ubrzava odvijanje anaerobnih reakcija kako bi se smanjilo vrijeme potrebno za razgradnju predmetnog otpada, odnosno kako bi bioreaktor mogao prihvatiti veće količine otpada. Ovaj rad otvara smjernice budućih istraživanja koja bi obuhvatila navedene parametre i dala ovisnost prinosa bioplina u odnosu na širi spektar uticajnih parametara za određene uvjete procesa anaerobne digestije. Isto tako, dat je osvrt na očekivani prinos bioplina izražen kroz njegovu konvertovanu energetske vrijednost (električna i toplinska energija), a na osnovu projiciranih biorazgradivih količina otpada iz pogona mesne industrije Bajra d.o.o. Travnik.*

**Ključne riječi:** anaerobna digestija, bioreaktor, bioplin, industrijska klaonica.

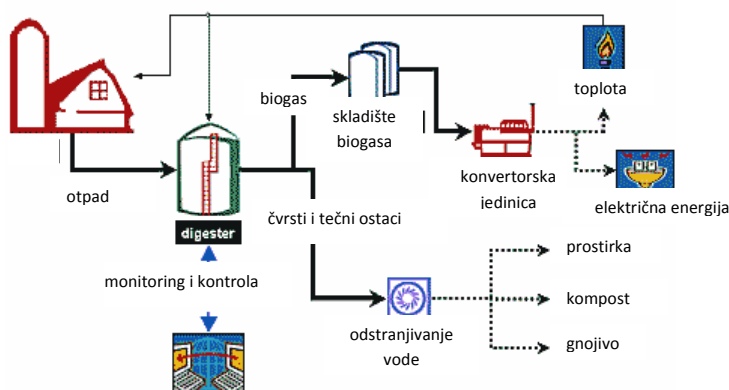
### SUMMARY

*Production and use of bioplin produced by anaerobic decomposition of biodegradable organic waste from industrial slaughterhouses is a significant potential for achieving energy, environmental and economic benefits. The subject of interest becomes the quantity and quality of bioplin as a function of the parameters of the process at every stage of the process of anaerobic digestion for the appropriate system of bioreactors as well as quantity and quality of inputs. By defining a quality model of production of methane, which would involve simultaneous process factors and parameters of the sample of waste from industrial slaughterhouses and meat processing in the anaerobic digester, an additional aspect of optimization of anaerobic bioreactor, which accelerates the course of the anaerobic reaction in order to reduce the time required for the degradation of the underlying waste, or reactor in order to accept large amounts of waste. This work opens up guidelines for future research would include the above mentioned parameters, and given the dependence of the production of bioplin in relation to a wider range of influential parameters for the specific conditions of the process of anaerobic digestion of slaughterhouse waste and sample processing. Also, the emphasis is on the expected yield of bioplin is expressed through its converted energy value (electricity and heat), and based on the projected amount of biodegradable waste from the working the meat industry Bajra d.o.o. Travnik.*

**Key words:** anaerobic digestion, bioreactor, biogas, industrial slaughterhouses.

## 1. OSNOVNE INFORMACIJE O TRETIRANOJ PROBLEMATICI

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kome se biorazgradivi organski supstrati razgrađuju mikrobiološkim procesima bez prisutnosti kisika, uz proizvodnju bioplina i digestata. Kao nusproizvod anaerobne digestije nastaju tečni, čvrsti i plinoviti ostaci koji predstavljaju korisne resurse. Bioplin kao produk anaerobne digestije se iskorištava za proizvodnju toplotne i električne energije, dok se nastali čvrsti i tečni ostaci u vidu digestata nakon kompostiranja prihvaćaju kao đubrivo za poljoprivredne površine zbog velikog sadržaja korisnih sastojaka (azot, fosfor) neophodnih za uzgoj biljaka (Slika 1) [1,2,3]. Proizvodnja i korištenje bioplina nastalog anaerobnom razgradnjom biorazgradivog organskog otpada predstavlja značajan potencijal u ostvarivanju energetskih, ekoloških i ekonomskih koristi [1].



Slika 1. Prosta shema tipskog postrojenja sa osnovnim tehnološkim postupcima [3].

Na pet međunarodnih simpozija o anaerobnoj digestiji čvrstog otpada održanim u Veneciji 1992, Barceloni 1999, Minhenu 2002, Kopenhagenu 2005. i Hammametu 2008, primjena anaerobne digestije u tretmanu čvrstog otpada je dobila svoju veliku aktuelnost i postala je predmet velikog interesovanja najvećih imena naučne zajednice, dobila je podršku industrijskog sektora i političkih zvaničnika EU. Sve to anaerobnu digestiju svrstava među najbolje raspoložive tehnike/tehnologije za tretman otpada, jer zadovoljava evropske principe i načela upravljanja otpadom, zaštite okoliša i održivog razvoja [1].

Anaerobna digestija, prema dostupnoj literaturi, nedovoljno je istražena i nije posebno zastupljena u Bosni i Hercegovini. Sporadični primjeri primjene anaerobne digestije su anaerobni bioreaktor za tretman otpadne vode u Grudskoj Pivovari i anaerobni reaktora za tretman muljeva iz postrojenja za prečišćavanje komunalne vode u Trebinju. Može se reći da je nedostatak tehničkog znanja jedna od ključnih prepreka za obimniju i efikasniju primjenu anaerobne digestije u ovom sektoru [1].

Bioplin kao krajnja korisna komponenta predstavlja smjesu metana  $CH_4$  (50-85 vol.%), ugljen-dioksida  $CO_2$  (15-50 vol.%) i plinova u tragovima (vodena para; vodikov disulfid,  $H_2S$  i vodik,  $H_2$ ). U narednoj tabeli dati su procentualni odnosi pojavljivanja komponenata bioplina naspram pojedinih karakteristika ulaznog supstrata (klaoničkog otpada) [3].

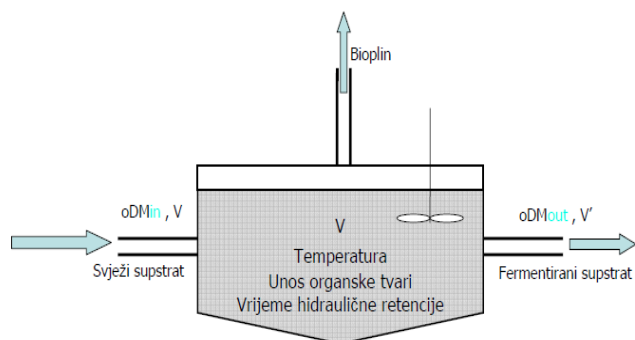
Tabela 1. Sastav bioplina prema porijeklu [4].

KOMPONENTE	$CH_4$ (%)	$CO_2$ (%)	$NH_3$ (%)	$H_2S$ (%)
Ugljikohidrati	50	50	-	-
Masnoće	70	30	-	-
Proteini	68	18	8	6

Sastav supstrata je glavni faktor koji utiče na nastanak, razvoj i iskorištenje metana u procesu anaerobne digestije. Različiti supstrati traže različite uvjete kao i vrijeme koje je potrebno da mješavina provede u digestoru (bioreaktoru) kako bi potpuno sazrela, te se dobio adekvatan volumski oblik bioplina. Kakvoća i udio pojedinih kemijskih spojeva u bioplina ovisi o porijeklu organske tvari (npr.: klaoničkog otpada), načinu pripreme za obradu, pa tako za različite uvjete može imati različite vrijednosti [2].

Biootpad se smatra obnovljivim izvorom energije i proizvođači energije iz otpada u EU dobivaju tkz. zeleni certifikat, koji ima ekonomsku vrijednost. Na primjer u Italiji u 2008. godini cijena zelenog certifikata je bila 100 €/MWh (EREC, 2009). S tim u vezi, za investitora je najvažnije da se odabrana tehnologija isplati, pa su u tom smislu praćenje prinosa bioplina i sadržaja metana u njemu najvažniji parametri za evaluaciju rada industrijskog anaerobnog digestora. Prinos metana predstavlja potencijal da supstrat proizvede bioplin. Prinos metana se koristi i kao parametar kod projektovanja anaerobnih bioreaktora, kako bi se predvidio prinos metana na osnovu sastava otpada, te razmatrala eventualno kodigestija otpada.

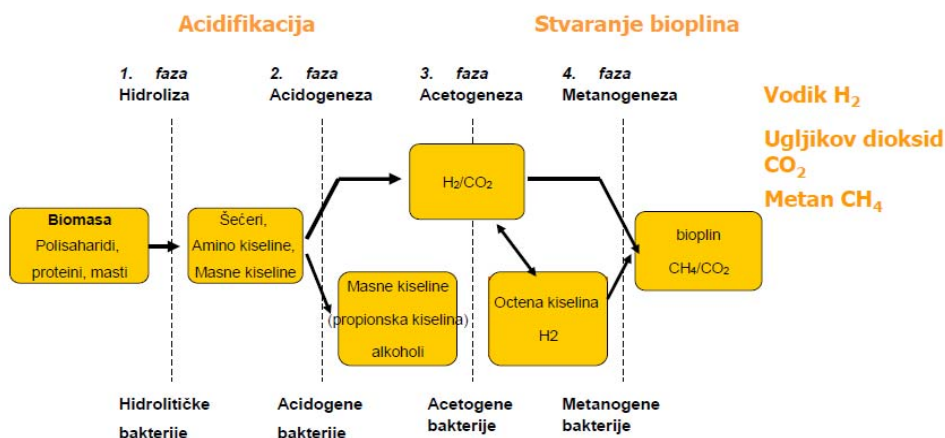
Na slici 2. dat je princip rada anaerobnog digestora sa prikazom toka materijala i nastanka bioplina i digestata, sa parametrima bioreaktora koji utiču na količinu i kvalitet bioplina. Prvenstveno je to temperatura procesa (grijanje mješavine), način miješanja, način unosa, te kvalitet organske materije [1, 4, 5, 6].



Slika 2. Princip procesa bioplina [4].

Dostupna literatura uglavnom nudi nivo produkcije bioplina u bioreaktorima za najrazličitiji spektar primjene anaerobne digestije za širok procentualni udio metana (50-85 vol.%) i drugih primjesa. Budući da ovakav interval ne daje preciznu projekciju nastanka metana na kraju procesa anaerobne digestije, otvara se pitanje do kojih količina i kvaliteta nastalog otpada u industrijskoj klaonici i preradi mesa je opravdana izgradnja biorektora i adekvatna eksploatacija u cilju postizanja iskoristivih količina i kvaliteta bioplina sa energetskog, ekonomskog i ekološkog aspekta. Zbog već iznesenih činjenica, predmet interesovanja postaje količina i kvalitet bioplina kao funkcija parametara odvijanja procesa u pojedinim fazama anaerobne digestije za odgovarajući sistem biorektora, kao i količina i kvalitet ulaznih komponenti. Također, jako je važno definisati nivo, intenzitet i karakter uticaja pojedinih parametara procesa anaerobne digestije na produkciju bioplina, odnosno metana. Procentualni udio metana u bioplina zavisi od nivoa realizacije pojedinih faza anaerobne digestije (hidroliza, acedogeneza, acetogeneza i metanogenaza; Slika 3). To prije svega obuhvata količinu, kvalitet, te način doziranja ulaznih količina otpadnih materija, način miješanja u bioreaktoru, kao i zagrijavanje supstrata. Posebno je važno naglasiti, da je svaka od ovih faza značajna i presudna za konačni efekat prinosa bioplina i njegovu gorivu komponentu, metan. Zbog toga se smatra da je potrebno sprovesti opsežna istraživanja, koja mogu doprinijeti rasvjetljavanju tehničkog aspekta i popularizacije primjene ove metode u tretmanu

biorazgradivog dijela klaoničkog otpada (otpada iz sektora prerade/a mesa), posebno demonstrirajući mogućnost iskoristivosti bioplina, njegove količine i procentualnog udjela metana na osnovu raspoloživih resursa otpada, adekvatnog odabira bioreaktora, kao i tehnologije vođenja procesa sa ključnim tehnološkim parametrima (zadržavanje, miješanje i podgrijavanje supstrata u bioreaktoru), a u konačnom cilju definisanja eksperimentalnog i numeričkog modela prinosa bioplina [1, 6].



Slika 3. Četiri faze fermentacije za stvaranje bioplina [4].

## 2. OSVRT NA DOSTIGNUTI STEPEN NAUČNIH SPOZNAJA I RANIJA ISTRAŽIVANJA

Definisan je matematički izraz (McCarty, 1964) putem kojeg se na osnovu glukoze, a poslije i (dosta slično) na osnovu ugljikohidrata određuje količina, tj. prinos metana. Ovaj teorijski izraz je dat na osnovu jednog parametra otpada, ali prinos metana je uvjetovan mnoštvom drugih sastojaka otpada (npr.: otpada iz industrijskih klaonica i prerade mesa) kao i čitavog kompleksa faktora koji dirigiraju rad i stabilnost procesa anaerobne digestije. Proračun prinosa metana na osnovu stvarnih količina bioplina i njegov sadržaj u odnosu na KPK (kemijska potrošnja kisika, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg KPK uklonjenog) omogućava usporedbu efikasnosti rada dva bioreaktora koji tretiraju istu vrstu otpada u datom vremenskom periodu, te može poslužiti kao indirektni indikator aktivnosti metanogene populacije u anaerobnom bioreaktoru uspoređujući teoretski sa stvarnim prinosom (prema Silajdžić, 2010; Michaud et al, 2002). Saint-Joly i sar. (2000) su usporedbom nekoliko vrsta industrijskih sistema za anarobni tretman, koji su radili pod istim uvjetima ali sa različitim vrstama otpada, dokazali da prinos metana znatno varira od vrste i karakteristika otpada koji se tretira [1].

Različiti istraživači ukazali su na potrebu uvođenja novog parametra, energijskog indeksa, koji može poslužiti za usporedbu različitih industrijskih anaerobnih procesa i tehnologija u smislu povrata energije iz otpada, te na taj način omogućiti izbor one tehnologije koja osigurava najveći profit (prema Silajdžić, 2010; Edelmann i Engeli 2005; Checci i Bolzonelli, 2005). Različiti načini predtremna i usitnjavanja kontroliranog uzorka utiče na konačni proces anaerobne digestije, odnosno na količinu formiranja bioplina, odnosno metana [1].

Definisanjem kvalitetnog modela produkcije metana, koji bi simultano uključivao faktore procesa i parametre uzorka otpada iz industrijskih klaonica i pogona za preradu mesa u anaerobnom digestoru, otvraju se dodatni aspekti optimizacije rada anaerobnog bioreaktora čime se ubrzava odvijanje anaerobnih reakcija kako bi se smanjilo vrijeme potrebno za razgradnju predmetnog otpada, odnosno kako bi reaktor mogao prihvatiti veće količine

otpada. Time se posljedično povećava prinos bioplina i smanjuje volumen muljevitoeg efluenta [1].

Na bazi dostignutih rezultata istraživanja u ovoj oblasti cijeni se korisnim da nova istraživanja treba usmjeriti na mogućnost dodatnog optimiranja rada bioreaktora korištenjem drugačijih režima rada sa aspekta korištenja aksijalnog mješača, kako bi se maksimizirale koristi odvijanja pojedinih faza procesa i posljedično ostvarila veća proizvodnja bioplina sa većim koncentracijama metana. Jedan od značajnih uticajnih faktora procesa koji je potrebno istražiti jeste mješač i njegova uloga u procesu anaerobne digestije.

Kvaliteta proizvedenog bioplina treba odgovarati namjeni krajnjeg korištenja, pa kada kvalitet sirovog bioplina ne zadovoljava, potrebno ga je prije određene upotrebe podvrgnuti odgovarajućem procesu prerade. Osnovni preduvjet za ekonomično korištenje neke otpadne supstance iz industrijskih klonica kao sirovine za proizvodnju bioplina su:

- dovoljna količina tokom cijele godine (kontinuirano klanje životinja i prerada mesa),
- odgovarajući sastav (naročito u pogledu sadržaja mikrobiološki razgradivih sastojaka),
- odsustvo toksičnih ili inhibicionih supstanci za proces proizvodnje bioplina, i
- koncentracija organske supstance u supstratu zbog poboljšanja ekonomike procesa [3].

### 3. PROJEKCIJA PRINOSA BIOPLINA NA OSNOVU STATISTIČKIH PROCJENA KOLIČINA OTPADA U INDUSTRIJSKOJ KLAONICI BAJRA D.O.O.

Čvrsti otpad nastao u procesu klanja životinja i primarne prerade mesa u pogonima mesne industrije “Bajra“ u Dolcu kod Travnika, koji se analizira kao ulazna sirovina u procesu anaerobne digestije (kodigestije) u bioreaktoru sastoji se od tvrdog i mekog konfiskata i nejestivih iznutrica i otpadnih tkiva, te stajnjaka i otpadnog mulja iz uređaja za prečišćavanje. U narednoj tabeli dati su podaci o vrsti, kategoriji i procijenjenoj količini biorazgradivog otpada, koji se produkuje u pogonima mesne industrije Bajra d.o.o. Travnik, a koji se mogu (vrlo podesno) usmjeriti na anaerobnu digestiju, odnosno kodigestiju u bioreaktoru u cilju prinosa bioplina [7, 8].

Tabela 2. Količina biorazgradivog organskog otpada u mesnoj industriji Bajra d.o.o. koja bi se mogla usmjeriti na digestiju (kodigestiju) [7]

Biorazgrađivi otpad iz mesne industrije	Godišnja projekcija (aproksimacija)
Ukupna količina klaoničkog otpada	3.418 t
Za projektirani kapacitet predmetnog pogona procjenjuje se nastanak 1t stajnjaka u toku dana	365 t
Otpadni mulj iz uređaja za prečišćavanje - u pogonu nastaje oko 60 m <sup>3</sup> /dan tehnološke otpadne vode (za 450 mg/l BPK <sub>5</sub> ; stepen uklanjanja 97 %; volumen viška mulja oko 8%)	84 m <sup>3</sup>

Ukupna količina biorazgradivog otpada iz mesne industrije Bajra d.o.o. Travnik iznosi oko 3418 t/god, te 84 m<sup>3</sup> otpadnog mulja iz uređaja za prečišćavanje otpadnih voda (za kodigestiju). Parametri proračuna prinosa (iskustva u EU) date se orjentacione vrijednosti da 1,578 x 10<sup>6</sup> t daje 31,568 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> bioplina, u kojem udio metana iznosi 60 %, što na godišnjem nivou iznosi 68.360 m<sup>3</sup> bioplina, odnosno 41.016 m<sup>3</sup> metana. Prosječna energetska vrijednost metana iz pogona ovog kompleksa iznosi 9,55 kWh/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> za goveđi, stajski i muljeviti otpad (svedeno na tone), što proračunato na godišnjem nivou daje 391.703 kWh energije [9]. Prema tome, ukupna proizvodnja električne energije, za stepen iskorištenja 38 %, se procjenjuje na 148.847 kWh<sub>el</sub>, dok se proizvodnja toplotne energije očekuje u iznosu 215.437 kWh<sub>top</sub>, za stepen iskorištenja 55 %.

#### 4. ZAKLJUČAK

Porast potrošnje energije i ograničenje količine primarnih izvora energije nameće potrebu sistemskog istraživanja i razvoja tehnika iskorištavanja alternativnih održivih energetskih rješenja, a posebno anaerobne digestije otpada iz mesne industrije. Obrada organskog otpada iz pogona za klanje životinja i preradu mesa primjenom tehnologije anaerobne digestije predstavlja najprihvatljivije rješenje zbrinjavanja organskog otpada zbog tehnoloških, ekonomskih i ekoloških efekata. Iskorištavanje proizvedene toplotne (i/ili električne energije) važan je parametar za energetsku i ekonomsku učinkovitost bioplinskog postrojenja u sklopu pogona mesne industrije, gdje se dio proizvedene toplotne energije može koristiti za grijanje bioreaktora, a preostali dio za grijanje/hlađenje objekata, te za pogon drugih agregata i druge potrebe.

#### 5. LITERATURA

- [1] Silajdžić, I., (2010): Primjene anaerobne digestije u tretmanu otpadne sirovine iz tehnologije prerade krompira sa akcentom na povrat resursa, Doktorska disertacija, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
- [2] Šljivac, D., Nikolovski, S., Stanić, Z., Vukobratović, M., Knežević, S. (2008): Energetski potencijal i trenutne aktivnosti korištenja biomase i bioplina u Istočnoj Hrvatskoj, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, 1.savjetovanje, Šibenik.
- [3] Tehničke upute za sektor: *Klanje krupne stoke (juli 2008)*, Integralna prevencija i kontrola zagađenja u prehrambenoj industriji, Sarajevo.
- [4] Köttner, M. (2010): Uvod u biologiju fermentatora – Radni parametri AD, Trening za bioplin, Internationales Bioplin und Bioenergie Kompetenzzentrum, dostupno na <http://www.eihp.hr>, Mart 2011.
- [5] Hublin, A., Kralik, D., Čurlin, M.(2005): Energija iz biorazgradivog organskog otpada, dostupno na <http://gospodarenje> otpadom.yolasite.com, Mart 2011.
- [6] Petrović, P., Petrović, N., Kesić, M., Mladenović, M., Borđoški, V.: Razvoj postrojenja za proizvodnju bioplina u malim poljoprivrednim seoskim farmama, Savetovanje: “Energetika 2009“, dostupno na, <http://mfkg.kg.ac.rs>, Mart 2011.
- [7] Goletić, Š., Duraković, J., Imamović, N. (2010): Elaborat o procjeni uticaja na okoliš za kompleks klaonice mesne indutrije „Bajra“ d.o.o. Dolac, Travnik, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici.
- [8] Goletić, Š., Duraković, J., Imamović, N. (2010): Elaborat o procjeni uticaja na okoliš za pogon i postrojenja prerade mesa mesne industrije „Bajra“ d.o.o. Dolac, Travnik, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici.
- [9] Golubić, I. (2008): Sirovinska energetska shema iz biljnog i životinjskog otpada u Sjeverozapdnoj Hrvatskoj, Hrvatska gospodarska komora-Alternativna energija, Hrvatsko-austrijski gospodarski skup, Varaždin.