

# Potencijali korišćenja različitih supstrata u procesu proizvodnje biogasa

## Potentials of Using Different Substrates in the Process of Biogas Production

Nikola Stanković\*, Srećko Ćurčić\*\*

\* Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“, Balkanska 13, 11 000 Beograd

\*\* Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Svetog Save 65, 32 000 Čačak

**Rezime** - Biogas od odgovarajućih sirovina nastaje u biogasnim postrojenjima koja se koriste za proizvodnju električne i/ili toplotne energije u takozvanim CHP ili kogenerativnim postrojenjima. U procesu proizvodnje biogasa koriste se različite vrste supstrata sa odgovarajućim energetske potencijalom. Potencijalni prinos biogasa od odgovarajućih sirovina izražava se po toni sveže, suve ili organske suve mase razmatranog supstrata. U ovom radu su prikazani potencijali korišćenja različitih vrsta supstrata za proizvodnju biogasa. Naročito je dat osvrt na potencijalni prinos biogasa iz supstrata koji nastaju u stočarstvu kao što su tečni i čvrst stajnjak, zatim iz energetske biljaka, iz organskog otpada prehrambene industrije, organskog otpada klanične industrije, komunalnih otpadnih voda prehrambene industrije i komunalnog čvrstog organskog otpada.

**Ključne reči** - Biogas, biogasna postrojenja, biomasa, supstrat, metan, organska suva masa

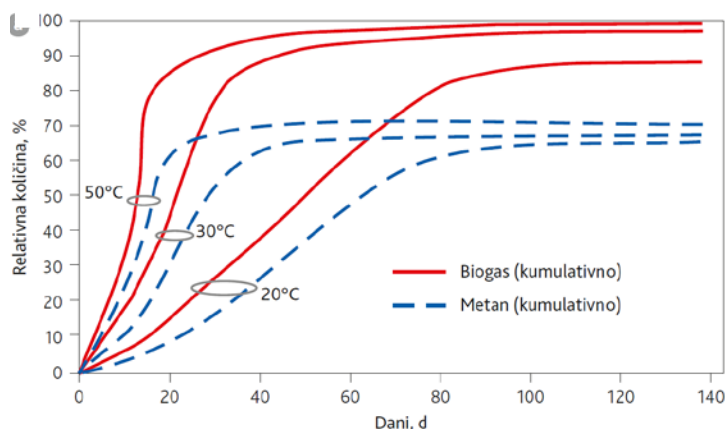
**Abstract** - Biogas made of appropriate raw materials in biogas plants is used for the production of electrical and thermal energy in so-called CHP or cogenerative plants. In the biogas production process, different types of substrates with appropriate energy potential are used. The potential biogas yield of appropriate raw materials is expressed in tons of fresh, dry or organic dry mass of the substrate considered. This paper presents the potentials of using different types of substrates for biogas production. A review of the potential yield of biogas are especially given in animal husbandry such as liquid and firm manure, from energy waste of food industry, organic waste industry, utility wastewater of food industry and communal solid organic waste.

**Index Terms** - Biogas, Biogas plants, Biomass, Substrate, Methane, Organic dry mass

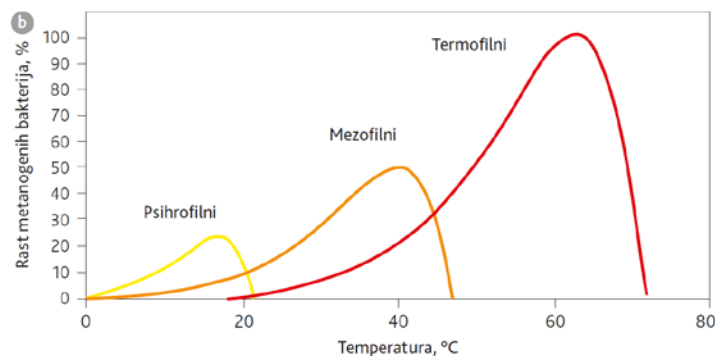
### I UVOD

Pojam „biogasna postrojenja“ obuhvata postrojenja koja mogu da proizvode biogas od odgovarajućih raspoloživih supstrata, sirovina ili biomase sa odgovarajućim energetske potencijalom za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije [1]. Biomasa predstavlja biorazgradivi deo proizvoda, otpada ili ostatak biološkog porekla [2]. Postoji širok spektar organskih materija koje su pogodne za anaerobnu (bez prisustva kiseonika) razgradnju u malim biogasnim postrojenjima [3]. Tokom procesa

anaerobne digestije nastaje biogas. Biogas je gas koji se najvećim delom sastoji od metana ( $\text{CH}_4$ ) i ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2$ ) [4]. Proizvedeni biogas u malim biogasnim postrojenjima, trebalo bi da se koristi u postrojenju za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (CHP - kogeneraciono postrojenje). Na proces metanogeneze, stvaranje metana, utiču sastav supstrata, brzina punjena fermentora, vreme zadržavanja supstrata (izražen u danima) i temperatura [5].



Slika 1. Uticaj temperature i vremena zadržavanja supstrata na relativni prinos biogasa [7]



Slika 2. Uticaj temperature na rast populacije metanogenih bakterija [7]

Uticaj vremena zadržavanja supstrata i temperature na relativni prinos biogasa prikazan je na slici 1. Na rast i aktivnost anaerobnih mikroorganizama, odnosno na efikasnost anaerobne digestije, utiče odsustvo kiseonika, snabdevanje hranljivim materijama, intenzitet mešanja kao i prisustvo i količina inhibitora [5]. Osim anaerobnih uslova, neophodni uslovi su konstantna temperatura i pH vrednost od 6,5 do 7,5 [6]. Anaerobna digestija se može odvijati na temperaturi od < 20 °C (psihofilne bakterije), 30 do 42 °C (mezofilne) i 43 do 55 °C (termofilne) [6].

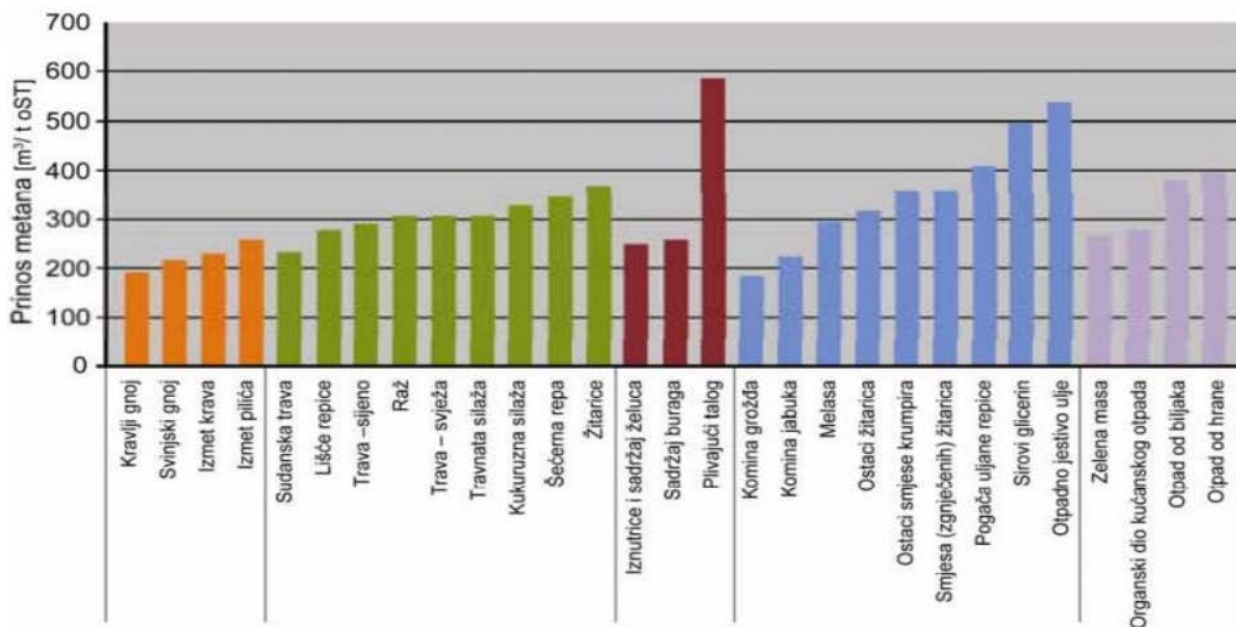
Uticaj temperaturnog režima na rast metanogenih bakterija je prikazan na slici 2. Minimalno vreme zadržavanje se pokazalo da je između 15 do 20 dana za termofilne bakterije, 30 do 40 za mezofilne i 70 do 80 za psihofilne [5].

## II SUPSTRATI KOJI SE KORISTE ZA PROIZVODNJU BIOGASA

Termin supstrat je naziv sirovine za proizvodnju biogasa koji je široko rasprostranjen. Ukoliko kombinujemo više supstrata, dobija se kosupstrat. U razmatranju potencijalne proizvodnje biogasa, najbitnije su količine i cena potencijalnih supstrata [7].

Odnosno moraju se analizirati karakteristike supstrata koje predstavljaju potencijal za proizvodnju biogasa, a time i dimenzionisanje biogasnog postrojenja. Prinos biogasa određuje se na osnovu količine sveže, suve ili organski suve materije određenog supstrata. Potencijalni prinos metana je jedan od važnih kriterijuma za procenu različitih supstrata koji se mogu koristiti u biogasnim postrojenjima u procesu anaerobne digestije [5]. Prinos biogasa iz datog supstrata je potencijalan, jer količina proizvedenog biogasa u biogasnom postrojenju zavisi od pogonskih uslova i stabilnosti procesa. [7]. Supstrati koji se mogu koristiti za proizvodnju biogasa su [3,8]:

- stajnjak sa farmi,
- energetski usevi (kukuruzna silaža),
- ostaci iz poljoprivredne proizvodnje,
- biorazgradivi organski otpad iz prehrambene i sličnih industrija,
- biorazgradiva frakcija komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva (ostaci hrane),
- otpadne vode prehrambene industrije i otpadni muljevi iz postrojenja za tretman voda.



Slika 3. Potencijalni prinos biogasa po toni organske suve materije različitih supstrata [8]

### 2.1 Stajnjak

Postoji tečni i čvrsti stajnjak. Tečni se sastoji od ekskremenata životinja i može se transportovati pumpama i cevovodima do biogasnog postrojenja. Tabela 1 pokazuje sadržaj suve i organske suve materije za dve vrste tečnog stajnjaka, goveđi i svinjski, i za tri vrste čvrstog stajnjaka, od goveda, svinja i peradi. Za tečni stajnjak sadržaj suve materije je najveći kod goveđeg tečnog stajnjaka i ide do 11%. Sadržaj organske suve materije je veći kod tečnog svinjskog stajnjaka i ide do 86%. Supstrati koji imaju sadržaj suve materije manji od 20% koriste se za „mokru digestiju“ i tu spada stajnjak [8].

Prinos biogasa je najpre uslovljen sadržajem organske suve

materije [9]. Na osnovu slike 3, može se videti da stajnjak ima relativno malu potencijalnu proizvodnju metana po jedinici organske suve materije [8]. Ovaj prinos je uslovljen sastavom, odnosno tečni stajnjak goveda sadrži pretežno ugljene hidrate, dok tečni stajnjak svinja uglavnom proteine što daje veći sadržaj metana [9]. Prinos biogasa kod goveđeg tečnog stajnjaka je između 20-30 m<sup>3</sup> što je nešto ispod svinjskog tečnog stajnjaka koji ima između 20-35 po toni sveže materije (Tabela 2). Ukoliko se koristi prostirka, dobija se čvrsti stajnjak [7]. Kod čvrstog stajnjaka sadržaj organske suve materije je najveći kod svinja i peradi sa sadržajem od 80% (Tabela 1). Zbog toga je i najveći prinos biogasa za čvrst stajnjak od svinja i peradi dok je udeo metana izjednačen i kreće se do 60% (Tabela 2).

**Tabela 1.** Procenat suve i organske materije za različite vrste stajnjaka [7]

| Supstrat                | Suva materija, (%) | Organska suva materija, (%) |
|-------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Goveđi tečni stajnjak   | 8-11               | 75-82                       |
| Svinjski tečni stajnjak | 7                  | 75-86                       |
| Čvrsti stajnjak goveda  | 25                 | 68-76                       |
| Čvrsti stajnjak svinja  | 20-25              | 75-80                       |
| Čvrsti stajnjak peradi  | 32                 | 63-80                       |

**Tabela 2.** Potencijalni prinosi biogasa sa udelom metana za različite vrste stajnjaka [7]

| Supstrat                | Prinos biogasa                     |  | Udeo CH <sub>4</sub> , (%) |
|-------------------------|------------------------------------|--|----------------------------|
|                         | Stm <sup>3</sup> /t sveža materija | Stm <sup>3</sup> /t organska suva materija |                            |
| Goveđi tečni stajnjak   | 20-30                              | 200-500                                    | 60                         |
| Svinjski tečni stajnjak | 20-35                              | 300-700                                    | 60-70                      |
| Čvrsti stajnjak goveda  | 40-50                              | 210-300                                    | 60                         |
| Čvrsti stajnjak svinja  | 55-65                              | 270-450                                    | 60                         |
| Čvrsti stajnjak peradi  | 70-90                              | 270-450                                    | 60                         |

Što se tiče srednjih vrednosti i potencijalnog prinosa metana iz organske suve materije je najveća kod stajnjaka peradi (Tabela 3). Sadržaj vode kod stajnjaka je visok i kreće se između 68 do 93% i uslovljava njegov nizak energetska potencijal [7]. Sadržaj vode u stajnjaku je povoljan ukoliko se kombinuje sa drugim kosupstratima sa višim udelima suve mase, i to može biti silaža kukuruza. Ako poredimo stajnjak sa silažom kukuruza, stajnjak može da ima i deset puta manji prinos biogasa po jedinici težine, što znači da je za istu veličinu biogas postrojenja potrebno deset puta veća količina stajnjaka, nego silaže kukuruza [9]. Dakle, za postrojenje nazivne električne snage 150 kW, bilo bi potrebno najmanje 1.000 uslovnih grla goveda jer jedno uslovno grlo, govedo mase 500 kg, daje svega 0,11 do 0,15 kWe [7]. Sa stanovništva ekonomičnosti povoljnija je izgradnja i korišćenje većih postrojenja, nazivne električne snage od 500 do 1.000 kW [10]. Iz ovog razloga savremena postrojenja koriste mešavinu stajnjaka i drugih kosupstrata kao što se energetske biljke.

**Tabela 3.** Potencijalni prinos metana iz organske suve materije za različite vrste stajnjaka [5]

| Supstrat                | Potencijalni prinos metana iz organske suve materije (Nm <sup>3</sup> /t oSM) - srednje vrednosti |
|-------------------------|---|
| Goveđi tečni stajnjak   | 210   |
| Svinjski tečni stajnjak | 250   |
| Goveđi čvrsti stajnjak  | 250   |
| Stajnjak peradi         | 280   |

## 2.2 Energetske biljke

Energetske biljke se ne koriste samo kao kosupstrat već kao i glavna sirovina u biogasnim postrojenjima [7]. Energetske biljke su namenski uzgajana biomasa, koja se najčešće silira i na taj

način skladišti. Najčešće se koristi silaža kukuruza, silaža celih biljaka žitarica na primer raž, ili sve vrste žitarica kao i njihove mešavine, zrna žitarica, silaža trave, silaža repe (stočna ili šećerna) kao i list šećerne repe. Pored korišćenja cele biljke u vidu kukuruzne silaže, uobičajene varijante su i silaža kukuruznog klipa i lista komušine, mešavina zrna i klipa, kukuruz u zrnu kao i korišćenje isključivo klipa [9]. Sadržaj suve i organske suve materije kod raznih energetska biljaka je prikazan u tabeli 4.

**Tabela 4.** Procenat suve i organske materije za različite vrste energetska biljaka [7]

| Supstrat                | Suva materija (%) | Organska suva materija, (%) |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Silaža kukuruza         | 20-35             | 85-95                       |
| Raž, silaža cele biljke | 30-35             | 92-98                       |
| Silaža trave            | 25-50             | 70-95                       |
| Šećerna repa            | 23                | 90-95                       |
| List šećerne repe       | 16                | 75-80                       |

Procenat suve materije je najveći kod silaže trave i iznosi 50%, dok je najmanji kod lista šećerne repe i iznosi 16%. Procenat organske suve materije je najveći za raž, za silažu cele biljke, i iznosi 98%, a najmanji kod silaže trave 70%. Energetski usevi i silaže sa sadržajem suve materije oko 35% ili većim se obično koriste u anaerobnoj digestiji koja se zove „suva digestija“ [8]. Sadržaj suve materije kod kukuruza manji od 28% uslovio bi pojavu procednih voda pa samim tim i znatne energetske gubitke [11]. Što se tiče silaže celih biljaka žitarice, žetva bi, trebalo da se obavi u trenutku najvećih prinosa suve materije (monokulturni sistem), a to je na kraju mlečne zrelosti odnosno početku voštane zrelosti [9]. Kod travne silaže veoma je bitno da sadržaj suve materije ne prelazi 35% jer raste udeo lignina i vlakana, čime dolazi do opadanja prinosa metana u odnosu na organsku suhu materiju [11]. Najveći prinos biogasa daje šećerna repa sa 860 m<sup>3</sup> biogasa po toni organske suve materije, dok se udeo metana kreće do 55% (Tabela 5).

**Tabela 5.** Potencijalni prinosi biogasa sa udelom metana za različite vrste energetska biljaka [7]

| Supstrat                | Prinos biogasa                     |  | Udeo metana, % |
|-------------------------|------------------------------------|--|----------------|
|                         | Stm <sup>3</sup> /t sveže materije | Stm <sup>3</sup> /t organske suve materije |                |
| Silaža kukuruza         | 170-200                            | 450-700                                    | 50-55          |
| Raž, silaža cele biljke | 170-220                            | 550-680                                    | 55             |
| Silaža trave            | 170-200                            | 550-620                                    | 54-55          |
| Šećerna repa            | 170-180                            | 800-860                                    | 53             |
| List šećerne repe       | ca. 70                             | 550-600                                    | 54-55          |

Najveća srednja vrednost za prinos metana po toni organske suve materije je kod zrna žitarica i iznosi 380 m<sup>3</sup>, a najmanja kod silaže trave 310 m<sup>3</sup> (Tabela 6). Zrna žitarice se koriste kao dopuna uz postojeće supstrate, pri tome vrsta žitarice nije bitna, i posebno su pogodna za precizno upravljanje proizvodnjom biogasa [11]. Usled povoljnih energetska prinosa po hektaru i

fermentacionih osobina kukuruz je posebno pogodan za proizvodnju biogasa [9]. Od jedne tone silaže kukuruza, dobija se 350 do 400 kWh [7]. Za postrojenje nazivne snage 500kW, bilo bi potrebno 170 do 250 ha za proizvodnju silaže kukuruza [7]. U zemljama sa povoljnim feed-in tarifama, udeo biogasa koji se proizvodi iz silaže je od 30 do 100% [10].

**Tabela 6.** Potencijalni prinos metana iz organske suve materije za različite vrste energetskih biljaka [9]

| Supstrat                      | Potencijalni prinos metana iz organske suve materije (Nm <sup>3</sup> /t oSM) -srednje vrednosti |
|-------------------------------|--|
| Kukuruzna silaža              | 340  |
| Silaža celih biljaka žitarica | 329  |
| Travna silaža                 | 310  |
| Zrna žitarica                 | 380  |
| Šećerna repa                  | 350  |
| Stočna repa                   | 350  |

### 2.3 Organski otpad prehrambene industrije

Organski otpad iz prehrambene industrije nastaje, na primer, u proizvodnji šećera, alkohola, ulja, piva, prerada voća i povrća itd. Radi se o materijama, koje nastaju prilikom prerade biljaka, odnosno sastavnih delova biljaka [9]. Komina kao sporedni proizvod nastaje prilikom prerade grožđa i voća u vino i voćne sokove, kao sporedni proizvod nastaje u proizvodnji alkohola od žitarica, repe, krompira ili voća [11]. Prilikom proizvodnje piva nastaje kao sporedni proizvodni pivski trop, dok u proizvodnji šećera kao sporedni proizvod nastaju rezanci šećerne repe. Melasa i repini rezanci usled preostalog sadržaja šećera predstavljaju pogodan kosupstrat za proizvodnju biogasa [9]. Korišćenje ovih sporednih proizvoda u druge svrhe je neizvesno, ali zbog dobrog prinosa biogasa pogodni su da se koriste kao supstrati ili kosupstrati za proizvodnju biogasa. Ovo važi za nusproizvode iz proizvodnje alkohola, koji imaju prinos biogasa uporediv sa stajnjakom [7]. Generalno gledano prikazani supstrati u tabeli 7 imaju visok procenat organske suve materije.

**Tabela 7.** Procenat suve i organske mase za različite vrste organskog otpada iz prehrambene industrije [7]

| Supstrat        | Suva materija (%) | Organska suva materija (%) |
|-----------------|-------------------|----------------------------|
| Repin rezanac   | 22-26             | 95                         |
| Melasa          | 80-90             | 85-90                      |
| Komina žitarica | 6-8               | 83-88                      |
| Komina krompira | 6-7               | 85-95                      |
| Komina voća     | 2-3               | 95                         |
| Pivski trop     | 20-25             | 70-80                      |

Repin rezanac, komina krompira i voća imaju 95% organske suve materije. Melasa ima znatno veći prinos biogasa po svežoj masi supstrata, do 340 m<sup>3</sup>, nego što imaju druge energetske biljke, što pokazuje da sadrži puno organske materije (Tabela 8).

**Tabela 8.** Potencijalni prinosi biogasa sa udelom metana za različite vrste organskog otpada iz prehrambene industrije [10]

| Supstrat        | Prinos biogasa                     |  | Udeo metana, (%) |
|-----------------|------------------------------------|--|------------------|
|                 | Stm <sup>3</sup> /t sveže materije | Stm <sup>3</sup> /t organske suve materije |                  |
| Repin rezanac   | 60-75                              | 250-350                                    | 70-75            |
| Melasa          | 290-340                            | 360-490                                    | 70-75            |
| Komina žitarica | 30-50                              | 430-700                                    | 58-65            |
| Komina krompira | 36-42                              | 400-700                                    | 58-65            |
| Komina voća     | 10-20                              | 300-650                                    | 58-65            |
| Pivski trop     | 105-130                            | 580-750                                    | 59-60            |

Ostali potencijalni supstrati (repin rezanac, komina žitarica, krompira, voća, pivski trop) imaju znatno niži potencijalni prinos biogasa po toni sveže masi, na primer pivski trop do 130 m<sup>3</sup>, dok repin rezanac do 75 m<sup>3</sup>. Međutim, najveći potencijalni prinos biogasa po toni organske suve mase ima pivski trop sa 750 m<sup>3</sup>, komina žitarica i krompira sa 700 m<sup>3</sup> i komina voća sa 600m<sup>3</sup>, gde se udeo metana kreće do 75% (Tabela 8). Najveću srednju vrednost za potencijalni prinos metana po toni organske suve ima komina jabuke sa 453 m<sup>3</sup>, zatim komina grožđa sa 448 m<sup>3</sup> i pogača uljane repice sa 396 m<sup>3</sup> (Tabela 9).

**Tabela 9.** Prinos metana iz organske suve materije za različite vrste supstrata iz prehrambene industrije [11]

| Supstrat             | Potencijalni prinos metana iz organske suve materije (Nm <sup>3</sup> /t oSM) - srednje vrednosti |
|----------------------|---|
| Pivski trop          | 313   |
| Komina od žitarica   | 385   |
| Komina od krompira   | 362   |
| Voćna komina         | 285   |
| Sirovi glicerol      | 185   |
| Pogača uljane repice | 396   |
| Pulpa krompira       | 336   |
| Rezanci šećerne repe | 218   |
| Melasa               | 308   |
| Komina jabuke        | 453   |
| Komina grožđa        | 448   |

### 2.4 Organski otpad klanične industrije

Uredba Evropske unije, otpad nastao u klaničnoj industriji razvrstava u tri kategorije, K1, K2 i K3 [12]. Jedna od tehnologija zbrinjavanja ovog otpada jeste i biogas tehnologija. Uglavnom kao supstrat za proizvodnju biogasa koristi se klanični otpad kategorije K2 i K3 [10]. Biogasna postrojenja koja koriste organski otpad nastao iz klanične industrije kao karakterističnu opremu obično sadrži sistem za usitnjavanje i homogenizaciju klaničnog otpada [7].

### 2.5 Komunalne i otpadne vode prehrambene industrije

Komunalne otpadne vode ili otpadne vode nastale iz domaćinstva su nastale iz stambenih naselja i rezultat su pretežno ljudskog metabolizma i kućnih aktivnosti. Otpadne vode nastale u prehrambenoj industriji predstavljaju otpadne vode iz procesa



produkcije. Neretko se komunalne i otpadne vode nastale u prehrambenoj industriji ispuštaju direktno u vodotoke i jezera čime negativno utiču na životnu sredinu. Zbog ovog razloga otpadne vode moraju da se prečišćavaju, odnosno definisani su načini i uslovi ispuštanja otpadnih voda u recipijent radi sprečavanja zagađivanja životne sredine [13]. Pre ispuštanja u recipijent, otpadna voda se tretira fizičkim, biološkim i hemijskim postupcima [14]. Nakon procesa prečišćavanja otpadnih voda nastaje otpadni mulj. Jedan od izazova jeste adekvatno zbrinjavanje otpadnog mulja na način kojim se ne ugrožava životna sredina i zdravlje ljudi. Anaerobnim procesom, moguće je uraditi organsku stabilizaciju i higijenzaciju otpadnog mulja [15]. Nakon anaerobne digestije, ukoliko to analize pokažu, moguće je otpadni mulj bezbedno odložiti na deponiju ili iskoristi na poljoprivrednim površinama [7]. Procenat suve materije u mulju ide i do 5%, dok generalno gledano, komunalne i otpadne vode prehrambene industrije sadrže nizak udeo suve materije, ponekad i manje od 1%, odnosno imaju visok udeo vode što utiče na veličinu biogasnog postrojenja [10]. Biogasna postrojenja, koja koriste otpadne vode kao supstrat za proizvodnju biogasa, uglavnom su deo sistema za prečišćavanje otpadnih voda, tako da proizvodnjom električne energije iz biogasa, pokrivaju jedan deo svojih energetskih potreba [16].

### 2.6 Komunalni čvrst organski otpad

Pod komunalnim čvrstim organskim otpadom podrazumeva se biorazgradivi otpad, koji je pogodan za anaerobnu razgradnju, i uključuje otpad iz bašti, parkova, od hrane, kuhinjski otpad iz domaćinstava, restorana, ugostiteljstva, održavanja zelenih površina [17]. Ovu vrstu otpada karakteriše nehomogenost sastava i neujednačenost, stoga je potrebna primarna separacija otpada i biogasna postrojenja koja koriste ovu vrstu otpada moraju imati opremu za odvajanje krupnih nečistoća i metala, kao i uređaj za usitnjavanje supstrata [7]. Što se tiče sadržaja suve materije, u poređenju sa drugim supstratima, značajno je viša nego kod stajnjaka, a uporediva sa energetskim biljkama [7]. Tako da prinos biogasa iz ovog supstrata iznosi oko 100-120 m<sup>3</sup> po toni [10]. Dok je potencijalni prinos metana iz jedne tone organske suve mase od zelenog otpada 369 m<sup>3</sup> (Tabela 10).

**Tabela 10.** Potencijalni prinos metana iz organske suve materije za zeleni otpad [11]

| Supstrat     | Potencijalni prinos metana iz organske suve materije (Nm <sup>3</sup> /t oSM) |
|--------------|---|
| Zeleni otpad | 369   |

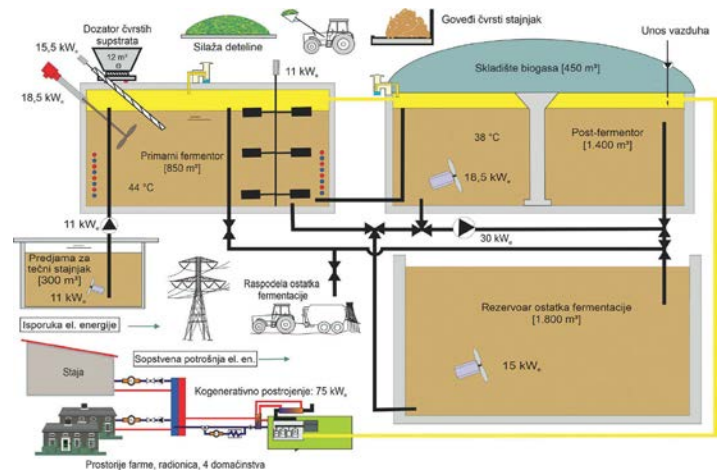
Izgradnjom biogasnog postrojenja, koje bi koristilo ovu vrstu supstrata, pored toga što bi se rešio problem zbrinjavanja komunalnog biorazgradivog otpada, ostvarili bi se prihodi od proizvodnje električne i toplotne energije.

### III PRIMER IZ PRAKSE

Malo biogasno postrojenje (slika 4.) je pušteno u rad 2016. godine i integrisano je u organsku poljoprivrednu farmu da doprinese njenoj isplativosti i zaštiti životne sredine [180]. Mešavina supstrata sastoji se od govedeg čvrstog stajnjaka i svinjskog tečnog stajnjaka, svaki po 41% od ukupnog unosa supstrata. Preostali udeo supstrata čini silaža deteline. Dnevni

unos supstrata je oko 15 t, prosečnog sadržaja suve materije 20%. Tečni stajnjak se iz predjame zapremine 300 m<sup>3</sup> pumpa u fermentor, dok se čvrsti supstrati ubacuju pomoću uređaja zapremine 12 m<sup>3</sup> montiranog na betonski ravan krov fermentora.

Fermentor ima radnu zapreminu 850 m<sup>3</sup>, a post-fermentor 1.400 m<sup>3</sup> sa integrisanim skladištem za biogas od 450 m<sup>3</sup>. Fermentori su zagrejani na 44 i 38 °C, respektivno (mezofilni režim). Ukupno hidrauličko retenciono vreme je 150 dana u proseku, čime je ispunjen pravni zahtev da rezervoar ostatka fermentacije zapremine 1.800 m<sup>3</sup> nije potrebno da se pokriva.



**Slika 4.** Šema malog biogasnog postrojenja [1]

Kogenerativno postrojenje sa gasnim motorom ima instaliranu električnu snagu 75 kW i električnu efikasnost oko 37%. Kompletna količina električne energije 1.780 kWh/d isporučuje se u mrežu. Sopstvene potrebe za pogon biogasnog postrojenja iznose 10% za električnu i 19% za toplotnu energiju, u odnosu na generisane količine. Oko 22% generisane količine toplotne energije iskoristi se za grejanje svinjske staje, objekata u okviru farme i četiri stambena objekta.

Ukupni trošak investicije iznosio je 550.000 € Prosečan godišnji prihod je oko 168.500 € od čega se 87% ostvaruje prodajom električne energije, dok ostatak plasiranjem ostatka fermentacije i iskorišćenjem toplotne energije. Godišnji troškovi su oko 110.500 €, od čega je 23% za nabavku supstrata, 40% amortizacija, 31% operativni troškovi, a 6% za radnu snagu.

### IV ZAKLJUČAK

Cilj rada jeste da prikaže potencijalni prinos biogasa odnosno metana od strane različitih vrsta supstrata ili biorazgradive materije odnosno biomase. Potencijalni prinos biogasa ili metana može se prikazati prema toni sveže materije ili organski suve materije. Gledajući potencijalni prinos biogasa po toni sveže materije, za tri vrsta supstrata, stajnjaka (tečni i čvrsti), energetskih biljka i organskog otpada nastao iz prehrambene industrije, najveći potencijalni prinos ima melasa sa 340 m<sup>3</sup> u odnosu na najveće prikazane vrednosti. Ako se uporedi potencijalni prinos metana po toni organske suve materije, od stajnjaka (tečni i čvrsti), energetskih biljka i organskog otpada nastao iz prehrambene industrije, najveću srednju vrednost ima

komina jabuke sa 453 m<sup>3</sup> od prikazanih vrednosti. Što se tiče potencijalnog prinosa biogasa po toni organske suve materije, najveću vrednost ima šećerna repa od 860m<sup>3</sup> u poređenju sa najvećim datim vrednostima. Pored pojedinačnog korišćenja različitih tipova supstrata u funkciji proizvodnje biogasa, u radu je naznačena uloga kosupstrata odnosno korišćenja dve ili više različitih tipova supstrata a cilju većeg potencijalnog prinosa biogasa ili metana. Pored navedenog osnovnog cilja, u rada je prikazana fundamentalna funkcija biogasnog postrojenja, a to je potencijalno zbrinjavanje navedenih supstrata, a naročito organskog otpada iz klanične industrije, mulja nastao iz prečišćavanja komunalnih i prehrambenih otpadnih voda i komunalnog čvrstog organskog otpada u svrhu proizvodnje biogasa. Anaerobnom digestijom navedenih supstrata u biogasnim postrojenjima nastaje biogas od koga se proizvodi električna i toplotna energija (kogeneracija), čime se štiti životna sredina, sa aspekta manjeg korišćenja neobnovljivih izvora energije i time se manje emituje otpadnih gasova, otpadnih voda i drugih tipova zagađenja u životnu sredinu.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Đatkov, Đ., Višković, M., Martinov, M., Nesterović, A., Bojić S., Venus, T., Effenberger, M. *Mala biogas postrojenja*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija i Institut za poljoprivredu tehniku i stočarstvo, Frajzing, Nemačka, 2021. [https://www.euki.de/wp-content/uploads/2021/03/Brosura\\_Biogas-Initiative\\_WEB.pdf](https://www.euki.de/wp-content/uploads/2021/03/Brosura_Biogas-Initiative_WEB.pdf) [pristupljeno 12.03.2023]
- [2] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije, "Službeni glasnik RS", broj 40 / 20210 i 35/2023. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-koriscenju-obnovljivih-izvora-energije.html> [pristupljeno 12.03.2023]
- [3] Kulić, F., Kamenko, I., Bugarski, V., Nikolić, P. Određivanje biometanskog potencijala za različite vrste sirovina, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 1-5, 2022. <https://doi.ub.kg.ac.rs/2022/10-46793-eee22-2-01k/>
- [4] Climate and clean air coalition. *Priručnik za upravljanje bio otpadom*, Novi Sad, April 2020. [https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/6\\_se\\_europe\\_cities\\_organic\\_waste\\_mgt\\_guidance\\_final\\_draft.pdf](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/6_se_europe_cities_organic_waste_mgt_guidance_final_draft.pdf) [pristupljeno 12.03.2023]
- [5] Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark, Esbjerg, Danska, Oktobar, 2008. <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf> [pristupljeno 12.03.2023]
- [6] Vukašinović, V. *Tehnologije korišćenja biomase*, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, 2022.
- [7] Martinov, M., Kovacs, K., Đakov, Đ. *Biogas tehnologija*, Novi Sad, 2012.
- [8] Cveković, S. *Modelovanje i optimizacija procesa korišćenja biogasa u proizvodnji zelene energije*, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2016.
- [9] Stručna agencija za obnovljive resurse, registrovano udruženje (FNR) *Priručnik o biogas: od proizvodnje do korišćenja*, Gülzow-Prüzen, Nemačka, 2016.
- [10] Martinov, M. Đatkov, D. *Biogas postrojenje - Uputstvo za izradu prethodnih studija opravdanosti sa primerom za jedno biogas postrojenje*, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2012. <https://www.psegs.vojvodina.gov.rs/wp-content/uploads/2013/03/Biogas-postrojenje-Uputstvo-za-izradu-prethodnih-studija-opravanosti.pdf> [pristupljeno 12.03.2023]
- [11] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Leitfaden Biogas - Von der Gewinnung zur Nutzung, Rostock, [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Leitfaden\\_Biogas\\_web\\_V01.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Leitfaden_Biogas_web_V01.pdf) [pristupljeno 12.03.2023]
- [12] Regulation (EC) 1069/2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002, Official Journal of the European Union, 2009. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/1069/oj> [pristupljeno 21.03.2023]
- [13] Zakon o vodama „Službeni glasnik RS“, br. 30/2010, 9/2012, 101/2016, 95/2018, - dr. zakon. [https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_vodama.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_vodama.html) [pristupljeno 21.03.2023]
- [14] Aleksić, A., Gordić, D., Šušteršič, V., Babić, M. Application of fat trap for the wastewater treatment in margarine production, *Desalination and Water Treatment*, Vol.57, No.8, pp. 3466-3472, 2016. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.986529>
- [15] Šušteršič, V. *Tehnologije i postrojenja u pripremi vode za piće i tretmanu otpadnih voda*, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, 2014.
- [16] Aleksić, N., Šušteršič, V., Rakić, N., Gordić, D. Potrošnja energije i primena obnovljivih izvora energije u postrojenjima za tretman otpadnih voda, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 3, pp. 7-15, 2022, <https://doi.ub.kg.ac.rs/2022/10-46793-eee22-3-07a/>
- [17] Zakon o upravljanju otpadom “Službeni glasnik RS”, br. 36/2009, 88/2010, 95/2018- dr zakon 35/2023. [https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_upravljanju\\_otpadom.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_upravljanju_otpadom.html) [pristupljeno 21.03.2023]
- [18] Čurčić, S., Nikolić, D., Veskovski, M. Mala biogasna postrojenja, In 37. *Međunarodno savetovanje Energetika 2022., Zbornik apstrakata*, pp. 66, 21-24. Jun 2022, Zlatibor, Srbija

#### AUTORI/AUTHORS

**msr Nikola Stanković** - vodeći inženjer za zaštitu životne sredine za TE i TE-TO, Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“, [stankovic.nikola@eps.rs](mailto:stankovic.nikola@eps.rs), ORCID [0000-0002-8053-4488](https://orcid.org/0000-0002-8053-4488)  
**dr Srećko Čurčić** - red. prof., Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, [srecko.curcic@ftn.kg.ac.rs](mailto:srecko.curcic@ftn.kg.ac.rs), ORCID [0000-0002-6632-293X](https://orcid.org/0000-0002-6632-293X)