

# Određivanje biometanskog potencijala za različite vrste sirovina

## Determination of Biomethane Potential for Different Materials

Filip Kulić, Ilija Kamenko, Vladimir Bugarski, Perica Nikolić

Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

**Rezime** - Projektovanje i konstrukcija anaerobnih reaktora za širok interval različitih substrata iz jednog ili više izvora zahtevaju dobro razumevanje fizičkih i biohemijskih karakteristika svakog pojedinačnog substrata. Testovi biološkog ili biohemijskog metanskog potencijala (Biochemical Methane Potential - BMP), tj. analize anaerobne biorazgradljivosti, koriste se za određivanje anaerobne biorazgradljivosti i krajnjeg metanskog potencijala otpada ili biomase, kao i brzine biodegradacije u laboratorijskim uslovima. U ovom radu je prikazana upotreba automatizovanog sistema za testiranje potencijala za proizvodnju metana (Automated Methane Potential Test System - AMPTS). AMPTS je razvijen za on-line merenja ultra-niskih protoka biogasa i bio-metana proizvedenih iz anaerobne fermentacije bilo kojeg biološki razgradivog supstrata (i čvrstog i tečnog oblika) na laboratorijskom nivou. Konkretna merenja i analiza rezultata je izvršena za različite tipove sirovina: mulj iz prerađene otpadne vode, životinjski stajnjak, kukuruzna silaža, slama i njihove kombinacije.

**Ključne reči** - biogas, biometanski potencijal, sirovine

**Abstract** - The design and construction of anaerobic reactors for a wide range of substrates from one or more sources require a good understanding of each substrate's physical and biochemical characteristics. Tests of biological or biochemical methane potential (BMP), i.e., anaerobic biodegradability analyses, are used to determine anaerobic biodegradability and total methane potential of waste or biomass, as well as the velocity of the process in laboratory conditions. This paper presents the use of an automated methane production potential testing system (AMPTS). AMPTS was developed for online measurements of ultra-low flows of biogas and bio-methane produced from the anaerobic fermentation of any biodegradable substrate (both solid and liquid form) at the laboratory level. Specific measurements and analysis of the results were performed for different raw materials: sludge from treated wastewater, animal manure, corn silage, straw, and their combinations.

**Index Terms** - Biogas, Biomethane Potential, Raw Materials

### I UVOD

Biogas je vrsta gasovitog biogoriva koje se dobija anaerobnom razgradnjom ili fermentacijom organskih materija, uključujući đubrivo, kanalizacioni mulj, komunalni otpad ili bilo koji drugi biorazgradivi otpad (ostatak od biljne i

životinjske proizvodnje i prerade, organski otpad iz industrijske proizvodnje i sl.) [1]. Svaka od prethodno navedenih sirovina ima svoje osobenosti u pogledu potrebnih uslova za proizvodnju biogasa, a sam proces je strogo definisan u pogledu tehničko-tehnoloških uslova (vrsta mikroorganizama koji vrše fermentaciju, temperatura i pH vrednost) i veoma malo tolerantan na njihovu promenu. Iz prethodno navedenog se vidi da je kombinovanje različitih vrsta sirovina u jednom fermentoru veoma zahtevan posao i težak zadatak [2]. Mešanje različitih vrsta sirovina (koje zahtevaju npr, različite vrste bakterija za fermentaciju i različitu pH vrednost) u fermentoru, bez unapred poznate recepture (međusoban odnos komponenti za proizvodnju biogasa), može prouzrokovati različita neželjena stanja kao što je naglo i nekontrolisano razbuktavanje procesa ili njegovo potpuno zamiranje. Iz tog razloga je potrebno poznavati karakteristike potencijalnih sirovina za proizvodnju biogasa, kao i njihove međusobne uticaje kada se nađu zajedno u fermentoru [3]. Ovo je od posebnog značaja kada se ima u vidu da su fermentori veliki objekti, od po više hiljada m<sup>3</sup>, i da neoprezno rukovanje i eksperimentisanje može da dovede do velikih materijalnih i novčanih gubitaka i prouzrokuje značajno zagađenje životne sredine u okruženju u kome se nalaze.

Konvencionalni BMP test obezbeđuje preliminarnu indikaciju biorazgradljivosti podloge i njenog potencijala za proizvodnju metana putem anaerobne digestije. Metode zasnovane na merenju krajnjeg gasovitog proizvoda (bio-metana) su razvijene i registrovane kao standardizovane procedure na raznim eksperimentalnim sistemima. Normalna procedura za utvrđivanje metanogene aktivnosti podrazumeva inokulaciju određenog broja bočica koje sadrže malu količinu ciljnog medijuma anaerobnim inokulumom, inkubiranje na kontrolisanoj temperaturi, periodično proveravanje proizvodnje metana ručnim uzorkovanjem, određivanjem zapremine ispuštenog gasa i analizu sastava gasa primenom gasne hromatografije (GC). Nažalost, gore opisane procedure ne zahtevaju samo skupu laboratorijsku opremu (npr. GC), već su takođe veoma vremenski zahtevni i radno intenzivni zbog velikog broja flašica i sličnih posuda koje se obično koriste i prilično dugih perioda inkubacije (npr. preko jednog meseca). Proizvedeni biogas i njegov sadržaj metana mogu se meriti samo periodično, što onemogućava dobijanje zadovoljavajućih podataka radi potpunog razumevanja dinamike biološke degradacije sirovine za proizvodnju biogasa. Takođe, teško je izvršiti test na zadovoljavajući način u okviru normalne radne rutine laboratorije. Iz tog razloga, postoji potreba za visoko automatizovanim sistemom za test biometanskog

potencijala koji omogućava sakupljanje visokokvalitetnih podataka, koji su manje radno intenzivni i gde nije potrebna skupa laboratorijska oprema za izvođenje testa.

Pored finalnog rezultata koji čini ukupan biometanski potencijal određene sirovine, jako je bitna i dinamika odvijanja procesa. Komercijalna proizvodnja biogasa pored ukupne količine i kvaliteta biogasa zahteva i određenu dinamiku. Obzirom da se biogas proizvodi skoro istom dinamikom kako se i troši (slično kao i električna energija) potrebno je obezbediti tekuće dovoljne količine za pogon kogenerativnih postrojenja. Iz tog razloga je bitno poznavanje dinamike proizvodnje biogasa određene sirovine.

Poznavanje dinamike proizvodnje biogasa je jedno od najbitnijih ali ne i jedino pitanje od interesa za komercijalnu proizvodnju biogasa. Neka od bitnih pitanja su na primer: koji su optimalni uslovi za rad postrojenja? Kolika je maksimalna količina i brzina proizvodnje biogasa? Da li se u fermentoru mogu kombinovati različite vrste sirovina? Ako mogu, koje su to sirovine, koje su količine (međusobni odnosi) pojedinih sirovina i pod kojim uslovima se one mogu mešati? Kako da se optimizuje proizvodnja u dužem vremenskom periodu (kroz različite sezone) i da se izvuče maksimalna korist (profit) iz postrojenja? Odgovori na ova ali i mnoga druga pitanja se mogu dobiti kroz primenu laboratorijskog postrojenja za proizvodnju biogasa.

U ovom radu je prikazana upotreba automatizovanog sistema za testiranje potencijala za proizvodnju metana (Automated Methane Potential Test System - AMPTS). AMPTS je razvijen za online merenja ultra niskih protoka biogasa i biometana proizvedenih iz anaerobne fermentacije bilo kojeg biološki razgradivog supstrata (i čvrstog i tečnog oblika) na laboratorijskom nivou. Konkretna merenja i analiza rezultata je izvršena za različite tipove sirovina: mulj iz prerađene otpadne vode, životinjski stajnjak, kukuruzna silaža, slama, drvo i njihove kombinacije.

## II PRIPREMA LABORATORIJSKOG POSTROJENJA ZA ODREĐIVANJE BIOMETANSKOG POTENCIJALA

Sa stanovišta proizvođača biogasa, razumevanje potencijala sirovine za proizvodnju metana i njenog dinamičkog profila biološke degradacije značajno utiče na izbor organskog otpada / materijala za fermentaciju, kao i bolje razumevanje kvaliteta sirovog gasa proizvedenog u postrojenju za proizvodnju biogasa. Ovo poslednje za posledicu ima uticaj na ukupnu količinu kvalitetnijeg biometana koji se može proizvesti u komercijalnom biogasnom postrojenju. Razumevanje metanskog potencijala supstrata ima direktan uticaj na profitabilnost komercijalnog proizvođača biogasa, kao i na količinu proizvedenog biometana.

Test sistem za određivanje BMP (Slika 1) (Automated Methane Potential Test System - AMPTS) se sastoji iz tri celine. Prvi deo (jedinica A), u kome se vrši inkubacija je termostatsko vodeno kupatilo u kome se nalazi 15 staklenih fermentora zapremine 500 ml opremljenih poklopcima sa elektromotornim agitatorima. Drugi deo (jedinica B) je CO<sub>2</sub> apsorpciona jedinica koja se sastoji od 15 staklenih bočica zapremine 100 ml. Treći deo (jedinica C) je uređaj za merenje zapremine proizvedenog biogasa koji se sastoji od rezervoara za vodu u kome se nalazi 15

ćelija za merenje protoka i procesorske jedinica za upravljanje procesom i akviziciju podataka.



**Slika 1.** Deo laboratorijske opreme na kojoj su vršeni eksperimenti

AMPTS prati iste principe merenja kao i konvencionalni testovi metanskog potencijala [4–6], koji rezultate analize u potpunosti čini uporedivim sa standardnim metodama. Međutim, sa AMPTS, analiza i evidentiranje podataka su potpuno automatski tokom dugog perioda inkubacije, što značajno smanjuje zahteve za vremenom i radom tokom provođenja analize. Osim toga, može se dobiti visok kvalitet podataka koji se mogu koristiti za izdvajanje kinetičkih informacija o procesu degradacije. Ovo će zauzvrat omogućiti mnogo bolje razumevanje dinamike degradacije specifičnog supstrata biomase, što dalje dovodi do poboljšanog odvijanja procesa.

Postavka eksperimentalnog laboratorijskog postrojenja može se podeliti u tri celine: A, B i C, kako je navedeno u prethodnom tekstu.

U jedinici za inkubaciju uzorka (jedinica A), 15 reaktora koji sadrže male količine uzorka sa anaerobnim inokulumom se inkubiraju na željenoj temperaturi. Medij u svakoj bočici se meša lagano rotirajućom mešalicom. Biogas se kontinualno proizvodi, što je parametar koji se koristi za procenu aktivnosti biometanacije unutar svake bočice.

U jedinici za apsorpciju CO<sub>2</sub> (jedinica B), biogas koji se proizvodi u svakom reaktoru prolazi kroz pojedinačnu bočicu koja sadrži alkalni rastvor. Nekoliko frakcija kiselih gasova, kao što su ugljen dioksid (CO<sub>2</sub>) i vodonik sulfid (H<sub>2</sub>S,) zadržane su hemijskom interakcijom sa natrijum hidroksidom (NaOH), dozvoljavajući samo da metan (CH<sub>4</sub>) prođe do uređaja za merenje zapremine gasa. Indikator pH se dodaje u svaku bočicu za kontrolu kapaciteta vezivanja kiseline za rastvor.

U uređaju za merenje zapremine gasa (jedinica C), zapremina metana (CH<sub>4</sub>) koji se oslobađa iz jedinice B se meri uređajem za merenje protoka vlažnog gasa sa višestrukim sistemom mernih ćelija (15 ćelija). Ovaj merni uređaj radi u skladu sa principom istiskivanja tečnosti i uzgona te može pratiti ultra niske protoke gasa; digitalni impuls se generiše kada određena zapremina gasa teče kroz uređaj. Integrisani mikroprocesorski sistem za

prikupljanje podataka se koristi za snimanje, prikaz i analizu rezultata [7].

Ovako koncipirana i opremljena laboratorija je u mogućnosti da u potpunosti reprodukuje svaki proces proizvodnje biogasa, detektuje nepravilnosti i probleme i proizvede preporuke i recepture za poboljšanje i deluje savetodavno u pravcu optimalne proizvodnje. Sve ovo omogućuje namenski birana i nabavljena oprema ali i petnaest fermentora koji svaki za sebe predstavljaju nezavisan sistem za proizvodnju biogasa.

Pojedinačni eksperimenti su trajali od jedne do osam nedelja u zavisnosti od toga kojom se dinamikom odvijao proces te od ostalih uslova koji su uticali na duže ili kraće trajanje procesa.

Korištene su sledeće vrste sirovina: mulj iz prerade otpadnih voda, otpadna voda iz procesa prerade, kukuruzna silaža, pšenična slama, čvrsti goveđi stajnjak, drvena sečka, zelena i otpadna biomasa (trava, lišće).

Cilj istraživanja je bio ispitivanje mogućnosti izrade receptura za dopunjavanje industrijskog fermentora, koji trenutno koristi isključivo mulj iz prerade komunalnih otpadnih voda, drugim vrstama sirovina. U tu svrhu su ispitivane sledeće vrste sirovina i njihove kombinacije: kukuruzna silaža, biorazgradivi otpad (prehrambeni otpad), drvo (drvena sečka), silaža + drvo u odnosima 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 i 5:1, čvrsti goveđi stajnjak, stajnjak + silaža u odnosu 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, slama, slama + silaža u odnosu 1:3 i 1:1.

Svi eksperimenti su vršeni pod istim uslovima. Uslovi su usvajani u skladu sa parametrima realnog procesa u industrijskom fermentoru koji za sirovinu koristi mulj iz prerade komunalnih otpadnih voda. Temperatura u fermentorima je bila 35°C i pritisak 30 mbarg. Mešanje supstrata je vršeno mehaničkom mešalicom brzine obrtanja 48 o/min, sa periodima rada od 120 sec i pauzom 30 sec između dva uključivanja. Pri svakom uključivanju je menjan smer obrtanja mešalice. Pretpostavljeni sadržaj metana (CH<sub>4</sub>) je bio 60%. Svi su fermentori bili punjeni do 2/3 kapaciteta. Fermentori zapremine 600 ml su punjeni sa 400 ml supstrata dok su fermentori zapremine 10 l bili punjeni sa 6,6 l supstrata. Ispiranje sistema pre pokretanja eksperimenata radi ostvarivanja anaerobnih uslova je vršeno čistim azotom N<sub>2</sub> u trajanju od 60 sec. Tokom vršenja eksperimenata vršena je temperaturna i kompenzacija pritiska tako da su svi rezultati svedeni na 0°C i 1000 mbar. Inokulum za sve procese je bio aktivni mulj iz industrijskog fermentora.

Inokulum je materijal koji u sebi sadrži aktivne materije (bakterije) i služi za pokretanje procesa fermentacije u supstratu. Inokulum je u ovom slučaju mulj koji predstavlja ostatak nakon prerade komunalnih otpadnih voda izvađen iz fermentora (aktivni mulj). Mulj koji predstavlja ostatak nakon prerade komunalnih otpadnih voda pre ubacivanja u fermentor se naziva „sirovi mulj“.

### III EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE BIOMETANSKOG POTENCIJALA

Pokretanje eksperimenata za određivanje potencijala biogasa podrazumeva određene preliminarne pripreme radnje. Najvažniji pripremi rad je određivanje ukupne količine

organske suve materije u sirovini. Tabela 1 sadrži podatke o ukupnoj količini organske suve materije (VS – Volatile Substrat) u korišćenim sirovinama. U tabeli su prikazani minimalni (VS<sub>min</sub> [%]), maksimalni (VS<sub>max</sub> [%]) i prosečan (VS<sub>avg</sub> [%]) relativni sadržaj organske suve materije u sirovini. Podaci su utvrđeni eksperimentalno u laboratoriji i odnose se na specifične uzorke koji su korišćeni za realizaciju eksperimenata za određivanje biometanskog potencijala. To je razlog zašto određene količine odstupaju od uobičajenih teorijskih i tabelarnih vrednosti u literaturi. Za analizirane sirovine utvrđena je standardna devijacija, odnosno odstupanje vrednosti za pojedinačne uzorke od izračunate srednje vrednosti sadržaja organske suve materije. Vidi se da je standardna devijacija manja od 5%, što ukazuje na ujednačen kvalitet upotrebljenih sirovina u pogledu sadržaja organske suve materije.

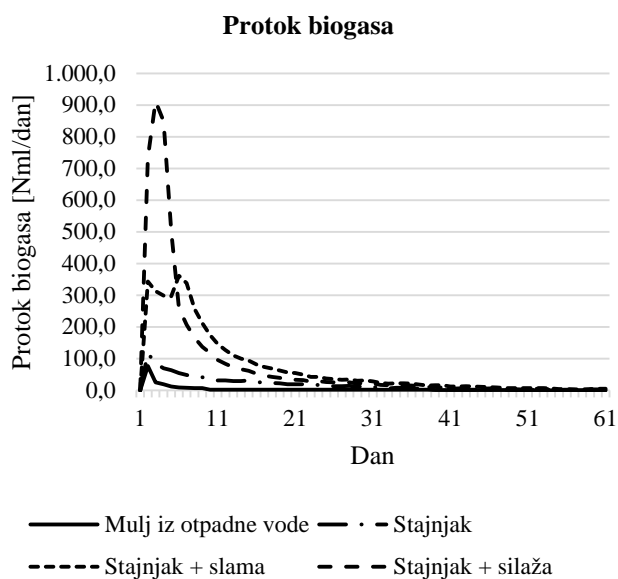
Na osnovu rezultata izvedenih eksperimenata formirana je tabela 2 koji sadrži podatke o biometanskom potencijalu pojedinih sirovina i njihovih kombinacija za proizvodnju biogasa: minimalna i maksimalna specifična proizvodnja biogasa i sadržaj metana (CH<sub>4</sub>) za različite sirovine i njihove kombinacije.

**Tabela 1.** Ukupna količina organske suve materije (VS) u korišćenim sirovinama

No.	Sirovina	VS <sub>min</sub> [%]	VS <sub>max</sub> [%]	VS <sub>avg</sub> [%]	Standardna devijacija [%]
1.	Mulj iz biogasnog postrojenja	2,1%	2,6%	2,4%	0,4%
2.	Mulj iz prerade otpadne vode	1,1%	1,5%	1,3%	0,3%
3.	Kukuruzna silaža	29,8%	32,4%	31,1%	1,8%
4.	Biorazgradivi otpad (prehrambeni otpad)	8,0%	12,0%	10,0%	2,8%
5.	Drvo (drvena sečka)	65,0%	72,0%	68,5%	4,9%
6.	Silaža + drvo u odnosu 1:1	47,4%	52,2%	49,8%	3,4%
7.	Silaža+drvo u odnosu 2:1	41,5%	45,6%	43,6%	2,9%
8.	silaža+drvo u odnosu 3:1	38,6%	42,3%	40,5%	2,6%
9.	silaža+drvo u odnosu 4:1	36,8%	40,3%	38,6%	2,5%
10.	silaža+drvo u odnosu 5:1	35,7%	39,0%	37,3%	2,4%
11.	Čvrsti goveđi stajnjak	13,6%	19,0%	16,3%	3,8%
12.	stajnjak + silaža u odnosu 1:1	21,7%	25,7%	23,7%	2,8%
13.	stajnjak + silaža u odnosu 2:1	19,0%	23,5%	21,2%	3,2%
14.	stajnjak + silaža u odnosu 3:1	17,7%	22,4%	20,0%	3,3%
15.	stajnjak + silaža u odnosu 4:1	16,8%	21,7%	19,3%	3,4%
16.	slama	41,6%	46,5%	44,1%	3,5%
17.	slama + silaža u odnosu 1:3	32,8%	35,9%	34,3%	2,2%
18.	slama + silaža u odnosu 1:1	35,7%	39,5%	37,6%	2,7%

**Tabela 2.** Minimalna i maksimalna specifična proizvodnja biogasa i sadržaj metana za različite sirovine i njihove kombinacije

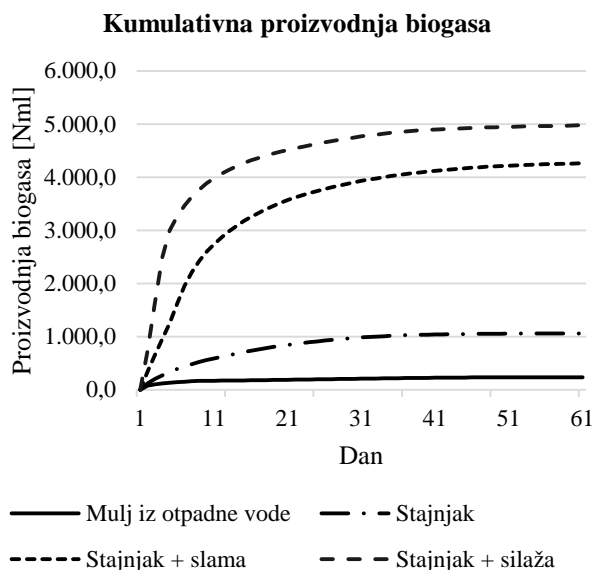
No.	Sirovina	Proizvodnja biogasa [Nml/gVS]	Sadržaj CH <sub>4</sub> [%]
1.	Mulj iz biogasnog postrojenja	13,1 – 21,4	62 - 69
2.	Mulj iz prerade otpadne vode	17,9 – 32,4	57 – 65
3.	Kukuruzna silaža	17,8 – 41,9	59 - 68
4.	Biorazgradivi otpad (prehrambeni otpad)	15,3 – 15,5	51 – 59
5.	Drvo (drvena sečka)	9,6 – 9,8	55 - 57
6.	Silaža + drvo u odnosu 1:1	10,5 – 11,3	54 - 59
7.	Silaža+drvo u odnosu 2:1	10,6 – 12,6	55 – 61
8.	silaža+drvo u odnosu 3:1	12,4 – 24,4	57 - 65
9.	silaža+drvo u odnosu 4:1	26,8 - 35,7	61 - 66
10.	silaža+drvo u odnosu 5:1	28,8 - 31,3	58 - 68
11.	Čvrsti goveđi stajnjak	38,4 – 52,6	63 - 70
12.	stajnjak + silaža u odnosu 1:1	23,9 - 24,5	55 - 66
13.	stajnjak + silaža u odnosu 2:1	26,8 – 36,2	58 - 67
14.	stajnjak + silaža u odnosu 3:1	28,8 – 35,1	61 - 69
15.	stajnjak + silaža u odnosu 4:1	24,4 – 33,9	60 - 66
16.	slama	15,1 - 21,1	63 - 67
17.	slama + silaža u odnosu 1:3	24,2 – 29,3	61 - 65
18.	slama + silaža u odnosu 1:1	15,8 – 20,0	57 - 68



**Slika 2.** Protok biogasa tokom trajanja eksperimenta

Slika 2 prikazuje dinamiku proizvodnje biogasa pojedinih sirovina prikazani u normalizovanim ml dnevno [Nml/dan]. Prikazane su proizvodnje za mulj iz otpadne vode, čvrsti goveđi

stajnjak, mešavinu stajnjaka i kukuruzne silaže 1:1 i mešavinu stajnjaka i pšenične slame u odnosu 1:1. Grafikoni pokazuju da je maksimalna proizvodnja biogasa u prvih pet od sedam dana.



**Slika 3.** Kumulativna proizvodnja biogasa tokom trajanja eksperimenta

Slika 3 prikazuje kumulativni dijagram proizvodnje biogasa. Prikazane su proizvodnje za mulj iz otpadne vode, čvrsti goveđi stajnjak, mešavinu stajnjaka i kukuruzne silaže 1:1 i mešavinu stajnjaka i pšenične slame u odnosu 1:1. Sa grafikona se može videti da je najveći deo potencijala sirovine iskorišćen u prvih dvadeset dana fermentacije i da posle toga produkcija biogasa značajno opada.

Posmatrajući slike 2 i 3 može se primetiti da je mulj dobijen preradom komunalne otpadne vode veoma brzo izgubio potencijal, odnosno završio fermentaciju. To je i logično pošto je sadržaj organske suve materije u njemu i najniži, svega oko 2,4%, za razliku od čvrstog goveđeg stajnjaka 16,3% ili kombinacije stajnjaka i silaže u odnosu 1:1 sa čak 23,7%.

Tabela 3 prikazuje ukupnu proizvodnju biogasa za četiri vrste sirovina: mulj od prečišćavanja otpadnih voda, čvrsti goveđi stajnjak, mešavina goveđeg stajnjaka sa slamom i kukuruznom silažom. Eksperimenti su trajali 62 dana. Najbolja proizvodnja je bila za mešavinu čvrstog goveđeg stajnjaka i kukuruzne silaže, a najmanju proizvodnju davao je mulj iz otpadnih voda.

**Tabela 3.** Ukupna proizvodnja biogasa za pojedine vrste sirovina

Sirovina	Mulj iz otpadnih voda	Čvrsti goveđi stajnjak	Stajnjak + slama	Stajnjak + silaža
VSavg [%]	2,4	16,3	28,8	23,7
Proizvodnja biogasa [Nml]	234,3	1.061,7	4.262,6	4.976,3

U skladu sa rezultatima prikazanim na grafikonima 2 i 3 i u tabeli 3 za očekivanje je da sirovina sa većim sadržajem suve organske materije ima i veći BMP, odnosno daje veću količinu biogasa po

jedinici suve organske materije. Međutim, to nije slučaj. Ako se pogleda tabela 1, može se primetiti da drvena sečka ima najveći sadržaj suve organske materije, prosečno čak 68,5% a da, prema tabeli 2, ima najmanji BMP, svega oko 9,7 [Nm/gVS]. Ovo je posledica velikog sadržaja celuloze koja bez prethodne pripreme ne može adekvatno biti prerađena u fermentoru. Takođe, značajne probleme u funkcionisanju fermentora može da prouzrokuje ubacivanje veće količine sveže biljne mase (pokošena trava, orezane grane drveća sa zelenim lišćem, ostaci čišćenja vodotokova...) koja sadrži veliku količinu azota što menja pH vrednost u fermentoru i utiče na osetljivu biološku ravnotežu procesa jer pojavljivanje veće količine amonijaka (NH<sub>4</sub>) može značajno da pveća pH vrednost supstrata.

#### IV ZAKLJUČAK

Obnovljivi izvori energije i održivi razvoj kao tema se susreću na svakom koraku. O tome se priča puno, zna nešto a koristi jako malo. Proizvodnja biogasa je veoma atraktivna u područjima intenzivne poljoprivredne proizvodnje, gde postoje velike količine biološkog otpada iz biljne i životinjske proizvodnje kao i značajne površine neplodnog zemljišta pogodnog za uzgoj energetskih biljnih kultura (npr. miscantus). U okviru ovog rada je prikazano određivanje biometanskog potencijala pojedinih sirovina za proizvodnju biogasa i njihovih kombinacija.

Analizom prikazanih rezultata može se zaključiti da prilaz problematici proizvodnje biogasa iz pojedinih sirovina nije jednostavan i jednoznačan. Nije moguće unapred postaviti kvalitetnu proceduru i recepturu za rad pojedinačnog fermentora bez poznavanja osobina i kvaliteta konkretnih sirovina koje će se koristiti za proizvodnju biogasa. Pre pokretanja procesa fermentacije potrebno je izvršiti analizu biometanskog potencijala i spremiti recepturu za konkretno biogasno postrojenje i konkretne sirovine koje će se u njemu koristiti. Ako se procenjuje biohemijski metanski potencijal supstrata, najznačajniji parametar za procenu je količina proizvedenog gasa po gramu suve materije. Iz tog podatka se jasno vidi koja je sirovina u kojoj meri pogodna za proizvodnju.

Pokretanje procesa fermentacije je prvi deo celog procesa. Drugi deo je ostvarivanje kvaliteta, kvantiteta i dinamike proizvodnje biogasa, odnosno proizvodnja dovoljne količine biogasa zadovoljavajućeg kvaliteta u realnom vremenu, prema zahtevima potrošnje. Dakle, pored recepture u smislu količina i međusobnih odnosa sirovina za proizvodnju biogasa potrebno je definisati i dinamiku doziranja sirovina u fermentor kako bi se proizvodnja biogasa održala na zadovoljavajućem nivou a sa druge strane sprečilo da supstrat pre završetka fermentacije izlazi iz fermentora.

Rezultati ovog rada su u skladu sa poznatom teorijom i praksom funkcionisanja i eksploatacije biogasnih postrojenja. Ipak, mogu se izvući i neke specifičnosti kao što su procenat suve organske materije kod pojedinih sirovina ili ukupna proizvodnja biogasa po jedinici suve organske materije. Te specifičnosti su posledica konkretne lokacije i biologije biogasnog postrojenja. Biogasno postrojenje se snabdeva sirovinama iz svog okruženja koje su specifičnog kvaliteta za određeno područje. Takođe, unutar

fermentora se uspostavlja proces koji je posledica određene biološke ravnoteže (temperatura, vrsta i količina bakterija, pH vrednost...) koja je specifična za svaki fermentor.

Drugim rečima, opšta metodologija je dobro poznata ali je svako biogasno postrojenje po nečemu specifično i jedinstveno, te su partikularna podešavanja potrebna i poželjna.

Ovaj rad je pokušaj da se skrene pažnja na potrebu i koristi od analize kvaliteta sirovina, njihovog biometanskog potencijala i kvaliteta biogasa. Po mogućstvu, pre donošenja odluke o izgradnji komercijalnog biogasnog postrojenja.

#### ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz projekat broj 451-03-68/2022-14/ 200156 "Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Atelge, M., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D., Chang, S., Atabani, A., Al-Muhtaseb, A., Unalan, S. Biogas Production from Organic Waste: Recent Progress and Perspectives, Waste and Biomass Valorization Vol. 11, pp. 1019-1040, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>
- [2] Almasi, F., Soltanian, S., Hosseinpour, S., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Advanced Soft Computing Techniques in Biogas Production Technology. In: Tabatabaei M, Ghanavati H, editors. Biogas: Fundamentals, Process, and Operation, Cham: Springer International Publishing; 2018, p. 387-417. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77335-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77335-3_15)
- [3] Schnürer, A., Biogas Production: Microbiology and Technology. In: Anaerobes in Biotechnology, Hatti-Kaul R, Mamo G, Mattiasson B, editors. Cham: Springer International Publishing; 2016, p. 195-234. [https://doi.org/10.1007/10\\_2016\\_5](https://doi.org/10.1007/10_2016_5)
- [4] Ohemeng-Ntiamoah, J., Datta, T., Perspectives on variabilities in biomethane potential test parameters and outcomes: A review of studies published between 2007 and 2018, Science of The Total Environment, Vol. 664, pp. 1052-62, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.02.088>
- [5] Badshah, M., Lam, D., Liu, J., Mattiasson, B., Use of an automatic methane potential test system for evaluating the biomethane potential of sugarcane bagasse after different treatments, Bioresource Technology, Vol. 114, pp. 262-269, 2012. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.02.022>
- [6] Casaretto, R., Thomsen, F., Born, J., Holm-Nielsen, J., Determination of biogas process efficiency - a practice-oriented alternative to the biomethane potential test, Bioresource Technology Reports, Vol. 7:100201, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2019.100201>
- [7] Bugarski, V., Nikolić, P., Kulić, F., Matić, D., Kamenko, I., Trends in modern SCADA systems, Journal on Processing and Energy in Agriculture, Vol. 19, No. 3, pp.147-150, 2015. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2015/1821-44871503147B.pdf> [pristupljeno 10.03.2022]

#### AUTORI/AUTHORS

**dr Filip Kulić** - redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, kulić@uns.ac.rs, ORCID [0000-0002-0982-3017](https://orcid.org/0000-0002-0982-3017)  
**msr Ilija Kamenko**, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, kamenko@uns.ac.rs, ORCID [0000-0003-3352-7637](https://orcid.org/0000-0003-3352-7637)  
**dr Vladimir Bugarski** - docent., Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, bugarski@uns.ac.rs, ORCID [0000-0001-6286-9287](https://orcid.org/0000-0001-6286-9287)  
**msr Perica Nikolić**, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, npero@uns.ac.rs, ORCID [0000-0001-7709-8139](https://orcid.org/0000-0001-7709-8139)