

MODELOVANJE I ISPITIVANJE BIOGASNE ELEKTRANE – PRIMER “PIK MORAVICA”**BIOGAS POWER PLANT MODELLING AND TESTING – CASE STUDY “PIK MORAVICA”**Igor Pušin, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ENERGETIKA, ELEKTRONIKA I TELEKOMUNIKACIJE**

Kratak sadržaj – U radu je razmatrana primena biomase kao obnovljivog izvora energije, obrađena je primena biogasa sa opisom biogasnog postrojenja „PIK Moravica“. Poređenje rezultata merenja izlazne struje napona i snage sa simulacijama i kriterijumima za priključenje malih elektrana su dati.

Ključne reči: *Obnovljivi izvori, Biogas, Kvalitet električne energije.*

Abstract – *The paper discusses the usage of biomass as a renewable energy source. Use of biogas is treated and the description of the biomass plant "PIK Moravica" is presented. Comparison of the output current, voltage and power measurement results with simulations and criteria for connection of small power plants are given.*

Keywords: *Renewable energy, Biogas, Power quality*

1. UVOD

Prirodni oblici energije se dele na neobnovljive (fosilna goriva, nuklearna goriva) i obnovljive (energija Sunca, vodotokova, vetra, mora i okeana, biomasa) izvore energije. Danas se teži primeni obnovljivih izvora i njihovoj transformaciji u električnu energiju iz razloga njihove sveprisutnosti, neiscrpnosti, usklađenosti sa prirodom (ne utiču na klimatske promene) i dr., a istovremeno zbog visokog kvaliteta i efikasnosti (preko 95%) korišćenja električne energije. Međutim, njih karakteriše promenljivost (na primer: brzina vetra ili intenzitet solarnog zračenja mogu se promeniti jako brzo), manja gustina snage, nemogućnost skladištenja (vetar, solar) ili visoka cena skladištenja (voda, biomasa), kompleksnost i cena transporta, viša cena izlazne energije, te nivo investicije za izgradnju energetskih postrojenja za transformisanje energije. Prema dosadašnjim procenama, najveći potencijal od obnovljivih izvora energije u Srbiji ima energija iz biomase i on se procenjuje na oko 60% ukupnog [1]. U biomasu spadaju biorazgradivi delovi nusproizvoda drvne industrije, otpaci i ostaci biološkog porekla iz poljoprivrede (biljnog i životinjskog porekla), kao i industrijskog i komunalnog otpada. U Vojvodini je dostupna poljoprivredna biomasa, koja se najčešće koristi za dobijanje biogasa [2].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, red. prof.

Pod biogasom se podrazumeva gas sa velikom količinom metana, koji nastaje fermentacijom organskih supstanci, kao što su stajnjak, kukuruzna silaža, slama i sl., otpaci od hrane, ili bilo koji drugi biorazgradivi materijali pri anaerobnim uslovima. U odnosu na fosilna goriva, prednost biomase (biogasa) je velika efikasnost transformacije u električnu i toplotnu energiju (preko 80%), znatno manja emisija štetnih gasova, a mogućnost daljeg korišćenja otpadnih materijala [3].

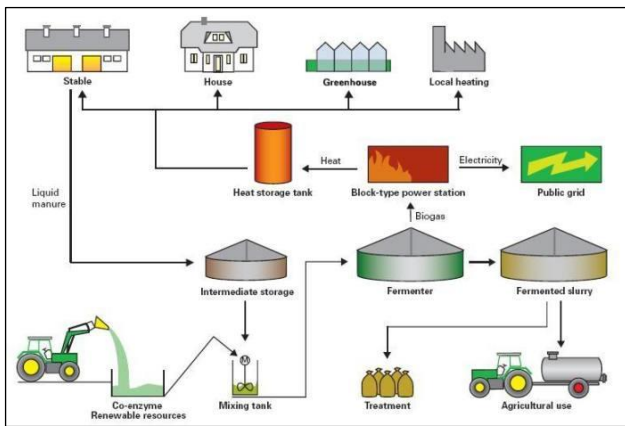
U radu će biti opisan način rada biogasnog agregata za dobijanje električne energije i izveden njegov Matlab/Simulink računarski model. Biće predstavljeni i diskutovani rezultati merenja parametara električne energije na izlazu biogasne elektrane „PIK Moravica“ i upoređeni sa standardima kvaliteta električne energije, koje elektrana mora da zadovolji kod priključenja na javnu distributivnu mrežu.

2. DOBIJANJE BIOGASA

Kod biogasnih postrojenja rezultat procesa anaerobne digestije je nastanak biogasa i digestata. Biogas je mešavina gasova čiju zapreminu čine oko dve trećine metan i jednu trećinu ugljen-dioksid. Postoje različite tehnologije za dobijanje biogasa, to jest različite tehnologije fermentacije, različite vrste fermentora, mešanja, skladištenja biogasa i na kraju iskorišćenje dobijenog biogasa. Biogas ima relativno veliku toplotnu moć, što omogućava različite primene kao izvor energije.

Na slici 1 prikazan je kompletan proces dobijanja biogasa od anaerobne digestije tečnog stajnjaka sa farme goveda, fermentacije i dobijanja biogasa (skuplja se u gasnom rezervoaru), njegovog sagorevanja u kogeneracijskoj jedinici (motor-generator postrojenju za generaciju električne i toplotne energije), njenu predaju električnoj mreži, odnosno distribuciju za grejanje raznih objekata, do načina daljeg korišćenja ostataka fermentacije (iskorišćen supstrat može se dalje upotrebiti kao đubrivo i vraćati na oranicu).

Najefikasniji način korišćenje biogasa predstavlja proizvodnja električne i toplotne energije u kogeneracijskom postrojenju. Ono se sastoji od motora sa unutrašnjem sagorevanjem i električnog generatora. Na generator (obično sinhrona mašina) prenosi se mehanička energija dobijena na vratilu motora. Savremeni motori sa unutrašnjim sagorevanjem imaju stepen iskorišćenja oko 40%, ali je i tada na raspolaganju velika količina toplotne energije. Iskorišćavanje toplotne energije se ostvaruje preko rashladne tečnosti. Topla voda se koristi za zagrevanje fermentora i drugih objekata.



Slika 1. Šema procesa anaerobne digestije tečnog stajnjaka sa farme [4]

3. BIOGASNA ELEKTRANA "PIK MORAVICA"

3.1. Opšte o firmi

Poljoprivredno-industrijski kombinat „PIK Moravica“ je osnovalo firmu „Gakovac“ d.o.o., kao posebnu firmu za malu elektranu. „PIK Moravica“, a takođe i „Gakovac“ d.o.o. nalaze se u Staroj Moravici u opštini Bačka Topola. „PIK Moravica“ bavi se ratarstvom na površini od 3.500 ha i stočarstvom tovom junadi kapaciteta oko 2.000 grla. Da bi iskoristili ostaci primarne proizvodnje i stočarstva (slama, kukuruzovina, stajnjak, i dr.), kao najpogodnije rešenje urađeno biogasno postrojenje („Gakovac“ d.o.o.). Ova mala elektrana na biogas ima zadatak da proizvodi biogas iz biomase i konačno električnu i toplotnu energiju. Električnu energiju prodaje Elektrodistribuciji u kategoriji povlašćenih proizvođača, a višak toplotne energije iz rada gasnog motora se koristi za grejanje fermentora i supstrata sa planom dalje distribucije prema obližnjim objektima. Upravljanjem biomasom na ovaj način došlo se do velikih ušteda, a pored toga i dobijeno đubrivo je kvalitetnije za dalju ratarsku proizvodnju.

3.2. Tehnički parametri

Proizvodnja biogasa sastoji se od tri glavna procesa: pripremanje supstrata za doziranje, razgradnja i tretman ostatka. Glavni supstrat predstavlja stajnjak sa farme junadi, kokošiji stajnjak (koji se kupuje sa druge farme), kao i kukuruzna i pšenična silaža iz sopstvene proizvodnje. U biogasnoj elektrani se nalaze dva glavna fermentora, i jedan postfermentor, a vreme zadržavanja supstrata u ovim fermentorima je oko 30-60 dana.

Materijalni bilans ulaznih sirovina, proizvodnja biogasa, proizvodnja električne i toplotne energije data je u tabelama 1 i 2. Elektrana ima dve kogeneracijske jedinice, koje se sastoje od biogasnih motora sa unutrašnjim sagorevanjem i od generatora izlazne snage blizu 1 MW. U tabeli 3 predstavljeni su ključni materijalni bilansi proizvodnje biogasa, kao dobijene električne i toplotne energije na godišnjem nivou [5].

4. MODEL SINHRONOG GENERATORA

Na slici 2 se može videti uprošćen model jedne kogeneracijske jedinice (CHP), to jest blok dijagram motora i generator [6]. Na gornjem delu slike mogu se videti blokovi vezani za motor sa unutrašnjem sagorevanjem (može biti dizel, prirodni gas, biogas, itd).

Na donjem delu slike se vidi jedan veliki blok koji sam po sebi obuhvata sve delove sinhronog generatora, a na izlazu generatora je električna mreža ili potrošač.

Matematički model sinhronog generatora za biogasnu elektranu „PIK Moravica“ napravljen je u Matlab/Simulink okruženju, gde su osnovni podaci uneti na osnovu natpisne pločice sinhronog generatora u elektrani „Gakovac“. Na slikama 3 i 4 mogu videti odzivi za struju i napon dobijeni računarskim simulacijama.

Tabela 1. Dimenzije za pojedinačne objekte biogasne elektrane [5]

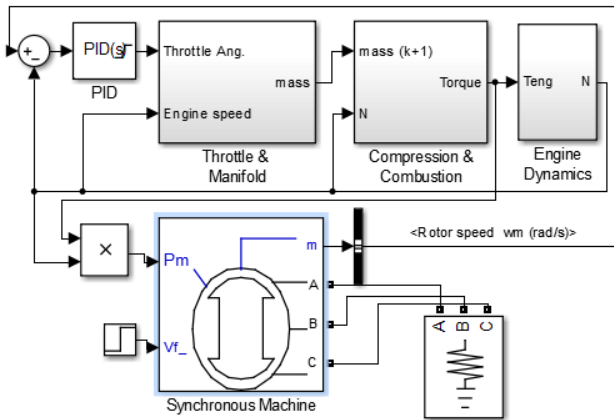
r. br.	OBJEKAT	Prečnik [m]	Zapremina [m ³]	Max. kol. [m ³]
1	Fermentor F1	24	3843	3250
2	Fermentor F2	24	3843	3250
3	Postfermentor F3	32	6832	5300
4	Mešna Jama MJ1	8	150	145
5	Dozator silaže		50	50
6	Mešna Jama MJ1	8	150	145
7	Dozator stajnjaka		20	20
8	Separatna jama JS	8	150	145

Tabela 2. Godišnji plan proizvodnje gasa i potrošnje sirovina [5]

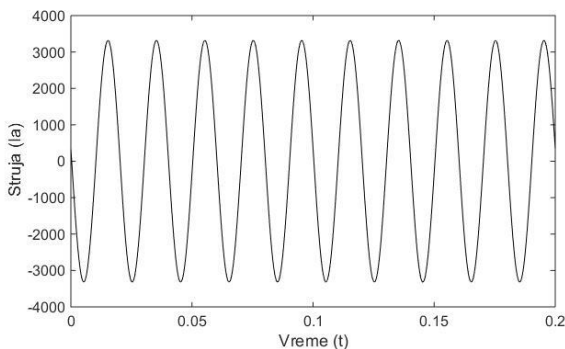
SIROVINA	Godišnja potrošnja [t]	% metana	Gasa po planu [m ³]
Kukuruzna silaža	20000	52,1	4.935.291
Pšenična silaža	1620	57,2	348.585
Otpad iz silosa i mešaone	1440	53,9	817.085
Ražena silaža	1620	56,5	317.027
Govedi stajnjak	18000	53,8	2.068.855
Živinski stajnjak	3600	58,4	389.900
UKUPNO planirano gasa		55	8.876.742
Ukupno potrebno za 8500h x 2 x 522		55	8.874.000

Tabela 3. Materijalni bilans izlaznih produkata [5]

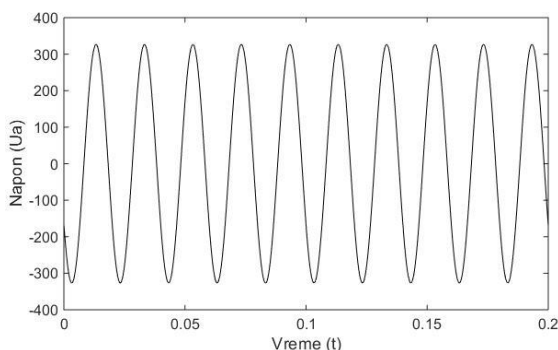
Proizvodnja biogasa:	8.874.000 Nm ³ /god.
Metan iz biogasa (55 %)	4.880.700 Nm ³ /god.
Proizvodnja električne energ.	17.748 MWh/god.
Proizvodnja toplotne energije	18.165 MWh/god.
Sopstvene potrebe el. energija	1.420 MWh/god.
Sopstvene potrebe topl. energ.	1.728 MWh/god.
Raspoloživa el. energija	16.328 MWh/god.
Raspoloživa topl. energija	16.437 MWh/god.



Slika 2. Simulacioni model kogeneracijskog postrojenja (biogasni motor i sinhroni generator) [6]



Slika 3. Izlazna (fazna) struja prema simulacijama.



Slika 4. Izlazni (fazni) napon prema simulacijama

5. REZULTATI MERENJA

Merenje parametara kvaliteta električne energije na izlazu biogasne elektrane urađeno je profesionalnim mernim instrumentom Chauvin Arnoux CA-8332 u skladu sa zahtevima standarda SRPS EN 50160. Karakteristični rezultati merenja prikazani su na slikama 5-8.

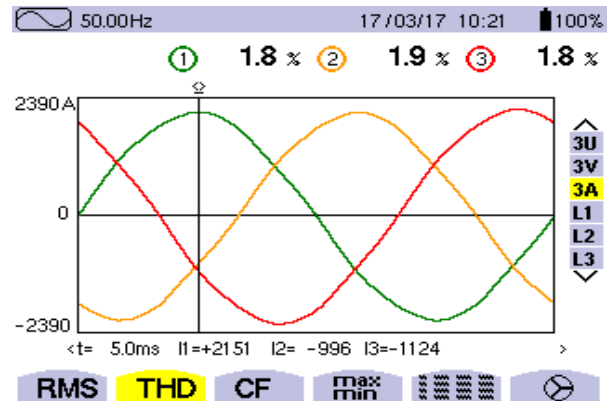
5.1. Trenutne vrednosti napona i struje

Na slikama 5 i 6 prikazane su tri linijske struje i napona, po priključenju mernog instrumenta. Naponi i struje su sinusoidalni sa malim izobličenjem, što se poklapa i sa rezultatima računarskih simulacija.

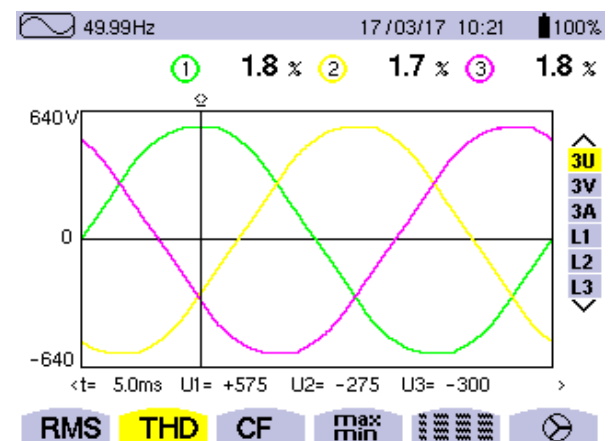
5.2. Statistički rezultati merenja harmonika

Na slikama 7 i 8 prikazan je harmonijski sastav izlaznog napona i struje. Vide se maksimalne i srednje vrednosti, kao i vrednosti koje nisu premašene tokom 95% vremena za ukupno harmonijsko izobličenje napona i struje i za

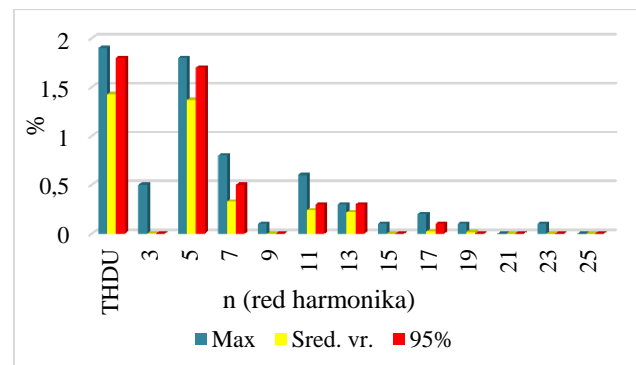
pojedinačne neparne harmonike napona i struje. Na prvom dijagramu, koji pokazuje upoređivanje harmonika napona vidi se da nema velike razlike između vrednosti. Drugi dijagram pokazuje upoređivanje harmonika struje i vidi se, da su maksimalne vrednosti mnogo veće od srednje ili od vrednosti koji nisu premašene tokom 95% slučajeva. To je posledica uključenja i isključenja generatora, jer pri uključenju i isključenju viši harmonici se povećavaju na nedozvoljeni nivo, ali to su samo kratkotrajni skokovi, koji nisu uzet u obzir pri upoređivanju sa standardima.



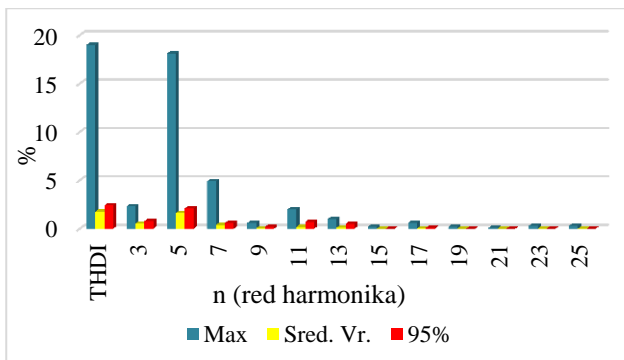
Slika 5. Izmerena struja mreže.



Slika 6. Izmereni napon mreže



Slika 7. Najveća vrednost, srednja vrednost i vrednost koja nije premašena tokom 95% vremena za THDU (ukupni napon distorzije) i za neparne harmonike napona



Slika 8. Najveća vrednost, srednja vrednost i vrednost koja nije premašena tokom 95% vremena za THDI (ukupnu struju distorzije) i za neparne harmonike struje

5.3 Upoređivanje rezultata sa preporukama

Dobijeni rezultati merenja upoređeni su sa dozvoljenim vrednostima viših harmonika struje i napona u skladu sa standardom SRPS EN 50160 (napon) i „Pravilima o radu distributivnih sistema“ (struja). Kao što se vidi u tabelama 4 i 5 ni jedna vrednost višeg harmonika napona ili struje ne prelazi dozvoljenu vrednost. Jedino peti harmonik napona i struje imaju nešto izraženiju vrednost, ali i oni su u intervalu dozvoljenog. Na osnovu toga, može se zaključiti da biogasna elektrana zadovoljava uslove priključenja na distributivnu mrežu EPS-a.

Tabela 4. Upoređivanje merene vrednosti viših harmonika napona sa dozvoljenim vrednostima

Redni broj višeg harmonika [v]	Merena vrednost [V]	Dozvoljena vrednost [V]
5	7,0686	9,355
7	1,6624	18,71
11	1,245	18,71
13	1,246	15,90

Tabela 5. Upoređivanje merene vrednosti viših harmonika struja sa dozvoljenim vrednostima

Redni broj višeg harmonika [v]	Merena vrednost [A] (svedeno na 10 [kV])	Dozvoljena vrednost [A]
2	0,1221	1,085
3	0,4727	/
4	0	0,355
5	1,0084	1,085
6	0	0,430
7	0,3062	1,534
8	0	0,150
9	0,1221	/
10	0	0,262
11	0,1772	0,973
12	0	0,206
13	0,1223	0,711

6. ZAKLJUČAK

Iskorišćenje energije iz biogasa je još u fazi razvoja u Vojvodini, iako su uslovi za dobijanje ove vrste obnovljivih izvora energije jako dobri. Jedan dobar primer za biogasnu elektranu u Vojvodini je u Staroj Moravici, „PIK Moravica“, odnosno firma „Gakovac“. Ova biogasna elektrana ima dve kogeneracijske jedinice, koje se sastoje od biogasnih motora sa unutrašnjim sagorevanjem i od sinhronih generatora 1 MW izlazne snage, tako da je ukupna nazivna snaga 2 MW.

Rezultati merenja parametara kvaliteta električne energije (struje, napona i snage) na izlazu generatora su pokazali odlične vrednosti, i poklapaju se sa rezultatima simulacije modela generatora. Na bazi upoređivanja sa zahtevima odgovarajućih domaćih standarda za kvalitet električne energije (SRPS EN 50160) i odgovarajućih preporuka EPS-a („Pravila o radu distributivnih sistema“) može se zaključiti da oni odgovaraju svim uslovima za priključenje male elektrane na električnu mrežu.

4. LITERATURA

- [1] Ministarstvo energetike i rudarstva, „Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srbije“, Beograd, 2013.
- [2] ***, „Biomasa – najrasprostranjeniji i nedovoljno iskorišćen izvor energije“, Energetski portal, 2019, <https://www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/biomasa/>
- [3] M. Stanojević, S. Simić, A. Jovović, D. Radić, M. Obradović, D. Todorović, „Biogas: Dobijanje i primena“, Mašinski fakultet, Beograd, 2014
- [4] S. Zafar, „Trends in utilization of biogas“, 2019 <https://www.bioenergyconsult.com/utilization-of-biogas>
- [5] Program i plan održavanja biogasnog postrojenja (1MW x 2) „Gakovac“-Stara Moravica
- [6] S. Benhamed i dr., „Dynamic modeling of diesel generator based on electrical and mechanical aspects“, 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Ottawa (Canada), Oct.2016, DOI: 10.1109/EPEC.2016.7771756

Kratka biografija:



Igor Pušin rođen je u Subotici 1993. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2019.god.

kontakt: igorpusin@gmail.com



Vladimir Katić rođen je u Novom Sadu 1954. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god., a od 2002 je redovni profesor Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Oblast interesovanja su energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, električna vozila i kvalitet električne energije.