

Energetsko-ekonomska opravdanost primene drvene biomase u hibridnim sistemima napajanja električnom energijom

Miroljub Jevtić

Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Kosovska Mitrovica, Srbija
miroljub.jevtic@pr.ac.rs

Milan Tomović, Milan Mišić, Ruža Marković

Visoka tehnička škola strukovnih studija Zvečan
Zvečan, Srbija
milan_tomovic@yahoo.com, milan.misic@pr.ac.rs,
markovicruza57@gmail.com

Sažetak—Energetski izazovi sa kojima se suočava današnji svet jesu povećanje energetske zavisnosti, rastuća potrošnja električne energije, osiguranje sigurnosti snabevanja energijom, postizanje održivog razvoja i rešavanje problema životne sredine, među kojima je najvažniji problem klimatskih promena. Kao odgovor na rastuću energetska krizu i probleme zagađenja, neophodno je uvesti nove energetske tehnologije koje koriste obnovljive izvore energije na efikasan i ekološki prihvatljiv način. Shodno tome, biomasa se pojavljuje kao obnovljiv, čist i široko dostupan izvor električne energije. U ovom radu se razmatra autonomni hibridni sistem koji koristi hidroenergetski i fotonaponski sistem u kombinaciji sa agregatom. Za studiju slučaja uzet je pastrmski ribnjak Jablanica na lokaciji u Istočnoj Srbiji. Trenutna konfiguracija sistema koja se koristi za napajanje ribnjaka se sastoji od PV modula snage 1 kW, mikro hidroelektrane snage 8,5 kW, dizel agregata snage 12 kW, pretvarača 1,5 kW i 20 baterija. Cilj ovog rada je da se pokaže šta se postiže supstitucijom goriva konvencionalnog izvora električne energije biogasom dobijenim iz drvene biomase, u pogledu ukupnih troškova sistema, godišnje proizvodnje električne energije i smanjenja emisije gasova staklene bašte. Simulacija i optimizacija razmatranog hibridnog sistema su izvršeni u računarskom softveru HOMER.

Ključne reči—hibridni sistem; obnovljivi izvori energije; konvencionalni izvori energije; drvena biomasa; energetsko-ekonomska analiza; HOMER.

I. UVOD

Obnovljivi izvori energije zadnjih godina predstavljaju najbrže rastuće tržište u energetici. Brzi razvoj i široka primena obnovljivih izvora energije dovela je do značajnog smanjenja cene opreme za transformaciju energije obnovljivih izvora u korisni oblik energije, prvenstveno u električnu energiju. Fotonaponski (PV) moduli, vetrogeneratori, mali hidrogeneratori, sistemi za iskorišćenje biogoriva i sl. postali su dostupni širem krugu korisnika. Danas više ne predstavlja problem izdvojenost nekog objekta i nemogućnost priključka na elektroenergetsku mrežu [1], [2]. Glavni razlozi za korišćenje obnovljivih izvora energije u udaljenim ruralnim područjima su: visoki troškovi proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije dobijene iz konvencionalnih

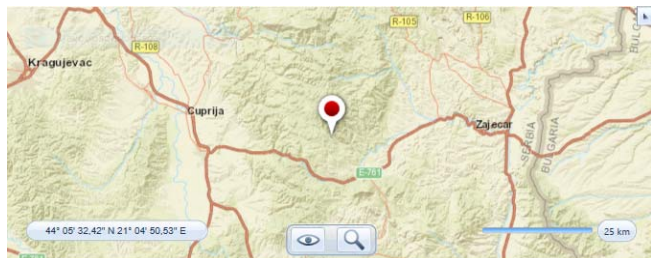
izvora, slaba potražnja za energijom, veoma nizak nivo industrijalizacije, visoki troškovi radova i održavanja elektroenergetske mreže, gubici napona usled prenosa na velike daljine kao i velika emisija štetnih gasova (CO_2 , NO_x , SO_x) [3].

Kombinacijom dva ili više obnovljiva izvora energije sa agregatom, dobija se hibridni sistem. Izvori koji se koriste u hibridnom sistemu mogu se sastojati iz nekonvencionalnih i konvencionalnih izvora energije. Nekonvencionalni izvor energije koji je najpogodniji za razmatrano područje je sistem koji kombinuje energiju sunca i vode, tj. koji je kombinacija PV modula i hidroelektrane, a od klasičnih konvencionalnih izvora energije najprisutniji je dizel agregat [4]. Skladištenje energije se najčešće vrši pomoću elektrohemijskih baterija a koristi se i rezervoar vodonika u sprezi sa elektrolizerom i gorivnim ćelijama. Zavisno od vrste i intenziteta obnovljivih izvora koji su dostupni na lokaciji, kao i od profila potrošnje električne energije koncipira se hibridni sistem.

Zbog trenutnog i predvidljivog deficita energije i problema životne sredine, upravljanje obnovljivim izvorima energije privlači veliku pažnju u novijoj literaturi [5]. Rast cena, smanjenje zaliha fosilnih i nuklearnih goriva i briga za životnu sredinu usmerili su pažnju celog sveta ka smanjenju korišćenja konvencionalnih izvora energije i prelazak na alternativne tehnologije za proizvodnju električne energije [6]. Da bi se rešila sva ova ograničenja, predloženo je nekoliko vrsta ekološki prihvatljivih goriva kao zamena konvencionalnim fosilnim gorivima. Korišćenje goriva iz obnovljivih izvora energije (biogoriva), bilo kao komponente u konvencionalnim fosilnim gorivima, benzinu i dizelu, ili kao čistog goriva, doprinosi uštedi energije i smanjenju ukupne emisije ugljen dioksida CO_2 [7]. U našoj zemlji, biomasa je jedan od najrealnijih energetske izvora za supstituciju konvencionalnih energenata [8]. Shodno tome, korišćenje drvnog biogasa sve više dobija na značaju, uglavnom zbog svoje visoke električne efikasnosti i malog uticaja na životnu sredinu.

Osnovni cilj ovog rada je da se prikaže razvijeni softver za optimizaciju karakteristika komponenti sistema i da se predloži jedna nova konfiguracija hibridnog sistema koja se sastoji iz čisto obnovljivih izvora energije (bez konvencionalnih izvora). Za studiju slučaja je uzet hibridni sistem koji se koristi za

napajanje pastrmskog ribnjaka Jablanica. Razmatrani hibridni sistem sadrži PV modul snage 1 kW, hidroturbinu snage 8,5 kW, 12 kW-ni agregat, 1,5 kW-ni pretvarač i 20 baterija [9]. U radu su analizirani sledeći slučajevi: PV i hidroelektrični moduli u kombinaciji sa agregatom na biogas koji je dobijen iz drvne biomase, dizel agregatom, agregatom na lož ulje, prirodni gas (TNG) i benzin. Takođe, izvršeno je njihovo međusobno poređenje u pogledu ukupnih troškova sistema, proizvodnje električne energije i smanjenja emisije gasova staklene bašte. Analiza je izvršena u računarskom softveru HOMER, koji se koristi za dizajniranje mikroenergetskih sistema za proizvodnju električne energije [10].



Slika 1. Lokacija pastrmskog ribnjaka Jablanica u Istočnoj Srbiji prikazana u softveru HOMER.

II. MATEMATIČKO MODELIRANJE AGREGATA

U nastavku ovog rada date su formule po kojima se vrši modeliranje ukupnih troškova i veka trajanja agregata, kao i potrošnja goriva. U HOMER-u je potrošnja goriva predstavljena u zavisnosti od snage agregata pravom linijom. Potrošnja goriva agregata se izračunava pomoću jednačine:

$$F = F_0 \cdot Y_{gen} + F_1 \cdot P_{gen} \quad (1)$$

gde je: F_0 - koeficijent preseka krive [l/h/kW_{rated}]; F_1 - nagib krive goriva agregata [l/h/kW]; Y_{gen} - nominalni kapacitet agregata [kW]; P_{gen} - izlazna snaga agregata [kW].

Sledeća jednačina se koristi za proračun troškova agregata:

$$c_{gen, fixed} = c_{om, gen} + \frac{c_{rep, gen}}{R_{gen}} + F_0 \cdot Y_{gen} \cdot c_{fuel, eff} \quad (2)$$

gde su: $c_{om, gen}$ - troškovi rada i održavanja po satu [\$/h]; $c_{rep, gen}$ - troškovi zamene [\$]; R_{gen} - vek trajanja agregata [h]; F_0 - nagib krive goriva agregata [l/h/kW]; Y_{gen} - nominalni kapacitet agregata [kW]; $c_{fuel, eff}$ - cena goriva po litru [\$/l].

Vek trajanja agregata se određuje prema sledećoj jednačini:

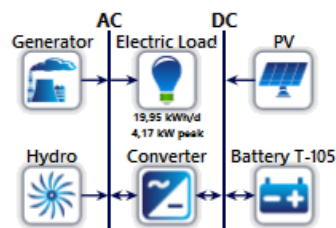
$$R_{gen} = \frac{R_{gen, h}}{N_{gen}} \quad (3)$$

gde je: $R_{gen, h}$ - životni vek agregata [h]; N_{gen} - vreme rada agregata u toku godine [h/god.].

Modeliranje ostalih komponenti hibridnog sistema se vrši prema [10], [11].

III. PODACI O HIBRIDNOM SISTEMU

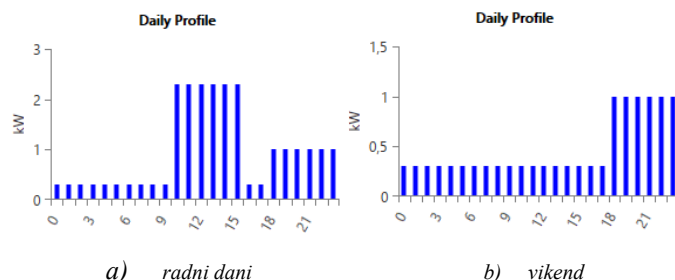
Da bi se izvršila optimizacija datog hibridnog sistema za napajanje ribnjaka Jablanica, potrebno je prema Sl. 2, definisati profil dnevnog opterećenja koji sistem opslužuje, uneti podatke o obnovljivim izvorima energije (hidro i PV modulu) i podatke o komponentama hibridnog sistema: agregatu, pretvaračima i baterijama.



Slika 2. Šema hibridnog sistema ribnjaka Jablanica.

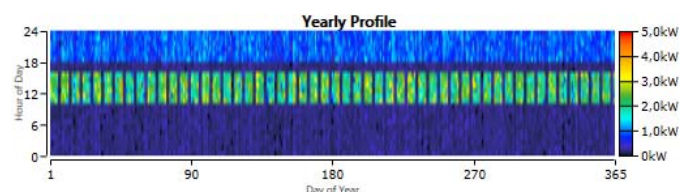
A. Dnevni profil opterećenja

Električna energija koja se proizvodi pomoću hibridnog sistema troši se na snabdevanje dve zgrade (za napajanje kućnih uređaja) i za osvetljenje ribnjaka, zatim za oksigenator i ledomat [12]. Dnevni profil opterećenja za mesec januar prikazan je na Sl. 3, pri čemu je na Sl. 3a) prikazan dnevni profil opterećenja za radne dane dok je na Sl. 3b) prikazan dnevni profil opterećenja za vikend.



Slika 3. Dnevni profil opterećenja ribnjaka Jablanica za mesec januar.

Na Sl. 4 je prikazan godišnji dijagrama opterećenja sa dnevnim i satnim šumom.



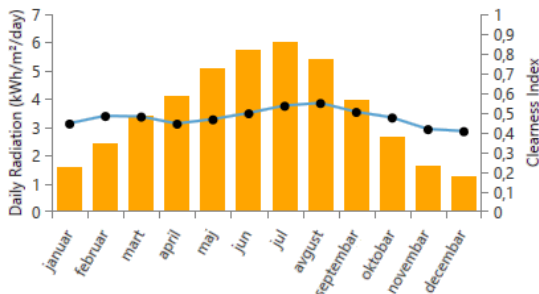
Slika 4. Prikaz godišnjeg dijagrama opterećenja.

Prosečna dnevna potrošnja električne energije u toku godine je 19,95 kWh, vršna snaga je 4,17 kW i faktor opterećenja 0,2.

B. Sunčevo zračenje i PV modul

Srednje mesečne vrednosti Sunčevog zračenja sa indeksom prozračnosti su prikazani na Sl. 5. Podaci o intenzitetu Sunčevog zračenja su učitani iz NASA, na osnovu geografske širine i dužine za opštinu Boljevac.

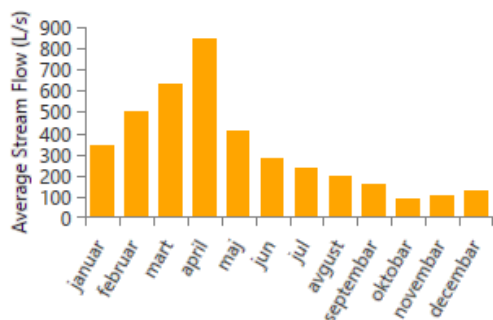
Ostali podaci PV modula koji su korišćeni u simulacijama su: životni vek PV panela 25 godina, faktor gubitaka 88,8%, ugao nagiba 40% i azimut 0%. Sa ovim parametrima odabrani su *Yingly* polikristalni solarni paneli, nazivne snage 245 W [13]. Investicioni troškovi i troškovi zamene solarnih panela su 900 \$ i 900 \$/kW, respektivno, dok su godišnji troškovi rada i održavanja 15 \$/god. Za potrebe simulacije su korišćene snage solarnih panela od 1, 1.5, ..., 10 kW.



Slika 5. Srednje mesečne vrednosti Sunčevog zračenja sa indeksom prozračnosti, za oblast Boljevca.

C. Energija vode i hidro modula

Na Sl. 6 je prikazan histogram srednje mesečnih proticaja vode na Radovanskoj Reci na osnovu višegodišnjeg merenja [14].

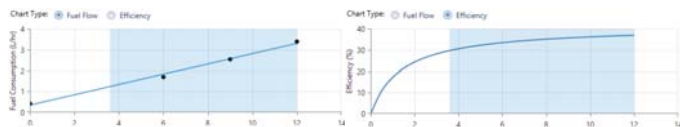


Slika 6. Histogram srednje mesečnih proticaja vode na Radovanskoj Reci.

Ova zahvaćena voda se metalnim cevovodom unutrašnjeg prečnika 500 mm i dužine 8 m dovodi do cevne turbine, čiji je opseg proticaja od 90 do 350 l/s [11], [12], dok koristan neto pad turbine iznosi 2,9 m. Životni vek mikro hidroelektrane je 25 godina, pri čemu su investicioni troškovi i troškovi zamene 1000 \$ i 1000 \$/kW, respektivno, dok godišnji troškovi rada i održavanja iznose 2,5% investicionih troškova.

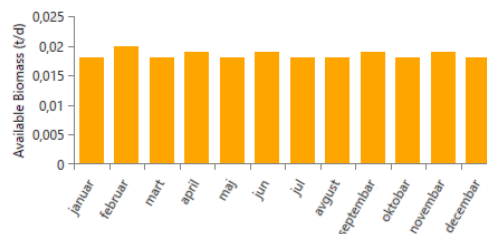
D. Agregat

Za potrebe simulacije koristi se trofazni 12 kW Xichai agregat sa stvarnom potrošnjom goriva [15]. Kriva potrošnje goriva i kriva efikasnosti agregata su prikazane na Sl. 7. [14].



Slika 7. Kriva potrošnje goriva i kriva efikasnosti Xichai agregata.

Razmatrane su sledeće vrste goriva: biogas (dobijen iz drvene biomase), dizel, lož ulje, prirodni gas (TNG) i benzin, pri čemu su za početnu cenu goriva usvojene trenutne vrednosti na domaćem tržištu koje iznose: 96,20 \$/t (cena drvene biomase) [16], 1,55 \$/l, 1,47 \$/l, 0,79 \$/l i 1,48 \$/l [17], respektivno. Prosečna količina drvene biomase koja se koristi za proizvodnju biogasa je prikazana na Sl. 8, a proračun je izvršen prema [18], [19].



Slika 8. Prosečna mesečna količina drvene biomase.

Ostale karakteristike goriva su prikazane u tabeli I.

TABELA I. KARAKTERISTIKE GORIVA

	Donja top. moć MJ/kg	Gustina kg/m ³	Sadržaj ugljenika %	Sadržaj sumpora %
Biogas (drvni)	5,5	0,72	2	0
Dizel	43,2	820	88	0,4
Lož ulje	42,5	820	88	0,33
Prirodni gas (TNG)	45	0,79	67	0
Benzin	44	740	86	0,04

Životni vek agregata po tehničkim karakteristikama je 15000 sati, pri čemu investicioni troškovi, troškovi zamene, rada i održavanja agregata iznose 2200 \$, 1500 \$/god i 0,025 \$/h.

E. Pretvarač

Pretvarač je dimenzionisan za nazivni napon od 845 V a izabrani tip je *StecaGrid* 3000 [20]. Životni vek pretvarača je 25 godina a njegova efikasnost je 98,6 %. Investicioni troškovi i troškovi zamene su 328 \$ i 328 \$/kW, respektivno, dok su godišnji troškovi rada i održavanja 0 \$/god. Pretvarači koji su korišćeni u procesu simulacije su snage od 1, 1.5, 2, ..., 5 kW.

F. Baterije

Odabrana je baterija *Trojan* T-105 [21]. *Trojan* T-105 baterija je predviđena za ciklični način rada, pri čemu je nazivni napon T-105 baterije 6 V, kapacitet 230 Ah (1,38 kWh), a ukupna energija je 845 kWh. Investicioni troškovi, troškovi zamene, rada i održavanja baterije su 69 \$, 69 \$ i 2,5 \$/god, i broj baterija koji je korišćen u procesu simulacije je 2, 4, 6, 8, ..., 60.

IV. REZULTATI ANALIZE I DISKUSIJA

Dok simulacioni proces modelira određenu konfiguraciju sistema, optimizacioni proces određuje koja je najbolja moguća konfiguracija sistema. U HOMER-u je uvek najbolja moguća, odnosno optimalna, konfiguracija sistema ona koja zadovoljava ograničenja koje je zadao korisnik pri najmanjem trošku (NPC-

Total Net Present Cost). U optimizacionom procesu HOMER simulira razne moguće konfiguracije, odbacuje neizvodljive (tj. one koje ne zadovoljavaju ograničenja koje je korisnik postavio), rangira one koje su izvodljive prema ukupnim NPC i predstavlja one koje su najkorisnije tj. sa najmanjim troškovima (NPC).

U tabeli II su prikazani rezultati optimalnih konfiguracija hibridnog sistema (koje sadrže PV modul, mikro hidroelektranu, agregat, pretvarač i baterije) sa ukupnim troškovima i troškovima pojedinih komponenti sistema, troškovima proizvodnje električne energije i vrednostima emisije gasova staklene bašte za pet razmatranih slučajeva.

TABELA II. REZULTATI OPTIMALNIH KONFIGURACIJA HIBRIDNOG SISTEMA

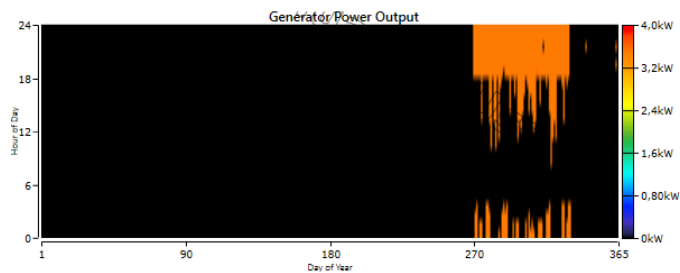
Slučaj	1	2	3	4	5
PV/Hidro/Agregat na →	Biogas	Dizel	Lož ulje	Prirodni gas	Benzin
<i>Komponente sistema, kW</i>					
PV	1	2,5	2,5	1	2,5
Hidro	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Generator	12	12	12	12	12
Trojan T-105 (broj)	8	24	24	18	24
Pretvarač	1	2	2	1,5	2
<i>Ekonomija, \$</i>					
Investicioni troškovi	11.630	14.412	14.412	12.484	14.412
Troškovi zamene	487,66	1.462,97	1.462,97	1.097,23	1.462,97
Troškovi rada, \$/god	3.124,58	3.829,78	3.829,78	3.390,24	3.829,79
Ukupni troškovi sistema	16.457,65	26.298,12	25.937,37	21.967,64	25.982,47
Troškovi proizvodnje en., \$/kWh	0,174	0,279	0,275	0,233	0,276
Troškovi goriva	1.288,72	6.989,36	6.628,61	5.258,73	6.673,71
Vreme rada agregata, h	588	270	270	410	270
<i>Energija, kWh/god</i>					
Proizvodnja iz solarnih panela	1.488	3.720	3.720	1.488	3.720
Proizvodnja iz hidro elektrane	38.347	38.347	38.347	38.347	38.347
Proizvodnja iz agregata	2.117	1.036	1.036	1.513	1.036
Ukupna proizvodnja	41.952	43.103	43.103	41.348	43.103
Ukupna potrošnja	7.281	7.281	7.281	7.281	7.281
Višak električne energije	34.548	35.659	35.659	33.891	35.659
<i>Emisija, kg/god</i>					
Ugljen dioksid	0,179	919	919	993	810
Ugljen monoksid	0,00674	2,27	2,27	3,35	2,27
Nesagoreli ugljovodonici	0,000746	0,251	0,251	0,371	0,251
Sumpor dioksid	0	1,84	1,84	0	0,177
Azotni oksidi	0,0601	20,2	20,2	29,9	20,2

Na osnovu dobijenih rezultata, iz tabele II može se videti da ukupni troškovi sistema za slučaj korišćenja agregata na drveni biogas iznose 16.457,65 \$, i da su oni niži u odnosu na hibridni sistem sa agregatom na dizel gorivo za 9.840,47 \$, odnosno za 9.479,72 \$, 5.509,99 \$ i 9.524,82 \$ u odnosu na slučajeve kada se koristi agregat na lož ulje, prirodni gas i benzin, respektivno. Optimalne konfiguracije hibridnog sistema za slučajeve 2, 3 i 5 su potpuno identične, jedina je razlika u ukupnim troškovima sistema koji nastaju zbog razlike u troškovima goriva. Zbog visokih cena goriva, visoki su i ukupni troškovi proizvodnje električne energije u hibridnom sistemu i oni iznose 0,279 \$/kWh, 0,275 \$/kWh i 0,276 \$/kWh za slučajeve kada se koriste dizel gorivo, lož ulje i benzin, respektivno. Ovi troškovi su znatno niži kod hibridnog sistema sa agregatom na drveni biogas i iznose 0,174 \$/kWh, dok pri korišćenju prirodnog gasa oni iznose 0,233 \$/kWh. Takođe, za slučajeve 2, 3 i 5 sistem teži da što manje koristi agregat a više PV panele, snaga PV panela se povećava za 1,5 kW u odnosu na slučajeve 1 i 4, potreban je veći broj baterija za skladištenje energije (16), veća snaga pretvarača (1 kW), što sve zajedno dovodi do poskupljenja celog hibridnog sistema.

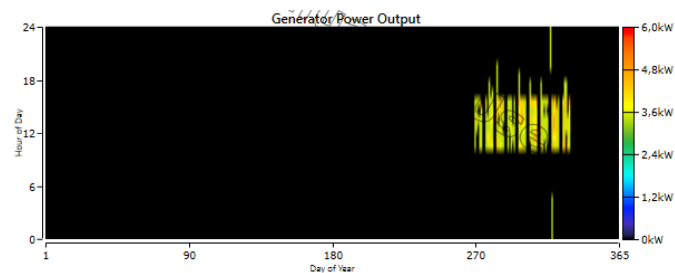
Što se tiče ukupne proizvodnje električne energije, hibridni sistem u slučaju 1 proizvodi 1.151 kWh/god manje električne

energije u odnosu na slučajeve 2, 3 i 5, odnosno 604 kWh/god više u odnosu na slučaj 4, pa je manji i višak proizvedene energije. S obzirom da se radi o hibridnom sistemu koji nije povezan na elektroenergetsku mrežu ovo rešenje je optimalno jer su potrebni manji broj baterija za skladištenje energije i manja snaga pretvarača. U svih pet razmatranih slučajeva najviše električne energije proizvodi hidroelektrana, dok proizvodnja iz agregata i solarnih panela zavisi od toga koja vrsta goriva se koristi. Za slučajeve 2, 3 i 5, dodavanjem solarnih panela sistem teži da poveća proizvodnju električne energije iz PV panela a smanji iz dizel agregata, dok je za slučajeve 1 i 4 obrnuto. Ova razlika u proizvodnji električne energije se može objasniti na sledeći način: zbog niske vrednosti donje toplotne moći i gustine goriva za slučaj 1 i 4 (tabela I) oslobađa se mala količina toplote pri sagorevanju, viši je stepen iskorišćenja agregata i sistem teži da poveća proizvodnju električne energije iz agregata a smanji iz PV panela, i obrnuto za slučajeve 2, 3 i 4. Pri tome, najveći udeo u ukupnoj proizvodnji ima hidroelektrana sa 91,4% (92,7%) ukupne proizvodnje, zatim slede agregat sa 5,05% (3,66%) i PV paneli sa 3,55% (3,60%) za slučaj kada se koristi agregat na biogas (prirodni gas), odnosno, ti udeli su: za hidroelektranu 89%, za PV panele 8,63% i za agregat 2,40%, u slučajevima kada se koristi agregat na dizel, lož ulje i benzin.

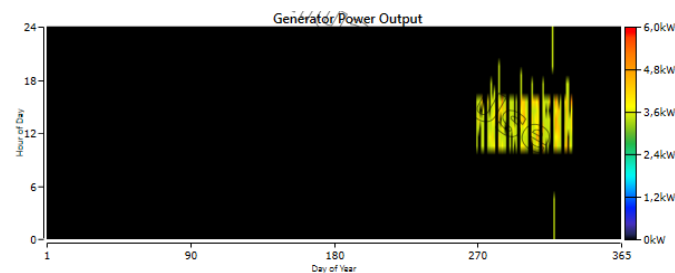
Na Sl. 9, Sl. 10, Sl. 11, Sl. 12 i Sl. 13 su prikazana učešća agregata u ukupnoj proizvodnji električne energije.



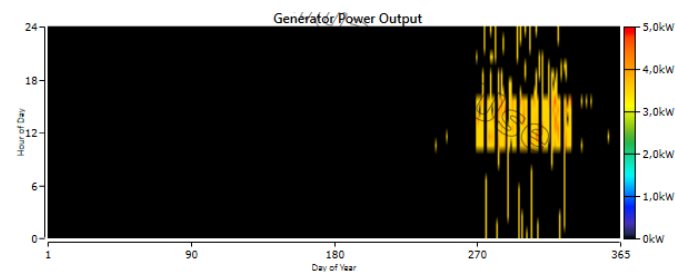
Slika 9. Dijagram dnevnog rada agregata na biogas.



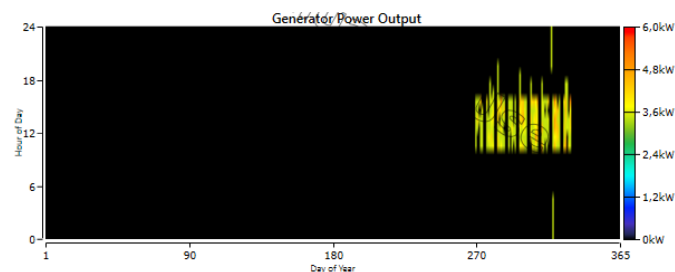
Slika 10. Dijagram dnevnog rada agregata na dizel.



Slika 11. Dijagram dnevnog rada agregata na lož ulje.



Slika 12. Dijagram dnevnog rada agregata na prirodni gas.



Slika 13. Dijagram dnevnog rada agregata na benzin.

Kao što se može videti sa datih slika agregat se u hibridnom sistemu koristi kao pomoćni izvor napajanja u trenutku kada se imaju nedovoljan srednji protok reke i intenzitet Sunčevog zračenja, a to su meseci oktobar i novembar. Prema Sl. 9 agregat na biogas će raditi 588 sati godišnje, što je za 318 sati više u odnosu na slučajeve kada se koriste agregat na dizel, lož ulje i benzin, odnosno za 178 sati više nego u slučaju korišćenja agregata na prirodni gas. Pri takvom režimu rada agregat na biogas će raditi sa prosečnim opterećenjem od 3,60 kW i kapacitivnim faktorom od 2,01%.

Smanjenje emisije gasova staklene bašte takođe igra veoma važnu ulogu pri modelovanju hibridnog sistema i u današnjim analizama dobija značajnu pažnju. Iz tabele II se može videti da je, pri korišćenju hibridnog sistema sa agregatom na biogas, emisija gasova staklene bašte zanemarljivo mala u odnosu na konfiguracije hibridnog sistema za slučajeve 2, 3, 4 i 5. Korišćenjem sistema sa agregatom na biogas postiže se godišnje smanjenje ugljen dioksida (CO₂) za 918,821 kg u odnosu na sistem sa dizel agregatom i agregatom na lož ulje, odnosno, 992,821 kg i 809,821 kg kada se koristi sistem sa agregatom na prirodni gas i benzin.

V. ZAKLJUČAK

Decentralizovani energetski sistemi koji su zasnovani na obnovljivim izvorima energije mogu dati značajan doprinos održivom razvoju. Prvi korak je zamena tradicionalnih oblika proizvodnje električne energije naprednim tehnologijama zasnovanim na korišćenju biomase, solarne energije i energije vode. Biogas dobijen iz drvene biomase je alternativno, obnovljivo gorivo, pogodno za zamenu konvencionalnih izvora električne energije, kada se primeni u agregatima koji se koriste za napajanje hibridnih sistema.

Na osnovu sprovedene analize u ovom radu, pokazano je da kombinacija hidroenergetskog i PV sistema sa agregatom na biogas predstavlja optimalno rešenje za napajanje razmatrane lokacije, u pogledu ukupnih troškova sistema, troškova proizvodnje električne energije i smanjenja emisije gasova staklene bašte. Konfiguracija sistema koja se pokazala najisplativijom u odnosu na druge razmatrane konfiguracije sadrži: PV modul snage 1 kW, mikro hidroelektranu snage 8,5 kW, agregat na drveni biogas snage 12 kW, 8 baterija i pretvarač od 1 kW. Korišćenjem hibridnog sistema sa agregatom na biogas postižu se sledeće prednosti:

- ukupni troškovi datog sistema su za 25,1 do 37,4% niži u odnosu na sistem koji sadrži neki od konvencionalnih izvora energije,
- troškovi proizvodnje električne energije su manji za 25,3 do 37,6% i
- postiže se smanjenje emisije gasova staklene bašte koje se kreće u opsegu od 99,97 do 100% u odnosu na hibridni sistem sa drugim razmatranim gorivima (dizel, lož ulje, prirodni gas i benzin).

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansiranju projekta TR 33046 u okviru koga je nastao ovaj rad.

LITERATURA

- [1] T. R. Ramakumar, J. J. Bzura, J. Eyer, J. Gutierrez-Vera, "Renewable technologies and distribution systems", IEEE Power Engineering Review, Vol. 19, No. 11, 1999, pp. 5, citation.
- [2] J. W. Kimball, B. T. Kuhn, and R. S. Balog, "A System Design Approach for Unattended Solar Energy Harvesting Supply", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 4, 2009, pp. 952-962.
- [3] M. R. Borges Neto, P. C. M. Carvalho, J. O. B. Carioca, F. J. F. Canafistula, "Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas", Energy Policy, Vol. 38, No. 8, 2010, pp. 4497-4506.
- [4] "Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srbije", Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Beograd, 2013.
- [5] A. Barin, L. Canha, A. Abaide, K. Magnago, B. Wottrich, "Renewable hybrid systems using biogas fuzzy multi-sets and fuzzy multi-rules", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, San Jose, USA, 2009, pp. 1180-1184, ISBN: 978-1-4244-2893-9.
- [6] S. G. Sigarchian, R. Paleta, A. Malmquist, A. Pina, "Feasibility study of using a biogas engine as backup in a decentralized hybrid (PV/wind/battery) power generation system - Case study Kenya", Energy, Vol. 90, No. 2, Oxford, 2015, pp. 1830-1841.
- [7] Z. J. Predojević, "Postupci pripreme lignocelulozne sirovine za dobijanje bioetanol", Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Vol. 64, No. 4, Novi Sad, 2010, pp. 283-293.
- [8] "Biomasa kao biogorivo", Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad.
- [9] M. Tomović i M. Jevtić, "Određivanje optimalne konfiguracije hibridnog sistema sa korišćenjem biomase", Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 18, No. 3-4, 22-25 mart, 2016, pp. 120-127.
- [10] <http://www.homerenergy.com/>
- [11] M. Jevtić, M. Tomović, D. Klimenta and Đ. Novković, "Energy-economic analysis of hybrid system for remote pond supply", III International Scientific and Technical Conference „Computer Modeling and Simulation (COMOD-2014)", Saint Petersburg, 2-4 July, 2014, pp. 118-122, ISBN 978-5-7422-4494-3.
- [12] Tehnički izveštaj izvedenog stanja male hidroelektrane u okviru projekta pod nazivom: Pastrmski ribnjak "Jablanica" Boljevac, MRI-TECH d.o.o Beograd, 2014.
- [13] <http://www.europe-solar.de/catalog/>
- [14] "Katastar malih hidroelektrana na teritoriji Republike Srbije van SAP", Energoprojekt-Hidroinženjering i Institut Jaroslav Černi, Beograd, 1987.
- [15] http://www.alibaba.com/products/568621744/12kw_Best_Price_Stand_by_Power_Diesel.html

- [16] T. Janić, N. Tica, V. Zekić, "Sečka od drveta kao biogorivo", Savremena poljoprivredna tehnika, Vol. 40, No. 4, decembar 2014, pp. 199-210
- [17] <http://www.retailserbia.com/info/cene-goriva-srbija>
- [18] "Resursi biomase u regionima Monatana i Sofija (Bugarska) i Nišavskom, Zaječarskom i Jablaničkom okrugu (Srbija)", Bioergy, Bulgaria-Serbia IPA Cross-border Programme, Novembar, 2013.
- [19] "Promovisanje održivog korišćenja biomase za dobijanje energije u prekograničnom pojasu", Bioergy, Bulgaria-Serbia IPA Cross-border Programme, Februar, 2011.
- [20] <http://www.akumulator-shop.rs/solarni-paneli-i-oprema/inverteri-pretvarači/inverter-sole-12v-2000w-4000w-sinusni-detaljno>
- [21] <http://www.trojan-battery.com/>

ABSTRACT

The energy challenges facing today's world are: increasing energy dependence, rising electricity consumption, ensuring energy security, achieving sustainable development and solving environmental problems, among which the most important problem is the climate change. In response to the growing energy crisis and pollution problems, it is necessary to introduce new energy technologies using renewable energy sources in an efficient and environmentally friendly way. Accordingly, biomass appears as a renewable, clean and widely available source of electricity. In this paper, we discuss the autonomous hybrid system that uses the hydroelectric and photovoltaic systems in combination with the aggregate. As a case study, the trout pond Jablanica to the location in Eastern Serbia was taken. The current configuration of the system used for supply the pond consists of a PV module of 1 kW, micro hydro-power plant of 8,5 kW, diesel engine of 12 kW, converter of 1,5 kW and 20 batteries. The aim of this paper is to show what is achieved by substitution of fuel of conventional energy source with biogas derived from wood biomass, in terms of total system costs, annual electricity generation and reduction of greenhouse gas emissions. The simulation and optimization of the hybrid system under consideration were performed using the HOMER computer software.

ENERGY-ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE WOOD BIOMASS USE IN HYBRID POWER SUPPLY SYSTEM

Miroљjub Jevtić, Milan Tomović, Milan Mišić and Ruža Marković