

T. M. PAVLOVIĆ¹, D. D. Milosavljević², D. LJ. Mirjanić³

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNE ELEKTRANE NA PMF-U U NIŠU

Sažetak: U radu su date osnovne informacije o solarnoj elektrani od 2 kW na PMF-u u Nišu i opremi za ispitivanje njene energetske efikasnosti u zavisnosti od realnih meteoroloških uslova (inverter, komunikacioni sistem, senzor, itd.). Pored ovoga, dati su rezultati eksperimentalnog određivanja energetske efikasnosti solarne elektrane na PMF-u u Nišu u periodu od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine (energija Sunčevog zračenja, temperatura ambijenta, brzina vetra, proizvedena električna energija, itd.).

Cljučne reči: *solarna energija, PV solarna elektrana, energetska efikasnost PV elektrane*

1. UVOD

Pod fotonaponskim (PV) solarnim sistemom podrazumeva se sistem pomoću koga se Sunčevo zračenje pretvara u električnu energiju i vrši snabdevanje potrošača električnom energijom. PV solarni sistem može da radi nezavisno od elektrodistributivne mreže (off-grid PV sistem) ili da bude priključen za nju (on-grid PV sistem). On-grid PV solarni sistemi sastoje se od solarnih modula, invertora koji pretvara jednosmerni u naizmenični napon, monitoring sistema, transformatora, preko koga se dobijena električna energija predaje elektrodistributivnoj mreži i priključnih vodova za priključenje PV solarnog sistema za elektrodistributivnu mrežu. Kod ovih sistema se celokupan iznos proizvedene električne energije predaje elektrodistributivnoj mreži. U ove sisteme spadaju solarne elektrane velike

¹ Akademik Tomislav M. Pavlović, Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Višegradska 33, 18000 Niš, Srbija, e-mail: pavlovic@pmf.ni.ac.rs

² Dragana D. Milosavljević, Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Višegradska 33, 18000 Niš, Srbija, e-mail: dragana82nis@yahoo.com

³ Akademik Dragoljub Lj. Mirjanić, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, 78000 Banja Luka, Bana Lazarevića 1, Republika Srpska, e-mail: mirjanicd@gmail.com

snage instalirane na zemlji i elektrane male snage postavljene na privatnim kućama, stambenim i drugim objektima [1–4].

2. SOLARNA ELEKTRANA NA PMF-U U NIŠU



Slika 1. Izgled solarne elektrane snage 2 kW na krovu PMF-a u Nišu



Slika 2. Deo unutrašnjosti Laboratorije za solarnu energetiku na PMF-u u Nišu sa postavljenim invertorom i pratećom opremom za monitoring i akviziciju podataka solarne elektrane od 2 kW

Solarna elektrana na PMF-u u Nišu se sastoji od 10 serijski povezanih solarnih modula od monokristalnog silicijuma pojedinačne snage od 200 W (*SST-200WM, Shenzhen Sunco Solar Technology Co.*). Solarni moduli se nalaze na metalnoj osnovi od čeličnog lima sa nagibom od 32° prema jugu. Pomoću odgovarajućih provodnika solarni moduli su povezani sa DC razvodnim ormanom (RO-DC), monofaznim invertorom (Sunny Boy 2000 HF, snage 2 kW), AC razvodnim ormanom (RO-AC) i gradskom mrežom. Na izlazu iz AC razvodnog ormara je jednofazni naizmenični napon 230V, 50Hz. Informacije o iznosu električne energije, koju proizvodi solarna elektrana i energiji Sunčevog zračenja koja pada na solarnu elektranu dobijaju se preko WEBBOX-a koji je preko Bluetooth-a povezan sa invertorom i senzorom *Sunny SensorBox*-om koji je postavljen pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan [5]. Izgled solarne elektrane od 2 kW na krovu PMF-a u Nišu dat je na slici 1, a deo unutrašnjosti *Laboratorije za solarnu energetiku* sa postavljenim invertorom i pratećom opremom za monitoring i akviziciju podataka solarne elektrane na PMF-u u Nišu prikazani su na slici 2.

3. EKSPERIMENT I IZRAČUNAVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNE ELEKTRANE

3. 1. MERENJE METEOROLOŠKIH PARAMETARA

Za merenje meteoroloških parametara (intenziteta Sunčevog zračenja koje pada na kvadratni metar površine orijentisane pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan, brzine vetra i temperature okoline), na PMF-u u Nišu, korišćen je senzor *Sunny SENSORBox*. *Sunny SENSORBox* je sa *Sunny WEBBox*-om povezan preko *SMA Power Injector*-a sa integrisanim *Bluetooth*-om. Merenje parametara, pamćenje i obrada merenih podataka kao i njihova vizualizacija vrši se pomoću *Sunny Portal*-a. Merene vrednosti pamte se tabelarno u *CSV* ili *XML* formatu tako da je moguća njihova dalja numerička i grafička obrada [6].

3. 2. MERENJE IZNOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE KOJA SE DOBIJA POMOĆU SOLARNE ELEKTRANE

Informacije o električnim parametrima solarne elektrane na PMF-u u Nišu dobijaju se preko *WEBBOX*-a. Podaci iz solarne elektrane se na svakih 5 minuta snimaju u *WEBBOX*-u u kome se vrši njihova akvizicija i obrada. Merenje parametara, pamćenje i obrada merenih podataka vrši se pomoću *Sunny Portal*-a, tako da se na računaru se dobijaju numerički podaci o dnevnom, mesečnom i godišnjem iznosu dobijene električne energije (kWh), maksimalnoj snazi (kW), iznosu sredstava koji može da se dobije prodajom električne energije (eur) i redukciji emisije CO_2 (kg) korišćenjem solarne elektrane. Pored ovoga, na računaru može da se dobije dnevni, mesečni i godišnji grafički prikaz promene maksimalne snage i iznosa proizvedene električne energije pomoću solarne elektrane [7].

3. 3. IZRAČUNAVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI SOLARNE ELEKTRANE

Pod energetsom efikasnošću solarne elektrane podrazumeva se odnos električne energije koja se u određenom vremenskom intervalu dobija pomoću solarne elektrane i energije Sunčevog zračenja koje pada na solarne module elektrane u istom vremenskom intervalu. Imajući u vidu prethodno, može da se govori o satnoj, dnevnoj, mesečnoj i godišnjoj energetskej efikasnosti solarne elektrane. Mesečna energetska efikasnost solarne elektrane se izračunava pomoću izraza [8,9]:

$$\eta_M = \frac{\sum_{i=1}^n (E_D)_i}{S \cdot \sum_{i=1}^n (E_S)_i} \quad (1)$$

gde je n – broj dana u mesecu, E_D – ukupan iznos električne energije koja se dobije u toku dana pomoću solarne elektrane (Wh), E_S – ukupan iznos energije globalnog Sunčevog zračenja koje je dospelo u toku dana na solarne module (Wh/m²) i S – ukupna površina solarnih modula (m²).

Eksperimentalno određivanje energetske efikasnosti solarne elektrane vrši se unošenjem u izraz (1) izmerenih podataka o dnevnom iznosu električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane i vrednosti energije Sunčevog zračenja koje pada na solarnu elektranu. Vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje pada na solarnu elektranu su dobijene merenjima pomoću *Sunny SEN-SORBox*-a.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

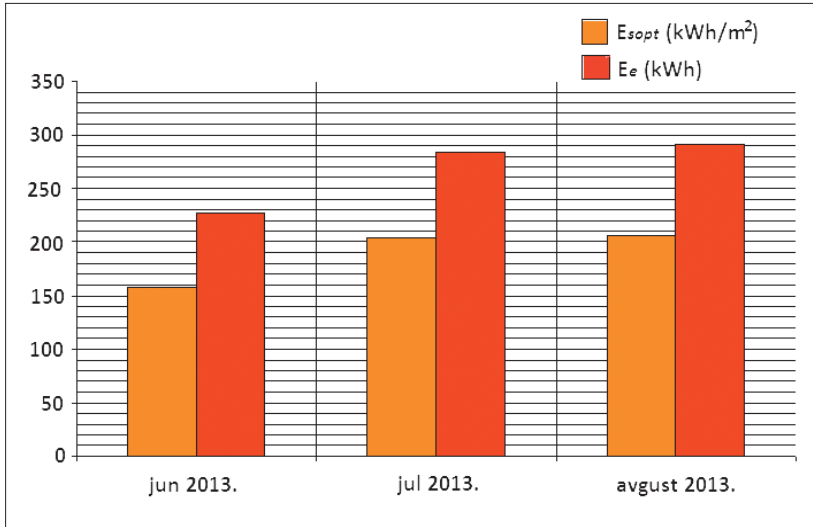
Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja mesečnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja E_{sopt} koje je u toku dana dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu i mesečnog iznosa električne energije E_e koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na krovu PMF-a u Nišu od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 3.

Na slici 3. se vidi da se od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine eksperimentalne mesečne vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja koje je u toku dana dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu kreću u granicama 157,57–206,19 kWh/m² i da se eksperimentalne vrednosti mesečnog iznosa električne energije koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na krovu PMF-a u Nišu kreću u granicama 226,36–291,5 kWh.

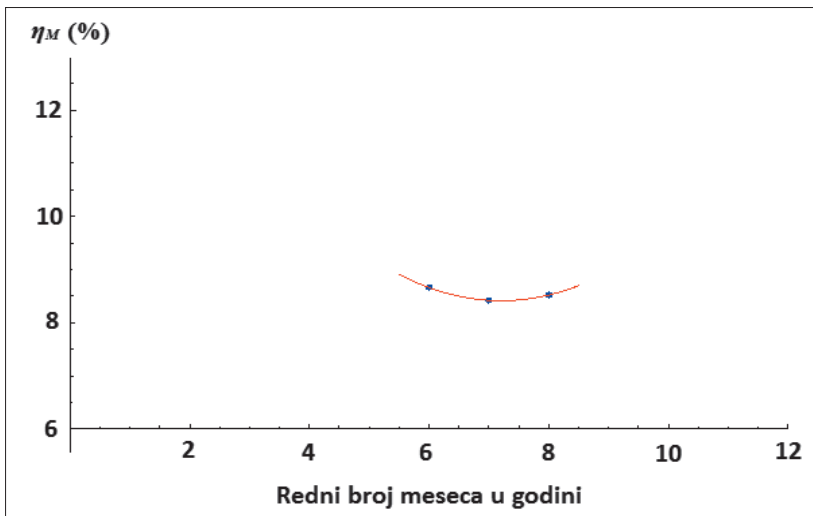
Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti (η_M) solarne elektrane na krovu PMF-a u Nišu od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 4.

Na slici 4. se vidi da se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane kreće u granicama 8,42 – 8,66% od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine.

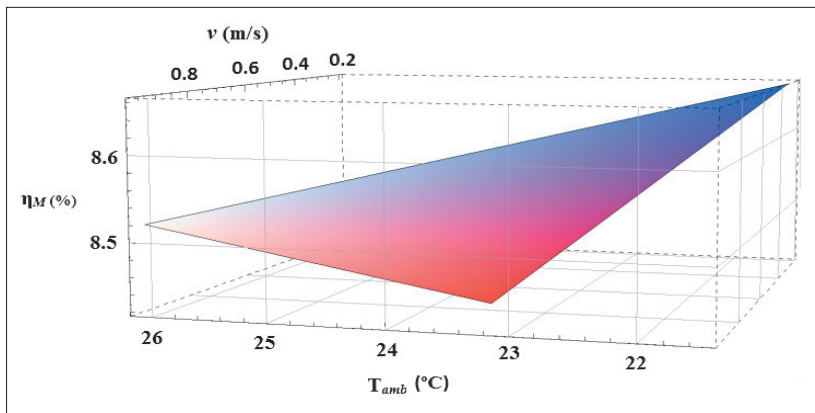
Grafički prikaz zavisnosti eksperimentalne energetske efikasnosti (η_M) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od temperature ambijenta (T_{amb}) i brzine vetra (v) od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine dat je na slici 5.



Slika 3. Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata merenja mesečnih vrednosti energije globalnog Sunčevog zračenja (E_{sopt}) koje je u toku dana dospelo na kvadratni metar solarnih modula koji su orijentisani pod uglom od 32° u odnosu na horizontalnu ravan u Nišu i mesečnog iznosa električne energije (E_e) koja se dobija pomoću solarne elektrane od 2 kW na krovu PMF-a u Nišu od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine



Slika 4. Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti energetske efikasnosti (η_M) solarne elektrane na krovu PMF-a u Nišu od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine



Slika 5. Grafički prikaz zavisnosti eksperimentalne energetske efikasnosti (η_M) solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu od temperature ambijenta (T_{amb}) i brzine vetra (v) od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine

Na slici 5. se vidi da se sa porastom temperature ambijenta smanjuju eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu. Sa porastom temperature ambijenta dolazi do povećanja termalnih vibracija atoma kristalne rešetke materijala od kojih su napravljene solarne ćelije što otežava usmereno kretanje slobodnih nosilaca naelektrisanja, dovodi do pada napona otvorenog kola i smanjenja snage solarnih ćelija. Sa druge strane, sa porastom brzine vetra povećava se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane zbog hlađenja solarnih modula pod dejstvom vetra.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetog se može zaključiti da se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane od 2 kW na PMF-u u Nišu kreće u granicama 8,42–8,66% u periodu od 01. juna 2013. do 01. septembra 2013. godine. Sa porastom temperature ambijenta smanjuje se eksperimentalna energetska efikasnost solarne elektrane, a sa porastom brzine vetra povećava. Do pada eksperimentalne energetske efikasnosti solarne elektrane u letnjim mesecima dolazi zbog porasta temperature solarnih modula u odsustvu snažnijeg vazdušnog strujanja.

LITERATURA

- [1] B. Parida, S. Iniyar, R. Goic: "A review of solar photovoltaic technologies" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, No 3. 2011. p. 1625–1636.
- [2] C. S. Solanki: "Solar photovoltaic technology and systems: A manual for technicians, trainers and engineers", Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited, Rimgim House, Delhi, India, 2013. p. 1–306, ISBN–978–81–203–4711–3.
- [3] T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić: "Obnovljivi izvori energije", Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Monografije – Knjiga XVII, Odjeljenje prirodno-matematičkih i tehničkih nauka – Knjiga 18, Banja Luka, 2013, 364 str, ISBN 978–99938–21–41–0.
- [4] T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, L. Pantić, I. Radonjić, D. Piršl: "Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina)" *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol.18. 2013, p.119–133, doi:10.1016/j.rser.2012.10.007
- [5] T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, L. Pantić: "Proučavanje energetske efikasnosti solarnih elektrana od 2kW na Prirodno-matematičkom fakultetu u Nišu i Akademiji nauka i umjetnosti Republike Srpske u Banjoj Luci", *Zbornik radova XII Kongresa fizičara Srbije, Društvo fizičara Srbije, Beograd*, 2013, str. 436–439, ISBN 978–86–86169–08–2.
- [6] <http://www.sma.de/en/products/monitoring-systems/sunny-sensorbox.html#Downloads-9283>
- [7] <http://www.sunnyportal.com>
- [8] E. Kymakis, S. Kalykakis, T. M. Papazoglou, "Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete", *Energy Conversion and Management*, Vol. 50. 2009. p. 433–438.
- [9] www.cleanenergycouncil.org.au/.../Grid-Connect-PV...

