

MERENJE FOTONAPONSKOG NAPAJANJA U PERIODU ZIMSKE KRATKODNEVNICE

Nikola Rajaković¹, Dušan Nikolić², Zoran Nikolić³

SAŽETAK:

U radu je opisan postupak merenja električne energije dobijene iz fotonaponskih panela u našem području. Prikazani su i neki rezultati merenja električne energije koju fotonaponski panel dostavlja akumulatorskoj bateriji tokom perioda oko zimske kratkodnevnice, ili za najnepovoljniji slučaj napajanja fotonaponskim panelima. Merenja su obavljena u okolini Beograda na 44°30' severne geografske širine. Dobijeni rezultati su svedeni na jedinicu površine solarnog fotonaponskog panela od 1 m².

Ključne reči: *Energija solarnog zračenja, kratkodnevnica, fotonaponska konverzija, solarno napajanje*

1. UVOD

Uglavnom su se dosadašnji radovi iz oblasti fotonaponske konverzije bavili problemima konverzije sa teorijskim podacima[1] o veličini električne energije kojom je moguće dopunjavati akumulatorsku bateriju tokom dana. Realizovane sisteme uglavnom nisu pratila opsežna snimanja dopunjavanja ili pražnjenja akumulatorskih baterija često samo zbog nemogućnosti takvih merenja[2]. Zbog toga smo želeli da na području Beograda izvršimo merenje električne snage i energije kojom fotonaponski paneli dopunjuju akumulatorsku bateriju. Za period snimanja je odabran uglavnom najnepovoljniji slučaj oko zimske kratkodnevnice.

¹ Prof. dr Nikola Rajaković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd.

² Dušan Nikolić, Istraživač saradnik, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, kralja Aleksandra 73, Beograd.

³ Zoran Nikolić, vanr. prof. Institut Goša, Milana Rakića 35, Beograd.

Sunčevi zraci 22. decembra padaju normalno na južni povratnik i to je početak zime na severnoj polulopti. Beograd se nalazi na približno 45° severne geografske širine. U našem podneblju na oko $44,5^\circ$ severne geografske širine (gde je izvođen eksperiment) treba dodati $23,5^\circ$ (pomerenošću južnog i severnog povratnika za $23,5^\circ$ od ekvatora.) u zimskom periodu, tako da se maksimalna osunčanost može dobiti pod uglom od oko 68° tokom podneva. U letnjem periodu, maksimalna osunčanost iznosi oko 21° tokom podneva. Najčešće se kod fiksno postavljenih fotonaponskih panela, tokom cele godine, uzima srednja vrednost između ovih graničnih, a što iznosi 45° ili nagib koji odgovara geografskoj širini.

2. MERNÁ OPREMA

Merenje dopunjavanja akumulatorske baterije i izlaznog napona iz solarnog panela obavljeno je u periodu od 18. 12. 2006. do 30. 12. 2006. godine u okolini Beograda na obroncima Kosmaja (nadmorska visina oko 200 m), na $44,5^\circ$ severne geografske širine. U ovom periodu je temperatura uglavnom bila ujednačena i varirala je od nekoliko stepeni ispod 0°C u jutarnjim satima do nekoliko stepeni iznad 0°C u podne, kada je dostizala maksimum. U periodu od 18. do 26. decembra nije bilo sunčevog zračenja, jer je uglavnom padala kiša, sneg ili je bila magla.

Cilj obavljenih merenja je bio snimanje dnevnog dijagrama električne energije dobijene od solarog panela u okolini Beograda. Merenje se obavljalo u periodu dnevne kratkodnevnicke preko dopunjavanja akumulatorskih baterija. Ugao solarnog panela je iznosio 45° .

Korišćen je solarni fotonaponski panel firme Helios Technology, maksimalne snage 55 W, regulator punjenja maksimalne snage 120 W i akumulatorska baterija proizvođača Trepča, petočasnog kapaciteta 55 Ah. Merenje je obavljeno sa kompjuterskim sistemom za akviziciju podataka Hobo. Korišćena su dva naponska kanala za merenje napona izlaza solarnog panela i napona akumulatorske baterije. Analognim instrumentom za merenje struje mereno je dopunjavanje akumulatorske baterije tokom 13 dana decembra 2006. godine.

3. REZULTATI MERENJA

Rezultati merenja prikazani su tabelarno a zatim i graficki na slikama 1 i 2. Zatim su i detaljnije objašnjeni u pratećem tekstu.

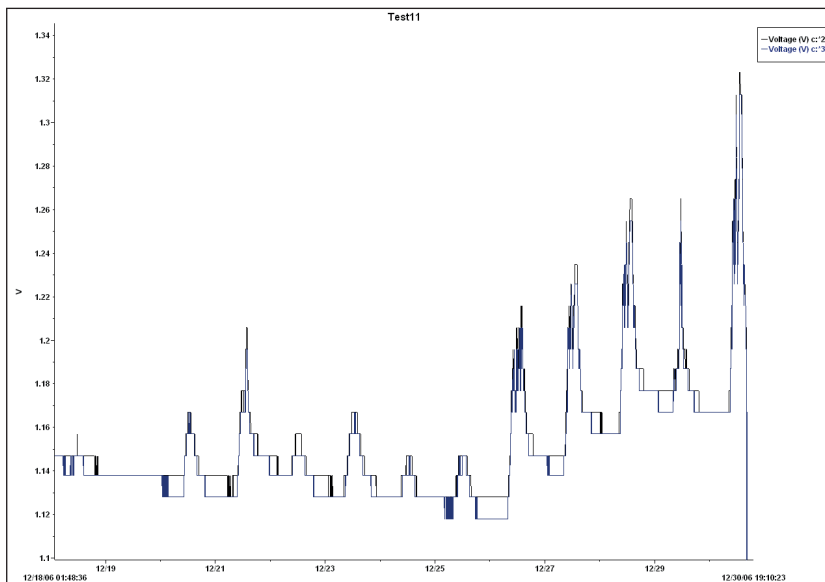
Merenje je obavljeno sistemom za akviziciju koji je na svaka 2 minuta prikupljao podatke o naponu akumulatorske baterije i naponu solarnog panela.

Tokom perioda od 18. 12. do 26. 12. došlo je do blagog pada napona akumulatorske baterije jer nije bilo dopunjavanja preko solarnog panela. Uočeno je da određeno dopunjavanje postoji i kod svetlog dana bez Sunca. No, ovo dopunja-

Tabela 1. Napomene o uslovima merenja tokom perioda snimanja

Dan	Min temp	Max temp	Izlazak sunca	Zalazak sunca	Napomena
18. dec	0°C	2°C	–	–	Ceo dan padala je kiša
19. dec	0°C	2°C	–	–	Ceo dan padao je sneg
20. dec	0°C	3°C	–	–	Ceo dan padao je sneg
21. dec	-1°C	3°C	–	–	Oblačno
22. dec	-1°C	1°C	–	–	Ceo dan bila je magla
23. dec	0°C	2°C	–	–	Ceo dan bila je magla
24. dec	0°C	1°C	–	–	Oblačno
25. dec	-1°C	1°C	–	–	Oblačno sa snegom
26. dec	-2°C	2°C	09,10 h	15,40 h	Promenljivo
27. dec	-4°C	4°C	08,10 h	15,45 h	Sunčano
28. dec	-5°C	4°C	08,10 h	16,00 h	Sunčano
29. dec	-3°C	1°C	08,00 h	13,00 h	Sunčano
30. dec	-2°C	4°C	08,00 h	16,00 h	Sunčano

vanje dovoljno je da samo pokrije sopstvenu potrošnju akumulatorske baterije i regulatora punjenja. Tokom ovog perioda napon akumulatorske baterije opao je od 12,6 V na 12,3 V.



Slika 1. Dvonedeljno ispitivanje sistema solarnog napajanja akumulatorske baterije u periodu oko zimskog solsticija 2006.

Od 26.12. nastupio je interesantniji period za posmatranje rada solarnog sistema. Sistem je registrovao sunčevo zračenje u ranim jutarnjim časovima, pa je i napon baterije rastao do maksimalnih 14,4 V veoma sunčanog 30. decembra. Merenje se i završilo istog dana u 16 h, po zalasku sunca, kada je napon baterije iznosio 13,1 V. Tokom noći se napon baterije spuštao za 0,5 – 0,8 V.

Rezultati merenja prikazani su na slikama 1 i 2.

4. DISKUSIJA REZULTATA MERENJA

Merenje struje u funkciji vremena obavljeno je 30. decembra na temperaturi iznad 0°C.

Tabela 2. Rezultati merenje struje punjenja akumulatorske baterije tokom 30. decembra 2006.

Vreme (min)	10.30	10.45	12.15	12.45	13.00	13.45	14.45	15.00	15.20	16.00
Struja (A)	1,05	1,15	1,50	1,56	1,36	2,10	0,33	0,56	0,26	0,00

Oko 12 časova pojavilo se smanjenje dopunjavanja akumulatorske baterije, jer je senka obližnjeg drveta padala na fotonaponski panel. Pri maksimalnoj struji punjenja oko 2,1 A, u 13,45 časova, napon akumulatorske baterije iznosi 14,2 V.

Na osnovu ovih merenja, kao i dijagrama merenja dnevne promena napona solarnog panela i napona akumulatorske baterije obavljenih 30. decembra 2006, moguće je odrediti ukupnu količinu elektriciteta kojim je solarni panel dopunio akumulatorsku bateriju:

$$Q_d = 9,5 \text{ Ah} \quad (7)$$

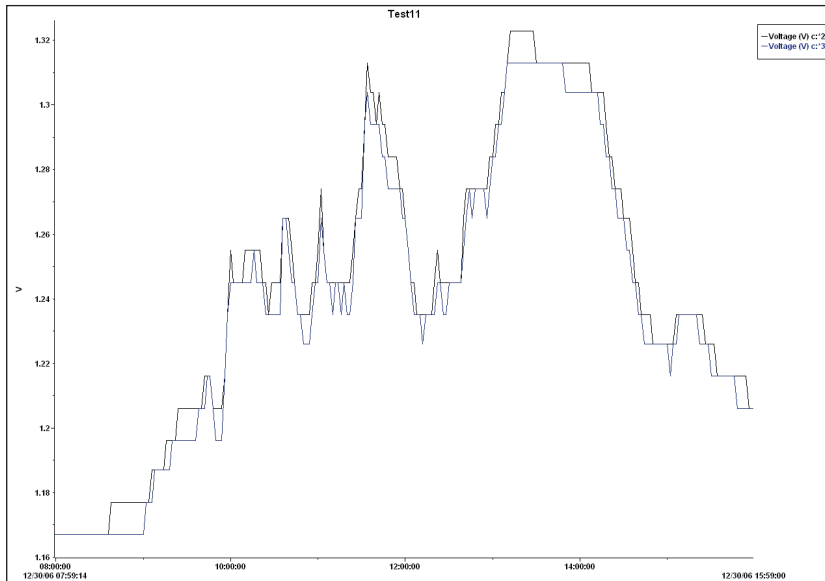
Dnevna električna energija kojom solarni panel dopunjava bateriju iznosi:

$$E_D = Q_d \cdot U_b = 9,5 \cdot 12 = 114 \text{ Wh} \quad (8)$$

Na osnovu dijagrama na slici 1, bilo je, tokom 13 dana merenja, 5 ovakvih dana, tako da ukupna akumulirana električna energija tokom perioda od 13 dana iznosi oko 570 Wh. Na osnovu ovih podataka može se odrediti srednja dnevna akumulirana električna energija za posmatrani period.

$$W_{spec} = W_{tot} / n = 570 / 13 = 43,8 \text{ Wh} \quad (9)$$

Pri ovome je potrebno napomenuti da se ispituje jedan solarni panel ukupne površine 0,392 m², nominalne snage 55 W, koji je postavljen pod uglom od 45°.



Slika 2. Rezultati merenja dnevne promene napona solarnog panela i napona akumulatorske baterije obavljani na 2 minuta tokom 30. decembra 2006.

Svedeno na jedinicu površine solarnih panela od 1 m^2 , moguće je dobiti specifične parametre za naše podneblje. Maksimalna dnevna električna energija kojom solarni panel površine od 1 m^2 dopunjava akumulatorsku bateriju u zimskim mesecima, iznosi:

$$E_{D1} = E_D \cdot S_f/S_p = 114 \cdot 1 / 0,392 = 290 \text{ Wh} \quad (10)$$

Srednja dnevna akumulirana električna energija za posmatrani period, oko zimske kratkodnevnicke, kojom solarni panel površine od 1 m^2 dopunjava akumulatorsku bateriju iznosi:

$$W_{D1} = W_{spec} \cdot S_f/S_p = 43,8 \cdot 1 / 0,392 = 112 \text{ Wh} \quad (11)$$

Struja samopražnjenja akumulatorske baterije noću, kada solarni panel nije u funkciji, iznosi oko 45 mA. Potrošnja svakog razdelnika napona za merenje napona akumulatorske baterije i napona solarnog panela iznosi:

$$I_{R1} = U_b / \sum R = 12 / 1320 = 9 \text{ mA} \quad (12)$$

Može se zaključiti da sopstvena potrošnja regulatora punjenja akumulatorske baterije iznosi:

$$I_R = 45 - 2 \cdot 9 = 27 \text{ mA} \quad (13)$$

Dnevni gubitak energije regulatora punjenja iznosi:

$$W_R = U_b \cdot I_R \cdot t = 12 \cdot 27 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 7,8 \text{ Wh} \quad (14)$$

Mada je ovo mali iznos snage, mora se u nekim preciznijim računima uzeti u obzir, posebno tokom zimskog perioda.

5. ZAKLJUČAK

Ispitivanje rada fotonaponskog solarnog sistema za dopunjavanje akumulatorske baterije obavljeno je tokom dve nedelje oko kratkodnevnice 2006. godine, u periodu od 18. 12. 2006. do 30. 12. 2006. godine. Tokom 13 dana, kada je obavljeno ispitivanje, bilo je 5 uglavnom sunčanih dana, 1 dan je padala kiša, 3 dana padao je sneg, 2 dana su bila oblačna i 2 dana je bila magla.

Tokom prvih osam dana ispitivanja nije bilo značajnijeg punjenja akumulatorskih baterija, već samo blagog dopunjavanja kojim se praktično nadoknađivalo noćno samopražnjenje. Mada postoji određeno dopunjavanje akumulatorskih baterija i tokom svetlih dana bez sunca, intenzivnije dopunjavanje odvija se samo tokom sunčevih intervala. Takav period nastupio je u drugom delu ispitivanja koji je trajao 5 dana.

Merenje i ispitivanja solarnog panela koji je bio fiksno postavljen pod uglom od 45° pokazala su da maksimalna dnevna akumulirana električna energija tokom sunčanog dana u ovom periodu iznosi oko 290 Wh/m², a prosečna za ceo period oko 112 Wh/m². Neizbežni gubici energije u regulatoru punjenja iznose u ovom slučaju oko 2,9% od dnevne energije kojom solarni paneli dopunjavaju akumulatorske baterije.

Rezultati merenja se poklapaju sa teorijskim, ranije izračunatim podacima[1].

Kada se pravi praktičan proračun primene i instalacije fotonaponskog sistema za autonomno napajanje malih, lokalnih potrošača, potrebno je ove podatke imati u vidu. Ako je sistem predviđen za pretežno zimske uslove korišćenja, potrebno je povećati nagib panela sa 45° na 55°. Ako se vrši napajanje važnih potrošača koji ne mogu da budu bez napajanja više dana u zimskom periodu, potrebno je obezbediti i pomoćni agregat, najčešće manji generator koga pokreće motor sa unutrašnjim sagorevanjem.

Da bi se fotonaponski sistemi široko koristili, moraju postati konkurentni sa cenom električne energije dobijenom iz konvencionalnih izvora. U Evropi srednja cena električne energije iznosi od 0,05 do 0,07 €/kWh[3]. Cena dobijenog kWh iz

fotonaponskog sistema iznosi oko 0,35 – 0,55 €/kWh, ali se očekuje znatan pad tako da se već do 2010. godine predviđa pad na 0,20 – 0,25 €/kWh[4].

Američki naučnici su još veći optimisti i teže cilju da do 2015. cena proizvedenog kWh bude u opsegu 0,07 – 0,10 US\$/kWh. Sa cenom od 3,5\$/W[5] maksimalne snage, za koliko se već danas može kupiti fotonaponski panel u Kini, verujemo da će se ti ciljevi u velikoj meri i ostvariti.

ZAHVALNOST

Autori zahvaljuju Žarku Ševaljeviću sa Elektrotehničkog fakulteta na velikoj pomoći oko ispitivanja fotonaponskog sistema.

6. LITERATURA

- [1] N. Rajaković, D. Nikolić, Z. Nikolić: *Proračun osnovnih komponenata fotonaponskog sistema napajanja*, Zbornik radova: Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, Podgorica, CANU, 2007.
- [2] Z. Nikolić, M. Pucar, P. Dakić: *Obnovljivi izvori energije na Svetoj Gori*, Zbornik radova: *Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene*, Podgorica, CANU vol. 77, Odjeljenje prirodnih nauka vol. 10, 2006, p. 109-116.
- [3] F. Haugwitz: *Photovoltaics in Germany*, Proceeding of the SNEC International Solar and PV Conference, Shanghai, China, 11-13 May 2007, p. 146-153.
- [4] G. Hering: *Seeking a breakthrough*, Photon International, No. 4, April 2007. p. 80-82.
- [5] H. Schulze: *Thin film: Market Situation, Prospects and its Chances in China* *Proceeding of the SNEC International Solar and PV Conference, Shanghai, China, 11-13 May 2007, p. 200-2072.*

PHOTOVOLTAIC POWER SUPPLY MEASUREMENTS DURING WINTER SOLSTICE

APSTRACT:

This paper presents process of measuring electric energy gained from photovoltaic panels in Serbia. Photovoltaics were used to charge battery, in a period around winter solstice (the most unfavorable moment), and some measurement results were shown. Measurements were conducted near Belgrade, on 44°30' northern latitude. All results are adjusted to photovoltaic surface of 1 m².

Key words: *photoelectric conversion, solar power supply, solar radiation energy, winter solstice*

