

# Mogućnost povećanja stepena iskorišćenja fotonaponskih panela

Zoran Stević

Mirjana Rajčić-Vujasinović

Vesna Grekulović

Tehnički fakultet Bor

Univerzitet u Beogradu

Beograd, Srbija

[zstevic@etf.rs](mailto:zstevic@etf.rs), [mrajcic@tf.bor.ac.rs](mailto:mrajcic@tf.bor.ac.rs)

[vfajnisevic@tf.bor.ac.rs](mailto:vfajnisevic@tf.bor.ac.rs)

Miloš Tripunović

Telekom Srbija,

Beograd, Srbija

[milostr@telekom.rs](mailto:milostr@telekom.rs)

Dragan Topisirović

Centar za talente

Niš, Srbija

[centar@medianis.net](mailto:centar@medianis.net)

**Sadržaj**— U radu su prikazani rezultati merenja stepena iskorišćenja standardnih fotonaponskih panela pri različitim temperaturama. Potvrđeno je da efikasnost značajno pada sa povećanjem temperature i predloženo je šire uvođenje termoelektričnih poluprovodničkih modula za dodatno iskorišćenje oslobođene energije. Karakterizacija fotonaponskih panela i termoelektričnih modula vršena je termovizijski.

**Ključne reči** - Fotonaponski paneli; Solarni sistemi; Termoelektrični moduli; Termovizija; Energetska efikasnost; Obnovljivi izvori energije

## I. UVOD

Jedan od najvažnijih faktora koji utiču na rad fotonaponske ćelije je temperatura. Sunčevo zračenje se većim delom apsorbuje u telo modula. Deo te energije pretvori se u električnu energiju i preda potrošaču, dok se deo pretvara u unutrašnju energiju materijala od kojeg je napravljena ćelija te dolazi do povišenja temperature. Deo toplote se odvodi poznatim mehanizmima prenosa toplote (konvekcija, kondukcija i radijacija). Jednačina koja opisuje prenos toplote je [1]:

$$C \frac{dT}{dt} = E_{aps} - q_V - q_D - q_R - P_{el}$$

pri čemu je :

$C$  toplotni kapacitet materijala od kojeg je napravljen modul,

$E_{aps}$  ukupno ozračenje koje se apsorbuje u ćeliji,

$q_D$  toplotni fluks odvođenja kondukcijom,

$q_V$  toplotni fluks odvođenja konvekcijom,

$q_R$  toplotni fluks odvođenja zračenjem,

$P_{el}$  električna snaga potrošača.

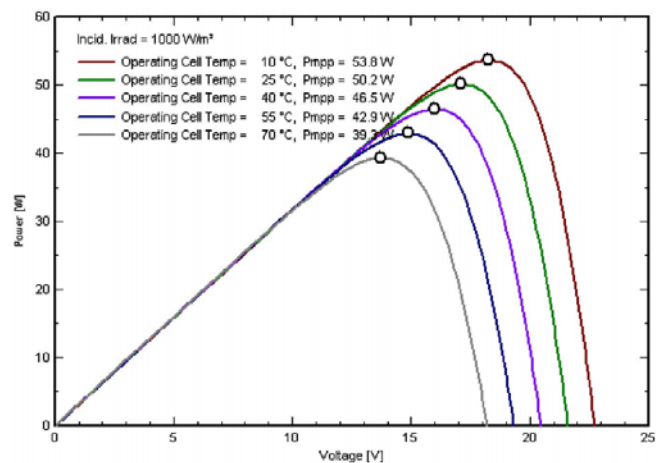
$U-I$  kriva fotonaponskog panela zavisi od intenziteta zračenja i temperature. Jednačine koje opisuju temperaturnu zavisnost fotonaponske ćelije [2]:

$$I_{PV} = I_l - I_0 \left( e^{q(V_{PV} + I_{PV}R_S)/AKT} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_{sh}}$$

$$P_{PV} = V_{PV} I_{PV}$$

gde je:  $I_{PV}$  struja modula (A),  $I_l$  struja generisana svetlošću (A),  $I_0$  inverzna struja zasićenja,  $q$  naelektrisanje elektrona (C),  $K$  Bolcmanova konstanta (J/K),  $A$  faktor diode,  $T$  temperatura modula (K),  $R_S$  redna otpornost modula ( $\Omega$ ),  $R_{sh}$  paralelna otpornost ( $\Omega$ ),  $V_{PV}$  izlazni napon modula (V), i  $P_{PV}$  dobijena snaga modula (W) [3].

Familija krivih zavisnosti izlazne snage od napona, pri različitim temperaturama prikazana je na slici 1. [2].



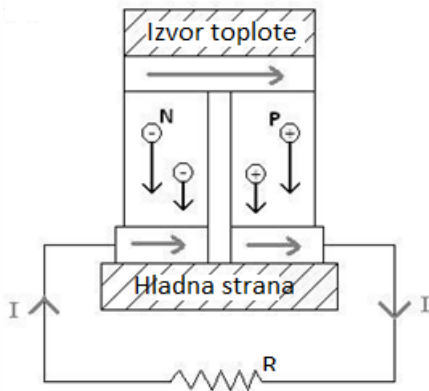
Slika 1. Zavisnost izlazne snage od napona pri različitim temperaturama [2]

Iz ovoga sledi da efikasnost solarnih ćelija značajno pada sa porastom temperature. Sa druge strane, po prirodi stvari one se greju i zbog sunčevog zračenja i zbog protoka struje, pa se veća efikasnost postiže hlađenjem podloge. Dodatna dobit može se postići iskorišćenjem suviše toplote primenom termoelektričnih modula. Kada su strane termoelektričnog modula na različitim temperaturama, on može poslužiti i kao

generator električne energije. Ako se priključi na električno napajanje on postaje toplotna pumpa, tako da po potrebi može hladiti panel leti, ili grejati zimi (pogodno za otapanje snega).

Najveća prednost termoelektričnih modula je da rade na električnom principu bez pokretnih delova što značajno pojednostavljuje održavanje. Ne stvaraju buku ni električni šum pa se mogu koristiti zajedno sa osetljivim elektronskim sensorima. U poređenju sa mehaničkim sistemima hlađenja mnogo su manji i lakši za istu snagu, a u radu ne koriste nikakve hemikalije ili gasove koji mogu biti štetni za okolinu. Zbog poluprovodničke konstrukcije imaju vrlo visoku pouzdanost. Tipični vek trajanja im je veći od 200.000 radnih sati [4].

Princip rada termoelektričnog generatora prikazan je na slici 2.



Slika 2. Princip rada termoelektričnog generatora

## II. EKSPERIMENTALNI DEO

Izvršeno je ispitivanje niza komercijalnih fotonaponskih panela u različitim uslovima. Kod većih panela isitivane su pojedinačne ćelije, kako bi se imala uvek ista snaga zračenja na datoj površini. Kao izvor zračenja korišćeni su poluprovodnički laseri snage 0,5 do 1W, različitih talasnih dužina u vidljivom delu spectra.

Veći paneli snimani su pri sunčevom zračenju. Termovizijski su utvrđene anomalije čak i kod novih uređaja. Poluprovodnički sloj najčešće nije homogen, tako da dolazi do neravnomernog zagrevanja, što se termovizijski lako detektuje.

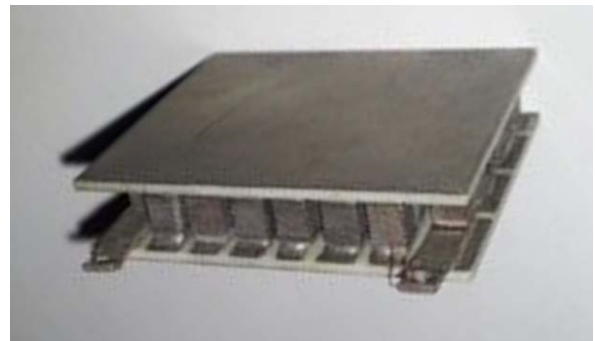
Stepen iskorišćenja  $\eta$  fotonaponskog modula određen je odnosom izlazne (električne) snage  $P_{el}$  i snage zračenja lasera  $P_z$ :

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_z}$$

Električna snaga na izlazu merena je U-I metodom, a snaga zračenja je poznata za svaki upotrebljeni laser.

Za praćenje temperature i homogenosti zagrevanja Korišćena je digitalna termovizijska kamera Wohler IK 21, čiji se rad zasniva na nehladenom germanijumskom termoelektričnom linijskom detektoru. Ona formira termalnu sliku merenjem infracrvene radijacije određenog tela ili celokupne scene. Softver, koji kamera sadrži, vrši neophodnu korekciju pri konverziji termalne slike u odgovarajući termogram, koji predstavlja aproksimaciju tačne temperature snimljenog objekta, ili temperaturnu raspodelu u sceni. Jedna od prednosti kamere IK 21 je širok temperaturni opseg, odnosno ona može, u jednoj slici, da prikaže velike razlike u temperaturi. Napaja se pomoću standardne baterije za video kamere. Slike se prikazuju u boji na LCD ekranu dijagonale 10.2 cm. Temperaturna raspodela površine koje se snima prikazuje se varijacijom boja [5,6].

Termovizijski i električno su ispitani i termoelektrični poluprovodnički moduli različite konstrukcije i snage (10 do 30W, slika 3.).

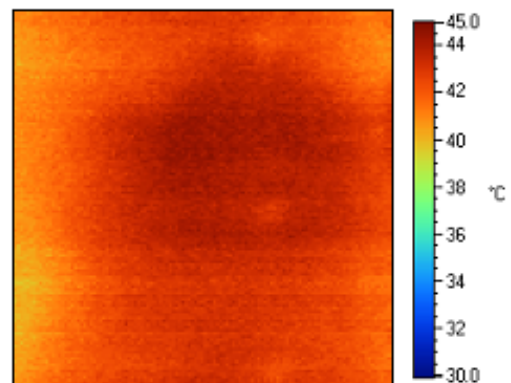


Slika 3. Termoelektrični modul 30W

## III. REZULTATI I DISKUSIJA

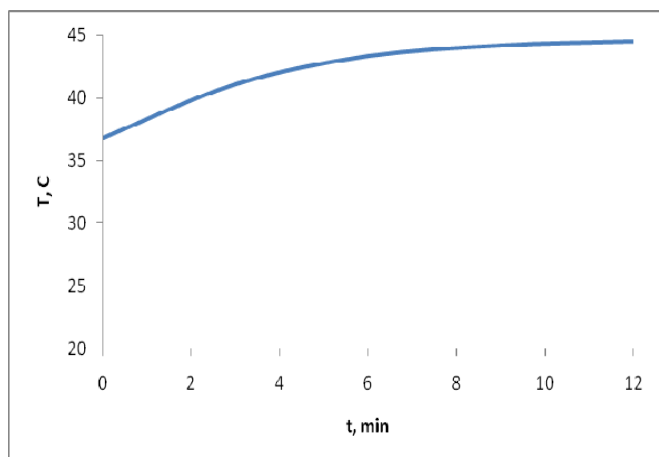
### A. Solarni paneli

Ovde je prikazano termovizijsko ispitivanje monokristalnog modula 50W, 12V. Modul je opterećen termičkim potrošačem otpornosti 10Ω. Pri srednje sunčanom vremenu izmereni su napon  $U=14,3V$  i struja  $I=1,45A$ . Napon praznog hoda bio je  $U_0=20,5V$ . Uočena je značajna anomalija (povećano zagrevanje) jedne ćelije (slika 4).



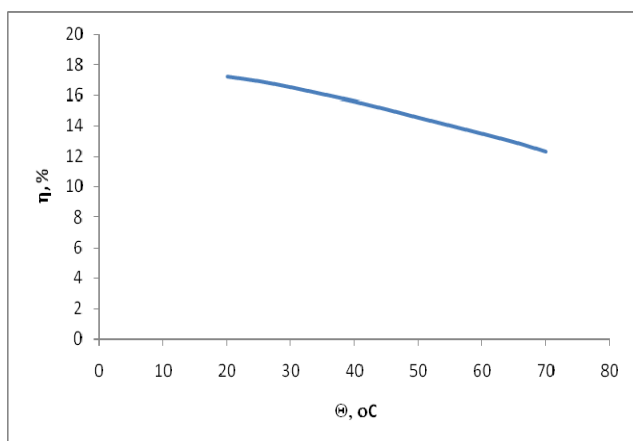
Slika 4. Termogram ćelije sa povećanim zagrevanjem

Na slici 5. Prikazan je dijagram promene temperature u vremenu. Vidljivo je da je stacionarno stanje dostignuto posle 12 minuta od uključenja.



Slika 5. Promena maksimalne temperature panela

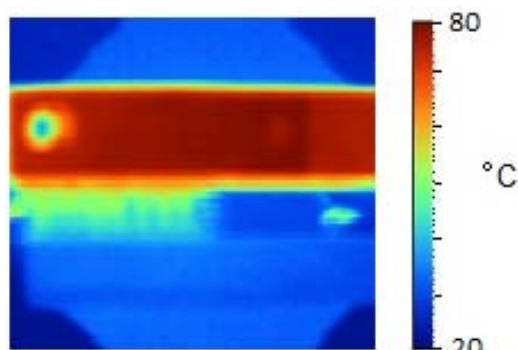
Za isti panel meren je i stepen iskorišćenja pri promeni temperature. Dobijena kriva prikazana je na slici 6. Može se uočiti veliki pad iskorišćenja, pa se zato predlaže kombinacija fotonaponskih i termoelektričnih modula.



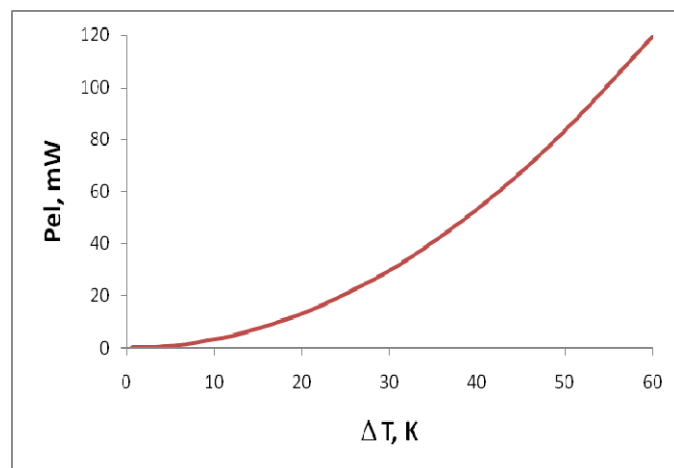
Slika 6. Zavisnost stepena iskorišćenja fotonaponskog panela 50W, 12V od temperature

#### B. Termoelektrični moduli

U cilju iskorišćenja toplote oslobođene na fotonaponskom panelu mogu se upotrebiti termoelektrični moduli. Ovde je prikazano termovizijsko ispitivanje modula na bazi  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  snage 30W (slika 7.). Jedna strana modula grejana je do  $80^\circ\text{C}$ , a onda puštena da se prirodno hladi. Druga strana je pasivno hlađena na približno  $22^\circ\text{C}$ . Modul je opterećen termogenim potrošačem otpornosti  $R_p=2,2\Omega$ , kako bi se dobila maksimalna korisna snaga, pošto je u posmatranom opsegu temperature unutrašnja otpornost modula približno konstantna i iznosi  $R_u=2,2\Omega$ . Dobijena zavisnost izlazne (električne) snage od razlike temperatura tople i hladne strane prikazana je na slici 8.



Slika 7. Termovizijski snimak termoelektričnog modula



Slika 8. Zavisnost izlazne snage termoelektričnog modula 30W od razlike temperature tople i hladne strane

Dobijeni mali izlazni napon, odnosno snaga, pri relativno malim razlikama temperature navodi na zaključak da treba više modula redno spojiti i tako dobiti efikasniji sistem.

#### IV. ZAKLJUČAK

Pokazano je da se, fizički veoma složen proces infracrvene termografije, može uz pomoć relativno jednostavne i ne tako skupe opreme, primeniti u realnim sistemima. Ovde je termografija primenjena za dijagnostiku i karakterizaciju fotonaponskih i fotoelektričnih modula u cilju povećanja energetske efikasnosti njihovim kombinovanjem. Analiza rezultata snimanja solarnih panela, omogućila je otkrivanje brojnih nedostataka i potencijalno veoma opasnih mesta, a takodje je utdjeno smanjenje efikasnosti sa porastom temperature. Zato je izvršeno i termografsko ispitivanje termoelektričnih elemenata i modula različitih snaga, konstrukcija i materijala. Rezultati ukazuju na pravce daljeg istraživanja u smislu optimizacije modula i hibrida.

#### ZAHVALNICA

Ova istraživanja finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, projekat br. 172060

## LITERATURA

- [1] Mario Perić, Računalna simulacija rada fotonaponskog sustava, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 2002
- [2] V. Jafari Fesharaki, Majid Dehghani, J. Jafari Fesharaki, Hamed Tavasoli, The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency, Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation – ETEC Tehran, Iran, 20-21 November 2011
- [3] Azab. M. (2010). Optimal power point tracking for stand-alone PV System using particle swarm optimization, IEEE Int Symposium on, in Industrial Electronics (ISIE), pp. 969-973.
- [4] Ivan Šumiga, Mladen Grdan, Josip Hudek, Termoelektrični moduli - fizikalne osnove i smjernice za uporabu, Tehnički glasnik, Vol.1, No 1-2, 2007, 5-10
- [5] Infrared Solutions Inc. <http://www.infraredsolutions.com>
- [6] Z. Stević, M. R. Vujasinović, D. Antić, Primena termovizije, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Bor, 2008.

## ABSTRACT

This paper presents the results of measuring the efficiency of standard photovoltaic panels at different temperatures. It has been confirmed that efficiency drops significantly with increasing temperature, and it was suggested that the wider introduction of semiconductor thermoelectric modules for further utilization of the energy. Characterization of photovoltaic panels and thermoelectric modules was performed using thermal imaging.

### **THE POSSIBILITY OF AN INCREASE IN EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS**

Zoran Stevic, Mirjana Rajcic-Vujasinovic, Vesna Grekulovic,  
Miloš Tripunovic, Dragan Topisirovic