

# MJERNA STANICA ZA MODELIRANJE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE FOTONAPONSKOM TEHNOLOGIJOM

## THE MEASURING STATION FOR ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION MODELING USING PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY

*Igor Petrović, Robert Herčeki, Sebastijan Kos*

Stručni rad

**Sažetak:** U ovom članku prikazana je koncepcija prototipne mjerne stanice sa fotonaponskim sustavom i dvoosnim usmjerivačem koja ujedno služi i kao mjerni i akvizicijski sustav. Mjereni podaci odnose se na podatke potrebne za modeliranje proizvodnje električne energije fotonaponskim sustavom na određenoj lokaciji zasnovanoj na konvencionalnim analitičkim modelima. Za ovu primjenu odabran je model Liu-Jordan-Klein, pa su i mjerene veličine prilagođene ulaznim podacima tog modela. Za tako konstruiranu prototipnu mjernu stanicu puštena je u rad mjerna oprema i izmjerene su karakteristike kanala za mjerenje pojedinih veličina.

**Ključne riječi:** fotonaponski sustav, dvoosno usmjeravanje, mjerni sustavi, konvencionalni analitički model

Professional paper

**Abstract:** The concept of prototype measurement station is presented in this paper with photovoltaic system and dual-axis directing which is also used as measuring and acquisition system. The measured data are referring to data necessary for modeling of photovoltaic production of electrical energy for specific location based on conventional analytical models. The Liu-Jordan-Klein model is selected for this application, and therefore all measured values are adapted to this model input data. For described prototype measurement station the measuring equipment was run in test mode and characteristics of measuring channels for each measured value is provided.

**Key words:** photovoltaic system, dual-axis directing, measuring system, conventional analytical model

### 1. UVOD

Pri nastanku ideje o izgradnji fotonaponskog postrojenja potrebno je provesti dobro planiranje u kojem je glavni podatak isplativost investicije. Da bi se došlo do dobre odluke potrebno je raspolagati kvalitetnim informacijama o mogućnostima odabrane lokacije kao u [1]. S obzirom na to da proizvodnja energije fotonaponskim postrojenjem ovisi većinom o klimatskim faktorima te načinu instalacije potrebno je dobro modelirati uvjete na odabranoj lokaciji prema [2]. Mogućnost odabira instalacije je fiksna, jednoosno ili dvoosno usmjeravanje.

Znanstvenim pristupom analizom višegodišnjih baza podataka moguće je pretpostaviti uvjete u narednom vremenskom periodu, prema [3] i [4]. Za konkretnu godinu primjene mogućnost pogreške rezultata je veća, dok se za višegodišnje periode ta pogreška smanjuje zbog očekivanog trenda da se približava prosjeku. Zbog toga je potrebno rezultate modela periodički osvježavati, a prema potrebi čak i redefinirati strateške točke u inicijalnom planu i projektu fotonaponskog postrojenja. U ovom radu prikazan je pregled najvažnijih veličina za modeliranje proizvodnje električne energije fotonaponskim postrojenjem iz modela prema [5], te opisani uređaji za mjerenje veličina važnih u izradi baze

podataka za modeliranje proizvodnje električne energije fotonaponskim sustavom.

### 2. POTREBE MODELIRANJA PROIZVODNJE ENERGIJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA

Modeliranje proizvodnje električne energije, prema [6], fotonaponskim sustavom provodi se na temelju konverzije dostupne snage Sunčevog zračenja  $H$  u električnu energiju. Snaga proizvodnje električne energije u idealnim uvjetima odnosi se prema dostupnoj snazi u konstantnom omjeru, a opisana je prema [6] jednadžbom (1) uz pomoć koeficijenta  $k_p$ . Tako je prosječna efikasnost fotonaponskih modula u standardnim testnim uvjetima odprilike 15 %. Ostatak Sunčevog zračenja se ne pretvara u korisnu električnu energiju.

$$P(H) = k_p \cdot H \quad (1)$$

No nije samo Sunčevo zračenje dominantan faktor u pretvorbi energije fotonaponskim modulima. Također značajnu ulogu ima i temperatura poluvodičkih spojeva unutar fotonaponskih ćelija. Povećanje temperature

utječe na unutarnji otpor poluvodičkih spojeva povećavajući mu vrijednost. Tako je i ukupna snaga koja se gubi na unutarnjem otporu veća, odnosno smanjuje se efikasnost fotonaponskih modula. Odnos temperature i električne snage fotonaponskog modula opisan je prema [6] jednadžbom (2) uz pomoć linearnog koeficijenta  $k_T$  prosječne vrijednosti  $-0,5 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ . Povećanje temperature također povećava struju kratkog spoja a smanjuje napon praznog hoda fotonaponskog modula, no u izračunu energije vrijednost snage je dovoljna pa te dvije veličine nisu predmet ovog istraživanja.

$$P(T_2) = P(T_1) \cdot [1 + k_T \cdot (T_2 - T_1)] \quad (2)$$

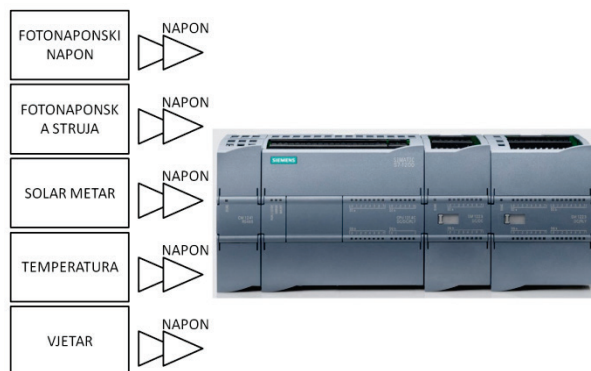
Dvojak utjecaj na proizvodnju električne energije fotonaponskog modula sa dvosmjernim usmjeravanjem ima vjetar. S jedne strane vjetar je koristan jer pruža ventilacijski učinak čime pojačava odlaz toplinske energije unutarnjih gubitaka. No prevelika brzina vjetra pri kontaktu sa površinom fotonaponskih modula na dvosmjernom usmjerivaču proizvodi efekt jedra, te može djelovati mehaničkom silom koja će uništiti konstrukciju dvoosnog usmjerivača. Stoga je vrlo korisno poznavati vrijednost brzine vjetra na mjestu instalacije fotonaponskog sustava sa dvoosnim usmjerivačem.



Slika 1. Prototipna mjerna stanica fotonaponskog sustava sa dvoosnim usmjerivačem

Prototipna mjerna stanica fotonaponskog sustava sa dvoosnim usmjerivačem, prikazana na slici 1., izvedena je prema predlošku iz [7], ali ima mogućnost mjerenja svih ovdje navedenih fizikalnih veličina. Upravljanje sustavom za usmjeravanje izvedeno je PLC uređajem tipa Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C. Signal board 1xAQ i modul za nadogradnju tipa 4xAI / 2xAQ koriste se za regulaciju brzine motora usmjerivača i akviziciju mjerenih podataka. Blok shema opisanog mjerno-

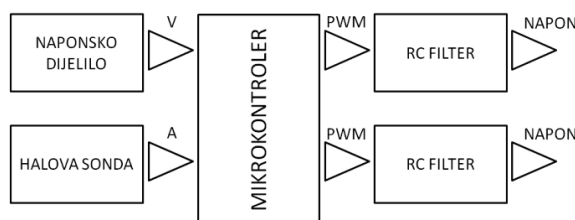
akvizicijskog sustava prikazana je slikom 2. Fotonaponski modul je SOLE SL 50AA 36, monokristalne izvedbe, snage 50 W. Usmjerivač je izveden pomoću dva istosmjerna stroja sa reduktorom i samokočnim mehanizmom, nazivnog napona 12 V. Regulacija brzine izvodi se indirektno pomoću napona armature od 0-12 V istosmjernim pretvaračem.



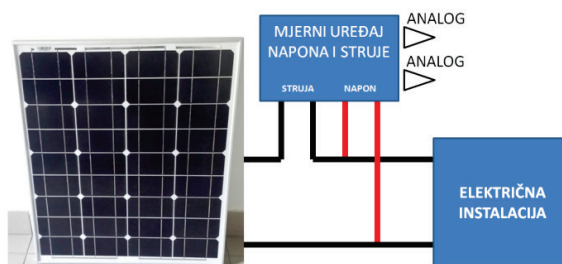
Slika 2. Sustav za mjerenje i akviziciju podataka

### 3. SUSTAVI ZA OPORAVAK PODATAKA U SLUČAJU KATASTROFE

Mjerenje električnih veličina koristi se za izračun proizvedene električne energije fotonaponskim sustavom. Ovi podaci služe za provjeru rezultata modela dobivenih pomoću platforme sa senzorima. Korekcije modela fotonaponskog sustava za određenu lokaciju, odnosno podneblje, vrši se iz analize razlika koje nastaju između modeliranih i mjerenih vrijednosti. Mjerenje struje i napona fotonaponskog sustava izvedeno je također mikrokontrolerskim mjernim uređajem prikazan slikom 3.



Slika 3. Sustav za mjerenje napona i struje fotonaponskog modula



Slika 4. Spajanje sustava za mjerenje napona i struje fotonaponskog modula

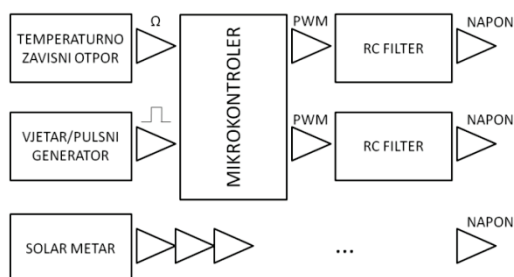
Mjerenje napona provodi se iz naponskog dijelila na analognom ulazu mikrokontrolera. Mjerenje struje provodi se pomoću Hallove sonde na analognom ulazu

mikrokontrolera. Za oba kanala se jednakom obradom pojedinačnih mjerenih ulaznih podataka generira pulsno-širinski modulirani signal na digitalnom izlazu mikrokontrolera koji se prosljeđuje na izlaz kanala za mjerenje napona putem RC filtera za „peglanje“ napona. Izlazni napon je u rasponu 0-5 V. Spajanje kanala je prikazano slikom 4.

Za potrebe modeliranja proizvodnje električne energije fotonaponskog sustava sa dvoosnim usmjeravanjem potrebno je prikupiti podatke kao što je opisano u prošlom poglavlju. Za prikupljanje podataka iz okoline mora se izraditi platforma sa senzorima. Naziv senzor koristi se za uređeni blok uređaja kojima se informacija sa osjetnika obrađuje i prilagođava za korištenje u automatiziranim sustavima (akvizicija podataka, PLC, SCADA, baze podataka, itd.). Platforma je opremljena sa tri senzora:

1. senzor temperature
2. senzor brzine vjetra
3. mjerač svjetlosti (luxmetar)

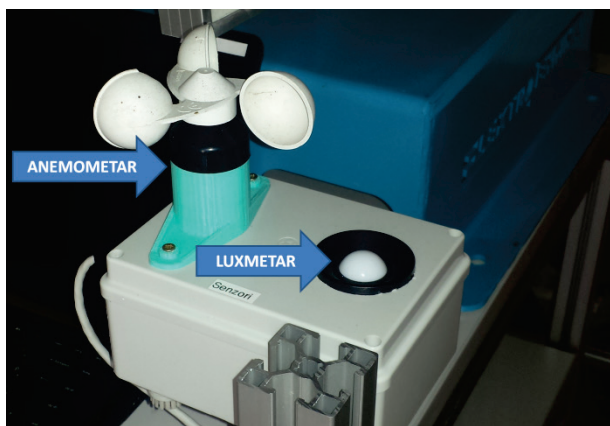
Kao osnova platforme koristi se mikrokontroler koji obrađuje podatke sa senzora i pretvara ih u analogne signale kompatibilne sa upravljačkim/nadzornim sustavom prikazan slikom 5.



Slika 5. Sustav za svjetlosti, temperature i brzine vjetra

Za mjerenje Sunčevog zračenja koristi se luxmetar kompaktne izvedbe, opisan u ISO-TECH 1332A i prikazan slikom 6. Uređaj je precizni digitalni luxmetar robusne izvedbe, te ima 4 mjerna područja:

- 200 Lux
- 2 000 Lux
- 20 000 Lux
- 200 000 Lux



Slika 6. Osjetnici za svjetlost i brzinu vjetra

Za prikaz rezultata mjerenja na samom uređaju koristi se LCD ekran, te je dostupan vlastiti analogni izlaz od 0 do 5 V. Taj izlaz koristi se direktno kao izlazni signal iz platforme sa senzorima. Osobitu pozornost zahtjeva interpretacija mjerenih podataka svjetlosti prema traženoj vrijednosti Sunčevog zračenja. Konverzija se vrši uz pretpostavku sastava svjetla, a nije nužno jednoznačna za različite klimatske uvjete na određenoj lokaciji.

Senzor temperature izveden je pomoću NTC otpornika koji je ovisan o temperaturi uz negativan koeficijent, što znači da ako temperatura raste i vrijednost otpora pada, odnosno vrijedi i obratno. Izvedba osjetnika temperature prikazana je slikom 7. Temperatura se računa iz mjerene vrijednosti napona, tako da se vrijednost očitava na ADC (analog to digital conversion) ulazu mikrokontrolera. Konačno, mikrokontrolerom se može izračunati temperatura prema jednadžbi (3).

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{V_{ADC}}{1023 - V_{ADC}}\right) + \ln\left(\frac{R}{R_{NTC}}\right) + \frac{B}{T_N}} \quad (3)$$

U jednadžbi (3) je  $B$  konstanta iznosa 3450, a  $T_N$  nazivna temperatura iznosa 298,15 K. Nakon što je izračunata vrijednost temperature, dobivenu vrijednost potrebno je korigirati kalibracijskim faktorom. Dobiveni rezultat se koristi kao referentna vrijednost za izlazni PWM signal. PWM izlaz mikrokontrolera propušten je kroz RC filter koji ispravlja digitalni signal te kao konačni izlaz senzora daje srednju vrijednost ulaznog napona u filter. Promjenom temperature mijenja se vrijednost izlaznog napona sa RC filtera. Vrijednost izlaznog signala senzora kreće se u rasponu od 0 do 5 V.



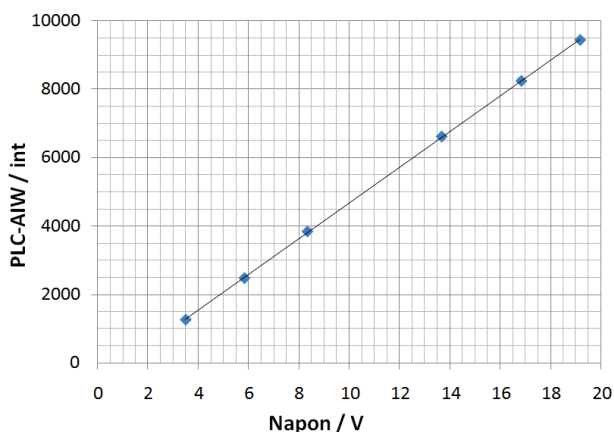
Slika 7. Osjetnik za temperaturu

Brzinu vjetra mjeri se anemometrom s tri lopatice koji po jednom okretaju na svom izlazu daje 4 digitalna impulsa. Izvedba osjetnika brzine vjetra prikazana je slikom 6. Anemometar je spojen direktno na mikrokontroler na ulaz koji se koristi kao brojač. Pomoću mikrokontrolera se digitalni impulsi obrađuju u određenom vremenskom periodu i na izlaz postavlja vrijednost frekvencije vrtnje anemometra. Brzina vjetra vezana je za vrijednost mjerene frekvencije, odnosno kružne brzine i udaljenosti lopatica od centra vrtnje. Umnožak tih vrijednosti daje obodnu brzinu, odnosno brzinu vjetra. Obrada digitalnog u analogni izlazni signal senzora brzine radi identično kao za signal temperature koji je prethodno opisan.

#### 4. KARAKTERISTIKE MJERNOG SUSTAVA ZA ELEKTRIČNE I FIZIKALNE VELIČINE

Mjerenje karakteristike odnose se na prijenos ulazne veličine do očitavanja na analognom ulazu PLC uređaja. Tako je očitavanje u integer vrijednosti pridruženo vrijednostima u amperima, voltima, luxima, °C i m/s. Prilikom korištenja ovakvog sustava pretvorba se vrši u suprotnom smjeru. Stoga jednadžbe pretvaraju integersko očitavanje nazad u vrijednosti veličina napona, struje, svjetlosti, temperature i brzine vjetra.

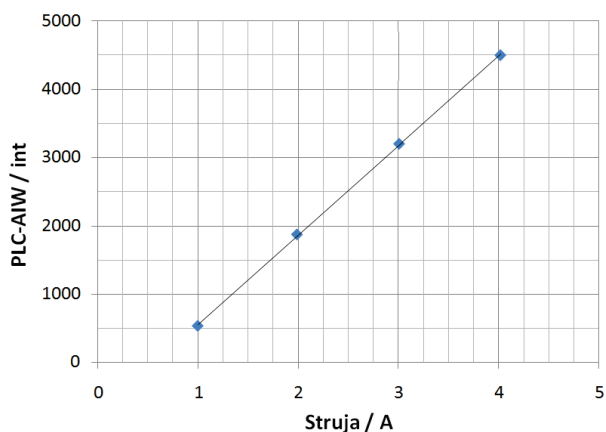
Mjerenje napona je u rasponu prilagođenom fotonaponskom modulu, i to od 0 do 25 V. Karakteristika je prikazana slikom 8. dok je konverzija očitavanja analognog ulaza dana jednadžbom 4.



Slika 8. Karakteristika mjerenja napona fotonaponskog modula

$$U = 0,001919 \cdot AIW + 1,042226, (V) \quad (4)$$

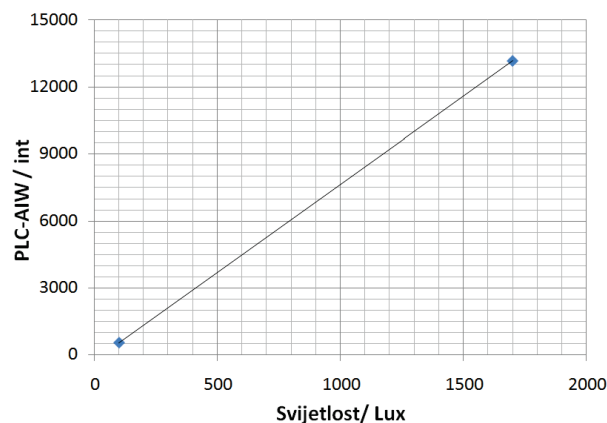
Mjerenje struje je u rasponu prilagođenom fotonaponskom modulu, i to od 0 do 10 A. Karakteristika je prikazana slikom 9. dok je konverzija očitavanja analognog ulaza dana jednadžbom 5.



Slika 9. Karakteristika mjerenja struje fotonaponskog modula

$$I = 0,000762 \cdot AIW + 0,582635, (A) \quad (5)$$

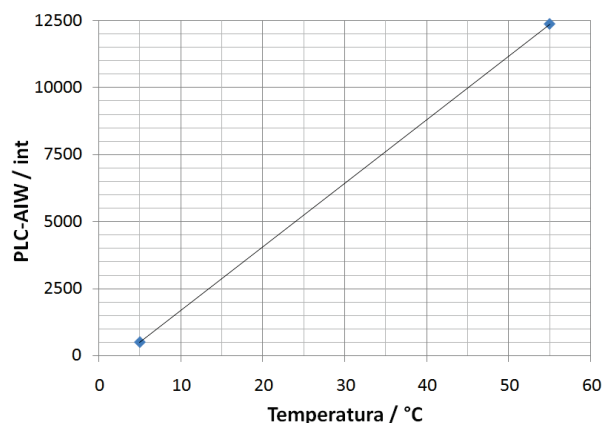
Mjerenje svjetlosti je u rasponu prilagođenom očekivanim vrijednostima, i to od 0 do 2000 Lux. Karakteristika je prikazana slikom 10. dok je konverzija očitavanja analognog ulaza dana jednadžbom 6.



Slika 10. Karakteristika mjerenja horizontalne svjetlosti

$$H = 0,204918 \cdot AIW + 8,653689, (Lux) \quad (6)$$

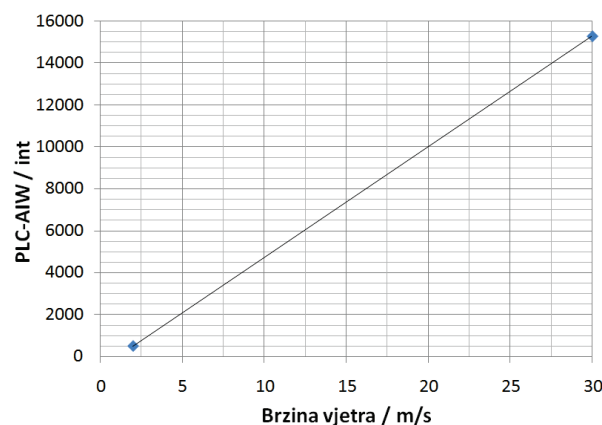
Mjerenje temperature je u rasponu prilagođenom očekivanim vrijednostima, i to od -30 do 70 °C. Karakteristika je prikazana slikom 11. dok je konverzija očitavanja analognog ulaza dana jednadžbom 7.



Slika 11. Karakteristika mjerenja temperature okoline

$$T = 0,004219 \cdot AIW + 2,898734, (°C) \quad (7)$$

Mjerenje brzine vjetra je u rasponu prilagođenom očekivanim vrijednostima za područje kontinentane Hrvatske, i to od 0 do 30 m/s. Karakteristika je prikazana slikom 12. dok je konverzija očitavanja analognog ulaza dana jednadžbom 8.



Slika 12. Karakteristika mjerenja brzine vjetra

$$v = 0,001894 \cdot AIW - 1,05303, (m/s) \quad (8)$$

## 5. ZAKLJUČAK

Mjerni sustav koji se koristi za mjerenje i akviziciju podataka potrebnih za modeliranje proizvodnje električne energije fotonaponskim sustavom implementiran je unutar sustava automatizacije dvoosnog usmjeravanja fotonaponskih modula. Time se postiže efikasno korištenje resursa s obzirom na to da se ne udvostručuje oprema akvizicijskog i upravljačkog sustava. Brzina odziva tako formiranog akvizicijskog sustava zajedno sa mjernim uređajima dovoljno je brza i točna za potrebe modeliranja, iako su točnost i preciznost manje od standardnih uređaja za profesionalne primjene.

U ovoj primjeni moguće je u isto vrijeme upravljati dvoosnim usmjerivačem te prikupljati mjerene podatke. Ti podaci se mogu koristiti za usporedbu modelirane i stvarne proizvodnje električne energije u svrhu analize i unaprjeđenja upravljačkih algoritama za usmjeravanje fotonaponskih modula. Razlike između očekivanih i mjerenih rezultata mogu biti zbog klime, okoline, te tehničkih svojstava na mjestu ugradnje. Neke od njih je teško unaprijed predvidjeti, no na ovakav način mogu se utvrditi empirijski. Time se poboljšava konvencionalni analitički model i dobivaju točniji rezultati pri daljnjem modeliranju i predviđanju proizvodnje električne energije fotonaponskih sustava u bližoj okolini predmetne lokacije.

## 6. LITERATURA

- [1] Petrović, I.; Šimić, Z.; Vražić, M.: Advanced PV plant planning based on measured energy production results – Approach and measured data processing, *Journal of Advances in Electrical and Computer Engineering*, Vol. 14, No 1 (2014) 49-54
- [2] Chenni, R.; Makhoul, M.; Kerbache, T.; Bouzid, A.: A detailed modeling method for photovoltaic cells, *Energy* 32 (2007) 1724–1730
- [3] Scharmer, K.; Greif, J.: The European solar radiation atlas Vol. 1: Fundamentals and maps, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2000
- [4] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, (Dostupno: 15. 05. 2015.)
- [5] Petrović, I.; Šegrt, I.; Petrović, Z.: Quality of Basic Parameters Calculation for Photovoltaic Module Electrical Model Using Module Nominal Data, *Tehnicki journal*, Vol. 9, No. 1 (2015) 47-50
- [6] Petrović, I.; Purković, D.; Maleš, N.: PV energy production analysis on examples of real PV plants, *International Conference on Electrical Drives and Power Electronics EDPE 2013*, Dubrovnik, October 2013, 267-271
- [7] Tomiša, T.; Šimić, Z.; Dedeić, D.: Automated photovoltaic panel positioning device for solar radiation monitoring, *MIPRO Computers in technical systems*, 2011, 28-33

### Kontakt autora:

**dr. sc. Igor Petrović**

Visoka tehnička škola u Bjelovaru  
Trg Eugena Kvaternika 4, 43 000 Bjelovar  
043 / 241 – 201; ipetrovic@vtsbj.hr

**Robert Herčeki, dipl. ing. el.**

Visoka tehnička škola u Bjelovaru  
Trg Eugena Kvaternika 4, 43 000 Bjelovar  
043 / 241 – 201; rherceki@vtsbj.hr

**Sebastijan Kos, student**

Visoka tehnička škola u Bjelovaru  
Trg Eugena Kvaternika 4, 43 000 Bjelovar  
043 / 241 – 201; seba.kos@hotmail.com