

SUSTAV ZA NADZOR I UPRAVLJANJE POZICIONERA FOTONAPONSKIH PLOČA

SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL TRACKER FOR PHOTOVOLTAIC PANELS

Stanko Vincek, Ljubivoj Cvitaš

Stručni članak

Sažetak: U radu je opisano kako na jednostavan način napraviti daljinski nadzor i vizualizaciju upravljanja sustavom za pozicioniranje fotonaponskih kolektora. U uvodnom se dijelu razmatra od čega bi se sve sastojao jedan takav sustav i na koji ga način realizirati. Slijedi opis i razmatranje prednosti fotonaponskog sustava s ugrađenim sustavom za praćenje Sunca naspram nepokretnih sustava. Treće poglavlje opisuje sastavne dijelove solarnog pozicionera, a četvrto opisuje dva načina na koja je moguće realizirati nadzor i upravljanje solarnim pozicionerom. Prvi je pomoću ugrađenog WEB servera, a drugi je pomoću Wi-Fly modula koji se priključuje na elektroniku za upravljanje solarnim pozicionerom te navodi optimalno rješenje. Peto poglavlje se bavi isključivo testiranjem načina rada Wi-Fly modula i ugradnjom Wi-Fly modula.

Ključne riječi: daljinski nadzor, upravljanje, pozicioner, fotonaponske ploče

Professional paper

Abstract: The paper consists of six chapters which in a simple way describe how to create a visualization and manage the sun tracking system in order to make better use of solar collectors. The introductory part takes into consideration what such a system should consist of and how it should be realized. It is followed by a description and the discussion of the advantages of photovoltaic system with the integrated sun tracking system as opposed to fixed systems. The third chapter describes the components of the solar tracker whereas the fourth describes two ways in which it is possible to realize the control and management of the solar tracker – the first one is by using the embedded Web server and the other one by using the Wi-Fly module that is connected to the electronics for managing the solar tracker and provides an optimal solution. The fifth chapter deals exclusively with testing the WiFly module performance and its incorporation. A detailed elaboration of the problem and the solution described are followed by the conclusion that briefly highlights the benefits of photovoltaic systems controlled by the built-in microprocessor systems.

Key words: remote surveillance, control, tracker, photovoltaic panels

1. UVOD

Sunčeva energija je obnovljiv i neograničen izvor energije koji se koristi za pretvorbu u toplinsku energiju za pripremu potrošne tople vode i grijanja, te u solarnim elektranama. Pretvorba energije Sunca u električni oblik vrši se pomoću fotonaponskih ćelija. Količina dobivene električne energije ovisi o kutu upada Sunčevih zraka. Najmanje gubitaka stvara se kada Sunčeve zrake padaju okomito na fotonaponski kolektor. Budući da Zemlja rotira oko svoje osi i oko Sunca dolazi do promjene kuta upada Sunčevih zraka na površinu Zemlje odnosno na foto naponski kolektor. Ako se želi postići da upad Sunčevih zraka uvijek bude okomit na fotonaponski kolektor potrebno je pratiti kretanje Sunca.

Uređaji koji su konstruirani da se na njih montiraju fotonaponski kolektori i koji se zakreću kako bi mogli pratiti kretanje Sunca nazivaju se solarni pozicioneri (engl. *solar tracker*). Osnovni dijelovi takvih sustava su upravljačka elektronika, senzori za detektiranje pozicije sunca, motori koji zakreću fotonaponske kolektore i mehanička konstrukcija. Zakretanje fotonaponskih

kolektora se može zasnivati na temelju podataka dobivenih iz optičkih senzora za detekciju položaja Sunca ili na temelju astronomskih podataka koji ovise o datumu i vremenu te geografskoj poziciji fotonaponskih kolektora.

Kako bi se moglo nadzirati i upravljati takvim sustavom potrebno je imati prikladno korisničko sučelje. Neke od informacija o sustavu važne za korisnika su: trenutni napon na izlazu iz fotonaponskih kolektora, trenutna pozicija, jačina vjetera, temperatura. S obzirom na vrijeme globalne mobilizacije i Interneta poželjno je imati sustav koji omogućuje nadzor i upravljanje s bilo kojeg mjesta na Zemlji i u bilo koje doba dana. Da bi to bilo moguće sustav je potrebno povezati s Internetom. Postoje nekoliko rješenja, a ovdje će se razmotriti dva koja su cjenovno prihvatljiva.

Prvo rješenje je ugradnja jednostavnog sustava koji se sastoji od mikroupravljača spojenog na Internet u kojem je zapisan kôd web stranice (engl. *Embedded WEB server*). Na taj se način dobije korisničko sučelje kojem je lako pristupiti bilo pomoću osobnog računala, prijenosnog računala, dlanovnika ili mobilnog telefona.

Uređaj pomoću kojeg se spaja na korisničko sučelje sustava, također, treba biti povezan s Internetom.

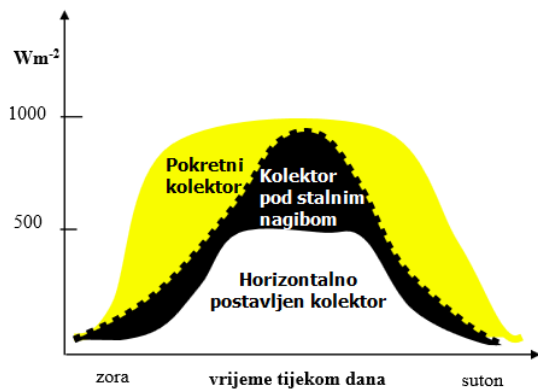
Drugo i pogodnije rješenje je u postojeću upravljačku elektroniku ugraditi Wi-Fly bežični modul, odnosno Wi-Fi (engl. *Wireless-Fidelity*) modul, te sustavu pristupiti bežično pomoću aplikacije na računalu ili mobilnom uređaju.

2. SOLARNI SUSTAVI SA POZICIONEROM

Sustavi sa solarnim pozicionerom su samostojeći sustavi koji prate sunce tijekom cijeloga dana pod optimalnim kutom i na taj način postižu 25-45% veću proizvodnju električne energije od sustava koji nemaju mogućnost praćenja Sunca. Postoje sustavi s jednim stupnjem slobode, koji se mogu zakretati samo horizontalno, i s dva stupnja slobode koji se zakreću i horizontalno i vertikalno.



Slika 1. Solarni pozicioner s dva stupnja slobode. [1]

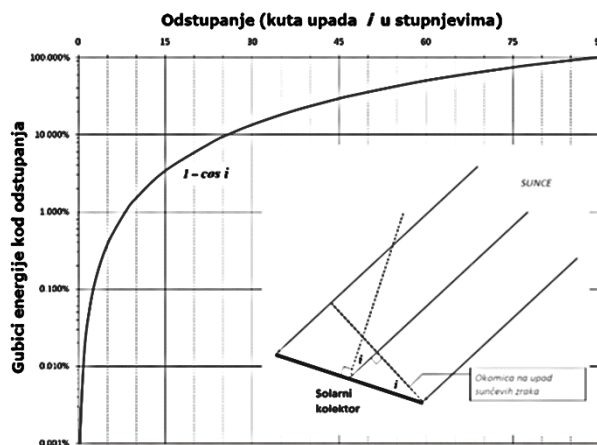


Slika 2. Grafički prikaz dobivene energije tijekom jednog dana. [2]

Iz grafa se može vidjeti kako horizontalno postavljeni i pokretni solarni kolektori imaju po obliku približno istu krivulju samo što je vrijednost dobivene energije na pokretnom kolektoru skoro duplo veća. Vidljivo je, također, da na kolektoru koji je pod stalnim nagibom maksimum postiže samo u kratkom periodu oko podneva, dok se kod pokretnog kolektora maksimum rasteže skoro tijekom cijelog dana.

Ako se gleda sa strane planeta Zemlje, Sunce tijekom dana putuje od istoka prema zapadu i na taj način mijenja kut od 0° do 360° s obzirom na solarni kolektor koji je položen na Zemlji. Kada se uzme u obzir samo polovica dana odnosno samo period u kojem Sunčeve zrake mogu obasjati kolektor kut iznosi 180° , te kad se oduzme efekt

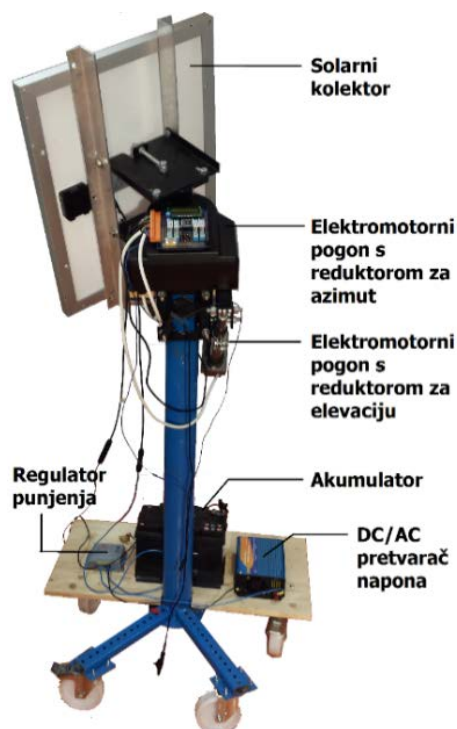
horizonta dobije se da je kolektor potrebno zakretati 150° što iznosi 75° u jednom smjeru i 75° u drugom smjeru. Sunce se tijekom godine, također, pomiče za 46° sjeverno i južno, te je s toga poželjno imati pozicioner s dva stupnja slobode. Mjerenja pokazuju da dobivena električna energija na solarnom kolektoru drastično opada s povećanjem odstupanja kuta upada Sunčevih zraka od optimalnog kuta. Tako, na primjer, ako je odstupanje kuta upada Sunčevih zraka za 5° od optimalnog kuta gubici su manji od 1%, a ako je odstupanje 45° dobije se 30% manje energije. [3]



Slika 3. Prikaz gubitka energije kod odstupanja upada Sunčevih zraka od optimalnog kuta. [3]

2.1. Razvojni sustav solarnog pozicionera

Sustav se sastoji od metalne konstrukcije na kojoj se nalazi foto naponski kolektor, motori za zakretanje foto naponskog kolektora, mikroupravljački sklop, optički senzor za detektiranje pozicije Sunca, regulator punjenja baterija i baterije.



Slika 4. Konstrukcija i dijelovi solarnog pozicionera.

3. NADZOR I UPRAVLJANJE SOLARNOG POZICIONERA

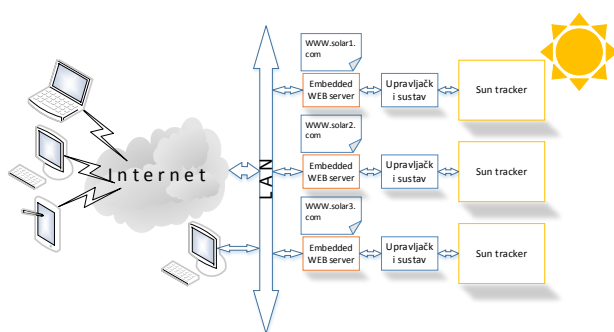
Kao što je već prije spomenuto poželjno je da upravljački sustav pozicionera FN kolektora omogućuje daljinski pristup. Nadzor ovakvih sustava ima vrlo veliku ulogu kod većeg broja solarnih kolektora jer omogućuje nadzor sustava i ranu detekciju podbacivanja (zbog kvara ćelije ili drugih uzroka) izlazne energije sustava.

S obzirom na spomenute zahtjeve dobro je rješenje spajanje sustava na Internet mrežu koja je danas lako dostupna svima. Ovisno o tome da li se želi distribuirani ili centralizirani sustav razmotrit će se dva rješenja. Prvo rješenje je pomoću ugrađenog WEB servera koji zadovoljava zahtjeve distribuiranog sustava gdje svaki solarni pozicioner ima zasebno svoj WEB server odnosno svoje web sučelje. Dok se kao drugo i svakako pogodnije rješenje razmatra ugradnja Wi-Fly (Wi-Fi) modula na postojeću upravljačku elektroniku.

3.1. Nadzor i upravljanje solarnog pozicionera pomoću web servera

WEB server je obično računalo koje je stalno spojeno na Internet i na kojem se nalazi WEB stranica i pripadajuća programska podrška. Ugrađeni web server je rješenje koje ne zahtjeva korištenje računala ili skupih servera, već koristi mikroupravljač koji je znatno jeftinije rješenje.

Napredovanjem znanosti i tehnologije mikroupravljači su dostigli zavidnu razinu gdje se u samo jednom čipu nalaze sve potrebne komponente za razvoj najzahtjevnijih sustava. Tako jedan mikroupravljač može imati implementirani A/D pretvornik (analogno digitalni pretvornik), priključak za I2C, RS232, SPI, USART (engl. Universal Synchronous-Asynchronous Receiver-Transmitter), USB komunikaciju, modul za PWM modulaciju (engl. Pulse Width Modulation), Ethernet kontroler, komparator signala i raznorazne druge module.



Slika 5. Blok shema sustava s ugrađenim WEB serverom.

Kao što je vidljivo na slici 5. korisnik može pristupiti sustavu preko mobitela, tableta, prijenosnog računala ili osobnog računala koje je povezano na lokalnu ili Internetsku mrežu. S druge strane se na svakom solarnom pozicioneru nalazi WEB server na kojem se nalazi WEB stranica sa podacima o sustavu. Za takav sustav je uz solarni pozicioner potrebno koristiti WEB server i HTML (engl. Hypertext Markup Language).

Na tržištu, također, postoje gotova rješenja za koja je potrebno napisati upravljački program i priključiti ga na željeni sustav. Takva rješenja se većinom koriste za razvoj i testiranje te nam na taj način omogućuju lakši razvoj vlastitog sklopa. Jedan od proizvođača takvih uređaja je OLIMEX Ltd. koji u svojoj ponudi nudi razvojni sustav za WEB server. Razvojni sustav se sastoji od mikroupravljača PIC18F67J60 koji u sebi sadrži sve potrebne module za izvedbu web servera.



Slika 6. Razvojni sustav za WEB server. [4]

U ovom sustavu WEB server je mikroupravljač s dodatnom memorijom u kojoj se nalazi web stranica u HTM obliku. Sustav solarnog pozicionera može komunicirati sa web serverom preko RS232, I2C, USB, TCP/IP protokola ovisno o mogućnostima upravljačke elektronike solarnog pozicionera.

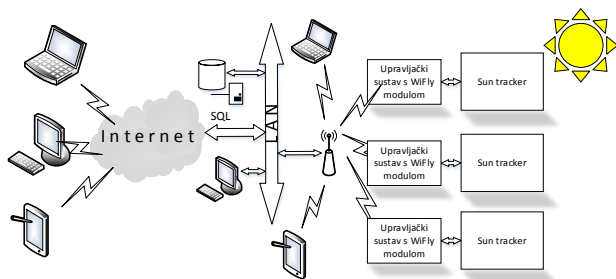
Informacije koje su korisniku ovakvog sustava potrebne su: trenutni napon i struja na kolektoru, položaj kolektora, temperatura okoline, brzina vjetrova. Ako se želi upravljati sustavom tu su onda još i informacije o nalogu za promjenu pozicije solarnog kolektora i ostale naredbe za upravljanjem popratne opreme kao što je npr. osvjetljenje elektrane. Takav sustav obično ima mogućnost spremanja svih važnih informacija u log datoteku iz koje se može kasnije vidjeti koliko je energije prikupljeno, brzina vjetrova, u kojoj poziciji se nalazili solarni kolektori. Svi navedeni podaci se mogu prikazati u obliku tablice ili grafa što nam daje kompletnu sliku o svemu što se događalo tijekom dana, mjeseca, godine.

Kao što je prije spomenuto ovaj sustav je pogodan ukoliko je potrebno nadzirati i upravljati samo jednim solarnim pozicionerom zato jer se na svaki sustav ugrađuje po jedan web server. Ako se zamisli elektrana od nekoliko desetaka pozicionera i svaki ima svoj WEB server i svoju WEB stranicu dobije se distribuirani sustav koji je na pojedinačan način nemoguće nadzirati, te je u takvom slučaju svakako pogodniji centralizirani sustav.

3.2. Nadzor i upravljanje solarnog pozicionera ugradnjom Wi-Fly (Wi-Fi) modula

Kao pogodnije rješenje nameće se ugradnja Wi-Fly modula u postojeću mikroupravljačku elektroniku. Takvom se nadogradnjom postiže jednostavnost sustava (samo jedna elektronika) dok je u prethodno opisnom sustavu upravljački sustav i sustav za komunikaciju odvojeni. S obzirom da na taj način upravljački sustav, uz primarnu funkciju upravljanja, ima mogućnost slanja i primanja podataka putem Wi-Fi mreže omogućena je razmjena podataka između jednog ili više solarnih

pozicionera i centralne jedinice što karakterizira centralizirani sustav.



Slika 7. Blok shema sustava upravljanja s ugrađenim Wi-Fly modulom.

Kao što se može vidjeti iz blok sheme upravljački moduli sa svakog pozicionera šalju podatke preko Wi-Fi pristupne točke, a pristupna točka je povezana s LAN mrežom i Internetom. Podaci se pohranjuju u bazu podataka koja se nalazi na serveru za podatke. Server se s bazom podataka može nalaziti unutar lokalne mreže ili na Internetu. Da bi korisnik mogao nadzirati i upravljati sustavom, potrebno je napraviti aplikaciju ili web stranicu koja će moći iz baze podataka čitati i zapisivati informacije.

4. Wi-Fly (Wi-Fi) MODUL RN-XV (RN-171)

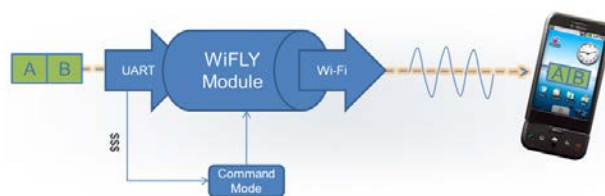
RN-XV modul je proizvod tvrtke Roving Networks koji je certificirano Wi-Fi rješenje dizajnirano za korisnike koji žele prijeći iz postojeće IEEE 802.15.4 (ZigBee) ili IEEE 802.15.1 (Bluetooth) arhitekture na standardnu TCP/IP baziranu platformu bez preinaka na elektronici uređaja.



Slika 8. Vrste kompatibilnih modula.

Modul se, također, može programirati da obrađuje ulazne podatke i prema programu postavlja izlaze. Odlikuje ga jednostavno spajanje sa drugim sustavima. Sve što je potrebno je napajanje i dvije žice za UART komunikaciju (PWR (engl. Power), GND (engl. Ground), TX (engl. Transmitted data), RX (engl. Received data)). [5]

Wi-Fly modul pojednostavnjuje slanje podataka preko Wi-Fi mreže, odnosno može se reći da radi kao »bežični serijski kabel«. Modul može raditi u jednom od dva moda: podatkovni mod i komandni mod. Podatkovni mod je jednostavan engl. »data-in data-out« mod, odnosno podatke koje primi preko UART sučelja direktno prosljeđuje preko Wi-Fi mreže i podatke koje primi preko Wi-Fi sučelja prosljedi preko UART sučelja. Komandni mod se koristi za podešavanje postavki Wi-Fly modula kao što su SSID, zaštita mreže, itd. [5]



Slika 9. Blok dijagram rada Wi-Fly modula.

Nakon uključanja modul se nalazi u podatkovnom modu. Da bi se pristupilo komandnom modu potrebno je preko terminala modulu poslati sljedeće znakove: \$\$\$\$. Kad modul uđe u komandni mod na terminalu se ispiše CMD. Modul se konfigurira pomoću ASCII komanda, gdje svaka komanda završava sa <cr>. Većina ispravno napisanih komandi vraća odgovor AOK, dok neispravne komande vraćaju ERR. Izlaz i komandnog moda i vraćanje u podatkovni mod ostvaruje se slanjem komande exit. ASCII komande možemo podijeliti u 5 skupina:

1. SET – postavljanje vrijednosti
2. GET – prikaz spremljenih vrijednosti
3. STATUS – prikazuje što se događa na sučelju, npr. IP status
4. ACTION – pokreće akcije kao što su skeniranje, spajanje...
5. FILE IO – nadogradnja, pozivanje i spremanje konfiguracije, brisanje datoteka

5. TESTIRANJE I UGRADNJA Wi-Fly MODULA

Kao što je ranije spomenuto, modul je potrebno ugraditi u mikroupravljački sustav solarnog pozicionera. Da bi se ostvarila komunikacija između upravljačkog sustava i Wi-Fly modula, za mikroupravljač je bilo potrebno napisati upravljački program. Kako bi se dobila sveukupna slika principa rada Wi-Fly modula i kako bi se potvrdilo znanje o tome kako uistinu radi Wi-Fly modul obavljena su početna testiranja kako bi se potvrdilo funkcioniranje modula. Takvo testiranje daje dodatno iskustvo i sigurnost korisniku kod implementacije modula u neki drugi sustav kod kojeg ne postoje alati za prikazivanje stanja modula. Testiranje se obavilo prijenosom podataka preko UDP (engl. User Data Protocol) protokola. UDP je jedan od temeljnih Internet protokola. Radi na principu da se ne zahtjeva uspostava veze s klijentom već se samo šalju podaci. Radi se o jednostavnom protokolu koji nema mogućnost provjere primitka poruke jer ne čuva informaciju o stanju veze. Koristi se za prijenos informacija kada je bitnija brzina i efikasnost od pouzdanosti, npr. za prijenos govora i slike u realnom vremenu (VoIP (engl. Voice Over Internet Protocol) telefonija, video veze) i kad je potrebno slanje iste poruke na više odredišta (engl. multicast). Omogućuje slanje kratkih poruka (datagrama) između aplikacija na umreženim uređajima. Za razliku od TCP protokola, ne treba se slati naredba za uspostavu veze.

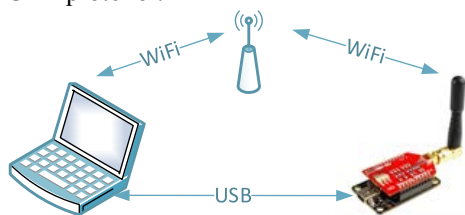
Zadatak glavnog testiranja bio je pomoću Wi-Fly modula poslati i primiti podatak preko UDP protokola. Potrebno je povezati računalo i Wi-Fly modul na zajedničku bežičnu pristupnu točku AP (engl. Acces

Point). Također je potrebno Wi-Fly povezati s računalom preko USB/UART adaptera. Na taj način se zatvorio krug komunikacije PC(Wi-Fi)↔AP↔Wi-Fly(Wi-Fi) i Wi-Fly(UART)↔PC(USB/UART). Za slanje i primanje podataka su potrebna dva terminala, jedan za UART komunikaciju (TeraTerm) a drugi za slanje i primanje UDP paketa (UDP Test Tool). Pri tom ispitivanju koristio se zaseban bežični usmjerivač čije se postavke postavljaju samo za svrhu testiranja. Ako bi se želio koristiti postojeći bežični usmjerivač koji je već podešen, a njegove postavke nije prikladno mijenjati, trebalo bi podesiti DHCP (engl. Dynamic Host Configuration Protocol) postavke. Naravno, potrebno je i u Wi-Fly modul upisati ispravne postavke (SSID (engl. Service Set Identification) zaštitu mreže).

Za testiranje je korišteno:

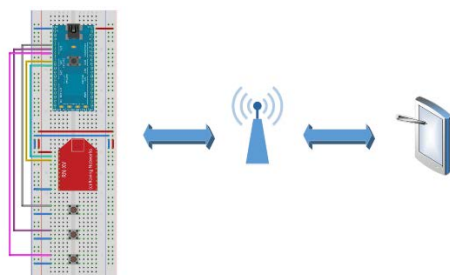
- Wi-Fly modul
- USB/UART adapter
- Računalo sa Wi-Fi adapterom
- TeraTerm terminal
- Wi-Fi pristupna točka (bežični usmjerivač)

Glavni zadatak testiranja bio je provjeriti što se dogodi na Wi-Fi sučelju ako se podatak pošalje na UART sučelje i što se dogodi na UART sučelju ako se podatak pošalje na Wi-Fi sučelje Wi-Fly modula koristeći UDP protokol.



Slika 10. Blok shema testiranja Wi-Fly modula.

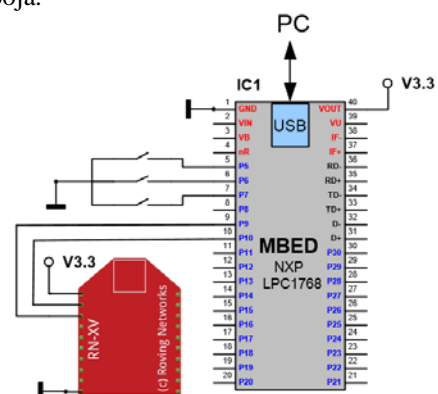
Nakon uspješno provedenih testiranja utvrđeno je kako radi Wi-Fly modul. U procesu testiranja koristio se Wi-Fly modul, računalo, mobitel i bežični usmjerivač te se modul podesio tako da se spoja na bežičnu mrežu čiji je SSID: Test1. Utvrđeno je da sve što dobije na UART sučelje prosljedi na WLAN mrežu i obratno. Sljedeći korak bio je ponoviti test na način da se na UART umjesto računala spoji MBED platforma koja je ujedno i upravljačka elektronika solarnog pozicionera.



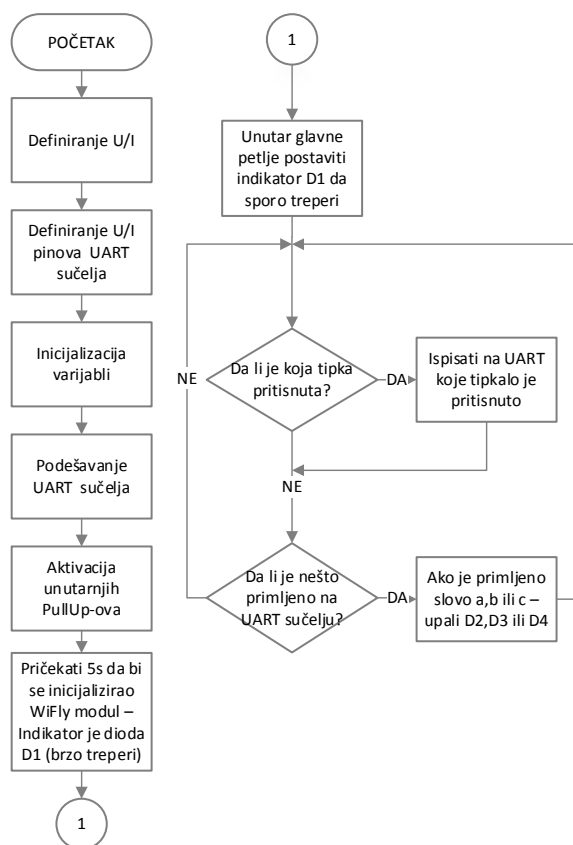
Slika 11. Blok shema spajanja MBED-a i Wi-Fly modula.

Za potrebe testiranja napisan je programski kôd za MBED LPC 1768 platformu koji šalje i prima podatke preko UART sučelja, odnosno Wi-Fly modula. Zadatak

testa je da se preko »pametnog« mobilnog uređaja može upravljati LED diodama koje se nalaze na MBED platformi. Da bi se postigla komunikacija i u drugom smjeru, na MBED su priključena tri tipkala tako da se šalje poruka kad su pritisnuta. Prije pisanja programskog kôda svakako je dobro još jednom obratiti pozornost na shemu spoja.



Slika 12. Shema spoja MBED-a i Wi-Fly modula.



Slika 12. Dijagram toka testnog programa.

Da bi se pristupilo pisanju programskog koda potrebno je otvoriti korisnički račun na <http://mbed.org> stranici. Nakon što se pristupi sustavu gdje se nalazi i sam kompajler potrebno je otvoriti novi projekt te krenuti s pisanjem kôda.

Sljedeći korak nakon pisanja kôda je priključivanje sustava na napajanje i utvrditi da li se može na »pametnom« mobilnom telefonu ispisati poruka kada se pritisne jedna od tipki. Potrebno je bilo, također, provjeriti da li se s mobilnog telefona mogu uključiti ili

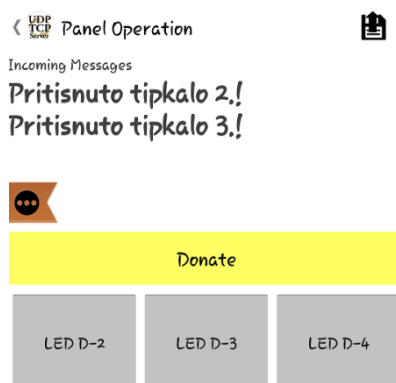
isključiti LED diode. Uz MBED i Wi-Fly potrebno je uključiti prethodno podešeni bežični usmjerivač, a na mobilnom uređaju je potrebno preuzeti iz trgovine besplatnu aplikaciju UDP TCP server te ju pokrenuti. Program za MBED je napisan na način da mijenja stanje LED dioda ako se na UART sučelju pojavi slovo:

- »a« za LED D-2
- »b« za LED D-3
- »c« za LED D-4

Nakon toga potrebno je u UDP TCP serveru definirati tipke koje će, kad se pritisnu, poslati jedno od gore navedenih slova.



Slika 13. Prikaz postavki tipki UDP TCP servera



Slika 14. Prikaz poruke primljene preko WLAN mreže.

Kao što se može vidjeti na slici 14 na mobilni uređaj su preneseni podaci o stanju tipkala koja se nalaze na testnoj pločici zajedno s MBED upravljačkim sustavom i Wi-Fly modulom. Pritiskom na jednu od tipki LED D-2, LED D-3 i LED D-4 se promjeni stanje LED dioda koje su ugrađene na MBED platformi. Time je dokazan princip rada i ponuđeno je rješenje za prijenos podataka preko WLAN mreže.

6. ZAKLJUČAK

Svakim danom se sve više cijeni energija dobivena iz alternativnih izvora energije. S obzirom da su fotonaponski kolektori već razvijeni potrebno se usmjeriti na poboljšanje njihove učinkovitost tijekom dana, odnosno

omogućiti im da u što kraćem periodu prikupe što više energije. Na taj način se u kraćem vremenskom periodu vraćaju troškovi investicije.

Efikasnost fotonaponskih kolektora se može poboljšati ugradnjom sustava za praćenje Sunca. Vrlo važnu ulogu u ovome procesu ima nadzor i upravljanje tog sustava.

Prednosti su nadzora u tome da se može, u bilo kojem trenutku, vidjeti kakvo je stanje sustava. Ujedno se pravovremeno dojavljuje kvar na fotonaponskom kolektoru jer je količina prikupljene energije manja od očekivane. U navedenom slučaju daje se prednost centraliziranom sustavu naspram distribuiranog sustava rješenja. Idealno rješenje za upravljanje i nadzor takvim sustavom je ugradnja Wi-Fly modula u upravljačku elektroniku. Prednosti navedenog rješenja problema je mala cijena, mala potrošnja energije, male dimenzije, a zadovoljavaju se svi zahtjevi koji su potrebni za nadzor i upravljanje solarnim pozicionerom.

7. LITERATURA

- [1] GS Tracker 3500-A, http://goldensun.sk/GS-Tracker-3500-A_c-91 (Dostupno 05.05.2014.)
- [2] Šimić, Z.: Energija sunca, <http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Sunce%20prezentacija.pdf> (Dostupno 05.05.2014.)
- [3] Solar tracker, http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker (Dostupno 05.05.2014.)
- [4] PIC-WEEB REV.C development board – User's manual <https://www.olimex.com/Products/PIC/Development/PIC-WEB/resources/PIC-WEB-C.pdf> (Dostupno: 01.04.2014.)
- [5] ROVING NETWORKS, RN-XV Dana sheet, RN-XV, DS v0.3 8/18/2011

Kontakt autora:

Stanko Vincek, struč. spec. ing. el.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: stvincek@unin.hr

dr.sc. Ljubivoj Cvitaš, dipl. ing.

Tehničko veleučilište u Zagrebu
Elektrotehnički odjel
Konavoska 2
10000 Zagreb
e-mail: lcvtas@tvz.hr