

**REALIZACIJA FOTONAPONSKOG ROTATORA ZA NAVODNJAVANJE  
IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC TRACKER FOR IRRIGATION SYSTEM**Miroslav Korpaš, Zoltan Čorba, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu dat je detaljan opis elemenata sistema za navodnjavanje koji za dobijanje električne energije za napajanje pumpe za navodnjavanje koristi fotonaponske panele montirane na noseću konstrukciju koja prati položaj Sunca na nebu.

**Ključne reči:** Fotonaponski panel, rotator, navodnjavanje

**Abstract** – This paper gives a detailed description of the elements of the irrigation system. The irrigation system use photovoltaic panels mounted on the supporting structure that monitors the position of the Sun in the sky to obtain electricity that power the pump.

**Keywords:** Photovoltaic panel, tracker, irrigation

**1. UVOD**

U poljoprivredi se sve češće koristiti solarna energija za navodnjavanje. Najveća efikasnost se postiže rotatorskim sistemima koji prate položaj Sunca. Za to je potrebno poznavanje solarne geometrije. Naime, od međusobnog položaja Sunca i Zemlje zavisi solarno zračenje koje dospe na površinu Zemlje.

Noseće konstrukcije fotonaponskih (FN) panela mogu biti fiksne ili rotatorske izvedbe. Rotatorski sistemi su tehnički složeniji od fiksnih i za njihovo postavljanje je potrebna veća površina. Ipak, prednost rotatorskih sistema u odnosu na fiksne se ogleda u tome što rotatorski sistemi primaju veću količinu Sunčevog zračenja, a samim tim imaju i veću proizvodnju električne energije.

**2. SOLARNA GEOMETRIJA****2.1. Sunčevo zračenje**

Sunce, najbliža zvezda našoj planeti, predstavlja fuzioni reaktor koji pretvara vodonik u helijum pri čemu se oslobađa ogromna količina energije. Od ukupno  $3,8 \times 10^{26}$  W snage koju Sunce zrači u svemir u sekundi, Zemlja primi  $1,75 \times 10^{17}$  W. To znači da Zemlja dobija više energije od Sunca u toku jednog sata nego što ljudska populacija potroši za godinu dana [1].

U zavisnosti od tačke na kojoj se posmatra Sunčevo zračenje razlikuju se:

1. Direktno Sunčevo zračenje: Zračenje Sunca koje dolazi na samu površinu Zemlje;

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Zoltan Čorba, vanr. prof.

2. Ekstraterestično zračenje: Zračenje sa Sunca koje dolazi do vrha atmosfere.

Ekstraterestično zračenje može da se: apsorpuje, reflektuje ili transmituje kroz atmosferu.

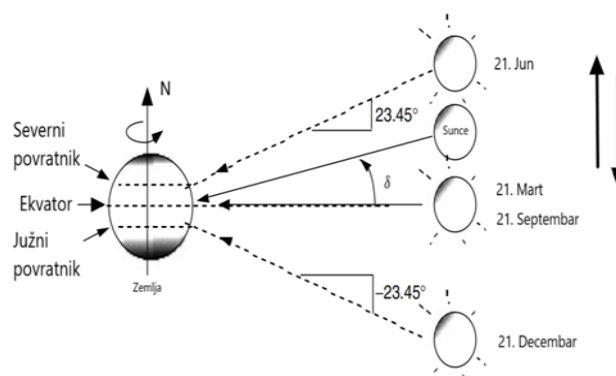
**2.2. Kretanje Zemlje**

Planeta Zemlja u okviru svog kretanja ima dve komponente:

1. Kretanje Zemlje oko Sunca po eliptičnoj putanji (revolucija) [1];
2. Kretanje Zemlje oko sopstvene ose (rotacija) [1].

Putanja kojom se Zemlja kreće oko Sunca se naziva ekliptika, dok se ravan koja je sadrži naziva ravan ekliptike. Ekvator je zamišljena kružnica koja opisuje Zemlju, a koja se nalazi na podjednako udaljenosti od polova. Ravan koja sadrži ekvator naziva se ekvatorijalna ravan.

Osa rotacije Zemlje je normalna na ekvatorijalnu ravan. Ugao koji zaklapa osa rotacije Zemlje i ravan ekliptike je ugao deklinacije (aksijalni ugao) i iznosi  $23,45^\circ$ . Na slici 1 je prikazana promena ugla deklinacije u zavisnosti od dana u godini.



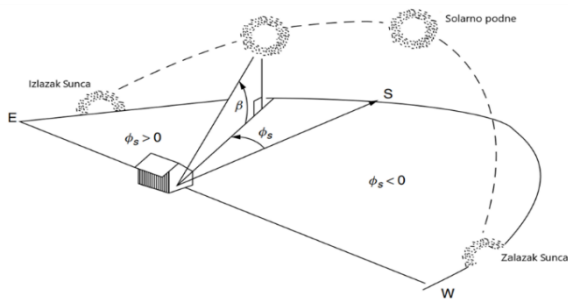
Slika 1. Promene ugla deklinacije  $\delta$  [2]

Gledano sa površine Zemlje ugao deklinacije  $\delta$  se menja u toku godine. Taj ugao se nalazi između ekvatorijalne ravni i prave koja sadrži centar Sunca i centar Zemlje kao što je prikazano na slici 1. Ugao deklinacije računa se na sledeći način:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin(360 \cdot (n - 81)/365) \quad (1)$$

gde je  $n$  redni dan u godini.

Za određivanje tačnog položaja Sunca na nebu u bilo koje vreme potrebno je znati njegov visinski ugao  $\beta$  i azimutni ugao  $\varphi$ , (prikazani na slici 2) [2].



Slika 2. Prikaz visinskog i azimutnog ugla [2]

Uglovi  $\beta$  i  $\varphi_s$  zavise od: geografske širine  $L$ , dana u godini, doba dana i satnog ugla Sunca  $H$ . Računaju se na osnovu sledećih izraza:

$$\sin \beta = \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos H + \sin L \cdot \sin \delta \quad (2)$$

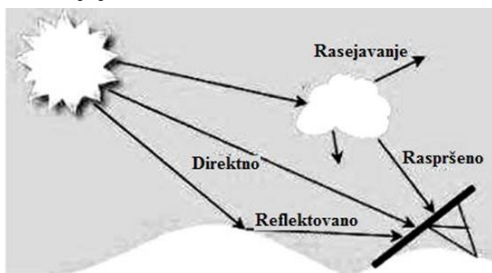
$$\sin \varphi_s = \cos \delta \cdot \sin H / \cos \beta \quad (3)$$

Satni ugao Sunca predstavlja broj stepeni koji Zemlja treba da rotira pre nego što se Sunčev meridijan poklopi sa lokalnim Zemljinim meridijanom (to se događa kada je Sunce u zenitu).

### 2.3. Komponente Sunčevog zračenja koje dolaze na površinu Zemlje

Ukupno zračenje koje dospe do Zemljine površine može se razložiti na sledeće tri komponente koje su prikazane na slici 3:

1. Direktno Sunčevo zračenje - zračenje koje pravolinijski prolazi kroz Zemljinu atmosferu;
2. Raspršeno Sunčevo zračenje - zračenje koje su atomi ili molekuli (koji se nalaze u Zemljinoj atmosferi) rasejali u svim pravcima;
3. Reflektovano Sunčevo zračenje - zračenje koje se odbilo od Zemljine površine ili nekog objekta na njoj.



Slika 3. Prikaz komponenti Sunčevog zračenja [3]

Zbog apsorpcije i refleksije Sunčevog zračenja kroz atmosferu do Zemljine površine stigne samo oko 50% ekstraterestičnog zračenja.

Direktna komponenta Sunčevog zračenja koje dolazi do fotonaponskog panela  $I_{BC}$  modeluje se na sledeći način:

$$I_{BC} = I_B \cdot \cos \theta \quad (4)$$

gde je  $I_B$  direktna komponenta Sunčevog zračenja koje dolazi do Zemljine površine, a  $\theta$  upadni ugao Sunčevog zračenja u odnosu na panel.

Raspršena komponenta Sunčevog zračenja koje dolazi do fotonaponskog panela  $I_{DC}$  modeluje se na sledeći način:

$$I_{DC} = I_{DH} \cdot ((1 + \cos \Sigma)/2) \quad (5)$$

gde je  $I_{DH}$  raspršena komponenta Sunčevog zračenja koje dolazi do Zemljine površine, a  $\Sigma$  ugao nagiba fotonaponskog panela.

Reflektovana komponenta Sunčevog zračenja koje dolazi do fotonaponskog panela  $I_{RC}$  modeluje se na sledeći način:

$$I_{RC} = \rho \cdot (I_{BH} + I_{DH}) \cdot ((1 - \cos \Sigma)/2) \quad (6)$$

gde je  $I_{BH}$  direktna komponenta Sunčevog zračenja na horizontalnoj površini Zemljine, a  $\rho$  refleksija tla ispred fotonaponskog panela.

Za određivanje ukupnog Sunčevog zračenja koje dolazi do fotonaponskog panela potrebno je sabrati sve tri komponente Sunčevog zračenja.

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} \quad (7)$$

### 3. VRSTE NOSEĆE KONSTRUKCIJE FOTONAPONSKIH PANELA

Fotonaponski paneli se postavljaju na različite sisteme za montažu odnosno na različite noseće konstrukcije. U zavisnosti od mesta montaže razlikuju se:

1. Noseće konstrukcije koje se montiraju na površinu zemlje;
2. Noseće konstrukcije koje su instalirane na građevinskim objektima (zgradama, kućama, halama...);
3. Noseće konstrukcije na vodenim površinama.

#### 3.1. Noseće konstrukcije koje se montiraju na površinu zemlje

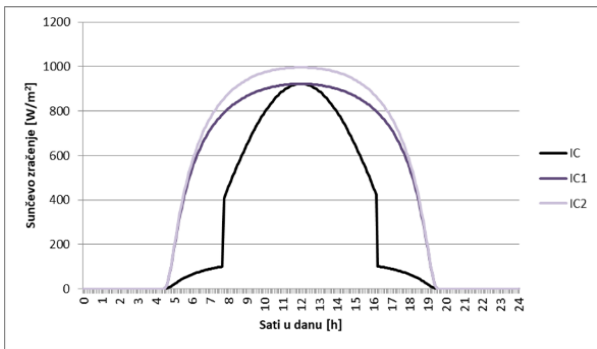
Konstrukcije koje se montiraju na površinu zemlje moraju imati neku vrstu temelja. Razlikuju se fiksne i rotatorske konstrukcije.

Rotatorske konstrukcije su dosta složenije izvedbe u odnosu na fiksne. Što se tiče same noseće konstrukcije rotatora, stubovi se izrađuju od gvožđa koje je zaštićeno od korozije kao i kod fiksnih sistema, međutim elementi na koje se pričvršćuju fotonaponski paneli se izrađuju od aluminijuma. Broj elektromotora koji su potrebni, zavisi od broja osa oko kojih se pokretni deo konstrukcije rotira.

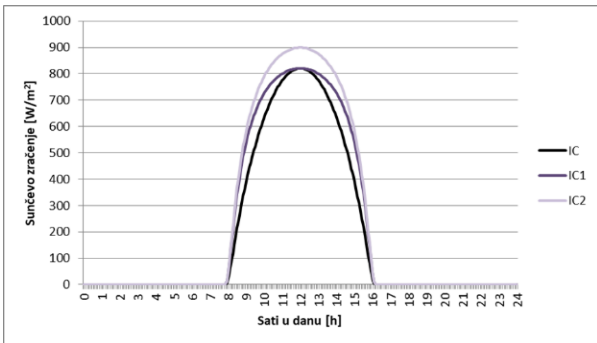
#### 3.2. Prednosti i mane rotatorskih u odnosu na fiksne sisteme

Proizvedena količina električne energije kod fotonaponskih elektrana direktno je proporcionalna ukupnoj količini dolaznog Sunčevog zračenja. Fotonaponske elektrane sa rotatorskim sistemima koje imaju mogućnost praćenja položaja Sunca na nebu po azimutnom ili visinskom uglu ili oba, proizvode veću količinu energije od fiksnih fotonaponskih elektrana.

Na slikama 4 i 5 prikazane su ukupne količine Sunčevog zračenja koje dolazi do površine fotonaponskih panela za fiksne (IC), jednoosne (IC1) i dvoosne (IC2) sisteme za dan letnje dugodnevce i zimske kratkodnevce respektivno.



Slika 4. Prikaz ukupnog Sunčevog zračenja na dan letnje dugodnevice



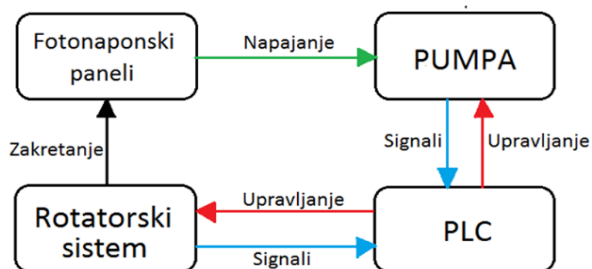
Slika 5. Prikaz ukupnog Sunčevog zračenja na dan zimske kratkodnevice

Sa slika 4 i 5 vidi se da je najveća količina zračenja koja dolazi do površine fotonaponskih panela kada je Sunce u zenutu. Kada Sunčevo zračenje ima veći intenzitet, veća je razlika u količini upadne energije na FN panele montiranih na različite vrste noseće konstrukcije.

Potrebna površina za izgradnju fiksne fotonaponske elektrane značajno je manja od površine koju zahteva rotatorska fotonaponska elektrana iste snage. U proseku fotonaponske elektrane snage 1MW sa fiksnim sistemima zauzimaju površinu zemljišta oko 2ha, elektrane sa jednom osom rotacije koje prate položaj Sunca duž ose sever-jug oko 2,5ha, a jednoosne sa vertikalnom osom rotacije i dvoosne rotatorske fotonaponske elektrane od 3ha do 5ha [4].

#### 4. PRIMER PRIMENE ROTATORSKOG SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE

Za navodnjavanje površina koje su udaljene od naseljenih mesta, odnosno koje nemaju pristup distributivnoj električnoj mreži, za pokretanje zalivnih pumpi se najčešće koriste dizel agregati ili fotonaponske elektrane malih snaga. Na slici 6 je dat blok dijagram sistema za navodnjavanje FN panelima.



Slika 6. Blok dijagram FN rotatorskog sistema

Kao što slika 6 prikazuje sistem za navodnjavanje se sastoji od:

1. Noseće konstrukcije za FN panele,
2. Uplavljačkog sistema za zakretanje FN panela,
3. FN panela,
4. Pumpe i
5. Razvodnog sistema cevi za navodnjavanje.

Na slici 7 je prikazana noseća konstrukcija za 10 fotonaponskih panela.



Slika 7. Prikaz noseće konstrukcije za 10 FN panela

Sistem se može napajati iz agregata ili fotonaponskih panela. Na slici 8 je prikazan razvodni orman rotatorskog sistema. Pored sklopne opreme u razvodni orman su ugrađeni PLC i specijalni komunikacioni uređaj za upravljanje pumpom. Sistem može da radi u ručnom ili automatskom režimu.



Slika 8. Upravljački orman sistema za navodnjavanje

Za upravljanje elektromotorima, u zakretnom sistemu, namenjeno je 6 digitalnih ulaza PLC-a i 3 digitalna izlaza. PLC-u su potrebne i informacije o tačnoj poziciji sistema i tačnom vremenu za pozicioniranje panela.

Na ulaze PLC-a se povezuju hall senzori sa elektromotora u zakretnom sistemu i krajnji prekidači.

Na izlaze PLC-a se povezuju releji sledeće namene:

1. Relej preko kojeg se kontoliše smer obrtanja elektromotora;
2. Relej preko kojeg se dovodi napon na elektromotor koji zakreće sistem u pravcu istok/zapad;
3. Relej preko kojeg se dovodi napon na elektromotor koji zakreće sistem u pravcu gore/dole.

Fotonaponski paneli su povezani na red, čineći fotonaponski niz. Struja koju daju paneli u tački sa maksimalnom snagom iznosi 8,76A, a napon u tački sa maksimalnom snagom je  $6 \times 31,6 = 189,6V$ . Ovakav opseg struja i napona može da zadovolji potrebe za napajanjem elektromotora pumpe.

Izbor pumpe vrši se na osnovu izdašnosti bunara i zahtevanog protoka u zalivnom sistemu.

S obzirom da se sistem može napajati sa fotonaponskih panela koji na svom izlazu daju jednosmeran napon ili agregata koji na svom izlazu daje naizmeničan napon, izabrana je Grundoss pumpa iz serije SQFlex koja podržava oba tipa napona. Svaka pumpa iz serije SQFlex se sastoji od tri dela: pretvarač, motor i radna kola.

Pretvarač ima ulogu prilagođenja napona fotonaponskog niza naponu koji je potreban za normalan rad motora u pumpi. Ulazni napon u pretvarač može biti u rasponu od 30VDC do 300VDC ili 1 x 90-240VAC.

Iako sve pumpe iz serije SQFlex koriste isti elektromotor, imaju različite izlazne karakteristike zbog različitog broja radnih kola. Obično veći broj radnih kola obezbeđuje i veći izlazni napor, dok protok zavisi do njihovih dimenzija.

Pumpe imaju u sebi ugrađene sledeće zaštite:

1. Zaštita od rada na suvo;
2. Zaštita od prenapona i podnapona;
3. Zaštita od preopterećenja.

Najčešća primena fotonaponskih panela kao izvora električne energije u navodnjavanju je za zalivanje voćnjaka pomoću sistema kap po kap. Sistem kap po kap se sastoji od jedne ili više magistralne cevi na koje su povezane laterale.

Svaka magistralna cev napaja se vodom preko elektromagnetnog ventila. Lateralna je cev određene dužine na kojoj su postavljeni kapljači. Da bi voda isticala kroz svaki kapljač u laterali protokom od oko 2l/h pritisak na početku laterale mora biti oko 1bar.

Na cev koja izlazi iz bunara povezuje se presostat, pomoću njega se ograničava pritisak vode u sistemu. Posle presostata se postavlja filter čija je uloga da sakupi nečistoće koje je pumpa izbacila iz bunara, da ne bi došlo do začepljenja kapljača. Pomoću vodomera se meri količina vode koja ulazi u zalivni sistem, a pomoću elektromagnetnih ventila se određuje koje polje će se zalivati.

Ako sistem za navodnjavanje radi u automatskom režimu, PLC će upravljati sa elektromagnetnim ventilima. Na osnovu informacija sa vodomera i potrebne količine vode u jednom ciklusu PLC određuje koji ventil će biti otvoren i koliki vremenski period. U ručnom režimu rada otvorenost ventila se reguliše pomoću prekidača.

Na slici 9 prikazani su fotonaponski paneli montirani na zakretnu noseću konstrukciju.



Slika 9. Prikaz FN panela

## 5. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da su klimatske promene sve izraženije i da sve više utiču na različite aspekte naših života, potreba za obnovljivim izvorima energije sve više dobija na značaju. Primena fotonaponskih panela za dobijanje električne energije poslednjih godina postaje sve isplativija, s obzirom da cena fotonaponskih panela opada dok sa druge strane cena električne energije dobijena na konvencionalan način raste. Trenutno najisplativiji vid primene fotonaponskih panela u poljoprivredi je za navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta koja su udaljena od naseljenih mesta i samim tim nemaju mogućnost dobijanja električne energije iz distributivne mreže. Na taj način se smanjuje nepredvidiv uticaj vremenskih prilika na prinose jer se zemljištu obezbeđuje potrebna količina vode u periodu suše.

## 6. LITERATURA

- [1] <https://www.solarnipaneli.org> (pristupljeno u junu 2021.)
- [2] Masters M. G., Renewable and Efficient Electric Power Systems, Hoboken, Stanford University, (2004)
- [3] <https://vtsnis.edu.rs/wp-content/plugins/vts-predmeti/uploads/3%20sunce.pdf> (pristupljeno u julu 2021.)
- [4] Čorba Zoltan, Fotonaponsko pretvaranje solarne energije i fotonaponske elektrane, Novi Sad, FTN izdavaštvo, (2017)

### Kratka biografija:



**Miroslav Korpaš** rođen je u Novom Sadu 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2021.god.



**Zoltan Čorba** rođen je u Novom Sadu 1962. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine. Oblast interesovanja su obnovljivi izvori energije, posebno fotonaponsko pretvaranje energije.