

# Primjena solarnih sustava napajanja u navodnjavanju

---

Varga, Maja

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:022163>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-26**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**PRIMJENA SOLARNIH SUSTAVA NAPAJANJA U  
NAVODNJAVANJU**

**Završni rad**

**Maja Varga**

**Osijek, 2016.**



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom studiju**

**Osijek,**

**Odboru za završne i diplomske ispite**

**Prijedlog ocjene završnog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Maja Varga
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski studij elektrotehnike; komunikacije i informatika
<b>Mat. br. studenta, godina</b>	3795, 2013.
<b>Mentor:</b>	doc.dr.sc. Marijan Herceg
<b>Sumentor:</b>	Mario Primorac, dipl. ing.
<b>Naslov završnog rada:</b>	Primjena solarnih sustava napajanja u navodnjavanju
<b>Primarna znanstvena grana</b>	Elektronika
<b>Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:</b>	Elektrotehnika
<b>Predložena ocjena završnog</b>	
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:

Potpis sumentora:

Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

Potpis predsjednika Odbora:

\_\_\_\_\_



**ETFOS**  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSJEK



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek,

**Ime i prezime studenta:**

Maja Varga

**Studij :**

Preddiplomski studij elektrotehnike, komunikacije i informatika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

3795, 2013.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom:

Primjena solarnih sustava napajanja u navodnjavanju

izrađen pod vodstvom mentora

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	2
2. OSNOVNA NAČELA NAVODNJAVANJA .....	3
2.1. Tlak .....	3
2.2. Protok .....	4
2.3. Snaga crpke .....	5
3. FOTONAPONSKI SUSTAV .....	6
3.1. Fotonaponski moduli .....	6
3.2. Regulator punjenja .....	8
3.3. Solarne baterije .....	8
3.4. DC/AC pretvarač .....	10
3.5. Trošila .....	10
4. SOLARNI SUSTAV ZA NAVODNJAVANJE .....	11
4.1. Spremnik s vodom .....	11
4.2. Crpke .....	11
4.3. Prskalice, cijevi i ventili .....	12
5. PRIMJER PRORAČUNA NAVODNJAVANJA POMOĆU FOTONAPONSKOG SUSTAVA .....	14
5.1. Određivanje površine koja će se navodnjavati .....	14
5.2. Određivanje protoka .....	15
5.3. Određivanje tlaka kojeg crpka treba savladati .....	17
5.4. Određivanje crpke, minimalnog broja modula i kapaciteta baterije .....	20
5.5. Cijena projekta .....	25
6. ZAKLJUČAK .....	27

LITERATURA.....	29
SAŽETAK.....	31
ABSTRACT .....	32
ŽIVOTOPIS .....	33

## 1. UVOD

Obnovljiva energija predstavlja energiju dobivenu iz prirodnih izvora. U tu skupinu izvora ubraja se sunčeva svjetlost, vjetar, kiša, valovi te geotermalna toplina, a energija koja se dobiva iz takvih izvora je sunčeva energija, energija vjetra, hidroenergija, energija biomase i biogoriva. Najzastupljeniji izvor obnovljive energije je Sunce. Hrvatska je zemlja koja sve više otkriva prednosti obnovljivih izvora, ponajprije sunčeve svjetlosti zamjenjujući pri tome fosilna goriva koja su stoljećima bila glavni izvor energije. Kako bi se takva vrsta energije mogla koristiti potrebni su poluvodiči koji imaju fotonaponski efekt, odnosno ćelije koje čine fotonaponski modul koji je sastavni dio za iskorištavanje sunčeve energije pri čemu se upravo sunčeva energija direktno pretvara u istosmjernu energiju.[1][2]

Tako dobivena energija može se koristiti za različite namjene, između ostalog i za navodnjavanje. Solarno navodnjavanje čini sustav povezanih cijevi pomoću kojih se navodnjava određeno područje, a crpka koja crpi vodu napaja se energijom koju proizvede fotonaponski modul. Svoju primjenu pronalazi diljem svijeta, posebno u sušnim područjima gdje su kiše rijetke, kao i u udaljenim mjestima na kojima ne postoji električna mreža. Sušna područja karakterizira velik broj sunčanih sati zbog čega solarno navodnjavanje nudi idealna rješenja u proizvodnji hrane. Solarno se napajanje koristi pri navodnjavanju različitih voćarskih i ratarskih kultura te omogućava pristup pitkoj vodi za životinje u intenzivnom uzgoju ili pak ekstenzivnome uzgoju u nepristupačnim područjima. Sam sustav može poslužiti i za punjenje bazena u ribogojstvu. Glavne odlike solarnog navodnjavanja su jednostavnost sustava i ušteda vremena te ekološka prihvatljivost, a cijene izrade samog sustava su promjenjive i povećavaju se ovisno o površini područja veća kojeg se želi navodnjavati te o troškovima kupnje potrebne opreme.[3]

Zbog navedenih prednosti, ovim se radom nastoji prikazati mogućnost primjene solarnih sustava napajanja u navodnjavanju konkretne površine i s odgovarajućom opremom.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak je završnog rada opisati osnovne principe rada sustava za navodnjavanje te na konkretnom primjeru navodnjavanja proračunati zahtjeve za solarni sustav napajanja. U skladu s time, teorijski je dio rada usmjeren definiranju temeljnih pojmova potrebnih za razumijevanje navodnjavanja i solarnog napajanja. Ta se dva ključna pojma dovode u odnos kako bi se objasnio način navodnjavanja koje se koristi energijom dobivenom iz solarnog izvora energije.

U drugom se dijelu prezentiraju izračuni potrebnih uvjeta koje je potrebno osigurati kako bi se u pogon stavio sustav solarnog navodnjavanja na određenoj površini na području Osijeka.



## 2. OSNOVNA NAČELA NAVODNJAVANJA

Općenito shvaćeno, navodnjavanje podrazumijeva prijenos vode s jednog mjesta na drugo. Početno mjesto s kojega kreće prijenos vode potrebno je spojiti s mjestom na kojemu se voda troši za različite namjene. U mnogim zemljama, kako bi se voda distribuirala, iskopavaju se jarci pa voda teče uz pomoć gravitacije kroz razgranatu vodovodnu mrežu ili spremnike.

Za prijenos vode koriste se vodovodne cijevi. Koji god se sustav koristio kako bi se voda dovela s jednog mjesta na drugo, važno je zapamtiti da što je manji promjer cijevi i što je dulja dužina cijevi, to je potrebno savladati veći tlak. Nužan tlak se zbog zemljopisnog položaja ne može uvijek dobiti gravitacijom pa se snaga koja će tjerati vodu kroz cijevi treba osigurati primjenom crpke. Što je tlak veći (zbog karakteristika položaja i cijevi), to crpka mora raditi snažnije kako bi ga savladala. Zapravo, crpka mora savladati trenje koje se stvara kako voda prolazi kroz unutrašnjost cijevi. U slučaju duljih cijevi i većeg protoka vode potrebne su cijevi većeg promjera kako bi se iznos tlaka sveo na najmanju moguću mjeru zbog trenja.[4]

Iz opisanog tijeka distribucije vode, zamjetno je kako postoje tri osnovna načela bez kojih sustav za navodnjavanje ne bi funkcionirao, a to su protok, tlak te snaga crpke. U nastavku se opisuju značajke svakog pojedinog načela.

### 2.1. Tlak

Određivanje visine tlaka iznimno je važno za sustav navodnjavanja jer tlak predstavlja rad kojeg crpka treba savladati kako bi se dio vode pokrenuo. Pritom je bitno u obzir uzeti postojeću visinsku razliku. Visinska razlika između spremnika s vodom i mjesta na kojeg se voda treba izliti izuzetno je važna jer je upravo ona faktor koji govori koliko će crpka trebati raditi. Drugim riječima, visinska razlika određuje koliki je iznos tlaka koji treba savladati kako bi voda u cijevi počela teći. Crpka mora savladati tlak od 0,05 bara za svako povećanje visine vode za 0,5 metara. U slučaju da voda teče nizbrdo, tada se iznos tlaka smanjuje za 0,05 bara za svakih 0,5 metara. Na iznos tlaka također ima utjecaj promjer cijevi koje se koriste, njihova duljina, zavoji te ventili. [4]

Sve navedeno potrebno je uzeti u obzir kako bi se odredilo koliko će iznositi vrijednosti tlaka i koliko tlaka treba crpka savladati kako bi voda tekla.

Za određivanje ukupnog tlaka izraženog u barima potrebno je zbrojiti sljedeće komponente:

- tlak potreban da bi se savladala visinska razlika
- tlak potreban da bi voda protekla kroz filtre i posebne ventile (informaciju daju proizvođači tih dijelova).
- tlak potreban da bi se savladali gubitci koji nastaju zbog trenja u cijevi (ovisi o količini vode koja protječe kroz cijev, vrsti cijevi, duljini cijevi, broj zavoja cijevi, promjer cijevi).[5]

Drugim riječima, iznos tlaka koji će crpka trebati savladati radom nije univerzalno određen već ga je potrebno izračunati za svaki pojedini sustav navodnjavanja koji ima svoje posebnosti u vidu površine, položaja te opreme koja se koristi.

## **2.2. Protok**

Drugo načelo navodnjavanje je postojanje protoka. Protokom se naziva količina vode koja prolazi kroz sustav navodnjavanja u određenom vremenskom periodu. Najčešće se kao mjerna jedinica protoka vode uzima litra po satu (l/h). Sukladno tomu, protok vode može se pojednostavljeno shvatiti kao brzina prolaska određene količine vode kroz cijev.

Ako sve ostale okolnosti ostanu nepromijenjene, protok će se smanjivati s porastom tlaka i obrnuto. Što je manji tlak, protok će biti veći. Primjerice, ukoliko se poveća iznos rada koji crpka treba obaviti, povišenjem mjesta istjecanja ili smanjenjem promjera crijeva (tj. povećanjem tlaka koji crpka mora proizvesti), crpka će stvoriti manji protok litara po satu. [4]

To znači da su vrijednosti tlaka i protoka obrnuto proporcionalne veličine. Dakle, pri određivanju protoka u obzir treba uzeti vrijednosti ukupnog tlaka i svih prethodno navedenih komponenti koje doprinose ukupnom iznosu tlaka.

### **2.3. Snaga crpke**

Treće osnovno načelo navodnjavanja odnosi se na činjenicu da je za navodnjavanje potrebna određena snaga. Za savladavanje tlaka i protok vode, koristi se crpka sa snagom koja je za to dostatna. Crpke koriste određenu snagu u skladu s iznosom tlaka koji je potrebno savladati kako bi protjecala voda. [4]

Sva tri opisana načela navodnjavanja potrebno je ostvariti i u slučaju solarnog navodnjavanja.

### 3. FOTONAPONSKI SUSTAV

Osim osnovnih načela navodnjavanja, za primjenu solarnog sustava napajanja u navodnjavanju nužno je i razumijevanje funkcioniranja fotonaponskoga sustava. Fotonaponski sustav sastoji se od fotonaponskih modula čija je zadaća da primljenu sunčevu energiju pretvaraju u električnu energiju. S obzirom na način rada razlikuju se dvije vrste fotonaponskih sustava:

1. samostalni (autonomni) fotonaponski sustavi za čiji rad nije potrebna električna mreža
2. mrežni fotonaponski sustav kojem je potreban priključak na električnu mrežu.

Sustav za solarno navodnjavanje koristi prvu skupinu fotonaponskih sustava. Tu vrstu osim što karakterizira potpuna mogućnost rada bez električne mreže, svojstvena je i po tome što je nužan spremnik energije (baterija, zamašnjak) za skladištenje električne energije. Za ispravan rad takvog sustava nužan je regulator za kontrolu punjenja i pražnjenja baterije (akumulatora) kao i uporaba istosmjerno-izmjeničnih pretvarača (DC 12-24 V / AC 230 V) te sustav kao takav spreman zadovoljiti potrebe uređaja poput hladnjaka, motora, televizora, usisavača, crpka te ostalih malih kućnih aparata. Takav sustav najčešće se koristi u ruralnim područjima ili vikend naseljima, a posebnu svrhu pronalaze za razne signalizacije, upozorenja i rasvjetu.[6]

Dakle, samostalni fotonaponski sustav, uz fotonaponske module, čine regulator punjenja, spremnici energije, izmjenjivač. U nastavku su opisane značajke svake komponente toga sustava.

#### 3.1. Fotonaponski moduli

Fotonaponski moduli predstavljaju module u kojima se vrši pretvorba energije, točnije pretvorba energije dobivene od Sunca u električnu energiju. Svaki fotonaponski modul sastoji se od određenog broja fotonaponskih ćelija ovisno o veličini fotonaponskog modula. S obzirom da su neprestano izloženi vremenskim uvjetima, konstruirani su tako da budu otporni olujne vjetrove, jake kiše, morske soli, snijeg, ekstremne temperature, a fotonaponske ćelije obično prekrivaju staklenom zaštitom.

Fotonaponski modul radi na takvom principu da fotoni sunčevih snopova udaraju u elektrone koji su prisutni u ćeliji te se na taj način postiže veća energetska razina čime dolazi do stvaranja

električne energije. Koliko će fotonaponskih modula biti potrebno postaviti odredit će se proračunom ovisno o snazi modula te kapacitetu baterije. Veličina fotonaponskog sustava ne ovisi o veličini posjeda (kvadraturi) nego o broju trošila, odnosno o tome koliko je potrebno električne energije da bi se zadovoljile dnevne potrebe.[2][6][7] Slika 3.1. prikazuje fotonaponske module smještene na krovu vikendice.



**Sl. 3.1.** *Fotonaponski moduli u okolici Osijeka.*

Više fotonaponskih modula mogu se spajati paralelno i/ili serijski te tada čine fotonaponski sustav. Danas se na tržištu mogu pronaći različite vrste fotonaponskih modula poput amorfnih, monokristalnih, polikristalnih ili tankoslojnih, a sve njih karakterizira vrlo visoka pouzdanost, dobra kvaliteta, postojanost, jednostavna konstrukcija i postavljanje. Efikasnost sustava u 10 godina opada 10%. [7]

### 3.2. Regulator punjenja

Drugu komponentu fotonaponskog sustava čini regulator punjenja. To je uređaj koji se postavlja između fotonaponskog modula i baterije. Glavni mu je zadatak kontrolirati samo punjenje baterije kako bi se omogućilo punjenje do najviše granice, ali ne i preko nje. Regulatori DC napona služe za pretvorbu istosmjernog promjenjivog napona u izrazito kontrolirane napone koji mogu puniti bateriju. Razlikuju se dvije vrste regulatora punjenja PWM (širinsko-impulsna modulacija, engl. *pulse-width modulation*) i MPPT (praćenje točke maksimalne snage, engl. *maximum power point tracking*). Slika 3.2. prikazuje jedan MPPT regulator.



Sl. 3.2. MPPT regulator punjenja.

Osim što se regulatori razlikuju u cijeni, razlikuju se i u učinkovitosti. Kod PWM regulatora napon panela mora odgovarati naponu baterije. Ukoliko to nije slučaj stvaraju se gubitci, tj. regulator odbacuje suvišan napon te prilagođava napon bateriji. MPPT regulatori razlikuju se od PWM regulatora jer prilagođavaju napon panela naponu baterija gotovo bez gubitaka te su u određenim uvjetima mnogo učinkovitiji regulatori napona.[6][13]

### 3.3. Solarne baterije

Solarne baterije (akumulatori) služe za pohranu energije koja se prikupi fotonaponskim modulima

te se odabiru kada se planira česta uporaba fotonaponskog sustava kao u slučaju navodnjavanja. Baterijama (Sl.3.3) se omogućava da crpka ima na raspolaganju dovoljno uskladištene energije. U slučaju nedovoljne osunčanosti kada fotonaponski moduli ne proizvode dovoljnu količinu energije crpka se napaja iz baterija.



**Sl. 3.3.** Solarne baterije spojene serijski i paralelno.

Kod svake baterije najviše se može iskoristiti 60% energije, dok preostalih 40% ostane neiskorišteno. Upotrebom baterija osigurava se redovitost navodnjavanja bez obzira na vremenske uvjete. [6]

### 3.4. DC/AC pretvarač

Sljedeća komponenta koja je dio fotonaponskog sustava je DC/AC pretvarač (slika 3.4.). DC/AC pretvarač (ili tzv. inverter) je elektronski uređaj koji se koristi za pretvaranje istosmjernog napona koji je prisutan u solarnim baterijama (akumulatorima) vrijednosti 12 V ili 24 V u izmjenični napon poznate vrijednosti od 230 V. [6]



**Sl. 3.4.** *Izmjenjivač koji vrši pretvorbu istosmjernog u izmjenični napon.*

Za napajanje crpke potreban je izmjenični napon od 230 V. Budući da se crpka napaja preko 24 V istosmjerne struje, između crpke i baterije potrebno je spojiti izmjenjivač. Kada bi se DC/AC pretvarač izostavio iz fotonaponskog sustava, crpka u funkciji trošila i baterija kao neposredni izvor napajanja ne bi bili kompatibilni te se u konačnici ne bi moglo provoditi napajanje.

### 3.5. Trošila

Trošilima se nazivaju svi uređaji koji troše proizvedenu energiju. U slučaju navodnjavanja, trošilo je crpka koja crpi vodu iz spremnika i šalje je dalje sustavom navodnjavanja. Kod uređaja je bitno je naglasiti da sustav koji je fotonaponski za razliku od gradske mreže ne predstavlja neograničeni izvor energije. Sve ovisi o vrijednosti snage izmjenjivač, odnosno koliko će se moći uređaja priključiti u takvom sustavu ovisi isključivo o izlaznoj snazi. Podrobnije, to bi značilo da ukupna izlazna snaga fotonaponski modula mora biti veća od zbroja svih potrošača koji se napajaju iz danog izvora. U protivnom, dolazi do preopterećenja.



## **4. SOLARNI SUSTAV ZA NAVODNJAVANJE**

Kako bi se stvorio cjeloviti solarni sustav za navodnjavanje, osim samostalnog fotonaponskog sustava nužan je i odabir odgovarajuće crpke, prskalica, cijevi, ventila te spremnika s vodom (izvora vode). Tim će se komponentama omogućiti dovod vode s jednog mjesta na drugo te tako osigurati navodnjavanje. U nastavku su opisane te tri komponente.

### **4.1. Spremnik s vodom**

Ulogu spremnika s vodom koji je nužan da bi sustav za navodnjavanje funkcionirao može preuzeti rijeka, potok, jezero, bunar, ili pak priključak na gradsku vodoopskrbu. U slučaju da se kao izvor koristi spremnik koji može presušiti (poput močvare, jezera ili bunara), valja biti oprezan i uvijek osigurati dovoljnu količinu vode kako spremnik ne bi presušio. Razlog tomu jest taj što je glavna svrha spremnika je crpiti vodu koja će se slati u danji sustav navodnjavanja, a crpljenjem na „prazno“ pri nedostatku vode može doći do oštećenja crpke.

Kako do oštećenja ipak ne bi došlo, brzina crpljenja vode treba biti jednaka ili manja od brzine punjenja samog spremnika. Izvori koji su presušivi mogu se koristiti za područja gdje nije velika potreba za čestim navodnjavanjem, kao i za opskrbu vodom malih kvadratura određene kulture (u poljoprivredi) ili općenito za zadovoljavanje malih potreba za vodom (kućanstva). [4]

### **4.2. Crpke**

Uz izvor vode, za sustav navodnjavanja nužno je koristiti i crpku kojom će se voda iz spremnika crpiti i slati u daljnji sustav navodnjavanja. U tu je svrhu moguće koristiti centrifugalne crpke. Općenito, centrifugalne crpke predstavljaju crpku vrlo jednostavnog dizajna jer ju čini spiralno kućište i rotor koji je pričvršćen na vratilu vrteći se velikom brzinom. Pomoću centrifugalne crpke protjecanje vode kreće se od smjera crpljenja prema tlačnoj strani djelovanjem centrifugalne sile koja potiskuje vodu između lopatica rotora. Vrtanjem rotora dolazi do potiskivanja vode kroz lopatice. Voda povećava svoju brzinu prolaska kroz cijevi zbog djelovanja centrifugalne sile. [8]

U slučaju korištenja bunara kao spremnika vode, najprikladnija vrsta centrifugalne crpke jest potopna crpka. Potopna crpka je crpka koja radi uronjena u vodu. Ovisno o specifikaciji, potopne crpke razlikuju se po snazi, protoku (l/m) te na koliko metara dubine se postavljaju. Stoga je potrebno određene parametre proračunati kako bi se odabrala najprikladnija potopna crpka.

### 4.3. Prskalice, cijevi i ventili

Voda koju crpka crpi iz spremnika najprije dolazi do glavnog ventila kojim se omogućuje ili ne omogućuje danji protok vode, ovisno o potrebama potrošača. Voda do odredišta dolazi kroz cijevi. Cijevi mogu biti istog promjera ili različitih promjera. U slučaju različitih promjera, cijevi moraju biti spojene spojnicama kako bi postale kompatibilne (pravilan protok bez gubitaka na spojevima). Na crijeva kod kojih počinju redovi kulture koju se navodnjava stavljeni su obično mali ventili na koje se nastavljaju rupičasta crijeva (slika 4.1), odnosno crijeva kap na kap koja služe kao prskalice.



Sl. 4.1. Rupičasta crijeva prije postavljanja u sustav navodnjavanja.

Ventili u ovom slučaju služe za parcijalno navodnjavanje ukoliko postoji potreba za tim. Postoje razni modeli prskalica koje se nude na tržištu. Prskalice s različitim raspršivačima pogodne su za

opskrbu vodom kultura koje uljepšavaju parkove kao i za travnata igrališta, ali ne i u ratarskim djelatnostima.

Za tu svrhu najpraktičnija su crijeva za navodnjavanje koja se mogu koristiti za plitke, srednje i duboko ukorijenjene usjeve, trajnice, vinograde i voćnjake sađene u redovima. Ovakvu vrstu crijeva karakterizira iznimna otpornost, izdržljivost, učinkovitost, efikasnost i elastičnost što omogućuje jednostavno postavljanje bez bojazni da bi se proizvod mogao oštetiti. Promjer crijeva dostupan je u veličinama od 16 mm za prosječne duljine protoka do 300 metara i 22 mm za dugačke duljine protoka do 750 metara. Crijeva su duljine po 100 m, 200 m i 500 m, a razmak između rupica moguće je naći vrijednostima 10 cm i 20 cm.[9]

## 5. PRIMJER PRORAČUNA NAVODNJAVANJA POMOĆU FOTONAPONSKOG SUSTAVA

Kako bi čitav sustav funkcionirao treba napraviti određene proračune koji će se odnositi na navodnjavanje konkretne površine. Ti proračuni prethode izgradnji sustava navodnjavanja te ih je potrebno precizno odrediti kako bi se svi dijelovi naknadno mogli uskladiti. Osim određivanja veličine i položaja površine tla koje će se navodnjavati, nužno je proračunati osnovna načela navodnjavanja i troškovnik postavljanja solarnog navodnjavanja.

### 5.1 Određivanje površine koja će se navodnjavati

Odabrana površina za koju će se izvršiti proračun je voćnjak koji se nalazi u okolici Osijeka i prikazan je na slici 5.1.



**Sl. 5.1.** Voćnjak na čijoj će se površini provoditi solarno navodnjavanje.

Voćnjak ima ukupno 22 reda dužine 100 m, a svaki red u kojem je posađena voćka zauzima 1 m<sup>2</sup>. Kako bismo saznali površinu koju treba navodniti računa se :

$$P = a \cdot b \cdot c = 22 \cdot 1 \cdot 100 = 2\,200\text{m}^2 \quad (5-1)$$

gdje je :

- a*-broj redova voćki
- b*-površina koju zauzima jedna voćka
- c*-duljina dužine jednog reda

Proračun pokazuje kako je u konkretnom slučaju od 22 reda voćaka potrebno navodnjavati ukupnu površinu od 2 200 m<sup>2</sup> jer je od navodnjavanja izostavljena površina tla koja dijeli redove voćaka.

## 5.2. Određivanje protoka

Kako bi se mogao odrediti protok potrebno je saznati koja se kultura želi navodniti, a samim time i kolika je potreba za vodom u mjesecima u kojim se navodnjava. U konkretnom primjeru, navodnjavana će biti stabla breskve koja spadaju u skupinu drvenastih kultura poput jabuke, kruške, marelice itd. Iz tablice 5.1. može se iščitati da će navodnjavanje biti potrebno od mjeseca svibnja do rujna. Kako bi sustav solarnog navodnjavanja dobro funkcionirao, za proračune će se uzimati vrijednost mjeseca u kojem je potreba za vodom najveća. Ukoliko sustav zadovolji maksimalne potrebe za vodom, osigurat će se ispravan rad sustava i za manjim potrebama vode.

**Tab. 5.1.** Potreba uzgajanih kultura za vodom pri prosječnim količinama oborina. [10]

Struktura proizvodnje redovno/postavno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Povrće</b>												
Krumpir				0,0	0,0	10,1	76,5	63,3				
Luk				0,0	26,3	33,6	80,3	47,6				
Paprika, krastavac					0,2	1,8	69,6	61,4	12,3			
Dinja, lubenica				0,0	6,5	28,9	78,4	47,4				
Kupus, kelj					4,7	27,6	83,8	47,8				
Grašak		0,0	0,0		0,7	41,9	85,2					
Rajčica, patliđan					4,7	27,6	90,0	35,3				
Mrkva, peršin, pastirnjak					4,7	27,6	83,8	47,8	0,0			
<b>Drvenaste kulture</b>												
Vinova loza	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	10,1	41,3	34,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Jabuka, kruška .....	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3	38,0	87,2	74,0	16,7	0,0	0,0	0,0

Kako bi se izračunala dnevna potreba za vodom tih stabala potrebno je najveću potrebu za vodom, odnosno iznos 87,2 mm iznos podijeliti s brojem dana mjesecu u kojem je potreba za vodom najveća:

$$N = \frac{87,2}{31} = 2,81 \text{ mm} = 2,81 \text{ l/m}^2 \quad (5-2)$$

Radi lakšeg računanja iznos se zaokružuje na 3 l/m<sup>2</sup>.

Ukupna količina vode dnevno određena produktom konačnih vrijednosti iz relacija (5-1) i (5-2):

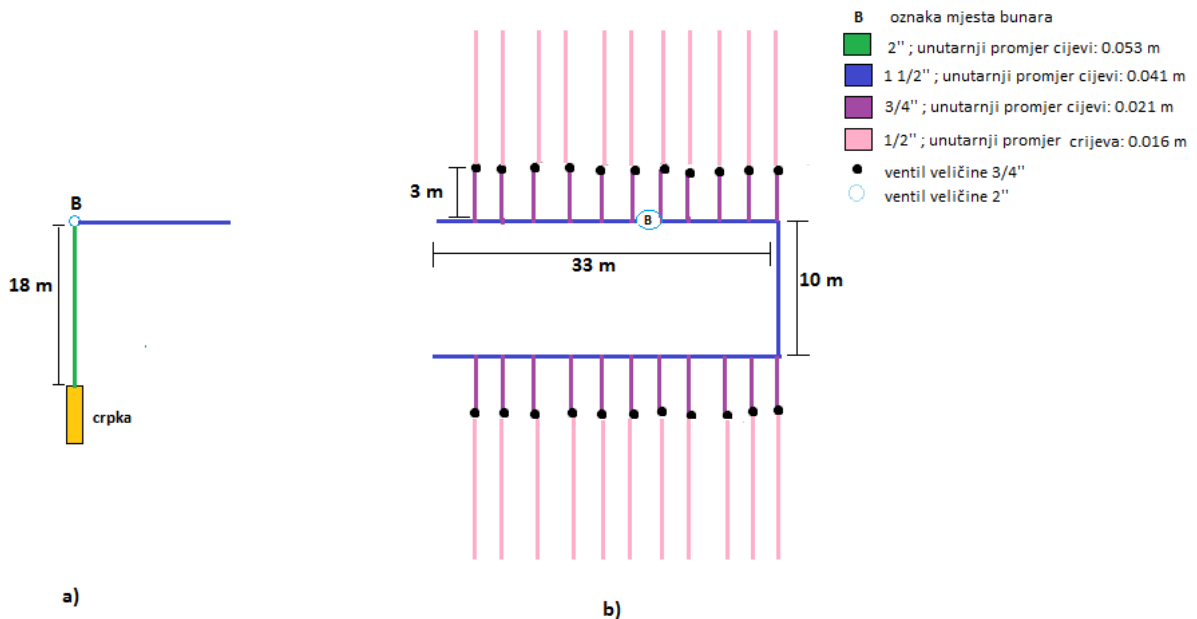
$$V = N \cdot P = 3 \cdot 2200 = 6600 \text{ l} \quad (5-3)$$

Navodnjavanje traje 3 h , što znači da potreban protok iznosi:

$$Q = \frac{V}{3} = \frac{6600}{3} = 2200 \frac{\text{l}}{\text{h}} = \frac{2200}{60} = 36,67 \text{ l/min} \quad (5-4)$$

Za 100 stabala breskve u voćnjaku s 22 reda potrebno je osigurati najmanje prosječno 3 l/m<sup>2</sup> na dan. To će se postići dnevnim navodnjavanjem u trajanju od 3 sata. U skladu s time, protok vode koji će biti potreban jest gotovo 37 litara po minuti.

### 5.3. Određivanje tlaka kojeg crpka treba savladati



**Sl. 5.2.** Shematski prikaz dijelova sustava navodnjavanja, pri čemu je:  
 a) prikaz ispod površine zemlje; b) prikaz iz ptičje perspektive.

Slika 5.2. prikazuje vrstu i duljinu cijevi koja će biti korištena u izračunima, odnosno tri vrste cijevi i jednu vrstu crijeva za koju se ne računa tlak zbog rupica na crijevu.

Prije nego što se izračuna tlak, potrebno je prethodno izračunati protok vode u litrama po minuti, pretvoriti u protok vode u litrama po sekundi:

$$Q = \frac{36.67}{60} = 0,61 \text{ l/s} \quad (5-5)$$

Tablica 5.2. prikazuje kako se protok i brzina vode mijenjaju u odnosu na promjene u promjeru cijevi. Što se promjer više smanjuje, povećava se brzina protjecanja vode, a količina vode ostaje ista. Ujedno se bilježe i promjene tlaka.

**Tab. 5.2.** Odnos promjera cijevi, protoka vode i gubitka tlaka. [11]

Unutarnji promjer [m]	Protok [l/s]	Brzina [m/s]	Gubici [Pa/100 m]	Tlak $P_{1;2;3} = \text{Gubici} \cdot l_{\text{duljina cijevi}}$
0,053	0,6	0,27	2090	$P_1 = 2090 \cdot \frac{18}{100} = 1267,2 \text{ Pa} = 0,013 \text{ bar}$
0,041	0,6	0,45	7040	$P_2 = 7040 \cdot \frac{33 + 10 + 33}{100} = 5350,4 \text{ Pa} = 0,054 \text{ bar}$
0,021	0,6	1,73	171186	$P_3 = 171186 \cdot \frac{3}{100} = 5135,6 \text{ Pa} = 0,051 \text{ bar}$

Pomoću lijeve strane tablice 5.2. izračunava se tlak na desnoj strani tablice koji uzrokuje određena vrsta cijevi. Ovisno o dobivenim rezultatima proračuna, odabrane su cijevi odgovarajućeg promjera kako bi se uz određeni tlak ostvario prethodno izračunati protok vode koji je nužan u konkretnom slučaju.

Iz tablice 5.3. određuje se tlak koji je izgubljen zbog ventila. Ukupan broj ventila veličine  $\frac{3}{4}$ " (26,67 mm) odgovara broju redova vočki kako bi se omogućilo parcijalno navodnjavanje ukoliko dođe do potrebe. U sustavu još postoji jedan glavni ventil veličine 2" (60,33 mm) kojim se regulira protok vode, odnosno ukoliko je taj ventil zatvoren protoka vode kroz daljnji sustav neće ni biti. Za protok 0,6 l/s i ventil veličine  $\frac{3}{4}$ " (26,67 mm) tlak kojeg crpka treba savladati je 0,06 bara, dok za ventil veličine 2" (60,33 mm) te isti protok nema tlaka koji bi utjecao na protjecanje vode.



**Tab. 5.3.** Odnos protoka i tlaka u barima kojeg uzrokuje određena veličina ventila. [5]

Protok L/s m <sup>3</sup> /h		Veličina ventila					
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
0,13	0,45	0,01	—	—	—	—	—
0,19	0,68	0,03	—	—	—	—	—
0,38	1,36	0,07	0,02	—	—	—	—
0,50	1,81	0,12	0,03	—	—	—	—
0,63	2,27	0,18	0,06	0,02	—	—	—
0,76	2,72	0,25	0,08	0,03	—	—	—
0,88	3,18	0,33	0,10	0,04	—	—	—
1,01	3,63	—	0,14	0,06	—	—	—
1,14	4,08	—	0,17	0,07	—	—	—
1,26	4,54	—	0,21	0,08	0,03	—	—
1,39	4,99	—	0,24	0,10	0,03	—	—
1,51	5,44	—	0,28	0,12	0,04	—	—
1,64	5,90	—	0,33	0,14	0,05	0,03	—
1,77	6,35	—	—	0,15	0,06	0,03	—
1,89	6,80	—	—	0,17	0,06	0,03	—
2,02	7,26	—	—	0,20	0,08	0,04	—
2,14	7,71	—	—	0,22	0,08	0,04	—
2,27	8,16	—	—	0,25	0,09	0,05	—
2,40	8,62	—	—	0,27	0,10	0,06	—
2,52	9,07	—	—	0,30	0,11	0,06	0,02
2,65	9,53	—	—	0,32	0,12	0,06	0,02

Crpka također mora savladati tlak od 0,05 bara za svako visinsko povećanje vode za 0.5 metara.

Iz toga slijedi da ukupni tlak kojeg bi crpka trebala savladati iznosi:

$$G = P_1 + P_2 + P_3 + P_{ventil} + P_{visinsko\ povećanje} = \quad (5-6)$$

$$= 0,013 + 0,054 + 0,051 + 0,06 + \left(\frac{18}{0,5} \cdot 0,05\right) = 1,978 \text{ bar}$$

Na temelju ovih proračuna treba odabrati crpku koja će biti prikladna.

#### 5.4. Određivanje crpke, minimalnog broja modula i kapaciteta baterije

Uzimajući u obzir protok, tlak, dubinu na kojoj se crpka nalazi, najpogodnija crpka je 4SR1.5m/8 što se može vidjeti iz tablice 5.4 kao i nazivna snaga  $P_{nazivna}$  375 W , te nazivni napon  $U_{nazivni}$  crpke tj. napon na kojem je predviđeno da crpka radi koji iznosi 230 V [23]

**Tab. 5.4.** *Specifikacija crpke 4SR1.5/8.[23]*

Model crpke	Nazivna snaga (kW)	Nazivni napon (V)	Protok Q		Dubina H (m)
			(m <sup>3</sup> /h)	(l/min)	
4SR 1.5/8	0,375	230	2,4	40	20

Struja tada iznosi:

$$I = \frac{P_{nazivna}}{U_{nazivni}} = \frac{375}{230} = 1,63 \text{ A} \quad (5-7)$$

Kako bi se saznalo koliko crpka energije troši s izmjenjivača potrebno je izračunati produkt nazivne snage i ukupno vrijeme dnevnog navodnjavanja izraženo u satima :

$$W = P_{nazivna} \cdot t = 375 \cdot 3 = 1125 \text{ Wh} \quad (5-8)$$

U ovome slučaju pokazalo se kako crpka troši 1125 Wh.

Prisutan je gubitak na izmjenjivaču od 15% stoga se računa:

$$W' = W \cdot 1,15 = 1293,75 \text{ Wh} \quad (5-9)$$

1293.75 Wh je iznos energije koja je potrebna crpki za dnevni rad. Da bi se saznalo koliko se potroši Ah iz baterije, taj se iznos treba podijeliti s naponom baterije koji iznosi 12 V.

$$C = \frac{W'}{12} = 107,81 \text{ Ah} \quad (5-10)$$

Za jedno navodnjavanje se potroši 107,81 Ah.

Potrebno je odrediti minimalan broj fotonaponskih modula kao i vrijednost minimalnog kapaciteta baterije. Iz relacije (5-10) određen je iznos dnevne potrošnje koji je potrebno pomnožiti s brojem dana autonomije sustava kako bi se dobila vrijednost idealnog kapaciteta baterije. Broj dana autonomije proporcionalan je kapacitetu baterije, odnosno veći broj dana autonomije zahtijevat će veći kapacitet baterije iz razloga što se računaju minimalne vrijednosti on iznosi 1:

$$K_N = \eta_A \cdot C = 1 \cdot 107,81 = 107,81 \text{ Ah} \quad (5-11)$$

Minimalni kapacitet realne baterije saznaje se kvocijentom idealnog kapaciteta baterije  $K_N$  i koeficijentom dubine pražnjenja baterije  $t_z$  koji govori da se baterija smije isprazniti do 40% svog kapaciteta kako ne ni došlo do oštećenja te kako bi se, uvažavajući taj prag, produljio životni vijek baterija [24] :

$$K = \frac{K_N}{t_z} = \frac{107,81}{0,4} = 269,53 \text{ Ah} \quad (5-12)$$

Na ovom primjeru koristit će se baterije od 12 V i 58 Ah. Kako bi se odredila količina baterija potrebno je iznos sa 269,53 Ah podijeliti sa 58 Ah te se dobiva iznos koji se zaokružuje na prvi veći cijeli broj te on iznosi 5. Ovim proračunom određeno je koliki je minimalni kapacitet dostatan za ispravan rad sustava.

Određivanje broja fotonaponskih modula provedeno je pomoću programa za izračun minimalnog broja modula. U program se upisuju koliko će se mjesečno potrošiti energije u kWh ( iznos dobiven relacijom (5-9) pomnožen sa 30 dana te pretvoren u kilovatsate iznosi 38,81 kWh), koliki je postotak sustava koji želi koristiti sunčevu energiju (u ovom slučaju je to 100% jer je fotonaponski sustav namijenjen samo u svrhu cjelokupnog sustava navodnjavanja) te koliki je broj sunčanih sati u mjestu na kojem će sustav biti projektiran (1898 sati godišnje za lokaciju Osijeka dijeli se sa 365 kako bi se dobio dnevni broj sati te iznosi 5,2 h). Programom je određeno da cijeli sustav zahtjeva minimalno 253 W, a pošto se za konkretan primjer uzima fotonaponski modul od 230 W, cijelom sustavu će biti dovoljno 2 fotonaponska modula. [25] [26]

Kako bi se povećala autonomnost sustava, zadovoljavajući minimalne vrijednosti, na konkretnom primjeru sustav će činiti tri modula spojena u seriju po 230 Wp kao deset baterija spojenih u seriju i paralelno (po dvije baterije spojene serijski te paralelno). Na taj način dobije se veći kapacitet te baterije imaju napon jednak naponu fotonaponskog modula i izmjenjivača, odnosno napon od 24V. Snagu ukupnog sustava (iznos dobiven množenjem snage jednog panela i broja panela, odnosno 690 Wp), vrijednost napona (napon jedne baterije je 12 V sa 58 Ah, množenjem iznosa Ah s deset

baterija dobiva se rezultat od 580 Ah) te vrijednost dnevne potrošnje prema relaciji (5-9) upisuju se u program stranice PVgis [12] gdje se na temelju lokacije (Sarvaš) točno određuju sljedeći parametri:

**Tab. 5.5.** Prikaz proračuna pomoću PVgis kalkulatora.[12]

Mjesec	$E_d$	$F_f$	$F_e$
Siječanj	859	0	70
Veljača	1089	14	41
Ožujak	1315	63	4
Travanj	1295	85	0
Svibanj	1293	88	0
Lipanj	1293	91	0
Srpanj	1293	94	0
Kolovoz	1292	98	0
Rujan	1286	72	0
Listopad	1242	53	6
Studenj	1137	27	19
Prosinac	666	0	88
<b>Godišnji iznos</b>	<b>1172</b>		

$E_d$ : prosječno proizvedeno energije po danu (Wh/dan)

$F_f$ : postotak dana kada je akumulator pun (%)

$F_e$ : postotak dana kada je akumulator prazan (%)

Navodnjavanje se koristi od svibnja do rujna, te je iz prethodne tablice vidljivo kako je u tim mjesecima baterija puna preko 80%. Tablica 5.5. ne prikazuje realnu vrijednost prosječno proizvedene energije već samo onoliko energije koliko je potrebno da napuni baterije nakon svakodnevne potrošnje. Kako bi se dobila prava vrijednost energije koja se može dobiti koristeći tri modula povećava se kapacitet baterije i potrošnja te se dobiva:

**Tab. 5.6.** Realni prikaz prosječno proizvedene energije po danu pomoću PVgis kalkulatora.

Mjesec	$E_d$	$F_f$	$F_e$
Siječanj	859	0	100
Veljača	1231	0	100
Ožujak	2100	0	100
Travanj	2632	0	100
Svibanj	2875	0	100
Lipanj	2940	0	100
Srpanj	3132	0	100
Kolovoz	3221	0	100
Rujan	2494	0	100
Listopad	1851	0	100
Studeni	1310	0	100
Prosinac	666	0	100
Godišnji iznos	<b>2113</b>		

$E_d$ : prosječno proizvedeno energije po danu (Wh/dan)

$F_f$ : postotak dana kada je akumulator pun (%)

$F_e$ : postotak dana kada je akumulator prazan (%)

Budući da se u ovom proračunu koristi 10 serijski i paralelno spojenih baterija od 58 Ah ukupni kapacitet iznosi je 580 Ah, no od toga 40% uvijek ostane neiskorišteno. Kako bi se dobila prava vrijednost kapaciteta s kojom se raspolaže računa se:

$$C_{neiskorišteno} = 580 \cdot 0,4 = 232 \text{ Ah} \quad (5-13)$$

$$C_{preostalo} = 580 - 232 = 348 \text{ Ah} \quad (5-14)$$

Prava vrijednost raspoloživog kapaciteta je 348 Ah te podijelivši taj iznos sa dnevnom potrošnjom dobiva se iznos koji predstavlja koliko dana sustav može biti autonoman:

$$\eta_A = \frac{C_{preostalo}}{C} = \frac{348}{107,81} = 3,22 \quad (5-15)$$

Iz rezultata se zaključuje da koeficijent autonomije iznosi 3 dana. Nakon tri dana baterije su prazne te u njima preostaje:

$$C_{nakon\ 3\ dana} = C_{preostalo} - (C \cdot 3) = 24,57\ Ah \quad (5-16)$$

Iz tablice 5.6. gleda se mjesec u kojem je prosječno najmanje proizvedeno energije, odnosno mjesec rujan. Prosječno proizvedene energije po danu u tom mjesecu iznosi 2494 Wh. Taj podatak je potreban kako bi se izračunalo koliko dana bi trajao potpuni oporavak sustava. Slijedi:

$$C_{napunjeno} = \frac{2494}{12} = 207,83\ Ah \quad (5-17)$$

Dijeljenjem vrijednosti prosječne energije mjeseca rujna sa naponom na bateriji dobiva se iznos koji kazuje koliko se baterija dnevno napuni. Poznato je da je autonomija trajala tri dana. Sljedeća tablica prikazuje napunjenost baterije po danima:

**Tab. 5.7. Prikaz napunjenosti baterija po danima.**

4.dan (1.dan nakon pražnjenja)	$C_{4.dan} = C_{napunjeno} + C_{nakon\ 3\ dana} = 207,83 + 24,57 = 232,4\text{ Ah}$ $C_{nakon\ navodnjavanja} = C_{4.dan} - C = 232,4 - 107,81 = 124,59\text{ Ah}$
5.dan (2.dan nakon pražnjenja)	$C_{5.dan} = C_{napunjeno} + C_{nakon\ navodnjavanja} = 207,83 + 124,59$ $= 332,42\text{ Ah}$ $C_{nakon\ navodnjavanja} = C_{5.dan} - C = 332,42 - 107,81 = 227,61\text{ Ah}$
6.dan (3.dan nakon pražnjenja)	$C_{6.dan} = C_{napunjeno} + C_{nakon\ navodnjavanja} = 207,81 + 224,61$ $= 432,42\text{ Ah}$ $C_{nakon\ navodnjavanja} = C_{6.dan} - C = 432,42 - 107,81 = 324,61\text{ Ah}$
7.dan (4.dan nakon pražnjenja)	$C_{7.dan} = C_{napunjeno} + C_{nakon\ navodnjavanja} = 207,83 + 324,61$ $= 532,44\text{ Ah}$ $C_{nakon\ navodnjavanja} = C_{7.dan} - C = 532,44 - 107,81 = 424,63\text{ Ah}$
8.dan (5.dan nakon pražnjenja)	$C_{8.dan} = C_{napunjeno} + C_{nakon\ navodnjavanja} = 207,83 + 424,63$ $= 632,46\text{ Ah} \rightarrow 580\text{ Ah}$ $C_{nakon\ navodnjavanja} = C_{8.dan} - C = 580 - 107,81 = 472,19\text{ Ah}$

Kapacitet osmog dana iznosi 580 Ah , a ne 632,46 Ah jer je maksimalan kapacitet baterije 580 Ah te više energije od te vrijednosti neće se moći pohraniti. Uočava se da je potrebno nešto manje od pet dana kako bi kapacitet baterije imao početnu vrijednost od 580 Ah. Zbog toga što panel u 10 godina gubi 10 % na efikasnosti, vrijeme potpunog oporavka  $\eta_E$  ipak se zaokružuje na 5 dana.

## 5.5. Cijena projekta

Uz proračune osnovnih načela navodnjavanja, želio se doznati i trošak postavljanja fotonaponskog sustava. U tablici 5.8. prikazane su cijene proizvoda potrebnih za solarno navodnjavanje.

**Tab. 5.8. Izračun troškovnika.**

Naziv proizvoda:	Cijena s PDV-om:	Količina:	Ukupno:	Ukupno za cijeli sustav:
ASEL Polikristalni modul 24V, 230W [14]	1610,00 kn	3	4830,00 kn	20 644,8 kn
Regulator napona WS-MPPT30 Wellsee MPPT [15]	400,00 kn	1	400,00 kn	
Hoppecke fotonaponska baterija spajanje u seriju i paralelu 12V [16]	1050,00 kn	10	10500,00 kn	
3000W 12V/24V/48V DC to AC 110V/230V Čisti sinus izmjenjivač [17]	670,00 kn	1	670,00 kn	
Potopna crpka Pedrollo 4SR1.5/8 [18]	2,600 kn	1	2,600 kn	
Crijeva za navodnjavanje 100 m [19]	76,45 kn	22	1681,9 kn	
Cijevi ¾" [20]	4,68 kn	3 x 22	308,88 kn	
Cijevi 2" [20]	18,43 kn	18	331,74 kn	
Cijev 1 ½" [21]	18,68 kn	76	1419,68 kn	
Ventili, spojnice i dodatni dijelovi [22]	do 500 kn	max. 40	500 kn	

Proizvodi koji su korišteni u navedenom primjeru navodnjavanja ne predstavljaju najjeftinije varijante izgradnje takvog sustava. Proizvodi su birani prigodnim odabirom ovisno o potrebama potrošača, specifikaciji proizvoda te proračunima koji bi određeni proizvod trebao zadovoljiti. Svi proizvodi su izabrani iz *online* kataloga ili popularnih stranica namijenjenih potrošačima. Nepisano je pravilo da su često proizvodi kupljeni na taj način skuplji (poštarina, dostava), stoga se isti proizvodi mogu nabaviti u trgovinama po pristupačnijim cijenama (popusti na količinu, sezonski popusti, promocije itd.) pa bi se za ovakav sustav moglo izdvojiti i do 5 000,00 kn manje.



## 6. ZAKLJUČAK

Završnom radu se pristupilo sa zadatkom da se opišu osnovni principi rada sustava za navodnjavanje. Uz to, namjera je bila na konkretnom primjeru navodnjavanja proračunati zahtjeve za solarni sustav napajanja. Postoje tri osnovna načela bez kojih sustav za navodnjavanje ne bi funkcionirao, a to su protok, tlak te snaga crpke. Protokom se označava količina vode koja protekne cijevima u određenom vremenu. Pri protoku vode kroz cijev, tlak pritišće površinu cijevi pa je potrebno uložiti snagu kako bi se taj tlak savladao. Za tu namjenu služi crpka koja crpi vodu iz spremnika i šalje ju dalje u sustav navodnjavanja (cijevi). Crpka je u solarnom sustavu navodnjavanja pokretana energijom dobivenom od Sunca i iskorištenom pomoću fotonaponskih modula, regulatora napona, baterija i pretvarača struje.

Spoznaje o solarnom navodnjavanju primijenjene su za izračun potrebnih veličina u konkretnom slučaju navodnjavanja voćnjaka na području Sarvaša. Proračun pokazuje kako je u konkretnom slučaju od 22 reda voćaka potrebno navodnjavati ukupnu površinu od 2 200 m<sup>2</sup>. Za 100 stabala breskve u voćnjaku s 22 reda potrebno je osigurati najmanje prosječnu količinu vode od 3 l/m<sup>2</sup> na dan. To se postiže dnevnim navodnjavanjem u trajanju od 3 sata. U skladu s time, protok vode koji će biti potreban jest približno 37 litara po minuti. Ukupni tlak kojeg bi crpka trebala savladati iznosi 1,978 bara.

Uzimajući u obzir protok, tlak i dubinu na kojoj se crpka nalazi, najpogodnija je crpka modela 4SR1.5m/8. Ona troši 1293.75 Wh iz baterija. Dnevna potrošnja Ah iz baterije iznosi 107,81. Izračunima se dolazi do saznanja da bi sustav funkcionirao sa dva panela snage 230 W i pet baterija sa 58 Ah. U svrhu povećanja autonomije sustava na konkretnom primjeru korištena su tri panela spojena u seriju po 230 W, kao i deset baterija spojenih serijski i paralelno.

Dobiveni podatci korišteni su da daljnje izračune pomoću kalkulatora na stranici PVgis [12]. Kalkulator pruža mogućnost izračuna ispunjenosti i ispražnjenosti baterije prema osunčanosti određene lokacije. Za područje okolice Osijeka (Sarvaš) doznalo se da je baterija u mjesecima u kojima se vrši navodnjavanje puna preko 70% te da su tri panela dostatna da bi sustav navodnjavanja zadovoljavajuće funkcionirao. Koeficijent autonomije iznosi 3 dana, nakon čega su baterije prazne. Potrebno je pet dana kako bi kapacitet baterija imao početnu vrijednost od 580 Ah.

Izračunato je da se ukupan trošak potrebnog materijala za postavljanje solarnog sustava navodnjavanja za konkretan primjer kreće od oko 15,000 –20,000 kn. Uzimajući to u obzir, kao i proračunate zahtjeve rada solarnog sustava navodnjavanja, može se zaključiti kako takav sustav i

u osječkom podneblju zadržava svoje glavne odlike: jednostavnost konstrukcije, postojanost, tehničku pouzdanost, relativnu ekonomičnost, visoku učinkovitost na maloj površini i ekološku prihvatljivost.

## LITERATURA

- [1] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Obnovljiva\\_energija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Obnovljiva_energija) (10.3.2016.)
- [2] [https://sh.wikipedia.org/wiki/Solarna\\_fotonaponska\\_energija](https://sh.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija)(10.3.2016.)
- [3] [http://www.solarniprojekti.hr/uploads/1/1/5/6/11563155/solarno\\_navodnjavanje.pdf](http://www.solarniprojekti.hr/uploads/1/1/5/6/11563155/solarno_navodnjavanje.pdf) (10.3.2016)
- [4] [https://www.uvm.edu/vtvegandberry/Pubs/Solar\\_Water\\_Pumping.pdf](https://www.uvm.edu/vtvegandberry/Pubs/Solar_Water_Pumping.pdf)(10.3.2016.)
- [5] <https://www.rainbird.com/documents/turf/IrrigationDesignManual.pdf>(10.3.2016.)
- [6] <http://www.solarno.hr/katalog/proizvod/PRINCIPRAD/princip-rada-solarne-opreme> (10.3.2016.)
- [7] Lj., Majdandžić, Obnovljivi izvori energije, Graphis, Zagreb, 2008
- [8] <http://www.pumpe.hr/opcenito-o-pumpama/centrifugalne-pumpa> (29.3.2016.)
- [9] <http://www.cipro.hr/navodnjavanje-oprema.htm#.V2VyWLt97IV> (29.3.2016)
- [10] [https://bib.irb.hr/datoteka/655132.2013\\_11\\_18\\_3867505\\_prirucnik\\_o\\_navodnjavanju.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/655132.2013_11_18_3867505_prirucnik_o_navodnjavanju.pdf).  
(25.6.2016.)
- [11] [http://www.engineeringtoolbox.com/pe-pipe-pressure-loss-d\\_619.html](http://www.engineeringtoolbox.com/pe-pipe-pressure-loss-d_619.html)(7.4.2016.)
- [12] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>(12.6.2016.)
- [13] <http://www.perforum.info/index.php?topic=1178.0> (18.6.2016.)
- [14] <http://asel.hr/woocommerce/proizvod/230w-polikristal-modul-24v/> (20.6.2016.)
- [15] <http://www.aliexpress.com/item/WS-MPPT30-20A-12V-24V-Wellsee-MPPT-Solar-Charge-Controller-Solar-Panel-PV-Module-CE-RoHS/561968367.html>(20.6.2016.)
- [16] <http://www.europe-solarshop.com/batteries/battery-hoppecke-solar-bloc-58-12v.html>(21.5.2016.)
- [17] <http://chmeter.en.made-in-china.com/product/dvmEqOIAHaUc/China-3000W-Smart-3000W-12V-24V-48V-DC-to-AC-110V-230V-Modified-Sine-Wave-Power-Inverter.html>(21.5.2016.)
- [18] <http://www3.heissinger.at/dolo/1000492/ly60/s400410/Gesamtkatalog@inkl@Preise@2013.pdf>(21.5.2016.)
- [19] <http://www.njuskalo.hr/sjeme-sadnice/navodnjavanje-kap-kap-t-tape-traka-navodnjavanje-oglas-13978888> (20.6.2016.)
- [20] <http://www.ikoma.hr/hr/cijevi-i-fitting-za-vodu-odvod-centralno-grijanje/pehd-alkaten-okiten-cijevi-za-vodu/pehd-cijev-za-vodu-fi-20-pn-10-bara-1-2-2437/> (20.6.2016.)
- [21] [http://www.powerflexfence.com/Polyethylene\\_HDPE\\_1\\_1\\_2\\_in\\_p/hdpe1-1-fslash-2.htm](http://www.powerflexfence.com/Polyethylene_HDPE_1_1_2_in_p/hdpe1-1-fslash-2.htm)(29.5.2016.)
- [22] <http://www.plantus.org/wp-content/uploads/2016/04/navodnjavanje-cjenik.pdf>(20.6.2016)
- [23] [http://www.pedrollo.com/public/allegati/4SR\\_EN\\_50Hz.pdf](http://www.pedrollo.com/public/allegati/4SR_EN_50Hz.pdf)(7.4.2016.)
- [24] <https://www.schrack.hr/alternativni-izvori/photovoltaik/projektiranje-otocnog-sustava/>  
(6.9.2016.)

[25] <http://www.wholesolar.com/solar-information/start-here/offgrid-calculator#sunhoursmap>(6.9.2016.)

[26] <https://www.currentresults.com/Weather/Croatia/sunshine-annual-average.php>(6.9.2016.)

## SAŽETAK

Solarno navodnjavanje čini sustav povezanih cijevi pomoću kojih se navodnjava određeno područje, a crpka koja crpi vodu napaja se energijom koju proizvede fotonaponski modul. Glavne odlike solarnog navodnjavanja su jednostavnost sustava i ušteda vremena te ekološka prihvatljivost, a cijene izrade samog sustava relativno su prihvatljive. Rad opisuje osnovne principe rada sustava za navodnjavanje te nudi proračune zahtjeva za solarni sustav napajanja konkretnog voćnjaka.

Glavne dijelove sustava navodnjavanja čine spremnik s vodom, crpke te cijevi, ventili i prskalice, dok se osnovni principi rada sustava navodnjavanja odnose na tlak, protok i snagu. Sustav solarnog napajanja još uključuje i fotonaponske module, regulator napajanja, baterije i pretvarač struje.

Proračunato je da je na odabranom primjeru voćnjaka potrebno navodnjavati površinu od 2 200 m<sup>2</sup>. Za to je potrebno osigurati crpku snage 375 W koja će savladati tlak od 1,978 bara i osigurati dnevni protok vode od 0,6 l/s. Osim toga, proračunati su i troškovi solarnog navodnjavanja koji iznose oko dvadeset tisuća kuna. Navedeni izračuni pokazuju da solarni sustav navodnjavanja zadržava svoje glavne odlike i kada se žele zadovoljiti zahtjevi navodnjavanja u uvjetima lokalnog podneblja.

Ključne riječi: navodnjavanje, solarno napajanje, fotonaponski sustav, potopna crpka, proračuni.

## **ABSTRACT**

### **APPLICATION OF SOLAR POWER IN IRRIGATION SYSTEM**

Solar irrigation system consists of a number of connected pipes used for irrigation of a certain land area, and a water pump which is powered by solar energy produced in photovoltaic panels. The system is characterized by a relatively simple construction that allows us to save time and the environment for a reasonable cost. The paper describes basic principles of irrigation system and calculations necessary for application of solar-powered irrigation system in a particular orchard.

The main components of irrigation system include water tank and water pump, as well as pipes, valves and sprinklers, while the basic principles refer to pressure, flow and pump power. In case of solar-powered irrigation system there are also photovoltaic panels, voltage controller, battery and DC/AC inverter.

In the particular orchard, it has been calculated that it is required to irrigate the area of 2 200 square meters. For that purpose, a water pump with the power of 375 W needs to be used in order to overcome the pressure of 1,978 bars making sure that the necessary amount of water is delivered through pipes at the rate of 0,6l/s. In addition, the costs of putting up solar irrigation system have been calculated and they amount approximately to 20 000 kn. Those calculations confirm that the benefits of solar irrigation system are evident when conditions for irrigation in local areas are taken into account.

Keywords: irrigation, solar power, photovoltaic system, submersible water pump, calculations.

## **ŽIVOTOPIS**

Maja Varga rođena je 1994. godine u Osijeku u Hrvatskoj. 2009. godine završila je osnovnoškolsko obrazovanje u Osnovnoj školi Višnjevac u Višnjevcu. Nakon toga upisuje Drugu gimnaziju u Osijeku koju završava s odličnim uspjehom. Zbog interesa za tehničkim znanostima, 2013. godine upisuje Sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Odabire studijsku grupu elektrotehnika – smjer komunikacije i informatika.