

# SOLARNO NAVODNJAVANJE MALIH POLJOPRIVREDNIH DOBARA

## SOLAR IRRIGATION OF SMALL AGRICULTURAL FARMS

Z. Stojiljković<sup>1</sup> Ž. Ševaljević<sup>1</sup> Z. Nikolić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija*

<sup>2</sup> *Institut tehničkih nauka SANU, Knez Mihailova 35, 11000 Beograd, Srbija*

E-mail: sevaljevic@etf.bg.ac.rs

*U radu je opisan sistem za navodnjavanje poljoprivrednih dobara koji obezbeđuje tokom letnjih meseci do 12m<sup>3</sup> vode za zalivanje sa dubine od 30m. Navodnjavanje poljoprivrednih dobara je poznat problem u sušnim oblastima gde ne postoji priključak uređaja za navodnjavanje na elektrodistributivnu mrežu. Prikazani su rezultati merenja dobijene električne energije iz fotonaponskih ćelija tokom letnjih meseci 2012. godine kao osnov za dopunjavanje olovničkih akumulatorskih baterija. Prikazana je Q-H kriva potapajuće vibracione pumpe „Katex“, 220W korišćena za ispitivanja sistema koji obezbeđuju dnevnu količinu vode od 12m<sup>3</sup>. Na osnovu obavljenih ispitivanja, projektovan je i prikazan sistem solarnog navodnjavanja malih poljoprivrednih dobara sa osnovnim komponentama i nekim ekonomskim pokazateljima.*

**Ključne reči:** *solarno navodnjavanje; fotonaponske ćelije; insolacija u Beogradu; vibraciona potopiva pumpa*

*The solar irrigation system that provides agricultural farm during the summer months, up to 12m<sup>3</sup> irrigation water from a depth of 30m is presented in this paper. Irrigation is well known problem in the dry regions where there is no possibility connection of the irrigation equipment to the electric distribution network. The results of measurements the generated electric energy from photovoltaic cells during the summer 2012<sup>th</sup>, as a basis for recharging lead-acid batteries are shown in this paper. The Q-H curve of the vibration submersible pump „Katex“ 220W used for testing systems shows that it can provide daily irrigation water than 12m<sup>3</sup>. Based on the testing results, solar irrigation system for small agricultural farms was designed and presented with the basic components and some economic indicators.*

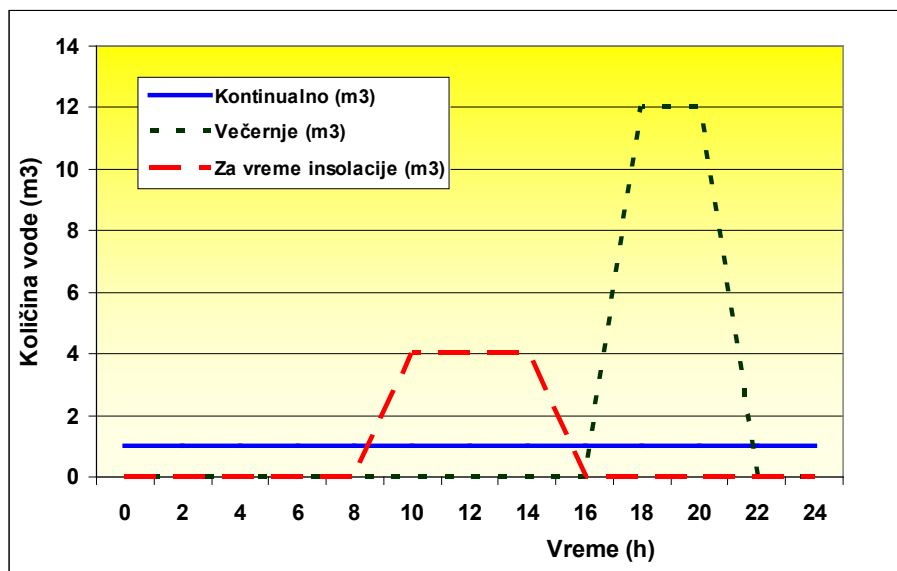
**Key words:** *solar irrigation; photovoltaic cells; insolation in Belgrade; vibration submersible pump*

### 1. UVOD

Solarno navodnjavanje koristi se za manje poljoprivredne farme tokom letnjih meseci na mestima gde ne postoji priključak na elektrodistributivnu mrežu. Problem navodnjavanja se poslednjih godina izuzetno aktuelizira jer su evidentne klimatske promene tako da leta postaju sve toplija i sa manje kišnih padavina. Solarno navodnjavanje uglavnom se koristi za navodnjavanje većih bašta i manjih poljoprivrednih farma imajući u vidu da izvor električne energije još uvek ima manju snagu za napajanje velikih farmi. U odnosu na navodnjavanje sa dizel agregatima ima prednost što je ekološki prihvatljiv i ne poseduje izduvne gasove kao ni sastojke sagorevanja pa se može primeniti i za navodnjavanje ekološki pripremane hrane. Problem je jako aktuelan u svetu, posebno u državama gde ima puno sunca a malo vode za navodnjavanje i dostupne elektrodistributivne mreže,

tako da se ispitivanja i testiranja već odavno vrše na takvim mestima, kao što je Alžir [1] na primer, gde su nekada i obavljena uspešna ispitivanja i testiranja ovog sistema.

U zavisnosti od potreba i mogućnosti za navodnjavanjem, najopštiji sistem solarnog navodnjavanja se sastoji od nekoliko komponenata: fotonaponskih panela, akumulatorskih baterija, razvodnog ormana sa kontrolno upravljačkim modulom, pumpe, rezervoara vode i cevi za zalivanje.



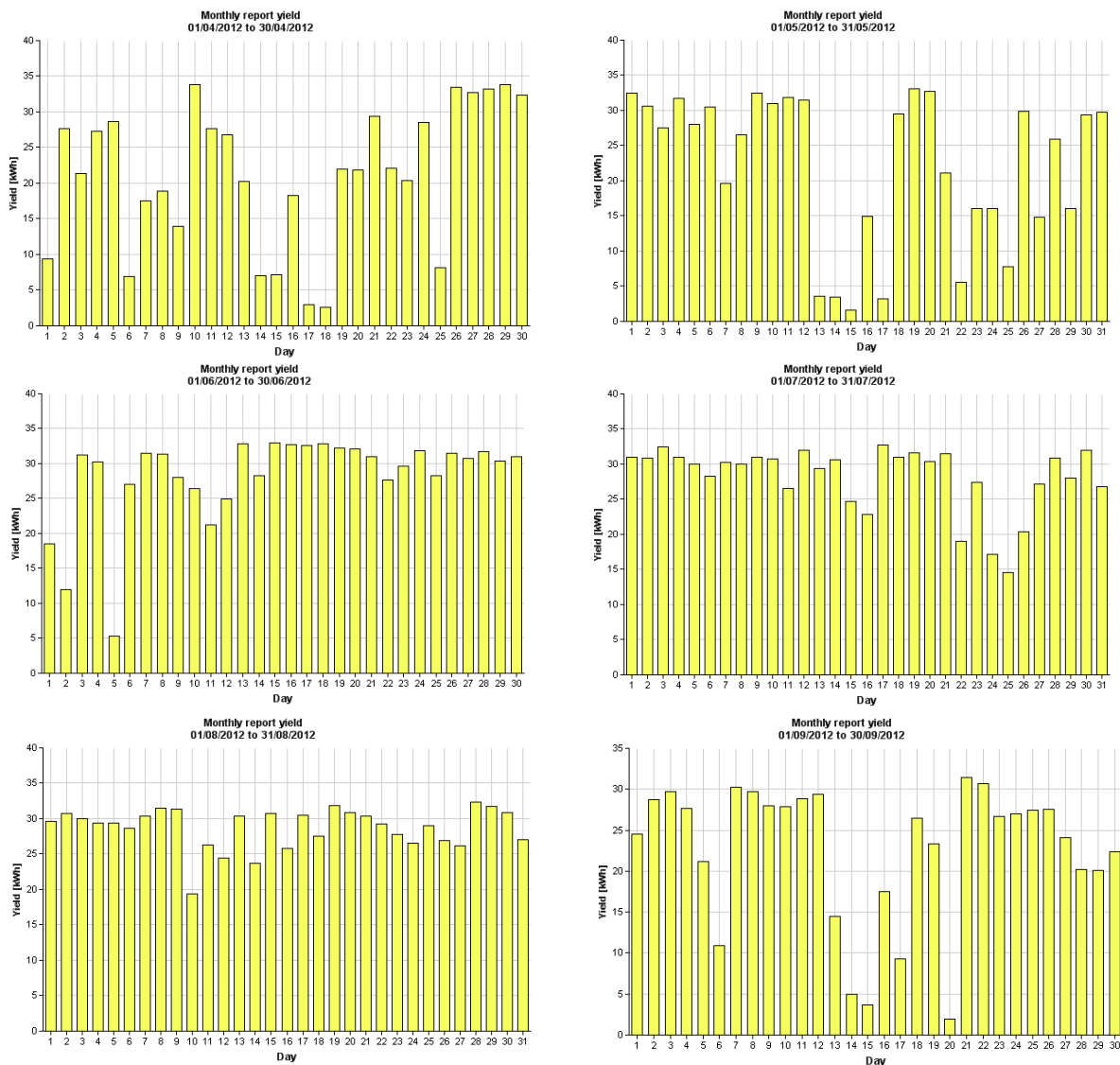
Slika 01. Potreba za zalivanjem na farmi

U funkciji potreba za zalivanjem može se ovaj sistem i dodatno uprostiti. Ako je moguće zalivanje tokom sunčanog dela dana, koristi se najjednostavniji sistem sa fotonaponskim panelima [2], razvodnim ormanom sa kontrolnoupravljačkim modulima, pumpom i cevima za zalivanje. U drugom i trećem slučaju potrebno je da sistem poseduje i akumulatorske baterije za skladištenje određene količine energije kao i rezervoar za skladištenje dnevne količine vode za zalivanje. Kontinualno zalivanje tokom 24h podrazumeva punjenje rezervoara tokom insolacije a pražnjenje tokom 24h. Večernje zalivanje, koje je uglavnom i najviše prisutno, podrazumeva punjenje rezervoara sa vodom tokom insolacije a zalivanje terena tokom večernjih sati bez prisustva sunca.

## 2. EFIKASNOST FOTONAPONSKE KONVERZIJE U BEOGRADU

U Beogradu se sistematski vrše merenja u dužem vremenskom periodu [3]. Fotonaponski paneli nominalne snage  $5,06 kW$  fiksno postavljeni pod uglom od  $35^{\circ}$  prema horizontali a orijentisane prema jugu tokom prolećnih i letnjih meseci imali su proizvodnju električne energije prikazane sa slici 2. Energija je merena na krajevima fotonaponskih panela tako da je potrebno imati u vidu određene gubitke od oko 14% u pretvaranju jednosmerne energije u naizmeničnu i njen prenos do elektrodistributivnog priključka.

Na osnovu izmerenih dnevnih vrednosti proizvodnje električne energije iz fotonaponskih panela, moguće je izračunati ukupnu mesečnu proizvodnje električne energije ( $kWh$ ), srednje dnevne proizvodnje solarne energije ( $kWh$ ) kao i prosečnu dnevnu efikasnost solarnih panela ( $h$ ) tokom prolećnih i letnjih meseci 2012. godine i rezultati su prikazani u tabeli 1. Interesantno je uočiti da je dobijena električna energija tokom kišnih dana jako mala, ali je potrebno imati u vidu i da je tada potreba za zalivanjem najmanja. Tokom dana sa najvećom insolacijom su i potrebe za zalivanjem najveće.



Slika 2. Trajanje mesečnih insolacija za mesece maj-oktobar 2012. godine [3]

Tabela 1. Neki specifični pokazatelji fotonaponskog napajanja snage  $5,06 \text{ kW}$  u Beogradu za mesece maj-oktobar 2012. godine. Uzeti su u obzir prosečni gubici od 14%

	Maj	Jun	Juli	Av gust	Septembar	Okto bar
Mesečna proizvodnja solarne energije ( $kWh$ )	689	852,5	872	891,5	670,5	501,2
Srednja dnevna proizvodnja solarne energije ( $kWh$ )	22,23	28,42	28,13	28,76	22,35	16,17
Prosečni dnevna efikasnost solarnih panela ( $h$ )	4,39	5,62	5,56	5,68	4,42	3,20

### 3. OLOVNE AKUMULATORske BATERIJE KAO REZERVOARI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Poznato je da je olovna akumulatorska baterija najstariji i najpoznatiji uređaj za skladištenje energije mada je značajan napredak u ovoj tehnologiji napravljen u poslednjih nekoliko godina. Olovne akumulatorske baterije se danas najčešće koriste u skladištenju energije uz fotonaponske panele. Olovne akumulatorske baterije ne treba prazniti više od 80% od nominalnog kapaciteta ili dubine pražnjenja. Prekoračenje pražnjenja od 80% nominalnog kapaciteta znatno skraćuje vek trajanja akumulatorske baterije.

Radni opseg baterije može se definisati u skladu sa jednačinom;

$$0,2 \cdot P_{b,n} \leq \Delta P_b \leq 1,0 \cdot P_b$$

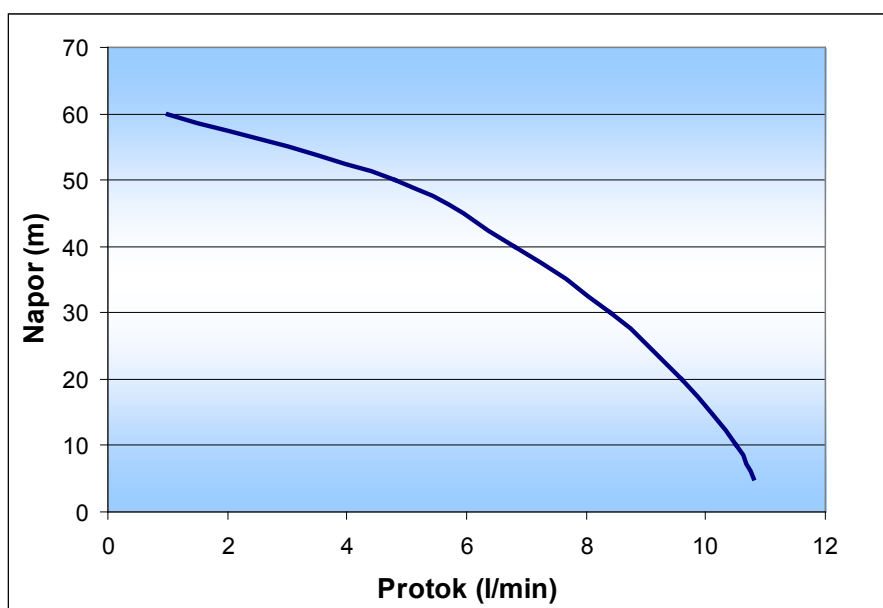
gde su  $P_{b,\min}$   $P_{b,\max}$  granice optimalnog opsega rada baterije  $\Delta P_b$ .

Baterija sistemi su tihi i ne zagađuju okolinu, pa se mogu postaviti u blizini potrošača. Olovne akumulatorske baterije imaju stepen efikasnosti oko 85% za petočasovni režim pražnjenja i punjenja.

Olovni gel akumulatorska baterija koristi pastu umesto elektrolit tako da se ne moraju postavljati u uspravnom položaju. Ove baterije nemaju elektrolit tako da se ne mogu u slučaju havarije izliti i ostvariti ekološke probleme. Obično imaju i nešto viši vek trajanja tako da su skuplji od akumulatorskih baterija sa kiselinom napravljenim za duboke cikluse pražnjenja. Olovne baterije su jeftine, lako dostupne, i mogu se reciklirati koristeći razrađen sistem za reciklažu koji već postoji.

### 4. POTAPAJUĆE PUMPE ZA NAVODNJAVANJE

Na osnovu fabričkih podataka kao i na osnovu provera izvršenih u Beogradu, moguće je definisati Q-H krive investiciono prihvatljivih i rasprostranjenih potapajućih vibracionih pumpi. Na slici 3 prikazana je Q-H kriva potapajuće vibracione pumpe "Katex" snage 220 W.



Slika 3. Q-H kriva potapajuće vibracione pumpe "Katex", 220 W

Napajana preko invertora trajne snage 1000VA (privremene 1300VA), potapajuća vibraciona pumpa "Katex" nominalne snage 220W, može sa dubine od 30m da izbacuje 8,3l/min ili oko 500l/h. Radeći neprekidno 24h, ova pumpa je u stanju da napuni rezervoar veličine 12m<sup>3</sup> ili da obezbedi ovu dnevnu količinu vode za navodnjavanje. Pri drugim uslovima eksploatacije, ova pumpa može da obezbedi više vode ukoliko je manja usisna visina.

## 5. PRIMER SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE

Pretpostavićemo da je za navodnjavanje malih poljoprivrednih farmi potrebno predvideti dnevnu količinu vode za navodnjavanje od 12 m<sup>3</sup> koja treba da se eksploatiše sa dubine od 30m.

Da bi na maksimalnu visinu od novoa vode do rezervoara od 30m, izbacila dnevno 12m<sup>3</sup>, pumpi je potrebno da radi 24h I za to vreme će potrošiti električnu energiju

$$E_k = P_{em} \cdot T = 220 \cdot 24 = 5.280Wh$$

Ako se pretpostavi da inverter ima stepen iskorišćenja 94% a da je stepen iskorišćenja akumulatorske baterije 85% za iznos tih gubitaka mora se povećati potrebna energija tako da se može dobiti ukupna potrebna energija

$$E_t = \frac{E_k}{\eta_i \cdot \eta_b} = \frac{5.280}{0,94 \cdot 0,85} = 6.608Wh$$

Potrebno je imati u vidu da se akumulatorska baterija ne treba da praznimo više od 80% nazivnog ili nominalnog kapaciteta.

**Fotonaponski paneli:** Ako se usvoji prosečna dnevna efikasnost solarnih panela 5,6 (h), da bi se dobila dnevna energija 5.280Wh potrebna je nominalna snaga fotonaponskih panela

$$P_{PV} = \frac{E_t}{T_{av}} = \frac{5.280}{5,6} = 942,8W$$

Potrebno je postaviti 6 komada fotonaponskih panela snage 160 W svaki, tako da se naprave tri paralelne grane sa po dva fotonaponska panela u svakoj. Na ovaj način se dobija nominalni napon sistema 24V a nominalna struja punjenja akumulatorskih baterija 40A.

Svaka grana sa fotonaponskim panelima ima regulator punjenja 24V, 20A.

**Akumulatorska baterija** treba da ima nominalni ili (5h) kapacitet

$$Q_B = \frac{E_t}{U_n \cdot \eta_{ab}} = \frac{5.280}{24 \cdot 0,80} = 275Ah$$

Potrebno je nabaviti dve baterije 12 V, 280 Ah(5h) vezati ih redno i dobiti 24V, 280 Ah(5h). Struja punjenja akumulatorskih baterija od 40 A je manja od petočasovne struje punjenja 56A što je u optimalnom opsegu punjenja.

**Inverter** se bira prema snazi pumpe i posebno mogućnosti davanja startne ili polazne struje, ali su praktična ispitivanja pokazala da je za ovaj slučaj dovoljan inverter nominalne trajne snage 1.000 VA, 24V DC/220V, 50Hz.

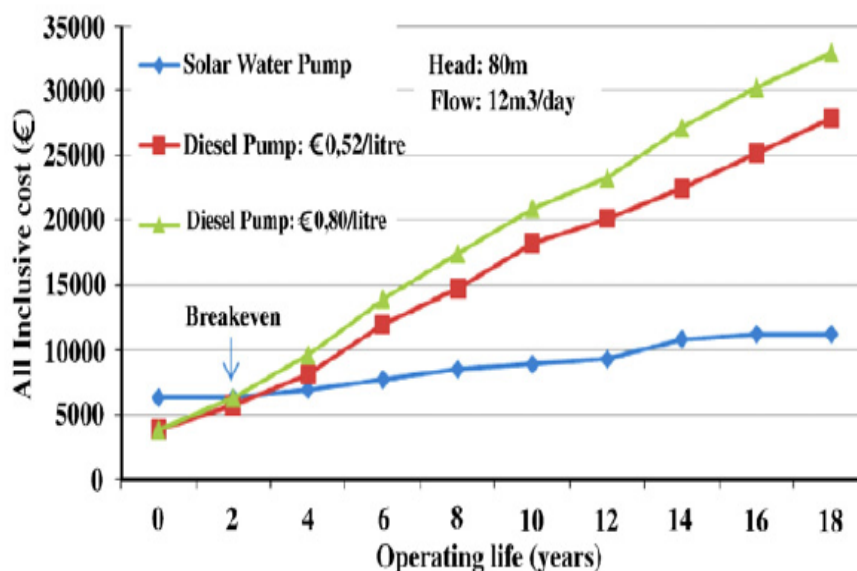
**Rezervoar za vodu** treba da ima kapacitet 12 m<sup>3</sup>

Ukoliko je moguće vršiti zalivanje tokom dnevne insolacije, moguće je eliminisati akumulatorsku bateriju i rezervoar za vodu.

## 6. EKONOMSKI POKAZATELJI SISTEMA ZA SNABDEVANJE VODOM

Smatra se da je pumpanje vode je jedan od najviše ekonomski održive primene fotonaponskih panela u udaljenim područjima, posebno u zemljama u razvoju i na mestima gde ne postoji priključak na elektrodistributivnu mrežu. Ispitivanja pumpanja vode sa fotonaponskim panelima snage 2,1 i 2,8kW sprovedena u Tunisu [4] (3000 časova sunčevog zračenja godišnje) i prosečnom dnevnom intenziteta sunčevog zračenja preko 6 kWh/m<sup>2</sup>/dan, pokazali su da fotonaponski sistemi pumpanje vode za upotrebu u domaćinstvu, za navodnjavanje i zalivanje kao i za napajanje domaćih životinja mogu biti od izuzetnog značaja a cena sistema za pumpanje vode može daleko da prevazilazi njegove troškove.

Većina afričkih zemalja, u Aziji i u Latinskoj Americi imaju dobru insolaciju tokom čitave godine i u mnogim selima još uvek postoji nedostatak vode. Razmatran je slučaj malog sela sastavljenom od 10 porodica sa dnevnom potrošnjom od 100 litara, a koja se pumpa sa dubine od 100 m, rezervoar se nalazi 10 m iznad nivoa zemlje, autonomijom od 6 dana i dozvoljenog gubitka vode 2%. Za navedene uslove, dobijena je cena vode od 1.07 € / m<sup>3</sup> a investicioni troškovi iznose 3019 €.



Slika 4. Poređenje cena svih troškova za pumpanje vode u iznosu od 12m<sup>3</sup>/danu sa dubine 80m za slučaj pumpe sa fotonaponskim napajanjem, i sa dizel agregatom koji troši gorivo po ceni 0,52€ /litri i 0,80€/litri [5]

Između 1994. i 2000. godine, 206 fotonaponskih sistema sa pumpama za vodu su instalirani u u severnom Meksiku, u ruralnim područjima gde postoji nestašica vode. Sistemi su posedovali fotonaponske panele snage 500Wh (u proseku), kontroler, prekostrujnu zaštitu i inverter da bi se koristio naizmeničan motor za napajanje. Nakon 10 godina primene ovog sistema, sprovedeno je istraživanje da bi se utvrditio tehnički status, pouzdanost i prihvatanje od strane korisnika. U tom istraživanju, 55% korisnika smatralo je da su ovi sistemi veoma ekonomični, 39% da su ekonomični a 6% smatra da ovi sistemi nisu ekonomski isplativi. Ako se razmatra pouzdanost, 49% smatra da je su veoma pouzdani, 37% klasifikuje sisteme kao pouzdane a 2% smatra da nisu pouzdani. I na generalno pitanje o kvalitetu navodnjavanja, 48% korisnika smatralo je da je navodnjavanje izvrsno, 46% da je navodnjavanje dobro, 4% je smatralo da je odgovarajuće, dok 2% nije bilo zadovoljno navodnjavanjem. Zbog toga, se smatra da je većina korisnika zadovoljna ovim sistemima za navodnjavanje.

Na slici 4. su prikazani svi troškovi eksploatacije sistema pokretanim pomoću fotonaponskih panela i pomoću pumpe sa pripadnim dizel motorom za slučaj dobijanja vode sa dubine od 80m i sa izdašnošću od 12m<sup>3</sup>/danu. Napravljene su varijante za slučaj cene dizel goriva od 0,52€/litri i 0,80€/l. Potrebno je imati u vidu da je u međuvremenu cena fotonaponskih panela znatno pala i iznosi oko 0,8\$/W u US, a da je cene nafte skoro udvostručena u našoj zemlji. Rezultati su u našoj zemlji danas znatno povoljniji za slučaj fotonaponskog napajanja sistema za navodnjavanje.

## **7. ZAKLJUČAK**

Na osnovu prethodno razmotrenih komponenata solarno navodnjavanje malih poljoprivrednih farma napravljeno je rešenje sa malim brojem efikasnih komponenata sa 12m<sup>3</sup> sa 30m dubine, koje može preko leta da napaja poljoprivredne farme snagom potapajuće pumpe za navodnjavanje od 220W nominalno. Sistem se može multiplikovati ili umanjiti radi konkretnih primena. Ne zahteva priključak na elektrodistributivnu mrežu i ekološki je potpuno prihvatljiv. Može se programirati tako da radi potpuno autonomno.

Sistem je koristan za aplikacije kao što su navodnjavanje, napajanje stoke i održavanje tehničke zalihe vode po ruralnim domaćinstvima naročito u udaljenim oblastima gde je pristup vodi otežan bez električne energije. Efikasnost sistema može da se poveća pažljivim odabirom veličinom fotonaponskih panela, orijentacijom i postavljanjem više pumpi.

## **ZAHVALNOST**

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, kroz projekat TR 36 035.

## **LITERATURA**

- [1] Hadj Arab A., Chenlo F., Mukadam K., Balenzategui J. L., Performance of PV water pumping systems, *Renewable Energy* 18 (1999) pp. 191-204.
- [2] Mokeddem A., Midoun A., Kadri D., Hiadsi S., Raja I. A., Performance of a directly-coupled PV water pumping system, *Energy Conversion and Management* 52 (2011) pp. 3089–3095.
- [3] SE „Rade Končar“ – [www.netinvest.rs](http://www.netinvest.rs).
- [4] Belgacem B. G., Performance of submersible PV water pumping systems in Tunisia, *Energy for Sustainable Development* 16 (2012) pp. 415–420.
- [5] Ramos S., Ramos H. M., Solar powered pumps to supply water for rural or isolated zones: A case study, *Energy for Sustainable Development* 13 (2009) pp. 151–158.