

# **ANALIZA MALIH SOLARNIH ELEKTRANA SA POSEBNIM OSVRTOM NA NJIHOVU PRIMENU U DOMAĆINSTVIMA**

*Dragan Brajović<sup>1</sup>, Milan Sindelić<sup>1</sup>*

## **REZIME**

U ovom radu je predstavljena analiza mini solarne elektrane sa primenom u domaćinstvu na primeru krovno integrisanog sistema. Kroz rad je prvo obrađena teoretska strana sistema sa aspekta funkcionisanja sistema, konverzije Sunčeve energije u električnu, više načina povezivanja sistema, od samostalnih, preko hibridnih pa do sistema povezanih na mrežu i na kraju analiza sistema povezanog na distributivnu mrežu. Pored primera rešenja jednog takvog sistema, izbora opreme, dispozicije iste, predstavljena je ekonomska analiza kao i potrebne zakonske regulative koje su potrebne da se prođu kako bi tako integrisan sistem ispunio sve potrebne uslove i dobio dozvolu za rad.

**Ključne reči:** obnovljivi izvori energije, solarna energija, fotonaponski sistem, mini solarna elektrana

## **ANALYSIS OF SMALL SOLAR POWER PLANTS WITH SPECIAL REFERENCE TO THEIR APPLICATION IN HOUSEHOLDS**

### **ABSTRACT**

This paper presents the analysis of a mini solar power plant with household application on the example of a roof-integrated system. The work first deals with the theoretical side of the system from the aspect of system functioning, conversion of solar energy into electricity, several ways of connecting the system, from independent to hybrid to systems connected to the network and finally the analysis of the system connected to the distribution network. In addition to an example of the solution of such a system, the choice of equipment, its disposition, an economic analysis is presented, as well as the necessary legal regulations that need to be passed in order for such an integrated system to meet all the necessary conditions and obtain a work permit.

**Keywords:** renewable energy sources, solar energy, photovoltaic system, mini solar power plant

### **1. UVOD**

Obnovljivi izvori energije predstavljaju neiscrpan izvor energije, a glavni predstavnik takvih izvora energije je solarna energija koja još utiče direktno i indirektno i na ostale obnovljive izvore energije. Korišćenjem Sunčeve energije

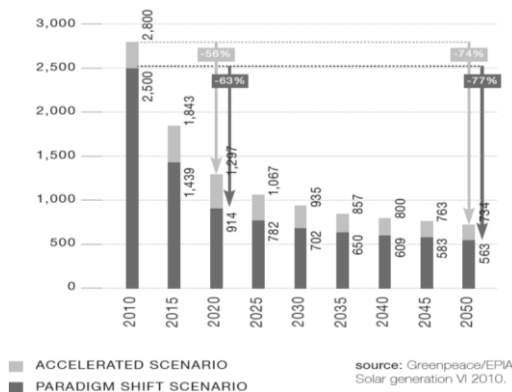
---

<sup>1</sup>Fakultet tehničkih nauka, Svetog Save 65, Čačak

značajno se može smanjiti upotreba fosilnih goriva i značajno se može doprineti borbi za zdraviju sredinu i čistiji vazduh što postaje jedan od sve većih problema kako u Srbiji, tako i na internacionalnom nivou. Kao i sve, tako i solarna energija ima svoje prednosti i mane. Neke od prednosti ovog sistema za konverziju energije su: direktna konverzija sunčevog zračenja u električnu energiju preko fotonaponskih modula, sistem nema pokretne delove (fiksna krovna konstrukcija), dug životni vek komponenti (više od 20 godina), jednostavan transport i montažu, krovni integrisani sistem ne zauzima prostor, ima lep izgled, bez štete po životnu sredinu, lako održavanje, radi bez buke i tako dalje. Pored ovih prednosti, ovaj sistem, kao i svaki drugi sistem, ima i neke nedostatke. Jedan od nedostataka je direktna zavisnost od sunca, pa samim tim ima direktan uticaj na proizvodnju električne energije tokom zime, noću i lošeg vremena (oblačno i kišovito vreme). Još jedan nedostatak su visoki početni troškovi ulaganja i niska stopa konverzije solarne energije. Takođe treba napomenuti da kombinacija oscilacije sunčevog zračenja i niske iskorišćenosti panela daje mali deo pretvorene električne energije, što se može videti kao još jedan nedostatak ovog sistema.

Globalna pitanja životne sredine i nestašice energije se u današnjem svetu vide kao jedinstvena pitanja pristupa čistoj energiji. Izgradnja objekata za proizvodnju "zelene" energije postaje sve interesantnija, kako na nivou velikih energetske instalacija, tako i na nivou industrijskih i stambenih instalacija.

Poslednjih decenija solarna energija i fotonaponski sistemi su dostigli jedan zavidan nivo primene sa konstantnom tendencijom daljeg rasta kroz naredne godine i decenije upravo srazmerno povećanjem potrošnje električne energije na svetskom nivou. Trenutna energetska zavisnost od fosilnih goriva zahteva značajne ekonomske izdatke što, uprkos visokoj ceni početne investicije solarnog sistema, daje prostor za dalji implementaciju solarnih elektrana na svetskom tržištu. Sa sledeće slike možemo videti trend pada cena u prethodnih 10 godina i prognozu daljeg pada kroz naredne decenije.



Slika 1: Trend cena fotonaponskih sistema

## 2. TEHNOLOGIJA IZRADE FOTONAPONSKOG PANELA

Sunčevo zračenje je glavni, ali ne i jedini faktor za dobijanje električne energije već se mora obratiti pažnja i na sam fotonaponski panel jer od njega zavisi

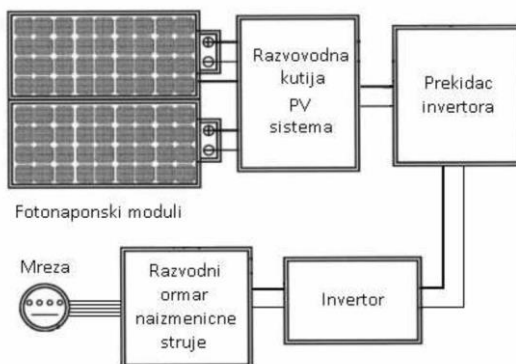
kolika će količina sunčevog zračenja biti konvertovana u električnu. Fotonaponske ćelije mogu biti napravljene od različitih vrsta poluprovodničkih materijala koji se mogu sastaviti u različite strukture za optimalnu efikasnost konverzije energije. Sledeći poluprovodnički materijali i tehnologije se koriste za proizvodnju fotonaponskih ćelija kao što je silicijum – uključujući monokristalni silicijum (c-Si), polikristalni silicijum (p-Si) i amorfni silicijum (a-Si). Svaki od ovih materijala imaju svoje prednosti i mane, i ovakvi materijali imaju ćelijsku efikasnost pri konverziji zračenja približno od 12-20%. Na našem tržištu najbolji paneli za ugradnju su paneli od polikristalnog silicijuma koji imaju nešto veću cenu, ali je stepen iskorišćenja Sunčevog zračenja 19%. Takav fotonaponski panel je odabran u radu.

### **3. FOTONAPONSKI SISTEMI**

Fotonaponski sistem je integrisani skup fotonaponskih modula i drugih komponenti (invertori, baterije, kontroleri, itd.) dizajniranih da pretvaraju primarnu sunčevu energiju direktno u električnu energiju, čime se obezbeđuje rad određenog broja DC i/ili AC potrošača. U zavisnosti od režima rada, fotonaponski sistem može da radi kao samostalan sistem koji ne zahteva mrežu, ili kao umreženi sistem.

Samostalni, hibridni i sistemi koji su priključeni samo na distributivnu mrežu rade na istom principu pretvaranja solarne energije u električnu, ali se razlikuju po konstrukciji unutar objekta i prenosu električne energije. Samostalni („Off-Grid“) su sistemi koji služe samo za napajanje objekta na kom se nalaze i ne zahtevaju da budu povezani na električnu mrežu. Kod ovakvih sistema jako je važno da poseduju akumulatore/baterije koje će preko dana višak proizvedene energije skladištiti i koristiti kada padne mrak ili kada vremenski uslovi preko dana ne dozvoljavaju panelima da proizvedu dovoljnu količinu električne energije usled oblačnog vremena ili atmosferskih padavina. Sa druge strane sličan princip rada imaju hibridni fotonaponski sistemi. Kod ovih sistema glavna razlika je u tome što pored solarnog fotonaponskog sistema koriste i druge izvore energije. Uglavnom najčešća kombinacija je fotonaponskog sistema sa vetrogeneratorom gde oba sistema istovremeno napajaju ceo objekat, koje se vrši putem invertora kao i kod samostalnih sistema, a sa viškom električne energije se pune akumulatori. Samostalni i hibridni sistemi su pogodni za udaljene predele gde je snabdevanje električnom energijom otežano i gde ovakvi sistemi obezbeđuju pouzdano snabdevanje električnom energijom. Treća varijacija, koja će biti obrađena u radu, predstavlja fotonaponski sistem povezan na mrežu („On-Grid“ sistem). Ovakvi fotonaponski sistemi rade paralelno sa elektrodistributivnom mrežom. Sistemi koriste distributivnu mrežu kao rezervni izvor energije koju generišu fotonaponski moduli. Tokom sunčanog dana ovaj sistem, kao i prethodna dva, napajaju direktno uređaje preko invertora, dok višak energije šalje direktno u mrežu. Kao i prethodna dva sistema, i „On-Grid“ sistem povlači energiju iz mreže prilikom dana bez sunca i tako obezbeđuje normalan rad uređaja. Neke od prednosti ovakvog sistema su: jednostavnost i niža cena sistema; nema lokalnog skladištenja energije zato što se energija direktno povlači iz mreže kada nema Sunčeve svetlosti, samim tim nema potrebe za kupovinom trenutno skupih baterija; tokom letnjih perioda u zgradama sa

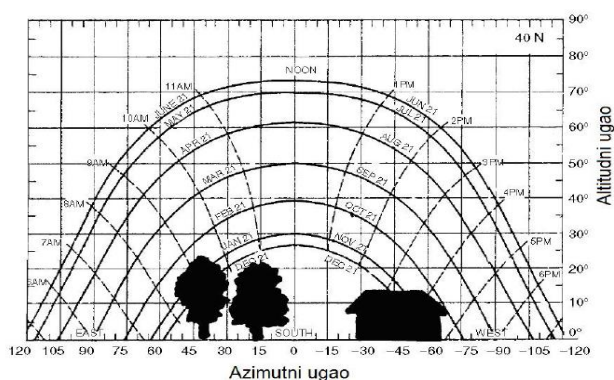
mnogo klima uređaja, dnevni maksimum potrošnje se poklapa sa maksimalnom snagom Sunčevog zračenja, tako da sistem generiše maksimalnu snagu kada je to najpotrebnije i samim tim obara vrh potrošnje u distributivnoj mreži. Što čini ovakav sistem najboljim izborom za maksimalnu uštedu tokom letnjih meseci.



Slika 2: Fotonaponski „On-Grid“ sistem povezni na mrežu

#### 4. ZNAČAJ NAGIBNIH UGLOVI I PROBLEM SENKE FOTONAPONSKOG PANELA

Da bi Sunčevo zračenje bilo što više iskorišćeno pored faktora iskorišćenja fotonaponskog panela mora se obratiti pažnja na još dva detalja, a to je ugao postavljanja solarnog panela i faktor uticaja okolne sredine na panel, tačnije zaklonjenost ili faktor senke. Što se tiče faktora senki ili zaklonjenosti panela od strane drugih objekata, drugih zgrada ili drveća, jako bitan jer može mnogo uticati na proizvodnju električne energije što se na primeru sledeće slike može i videti.



Slika 3: Dijagram putanje sunca sa objektima koji prave senku

Sa dijagrama se može videti da će drvo ili neki objekat koji je viši od visine krova na kom je integrisan sistem, praviti senku u novembru decembru i januaru u periodu od 8.30č. do 9.30č., a da će kuća praviti senku istim mesecima u periodu od 15.30č. pa do zalaska sunca, što jasno daje do znanja da će u zimskim mesecima,

kada ima manje Sunčevog zračenja nego tokom letnjeg perioda, drvo, okoloni objekti i loš ugao orijentisanosti solarnog panela stvarati dodatni problem u proizvodnji električne. Radi što bolje analize i procene ukupne električne energije namerno je uzet objekat lošije orijentacije, ali bez uticaja senke da bi se videlo realnije stanje stvari i oscilacija u poređenju sa idealnim uslovima.

U što boljim uslovima, treba uzeti optimalan ugao pri postavljanju fotonaponskog panela koji iznosi  $33^\circ$ , pored toga mora se obratiti pažnja da se paneli postave u što optimalniji položaj, ka jugu, da bi se uticaj azimutnog ugla što više smanjio kao i pomenuti faktor zaklonjenosti solarnih panela i da bi se Sunčevo zračenje što više iskoristilo i time dobilo što više električne energije. Svaka oscilacija od idealnijih uslova će uticati smanjenim procentom proizvodnje električne energije, što se iz rada može i zaključiti.

## 5. FOTONAPONSKI SISTEM NA ODABRANOM OBJEKTU

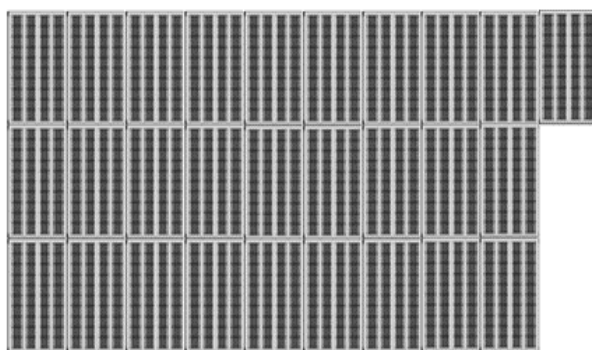
Za odabrani objekat u radu koji se nalazi u selu Vreoci, opština Lazarevac, dat je primer rešenja fotoaponskog sistema sa priključkom na distributivnu mrežu, u koji spada izbor opreme, analiza Sunčevog zračenja na lokaciji objekta, količina proizvedene električne energije sistema pri realnim uslovima, kao i ekonomska analiza i zakonska regulativa prilikom izgradnje jednog takvog objekta. Na sledećoj slici prikazan je satelitski snimak krova odabranog objekta koji se nalazi na geodetskim koordinatama  $44^\circ 26' 40''\text{N}$  i  $20^\circ 16' 40''\text{E}$ . Planirano je postavljanje solarnih panela na desnu polovinu krova, koja je okrenuta prema istoku.



*Slika 4: Satelitski snimak krova odabranog objekta*

Odabrani objekat sa slike iznad koji će biti obrađen u radu nema baš idealne uslove jer je krov objekta okrenut ka istoku i ima visoku vrednost azimutnog ugla od oko  $85^\circ$ . Nagibni ugao krova je oko  $34^\circ$  što olakšava montažu jer ne zahteva ugradnju dodatnih kovnih nosača da bi se ugao panela približio što više idealnom

uglu. Na slici 5. prikazan je prostorni raspored fotonaponskih panela na krovu odabranog objekta.



*Slika 5: Prostorni raspored fotonaponskih modula na krovu objekta*

Od potrebne odabrane opreme za izgradnju fotonaponskog sistema sam odabrao najskuplje komponente koje se trenutno nalaze na tržištu da bi se jasno video povratak celokupne investicije i koliko je vremena potrebno za tako nešto. Odabrani panel i njegova veličina diktiraju instalisanu snagu objekta te je za ovakvu konstrukciju krova potrebno instalirati 28 panela u 3 reda da bi se iskorišćenost krova bila maksimalna. Dimenzija krova diktira ukupnu instalisanu snagu sistema koja je prvobitno trebala da bude 8000 W, da bi se na kraju dobio sistem od 7840 W zbog konstrukcije samog krova. Iz rada se vidi da je krov iskorišćen maksimalno, i da je faktor iskorišćenja visok i iznosi 89.75%.

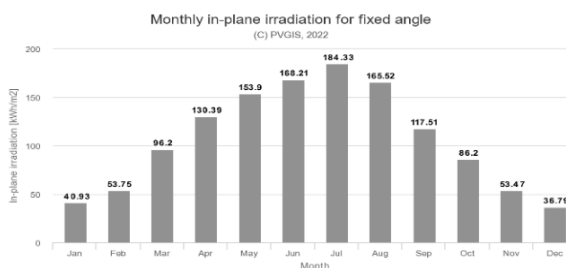
Za realizaciju projekta na odabranoj lokaciji odabran je fotonaponski panel ECO LINE M 60/ 275-295 W Nemačkog proizvođača LUXOR Solar GmbH. Odabrani fotonaponski modul je snage 280W, ćelije su monokristalnog tipa, a jedan panel je težak 18,5 kg, što će konstrukciju kuće opteretiti sa još 518 kg ravnomerno raspoređenih po krovu što neće predstaviti nikakv problem. Svaki proizvođač solarnih panela obezbeđuje osnovne karakteristike koje se odnose na standardne uslove ispitivanja – STC, Standard Test Conditions – koje obavezno stoje na deklaraciji svakog panela. Ovi uslovi testiranja govore da je modul čist, da temperatura modula iznosi 25°C, da je solarno zračenje na površini panela 1000W/m<sup>2</sup>. Od svih pomenutih standarda testiranja možemo reći da je najbitnija temperatura modula, jer svako podizanje temperature dovodi do pada efikasnosti modula jer napon kola opada i struja kratkog spoja brzo raste. Takođe da bi sistem mogao da radi potrebno je obezbediti i trofazni inverter kojim bi se konvertovala jednosmerna struja na izlazu panela u naizmjeničnu da bi objekat imao neometano snabdevanje. Za potrebe ovog projekta odabran je trofazni inverter Fronius Symo 8.2-3-M austrijskog proizvođača Fronius International GmbH. Pored pomenute opreme, potrebno je obezbediti i dvosmerno brojilo da bi se višak proizvedene energije slao direktno u mrežu. Brojilo se montira na samom kraju nakon provere kompletne instalacija i podnošenja pismenog uverenja distribuciji o ispravnosti objekta, a brojilo obezbeđuje ga elektrodistribucija uz novčanu nadoknadu. Ovakvo brojilo je neophodno sistemu iz razloga očitavanja prouzvedene struje koja je poslata

u mrežu, kao i za naplatu električne energije koja će biti povučena od strane mreže usled loših vremenskih uslova i nedostatka sunčevog zračenja. Prednost ovakvog sistema je ta da se može montirati i na već postojeću instalaciju uz implementiranje pomenutih uređaja koju su neophodni za neometan rad sistema.

Ceo projekat procene Sunčevog zračenja i proizvodnje električne energije biće vođen kroz internet bazu podataka i program „PVGIS“ i „Global Solar Atlas“. Pomoću programa zaključujemo da Srbija ima solidan solarni potencijal i da izgradnja ovakvih sistema na teritoriji naše zemlje nije uzaludan projekat.

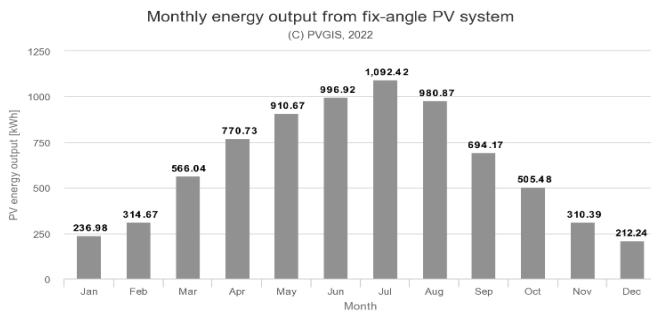
## 6. ANALIZA DIJAGRAMA PROIZVODNJE SISTEMA

Kao što je napomenuto kompletna proizvodnje električne energije se odrađuje pomoću online baze podataka programa PVGIS, dok podaci o intenzitetu sunčevog zračenja porebnog za izračunavanje izlazne snage fotonaponskog panela možemo naći u online bazi podataka CLIMATE PVGIS. Da bi se dobila ukupna procenjena količina električne energije potrebno je da se u bazu podataka unesu određeni parametri. Pošto podatke o Sunčevom zračenju program sam povlači iz svoje baze podatka CLIMATE PVGIS potrebno je samo odrediti lokaciju na kojoj se fotonaponski sistem postavlja i da se unesu parametri poput azimutnog ugla, stepena nagiba solarnog panela i vrste izrade solarnog panela. Za konkretan slučaj, unosimo da je azimutni ugao oko  $85^{\circ}$ , što je daleko od idealnog ugla, ali i svrha ovog rada je da pokaže kako se sistem ponaša usled loših uslova i najviše cene ugrađene opreme. Još jedan važan podatak je stepen nagiba solarnog panela na odabranom objektu, što u idealnim uslovima treba da iznosi  $33^{\circ}$ , dok u konkretnom slučaju iznosi  $34^{\circ}$ , što sa aspekta montaže ne iziskuje dodatne krovne nosače što olakšava montažu sistema. Razlika u uglu je mala tako da to neće praviti značajne gubitke sistema. Isto tako što se tiče gubitaka sistema, usvajamo predložen postotak gubitaka sistema od 14% u šta spadaju gubici u kablovima, pretvaračima, kontamiacija modula itd.



Slika 6: Količina sunčevog zračenja za navedenu lokaciju prema programu PVGIS

Sa prethodnog grafikona, slika 6, možemo videti srednju količinu Sunčevog zračenja na odabranoj lokaciji i jasno se vidi da proizvodnja varira shodno godišnjem dobu i količini sunčevog zračenja, te da će najviše Sunčevih zraka generisati tokom leta, a da će sistem najslabije raditi u zimskom periodu.



*Slika 7 : Vrednost mesečne proizvodnja električne energije prema podacima iz programa PVGIS*

Kao i sa slike 6, tako i sa slike 7, možemo videti prosečnu količinu proizvedene električne energije. Sa grafikona vidimo da će proizvodnja električne energije biti upravo srazmerna sunčevom zračenju i da će proizvodnja fotonaponskog sistema biti veća u letnjem periodu, a manja zimi. Na osnovu ovih proračuna zaključujemo da godišnja proizvodnja fotonaponskog sistema iznosi 7591.59 kWh, dok Sunčevo zračenje koje obasjava solarni panel na godišnjem nivou iznosi 1287.21 kWh/m<sup>2</sup>. Takođe moramo uzeti u obzir da godišnja proizvodnja ovakvog sistema može oscilirati od oko 300 kWh u zavisnosti od spoljašnjeg uticaja i vremena koje se ne može predvideti unapred.

Nakon ovih analiza možemo zaključiti da je sistem u stanju da obezbedi dovoljno električne energije za snabdevanje domaćinstva uprkos brojnim negativnim faktorima koji utiču na proizvodnju električne energije od kojih su najznačajniji loš azimutni ugao i dani sa nedostatkom Sunčeve svetlosti.

## **7. ZAKONSKE REGULATIVE I EKONOMSKA ANALIZA**

Da bi se jedan ovakav sistem priključio na distributivnu mrežu potrebno je ispuniti neke zakonske regulative. Te regulative su znatno promenjene u odnosu na prethodne godine i postupak dobijanja potrebnih dozvola je sveden na minimum, tačnije sa perioda od nekoliko meseci do godinu dana, na period od samo par dana nakon instaliranja sistema i kompletne provere. Izmenama iz 2021. godine zaobilazi se kompletna državna administracija i sve ugovore vlasnik solarne elektrane nakon svih provera sklapa sa Elektrodistribucijom Srbije nakon čega se kreće u proces realizacije papirologije i gde se vlasik sistema nakon par dana upisuje u Registar kupaca-proizvođača i samim tim se stiče status kupca-potrošača.

Što se tiče ekonomske analize i proračuna isplativosti ovakvog sistema važno je napomenuti da je jako bitno da se podstakne pojedinac da proizvodi električnu energiju i da će se električna energija proizvedena na ovaj način prodavati po povlašćenim cenama na garantovani period koji je u Srbiji iznosi 12 godina. U okviru ove analize treba prikazati stvarnu ekonomsku investiciju u projekat, kao i vreme povratka investicije ukoliko se proizvedena električna energija proda po povoljnoj ceni. Trenutna cena ovakvog projekta ide i do 10000 evra, kada tu cenu



uporedimo sa periodom od pre 10 godina, shvatamo da je cena na tržištu pala u proseku za oko 50% uprkos svim poskupljenjima i očekuje se dalji pad cene kroz naredni period kako se tržište bude širilo, a proizvodnja samim tim postane masovnija. Uprkos svemu tome, trenutni trošak oko investicije će se vratiti kroz period od oko 7 godina, sa godišnjom zaradom sistema od oko 1500 evra. Što znači da pored relativno kratkog vremenskog roka otplate i činjenicom da je garantni rok fotonaponskog sistema u proseku 25 godina, sistem nakon 7 godina donositi čistu zaradu u naredne dve decenije. Nakon svega pomenutog i svih prednosti ovakvog sistema ipak je glavni problem, za prosečnog stanovnika Republike Srbije visoka cena početne investicije, ali svakako rok isplate je nešto što se ozbiljno mora uzeti u obzir.

## **8. ZAKLJUČAK**

Iz svega navedenog shvatamo da ovakav solarni sistem integrisan u krov jednog prosečnog domaćinstva ostvaruje izuzetno dobre rezultate. Iz ovog rada možemo zaključiti, uzimajući u obzir sve pokazatelje, da ovakav fotonaponski sistem pored par mana ima i dovoljan broj prednosti kako za životnu sredinu tako i za stabilniju proizvodnju električne energije. Zaključujemo da i pored svih mana, lošeg azimutnog ugla i vremenskih uslova koji osciluju tokom godine da je sistem u stanju da proizvede dovoljnu količinu električne energije da bi se pokrila godišnju potreba domaćinstva čak i više od toga, te da će se usled svih ovih mana sistem izgubiti nekih 18% električne energije. Treba uzeti u obzir da azimutni ugao ima dobru ulogu u celokupnoj proizvodnji te da će se njegovim smanjenjem dobiti još bolji rezultati proizvodnje. Još jedna mana ovakvih sistema je loša iskorišćenost Sunčevog zračenja, tačnije nizak stepen pretvaranja solarne energije u električnu, koji će se unapređivati iz godine u godinu razvojem novih tehnologija. Pored tih činjenica moramo uzeti u obzir i pozitivne strane sistema. Ovakav sistem nema negativan uticaj na životnu sredinu što je veliki plus u celokupnoj borbi za zdraviju sredinu, stabilno snabdevanje energijom, itd. Takođe, moramo sagledati aspekt cene sistema, te da uprkos visokoj ceni početne investicije, i nakon perioda otplate od 7 godina dugoročno gledano stvara se i solidna zarada jer će jedan ovakav sistem u proseku donositi zaradu od oko 1500 evra. Takođe kao što je istaknuto u jednom od poglavja rada i zakonske regulative su sad znatno jednostavnije i ne prave prevelik problem pri dobijanju dozvole. Ovakav sistem ima sve više pogodnosti, a iz godine u godinu sve manje prepreka i mana.

Iz svega opisanog u ovom radu možemo zaključiti da selo Vreoci, kao i Srbija, ima solidan solarni potencijal čak i u ne idealnim uslovima i da je krovno integrisan fotonaponski sistem integrisan pravi investicioni potez za budućnost.

## **9. LITERATURA**

1. <http://www.energetskiportal.rs/fid-in-tarife/>
2. <https://globalsolaratlas.info/>
3. <https://www.conseko.rs/>

4. G. Dobrić, S. Stanišić, Ž. Đurišić, Z. Stojković, „Fotonaponski sistem na krovu zgrade tehničkih fakultet u Beogradu povezan na distributivnu mrežu (Primena softvera u izradi projekta) “ , Beograd, mart 2013.
5. Ž. Đurišić, J. Mikulović, Skripte iz predmeta „Obnovljivi izvori energije“
6. V. Quaschnig, „Understanding Renewable Energy Systems“, London 2005.
7. Ž. Đurišić, J. Mikulović, „Prehodna studija izvodljivosti gradnje fotonaponske elektrane na mikrolokaciji u Obrenovcu“, Beograd, januar 2012.
8. D. Grujić, „Uslovi razvoja projekta fotonaponske elektrane u sastavu TS „Beograd 20““, master rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, mentor Ž. Đurišić, 2014.