



## PREGLED RASPOLOŽIVIH SOFTVERA ZA SOLARNE ELEKRANE OVERVIEW OF SOFTWARES FOR PV PLANTS

Andrea Gavrilović, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija*

### Oblast – ELEKTROENERGETIKA

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je dat pregled i opisan rad u raspoloživim fotonaponskim softverima. U cilju nastavka prethodnih istraživanja na temu komparacije fotonaponskih softvera zadate su njihove karakteristike na osnovu kojih je po datim kriterijumima izvršena komparacija. Zatim je urađena simulacija u softveru koji se pokazao kao softver sa najvećim dijapazonom opcija.

**Ključne reči:** softveri, solarni paneli, fotonaponski sistemi, planiranje.

**Abstract** – In this paper several available photovoltaic (PV) software and criteria for their comparison are being described. In order to continue the previous researches on the topic of the comparison of PV software, their characteristics were compared according to the given criteria. At the end, the simulation in the software that was proved to be the one with largest range of options for design of PV systems was performed.

**Keywords:** software, solar panels, photovoltaic systems, planning.

### 1. UVOD

Solarna energija je neograničen i čist izvor, koji svojim korišćenjem u obliku električne ili toplotne energije ne izaziva dodatnu emisiju CO<sub>2</sub> i time ne utiče na klimatske promene. S obzirom na svoj potencijal, ona predstavlja bogat izvor energije za budućnost.

Pretvaranje solarne energije u električnu obavlja se putem fotonaponskog (FN) efekta u FN ćelijama. Zbog malog izlaznog napona i snage FN ćelije, one se grupišu serijskim i paralelnim vezama u FN module, odnosno u jedinice veće snage FN panele. Današnji FN paneli su snaga između 250 W i 300 W standardnih dimenzija i zauzimaju površinu od oko 1,6 m<sup>2</sup>.

Grupisanjem FN panela u nizove (*string-ove*) i njihovim paralelnim vezivanjem formiraju se FN elektrane, koje su snaga od nekoliko kW do više MW i zauzimaju velike površine (i do više desetina hektara).

Kako se FN elektrane ubrzano grade svuda po svetu, FN sistemi se moraju dalje poboljšavati [1]. U tom smislu važna komponenta je razvoj odgovarajućih softverskih alata za određivanje solarnog potencijala i prognoziranje generisanja električne energije.

Prognoziranje je korišćenje modela performansi za procenu očekivane proizvodnje električne energije datog FN sistema. Upotreba simulacionih softverskih paketa je popularna tehnika za prognoziranje, jer ne samo da omogućava korisnicima da modeluju, već i da analiziraju FN sisteme i njihovu proizvodnju. Trenutno, postoji veliki broj FN simulacionih softverskih paketa. Softverska rešenja za izračunavanje proizvodnje energije su najčešće korišćena sredstva u planiranju FN postrojenja. Matematički model FN postrojenja u ambijentalnim uslovima opisuje stvarno stanje FN elektrane, koje se očekuje na izabranoj lokaciji.

Cilj ovog rada jeste da izvrši komparaciju raspoloživih softverskih alata uvažavajući specifične kriterijume njihove upotrebe u FN sistemima niskog budžeta, tj. za projektovanje i planiranje proizvodnje krovnih FN elektrana.

### 2. PREGLED LITERATURE

U literaturi se pojavljuje niz radova, koji daju pregled i upoređenje karakteristika raspoloživih, komercijalnih softverskih alata. U nastavku će biti predstavljeni neki rezultati, objavljeni u poslednjem periodu.

Veliki doprinos istraživanju u oblasti komparacije softvera za projektovanje FN sistema dali su Sharma, Verna i Singha [2], čiji rad predstavlja pregled FN softvera sa ciljem da korisnik lakše izabere softver koji će obezbediti dobijanje najpreciznijih podataka za simulaciju, ekonomsku evaluaciju, analizu i planiranje FN sistema.

Značajni podaci na temu komparacije FN softvera predstavljeni su u radu Sinha [3] gde su opisani 19 softverskih programa i njihove karakteristike. Glavni cilj rada je da obezbedi trenutni status softverskih proizvoda kako bi istraživač dobio osnovni uvid u korišćenje odgovarajućih alata za istraživanje i razvoj studija hibridnih sistema.

Lalwani, Kothari i Singh [4] ocenili su FN softvere po sledećim kriterijumima: komercijalna raspoloživost i cena, radna platforma, radni kapaciteti, opsezi i izlazi, ažuriranja, od kojih su većina softvera posebno dizajnirani za FN sisteme.

Značajan doprinos istraživanju daju Petrović, Šimić i Vražić [1], koji vrše poređenje FN softvera: PVsyst, PVGIS, HOMER, gde su glavni kriterijumi mesečni i godišnji rezultati proizvodnje i greške procene. Kao softver sa najboljim karakteristikama izabran je HOMER.

### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Vladimir Katić, red.prof.

Problematika izbora najboljeg softvera za dizajn i projektovanje FN sistema se u poslednje vreme intenzivnije istražuje i na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Komparaciju FN softvera su izvršili Petronijević i Katić [5], upoređujući dostupne softvere Sunny Design, Profotonapsis, PVsyst, Homer, PV Sol po kriterijumima cene, izvora meteo podataka, praćenja (tracking), senčenja, prezentiranja izlaznih podataka, raspoloživosti modula i izbora FN invertora u bazi, vremenu učenja i na bazi opšteg utiska. Nakon komparacije, autori su utvrdili da je Sunny Design najpovoljniji softver za planiranje FN elektrana.

Komparaciju softvera: PVGIS, Sunny Design Web, PVSize, SAM, HOMER, PVsyst, izvršila je Repac [6]. Kriterijumi za poređenje su bili biblioteka modula i invertora, baza meteoroloških podataka, efekat senčenja, izlazni podaci, složenost strukture, vreme učenja, dostupnost i cena softvera, opšti utisak. Utvrđeno je da je za dizajn FN sistema najpogodniji PVsyst.

Sličnu temu obradio je Mega [7] u čijem radu je urađena komparacija HOMER, PVsyst, Solarius, BlueSol softvera po kriterijumima: okruženje, baza podataka, jednostavnost, licenca, dodatne f-je, dobijeni rezultati i tačnost. Nakon čega je utvrđeno da se rezultati dobijeni proračunom uz pomoć Solarius-a najbliži referentnim vrenostima sistema.

Savčić [8] je izvršila poređenje softvera SAM, HOMER, PV Planner, RETScreen, PVGIS. Po kriterijumima: funkcije, korisnički interfejs, baza podataka o vremenu, biblioteka modula i invertora, dostupnost i cena softvera. Najbolje ocenjen softver je PVsyst.

Različitos predloženih optimalnih softvera nameće potrebu da se uradi još jedno poređenje, ali sada sa širim dijapazonom korišćenih softvera i sa preciznijim i objektivnijim kriterijumima. U nastavku će biti predstavljeni rezultati poređenja 11 najmodernijih softvera raspoloživih za preuzimanje (*download*) na Internetu.

### 3. SOFTVERI ZA PLANIRANJE FN SISTEMA

U nastavku će ukratko biti predstavljeno 11 softvera, s tim da se detaljniji prikaz može naći u [9], gde su svi softveri dati kroz najvažnije karakteristike.

#### 3.1. PV\*SOL premium 2018 (R6)

PV\*SOL je softver za planiranje FN sistema i toplotnih pumpi. Uz pomoć 3D vizualizacije, složene situacije senčenja se lako mogu modelovati, a efekti senčenja lako izračunati u bilo kom trenutku. Integrisana finansijska analiza omogućava korisniku da ispita ekonomski uticaj različitih dizajnova sistema. Rezultati simulacije pokrivaju i pojavu maksimuma, minimuma i odstupanja.

#### 3.2. PVsyst 6

PVsyst se fokusira na modelovanje, simulaciju i analizu FN sistema. Uz dodatne alate nuudi četiri sekcije pomoću kojih se gradi realan FN sistem: preliminarni dizajn gde se bira jedan od 3 sistema (povezan na mrežu, samostalni i pumpni), projektni dizajn i baze podataka.

#### 3.3. RETScreen

RETScreen je softver za analizu projekata obnovljivih izvora električne energije i energetske efikasnosti. Uz pomoć njega se lako utvrđuje tehnička i finansijska održivost potencijalnih projekata obnovljive energije. Program sadrži baze podataka troškova, proizvoda i klimatskih podataka koji se mogu koristiti pri analizama.

#### 3.4. Solmetric

Solmetric je idealan za stambene i male komercijalne sisteme i nudi lako izračunavanje proizvodnje energije za traženi sistem. U kreiranju modela nudi opcije za odabir lokacije, opreme, definisanje područja, kreiranje nizova i odabir invertora.

#### 3.5. BlueSol

BlueSol omogućava kreiranje dizajna sistema koji su povezani na mrežu ili samostalni, sa ili bez akumulatora za skladištenje energije u DC ili AC oblasti. Uz pomoć njega se simulira proizvodnja energije FN sistema i vrši ekonomska analiza povraćaja investicije. Takođe se proverava kompatibilnost veze string-invertor i generiše dokumentacija o projektu.

#### 3.6. HOMER Pro 3.11

HOMER modeluje fizičko ponašanje elektroenergetskog sistema i troškove njegovog životnog ciklusa i omogućava poređenje različitih mogućnosti dizajna. Softver izračunava dostupnu obnovljivu snagu, upoređuje sa elektročnim opterećenjem i odlučuje šta uraditi sa viškom snage u trenutcima njenog viška ili kako najjeftinije iz mreže kupiti dodatnu snagu u trenutku njenog deficita.

#### 3.7. PVSize

PVSize ima korisnički interfejs koji pruža informacije za podršku dizajneru prilikom upoređivanja različitih dizajnova. Pored toga, nudi mogućnost predviđanja performansi sistema sa bazom podataka ugrađenih vremenskih lokacija. Uz pomoć njega se izračunava i predlaže određeni sistem. Izračunavanje uključuje tehnički opis kao i finansijsku ponudu.

#### 3.8. PV-F Chart

PV-F Chart se koristi za analizu potrebnu za projektovanje FN sistema i za procenu dugoročnih performansi interfejs sistema, sistema za skladištenje energije (baterije) i sistema bez interfejsa ili skladištenja energije. Program koristi dugoročno prosečno mesečno sunčevo zračenje i temperaturu okoline kako bi se predvidele godišnje performanse FN niza.

#### 3.9. PVGIS 5

PVGIS služi za procenu proizvodnje električne energije samostalnog FN sistema i FN sistema priključenog na mrežu. Suština softvera je da pokaže kakav uticaj ima izabrana lokacija na planiranje FN sistema, kao i baza podataka o Sunčevom zračenju na toj lokaciji za duži vremenski period. Te informacije su potrebne kako bi se pre izgradnje solarne elektrane procenila njena optimalna proizvodnja.

#### 3.10. Polysun 10.2

Polysun je softver koji korisnicima omogućava simulaciju solarnih, toplotnih, geotermalnih i kombinovanih sistema.

Nudi podršku kada je u pitanju projektovanje, analiza i izračunavanje instalacija u oblasti obnovljivih izvora energije.

### 3.11. Sunny Design Web

Sunny Design Web je softver za planiranje i projektovanje FN sistema i FN hibridnih sistema. On podržava različite vrste solarnih projekata: solarni sistemi, solarne elektrane velikih razmera, sistemi sa sopstvenom potrošnjom, ostrvski sistemi i solarni hibridni sistemi.

## 4. KOMPARACIJA RAČUNARSKIH SOFTVERA

Nakon izvršenog pregleda dostupnih softvera poređenjem karakteristika softvera po zadatim kriterijumima utvrđeno je koji od njih je najpogodniji za projektovanje FN sistema.

Karakteristike softvera su opisane u 11 stavki: operativni sistem, jezici, systemske opcije, sistemi za praćenje kretanja Sunca, parametri lokacije sistema, vremenski podaci, mesto montiranja, gubici, senčenje, ekonomska analiza, opcija izbora baterija.

Zatim su karakteristike softvera poređene po kriterijumima ocenjivanja od 0 do 5 bodova. U slučaju da softver nema opciju koja se poredi, on dobija 0 bodova, dok kako softver nudi više opcija tako mu bodovi rastu.

Komparativnom analizom prethodno opisanih softvera, dobijeni su sledeći rezultati (Tab.1.). Analizirajući date kriterijume uočeno je da se softver PV\*SOL premium 2018 (R6) izdvaja od ostalih softvera kao softver sa najvećim dijapazonom opcija, gde je od 11 kriterijuma 6 puta ocenjen maksimalnim brojem bodova. Iza njega sa dosta manjim brojem bodova nalazi se BlueSol. Na trećem mestu su dva softvera Sunny Design Web i PVsyst, gde prvi ima više opcija operativnih sistema u kojima radi, i veći dijapazon parametara lokacije sistema, a PVsyst nudi više jezika i odabir mesta montiranja modula van krova objekta. Na petom mestu su HOMER Pro 3.11 i Polysun 10.2, gde prvi nudi veliki izbor sistema za praćenje kretanja Sunca, i vremenskih podataka, a drugi pruža veći izbor broja jezika i sistemskih opcija.

Tabela 1. Rezultati komparativne analize

	Softveri	Bodovi
1	PV*SOL premium 2018 (R6)	46
2	BlueSol	39
3	Sunny Design Web   PVsyst 6	34
4	RETScreen	33
5	HOMER Pro 3.11   Polysun 10.2	29
6	PVGIS 5	27
7	PV-F Chart	24
8	PVSize	17
9	Solmetric	16

## 5. SIMULACIJA U PV\*SOL premium 2018 (R6)

U cilju potvrde softvera sa najvećim izborom opcija izvršena je simulacija u PV\*SOL premium 2018 (R6) koji se pokazao kao najbolji od 11 obrađenih softvera.

Simulacija je izvršena izvedbom solarne elektrane na krovu kuće sa lokacijom u Heidelbergu, u Nemačkoj. U cilju uspostavljanja najveće moguće proizvodnje električne energije bilo je potrebno maksimalno iskoristiti površinu krova ali tako da objekti koji uzrokuju senčenje panela (dimnjak, antena) nemaju značajnog uticaja na smanjenje sunčeve radijacije (Sl.1.).



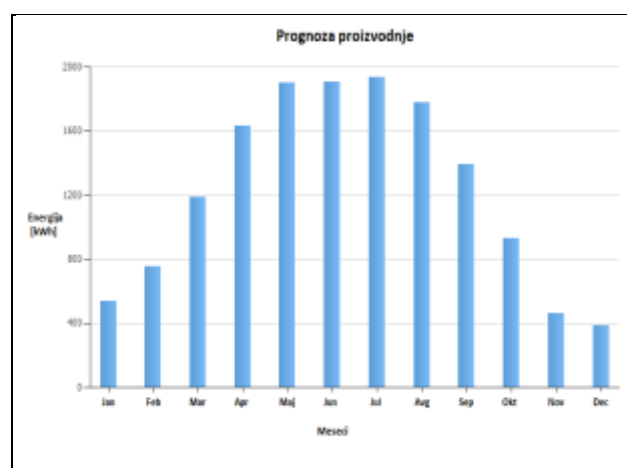
Slika 1. Smanjenje u radijaciji

Izabrani su invertori modela FRONIUS Symo 12.5-3-M. Ugrađena su dva MPPT-a, jedan se sastoji iz dva stringa sa po 12 modula u seriji, a drugi od jednog stringa sa po 22 modula u seriji.

### 5.1. Rezultati simulacije

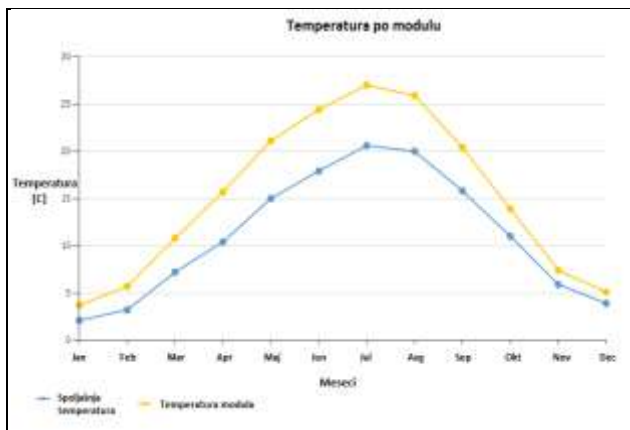
Postavljanjem ove solarne elektrane na površni krova od 75.4 m<sup>2</sup> emisija CO<sub>2</sub> je na godišnjem nivou smanjena za 8,882 kg/god. Vršna snaga FN panela je procenjena na 13.8 KWp, dok je godišnja proizvodnja 1,072.76 kWh/kWp. Redukcija proizvodnje prouzrokovana senčenjem je 3.5%/god. Standby potrošnja (inverter) je 12 kWh/god, dok je mrežni feed-in 14,804 kWh/god.

Na osnovu datog grafika koji prikazuje godišnju prognozu proizvodnju energije FN sistema po mesecima (Sl.2.) utvrđena je očekivana najveća proizvodnja u prolećnim i letnjim danima kada je sunčeva radijacija najveća.



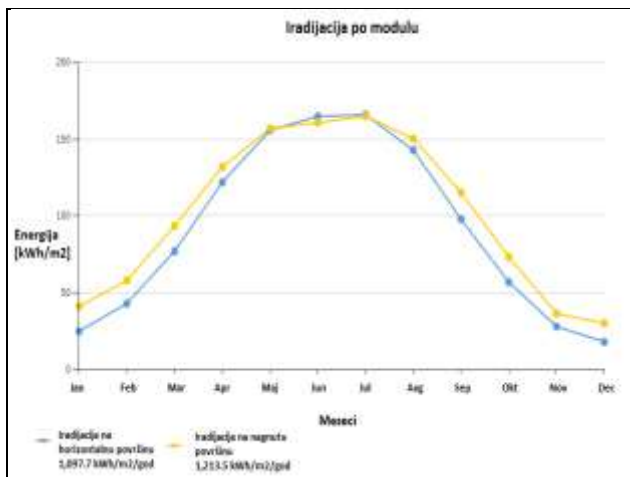
Slika 2. Godišnja prognoza proizvodnje FN sistema

Iako na proizvodnju negativno utiču visoke spoljašnje temperature, Heidelberg je grad sa blagim letnjim temperaturama (Sl.3.) pa se smanjenje proizvodnje skoro i ne primećuje.



Slika 3. Godišnji prikaz temperature po modulu u odnosu na spoljašnju temperature

Primećuje se da je iradijacija na nagnutu površinu modula veća od iradijacije koja bi bila da je modul postavljen na ravnoj površini (Sl.4.). Nagibni ugao koji je izabran u simulaciji je 30°, što se inače smatra najpogodnijim da bi iradijacija, a time i proizvodnja električne energije bila maksimalna.



Slika 4. Godišnja iradijacija po modulu

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je dat opis i pregled trenutno dostupnih softvera koji se koriste za dizajn fotonaponskih sistema. Nakon izvršene komparacije datih softvera izvedeni su sledeći zaključci. Softver PV\*SOL premium 2018 (R6) je izabran kao najbolji jer nudi najviše opcija unosa parametara lokacije sistema, ima velik izbor mesta montiranja FN panela, i nudi opcije računanja gubitaka, senčenja, ekonomsku analizu i opcije izbora baterija. U njemu je naknadno uradnjena simulacija u svrhu prikaza opcija koje softver nudi i što boljeg izbora efikasnog fotonaponskog sistema. Softveri koji su takođe procenjeni kao dobri za planiranje i modelovanje FN sistema sa preko 30 od ukupnih 55 bodova su BlueSol, Sunny Design, PVSyst 6 i RETScreen. Dok su ostali softveri sa ispod 30 bodova (HOMER Pro3.11, Polysun 10.2, PVGIS5, PV-F Chart, PVSize, Solmetric) procenjeni kao pogodni za jednostavne projekte, koji ne zahtevaju puno opcija i detalja. Laki su za shvatanje i prikladni za početnike koji se upoznaju sa tematikom projektovanja fotonaponskih elektrana.

## 7. LITERATURA

- [1] I. Petrović, Z. Šimić, M. Vražić, "Comparison of PV plant energy generation prediction tools with measured data", *Przeglad Elektrotechniczny*, No 89, pp. 6, 2013.
- [2] D.K. Sharma, V. Verma, AP. Singha, "Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares", *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.4, no.2, 2014, Available On-line: <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2014/04/Paper48725-731.pdf>
- [3] S. Sinha, S.S. Chandel, "Review of software tools for hybrid renewable energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 32, April 2014, pp.192-205.
- [4] M. Lalwani, M. Kothari, D.P. Singh, "Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares", Vol. 1, no. 3, pp. 585-601, 2010.
- [5] M. Petronijević, V. Katić, „Projektovanje fotonaponske elektrane – pregled softverskih alata“, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, God.27, Br.5, 2012, pp.1025-1028.
- [6] M. Repac, "Pregled softvera za modelovanje FN elektrana", *Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*, 2016.
- [7] M. Mega, "Komparativna analiza softvera za projektovanje FN krovnih sistema", *Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*, 2018.
- [8] T. Savčić, "Pregled softverskih alata za simulaciju rada fotonaponskih sistema", *Master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*, 2018.
- [9] A. Gavrilović, „Pregled raspoloživih softvera za solarne elektrane“, *Master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*, 2018.

### Kratka biografija:



**Andrea Gavrilović** rođena je u Novom Sadu 1994. god. Gimnaziju "Svetozar Marković" završila je u Novom Sadu 2013. god. Fakultet tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije upisala je 2013/2014 god. Diplomirala je 2017. god, nakon čega je upisala master studije na smeru "Elektroenergetika - Distribuirani elektroenergetski resursi", koje je završila 2018. god.



**Vladimir Katić** rođen je 1954. god. u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Trenutno je prodekan Fakulteta tehničkih nauka. Oblasni interesovanja su energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, električna vozila i kvalitet električne energije.