



## PRIMENA SOFTVERA INSEL ZA REŠENJA FN SISTEMA U SRBIJI

### APPLICATION OF INSEL SOFTWARE FOR PV SYSTEM SOLUTIONS IN SERBIA

Vanja Gojnić, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

**Kratak sadržaj** – U radu je obrađena solarna energija kao generalni pojam, kao i solarni potencijal za Republiku Srbiju. Pomoću INSEL softvera napravljen je virtuelni FN sistem za jedno domaćinstvo u Beogradu.

**Ključne reči:** Fotonaponski sistemi, obnovljivi izvori energije, solarna energija, INSEL softver

**Abstract** – This paper presents solar energy as a general term, as well as solar potential for the Republic of Serbia. With INSEL software, a virtual PV system was created for household in Belgrade.

**Keywords:** Photovoltaic systems, renewable energy sources, solar energy, INSEL software

#### 1. UVOD

Ubrzani rast svetske populacije ima veliki uticaj na planetu Zemlju, a jedan od njih je definitivno povećana potražnja za električnom energijom, koja se smatra vitalnom za život u 21. veku. Zahtev za nove izvore energije takođe je podstakao ograničenje drugih resursa, poput masivnih fosilnih goriva. Govoreći o fosilnim gorivima, koji su danas glavni izvori proizvodnje energije, fosilna goriva igraju ogromnu ulogu za stvaranje efekta staklene bašte, što izaziva mnoge probleme ne samo na lokalnom nivou, već i na regionalnom i globalnom nivou. S obzirom na to da je postojanje budućih generacija dovedeno pod znak pitanja, uvode se nove tehnologije, kao što su solarne, hidro, vetroelektrane i tako dalje. Neobnovljiva energija dolazi iz izvora koji će nestati ili neće biti dopunjeni tokom života. Zbog svih prethodno navedenih činjenica i na predstojeći period energetskeg deficita, svetska zajednica je podstaknuta na razvoj održivih energetskeg sistema. Tokom poslednje decenije zemlje i vlade širom sveta su izgradile stroge okvire energetske politike za proširenje korišćenja i ulaganja u alternative energije i sektor OIE. U ovoj oblasti svakako Evropska unija (EU) ima vodeću poziciju u globalnom društvu. EU trenutno razvija energetske politiku čiji je cilj pretvaranje celog energetskeg sistema na sistem korišćenja tehnologije sa niskim emisijama ugljenika i OIE kroz Evropski strateški plan za energetske tehnologije.

Među ostalim opcijama OIE, fotonaponske (FN) elektrane postale su stvarnost. Fotonaponski sistemi su prihvaćeni širom sveta za proizvodnju čiste, beščujne i skoro

potpuno ekološki prihvatljive energije kao oblik direktne konverzije sunčeve svetlosti u električnu. U tom cilju razvijeno je niz softverskih alata, koji treba da omoguće jednostavno određivanje potencijala solarne energije na pojedinim lokacijama, kao i projektovanje kompletnih FN elektrana, odnosno FN sistema. Jedan od tih softvera je i INSEL, koji će biti primenjen u ovom radu.

Poznato je da je Srbija dobro geografski locirana, ali uprkos tome ne koristi dovoljno i ovu mogućnost proizvodnje električne energije. U ovom radu će se dalje razmatrati solarni potencijal Republike Srbije i mogućnosti primene INSEL softvera za projektovanje jedne krovne FN elektrane u Beogradu snage 10 kW. Takođe, proučiće se i ekonomski aspekti ovako instaliranog FN sistema.

#### 2. SOLARNA ENERGIJA

Poznato je da je Sunce neiscrpan izvor sunčeve energije, što se naravno smatra besplatnom energijom. Sunce je otvoreni reaktor, koji pretvara oko 600 miliona tona vodonika u helijumu svake sekunde, gde oslobađa ogromnu količinu energije i ta energije se šalje u svemir.

U poređenju sa drugim vrstama obnovljivih izvora energije kao što su geotermalna energija i biomasa, koja imaju svoja ograničenja vezana za lokaciju ili snabdevanje, sunčeva energija se stavlja na stvarno visoku poziciju kada se govori o potencijalu. Kada se faktori kao što su geografska širina, klima i druge geografske varijacije uzmu u obzir, može se odrediti sunčevo zračenje koje prolazi kroz atmosferu Zemlje. Zemlja dobija više energije od Sunca tokom jednog sata nego što ljudska populacija koristi za celu godinu. Količina solarne energije koja dolazi na površinu planete je toliko ogromna da godišnje doprinosi dvostruko veću energiju nego svi neobnovljivi izvori energije zajedno.

#### 3. FOTONAPONSKI SISTEMI

FN sistem predstavlja međusobno povezane nizove koji su sačinjeni od FN modula. Postoje različite vrste FN sistema, ali zajednički elementi za sve njih su FN moduli, regulator punjenja, inverter i baterijski sistem. Naravno, energija protiče kroz razne uređaje, kao što je žičana mreža. Pod dodatnom opremom može se uključiti ožičenje, kontroleri i tako dalje. U zavisnosti od načina rada, postoje tri vrste FN sistema: off-grid (samostalni) sistemi, on-grid (mrežni) sistemi, hibridni FN sistemi. On-grid sistem, koji se simulira i u ovom radu, je poznat kao i mrežni sistem, s obzirom na to da je solarna instalacija priključena na distribuiranu mrežu, od koje uzima potrebnu energiju ili višak proizvedene energije šalje nazad u mrežu. Ovaj princip je dobro poznat kao

#### NAPOMENA:

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

princip negativnog brojača: kada se višak proizvedene energije šalje nazad u mrežu, brojač oduzima iskorišćenu energiju i smanji račun. To je sjajna prilika za kupce koji žele da se instaliraju solarni sistem na svojim kućama i smanje period otplate.

#### 4. INSEL – INTEGRATED SIMULATION ENVIROMENT LANGUAGE

INSEL označava INtegrated Simulation Environment Language. INSEL nije simulacioni program, već obezbeđuje integrisano okruženje i grafički programski jezik za kreiranje simulacionih aplikacija. Osnovna ideja INSEL-a je povezivanje blokova za blok dijagrame koji predstavljaju rešenje za određeni simulacijski zadatak. Grafički programski jezici poput INSEL-a koriste potpuno različit pristup gde podaci igraju ključnu ulogu.

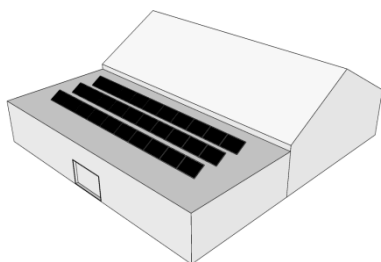
Umesto naredbi ovi jezici pružaju grafičke simbole koji se mogu međusobno povezati fizički putem miša kako bi izgradili veće modele. Grafički simboli mogu da predstavljaju matematičke funkcije, stvarne komponente kao što su solarno - termički kolektori, fotonaponski moduli, vetrogeneratori i baterije ili čak na primer i kompletne tehničke sisteme bilo koje vrste. Grafički elementi INSEL-a su blokovi.

Pored najvećeg belog prostora na ekranu koji predstavlja radnu površinu, s leve strane se mogu videti 13. kategorija. Svaka kategorija ima padajući meni, koji se može otvoriti levim klikom miša na mali + simbol. Neke od kategorija su: Vreme, meteorologija, električna energija, zgrade, matematika i statistika itd.

### 5. STUDIJA SLUČAJA

#### 5.1. Model zgrade u Beogradu

Model objekta koji je korišćen u ovom radu se nalazi u ulici Bežanijskih ilegalaca 32, Beograd na Bežanijskoj kosi. Totalna površina krova iznosi oko 439 m<sup>2</sup> i sastoji se iz jednog ravnog dela (koji će u ovom radu biti korišćen za postavljanje solarnih panela) i dela krova pod nagibom. Površina koja će biti korišćena za postavljanje solarnih panela iznosi 170 m<sup>2</sup>. (Slika 1.)



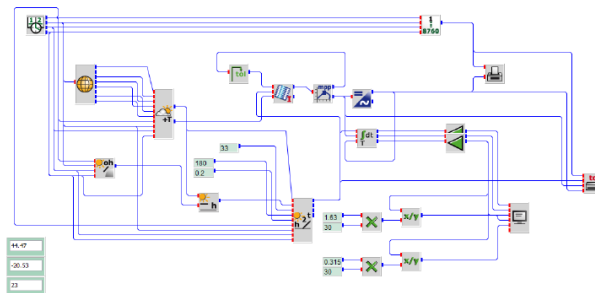
Slika 1: Vizuelni prikaz objekta sa postavljenim panelama

#### 5.2. Model 1

Napravljena su dva modela u INSEL-u kako bi se uporedili rezultati. Prvi model koji će biti opisan jeste model za dobijanje globalnog, direktnog, difuznog zračenja i refleksije tla za svaki sat u godini. Ovim modelom će se postepeno doći do rezultata DC, AC električne energije, specifičnog prinosa, dok je drugi model kreiran tako da direktno daje ove rezultate.

#### 5.3. Model 2

Drugi model, kao što je pre napomenuto, predstavlja kompletan PV sistem, pomoću čijih simulacija će dobijeni rezultati biti upoređeni sa rezultatima modela broj 1



Slika 2: Prikaz modela 2

#### 5.4. FN konfiguracija

S obzirom na kravnu površinu s kojom se raspolože gde će biti postavljene solarne panele, broj panela koji je potrebno da pokrije instalisanu snagu sistema od 10.000W:

$$N_{mod} = \frac{10\,000\,W}{P_{max}} \quad (1)$$

$N_{mod}$  – predstavlja broj panela

$P_{max}$  – maksimalna snaga panela

Izračunato je 30 panela, koje će zbog prostora s kojim se raspolože biti instalirane deset panela paralelno po tri reda, što se može videti s Slike 1.

Od velikog značaja kod panela je parametar  $U_{oc}$  otvorenog kola. Kod panela Sunpower 315, koji je izabran u INSEL-u za simulaciju, napon otvorenog kola je 64.4 V.  $V_{mpp}$  je 54.7 V i predstavlja napon pri kojem će panel biti najefikasnija. Pomoću naponom otvorenog kola, možemo izračunati koliki je moguć najveći napon u jednom nizu sa odgovarajućim invertorom i to je predstavljeno sledećom jednačinom:

$$U_{maxinput} = N_{mod} \cdot U_{oc} \quad (2)$$

$U_{maxinput}$  - maksimalan napon za jedan niz panela

$N_{mod}$  - broj panela (maksimalan koji je izračunat za 10kW)

$U_{oc}$  - napon otvorenog kola

Izračunato je da je maksimalna DC snaga na invertoru 1938V, što je mnogo više od snage invertora koji je korišćen (850V).

$$N_{inverter} = \frac{U_{maxDC}}{U_{oc}} \quad (3)$$

Tako je izračunato da je maksimalan broj panela povezanih u red za jedan inverter 13, ali je broj panela raspoređen 10 panela redno u tri paralelna reda.

## 5.5. Poređenje dobijeni rezultata modela 1 i 2

Tabela 1: Rezultati modela 1

	Satno
Globalno zračenje [kWh/m <sup>2</sup> god]	1.576,8
DC snaga [kWh/god]	14.744,4
AC snaga [kWh/god]	14.198,9
Specifični prinos [kWh/kWp]	1.419,8
Specifični prinos [Wh/m <sup>2</sup> ]	290,2

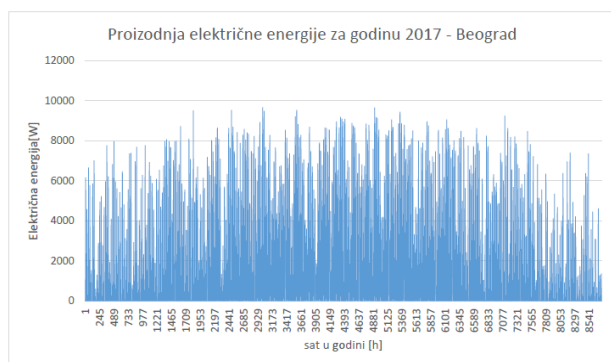
Tabela 2: Rezultati modela 2

	Mesečno
Globalno zračenje [kWh/m <sup>2</sup> god]	1.525,6
DC snaga [kWh/god]	13.246,5
AC snaga [kWh/god]	12.705,7
Specifični prinos [kWh/kWp]	1.344,5
Specifični prinos [Wh/m <sup>2</sup> ]	1.344,5

Za razliku od prvog modela, gde se satne vrednosti konvertuju, drugi model konvertuje mesečne vrednosti u godišnju. Ove vrednosti se nalaze u bloku MTM weather data basa. Varijacije rezultata se kreću od 3 – 10 %. Koji je model tačniji može se diskutovati. Prvi model ima prednost u odnosu na drugi, iz razloga što su vremenski podaci satni, što znači da postoji veći broj uzoraka, tačnije 8760 sati u godini i time je napravljen tačniji prosek vrednosti. S druge strane u modelu 2 su korišćene mesečne vrednosti, što se smatra manje preciznim.

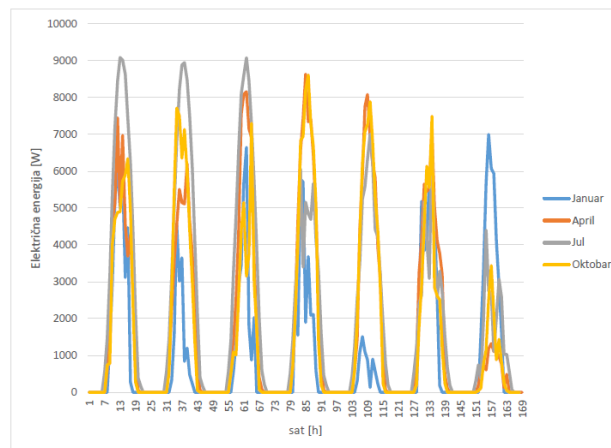
Druga stvar o kojoj se može diskutovati jesu vrste panela. U prvom modelu je uzet u obzir manji broj podataka, kao što je broj panela, njihove dimenzije, efikasnost panela prilikom standardnih uslova i efikasnost invertora. Što se tiče drugog modela, u njemu se bira tačno proizvođač i model proizvođača i model automatski uzima sve parametre u obzir.

Na slici 3 je prikazana proizvodnja električne energije na godišnjem nivou za grad Beograd. Na x-osi su predstavljeni sati u godini, kojih ima 8760, a na y-osi proizvedena električna energija. Kao što se može primetiti, na slici 3 postoje određeni usponi i padovi, ali nažalost određeni padovi izgledaju toliko mali, da ispada da panela ne proizvodi električnu energiju samo sat-dva dnevno, što je naravno daleko od tačnog.



Slika 3: Proizvodnja el. energije za 2017

Na Grafikonu 1 su predstavljene proizvodnje el. energije za vremenski period od 7 dana. Takođe zbog boljeg poređenja uzeti su vremenski periodi iz četiri godišnja doba (januar, april, jul, oktobar). Na x-osi su prikazani sati u nedelji, dok y-osa predstavlja proizvodnju električne energije. Na legendi sa desne strane Grafikona se mogu videti četiri boje koje reprezentuju ova četiri perioda.



Grafikon 1: Predstava proizvodnje el. Energije četiri perioda

## 6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Prilikom izračunavanja ekonomskog aspekta FN sistema, potrebno je istražiti cene svih potrebnih elemenata. U sledećoj tabeli su predstavljeni troškovi sistema od 30 komada panela za 10W sistem.

Tabela 3: Troškovi sistema 10kW

Naziv	Cena bez PDV [€]	Cena sa PDV [€]
SunPower 315	5.400	6.480
Invertor Sunway NT 10000	1.800	2.160
Noseća konstrukcija	895	1.074
Drugi troškovi	700	840
Troškovi održavanja	172	206,4
<b>Ukupni troškovi</b>	<b>8.967</b>	<b>10.760,4</b>

### 6.1. Period otplate

Period otplate je vremenski period potreban za povraćaj troškova investicije, tj. intuitivno meri koliko dugo treba nešto da „plati za sebe“.

#### Metoda I

Odluka o regulisanoj ceni električne energije za garantovano snabedanje na teritorije Republike Srbije se objavljuje u „Službenom glasniku R. Srbije“. Godišnja cena ovog sistema na godišnjem nivou je godišnja proizvodnja električne energije pomnožena sa cenom električne energije za datu godinu. Period otplate je količnik ukupnih troškova investicije i godišnje cene sistema.

### 6.2. „Feed in“ Tarifa

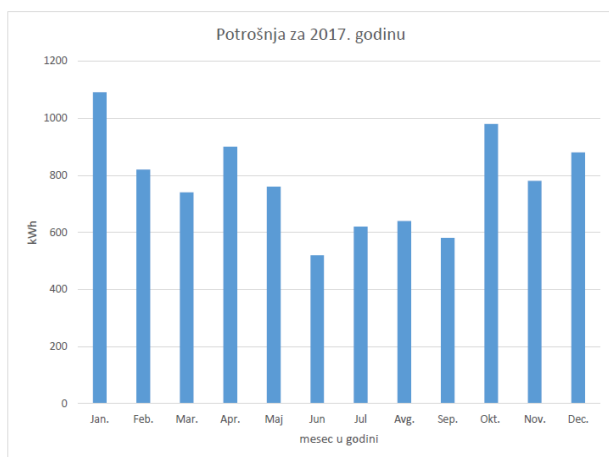
Feed-in tarifa je državni mehanizam podsticanja projektovan za ubrzanje ulaganja u tehnologije vezane za OIE.

## Metoda II

S obzirom da sistem koji se izučava u ovom radu ima instaliranu snagu 10 kW, on spada u prvu kategoriju otkupne cene, što znači da vlasnik elektrane prodaje 1 kWh za 0,266€. Kada se ova cena pomnoži sa proizvedenom strujom godišnje koju smo dobili simulacijom sistema, dobija se koliko vlasnik elektrane zarađuje godišnje.

## Metoda III

Na Grafikonu 2 je predstavljena potrošnja električne energije za objekat koji je pomenut ranije. Ukupna potrošnja električne energije za celu godinu se može videti u mesečnom dostavljenom računu za električnu energiju dostavljeno od strane EPS-a. Ako bi bilo uzeto u obzir da godišnje FN sistem proizvede 14.198,8 kWh ili tj. 12.705,7kWh, kad bi se oduzela godišnja potrošnja objekta, dobijaju se vrednosti od 4.888,8 kWh odnosno 3.395,7 kWh. Ovim je uzeto u obzir da proizvođač električne energije ne samo da troši koliko njemu treba, već da električna energije prodaje.



Grafikon 2: Godišnja potrošnja EE za 2017 god.

## 6.3. Poređenje isplativosti tri modela

Tabela 4: Poređenje vrednosti Metode I, II, III

Metoda I [god]		Metoda II [god]		Metoda III [god]	
13,06	14,61	5,19	5,08	15,07	21,7
13,83		5,13		18,38	

Kao što se može primetiti u Tabeli 4 svaka metoda ima po dve kolone. Te dve kolone ustvari predstavljaju rezultate dobijene simulacijom modela br. 1 modela br. 2. (broj godina otplate instalisanog sistema). Treća vrsta ustvari, predstavlja proseku godina instalisanog za model 1. i model 2. radi lakše observacije.

## 7. ZAKLJUČAK

Smanjenje energetske nezavisnosti Republike Srbije je jedan od glavnih ciljeva energetskog sektora. Prema podacima sa sajta EPS distribucije, do 2020. godine Republika Srbija ima plan da instalira ukupno 10 MW solarnih elektrana.

Takođe, jedan od ciljeva jeste povećanje registra povlašćenih proizvođača električne energije, a i samo edukovanje stanovništva o svesti globalnog zagrevanja i beneficija OIE.

Izračunato je da je godišnja proizvodnja električne energije u kWh za instalirani sistem od 10 kW dostiže i do 14.198,9 kWh, a da je specifična proizvodnja u Wh po metru kvadratnom 290,2 Wh/m<sup>2</sup> za model 1, a da model dva odstupa svega od 3 - 10%. Grad Beograd, kao i većina Srbije ima veoma dobar potencijal solarne energije, što pokazuje i činjenica da period otplate za instalaciju od 10kW može da bude od 5, 13 do 18 godina, u zavisnosti od načina otplate i da li proizvedenu energiju prodaje EPS ili ne.

## 8. LITERATURA

- [1] M. Burgess, D. Pimentel, „World Human Population Problems“, *Earth Systems and Environ. Scien.*, 2018
- [2] M. Akbari, A. Shahsavari, „Potential of solar energy in Developing countries for reducing energy related emissions“, *Renew. and Sust. Energy Rev.*, 90, 2018, pp. 275-291.
- [3] European Commission, „Strategic Energy Technology (SET) Plan“.
- [4] D. Djurdjevic, „Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia“, *Renew. and Sust. Energy Rev.*, 15, 2011, pp. 2431-2446.
- [5] Y. Goswami, „Solar Energy“, *Inter. Energy Society*, 2017, <https://www.journals.elsevier.com/solar-energy>
- [6] E. Kabir, P. Kumar „Solar energy: Potential and future prospects“, *Renew. and Sust. Energy Rev.*, 82, 2018, pp.894–900
- [7] W.H. Terjung, „A global classification of solar radiation“, *Solar Energy*, 2003.
- [8] M. Milošević J. Brankov, „Geografija Srbije“, BIGZ Školstvo, 2016.
- [9] D. Milosavljevic. T. Pavlovic, „Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia“ *Renew. and Sust. Energy Rev.*, 20, 2013, pp.201–218.
- [10] A. P. Kirk, „Solar Photovoltaic Cells“, Elsevier, USA, 2015.
- [11] K. Mertens, „Photovoltaic: fundamentals, technology and practice“, J. Wiley & Sons, 2014.
- [12] V. Katic, I. Kapetanovic, N. Sarajlić, „Obnovljivi izvori električne energije“, CEFES, Novi Sad, 2007.
- [13] P. Manimekalai, R. Harikumar „An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems“, *Intern. Journal of Computer Applic.*, Vol. 82, No. 12, 2013.

## Kratka biografija:



**Vanja Gojnić** rođena je u Novom Sadu 1993. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi obranila 2017. Iste godine upisala se na master studije.



**Dr Vladimir A. Katić, red.prof.** rođen je 1954. godine u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. godine. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, kvalitet električne energije i električna vozila.