# Predviđanje proizvodnje sunčane elektrane upotrebom PVGIS sustava

**Bagić, Blanka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:813935

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

# PREDVIĐANJE PROIZVODNJE SUNČANE ELEKTRANE UPOTREBOM PVGIS SUSTAVA

**Diplomski rad**

**Blanka Bagić**

**Osijek, 2018.**

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

# IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

**Osijek, 12.11.2018.**

| | |
|---|---|
| **Ime i prezime studenta:** | Blanka Bagić |
| **Studij**: | Diplomski sveučilišni studij Računarstvo, smjer Procesno računarstvo |
| **Mat. br. studenta, godina upisa:** | D-647R, 20.11.2017. |
| **Ephorus podudaranje [%]:** | 6 |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Predviđanje proizvodnje sunčane elektrane upotrebom PVGIS sustava**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Damir Blažević

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:

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**
**1. FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

# IZJAVA

Ja, Blanka Bagić, OIB: 45038919980, student/ica na studiju: Diplomski sveučilišni studij Računarstvo, smjer Procesno računarstvo, dajem suglasnost Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek da pohrani i javno objavi moj **diplomski rad**:

**Predviđanje proizvodnje sunčane elektrane upotrebom PVGIS sustava**

u javno dostupnom fakultetskom, sveučilišnom i nacionalnom repozitoriju.

Osijek, 12.11.2018.

_____
potpis

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

**Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

**Osijek, 20.09.2018.**

**Odboru za završne i diplomske ispite**

## Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

| | |
|---|---|
| **Ime i prezime studenta:** | Blanka Bagić |
| **Studij, smjer:** | Diplomski sveučilišni studij Računarstvo, smjer Procesno računarstvo |
| **Mat. br. studenta, godina** | D-647R, 20.11.2017. |
| **OIB studenta:** | 45038919980 |
| **Mentor:** | Izv. prof. dr. sc. Damir Blažević |
| **Sumentor:** | |
| **Sumentor iz tvrtke:** | |
| **Predsjednik Povjerenstva:** | Doc.dr.sc. Ivica Lukić |
| **Član Povjerenstva:** | Filip Sušac |
| **Naslov diplomskog rada:** | Predviđanje proizvodnje sunčane elektrane upotrebom PVGIS sustava |
| **Znanstvena grana rada:** | **Programsko inženjerstvo (zn. polje računarstvo)** |
| **Zadatak diplomskog rada:** | Opisati način funkcioniranja PVGIS sustava i njegovu funkciju u postupku projektiranja sunčane elektrane. Objasniti način predviđanja proizvodenje na osnovu ulaznih podataka o geografskom i klimatološkom položaju sunčane elektrane. U praktičnom dijelu rada izvršiti usporedbu predviđanja dobivenog PVGIS sustavom sa stvarnim podacima proizvodnje električne energije iz sunčane elektrane za zadane lokacije. |
| **Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog** | Izvrstan (5) |
| **Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:** | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 3 razina |
| **Datum prijedloga ocjene mentora:** | 20.09.2018. |

| | |
|---|---|
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija: | Potpis: |
| | Datum: |

**SADRŽAJ**

1. UVOD ..... 1
2. PVGIS ..... 2
2.1. Sučelje ..... 2
2.2. Dostupne vrste izračuna ..... 4
2.3. Podaci o horizontu tla ..... 6
2.4. Metode izračuna i izvori podataka kod PVGIS-a ..... 6
2.4.1. Sunčevo zračenje ..... 7
2.4.2. Provjera satelitskih podataka o sunčevom zračenju ..... 13
2.4.3. Izračun intenziteta sunčevog zračenja na plohama s nagibom ..... 15
2.4.4. Utjecaj terena ..... 15
2.5. Izračun proizvodnje solarne elektrane ..... 16
2.5.1. Nominalna snaga PV modula ..... 17
2.5.2. Procjena stvarne proizvodnje ..... 17
2.5.3. Proračun troškova ..... 17
2.5.4. Izbor baze podataka intenziteta sunčevog zračenja ..... 18
2.6. Izračun učinka PV sustava ..... 19
2.6.1. Mrežni FN sustavi (Grid connected) ..... 19
2.6.2. Autonomni FN sustavi (engl. Off grid) ..... 20
3. PROCJENA PROIZVODNJE SUNČANIH ELEKTRANA JUG I ISTOK ..... 22
3.1. Sunčana elektrana Jug ..... 22
3.1.1. Proračun prema Classic PVGIS bazi podataka ..... 22
3.1.2. Proračun prema Climate PVGIS bazi podataka ..... 24
3.2. Sunčana elektrana Istok ..... 26
3.2.1. Proračun prema Classic PVGIS bazi podataka ..... 27
3.2.2. Proračun prema Climate PVGIS bazi podataka ..... 29

4. USPOREDBA PREDVIĐANJA DOBIVENIH PVGIS SUSTAVOM SA STVARNIM PODACIMA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ SUNČANE ELEKTRANE .. 31
4.1. Sunčana elektrana Jug ..... 31
4.1.1. Odstupanja ..... 34
4.2. Sunčana elektrana Istok ..... 35
4.2.1. Odstupanja ..... 36
5. ZAKLJUČAK ..... 37
LITERATURA ..... 38
SAŽETAK ..... 40
SUMMARY ..... 41
ŽIVOTOPIS ..... 42

# 2. UVOD

U ovom diplomskom radu obraditi će se tema predviđanja proizvodnje sunčane elektrane korištenjem PVGIS (engl. Photovoltaic Geographical Information System) sustava.

U prvom će dijelu biti opisan sam PVGIS sustav, njegovo korištenje i primjena. Između ostalog će biti govora o tome kako sama aplikacija dolazi do podataka o količini sunčeva zračenja, i na koji ih način koristi u svrhu dobivanja podataka o proizvodnji energije. Također će se obraditi način na koji sam teren i reljefne cjeline utječu na količinu *insolacije* (engl. *solar insolation*), koja posredno utječe na količinu proizvedene električne energije. Pomoću PVGIS aplikacije će biti napravljeni proračuni za dvije sunčane elektrane, lokaciju Jug u mjestu Stolac (Bosna i Hercegovina) te lokaciju Istok u Starim Perkovcima kod Vrpolja.

U eksperimentalnom će se pak dijelu usporediti tako proračunati podaci o proizvodnji navedenih sunčanih elektrana sa stvarnim podacima o proizvodnji za te lokalitete te se izmjeriti odstupanja od proračuna kojim raspolaže PVGIS aplikacija.

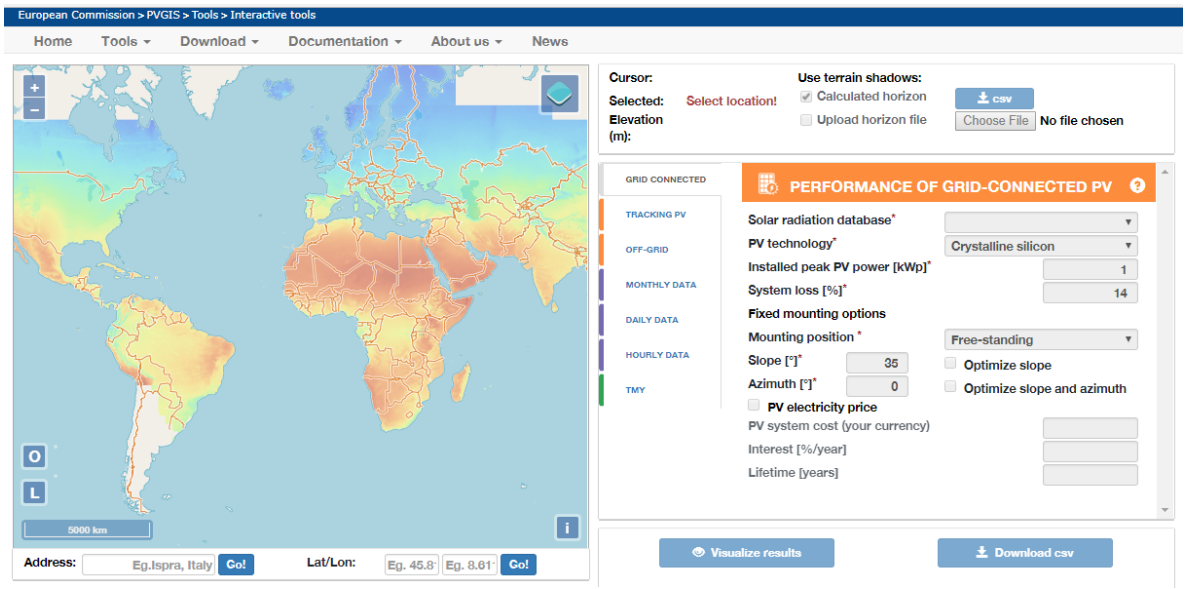
# 3. PVGIS

PVGIS je besplatni web servis koji omogućava korisniku pristup informacijama o sunčevom zračenju za gotovo bilo koje područje na Zemlji, kao i izračun proizvodnje električne energije solarnih elektrana. Navedene je izračune, koristeći PVGIS, moguće dobiti za različite vrste solarnih sustava.

*Sl. 2.1. PVGIS logo [1]*

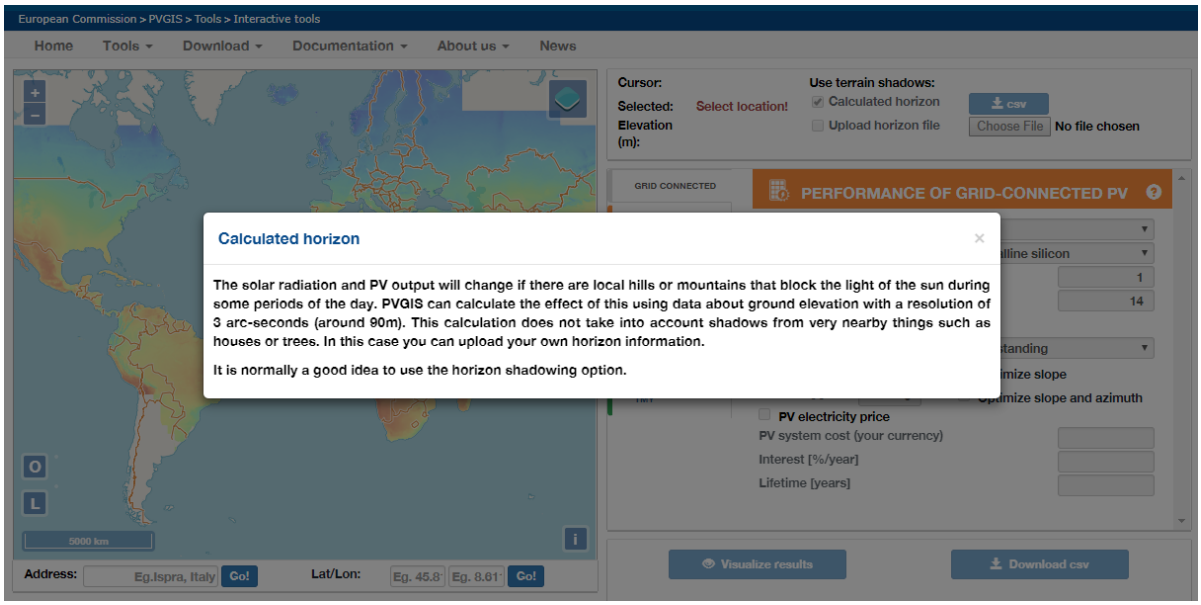
Na razvoju PVGIS-a se radilo preko 10 godina u Zajedničkom istraživačkom centru Europske komisije u talijanskom gradu Ispri. Glavni su fokus prilikom razvoja PVGIS-a bila istraživanja metoda procjene foto naponskih izvora, studije učinkovitosti istih te širenje znanja i podataka o sunčevom zračenju i učinku foto naponskih izvora. Web aplikacija je kroz godine doživjela brojne preinake i poboljšanja, a trenutno je aktualna verzija PVGIS 5, s tim da svaka nova verzija aplikacije donosi proširenja mogućnosti sustava ili povećanje geografskog opsega korištenih podataka.

## 3.1. Sučelje



*Sl. 2.2. Izgled sučelja PVGIS aplikacije [1]*

Sučelje PVGIS aplikacije možemo vidjeti na slici 2. PVGIS je robusna aplikacija s mnoštvom mogućnosti, a za većinu njih je moguće dobiti informacije ili upute klikom na tekst naslova opcije. Na slici 3. možemo vidjeti da, klikom na tekst opcije „Calculated horizon“ u gornjem desnom dijelu sučelja, na ekranu dobijemo tekstualni opis te opcije.

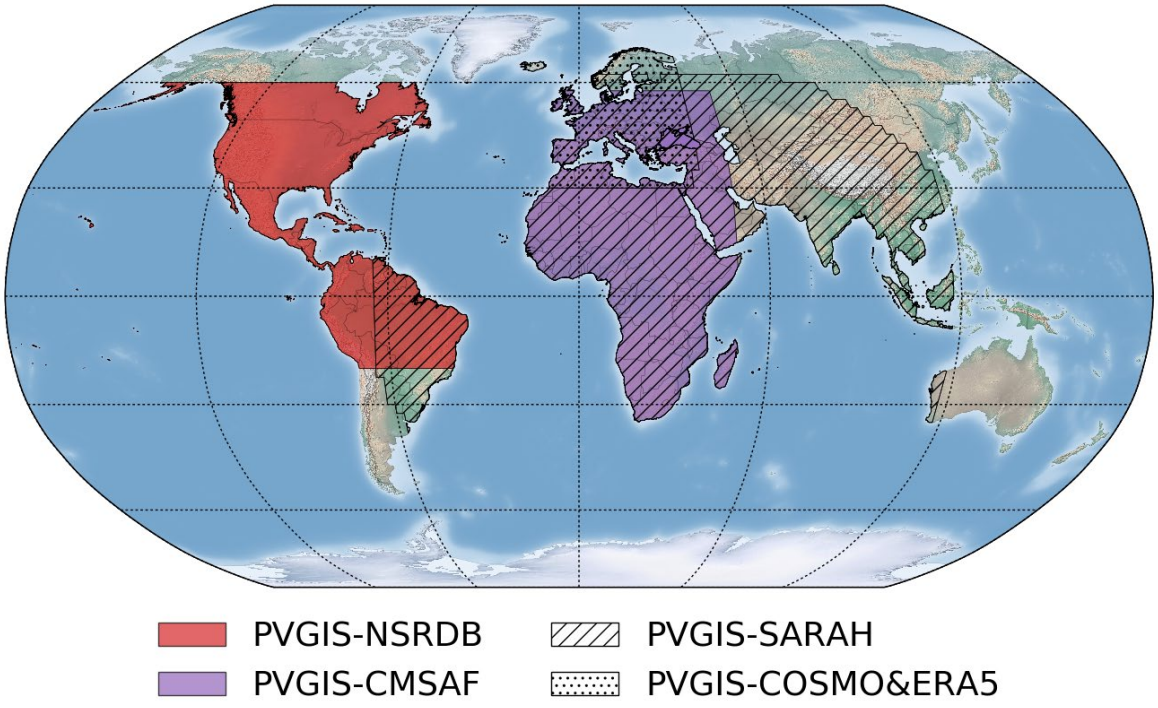



*Sl- 2.3. Help okvir za opciju „Calculated horizon“ [1]*

No, prije mogućnosti izračuna, potrebno je odabrati željenu lokaciju, što unutar aplikacije možemo postići na tri različita načina:

- Klikom na mapu koja se nalazi na lijevoj strani programskog sučelja
- Unošenjem odgovarajuće vrijednosti u polje „Address“ u donjem lijevom kutu sučelja (moguće je unijeti ime grada, ili pak preciznije definirati točnu adresu željene lokacije)
- Unošenjem geografske širine i dužine u polje „Lat/Lon“ (nalazi se desno od polja „Address“)

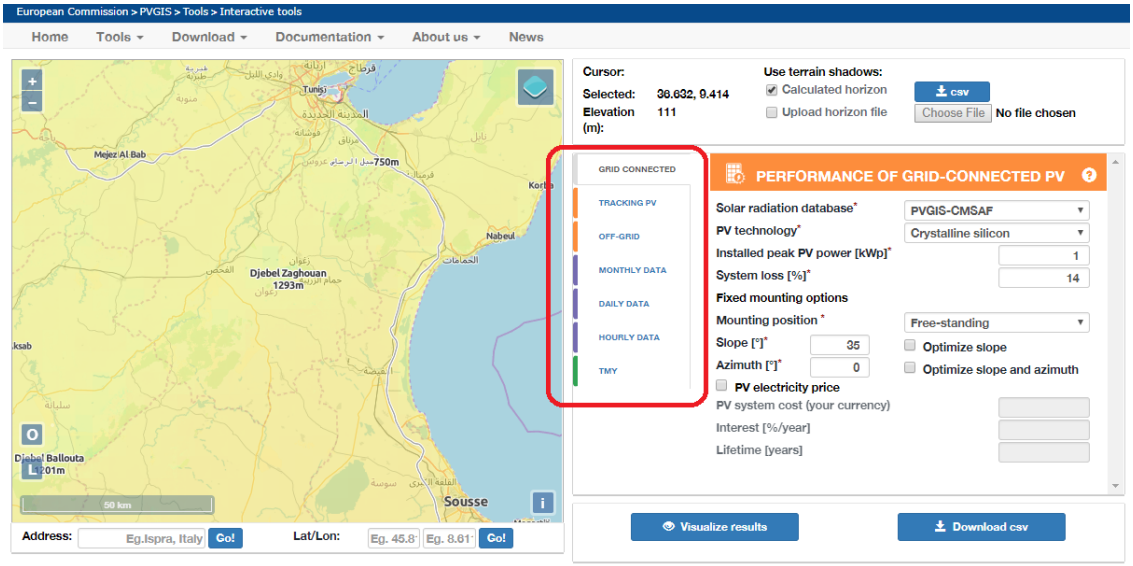
Iako aplikacija sadrži podatke za veći dio Zemljine površine, za neka područja još uvijek ne postoje precizni podaci o sunčevom zračenju ili podaci o terenu. Ukoliko korisnik pokuša izvršiti takav odabir, aplikacija obavijesti korisnika o nedostupnosti (ili pak djelomičnoj dostupnosti) podataka za to područje. Na slici 3. vidimo geografski opseg različitih skupova podataka korištenih u PVGIS-u.




*Sl. 2.4. Geografski opseg različitih skupova podataka korištenih u PVGIS aplikaciji [1]*

## 3.2. Dostupne vrste izračuna

U PVGIS aplikaciji je moguće dobiti rezultate za veći broj različitih izračuna, a odabir je potrebno izvršiti klikom na jednu od kartica s desne strane mape, što je vidljivo na slici 5. Kao i za većinu opcija u aplikaciji, i za pojedine je izračune moguće dobiti dodatne informacije klikom na tekst naziva.




*Sl. 2.5. Prikaz odabira vrste izračuna [1]*

U trenutku pisanja ovog rada, u PVGIS aplikaciji je bilo moguće dobiti rezultate za sljedeće:

- Procjenu proizvodnje ugrađenih solarnih elektrana – Korištenjem ove opcije moguće je izračunati prosječnu proizvodnju ugrađenog solarnog sustava za dulje vremenske periode. Ova je opcija primjenjiva za fiksirane PV module, odnosno za one panele koji se nalaze na fiksnoj poziciji, bilo da se radi o samostojećem nosaču ili na zgradi.
- Procjenu proizvodnje elektrana s praćenjem položaja sunca – Pomoću ove je opcije moguće izračunati prosječnu proizvodnju ugrađenih solarnih elektrana kod kojih su PV moduli postavljeni na sustave za praćenje prividnog kretanja Sunca, kako bi moduli tijekom dana bili izloženo što je moguće većoj količini Sunčevog zračenja. Pri korištenju je ove opcije moguće izabrati više različitih vrsta sustava.
- Procjenu proizvodnje samostojećih solarnih elektrana – Ova opcija omogućava izračun proizvodnje solarnih elektrana koje nisu priključene na javnu elektroenergetsku mrežu, već služe za proizvodnju energije za osobne potrebe korisnika u izoliranim sustavima. Takvi su sustavi opremljeni akumulatorima koji služe kao spremnici proizvedene energije.
- Mjesečni iznos zračenja – S ovim alatom dobivate ispis prosječnog iznosa sunčevog zračenja i temperatura za pojedini mjesec kroz period od nekoliko godina.
- Dnevni iznos zračenja - S ovim alatom dobivate ispis prosječnog dnevnog iznosa sunčevog zračenja i temperatura za pojedine dane u mjesecima kroz godinu.
- Iznos zračenja po satu – Korištenjem ovog alata dobivate uvid u podatke o sunčevom zračenju i temperaturi po satima, kao i očekivane vrijednosti proizvodnje energije.
- TMY (Typical Meteorological Year) - Alat koji generira podatke tipične za period od jedne godine, a koji uključuju podatke o sunčevom zračenju, temperaturi i ostalim meteorološkim čimbenicima.

Za svaki od navedenih izračuna potrebno je unijeti određene parametre prije nego je moguće dobiti ispis rezultata. Kad su svi parametri uneseni, korisnik može dobivene rezultate vidjeti unutar sučelja PVGIS aplikacije (u obliku brojki i grafova) koji će biti prikazani ispod mape u aplikaciji. Iste je također moguće preuzeti u .csv formatu, što je pogodno za pregledavanje u programima za proračunske tablice poput MS Excela. Kako bi se izvršio odabir jedne od opisanih opcija, potrebno je (po unosu svih potrebnih parametara) kliknuti na odabranu opciju u donjem desnom kutu sučelja.




*Sl. 2.6. Gumbovi za odabir vrste prikaza rezultata izračuna [1]*

## 3.3. Podaci o horizontu tla

Izračun vrijednosti sunčevog zračenja, kao i učinka tj. izlaznih vrijednosti foto naponskih modula ovisi uvelike o terenu izabrane lokacije, odnosno ponajviše o procjeni utjecaja sjena obližnjih reljefnih oblika. Korisnik u sučelju PVGIS aplikacije ima izbor između nekoliko različitih opcija koje se tiču ove stavke, a prikazane se u gornjem desnom uglu sučelja aplikacije.

Tako korisnik može odabrati ne koristiti informacije o terenu, koja je aktivirana u trenutku kad korisnik ne označi ni „*calculated horizon*“ niti „*upload horizon file*“. U principu nije preporučljivo koristiti ovu opciju ukoliko želite da izračun bude u skladu s realnim vrijednostima za odabrano područje.

Druga je opcija korištenje ugrađenih podataka iz PVGIS sustava, koja je aktivirana u trenutku kad korisnik označi opciju "*Calculated horizon*".

Postoji i opcija učitavanja vlastitih informacija o terenu na pripadajućoj lokaciji. Korisnik iste može u aplikaciju unijeti koristeći jednostavnu .txt datoteku ili .csv proračunsku tablicu.

## 3.4. Metode izračuna i izvori podataka kod PVGIS-a

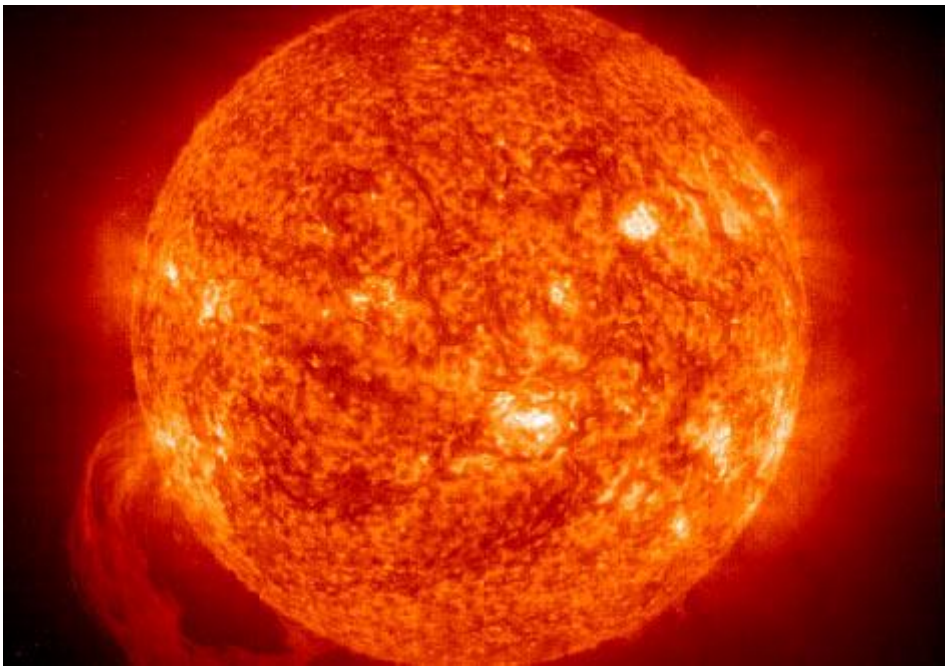
Kroz poglavlja o PVGIS aplikaciji, često se spominje pojam sunčevog zračenja te se koristi u jako poopćenom smislu. Kako pojam „sunčevo zračenje“ može označavati više različitih stvari, ovdje ćemo ih razložiti.

Taj pojam može označavati ozračenje (engl. *solar irradiance*), odnosno gustoću energetskog toka Sunčevog zračenja. Gustoća toka označava omjer energetskog toka Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer zračenja. Osnovna jedinica za ozračenje jest $W/m^2$.

Pojam sunčevog zračenja može također označavati ozračenost (engl. *solar irradiation*). Ozračenost dobivamo integriranjem ozračenja po vremenu, a ta veličina označava gustoću dozračene energije koja u nekom promatranom vremenu upada na jediničnu površinu plohe okomite na smjer zračenja. Jedinica za ozračenost je $Wh/m^2$ . Ozračenost ima smisla promatrati u nekom određenom vremenskom intervalu i u ovisnosti o istom ozračenost možćemo nazivati dnevnom, tjednom, mjesečnom, godišnjom…

### 3.4.1. Sunčevo zračenje

Sunce je centralno tijelo Sunčevog sustava, zvijezda promjera oko 1.392 milijuna km, a čiji su osnovni gradivni elementi vodik i helij. U Sunčevoj jezgri, vodik se nuklearnim reakcijama fuzije pretvara u helij, pri čemu dolazi do oslobađanja velike količine energije, što za posljedicu ima povećanje temperature Sunčeve jezgre na više od 15 milijuna K. Doduše, zračenje iz unutrašnjosti Sunca je u velikoj količini apsorbirano od sloja negativnih vodikovih iona blizu njegove površine, stoga navedena temperatura ne određuje svojstva sunčevog zračenja. Na površini Sunca pak vlada temperatura od otprilike 6000 K, te spektar Sunčevog zračenja približno odgovara toplinskom zračenju idealnog crnog tijela s temperaturom 5760 K.



*Sl. 2.7. Površina Sunca snimljena IC kamerom [5]*

Stoga upravo tu temperaturu uzimamo kao efektivnu temperaturu površine Sunca, uz pomoću koje primjenom Planckovog zakona možemo izračunati spektar zračenja Sunca. Planckov zakon pak opisuje intenzitet zračenja nepolariziranog elektromagnetskog zračenja kojeg emitira idealno crno tijelo, ovisno o termodinamičkoj temperaturi T, te frekvenciji ili valnoj duljini.

Planckov je zakon, izražen preko frekvencije dan preko izraza (1):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{C^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (1)$$

Ili, izražen preko valne duljine preko izraza (2):

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (2)$$

Pri čemu je:

I [W/m$^2$] – Intenzitet zračenja,

ν [Hz] – Frekvencija,

λ [m] - Valna duljina,

T [$K$] - Temperatura,

$h$ = 6,626 ·10−34 [Js] - Planckova konstanta,

c = 3·108 [m/s] - Brzina svijetlosti i

$k$ =1,38·10−23 [J/K] - Boltzmanova konstanta.

Upravo korištenjem navedenih izraza možemo doći do izračuna da površina Sunca odašilje zračenje intenziteta 9,5 · 10$^{25}$ W/m$^3$, no govorimo o zračenju različitih valnih duljina. Međutim, većina sunčevog zračenja (oko 99%) otpada na valne duljine iz raspona 0,275 μm do 4,6 μm, što dalje dijelimo na tri različita područja. Za raspon: 0,01 μm < λ< 0,39 μm govorimo o području ultraljubičastog zračenja. Vidljivi spektar obuhvaća zračenja valnih duljina 0,40 μm < λ< 0,76 μm , a infracrveno zračenje za 0,76 μm <λ< 4,0 μm, dok maksimum energije zračenja proizvodi za valnu duljinu λ=0,476 μm.

Također je važno napomenuti razliku između količine zračenja koje dopire do vanjskog ruba Zemljine atmosfere i zračenja koje dopire do površine Zemlje. Sunčevo zračenje koje dopire do vanjskog ruba Zemljine atmosfere nazivamo ekstraterestričkim zračenjem, te se njegova količina mijenja kroz godinu, u skladu s položajem Zemlje u odnosu na Sunce, te se kreće između vrijednosti od 1307 W/m² do 1399 W/m² za površine koje nisu normalne na smjer Sunčevog zračenja.

Za srednju udaljenost Zemlje od Sunca, koja iznosi 149,68 milijuna kilometara, Sunčevo zračenje na površinu koja je normalna na smjer zračenja nazivamo solarnom konstantom. Unatoč njenom nazivu, nakon više desetaka godina mjerenja i proračuna, utvrđeno je da ova vrijednost ipak nije konstantna, te se mijenja u skladu sa sunčevom aktivnošću.

Ekstraterestičko zračenje na površinu koja je normalna na smjer zračenja, za srednju udaljenost Zemlje od Sunca (149,68 miliona km) naziva se sunčeva (solarna) konstanta. Utvrđivanje

solarne konstante i njene moguće promjenjivosti počelo je na prijelazu u 20. vijek. Nakon nekoliko desetina godina satelitskih mjerenja utvrđeno je da solarna konstanta i nije konstanta, nego se mijenja kako se i sunčeva aktivnost mijenja. No, ona je ipak standardizirana 1981. godine od strane Svjetske meteorološke organizacije (WMO), te ona iznosi $E_{Osr} = 1367,7$ W/m².

Ipak, s obzirom na to da se solarne elektrane nalaze na Zemljinoj površini, odnosno unutar granica atmosfere, od velikog nam je interesa procijeniti količinu sunčevog zračenja koje ipak dođe do Zemljine površine. Međudjelovanjem raznih plinova i čestica koji su u sastavu Zemljine atmosfere, oko 18% Sunčevog zračenja koje dođe do gornje granice atmosfere se upije, dodatnih 10% se reflektira, a preostalih 72% zračenja će neometano proći atmosferu. Naravno, navedeni podaci variraju, te stupanj slabljenja sunčevog zračenja ovisi o karakteristikama atmosfere u danom trenutku (fizičkim i kemijskim), ali i o dužini puta sunčevog zračenja kroz atmosferu do Zemljine površine. No, u svakom slučaju generalno možemo zaključiti kako se na putu do Zemljine površine „izgubi“ između 25 i 50% intenziteta sunčevog zračenja koje je bilo prisutno na rubu atmosfere.

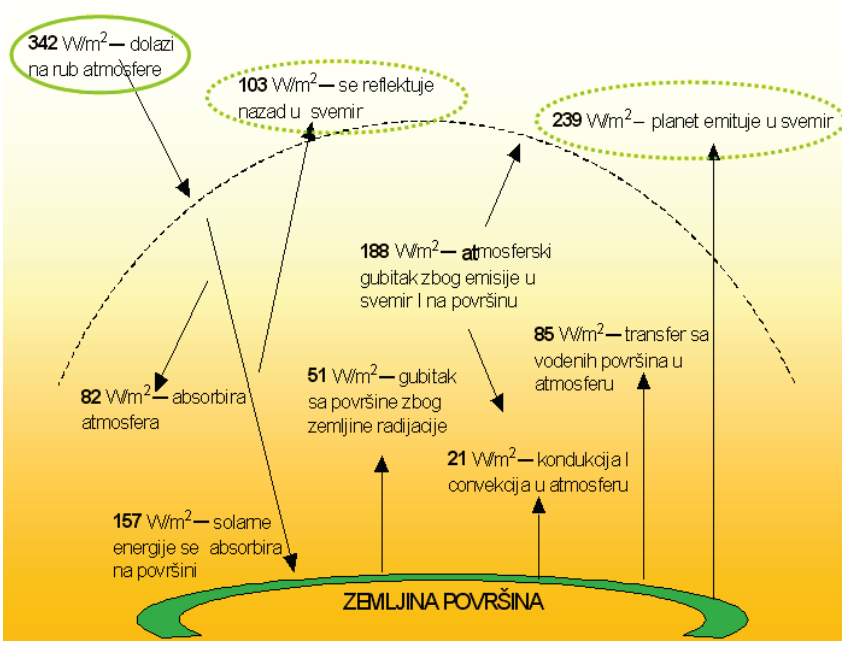
Zračenje koje se na svom putu do Zemljine površine rasijava na različitim atomima i molekulama plinova, kao i česticama određenih nečistoća i tvari u Zemljinom omotaču se naziva difuzno zračenje. Svaki atom, molekula i čestica generalno do koje dospijeva Sunčevo zračenje na svom putu do Zemljine površine biva pobuđena na titranje i zračenje te sukladno tome ta čestica postaje izvor elektromagnetskog zračenja. To zračenje se zatim predaje u svim smjerovima (ali nejednako), a pritom se dio zračenja odbija u svemir, dok se određeni dio pak raspršuje na Zemljinoj površini. Stoga možemo reći da ukupna količina zračenja koja dođe do Zemljine površine potječe iz dva različita izvora. Prva komponenta zračenja jest upravo spomenuto difuzno zračenje, dok je druga komponenta zračenje koje potječe direktno sa Sunčeve površine. Navedeno je direktno zračenje kratkovalno, te se manifestira kao kombinacija svjetlosti žuto-narančastog svjetlosno snopa i topline.

Kada obje komponente sunčevog zračenja dođu do Zemljine površine, veći će dio tog zračenja Zemlja upiti, a manji će se pak dio reflektirati od njene površine. Svojstvo podloge da reflektira zračenje koje je dospjelo do njene površine izražavamo koeficijentom refleksije. Koeficijent refleksije za potpuno bijelo tijelo ima vrijednost 1, što znači da ono u potpunosti odbija (reflektira) sunčevo zračenje, dok potpuno crno tijelo ima koeficijent refleksije 0. Travnata površina ima vrijednost koeficijenta refleksije oko 0,2, te se upravo ta vrijednost najčešće uzima kao mjerodavna za proračune proizvodnje fotonaponskih sustava. U ovim je krugovima također široko prihvaćen pojam insolacije. Insolacija se odnosi na gustoću sunčevih zraka određene

orijentacije na određenoj površini kroz određeno vrijeme. Insolaciju mjerimo u $Wh/m^2$ ili $kWh/m^2$. Energija koju Zemljina površina primi ovisi o trajanju insolacije, odnosno duljini izloženosti sunčevim zrakama (često se taj period naziva i broj sunčanih sati), a samo trajanje insolacije uvelike ovisi o geografskom položaju promatrano područja (ponajviše o geografskoj širini) i trenutnog godišnjeg doba. Podaci o energiji sunčevog zračenja su u PVGIS aplikaciji dostupni kao prosječne vrijednosti izabranog mjeseca ili godine. Prosječna se vrijednost energije sunčevog zračenja za određeni period dobiva kao artimetička sredina za sve dane promatranog vremenskog intervala. Podaci o energiji sunčevog zračenja najčešće su prikazani kao prosječne vrijednosti. Prosječna mjesečna ili godišnja energija sunčevog zračenja na nekoj lokaciji dobiva se kao aritmetička sredina za sve dane u promatranom mjesecu odnosno godini.

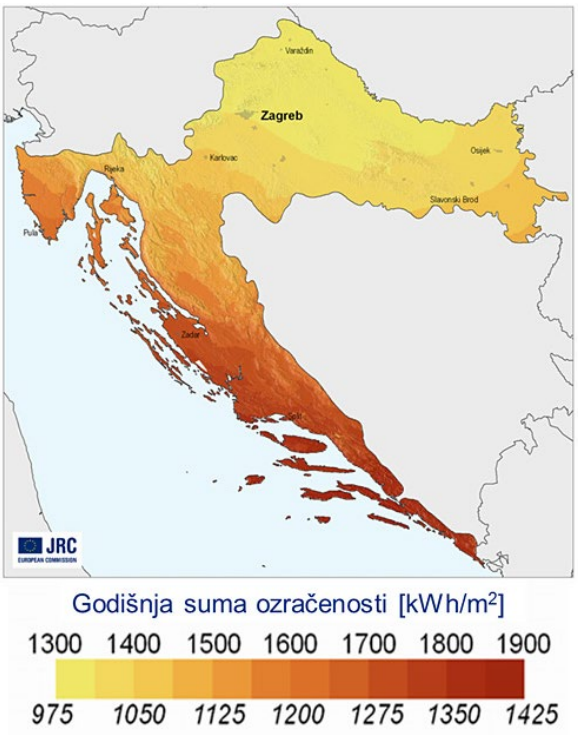
Kada govorimo o Zemlji kao cjelini, do njene površine dopire ukupno 920 $W/m^2$. Cjelokupna projekcija Zemljine površine iznosi $127{,}73 \cdot 10^6$ $km^2$, odakle dobivamo količinu ukupnog dotoka energije od otprilike 117512 TW. Navedena se energija raspoređuje po čitavoj Zemljinoj površini zbog pojave Zemljine rotacije, te tada govorimo o prosječnom dotoku energije od 239 $W/m^2$. U okvirima dana govorimo pak o ukupnoj dnevnoj vrijednosti od 5,52 $kWh/m^2$.

Spomenuli smo pojave i okolnosti koje dovode do rasipanja vrijednosti energije zračenja prije dolaska do same površine Zemlje. Naime, u skladu s već navedenim vrijednostima, zemljina površina od toga prima 157 $W/m^2$, a istovremeno se od nje odbija 51 $W/m^2$, što daje razliku od 106 $W/m^2$. Iznos energije koja dolazi Sunčevim zračenjem te se apsorbira u atmosferi je 82 $W/m^2$, čemu pridodajemo 21 $W/m^2$ kondukcijskog i konvekcijskog transfera s površine Zemlje, te oko 85 $W/m^2$ s površine vode. Stoga ukupno dolazimo do broja od 188 $W/m^2$ gustoće toplinskog toka u Zemljinoj atmosferi. Od tih 188 $W/m^2$, 82 $W/m^2$ se reflektiraju natrag u svemir, stoga ukupni gubitak iznosi 239 $W/m^2$, stoga su dobici i gubici energije na rubu atmosfere izjednačeni.




*Sl. 2.8. Tok sunčeve energije na Zemlji [2]*

U Hrvatskoj, prosječna insolacija na godišnjoj razini (kada govorimo o zračenju na horizontalnu plohu) iznosi otprilike 1200 do 1600 kWh/m$^2$, što uvelike ovisi o tome radi li se o priobalnom dijelu zemlje, ili pak o kontinentalnom dijelu što možemo vidjeti na slici 2.9. Od navedene količine, gotovo 75% energije površina „primi“ u razdoblju između travnja i rujna.



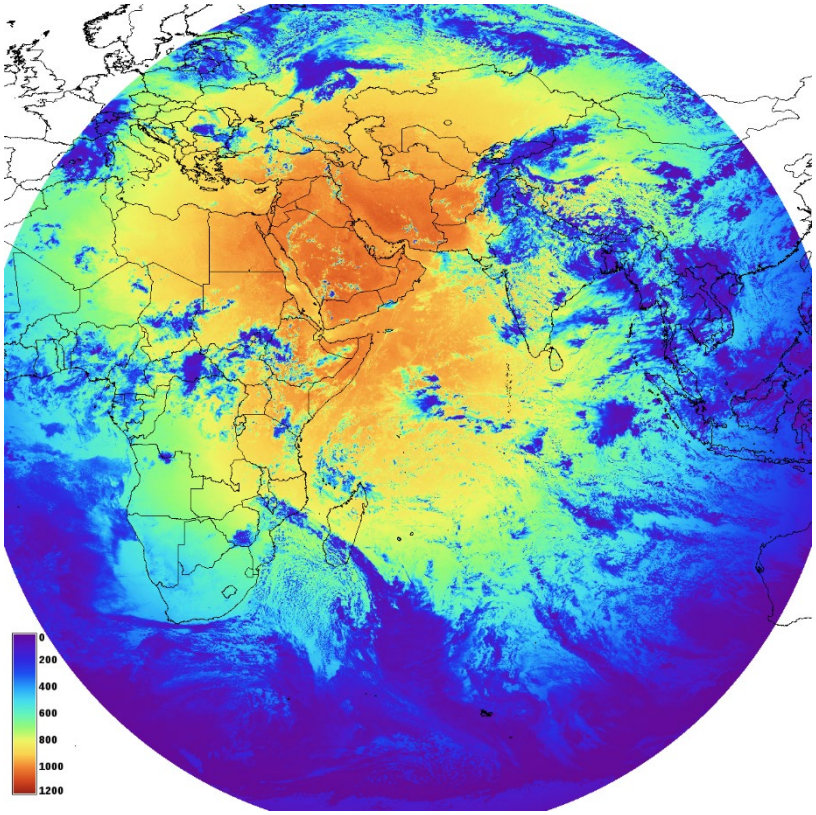

*Sl. 2.9. Prikaz godišnje sume ozračenosti za područje Hrvatske [2]*

#### 3.4.1.1. **Izračun intenziteta sunčevog zračenja uz pomoć satelita**

S obzirom da PVGIS koristi uglavnom satelitske snimke za proračun intenziteta Sunčevog zračenja, u ovom ćemo poglavlju ukratko opisati metode takvih izračuna, a sve na primjeru sunčevog zračenja nad područjima Euroazije te Afrike (koji su pokriveni bazama PVGIS-CMSAF i PVGIS-SARAH, za bazu NSRDB se koristi drugačiji način proračunavanja, o čemu neće biti riječ u ovom poglavlju).

Prvi je pak korak kod preciznijeg proračuna količine sunčevog zračenja koristeći satelitske snimke odrediti utjecaj oblaka na zračenje. Prolaskom sunčevih zraka kroz oblake, dio se zračenja reflektira natrag, stoga do Zemljine površine dolazi umanjena količina sunčevog zračenja.

Drugi je pak korak izračunati količinu zračenja u uvjetima „čistog neba“, odnosno onda kad nema oblaka koristeći teoriju prijenosa energije zajedno s podacima o količini aerosoli (čestica, prašine…) u atmosferi, kao i koncentracije vlage u zraku te ozona, koji u velikoj količini upijaju apsorbiraju zračenje određenih valnih duljina. Ukupna se radijacija tada računa iz koeficijenta refleksije oblaka i količine zračenja u uvjetima čistog neba.




*Slika 2.10. Količina sunčevog zračenja na površini Zemlje za datum 1.8.2015. [1]*

### 3.4.2. Provjera satelitskih podataka o sunčevom zračenju

S obzirom na to da PVGIS dobiva podatke o količini sunčevog zračenja preko satelitskih snimki, ti se isti podaci trebaju validirati, odnosno usporediti s mjerenjima na Zemljinoj površini kako bi se dobio uvid u odstupanja od podataka sa snimki. Ovaj postupak nazivamo validacijom podataka.

U velikom broju literature je objavljeno mnogo o načinima i mogućnostima validacije podataka, no ovdje ćemo samo prikazati osnovne rezultate validacije podataka mjerenja sa Zemljine površine iz baze podataka BSRN-a (Baseline Surface Radiation), koji pružaju uvid u podatke o solarnom zračenju za mnoge postaje diljem svijeta.

*Tab. 2.1.Prikaz odstupanja podataka satelitskih snimki od stvarnih izmjerenih podataka na Zemljinoj površini*

| Lokacija | Geogr. Širina | Geogr. Dužina | Razlika između mjerenja na Zemljinoj površini i podataka satelitskih snimki (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | PVGIS-CMSAF | PVGIS-SARAH |
| Lindenberg (DE) | 52.22N | 14.12E | -3.4 | -3.2 |
| Cabauw (NL) | 51.97N | 4.93E | +0.4 | -0.4 |
| Carpentras (FR) | 44.05N | 5.03E | +2.1 | +5.5 |
| Payerne (CH) | 46.81N | 6.94E | -3.0 | +0.6 |
| Belsk (PL) | 51.70N | 20.8E | -5.5 | NA |
| Camborne (UK) | 50.22N | 5.32W | +3.0 | -1.9 |
| Toravere (EE) | 58.27N | 26.47E | +5.1 | -4.1 |
| Sde Boqer (IL) | 30.87N | 34.77E | -3.3 | +3.4 |
| Almeria (ES) | 37.50N | 2.2W | -0.9 | NA |
| Geneve (CH) | 46.12N | 6.01E | +2.6 | NA |
| Nantes (FR) | 47.25N | 1.55W | +3.8 | NA |
| Vaulx-en-Velin (FR) | 45.78N | 4.93E | +3.9 | NA |

| Lokacija | Geogr. Širina | Geogr. Dužina | Razlika između mjerenja na Zemljinoj površini i podataka satelitskih snimki (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | PVGIS-CMSAF | PVGIS-SARAH |
| Kishinev (MO) | 47.00N | 28.82E | +0.4 | +1.4 |
| Liepaja (LV) | 56.48N | 21.02E | +2.5 | NA |
| Sonnblick (AT) | 47.05N | 12.95E | -14.0 | NA |
| Thessaloniki (GR) | 40.63N | 22.97E | +5.9 | +3.6 |
| Wien Hohe Warte (AT) | 48.25N | 16.35E | -1.5 | NA |
| Ispra (IT) | 45.81N | 8.64E | +8.4 | +9.0 |
| Milano (IT) | 45.48N | 9.26E | -0.5 | NA |
| Roma (IT) | 41.86N | 12.62E | +4.1 | NA |
| Sarreguren (ES) | 42.82N | 1.60W | +1.6 | NA |
| A Coruna (ES) | 43.37N | 8.42W | +11.0 | NA |
| Lleida (ES) | 41.62N | 0.60W | +2.4 | NA |
| Madrid (ES) | 40.45N | 3.72W | -0.3 | NA |
| Tamanrasset (DZ) | 22.78N | 5.51E | -6.0 | +2.6 |
| De Aar (ZA) | 30.67S | 23.99E | +2.2 | +0.6 |
| Solar Village (SA) | 24.91N | 46.41E | +3.2 | -0.2 |
| Florianopolis (BR) | 27.53S | 48.52W | NA | +0.3 |
| Cocos Island (AU) | 12.19S | 96.84E | NA | +0.6 |

| Lokacija | Geogr. Širina | Geogr. Dužina | Razlika između mjerenja na Zemljinoj površini i podataka satelitskih snimki (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | PVGIS-CMSAF | PVGIS-SARAH |
| Xianghe (CN) | 39.75N | 116.96E | NA | +0.8 |

### 3.4.3. Izračun intenziteta sunčevog zračenja na plohama s nagibom

U gornjem dijelu su izneseni podaci koji vrijede kada govorimo o zračenju na horizontalnu plohu. No, uobičajeno je da su PV moduli postavljeni na plohu pod kutom u odnosu na horizontalnu plohu, ili pak na sustav praćenja položaja Sunca kako bi se maksimizirala količina intenziteta sunčeva zračenja kojeg mogu primiti. U tom slučaju su odstupanja od podataka dobivenih sa satelitskih snimki veća, te je sukladno tome potrebno bolje proračunati količinu zračenja koja dolazi do plohe s nagibom.

Ukoliko je ploha na kojoj se nalaze foto naponske ćelije nagnuta pod kutem β, tada se ukupno ozračenje Sunčevim zračenjem ($E_\beta$), koje upada na takvu plohu sastoji od tri komponente:

- izravno Sunčevo zračenje koje upada na plohu ($E_{b\beta}$)
- raspršeno zračenje dijela neba koji se nalazi iznad plohe ($E_{d\beta}$)
- zračenje odbijeno od tla i okolnih predmeta ($E_{r\beta}$)

Stoga ukupno zračenje iznosi:

$$E_\beta = E_{b\beta} + E_{d\beta} + E_{r\beta}$$

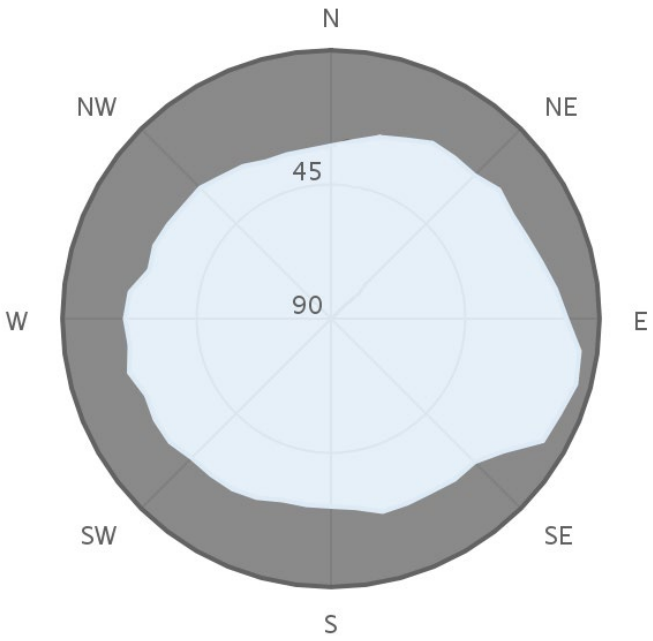
Prilikom odabira nagiba plohe u PVGIS aplikaciji, sustav se sam pobrine da izabrani proračun bude u skladu sa stvarnim zračenjem koje do plohe dopire.

### 3.4.4. Utjecaj terena

Ukoliko se izabrano područje nalazi u blizini reljefnih cjelina poput planina, ponekad je Sunce skriveno iza njih, te je stoga količina zračenja umanjena u odnosu na količinu koju inače isijava. PVGIS pak koristi podatke o elevaciji s prostornom rezolucijom od 3 kutne sekunde (što je ekvivalent veličini od 90 metara). To pak znači kako PVGIS raspolaže podacima o elevaciji terena za jednu točku u svakih 90 metara. Prema tim se podacima zatim računa vrijednost visine terena za svaku od tih točaka iz kojih je pak lako zatim dobiti informacije o tome koliko vremena je Sunce „skriveno“ iza planina tj. uzvisina, odnosno u kojem je točno vremenskom

intervalu odabrana prostorna točka izložena sunčevom zračenju. U slučajevima kada je se Sunce prividno nalazi iza reljefnih cjelina na nekom području, za količinu zračenja se uzima samo količina difuznog zračenja. Kada se rade izračuni u PVGIS-u, sve su ove informacije uzete u obzir.

Na slici 2.11. je prikazano područje usred Talijanskih Alpi, gdje je na području čitavog obzora reljef visok i stoga čini prirodnu prepreku dopiranju sunčevog zračenja do Zemljine površine.




*Sl. 2.11. Graf visine reljefa (u stupnjevima) za lokaciju u Talijanskim Alpama [1]*

No, s obzirom na prostornu rezoluciju od 90 metara, PVGIS aplikacija ne može uzeti u obzir potencijalno zaklanjanje sunčeva zračenja od strane stabala ili pak građevina, no svakako sučelje dozvoljava korisniku da učita vlastite podatke o horizontu za određenu lokaciju kako bi izračun bio što točniji.

## 3.5. Izračun proizvodnje solarne elektrane

Najvažniji je faktor kod izračuna izlazne energije PV sustava upravo količina sunčevog zračenja koja dolazi do samih PV modula. No postoji još važnih faktora o kojima će biti govora u sljedećim potpoglavljima, kao i načinu na koje se koriste za izračune unutar PVIS aplikacije.

### 3.5.1. Nominalna snaga PV modula

Kada se mjeri snaga PV modula u laboratoriju ili pak tvornici, to se radi pod standardiziranim uvjetima koje nazivamo Standard Test Conditions (STC) te su opisani standardom IEC-60904-1, a oni su sljedeći:

- Intenzitet zračenja na plohu je 1000 1000W/m² na čitavoj površini modula. To je vrijednost koju uobičajeno možemo dobiti oko podneva na sunčan dan, u uvjetima u kojima je PV modul usmjeren ka izvoru zračenja, iako u stvarnim uvjetima ti brojevi mogu biti i viši.
- Temperatura modula je 25°C.
- Spektar osvjetljenja koje pada na modul treba biti jednak globalnom spektru danom u standardu IEC 60904-3. Ovaj spektar odgovara onom spektru kojeg sunce zrači na sunčan dan otprilike 40° iznad horizonta s PV modulima nagnutima također oko 40° od horizontalne osi koja je usmjerena ka Suncu.

Ovako izmjerena snaga modula se naziva nominalna snaga ili vršna snaga modula.

### 3.5.2. Procjena stvarne proizvodnje

Za PV panele koji se nalaze na otvorenom, uvjeti mogu biti jako različiti od iznad opisanih te stoga i rezultati proizvodnje mogu jako varirati u odnosu na one dobivene testiranjem u laboratoriju. Stoga PVGIS aplikacija radi ispravke u smislu proračuna za brojne vanjske utjecaje koji mijenjaju vrijednost izlazne snage PV modula, od kojih su neki temperatura koju poprimaju sami moduli, sistemski gubici i gubici uzrokovani starenjem sustava. Zbog navedenih sama aplikacija predlaže unos stope gubitaka od 14%, koji u većini slučajeva „pokrivaju“ gubitke uzrokovane navedenim.

PVGIS pak u obzir ne uzima gubitke uzrokovane pojavama poput snijega na modulima, nečistoće i prašine na modulima te pojavama djelomičnog zasjenjenja

### 3.5.3. Proračun troškova

PVGIS aplikacija također može izračunati troškove solarne elektrane, koji između ostalog uključuju trošak same kupnje i montiranja solarnog sustava. Zatim troškove održavanja i financiranja samog sustava. Svi su ti troškovi zatim uspoređeni s procjenom proizvedene energije za vijeka trajanja sustava.

Ta se kalkulacija vrši koristeći takozvanu "Levelized Cost Of Energy" (LCOE) metodu. U tom izračunu, koristi se stopa otplate troškova sustava takva da će korisnika svake godine koštati otprilike 2% ukupnog troška kupnje i postavljanja te održavanja za vrijeme trajanja PV sustava.

### 3.5.4. Izbor baze podataka intenziteta sunčevog zračenja

Većina podataka o količini sunčeva zračenja kojima raspolaže PVGIS dolaze od satelitskih snimki. S obzirom na to koji su sateliti korišteni za dobivanje snimki iz kojih se vrše proračuni vrijednosti, postoji više metoda za dobivanje takvih podataka. Trenutno dostupne opcije u PVGIS aplikaciji su:

- PVGIS-CMSAF – Vrijednosti u ovoj bazi su izračunate od strane CM SAF-a (Satellite Application Facility on Climate Monitoring) koji razvija, proizvodi, arhivira i distribuira proizvode temeljene na satelitskim podacima u cilju praćenja klime i klimatskih promjena. Ova baza podataka pokriva područje Europe, Afrike i dijela Južne Amerike za vremenski period od 2007. do 2016. godine s dostupnim podacima za pojedine sate i prostornom rezolucijom od 1,5 kutnih minuta.
- PVGIS-SARAH - Vrijednosti u ovoj bazi su izračunate od strane CM SAF-a i PVGIS razvojnog tima. Podaci u ovoj bazi podataka se odnose na Europu, Afriku i veći dio Južne Amerike kroz vremenski period od 2005. – 2016. godine. Podatke je moguće pregledati za svaki pojedini sat uz prostornu rezoluciju od 3 kutne minute.
- PVGIS-NSRDB – Podatke za ovu bazu pruža NREL (National Renewable Energy Laboratory) i dio je nacionalne baze podataka o Sunčevom zračenju. Ova pak baza pokriva područja Sjeverne i Južne Amerike za period od 2005. – 2015. godine, od 60° sjeverne do 20° južne geografske širine, s mogućnošću pregleda podataka po satu uz prostornu rezoluciju od 2,4 kutne minute.

No, ipak za neka zemljopisna područja nisu dostupni podaci u obliku satelitskih snimki, što je posebno slučaj kod područja viših geografskih širina. Stoga su, u svrhu rješavanja tog problema, uvedene dodatne dvije baze podataka za Europu, koje su specifične po tome što uključuju i područja krajnjih sjevernih zemljopisnih točaka:

- PVGIS-ERA5 - Ova je baza podataka rezultat reanalize podataka ECMWF-a (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) koja u trenutku pisanja ovog diplomskog rada sadrži podatke od 2010. do 2016. godine, iako su planirana daljnja proširenja ove baze u budućnosti. Također, ovime je pokriveno područje čitave Zemlje, s mogućnošću pregleda podataka na bazi sata s prostornom rezolucijom koja iznosi 0,28° po

geografskoj dužini i širini. Trenutno je u PVGIS aplikaciji moguće podatke iz ove baze koristiti samo za odabir područja u Europi.

- PVGIS-COSMO COSMO-REA također pokriva područje Europe s mogućnošću pregleda podataka po satu i prostorne rezolucije od otprilike 6 km (u aplikaciji se koristi 3' lat/lon). COSMO-REA sadrži podatke za razdoblje od 1995. do 2015. godine, no trenutno je u aplikacije moguće koristiti samo podatke od 2005. na dalje.

Važno je napomenuti kako su izračuni za posljednje navedene baze podataka dobiveni korištenjem NWP (Numerical Weather Prediction) matematičkih modela predviđanja koji su korigirani u skladu sa stvarnim podacima prikupljenima s meteoroloških postaja, kako bi bilo moguće procijeniti meteorološke parametre za prošla vremenska razdoblja. Također, podaci za neka područja uključuju i informacije o količini i intenzitetu sunčeva zračenja, te se isti u PVGIS aplikaciji koriste za područja sjeverne Europe koja nisu pokrivena satelitskim snimkama iz kojih informacije crpe ostale baze.

## 3.6. Izračun učinka PV sustava

Solarni fotonaponski sustavi (FN) mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine: fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. Off grid), a često se nazivaju i autonomnim sustavima, i sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (engl. Grid connected ili OnGrid sustavi).

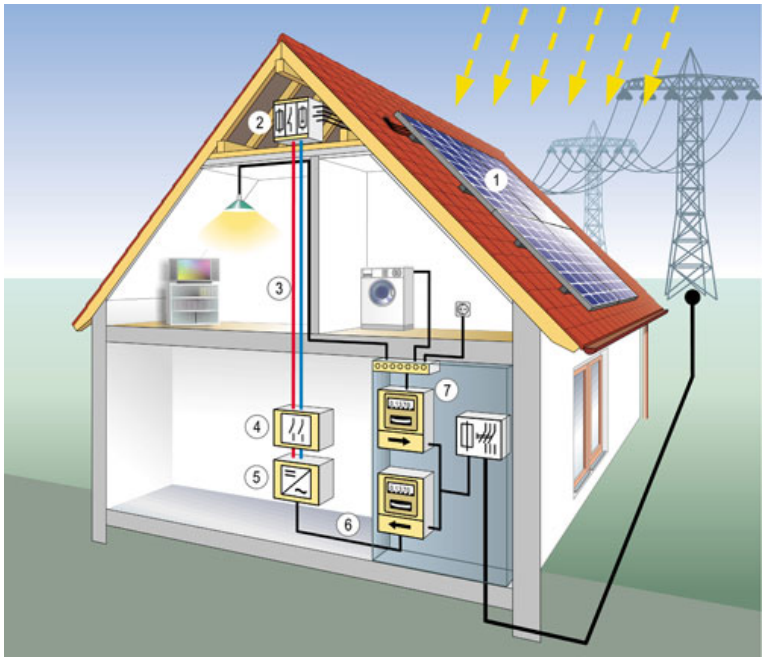
### 3.6.1. Mrežni FN sustavi (Grid connected)

Kao što i samo ime kaže, mrežni sustavi koriste javnu mrežu kao svojevrsni spremnik proizvedene energije, te za tu namjenu ne koriste akumulator. U tom slučaju, proizvedene viškove za vrijeme sunčanog vremena sustav predaje mreži na koju je spojen, dok je također u uvjetima manje ili nepostojeće osunčanosti iz mreže moguće pokriti manjkove proizvedene električne energije, ukoliko za time postoji potreba. Kod ovakvih tipova foto naponskih sustava, spajanje s mrežom može biti izvedeno na dva načina:

- Foto naponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije
- Foto naponski sustavi izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu

Kod prvog načina funkcioniranje sustava odgovara opisanom. Naime, proizvedena se električna energija iz solarne koristi za napajanje potreba kućanstva, dok se proizvedeni viškovi predaju javnoj mreži. Ista mreža pak služi i kao pričuva iz koje kućanstvo za svoje potrebe crpi energiju

u trenucima kada proizvodnja nije dostatna za pokrivanje energetskih potreba tog kućanstva (noć ili ostali periodi smanjene insolacije koja rezultira nedostatnom proizvodnjom električne energije).



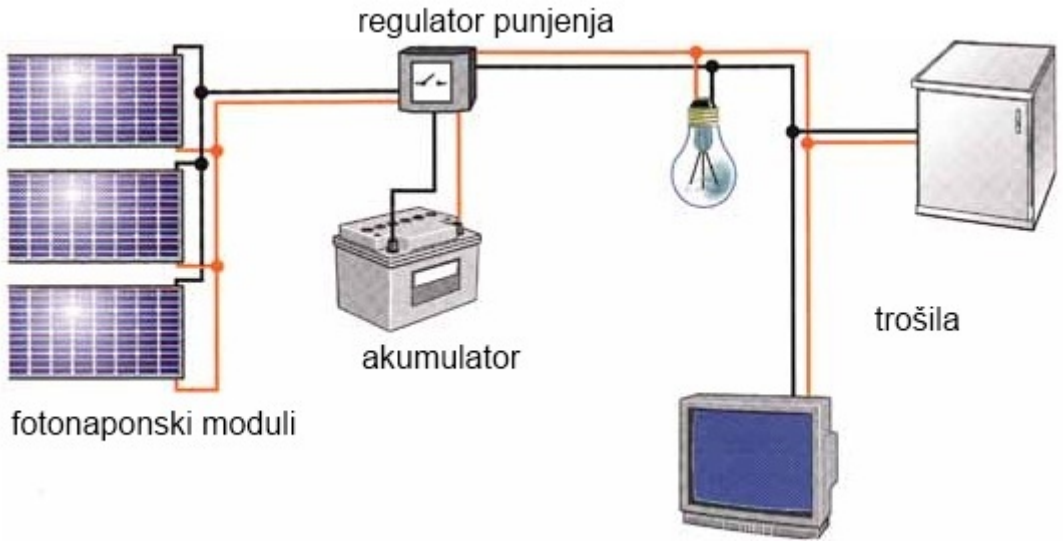

*Sl. 2.12. Primjer kućnog umreženog foto naponskog sustava [12]*

Kod drugog primjera se radi o, u pravilu, većim foto naponskim sustavima koji su izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu te svu proizvedenu električnu energiju predaju u elektroenergetski sustav. Takvi su sustavi izgrađeni na većim prostornim površinama, u blizini elektroenergetske mreže, a upravo ovakve tipove mrežnih solarnih sustava nazivamo „pravim" sunčanim elektranama. Trenutno je najveća sunčana elektrana priključena na javnu elektroenergetsku mrežu elektrana Sarnia (Ontario, Kanada) s instaliranom snagom od 80 MW, čija godišnja proizvodnja premašuje 120 000 MWh električne energije.

### 3.6.2. Autonomni FN sustavi (engl. Off grid)

Za razliku od mrežnih, autonomni ili samostalni foto naponski sustavi nisu priključeni na javnu mrežu, odnosno za svoj rad ne koriste druge alternativne izvore električne energije. Ti sustavi svoju primjenu nalaze na mjestima gdje ne postoji elektroenergetska mreža, pa samim time možemo reći da pružaju potpunu energetsku neovisnost. Samostalni solarni sustavi sastoje se od minimalno jednog solarnog modula koji je preko regulatora punjenja spojen na akumulator čija je uloga skladištenje proizvedene električne energije ukoliko istu želimo koristiti u trenucima kada istu nije moguće izravno proizvesti iz sunčeve energije (što su najćešće periodi noćnih sati ili periodi smanjenog intenziteta sunčevog zračenja). Na akumulator možemo

direktno spojiti istosmjerna trošila, a ako želimo koristiti neko izmjenično trošilo, tada između akumulatora i izmjeničnog trošila moramo spojiti pretvarač ili *inverter*, koji električnu energiju istosmjernog napona iz akumulatora (12 – 24 V) pretvara u onu izmjeničnog napona (220 – 230 V).




*Sl. 2.13. Prikaz autonomnog foto naponskog sustava [12]*

Iako smo pretvarače spomenuli samo u kontekstu samostalnih foto naponskih sustava, oni postoje i u mrežnim sustavima, ali im se funkcija uvelike razlikuje. Naime, kod mrežnih sustava pretvarači preuzimaju ulogu regulatora punjenja te osiguravaju sinkronizaciju između foto naponskih kolektora i mreže kojoj predaju proizvedenu energiju. Druga je pak razlika korištenje akumulatora, za kojim mrežni sustavi nemaju potrebe s obzirom na to da se višak proizvedene energije u tom slučaju skladišti u javnu mrežu.

# 4. PROCJENA PROIZVODNJE SUNČANIH ELEKTRANA JUG I ISTOK

Za procjenu vrijednosti proizvodnje smo odabrali dvije lokacije sunčanih elektrana: Sunčanu elektranu Jug i Sunčanu elektranu Istok. Iako smo razložili različite baze podataka iz kojih crpimo podatke za proračune unutar aplikacije, u nastavku će biti prikazani i korišteni proračuni za *Classic PVGIS* i *Climate PVGIS,* baze podataka dostupne u verziji 4 PVGIS aplikacije. Odabrana je usporedba posebno zanimljiva zbog toga što se proračun prema Classic bazi podataka bazira na podacima meteoroloških postaja, odnosno podataka prikupljenih na samoj Zemljinoj površini, dok je Climate baza podataka produkt satelitskih snimki.

## 4.1. Sunčana elektrana Jug

U ovom će potpoglavlju biti riječ o sunčanoj elektrani Jug u mjestu Stolac, Bosna i Hercegovina. Navedena se elektrana nalazi na  43.128979° sjeverne geografske širine i 17.90173° geografske dužine, a na visini od 249 metara nadmorske visine. Ondje postavljen PV modul ima snagu od 149,94  kWp, a korišteni je modul  588 x Kioto Photovoltaics KPV 255 ME NEC s kutom nagiba od 30 stupnjeva. Korišteni je inverter 6 Sunny Tripower 25000TL-3 te 1 SMA Cluster Controller.

### 4.1.1. Proračun prema Classic PVGIS bazi podataka

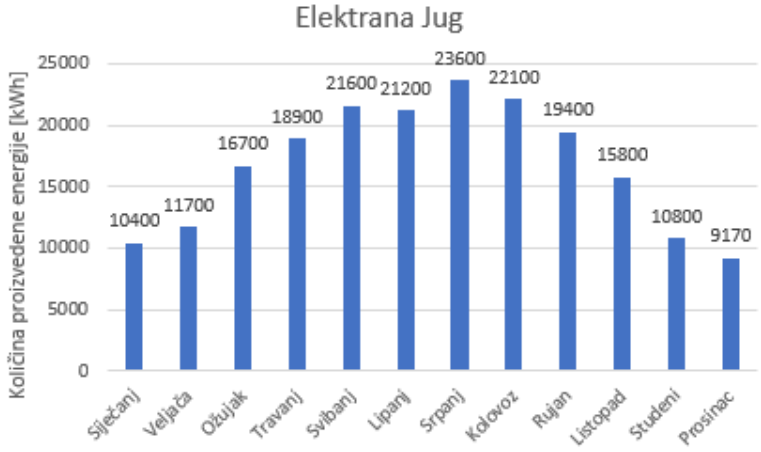
Navedene su vrijednosti unesene u sučelje PVGIS programa kako bismo dobili procjenu rezultata za elektranu Jug. Procijenjena godišnja proizvodnja prema Classic PVGIS bazi podataka iznosi  modelu iznos 201000 kWh.

U tablici 3.1. vidimo procjenu proizvodnje za pojedinačne mjesece, kao i prosječnu dnevnu proizvodnju, pri čemu stupac $E_d$ označava prosječnu dnevnu proizvodnju solarne elektrane u kWh, $E_m$ prosječnu mjesečnu proizvodnju danog sustava (također u kWh). $H_d$ označava prosječnu količinu dnevne insolacije, odnosno količinu sunčevog zračenja koju dani sustav primi po jedinici površine, što je izraženo u kWh/m$^2$. $H_m$ je pak ista mjera, no predstavlja mjesečni prosjek (također izražen u kWh/m$^2$).

*Tab. 3.1. Podaci o procjeni proizvodnje elektrane Jug prema Classic PVGIS bazi podataka*

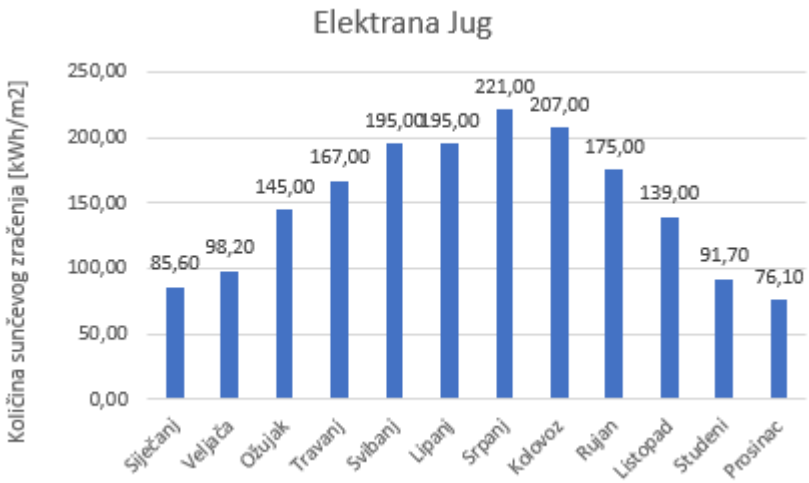
| **Sunčana elektrana Jug** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Mjesec** | **$E_d$** | **$E_m$** | **$H_d$** | **$H_m$** |
| Siječanj | 335.00 | 10400 | 2.76 | 85.6 |
| Veljača | 419.00 | 11700 | 3.51 | 98.2 |
| Ožujak | 540.00 | 16700 | 4.67 | 145 |
| Travanj | 630.00 | 18900 | 5.57 | 167 |
| Svibanj | 698.00 | 21600 | 6.29 | 195 |
| Lipanj | 705.00 | 21200 | 6.51 | 195 |
| Srpanj | 762.00 | 23600 | 7.12 | 221 |
| Kolovoz | 712.00 | 22100 | 6.67 | 207 |
| Rujan | 645.00 | 19400 | 5.84 | 175 |
| Listopad | 511.00 | 15800 | 4.48 | 139 |
| Studeni | 359.00 | 10800 | 3.06 | 91.7 |
| Prosinac | 296.00 | 9170 | 2.46 | 76.1 |
| **Godišnji prosjek** | **552** | **16800** | **4.92** | **150** |
| **Ukupno** | | **201000** | | **1790** |

Vidimo na slici 3.1. da je procijenjena količina proizvedene energije za siječanj 10.400 kWh, dok za veljaču procjena iznosi nešto viših 11.700 kWh. Maksimalan iznos dobivamo proračunom za srpanj, u kojem proizvodnja iznosi 23.600 kWh, a slijede ga kolovoz s 22.100 te lipanj s 21.200 kWh.




*Sl. 3.1. Procjena mjesečne proizvodnje elektrane Jug prema Classic PVGIS bazi podataka*

Na slici 3.2. pak vidimo procjenu količine sunčevog zračenja koje će navedeni solarni sustav primiti po mjesecima tijekom jedne godine. Možemo usporediti podatke slika 3.2. i 3.1. i zaključiti kako je upravo količina sunčevog zračenja kojeg PV sustav primi ključan element za računanje proizvodnje električne energije.




*Sl. 3.2. Procjena količine sunčevog zračenja po mjesecima za elektranu Jug prema Classic PVGIS bazi podataka*

Vidimo također prema grafu i tablici 3.1. da naša solarna elektrana primi najviše sunčevog zračenja u srpnju, a u istom mjesecu bilježi i najveću proizvodnju (odnosno, takvo je predviđanje PVGIS sustava prema Classic PVGIS bazi podataka).

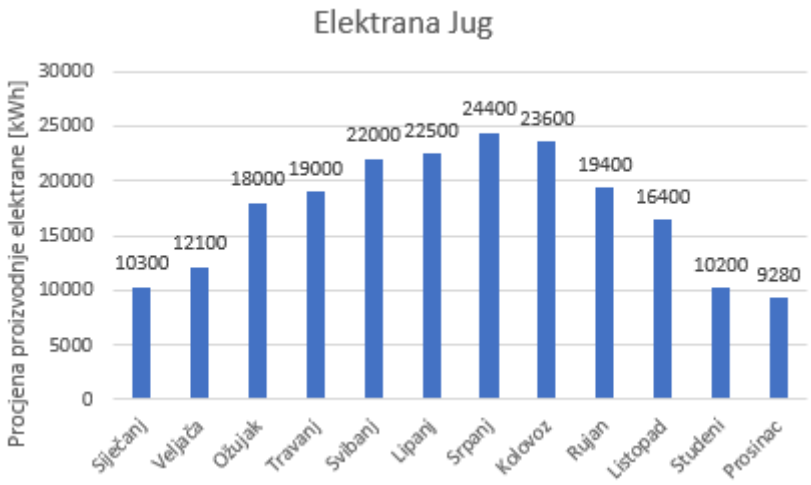
### 4.1.2. Proračun prema Climate PVGIS bazi podataka

Navedene su vrijednosti unesene u sučelje PVGIS programa kako bismo dobili procjenu rezultata za elektranu Jug. Procijenjena godišnja proizvodnja prema Climate PVGIS bazi podataka iznosi modelu iznos 207000 kWh.

*Tab. 3.2. Podaci o procjeni proizvodnje elektrane Jug prema Climate PVGIS bazi podataka*

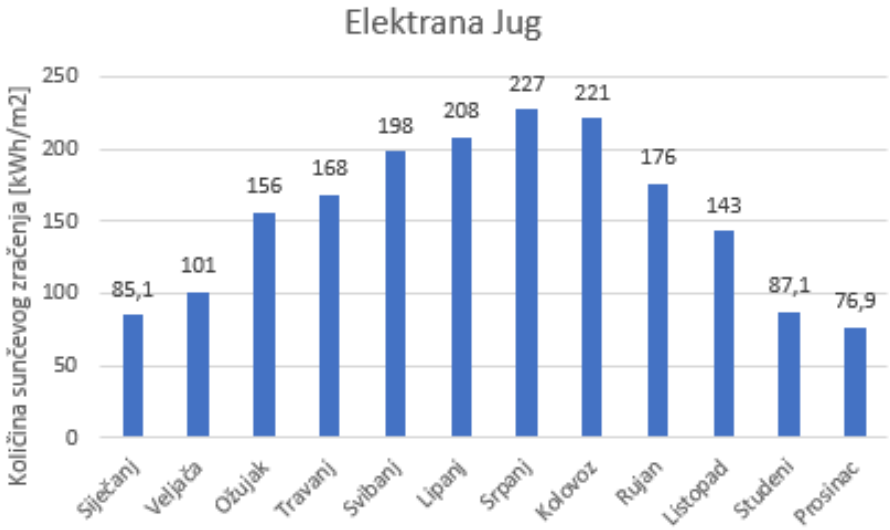
| **Sunčana elektrana Jug** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Mjesec** | **$E_d$** | **$E_m$** | **$H_d$** | **$H_m$** |
| Siječanj | 333.00 | 10300 | 2.74 | 85.1 |
| Veljača | 433.00 | 12100 | 3.62 | 101 |
| Ožujak | 582.00 | 18000 | 5.02 | 156 |
| Travanj | 635.00 | 19000 | 5.61 | 168 |
| Svibanj | 711.00 | 22000 | 6.39 | 198 |
| Lipanj | 751.00 | 22500 | 6.92 | 208 |
| Srpanj | 786.00 | 24400 | 7.33 | 227 |
| Kolovoz | 763.00 | 23600 | 7.13 | 221 |
| Rujan | 648.00 | 19400 | 5.87 | 176 |
| Listopad | 528.00 | 16400 | 4.62 | 143 |
| Studeni | 341.00 | 10200 | 2.90 | 87.1 |
| Prosinac | 299.00 | 9280 | 2.48 | 76.9 |
| **Godišnji prosjek** | **568** | **17300** | **5.06** | **154** |
| **Ukupno** | | **207000** | | **1850** |

Vidimo na slici 3.3. da je procijenjena količina proizvedene energije za siječanj 10.300 kWh, dok za veljaču procjena iznosi nešto viših 12.100 kWh. Maksimalan iznos dobivamo proračunom za srpanj, u kojem proizvodnja iznosi 24.400 kWh, a slijede ga kolovoz s 23.600 te lipanj s 22.500 kWh.




*Sl. 3.3. Procjena mjesečne proizvodnje elektrane Jug prema Climate PVGIS bazi podataka*

Na slici 3.4. pak vidimo procjenu količine sunčevog zračenja koje će navedeni solarni sustav primiti po mjesecima tijekom perioda od jedne godine. Možemo usporediti podatke slika 3.3. i 3.4. te kao i u prethodnom proračunu zaključiti kako je upravo količina sunčevog zračenja kojeg PV sustav primi ključan element za računanje proizvodnje električne energije.




*Sl. 3.4. Procjena količine sunčevog zračenja po mjesecima za elektranu Jug prema Climate PVGIS bazi podataka*

## 4.2. Sunčana elektrana Istok

Nakon proračuna za Sunčanu elektranu Jug ovom će poglavlju biti riječ o sunčanoj elektrani Istok u mjestu Stari Perkovci, Vrpolje u Republici Hrvatskoj. Navedena se elektrana nalazi na 45.225249° sjeverne geografske širine i 18.353836° istočne geografske dužine, te na visini od

94 metra nadmorske visine. Ondje postavljen PV modul ima snagu od 330 kWp, a korišteni je modul 0 x Kioto Photovoltaics KPV 250 PE NEC. Korišteni je inverter 15 Sunny Tripower 25000TLEE-10 te 1 SMA Cluster Controller s kutom inklinacije od 26°.

### 4.2.1. Proračun prema Classic PVGIS bazi podataka

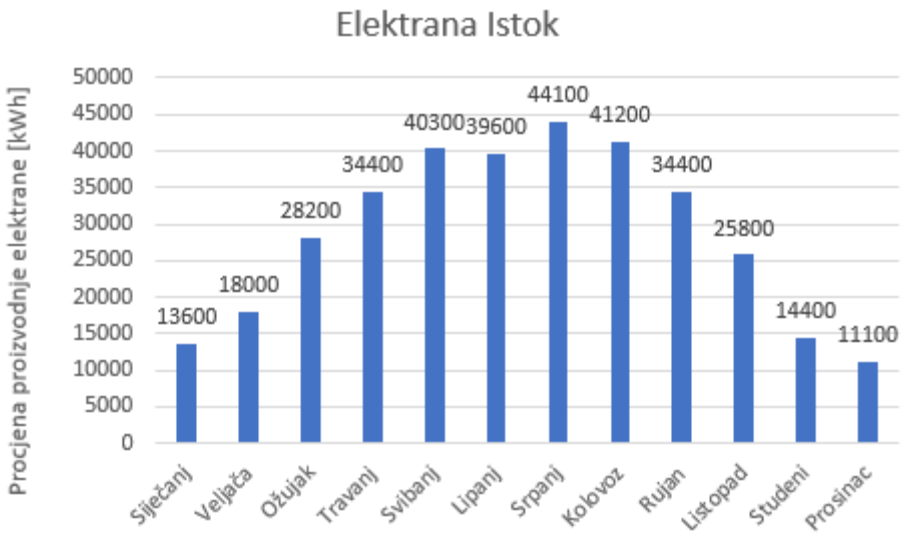
Navedene su vrijednosti unesene u sučelje PVGIS programa kako bismo dobili procjenu rezultata za Sunčanu elektranu Istok. Procijenjena godišnja proizvodnja prema Classic PVGIS modelu iznosi 345000 kWh.

*Tab. 3.3. Podaci o procjeni proizvodnje elektrane Istok prema Classic PVGIS bazi podataka*

| **Sunčana elektrana Istok; Inklinacija: 26°** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Mjesec** | **$E_d$** | **$E_m$** | **$H_d$** | **$H_m$** |
| Siječanj | 439.00 | 13600 | 1.62 | 50.1 |
| Veljača | 642.00 | 18000 | 2.38 | 66.6 |
| Ožujak | 910.00 | 28200 | 3.53 | 110 |
| Travanj | 1150.00 | 34400 | 4.60 | 138 |
| Svibanj | 1300.00 | 40300 | 5.31 | 165 |
| Lipanj | 1320.00 | 39600 | 5.52 | 165 |
| Srpanj | 1420.00 | 44100 | 6.00 | 186 |
| Kolovoz | 1330.00 | 41200 | 5.60 | 173 |
| Rujan | 1150.00 | 34400 | 4.65 | 139 |
| Listopad | 832.00 | 25800 | 3.26 | 101 |
| Studeni | 481.00 | 14400 | 1.82 | 54.5 |
| Prosinac | 358.00 | 11100 | 1.31 | 40.7 |
| **Godišnji prosjek** | **946** | **28800** | **3.81** | **116** |
| **Ukupno** | | **345000** | | **1390** |

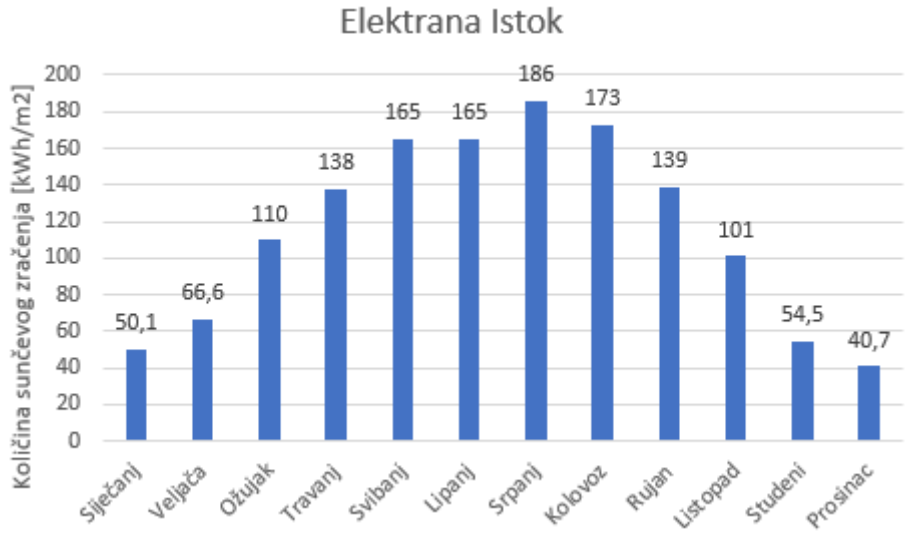
Procijenjena proizvodnja ove elektrane je veća od procijenjene proizvodnje elektrane Jug, što smatramo očekivanim s obzirom na veću snage postavljene elektrane na ovoj lokaciji.

U tablici 3.3. vidimo procjenu proizvodnje za pojedinačne mjesece, kao i prosječnu dnevnu proizvodnju, pri čemu stupci nose iste oznake kao i u prethodnima.




*Sl. 3.5. Procjena mjesečne proizvodnje elektrane Istok prema Classic PVGIS bazi podataka*

Na slici 3.5. možemo vidjeti da je procijenjena količina proizvedene energije za prosinac najmanja i iznosi tek 11.100 kWh, što je manje no minimalan iznos proizvodnje druge lokacije. Maksimalan iznos dobivamo, kao i za prvu lokaciju, za mjesec srpanj, u kojem proizvodnja iznosi 44.100 kWh, a slijede ga kolovoz s 41.200 kWh te svibanj s 40.300 kWh, što je različito od prethodne elektrane koja u svibnju nije ostvarivala značajnu proizvodnju, odnosno za nju ista nije predviđena. Vidimo da je, za razliku od mjeseci u hladnijem dijelu godine, proizvodnja u ljetnim mjesecima s više sunčanih sati gotovo dvostruko veća na ovoj lokaciji u usporedbi sa Sunčanom elektranom Jug.




*Sl. 3.6. Procjena količine sunčevog zračenja po mjesecima za elektranu Istok prema Classic PVGIS bazi podataka*

Na slici 3.6. pak vidimo procjenu količine sunčevog zračenja koje će navedeni solarni sustav primiti po mjesecima tijekom jedne godine za koju smo već ranije zaključili kako je ključan element procjene proizvodnje sunčane elektrane. Također primjećujemo kako se količine zračenja koju po jedinici površine primaju ove dvije elektrane ne razlikuju previše, stoga izvlačimo kako, osim količine izloženosti sunčevom zračenju, proizvodnja ponajviše ovisi o snazi PV modula koje postavljamo.

### 4.2.2. Proračun prema Climate PVGIS bazi podataka

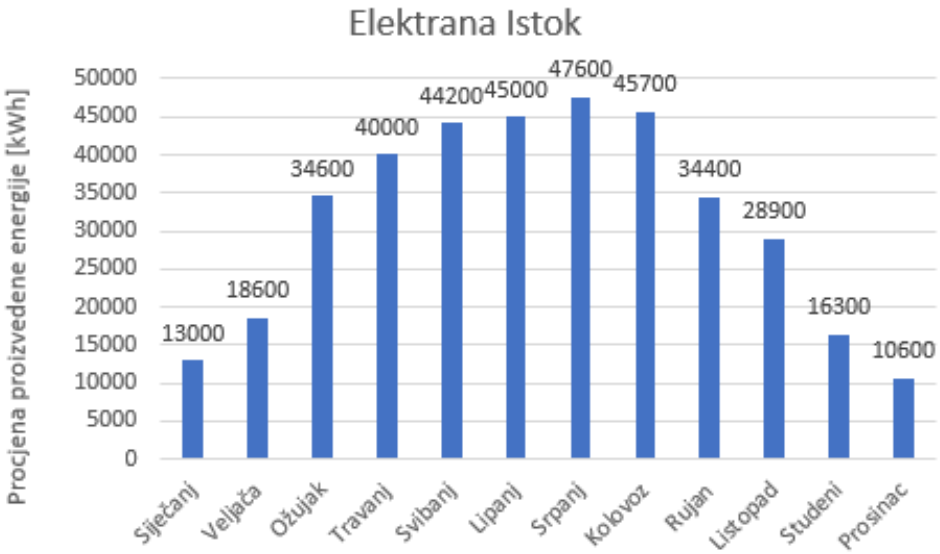
Navedene su vrijednosti unesene u sučelje PVGIS programa kako bismo dobili procjenu rezultata za Sunčanu elektranu Istok. Procijenjena godišnja proizvodnja prema Climate PVGIS modelu iznosi 379.000 kWh.

*Tab. 3.4. Podaci o procjeni proizvodnje elektrane Istok prema Climate PVGIS bazi podataka*

| **Sunčana elektrana Istok; Inklinacija: 26°** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Mjesec** | **$E_d$** | **$E_m$** | **$H_d$** | **$H_m$** |
| Siječanj | 418.00 | 13000 | 1.54 | 47.8 |
| Veljača | 666.00 | 18600 | 2.47 | 69.0 |
| Ožujak | 1110.00 | 34600 | 4.32 | 134 |
| Travanj | 1330.00 | 40000 | 5.34 | 160 |
| Svibanj | 1430.00 | 44200 | 5.82 | 180 |
| Lipanj | 1500.00 | 45000 | 6.24 | 187 |
| Srpanj | 1540.00 | 47600 | 6.47 | 200 |
| Kolovoz | 1480.00 | 45700 | 6.19 | 192 |
| Rujan | 1150.00 | 34400 | 4.66 | 140 |
| Listopad | 932.00 | 28900 | 3.64 | 113 |
| Studeni | 545.00 | 16300 | 2.06 | 61.7 |
| Prosinac | 340.00 | 10600 | 1.25 | 38.7 |
| **Godišnji prosjek** | **1040** | **31600** | **4.18** | **127** |
| **Ukupno** | | **379000** | | **1520** |

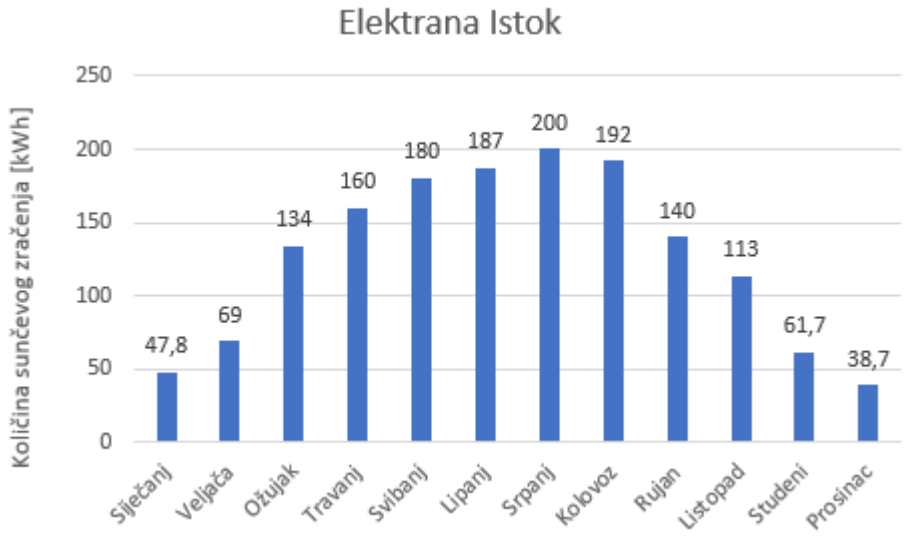
U tablici 3.4. vidimo procjenu proizvodnje za pojedinačne mjesece, kao i ostale podatke o izloženosti solarnih panela sunčevom zračenju, pri čemu stupci nose iste oznake kao i u

prethodnima. Zanimljivo je primijetiti odstupanje od procjene dvaju različitih baza podataka PVGIS sustava za Sunčanu elektranu Istok.




*Sl. 3.7. Procjena mjesečne proizvodnje elektrane Istok prema Climate PVGIS bazi podataka*

Na slici 3.7. možemo vidjeti da je procijenjena količina proizvedene energije najviša za srpanj, te iznosi 47.600 kWh, a slijede kolovoz i lipanj. Najmanja je procijenjena proizvodnja pak u prosincu, sa 10.600 kWh proizvedene energije.




*Sl. 3.8. Procjena količine sunčevog zračenja po mjesecima za elektranu Istok prema Climate PVGIS bazi podataka*

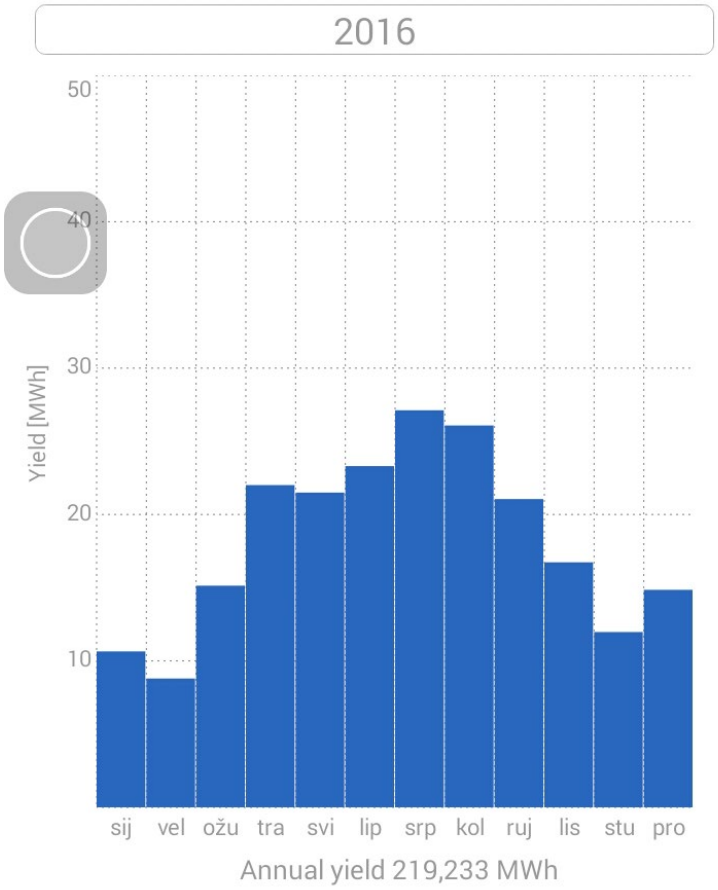
Na slici 3.8. pak vidimo procjenu količine sunčevog zračenja koje će navedeni solarni sustav primiti po mjesecima tijekom jedne godine.

# 5. USPOREDBA PREDVIĐANJA DOBIVENIH PVGIS SUSTAVOM SA STVARNIM PODACIMA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ SUNČANE ELEKTRANE

Nakon predstavljenih proračuna iz PVGIS aplikacije, u ovom ćemo poglavlju navedene usporediti sa stvarnim podacima o proizvodnji dvaju elektrana. Podatke o stvarnim proizvodnjama je ustupila tvrtka PVI d.o.o.

## 5.1. Sunčana elektrana Jug

Prema stvarnim podacima o količini sunčevog zračenja, kao i o količini proizvedene električne energije za 2016. godinu, sunčana elektrana na lokaciji Jug je ostvarila ukupnu proizvodnju električne energije od 219.233 kWh, s time da je najveća količina proizvedene energije ostvarena u srpnju. Omjere proizvodnje po mjesecima za čitavu godinu možemo vidjeti na slici 4.1. ispod.




*Sl. 4.1. Količina proizvedene energije u 2016. godini za lokaciju Jug*

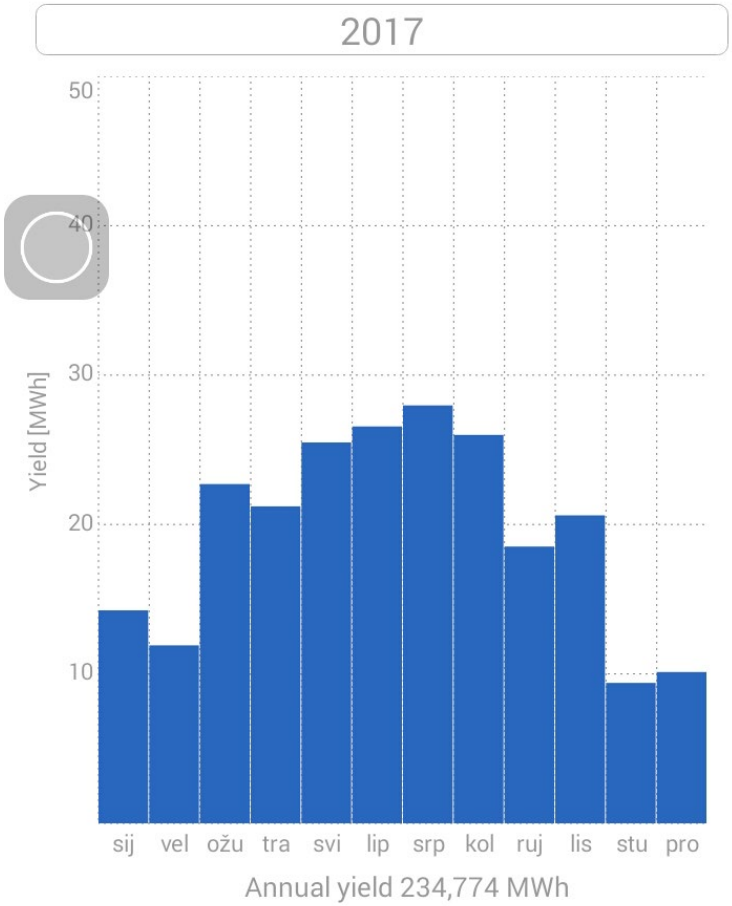
U tablici 4.1. možemo vidjeti podatke o stvarnoj proizvodnji elektrane Jug po mjesecima za 2016. godinu, kao i usporedbu istih s podacima iz prethodnog poglavlja, odnosno usporedbu s procjenom prema Classic i Climate PVGIS baza podataka, kao i odstupanje stvarnih rezultata od procjena.

*Tab. 4.1. Pregled podataka o stvarnoj proizvodnji lokacije Jug za 2016. godinu i odstupanja od procijenjenih vrijednosti*

| **Mjesec (2016.)** | Classic PVGIS procjena | Climate PVGIS procjena | Stvarna proizvodnja [kWh] | Odstupanje od Classic PVGIS procjene | Odstupanje od Climate PVGIS procjene |
|---|---|---|---|---|---|
| **Siječanj** | 10400 | 10300 | 10650 | 250 | 350 |
| **Veljača** | 11700 | 12100 | 8800 | -2900 | -3300 |
| **Ožujak** | 16700 | 18000 | 15140 | -1560 | -2860 |
| **Travanj** | 18900 | 19000 | 22000 | 3100 | 3000 |
| **Svibanj** | 21600 | 22000 | 21500 | -100 | -500 |
| **Lipanj** | 21200 | 22500 | 23300 | 2100 | 800 |
| **Srpanj** | 23600 | 24400 | 27100 | 3500 | 2700 |
| **Kolovoz** | 22100 | 23600 | 26080 | 3980 | 2480 |
| **Rujan** | 19400 | 19400 | 21000 | 1600 | 1600 |
| **Listopad** | 15800 | 16400 | 16700 | 900 | 300 |
| **Studeni** | 10800 | 10200 | 11980 | 1180 | 1780 |
| **Prosinac** | 9170 | 9280 | 14860 | 5690 | 5580 |
| **Ukupno** | **201000** | **207000** | **219110** | **18110** | **12110** |
| **Postotak** | | | | **8,10%** | **5,44%** |

Promatrajući ovu tablicu, zaključujemo kako je za elektranu Jug približnija bila procjena baze podataka Climate PVGIS, gdje je stvarna proizvodnja iznosila 12.110 kWh više od procijenjene vrijednosti. Zanimljivo je nadalje zamijetiti kako je najveće odstupanje zabilježeno za prosincu za obje procjene.

Posjedujemo i stvarne podatke o proizvodnji sunčane elektrane za 2017. godinu, a graf istih je vidljiv na sljedećoj slici 4.2. gdje se jasno vidi raspodjela količine proizvedene električne energije po pojedinim mjesecima, a ukupna proizvodnja za tu godinu iznosila je 234,774 MWh, a najviše je proizvedene električne energije zabilježeno u srpnju iste godine.




*Sl. 4.2. Količina proizvedene energije u 2017. godini za lokaciju Jug*

U tablici 4.2. možemo vidjeti odstupanja po pojedinim mjesecima za 2017. godinu na ovoj lokaciji. Zaključujemo jasno kako je ukupna proizvodnja za 2017. godinu bila viša no proizvodnja iste sunčane elektrane za 2016. godinu, te je odstupanje procjene od stvarne proizvodnje iznosilo 33.760 kWh za Classic bazu podataka (što u postotku iznosi 14,38% proizvedene vrijednosti), te 27.760 kWh (ili 11,82% procijenjene vrijednosti). Lako zaključujemo kako je odstupanje za 2017. godinu veće od odstupanja za 2016. godinu.

*Tab. 4.2. Pregled podataka o stvarnoj proizvodnji lokacije Jug za 2017. godinu i odstupanja od procijenjenih vrijednosti*

| **Mjesec (2017.)** | Classic PVGIS procjena | Climate PVGIS procjena | Stvarna proizvodnja [kWh] | Odstupanje od Classic PVGIS procjene | Odstupanje od Climate PVGIS procjene |
|---|---|---|---|---|---|
| **Siječanj** | 10400 | 10300 | 14180 | 3780 | 3880 |
| **Veljača** | 11700 | 12100 | 12170 | 470 | 70 |
| **Ožujak** | 16700 | 18000 | 22720 | 6020 | 4720 |
| **Travanj** | 18900 | 19000 | 21320 | 2420 | 2320 |
| **Svibanj** | 21600 | 22000 | 25460 | 3860 | 3460 |
| **Lipanj** | 21200 | 22500 | 26550 | 5350 | 4050 |
| **Srpanj** | 23600 | 24400 | 27780 | 4180 | 3380 |
| **Kolovoz** | 22100 | 23600 | 26100 | 4000 | 2500 |
| **Rujan** | 19400 | 19400 | 18550 | -850 | -850 |
| **Listopad** | 15800 | 16400 | 20480 | 4680 | 4080 |
| **Studeni** | 10800 | 10200 | 9200 | -1600 | -1000 |
| **Prosinac** | 9170 | 9280 | 10250 | 1080 | 970 |
| **Ukupno** | **201000** | **207000** | **234760** | **33760** | **27760** |
| **Postotak** | | | | **14,38%** | **11,82%** |

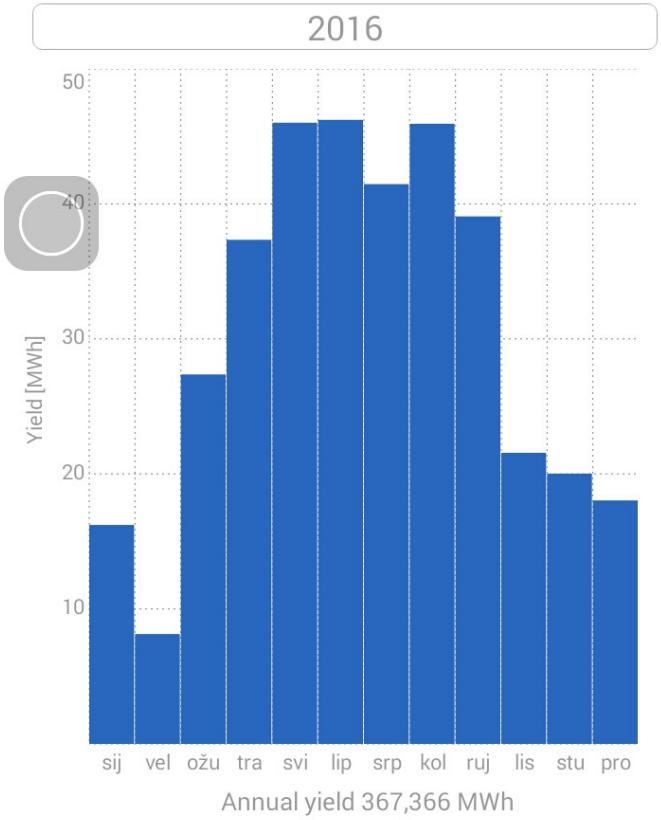
### 5.1.1. Odstupanja

Kada usporedimo podatke proračunate putem PVGIS aplikacije, i one dobivene stvarnim mjerenjima parametara na elektranama, vidimo da dolazi do određenih odstupanja, odnosno, proračunati iznosi ne odgovaraju u potpunosti onima koje pokazuju stvarni podaci s elektrane.

Kao što možemo vidjeti u tablici 4.1, od proračuna dobivenog PVGIS aplikacijom, stvarni podaci za 2016. godinu odstupaju samo za 18.110 kWh za Classic, te 12.110 kWh za Climate bazu podataka. U postotnom obliku, odstupanje za oba modela iznosi 8,10%, odnosno 5,44% od ukupne količine proizvedene energije, na temelju čega zaključujemo kako je odstupanje u navedenim modelima za ovu lokaciju minimalno. Odstupanja su nešto viša za period 2017. godine, gdje isti iznose 33.760 ili 27.760 kWh, odnosno 14,38 i 11,82% ukupne proizvedene vrijednosti za tu godinu.

## 5.2. Sunčana elektrana Istok

Prema stvarnim podacima o količini sunčevog zračenja, kao i o količini proizvedene električne energije za 2016. godinu, sunčana elektrana na lokaciji Istok je ostvarila ukupnu proizvodnju električne energije od 367.366 kWh, s time da je najveća količina proizvedene energije ostvarena u srpnju. Omjere proizvodnje po mjesecima za čitavu godinu možemo vidjeti na slici 4.4. ispod.




*Sl. 4.3. Količina proizvedene energije u 2016. godini za lokaciju Istok*

Također, u tablici 4.3. jasno možemo iščitati podatke o proizvodnji sunčane elektrane Istok za 2016. godinu po mjesecima, kao i procjenu proizvodnje PVGIS sustava. Za razliku od prve navedene lokacije u ovom radu, lokacije Jug, za ovu lokaciju nemamo dostupne podatke za 2017. i 2018. godinu, stoga ćemo usporedbu podataka izvršiti samo za 2016. godinu za koju su podaci u potpunosti dostupni.

*Tab. 4.3. Pregled podataka o stvarnoj proizvodnji lokacije Istok za 2016. godinu i odstupanja od procijenjenih vrijednosti*

| **Mjesec (2016.)** | Classic PVGIS procjena | Climate PVGIS procjena | Stvarna proizvodnja [kWh] | Odstupanje od Classic PVGIS procjene | Odstupanje od Climate PVGIS procjene |
|---|---|---|---|---|---|
| **Siječanj** | 13600 | 13000 | 15000 | 1400 | 2000 |
| **Veljača** | 18000 | 18600 | 8140 | -9860 | -10460 |
| **Ožujak** | 28200 | 34600 | 27370 | -830 | -7230 |
| **Travanj** | 34400 | 40000 | 37340 | 2940 | -2660 |
| **Svibanj** | 40300 | 44200 | 46010 | 5710 | 1810 |
| **Lipanj** | 39600 | 45000 | 46220 | 6620 | 1220 |
| **Srpanj** | 44100 | 47600 | 41460 | -2640 | -6140 |
| **Kolovoz** | 41200 | 45700 | 45930 | 4730 | 230 |
| **Rujan** | 34400 | 34400 | 39070 | 4670 | 4670 |
| **Listopad** | 25800 | 28900 | 21560 | -4240 | -7340 |
| **Studeni** | 14400 | 16300 | 18770 | 4370 | 2470 |
| **Prosinac** | 11100 | 10600 | 18030 | 6930 | 7430 |
| **Ukupno** | **345000** | **379000** | **364900** | 19900 | -14100 |
| **Postotak** | | | | **5,45%** | **-3,86%** |

### 5.2.1. Odstupanja

Kada usporedimo podatke proračunate putem PVGIS aplikacije, i one dobivene stvarnim mjerenjima parametara na elektranama, vidimo da dolazi do određenih odstupanja, odnosno, proračunati iznosi ne odgovaraju u potpunosti onima koje pokazuju stvarni podaci s elektrane. Za navedenu je lokaciju proračun iznosio 345.000 KWh prema Classic bazi podataka, odnosno 379.000 kWh prema Climate bazi podataka, što smo usporedili s dobivenim vrijednostima za 2016. godinu.

Kao što možemo vidjeti u tablici 4.3., od proračuna dobivenih PVGIS aplikacijom, stvarni podaci za 2016. godinu odstupaju za svega 19.900, odnosno za -14.100 kWh , što u postotnom smislu iznosi 5,45, odnosno 3,86% odstupanja od iznosa stvarne proizvodnje elektrane.

# 6. ZAKLJUČAK

Nakon obrade metoda i načina dolaska do proračuna putem PVGIS aplikacije, došli smo do proračuna koji su na godišnjoj razini dali iznos proizvodnje za lokaciju Jug u iznosu od 201.000 za Classic, odnosno 207.000 kWh za Climate PVGIS bazu podataka,

Usporedbom sa stvarnim podacima, a koji za lokaciju Jug u 2016. godini iznose 219.233 kWh, dolazimo do zaključka kako je aplikacija u proračunu „pogriješila“ za 8,10, odnosno za 5,44%, ovisno o modelu procjene. Za 2017. godinu, stvarna proizvodnja lokacije Jug iznosi 234.760 kWh, što je odstupanje od 33.760, odnosno 27.760 kWh (ovisno o modelu procjene), što je u postotnom smislu 14,38, odnosno 11,82% od ukopne proizvedene količine energije u 2017. godini

Za lokaciju Istok su također poznati podaci o proizvodnji za 2016. godinu, u kojoj je proizvodnja iznosila 367.366 kWh. Unošenje parametara o elektrani, dolazimo do zaključka kako je PVGIS aplikacija u proračunu za ovu elektranu imala pogrešku od 5,45%, odnosno 3,86% ukupne proizvedene vrijednosti električne energije (procijenjene vrijednosti su za ovu lokaciju bile 345.000 kWh, odnosno 379.000 kWh, ovisno o modelu procjene).Uzevši u obzir proračunate i stvarne podatke, zaključujemo kako je odstupanje proračunskih modela PVGIS sustava minimalno i za svaki od navedenih modela procjene manji od 15%.

# LITERATURA


[1] PVGIS, http://photovoltaic-software.com/pvgis.php (Dostupno: 1.7.2018.)

[2] Jurković, M. : Proračun solarnog zračenja u funkciji vremena i nagiba, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2009.

[3] Umihanić, M. , Ćehajić N. , Salihović N., Usporedna analiza proizvodnje električne energije fiksnih fotonaponskih sustava u različitim dijelovima BIH, Tehnički glasnik 9, 2(2015), str. 128-135, 2015.

[4] Ćehajić, N.: Pasivno korištenje sunčeve energije - Trombov zid, Tehnički glasnik, Vol. 7, No. 4 (2013) str. 363-370, 2013.

[5] Kulišić, P.; Vuletin, J.; Zulim, I.: Sunčane ćelije, Školska knjiga Zagreb, 1994.

[6] Nišević, N. : Hrvatski energetski sektor, Fakultet ekonomije i turizma „Dr. Mijo Mirković“, Pula, 2015.

[7] Mazurek, G. : Estimation of Solar Irradiation on Inclined Surface Based on Web Databases, Intl Journal of electronics and telecommunications, , Vol. 60, No. 4, 2014. , str. 315–320

[8] Majdandžić, Lj. Fotonaponski sustavi: priručnik. Zagreb: Tehnička škola Ruđera Boškovića, 2012.

[9] Vincek, S. , Cvitaš Lj., Sustav za nadzor i upravljanje pozicionera fotonaponskih ploča, Tehnički glasnik 8, 2(2014), str. 134-139, 2014.

[10] Planning and design of PV power plants , https://www.sma.de/fileadmin/Partner/Solaracademy/Downloads/EN/PV-Power%20Plants%203-Planning%20and%20Design_EN-124010_web.pdf (Dostupno: 1.7.2018.)

[11] Large-Scale Solar Power System Design, https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/large-scale-solar-power-system-design-an-engineering-guide-for-grid-connected-solar-power-generation (Dostupno: 30.6.2018.)

[12] Energija sunca, http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Sunce%20prezentacija.pdf (Dostupno: 30.6.2018.)

[13] Jackson, F.: Planning and installing Photovoltaic Systems, Green Dragon Energy, Berlin, October 2007.

[14] Labudović, B. : Osnovne primjene fotonaponskih sustava. Zagreb: Energetika marketing, 2009.

[15] Primorac M. : Ekonomska analiza primjene fotonaponskog sustava, Education for entrepreneurship, Vol 6, No. 2, 2016. , str. 125-132.

# SAŽETAK

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) je besplatni web servis koji omogućava korisniku pristup informacijama o sunčevom zračenju za gotovo bilo koje područje na Zemlji, kao i izračun proizvodnje električne energije solarnih elektrana. Nakon upoznavanja sa sustavom, proračune smo zatražili za dvije elektrane, lokaciju Jug i Istok, te dobili proračun od predviđenih 201 - 207 MWh za Jug, odnosno 345- 379 MWh proizvedene električne energije kroz godinu za Istok.

Nakon dobivenih proračuna, iste smo usporedili sa stvarnim podacima o proizvodnji elektrana za 2016. i 2017. godinu, te zaključili da se radi o odstupanju između 3,86 do čak 14,38% od stvarne količine proizvedene energije. Zaključujemo kako je na zadanom području ipak pouzdanija Climate PVGIS metoda jer je za naše podatke dala manja odstupanja u procjeni.

**Ključne riječi:** PVGIS, sunčana elektrana, sunčeva energija

# SUMMARY


## PREDICTION OF SOLAR POWER PLANT PRODUCTION USING PVGIS SYSTEM

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) is a free web service that allows the user access to solar radiation information for virtually any area of the Earth as well as the calculation of the power generation of solar power plants. After getting acquainted with the system, we asked for the calculations for two power plants, Jug and Istok, and got a of 201-207 MWh (for Jug) and 345-379 MWh (for Istok) of electricity produced over the year.

After the approximations were made by the PVGIS system, we compared the same with actual data on power generation for 2016 and concluded that it is a deviation of between 3,86 and 14,38% of the actual amount of energy produced. Although the deviation can be quite significant, we are able to conclude that for this geographical area, Climate PVGIS estimation gives better results, since the deviation percantage is lower than with the Classic PVGIS one.



**Key Words:** PVGIS, Solar power plant, Solar energy

# ŽIVOTOPIS

Blanka Bagić rođena 03. 02. 1990. u Gradačcu u Bosni i Hercegovini. 2004. godine upisuje Gimnaziju u Gradačcu, koju završava 2008. godine. Iste godine upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija pri Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Redovni diplomski studij procesnog računarstva završava 2018. godine, a za temu završnog rada uzima „Predviđanje proizvodnje sunčane elektrane upotrebom PVGIS sustava“ kod mentora Izv. prof. dr. sc. Damira Blaževića.

**Blanka Bagić**