

# Utjecaj položaja objekta i nagiba krova na integriranu FN elektranu

---

Rakić, Nika

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:618173>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



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

**Sveučilišni preddiplomski studij**

**UTJECAJ POLOŽAJA OBJEKTA I NAGIBA KROVA NA  
INTEGRIRANU FN ELEKTRANU**

**Završni rad**

**Nika Rakić**

**Osijek, 2023.**



**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 21.08.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Nika Rakić
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4874, 29.07.2020.
<b>OIB Pristupnika:</b>	87280748270
<b>Mentor:</b>	Prof.dr.sc. Marinko Stojkov
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Utjecaj položaja objekta i nagiba krova na integriranu FN elektranu
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Analizirati utjecaj položaja objekta odnosno orijentacije objekta obzirom na strane svijeta na očekivanu proizvodnju električne energije u FN elektrani instalirane snage 10 kW. Analizirati utjecaj nagiba krova na očekivanu proizvodnju električne energije. Uzeti u obzir i ovisnost o temperaturi, o stupnju korisnog djelovanja fotonaponskih panela odnosno FN sustava (moduli i izmjenivač). Načiniti tablični kalkulator
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	21.08.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	08.09.2023.
<b>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</b>	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije. Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 08.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Nika Rakić

**Studij:**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4874, 29.07.2020.

**Turnitin podudaranje [%]:**

14

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Utjecaj položaja objekta i nagiba krova na integriranu FN elektranu**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Marinko Stojkov

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:

## Sadržaj

<b>1.UVOD</b> .....	1
<b>1.1 . Zadatak završnog rada</b> .....	1
<b>2. FOTONAPONSKIH SUSTAVI</b> .....	3
<b>2.1. Solana energija i Sunce</b> .....	3
<b>2.2. Fotonaponske ćelije</b> .....	3
<b>2.3. Kategorije fotonaponskih ćelija</b> .....	4
<b>2.4. Fotonaponski modul</b> .....	6
<b>2.5. Fotonaponski sustavi i vrste</b> .....	7
<b>2.6. Učinkovitost fotonaponske ćelije</b> .....	9
<b>2.7. Baterije u fotonaponskom sustavu</b> .....	9
<b>3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA KUĆU</b> .....	12
<b>3.1. Programski paket PV Sol</b> .....	12
<b>3.2. Opis fotonaponske elektrane</b> .....	12
<b>4. UTJECAJ POLOŽAJA OBJEKTA NA INTEGRIRANU FOTONAPONSKU ELEKTRANU</b> ..	18
<b>4.1.Azimut ili orijentacija</b> .....	18
<b>4.2. Grafički dio</b> .....	19
4.2.1. Prikaz orijentacije istok-jug-zapad za nagib od 10° .....	19
4.2.2. Prikaz orijentacije istok-jug-zapad za nagib od 20° .....	23
<b>4.3. Analiza dobivenih rezultata</b> .....	27
<b>5. UTJECAJ NAGIBA KROVA NA INTEGRIRANU FOTONAPONSKU ELEKTRANU</b> .....	28
<b>5.1. Nagib modula na krovu</b> .....	28
<b>5.2. Grafički dio</b> .....	28
<b>ZAKLJUČAK</b> .....	34
<b>LITERATURA</b> .....	36
<b>SAŽETAK</b> .....	37
<b>ABSTRACT</b> .....	37
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	39



# 1.UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća, tehnologija je doživjela najveći razvoj te je sukladno tome došlo do porasta potražnje za energijom. Kako se već da zamijetiti postoje loši efekti izgaranja fosilnih goriva: suše, topljenje ledenjaka, poplave, oslobađanje polutanata, kisele kiše, nevrijeme. Fosilna goriva se pokušavaju zamijeniti obnovljivim izvorima energije. Za dobitak električne energije, sunce je prvi predstavnik.

Prednosti obnovljivih izvora energije potiču samo-potrošnju, neće ih ponestati u budućnosti, generiraju manje onečišćenja od neobnovljivih, niži troškovi i rizici. Kao i svi tehnički sustavi, oni imaju i svoje nedostatke. Mane obnovljivih izvora energije su: ovisnost o atmosferskim pojavama, potreban je velik prostor za proizvodnju, nije lako izvršiti skladištenje...

U zadnje vrijeme korištenje fotonaponskih sustava dolazi do iznimnog izražaja. Prednosti fotonaponskih sustava: smanjuje se korištenje neobnovljivih izvora energije, smanjuju se računi u kućanstvu, postiže se energetska neovisnost, ostvaruje se dugoročna štednja dok su nedostaci fotonaponskih panela sljedeći: veliki početni troškovi, ovisnost o sunčevoj svjetlosti, prostorno ograničenje...

## 1.1. Zadatak završnog rada

Analizirati utjecaj položaja objekta odnosno orijentacije objekta obzirom na strane svijeta na očekivanu proizvodnju električne energije u FN elektrani instalirane snage 10 kW. Analizirati utjecaj nagiba krova na očekivanu proizvodnju električne energije. Uzeti u obzir i ovisnost o temperaturi, o stupnju korisnog djelovanja fotonaponskih panela odnosno FN sustava (moduli i izmjenjivač). Načiniti tablični kalkulator (MS Excel) i usporediti dobivene rezultate sa nekim od uobičajeno korištenih softvera (PVSOL).





## 2. FOTONAPONSKIH SUSTAVI

### 2.1. Solarna energija i Sunce

Sunce je izvor svjetlosne i toplinske energije. Solarna energija dolazi od nuklearnih reakcija na površini Sunca. Jedna od nuklearnih reakcija je fuzija. Fuzija nastaje povezivanjem vodikovih atoma u helij te se također oslobađa veliki dio energije, [1].

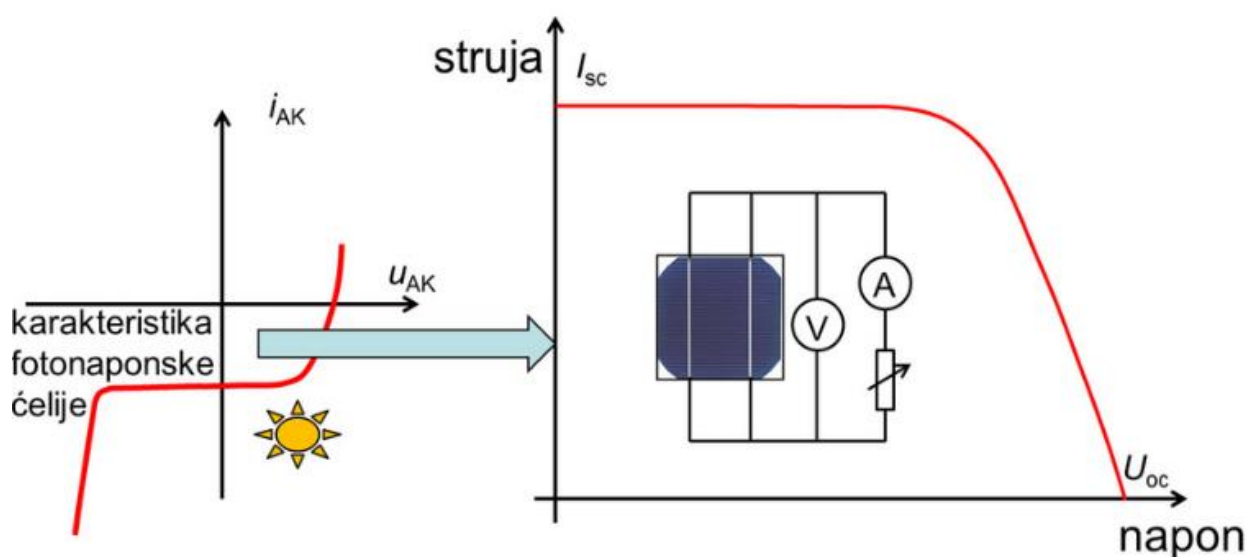
Gustoća oslobađanja velikog dijela energije naziva se sunčevo zračenje. Sunčevo zračenje ovisi o godišnjem dobu, vremenskim uvjetima, lokaciji, dobu dana. Na našem kontinentu se direktno iskorištava solarna energija, ali postoje problemi kod iskorištavanja: veliki troškovi investiranja, mala gustoća energetskog toka te oscilacije intenziteta zračenja, [1].

Zračenje solarne energije možemo mjeriti heliografom i piranometrom. Heliograf je uređaj koji mjeri vrijeme obasjavanja nezaklonjene plohe, dok je piranometar uređaj za mjerenje ukupnog zračenja na vodoravnoj plohi. Za korištenje energije zračenja u praksi bitna su mjerenja ukupnog, izravnog i difuznog zračenja vodoravne plohe. Mjeri se insolacija u satima, [1].

U prirodi, organska se solarna energija, na neprirodan način transformira u druge oblike energije (toplinska i električna). Sunce se iskorištava na različite načine: fotonaponske ćelije, solarni kolektori bez i s fokusiranjem Sunčeve energije, [1].

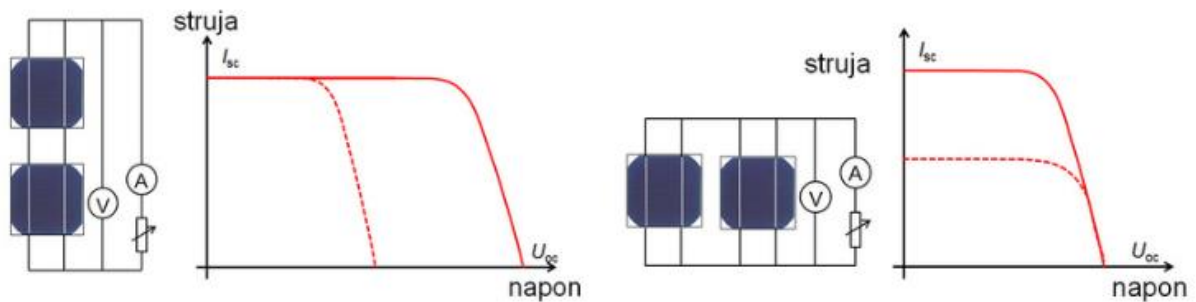
### 2.2. Fotonaponske ćelije

Fotonaponske ćelije su strujni izvori bazirani na fotonaponskom efektu koji se koriste za pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju. U odnosu na druge materijale, silicij kao fundamentalni materijal pri izradi fotonaponskih ćelija, prevladava s oko 98% , [2].



Slika 1. Grafički prikaz U-I karakteristike FN ćelije, [3]

U strujnom krugu fotonaponska ćelija ima ulogu koja se može prikazati nadomjesnom shemom. U nadomjesnoj shemi prikazan je izvor stalne struje koji označava ekvivalentni sklop za fotonaponsku ćeliju kada je osvijetljena, dioda, serijski i paralelni otpor. Paralelni otpor zavisi od kvaliteta fotonaponske ćelije, dok serijski otpor ovisi o načinu izrade i materijalu izrade fotonaponske ćelije, [4].



Slika 2. Grafički prikaz serijskog i paralelnog spajanja unutar strujnog kruga, [3]

### 2.3. Kategorije fotonaponskih ćelija

Osnovne kategorije fotonaponskih ćelija su: nanostrukturne, tankoslojne i hibridne ćelije te ćelije od kristalnog silicija. Danas se najčešće primjenjuju polikristalne ćelije silicija te monokristalne ćelije silicija. Dijelimo ih na kristalne fotonaponske ćelije i tankoslojne fotonaponske ćelije, [4].

Tankoslojne fotonaponske ćelije prave se tako da se na površinu od metala, plastike, stakla ili drugog materijala nanese sloj tankog fotoosjetljivog poluvodičkog materijala. Kada se prave tankoslojne ćelije dobiju se gotovi moduli za razliku od kristalnih ćelija. “Tanki film” je naziv koji se koristi za tankoslojne fotonaponske ćelije jer je ukupna debljina manja od rezanih kristalnih ćelija. Proizvodnja tankoslojnih fotonaponskih ćelija je održiviji način za korištenje i kraće je vrijeme povrata investicije te je samim time proizvodni proces jeftiniji i brži, ali mana mu je što je potrebna velika količina površine da se apsorbira svjetlost. Materijali za tanki film su poluvodički i sastoje se od: bakra, amornog silicija, polikristalnog silicija, kadmijevog telurida i indijevog selenida. Amorfni silicij je učinkovit 5-7% iako je njegova sposobnost apsorpcije 40 puta veća od sposobnosti apsorpcije kristalnog silicija, [4,5].



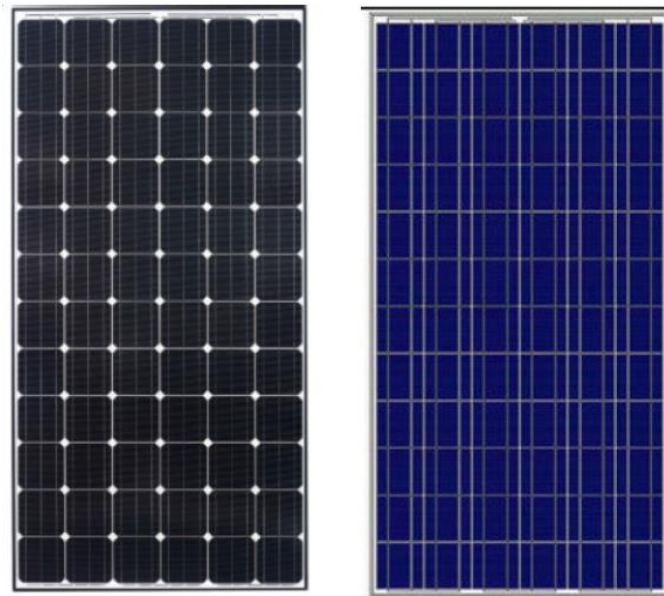
Slika 3. Tankoslojna fotonaponska ćelija, [6]

Nanostrukturne ćelije se proizvode od organskih i anorganskih stvari pomoću nanotehnologije, dok se hibridne ćelije proizvode mješavinom tehnoloških postupaka ćelija kristalnog silicija i od tankoslojnih ćelija te je iskoristivost hibridnih ćelija 20%, [4].

Podjela kristalnih fotonaponskih ćelija je na polikristalne i monokristalne.

Monokristalne fotonaponske ćelije proizvode se rezanjem monokristala silicija. Veličina promjera monokristalnog silicija je oko 30 centimetara, a duljina je nekoliko metara i režu se u tanke pločice. Po završetku rezanja slijedi difuzija fosfora, koju prati ugradnja električnih kontakata te implementacija antirefleksijskog sloja. Pretvorba monokristalnih fotonaponskih ćelija ima učinkovitost 15-18%. Prednost ovih fotonaponskih ćelija je u tome što je potrebna manja površina, dok je mana vrlo visok trošak, [4,5].

Polikristalne ćelije silicija proizvode se rezanjem polikristala silicija. U polikristalnoj ćeliji kristali su različito usmjereni. Blokovi takvih kristala režu se u šipke nakon takvog rezanja, režu se na pločice. Poslije rezanja kao i kod monokristalne ćelije slijedi difuzija fosfora, dodaju se električni kontakti i naposljetku dodaje se antirefleksijski sloj. Polikristalne ćelije nisu učinkovite kao monokristalne ćelije. Njihova učinkovitost je 13-17%. Prednost ovih fotonaponskih ćelija je u tome što su jeftinije, [4,5].



Slika 4. Grafički prikaz monokristalnih (lijevo) i polikristalnih (desno) FN panela, [6]

## 2.4. Fotonaponski modul

Fotonaponska ćelija osnovni je gradivni element koji stvara jako malu snagu (1-2 W), pri naponu iznosa oko 0,6 V. Pri primjeni, napon je izrazito nizak, čime se ukupni iznos izlazne snage i napona fotonaponskih ćelija u modulu povećava. Ćelije se spajaju u serijsko-paralelni spoj u modulu. Modul je izoliran od atmosferskih učinaka na način da su ćelije postavljene unutar kaljenog stakla te se ugrađuju u aluminijski okvir, [1].

Tehničke značajke fotonaponskih modula prenose se u tehničke značajke ćelije i definiraju se za standardizirane testne uvjete.

Za sve fotonaponske module potrebne su tehničke karakteristike pri standardnim testnim uvjetima:

- Nazivna vršna snaga  $P_{MPP}$  (kWp)
- Učinkovitost  $\eta$  (%)
- Napon praznog hoda  $U_{PH}$  (V)
- Struja kratkog spoja  $I_{KS}$  (A)
- Napon vršne snage  $U_{MPP}$  (V)
- Struja vršne snage  $I_{MPP}$  (A)

- Smanjenje snage zbog povećanja temperature  $\beta$  (W/°C) ili nekada u (%/°C)
- Smanjenje napona zbog povećanja temperature  $\alpha$  (%/°C)
- Dimenzije modula – duljina  $\times$  širina  $\times$  visina (mm  $\times$  mm  $\times$  mm)
- Masa  $m$  (kg), [7].

## 2.5. Fotonaponski sustavi i vrste

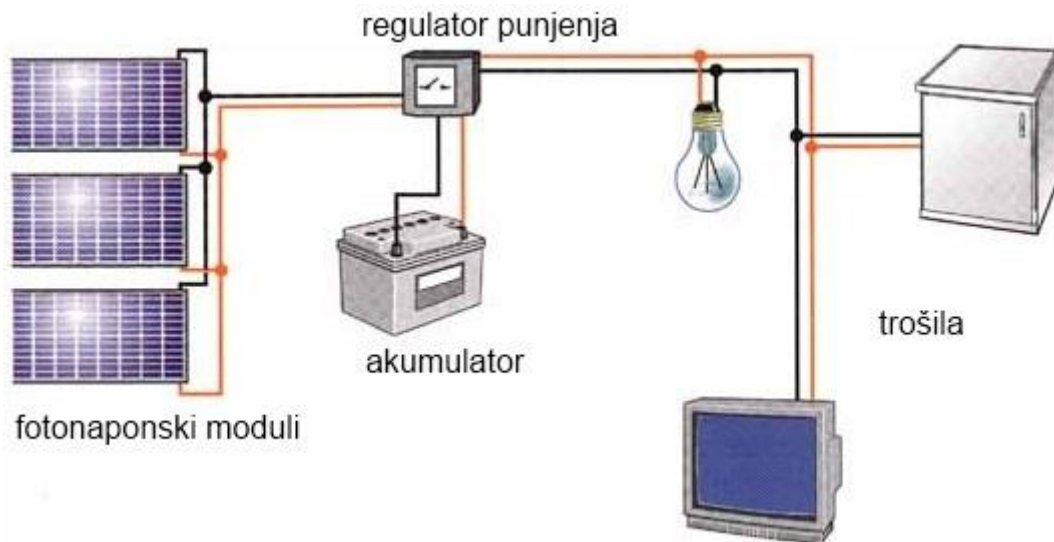
Fotonaponski sustavi u kojemu su moduli povezani serijski čine fotonaponski niz ili string. Zajedno s opremom čine fotonaponski sustav. Prema načinu rada fotonaponski sustavi mogu se razlikovati autonomni (samostojeći) fotonaponski sustavi i umreženi (mrežni) fotonaponski sustavi, [3].

Autonomni fotonaponski sustavi su elektrane koje individualno mogu opskrbiti potrošače bez spajanja na mrežu i njihov nužan uvjet je pokrivanje potrebe potrošača za električnom energijom u potpunosti. Proizvodnja varijabilna te ovisi o vremenskim prilikama. Zbog prirodnih faktora potrebno je imati baterije ili druge spremnike energije.

Osnovni dijelovi autonomnih fotonaponskih elektrana su:

- Baterije i/ili izmjenjivači
- Tragač maksimalne snage
- Regulator punjenja
- Kontrolna ploča

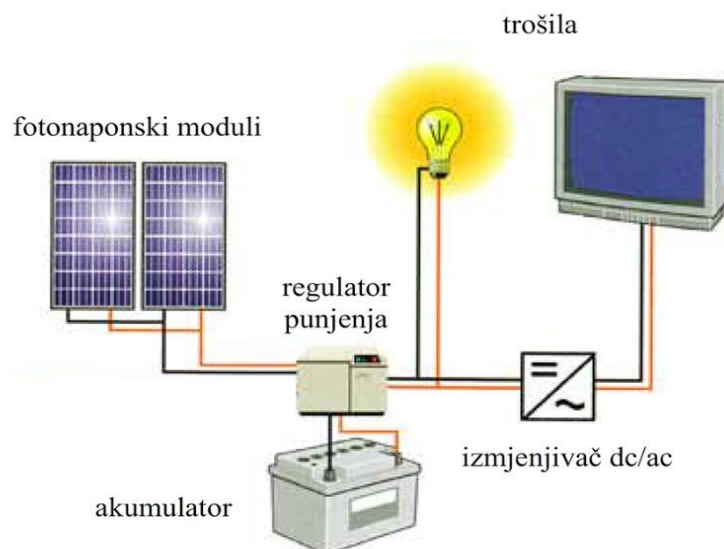
Autonomnom sustavu moguće je pridodati još jedan energetska izvor, npr. dizel agregat, vjetroagregat, gorivne ćelije. Oni se dodaju zbog visokih cijena baterija. Autonomni sustav zajedno s izvorom energije naziva se hibridni sustav, [4].



Slika 5. Autonomni fotonaponski sustav, [8]

Umreženi fotonaponski sustav je elektrana koja je spojena u elektroenergetsku mrežu. Spajanje u mrežu izvodi se pomoću izmjenjivača koji pretvara istosmjernu u izmjeničnu struju. Umreženom sustavu nepotrebni su punjači i baterije jer se sva izlazna snaga prenosi u mrežu putem brojila. Postoje tri oblika mrežnih fotonaponskih elektrana:

- Izvedbe s jednim izmjenjivačem
- Izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki naponski niz
- Izvedbe s više izmjenjivača, [4].



Slika 6. Umreženi fotonaponski sustavi, [9]

## 2.6. Učinkovitost fotonaponske ćelije

Razina korisnog djelovanja ili učinkovitost fotonaponske ćelije određena je kvocjentom električne snage koju ostvaruje fotonaponska ćelija i umnoškom površine fotonaponske ćelije i sunčevog zračenja:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{sol}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot A}$$

Gdje su:

- >  $P_{el}$  - Izlazna električna snaga
- >  $P_{sol}$  - Snaga zračenja (najčešće Sunčevog)
- >  $U$  - Efektivna vrijednost izlaznog napona
- >  $I$  - Efektivna vrijednost izlazne struje
- >  $E$  - Specifična snaga zračenja (npr. u  $W/m^2$ )
- >  $A$  - Površina

## 2.7. Baterije u fotonaponskom sustavu

Danas je širok spektar primjene fotonaponskih sustava:

- Mali sustavi (svjetleći prometni znakovi)
- Brodovi i letjelice sa solarnim panelima
- Manje elektrane na krovovima zgrada
- Velike solarne elektrane, [5].

Obavezno korištenje baterija je u autonomnom fotonaponskom sustavu, također se mogu koristiti u umreženom fotonaponskom sustavu.

U umreženom fotonaponskom sustavu koriste se kako bi smanjile trošak električne energije tijekom noćnog perioda (u RH nije dozvoljeno). Ispravan izbor baterija od izrazite je važnosti zbog različite energetske djelotvornosti baterija, isplativosti te pogodnosti skladištenja.



U fotonaponskim sustavima razlikuju se četiri vrste baterija:

- Olovna baterija s potopljenim ćelijama – najviše se koristi u fotonaponskim sustavima. Prednosti olovne baterije su sigurnost, pouzdanost i niska cijena, a nedostaci su sklonost koroziji i veličina, zahtjevnost.
- AGM (Absorbent Glass Mat) – jedna od vrsta olovne baterije. U bateriji postoje ploče koje se mogu smotati u spiralu ili biti ravne. Prednost AGM-a ogleda se u manjem unutarnjem otporu u usporedbi s olovnim baterijama s potopljenim ćelijama, otpornosti na temperaturu i dugotrajnosti. Dobro podnose hladnoću, lagane su, sigurne te nisu zahtjevne za održavanje. Njihov nedostatak je visoka cijena.
- Gel baterije - baterije koje koriste silicijev dioksid u svrhu zgrušavanja elektrolita. Nisu zahtjevne za održavanje, rezistentne na vibracije i udarce, pogodne su za ekstremne temperature, dugotrajane. Nedostatak ove baterije ogleda se u njejoj visokoj cijeni, manjem kapacitetu kapacitet u usporedbi s baterijama drugih oblika i fragilne su.
- Litij-ionske (LiFePO<sub>4</sub>) baterije – karakteristike su izvrsne, one su najbolje od svih gore navedenih, imaju veliki kapacitet, dugotrajan životni vijek, malih su dimenzija, lagane, imaju veliku učinkovitost, stabilne i sigurne, ne zahtijevaju puno održavanja. Nedostatak ovakvih baterija je visoka cijena, [5].

Kako birati baterije?

Bateriju biramo u ovih nekoliko koraka:

- Odrediti dnevnu ukupnu potrošnju energije - utvrditi ukupnu potrošnju električne energije objekta
- Odrediti vrijeme autonomije - koliko će baterija izdržati s jednim punjenjem
- Odrediti dubine pražnjenja – kapacitet energije za pražnjenje prije nego li je potrebno ponovno punjenje
- Određivanje napona sustava
- Računanje ispravne veličine baterije:

$$Baterija[Ah] = \frac{\frac{\text{dnevna potrošnja energije}[Wh] \cdot \text{vrijeme autonomije}[dan]}{\text{dubina pražnjenja}}}{\text{napon baterijskog sustava}[V]}$$

, [5]

## **3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA KUĆU**

### **3.1. Programski paket PV Sol**

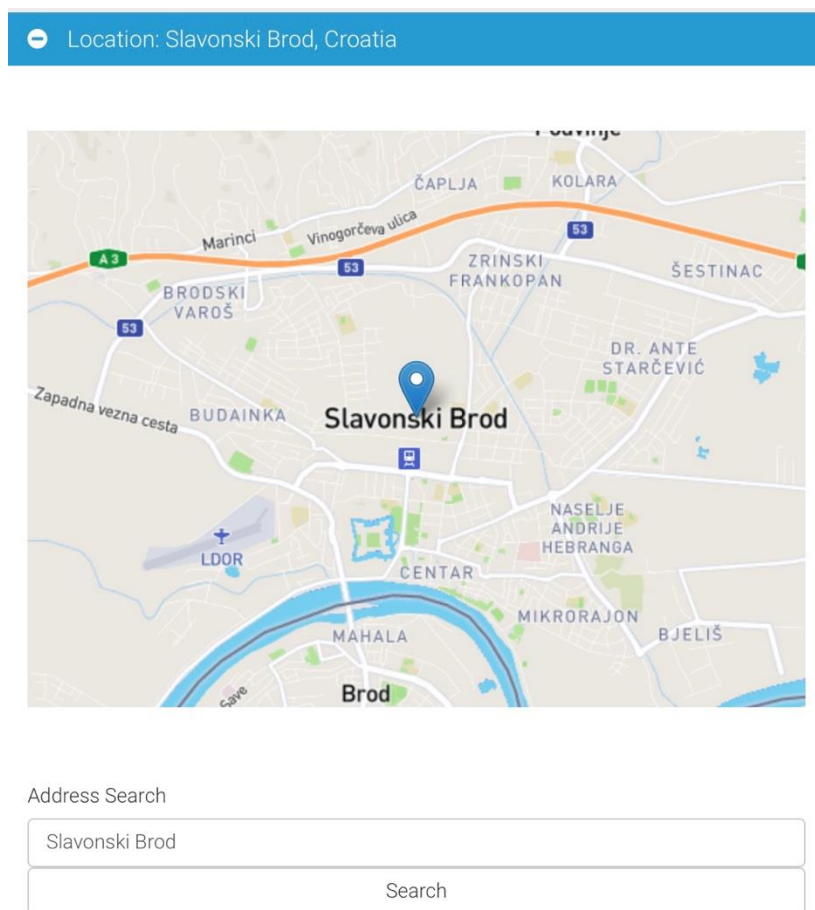
PV Sol programski je set tvrtke Valentin- software koji koristi pri projektiranju i simulaciji fotonaponskih sustava. PV\*Sol je dinamički simulacijski program za dizajn i optimizaciju fotonaponskih sustava u kombinaciji s uređajima, baterijskim sustavima i električnim vozilima. Projektirati se mogu sustavi od par modula sve do nekoliko tisuća modula. U programu ima više vrsta dizajna kojih možemo birati s obzirom na vrstu projekta koji je potreban. Program može računati vlastitu potrošnju, dizajnirati pohranu baterija i integrirati električna vozila. PV\*Sol je program koji generira visokokvalitetna projektna izvješća koja se mogu podesiti i uređivati prema potrebi. Mogu se izraditi i dijagrami strujnog kruga s potrebnim sigurnosnim uređajima, [10].

### **3.2. Opis fotonaponske elektrane**

Fotonaponska elektrana nalazi se u Slavonskome Brodu u Đuri Đakoviću. Namjena ova fotonaponske elektrane je za vlastite potrebe. Bilo je ugraditi postaviti novu fotonaponsku elektranu instalirane snage 10 kW na krovu zgrade. Moduli postavljeni na krovu zgrade su marke Jinko Solar njihova snaga iznosi 500 W i postavljeno je 20 komada. Instalacija panela je paralelna s dobrom zadnjom ventilacijom. Pretvarač koji se koristi je Huawei Technologies. Nagib krova je 10° dok se orijentacija mijenja od istoka prema zapadu za 10°.

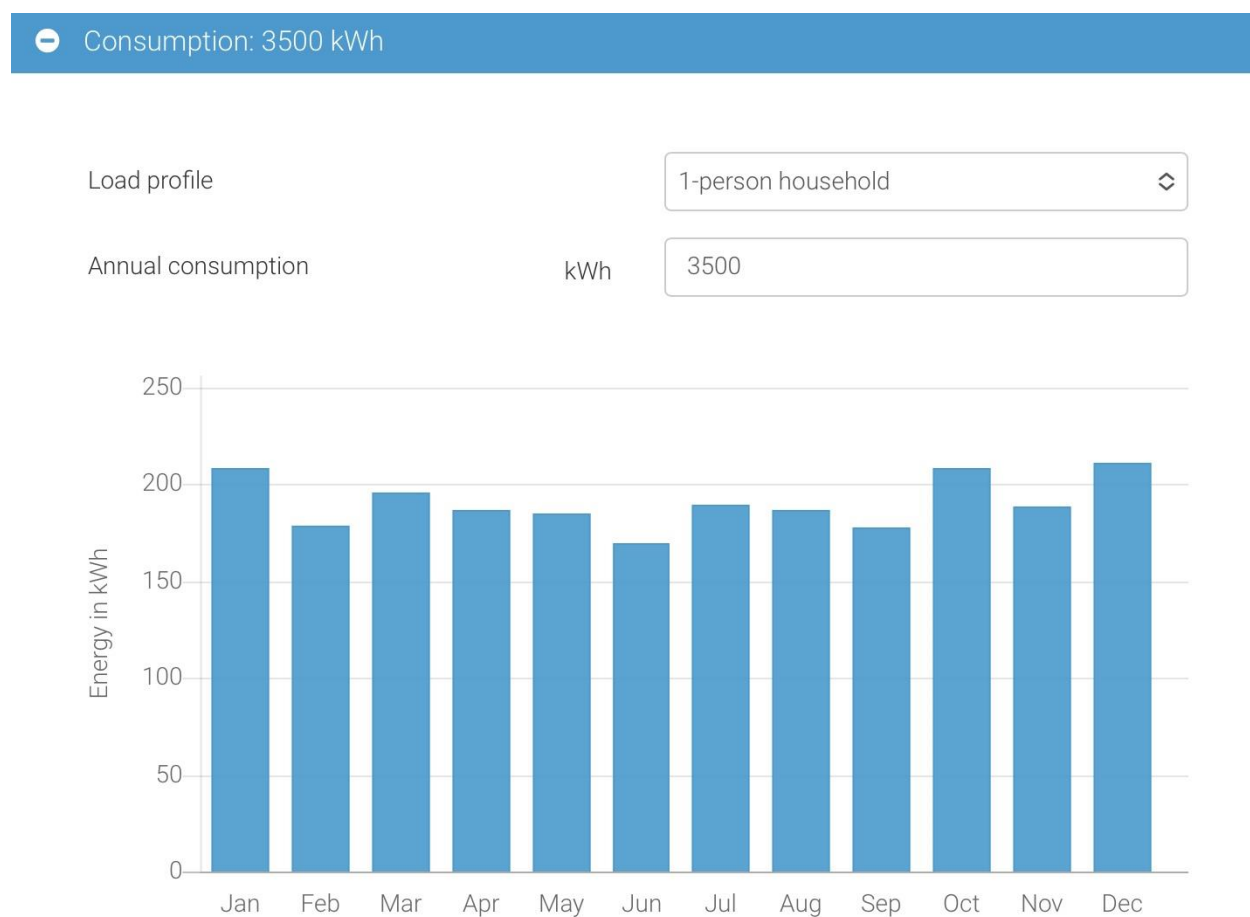
### 3.3. Izrada projekta u PV Solu

Izrada projekta u PV Solu pokreće se tako da se uključi početna stranica na kojoj se nalaze programski setovi, obavijesti i novosti programa. Započinjemo projekt tako što odabiremo PV Sol online. Nakon što se otvori stranica prvo se odabire lokacija PV elektrane. Lokacija se sastoji od adrese, države, grada. Lokacija fotonaponske elektrane je u Hrvatskoj u gradu Slavonskome Brodu, točnije na Đurinom mostu u ulici 108. brigade ZNG. Nakon upisivanja lokacije prikazuje se graf u kojemu imamo prikaz temperatura i zračenja kroz mjesece u godini. Najveće zračenje zabilježeno je u kolovozu. Zračenje u kolovozu iznosi 183kWh/m<sup>2</sup>. Temperatura je najveća u srpnju i iznosi 24°C.



Slika 7. Lokacija integrirane fotonaponske elektrane

Poslije upisivanja lokacije i pregledavanja godišnjeg zračenja i temperature za područje, nalazi se prozor u kojemu je prikazana proizvodnja. Ovaj prozor ostaje nepromijenjen. Iz grafa je vidljivo da je najveća proizvodnja u prosincu. Nakon toga se upisuju modeli modula koji pristaju uz snagu modula koja je zadana, njihova snaga, snaga može biti približna; broj komada modula te njihov nagib i orijentaciju na krovu. U ovome slučaju modeli marke Jinko Solar bili su najbliže snazi od 500kW. Snaga Jinko Solar modula iznosi 475 Wp. Broj modula je 20. Nagib ostaje nepromijenjen, dok se orijentacija mijenja od istoka prema zapadu po 10°. Korišteni su nagibi od 10°, 20°.



Slika 8. Godišnja potrošnja integrirane fotonaponske elektrane

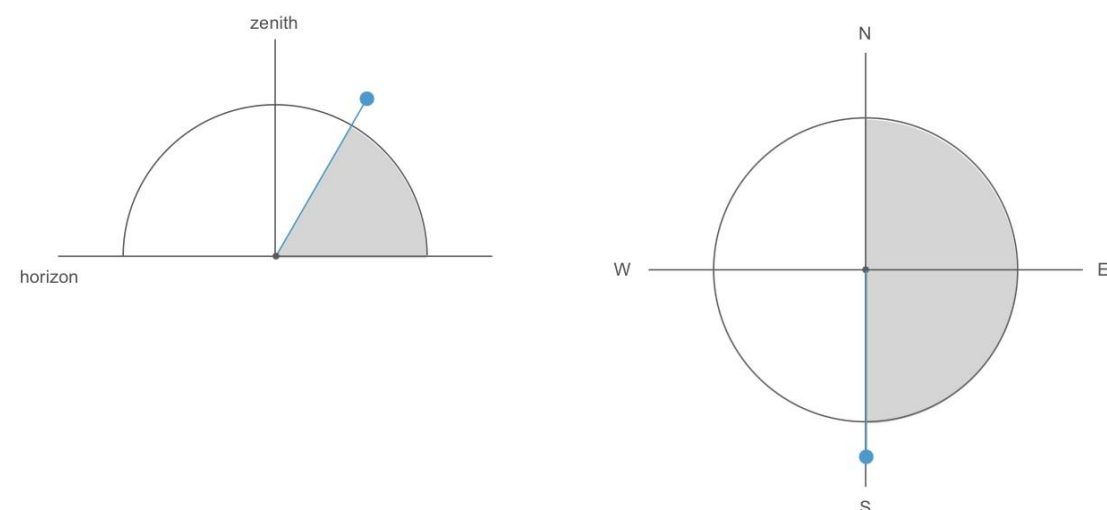
Jinko Solar

**i** P: 475 Wp,  $\eta$ : 21.16 %, Type: mono

No. of Modules

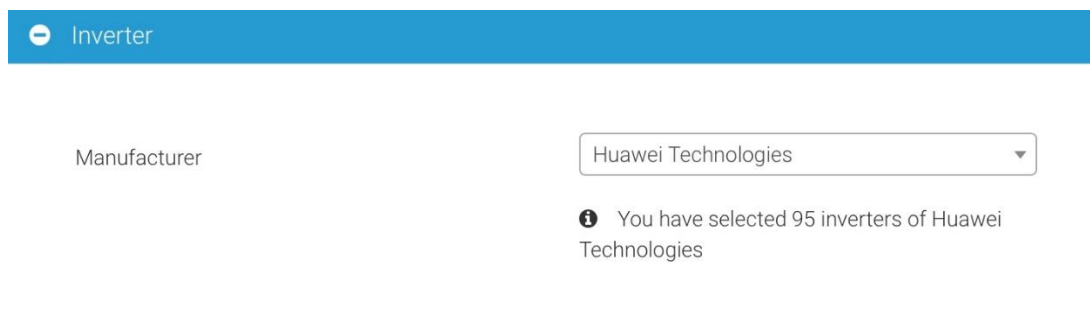
Total PV power 9.5 kWp

Inclination °  Orientation °



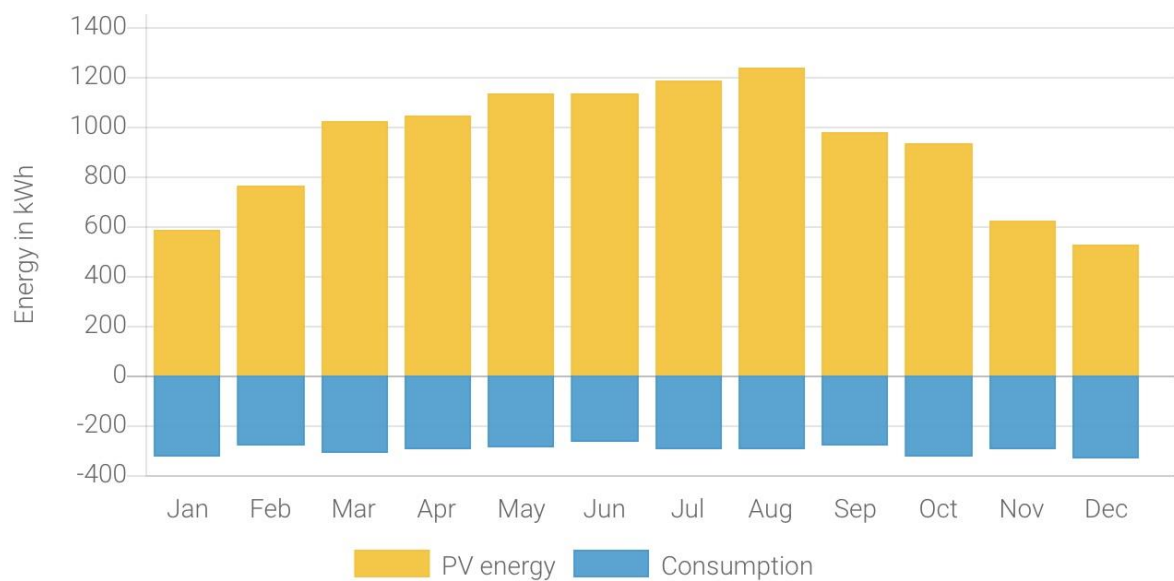
Slika 9. Model i količina modula, nagib i orijentacija objekta

Pretvarač je marke Huawei Technologies. Kada se popune svi prazni pravokutnici, simulacija se pokrene.

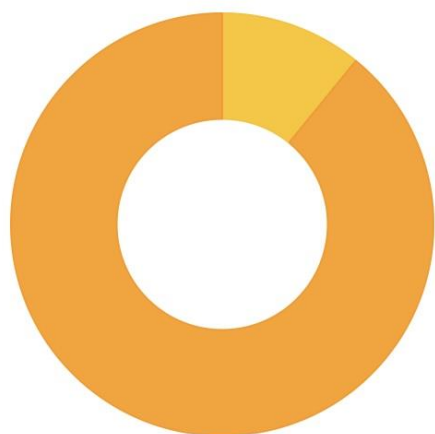


Slika 10. Pretvarač korišten u ovom zadatku

Kada se simulacija pokrene, otvori se drugi prozor sa rezultatima. U ovome prozoru nalaze se tri grafa. Prvi graf prikazan na Slici 10. predstavlja proizvedenu energiju po mjesecima u godini. Žutom bojom prikazana je energija po mjesecima, dok je plavom bojom prikazana potrošnja po mjesecima. Iz priloženih grafova vidljivo je kako je najveća energija u srpnju, dok je najveća potrošnja u prosincu. Drugi graf prikazan na Slici 10. prikazuje koliko se od vlastite proizvodnje potroši unutar objekta, odnosno koliko odlazi u mrežu. Također, iz grafa je vidljivo kako 12,6% odlazi na vlastitu potrošnju, a ostatak odlazi u mrežu. Treći graf prikazan na Slici 10. Daje prikaz potrošnje, to jest, koliko potrošnje je pokriveno fotonaponom, a koliko mrežom. Samom mrežom pokriveno je 36%, a ostatak je pokriven fotonaponom. Na samom kraju toga prozora numerički su ispisane sve vrijednosti, uz dodatak vrijednosti izbjegnute emisije ugljikovog dioksida, koja u ovome slučaju iznosi 5339kg po godini.

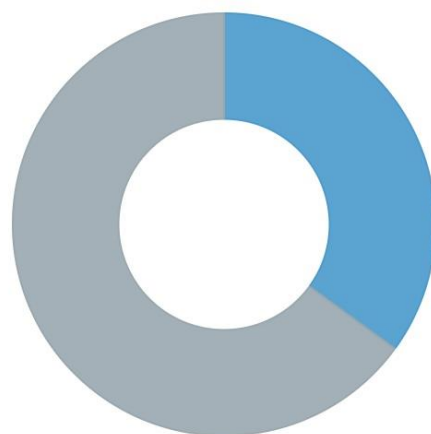


**PV energy 11233 kWh**



Own consumption    Grid feed-in

**Consumption 3500 kWh**



covered by PV    covered by grid

**Slika 10. Rezultati dobiveni za integriranu fotonaponsku elektranu**



## 4. UTJECAJ POLOŽAJA OBJEKTA NA INTEGRIRANU FOTONAPONSKU ELEKTRANU

### 4.1. Azimut ili orijentacija

Azimut ili orijentacija modula prema jugu jako je bitan čimbenik u korištenju energije iz Sunca. Različite orijentacije modula postižu se različitim kutovima. Promjena kuta utječe direktno na spektar važnog zračenja koji modul apsorbira. Spektar je učinak na potencijal energije koji modul može primiti te predati trošilima na izlazu.

Najizloženiji modul sunčevom zračenju će postići najveću energetska vrijednost. Učinkovitost fotonaponskih modula je 25% pa je zbog toga poželjno minimalizirati gubitke u ostatku procesu. Proces započinje pri izlaganju Suncu, jer se pri samom početku odabere orijentacija modula koje će biti izložena maksimalnom direktnom zračenju modul izlagati što većem direktnom zračenju, odnosno najmanjem raspršenom zračenju.

Kut incidencije ( $\theta$ ) je kut koji zatvara smjer sunčevog zračenja na tu površinu i normala na tu površinu, to jest, modul. Ako je potrebna veća proizvodnja onda kut između normale modula i sunčevog zračenja treba biti manji. Kako bi se kut incidencije podudarao s normalom na modul neophodno je utvrditi kombinaciju nagiba i orijentacije. U ovome primjeru zračenje je direktno te postoji najveći potencijal za proizvodnju električne energije.

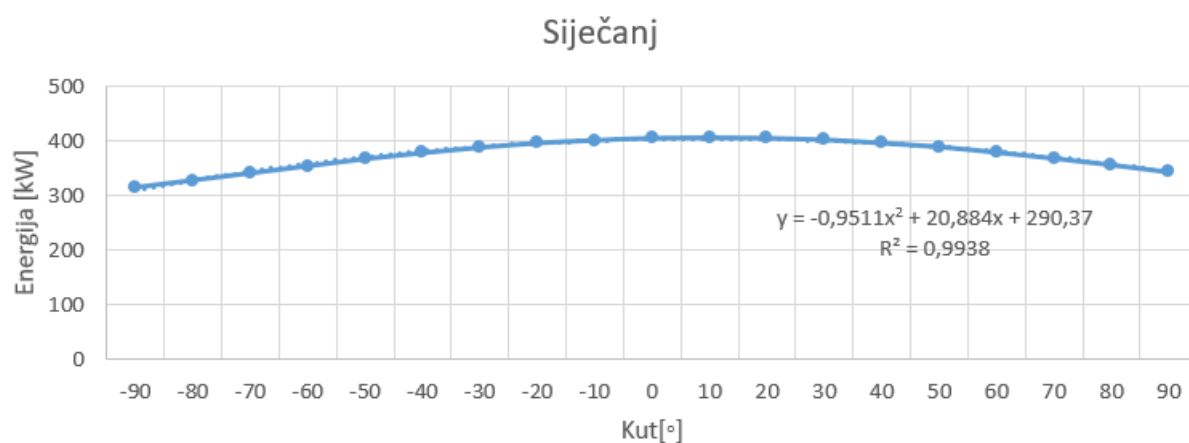
$$\cos\theta = \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega$$

Ako je situacija idealna, modul bi trebao pratiti putanju Sunca. Sustav u kojem modul prati sustav naziva se dvoosni sustav jer pomiču svoju orijentaciju i nagib. Promatrajući aspekt orijentacije, on može povećati dnevnu proizvodnju zakretanjem oko osi, a promatrajući aspekt nagiba, najveći doprinos vidljiv je u povećanju proizvodnje energije tijekom sezone, [11,12].

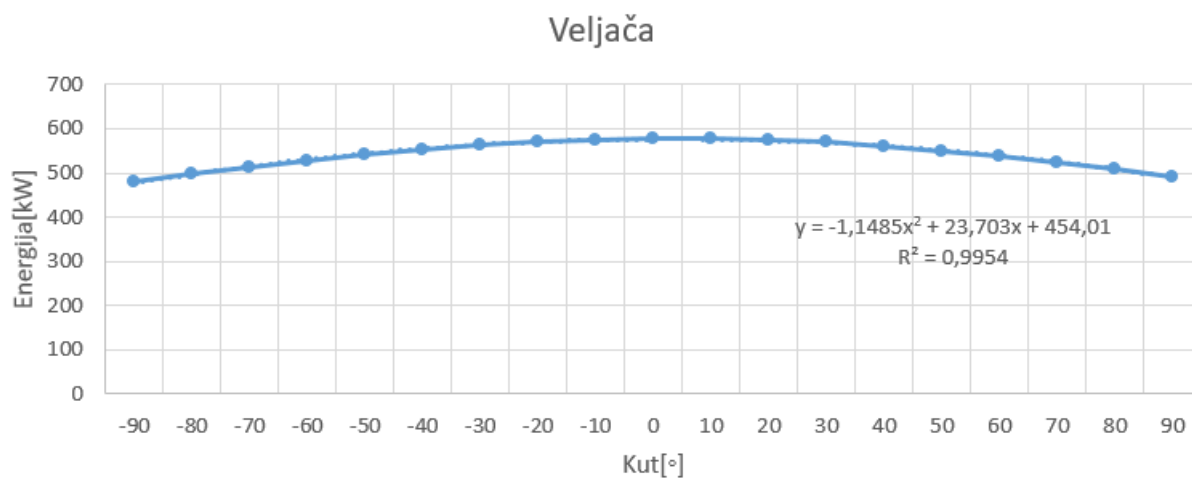
## 4.2. Grafički dio

### 4.2.1. Prikaz orijentacije istok-jug-zapad za nagib od 10°

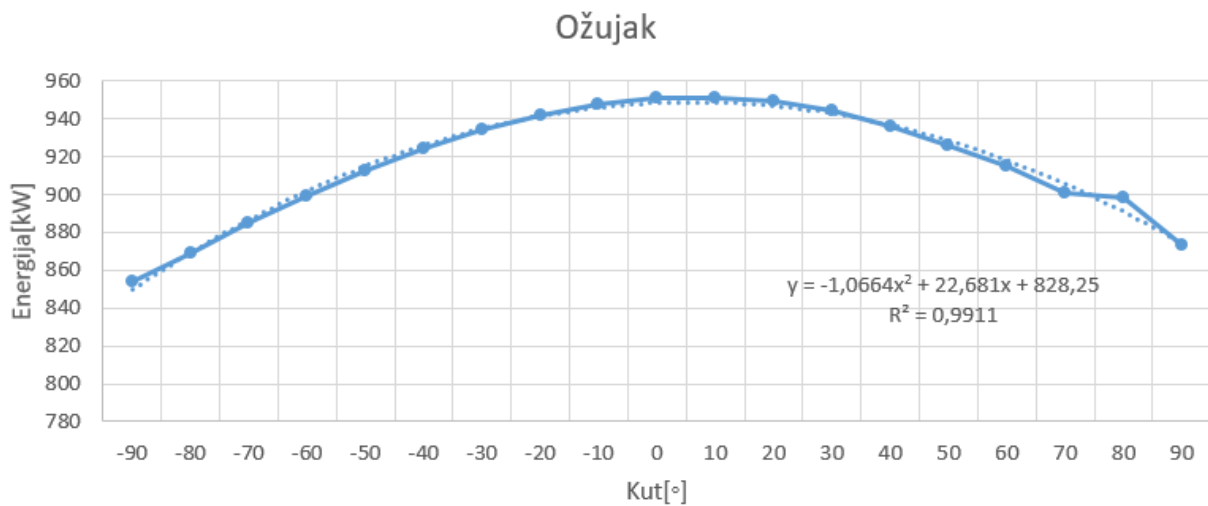
Program PV Sol nudi prikaz godišnje potrošnje za određenu orijentaciju. Naredni grafovi prikazivat će za određeni mjesec sve moguće orijentacije.



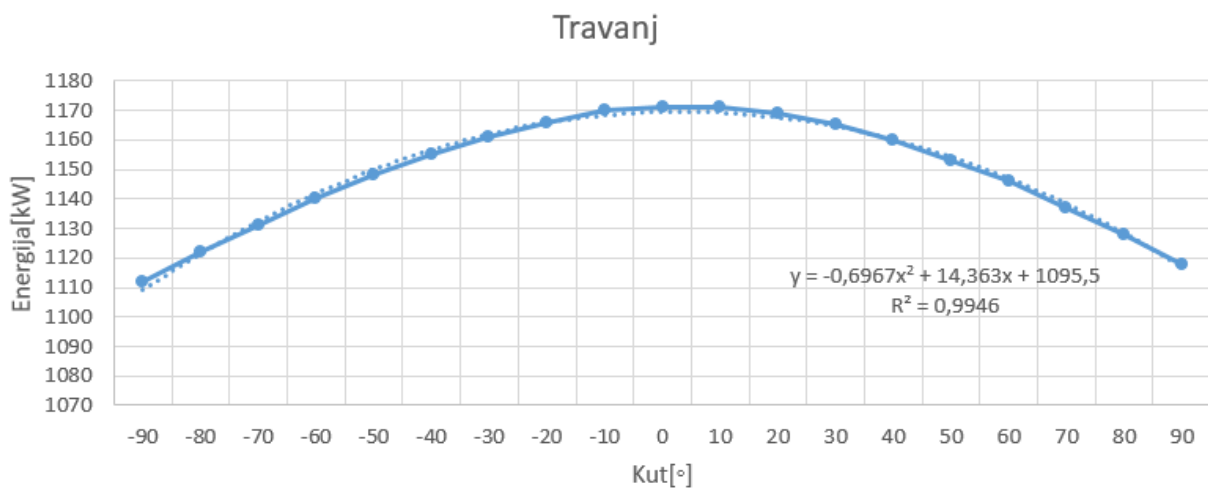
Graf 1. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u siječnju



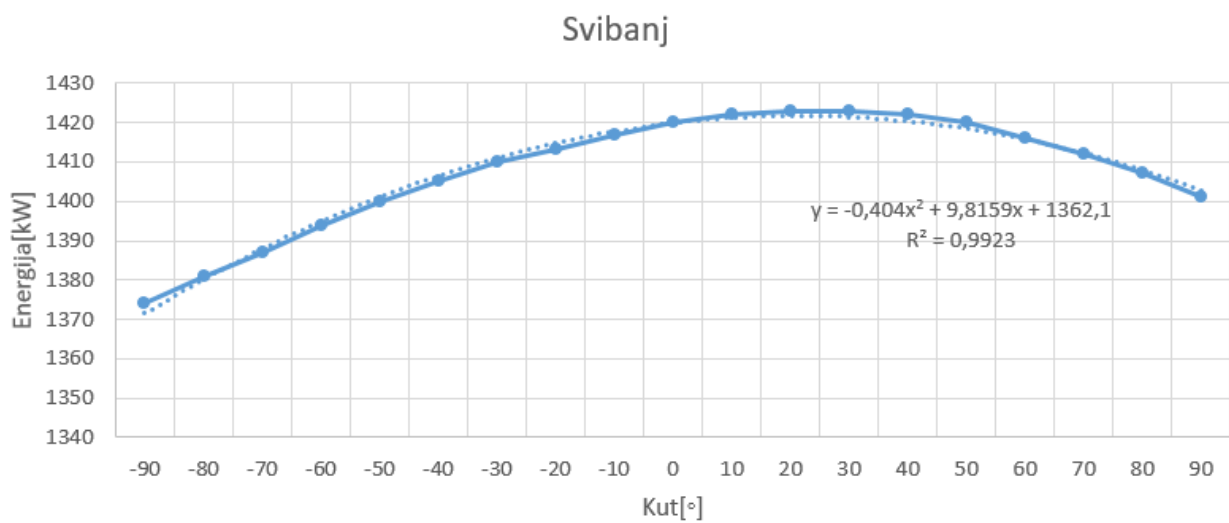
Graf 2. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u veljači



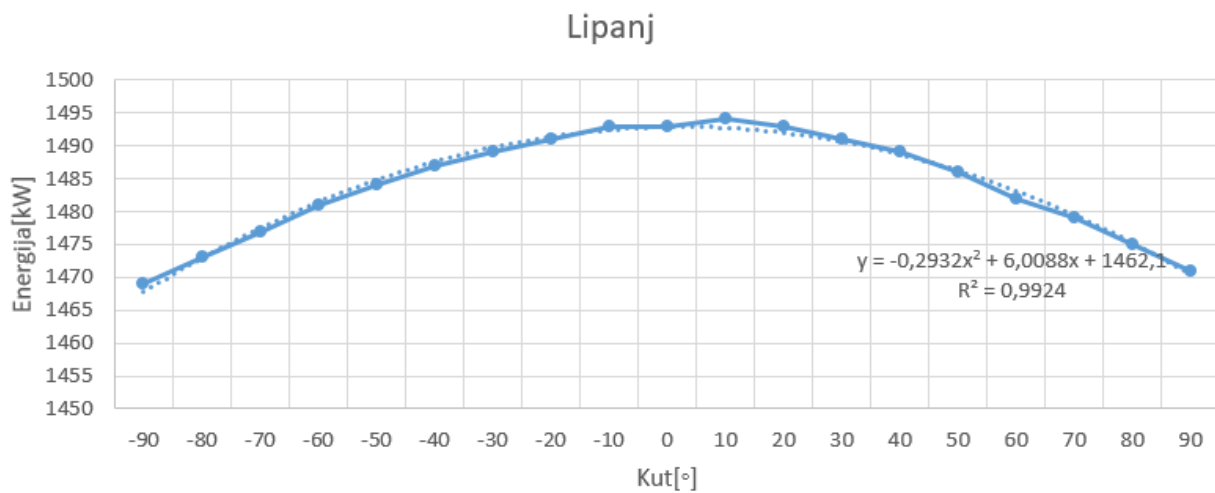
Graf 3. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u ožujku



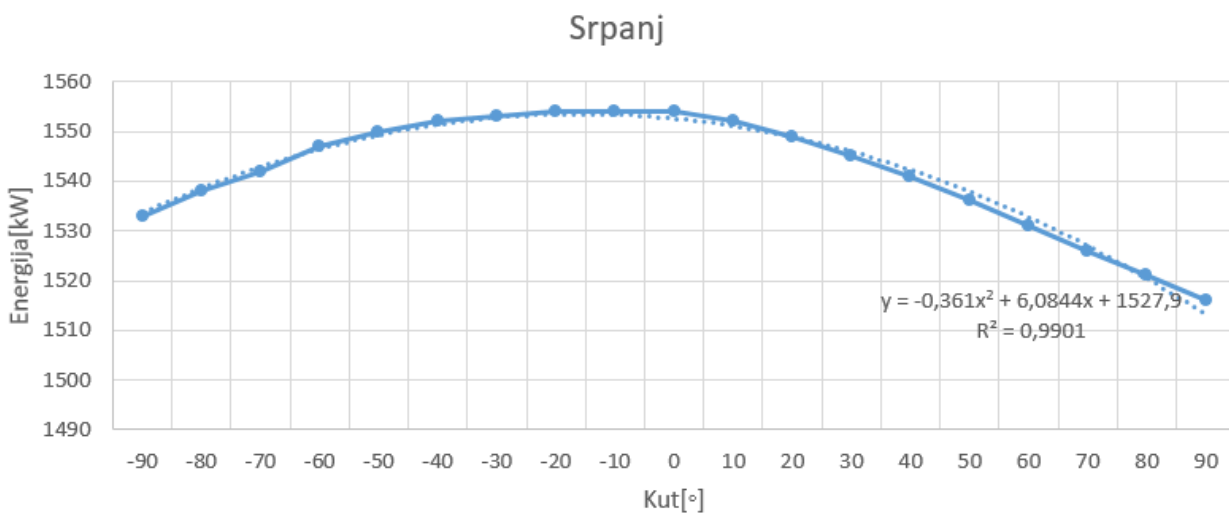
Graf 4. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u travnju



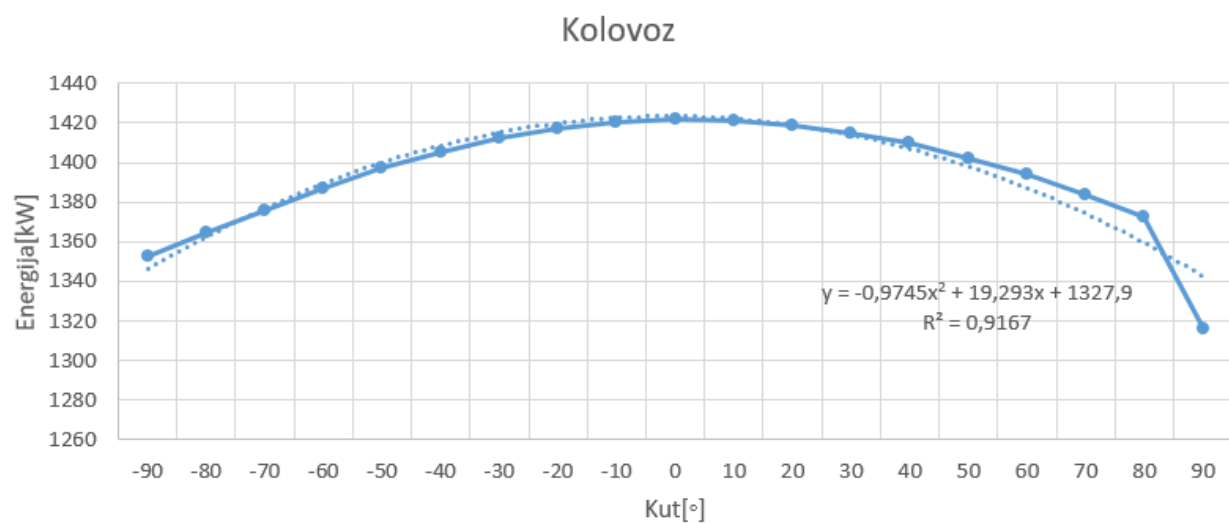
Graf 5. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u svibnju



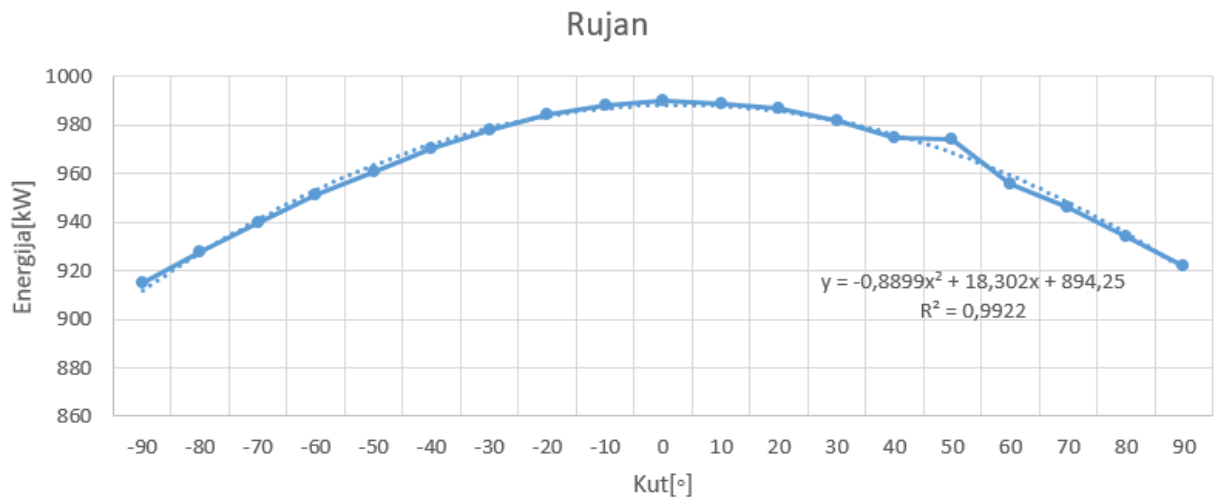
Graf 6. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u lipnju



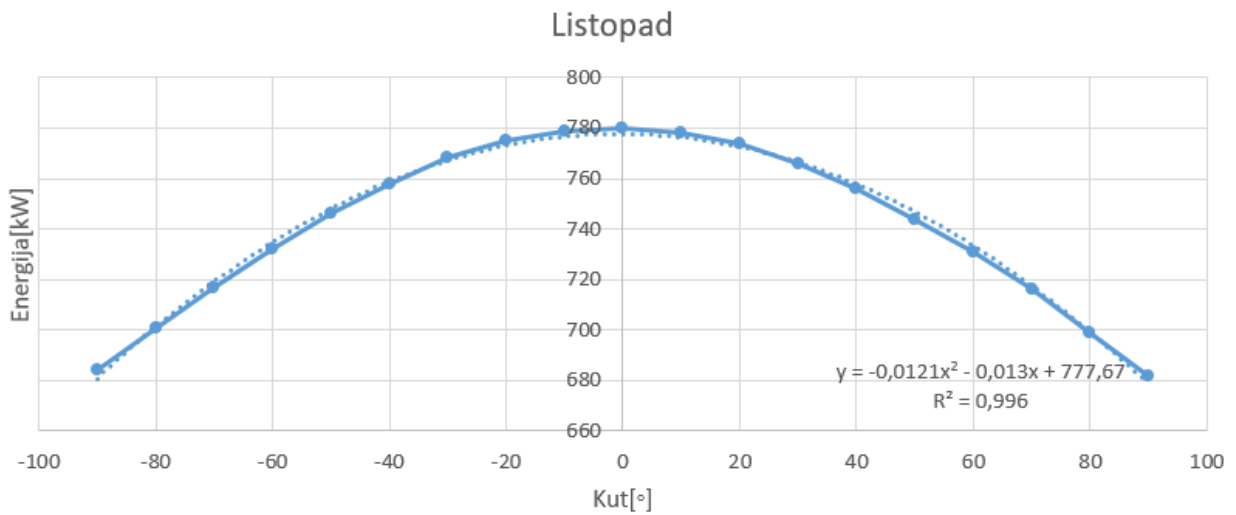
Graf 7. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u srpnju



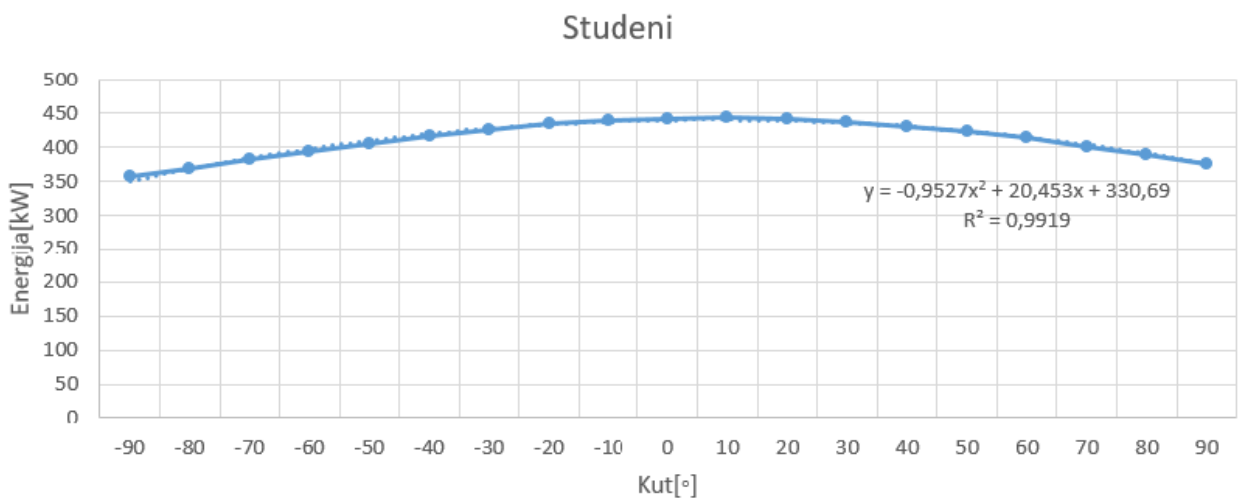
Graf 8. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u kolovozu



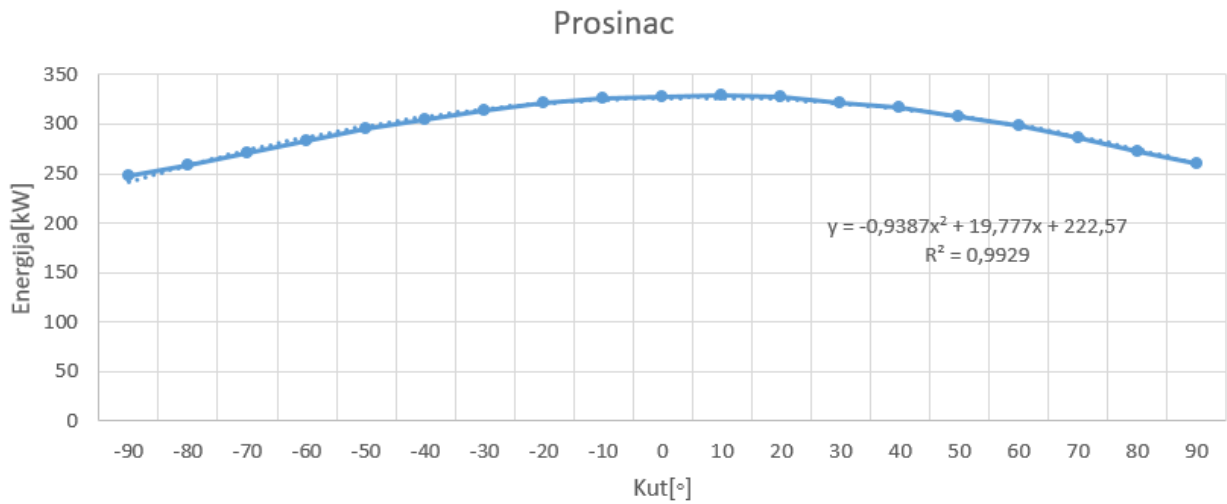
Graf 9. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u rujnu



Graf 10. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u listopadu

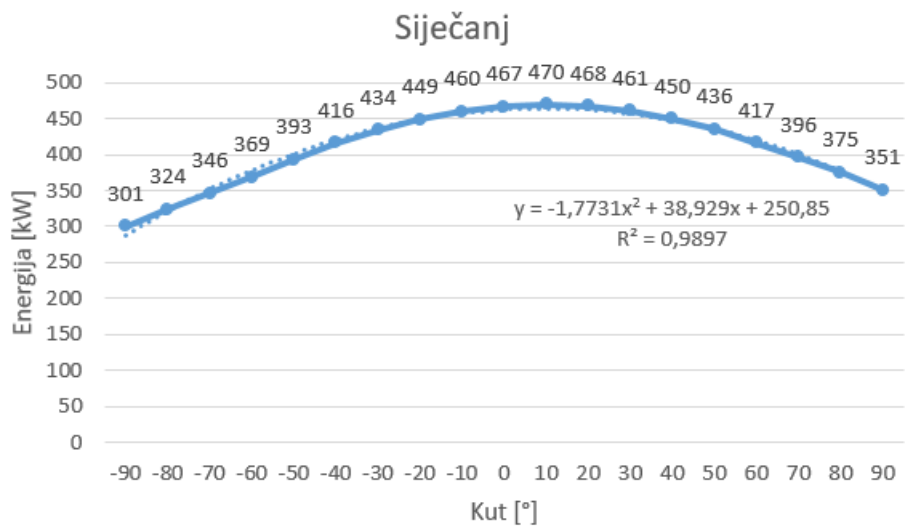


Graf 11. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u studenom

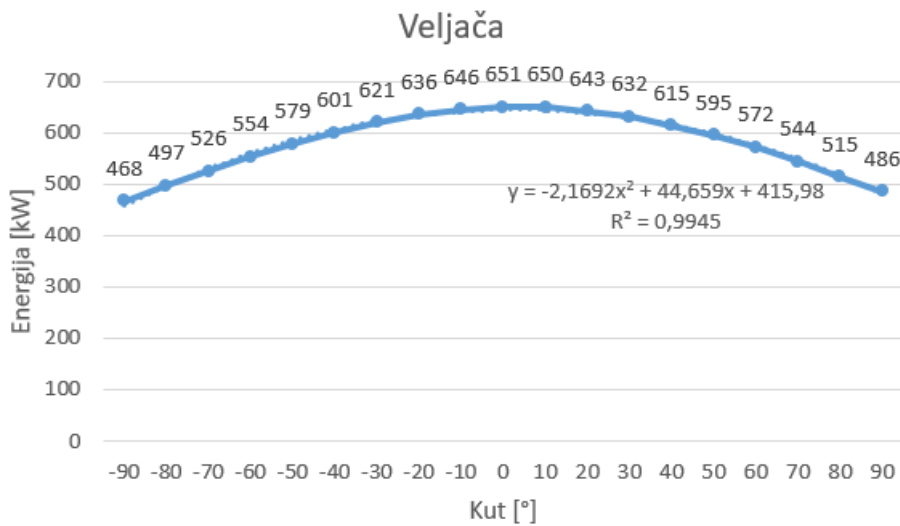


Graf 12. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u prosincu

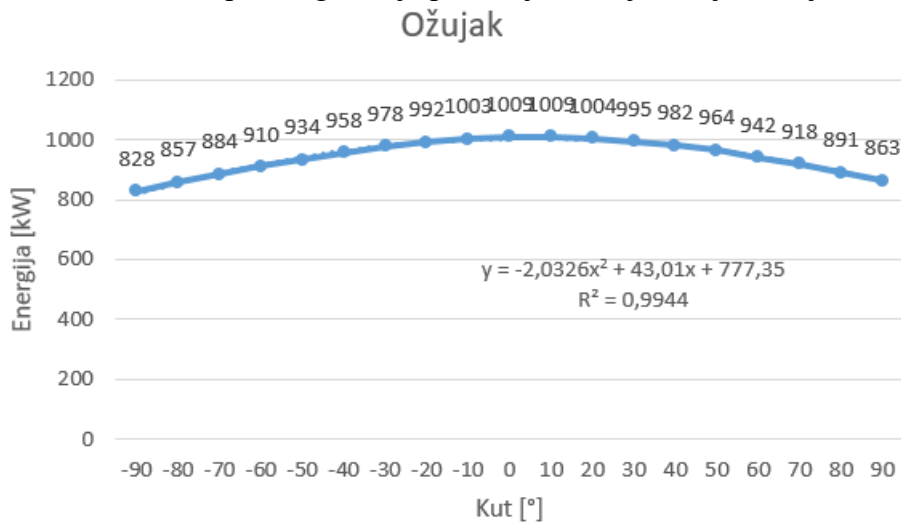
#### 4.2.2. Prikaz orijentacije istok-jug-zapad za nagib od 20°



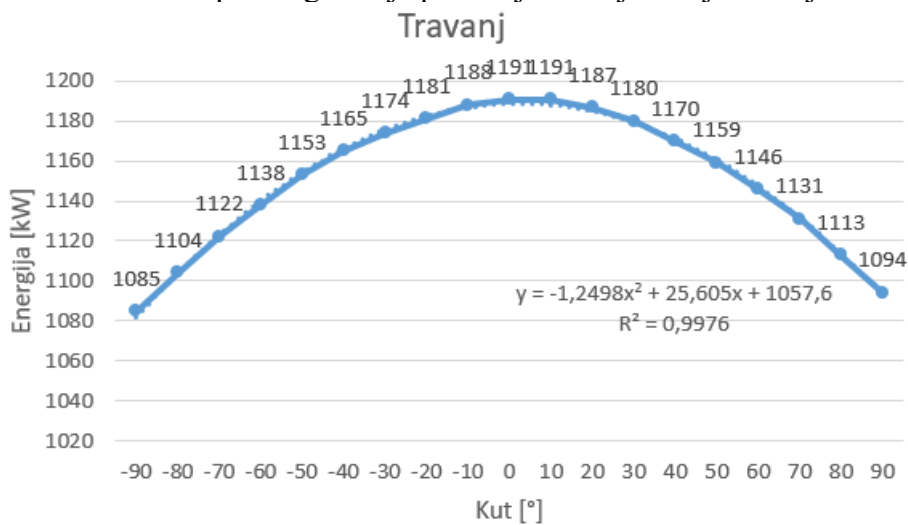
Graf 13. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u siječnju



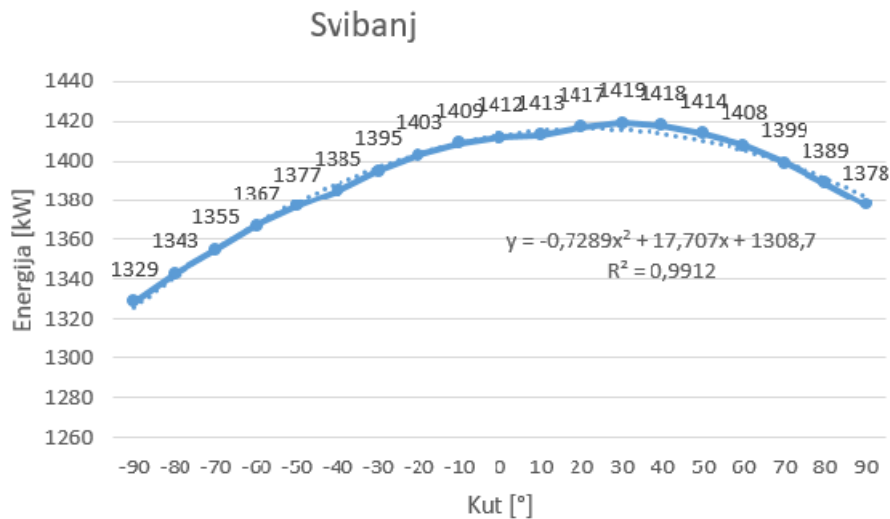
Graf 14. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u veljači



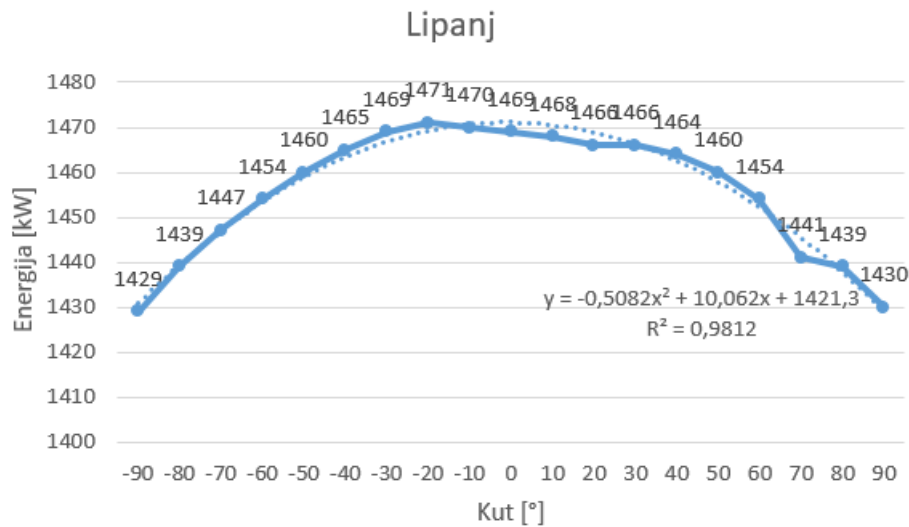
Graf 15. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u ožujku



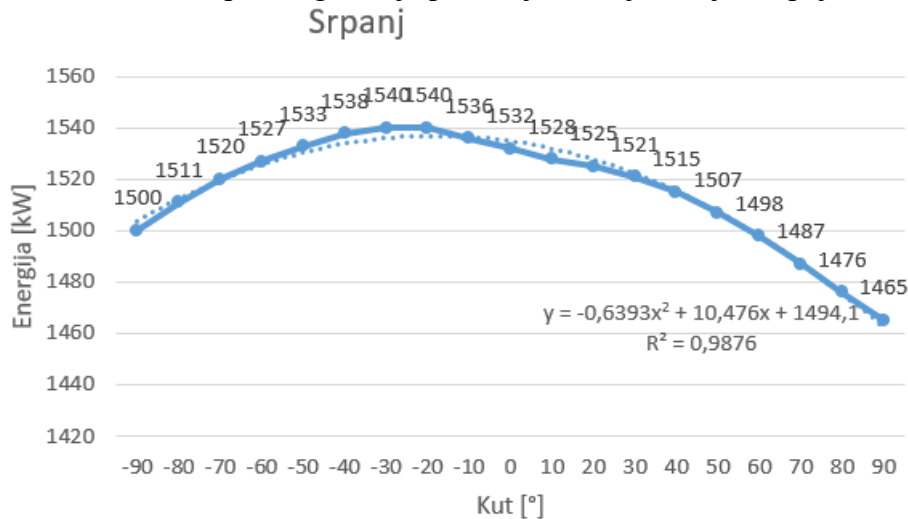
Graf 16. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u travnju



Graf 17. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u svibnju

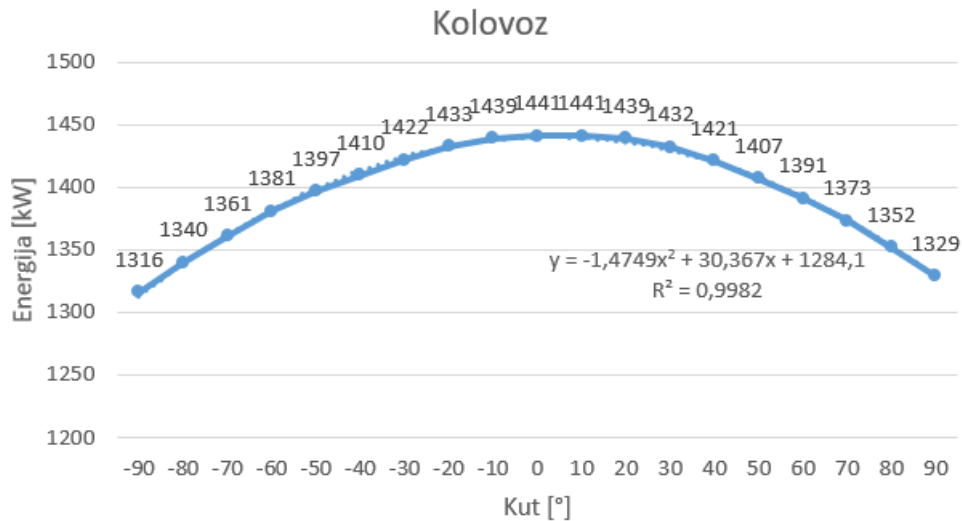


Graf 18. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u lipnju

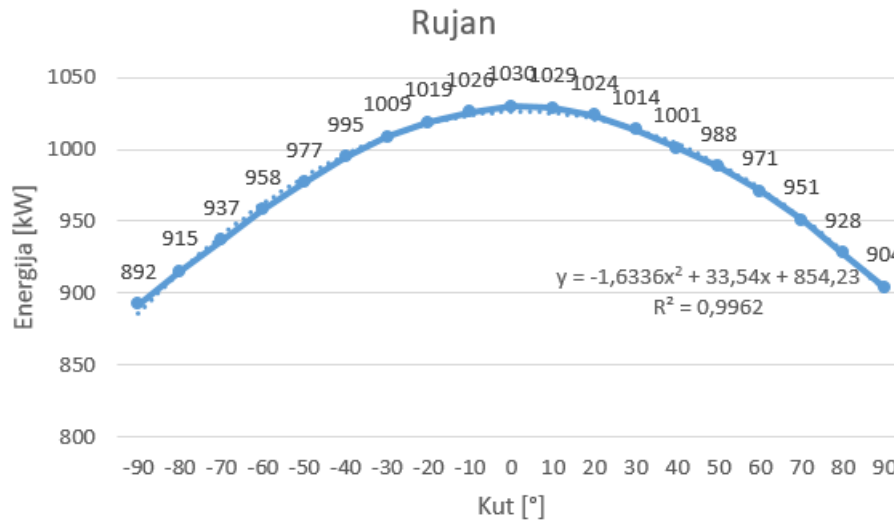


Graf 19. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u srpnju

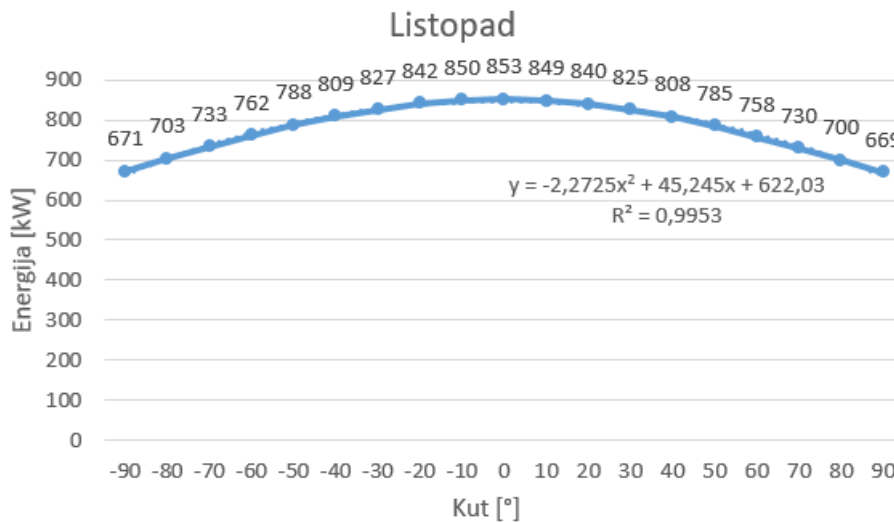




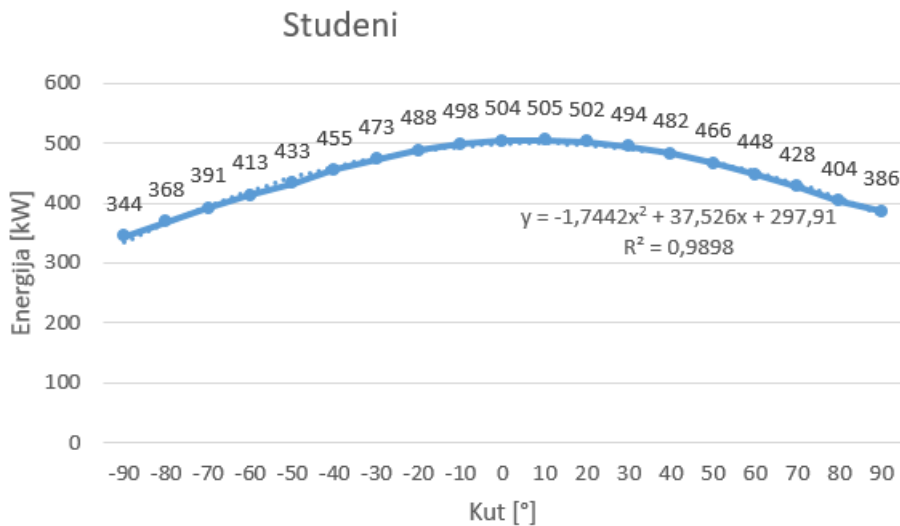
Graf 20. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u kolovozu



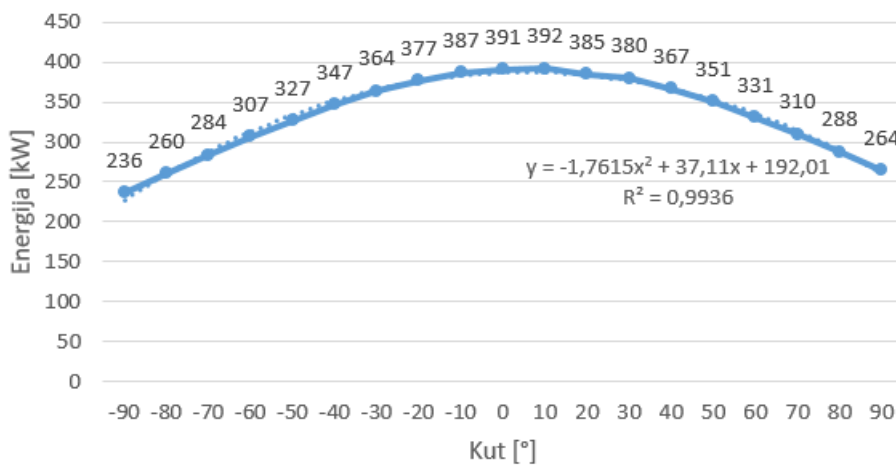
Graf 21. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u rujnu



Graf 22. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u listopadu



Graf 23. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u studenome  
Prosinac



Graf 24. Grafički prikaz godišnje potrošnje za orijentaciju u prosincu

### 4.3. Analiza dobivenih rezultata

Program PV Sol na kraju simuliranja prikazuje dobivene rezultate kako grafički tako i numerički. Moduli na objektu zadani su na dva načina: prvi je da ima 20 modula postavljenih na južnu stranu, a drugi da su moduli postavljeni na istočnu i zapadnu stranu, na svakoj strani po 10 komada. Izračunom dobiveno je da se godišnji dobije više električne energije ako ima 20 modula na južnoj strani, za 7,12%.

## **5. UTJECAJ NAGIBA KROVA NA INTEGRIRANU FOTONAPONSKU ELEKTRANU**

### **5.1. Nagib modula na krovu**

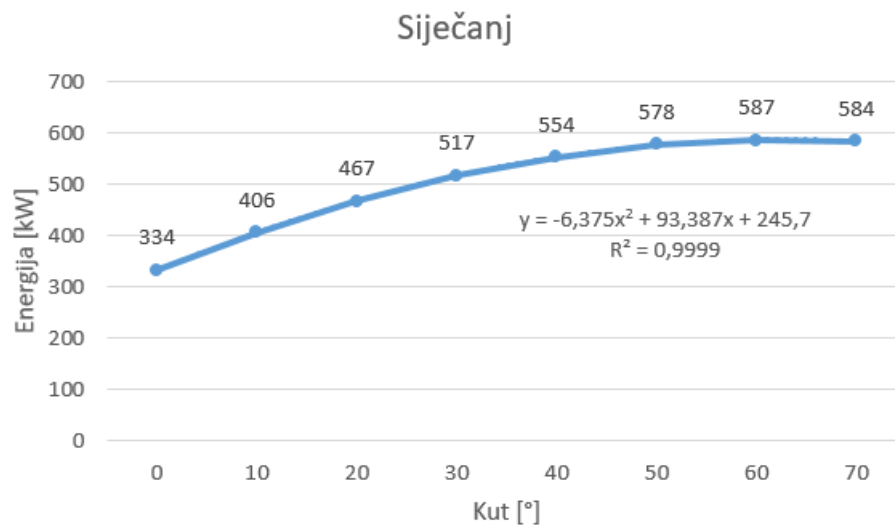
Nagib modula na krovu je kut koji je određen prema vertikali. Nagib modula na krovu može utjecati na povećanje proizvodnje električne energije u zavisnosti od mjeseca u godini. Kut u kojem je modul izložen najvećem sunčevom zračenju je kut u kojemu se proizvodi najviše električne energije. Taj kut se naziva energetska optimumom jer pri instalaciji modula on pruža najveću količinu električne energije na izlazu.

Zemlja podstavlja svoj upadni kut sunčevih zraka, jer je Zemlja pod nagibom od  $23,5^\circ$ . Zemlja rotacijom oko svoje osi te rotacijom oko Sunca konstantno mijenja svoj položaj te tako modulira položaj Sunca. Prividni položaj Sunca je pojava koju nazivamo deklinacija. Kao i svaka pojava i deklinacija ima svoje posljedice. Posljedica je promjena kutova primjerice kut zenita i kuta prema horizontali na temelju kojih je prividno kretanje Sunca na nebu.

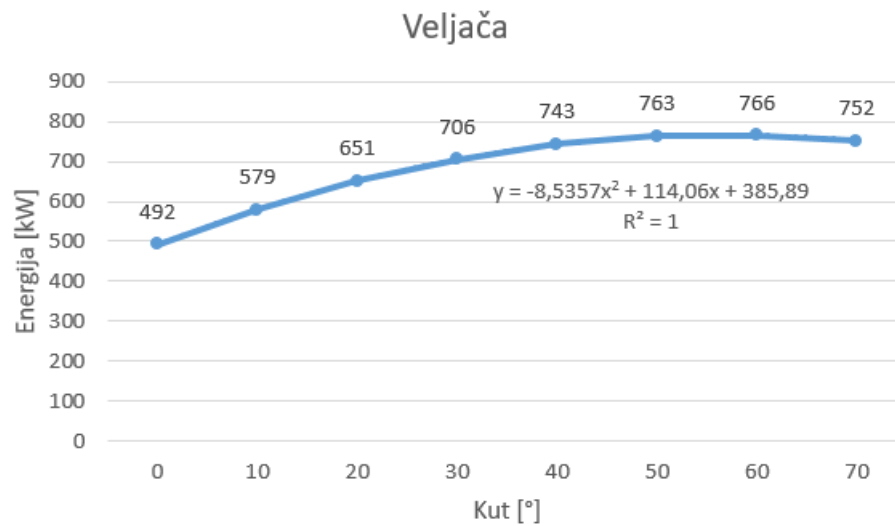
Iz prikaza detaljne putanje Sunca za grad Slavonski Brod vidljivo je kako Sunce u ljetnom periodu izlazi sa strane sjeveroistoka, najvišu točku doseže u 13 sati, te zalazi na strani sjeverozapada. Razlog navedenoj pojavi je spuštanje idealnih nagiba ispod solarnog nagiba, [11,12].

### **5.2. Grafički dio**

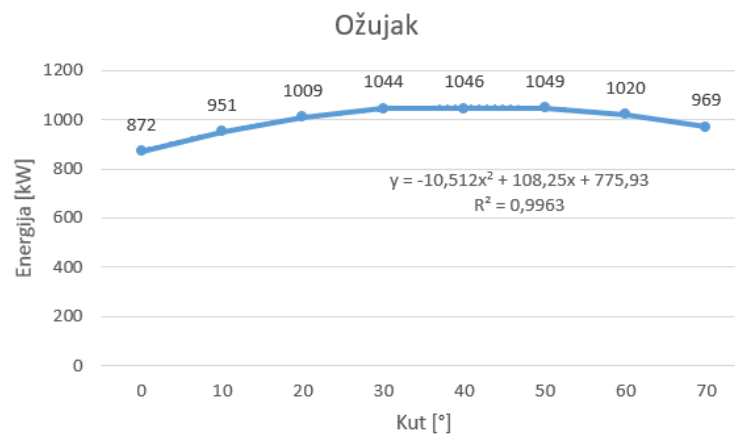
Program PV Sol nudi prikaz godišnje proizvodnje za određeni nagib modula na krovu. Naredni grafovi prikazivat će za određeni mjesec sve moguće nagibe modula odnosno krova prema horizontali. Nagibi krova idu od  $0^\circ$  do  $70^\circ$ .



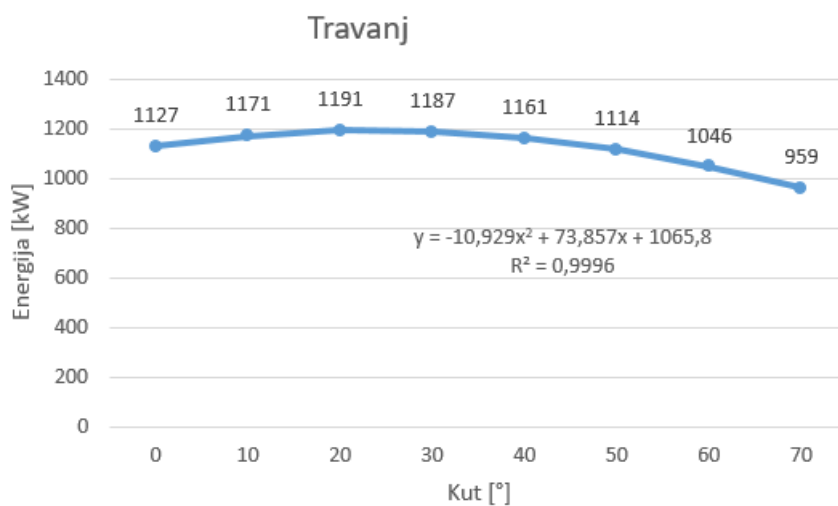
Graf 25. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u siječnju



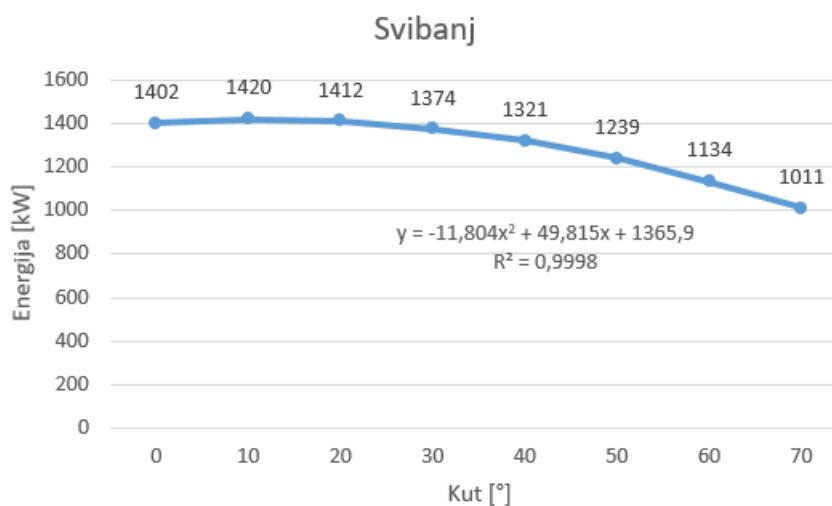
Graf 26. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u veljači



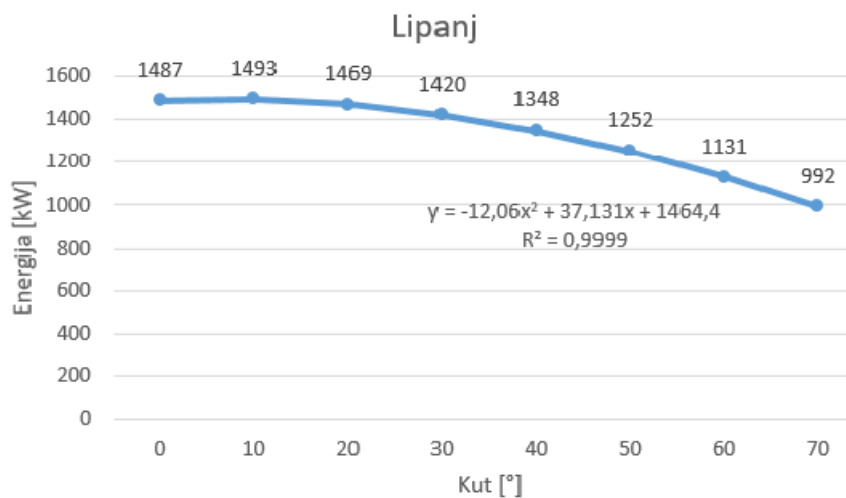
Graf 27. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u ožujku



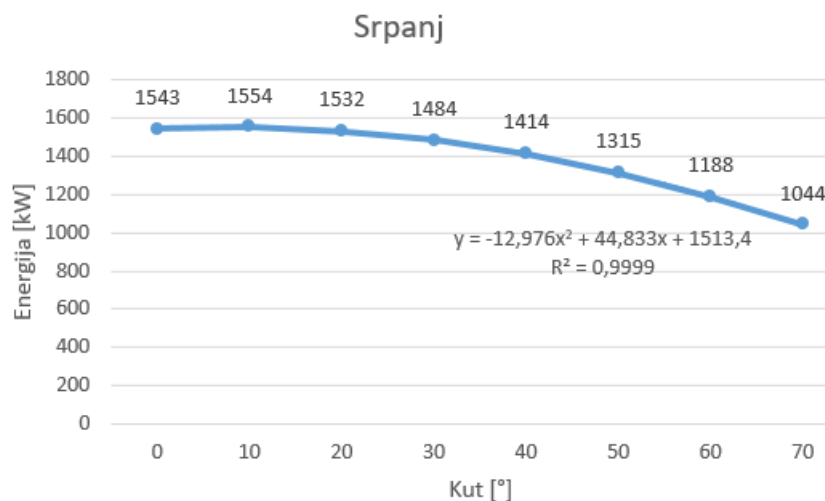
Graf 28. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u travnju



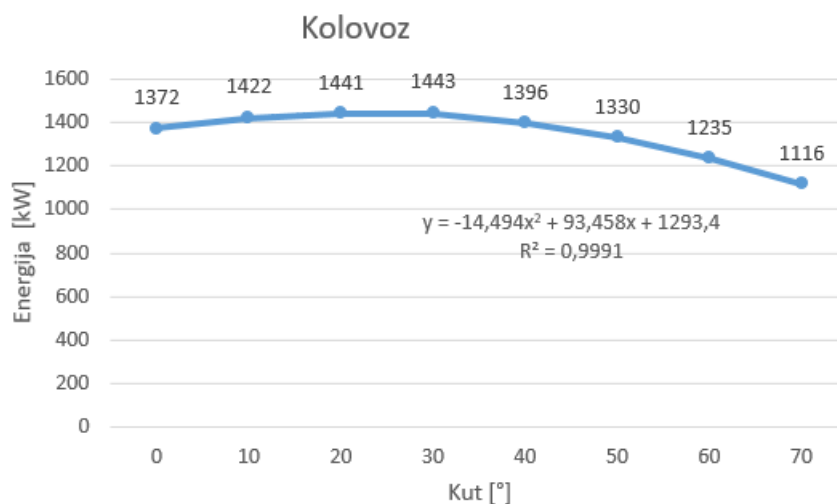
Graf 29. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u svibnju



Graf 30. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u lipnju



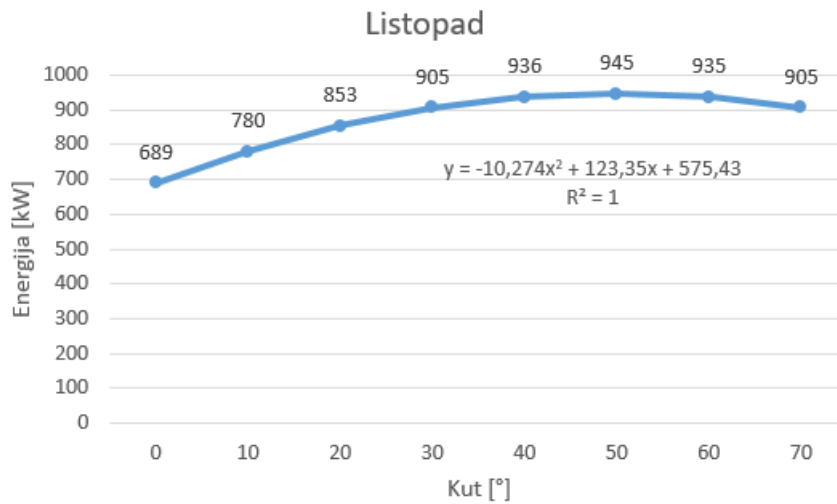
Graf 31. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u srpnju



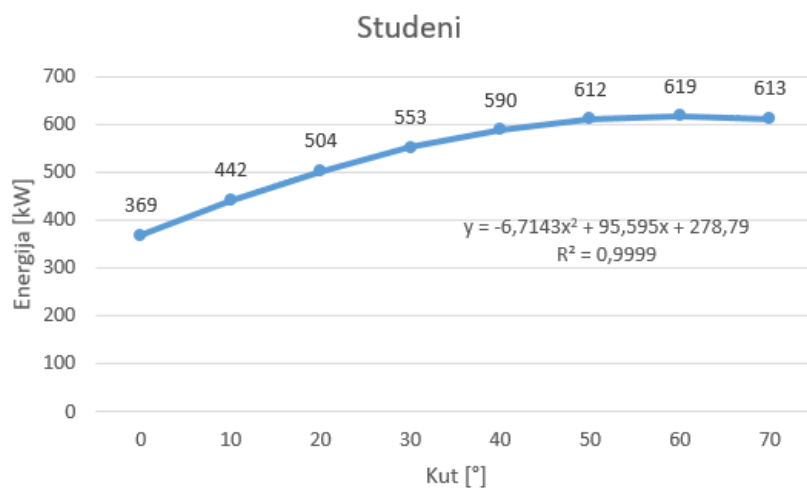
Graf 32. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u kolovozu



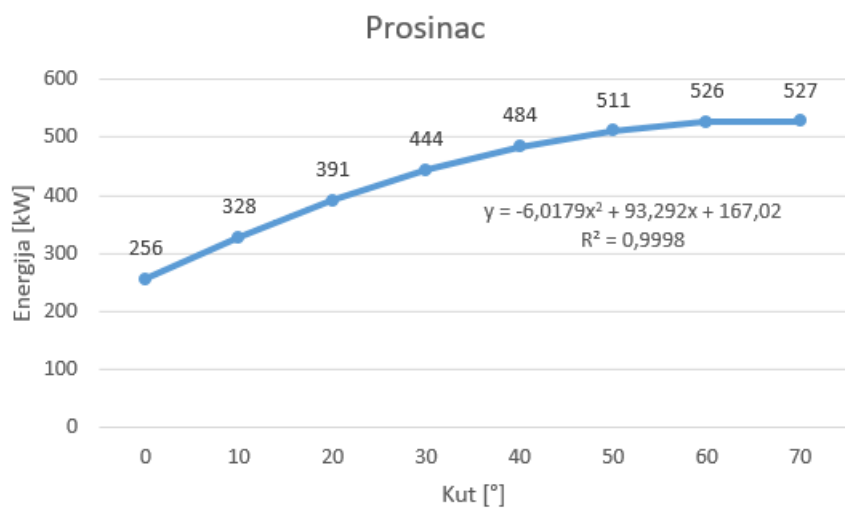
Graf 33. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u rujnu



Graf 34. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u listopadu



Graf 35. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u studenom



Graf 36. Grafički prikaz godišnje proizvodnje za nagib u prosincu



## ZAKLJUČAK

U sve većem i većem broju zastupljene su fotonaponske elektrane na krovovima kuća, stambenih zgrada, ravnim površinama te drugim ustanovama. Među brojnim prednostima izdvajamo prednost u smanjenim troškovima.

U praktičnom dijelu praćena je proizvodnja električne energije te se dolazi do zaključka da se u ljetnim mjesecima na južnoj strani proizvodi najviše električne, dok u zimskim mjesecima je i nekoliko puta manja proizvodnja tokom godine.

Povećavanjem nagiba kuta modula na krovu smanjuje se proizvodnja električne energije. Za nagib krova od  $10^\circ$  u ljetnim mjesecima je proizvodnja električne energije je veća u odnosu na nagib od  $20^\circ$  u ljetnim mjesecima.

U zimskim mjesecima povećavanjem nagiba kuta s  $10^\circ$  na  $20^\circ$  proizvodnja električne energije je veća.

U ljetnim mjesecima potreban je što manji nagib krova da bi se proizvelo što više električne energije, a u zimskim mjesecima potreban je što veći nagib da bi se proizvelo više električne energije. Ta se pojava događa zbog toga što je kut upada sunčevih zraka u zimskim mjesecima okomitiji, dok je u ljetnim mjesecima manje okomit.



## LITERATURA

- [1] D. Šljivac, D. Topić Obnovljivi izvori električne energije, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2018.
- [2] Lj. Majdandžić, Fotonaponski sustav, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu Srednja škola Oroslavlje, str 12- 42.
- [3] Slika 1.,2. <https://www.solarne-elektre.hr/strujno-naponske-osnove-fotonaponskih-elektre/>
- [4] B. Labudović, Osnovne primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing, Zagreb 2011., str. 50 – 156.
- [5] A. Bhatia, Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems, str. 11 – 16.,88.
- [6] Slika 3., 4. <https://www.solarne-elektre.hr/vrste-fn-panela-i-ucinkovitost-2/>
- [7] D. Šljivac, “Olelen\_2019\_2020\_2 poglavlje.pdf”, predavanja, Osijek : Damir Šljivac, 2019./2020.
- [8] Slika 5. <http://flamtron.hr/solar/index.php/hr/fotonaponski-sustavi/autonomni-ili-samostalni-fotonaponski-sustavi>
- [9] Slika 6. <https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/fotonaponski-sustavi/>
- [10] “PV SOL” , Valentin Software
- [11] D. J. & B. W. A., “Solar Engineering of Thermal processes, 2006.
- [12] C. R. Landau, “ <http://www.solarpaneltilt.com/optosolar.html>”

## **SAŽETAK**

U završnome radu dokumentirana je tema o projektiranju i modeliranju fotonaponske elektrane na temelju godišnje potrošnje u ovisnosti o nagibu krova i orijentaciji ustanove. Objašnjene su osnovna saznanja o suncu, fotonaponu, fotonaponskoj elektrani, o dijelovima fotonaponske elektrane. Opisan je i prikazan proces projektiranja na temelju proizvodnje električne energije s obzirom na orijentaciju i nagib. Na temelju podataka prikazana je potrošnja grafičkim i analitičkim rezultatima.

Ključne riječi: elementi fotonaponskog sustava, fotonaponski sustavi, nagib, orijentacija, PV SOL

## **ABSTRACT**

The final thesis documents the topic of designing and modelling of a photovoltaic power plant given on annual consumption, considering the roof inclination and facility orientation. Fundamental knowledge about the sun, photovoltaics, photovoltaic power plants, and the components of a photovoltaic power plant are explained. The process of design is described and illustrated, focusing on the electricity generation concerning orientation and tilt. Consumption is presented through graphical and analytical results using collected data.

Keywords: photovoltaic system components, photovoltaic systems, orientation, PV SOL, tilt



## **ŽIVOTOPIS**

Nika Rakić, rođena je 17. siječnja 2002.godine u Slavonskom Brodu. U Slavonskom Brodu započinje svoje osnovnoškolsko i srednjoškolsko obrazovanje. Upisuje u rujnu 2008. godine prvi razred Osnovne škole Ivane Brlić – Mažuranić. Nakon završetka osnovnoškolskog obrazovanja upisuje 2016. godine Gimnaziju Matija Mesić. Nika je maturirala 2020. godine, a svoje obrazovanje nastavila je na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku upisom preddiplomskog studija elektrotehnika izborni blok elektroenergetika.