

# Projektiranje fotonaponskih elektrana

---

Apčag, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*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:200:681226>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Stručni studij**

**Projektiranje fotonaponskih elektrana**

**Završni rad**

**Hrvoje Apčag**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. UVOD .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. OSNOVNE SPOZNAJE O FOTONAPONU.....</b>                 | <b>2</b>  |
| <b>2.1. Fotonaponska ćelija .....</b>                        | <b>2</b>  |
| <b>2.2. Fotonaponski modul .....</b>                         | <b>3</b>  |
| <b>2.3. Vrste fotonaponskih sustava .....</b>                | <b>3</b>  |
| 2.3.1. Samostalni fotonaponski sustavi.....                  | 4         |
| 2.3.2. Hibridni fotonaponski sustavi.....                    | 4         |
| 2.3.3. Mrežni fotonaponski sustavi.....                      | 5         |
| <b>3. DJELOVI FOTONAPONSKE ELEKTRANE.....</b>                | <b>7</b>  |
| <b>3.1. Regulator punjenja .....</b>                         | <b>8</b>  |
| <b>3.2. Baterija (Akomulator).....</b>                       | <b>9</b>  |
| <b>3.3. Izmjenjivač .....</b>                                | <b>10</b> |
| <b>4. IZBOR ELEMENATA ZA PROJEKTIRANJE .....</b>             | <b>11</b> |
| <b>5. PROJEKTIRANJE ELEKTRANE OVISNO O POTREBAMA .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>5.1. Programski alat PV SOL.....</b>                      | <b>12</b> |
| <b>5.2. Postupak izračuna.....</b>                           | <b>14</b> |
| <b>5.3. Elektrana s obzirom na minimalnu potrošnju .....</b> | <b>16</b> |
| <b>5.4. Elektrana s obzirom na prosječnu potrošnju .....</b> | <b>18</b> |
| <b>5.5. Elektrana s obzirom na maksimalnu potrošnju.....</b> | <b>19</b> |
| <b>6. ISPLATIVOST SUSTAVA .....</b>                          | <b>20</b> |
| <b>7. ZAKLJUČAK.....</b>                                     | <b>25</b> |
| <b>8. LITERATURA .....</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>SAŽETAK.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>SUMMARY (DESIGNING A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT) .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>ŽIVOTOPIS.....</b>  | <b>28</b> |

## 1. UVOD

Zbog sve veće potražnje za energijom potrebno je tražiti neka nova rješenja za opskrbu električnom energijom kao što su obnovljivi izvori električne energije. Kao jedno od rješenja na tržištu se nude solarne fotonaponske elektrane za kućanstva. Postavlja se pitanje je li fotonaponska elektrana ekonomski opravdana za jedno kućanstvo, može li ta elektrana zadovoljiti potrošnju kućanstva te postoji li mogućnost za zaradom. U ovom završnom radu ponudit će se odgovori na ova pitanja kroz projektiranje i analizu potrošnje i proizvodnje fotonaponske elektrane.

Na osnovu trogodišnje potrošnje električne energije kućanstva određivat će se instalirana snaga fotonaponske elektrane. Trogodišnja potrošnja je važan čimbenik kako bi se došlo do odgovora isplati li se projektirati te instalirati fotonaponsku elektranu.

U ovom završnom radu projektirana je mrežna fotonaponska elektrana za kućanstvo. Analizom su prikazane tri situacije, a na kraju su detaljno prikazani rezultati ekonomski opravdane elektrane na jednom karakterističnom slučaju te njezina isplativost.

## 2. OSNOVNE SPOZNAJE O FOTONAPONU

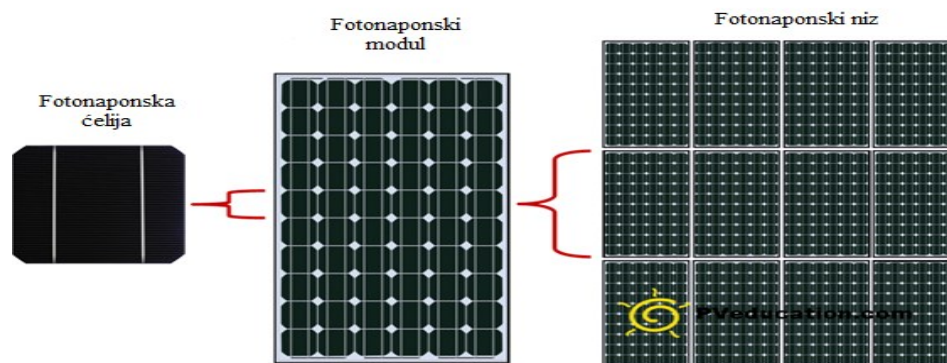
Sunčevo zračenje je jedan od osnovnih energetske izvora za sve procese na Zemlji pa tako i za fotonaponski efekt. Sunce zrači velikom energijom koja se većinom pretvara u toplinu. Udaljenost Zemlje od Sunca tijekom godine oscilira, te tako i samo ozračenje ima promjenjivu vrijednost od  $1321 \text{ W/m}^2$  do  $1412 \text{ W/m}^2$ . [1]

Fotonaponska ćelija se zasniva na poluvodičkim elementima, a osnova rada na fotonaponskom efektu. Fotonaponski efekt je kao što samo ime kaže, efekt, odnosno nešto što se događa u fotoćeliji pod utjecajem Sunčevog zračenja. Kako bi poluvodički element bio izvor istosmjerne struje mora biti izložen tom efektu. [2]

### 2.1. Fotonaponska ćelija

Fotonaponska ćelija je poluvodički element, tj. poluvodička dioda. Na principu fotonaponskog efekta dioda vrši pretvorbu sunčevog zračenja u električnu energiju. Najčešće se izrađuje od silicija. Sukladno tome, razlikuje se mono/kristalni, polikristalni silicij ili amorfni silicij, a koriste se i drugi materijali poput telurija i kadmija.

Na ploči se s obje strane nalaze metalni kontakti koji prikupljaju induciranu struju na svim ćelijama. Kontakt se ostvaruje preko tamne (donje) površine i brida svijetle (gornje) površine ćelije. Prednja strana (lice) ćelije sadrži antireflektirajući sloj čija je uloga umanjivanje refleksije, dok zaštitno staklo s prozirnim ljepilom služi kao mehanička zaštita.



Slika 2.1. Primjer slaganja fotonaponskih ćelija [7]

## 2.2. Fotonaponski modul

Ćelija proizvodi napon od samo otprilike 0,5 V, a zbog malog iznosa rijetko se koristi samo jedna ćelija. Unatoč tome, kao osnovni blok sustava koristi se fotonaponski modul koji uključuje više spojenih ćelija u nizu, postavljene u zaštitno kućište. Najčešća izvedba fotonaponskih modula sačinjava se od 60-ak ćelija čiji izlazni napon ima vrijednost od oko 30 V. Da bi se ostvario veći napon, fotonaponski moduli se spajaju u paralelu ili seriju. Tada skup modula spojen na takav način naziva se niz (string) [3]

## 2.3. Vrste fotonaponskih sustava

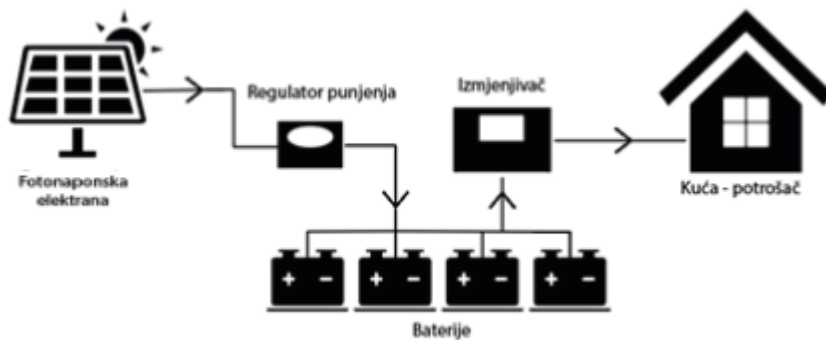
Fotonaponski sustav jest skup fotonaponskih modula i komponenata koji napajaju potrošače energijom dobivenom iz fotonaponskog efekta. Proizvedena energija se može prenositi, skladištiti i trošiti. Fotonaponski sustavi se mogu podijeliti u tri skupine, ovisno o tome gdje se ta proizvedena energija iskorištava. Prema tome, postoje:

1. samostalni FN sustav (*off-grid system*);
2. hibridni FN sustav (*hybrid system*);
3. mrežni FN sustav (*on-grid systems*).

### 2.3.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Samostalni fotonaponski sustavi su pogodni za proizvodnju energije potrošača koji se nalaze u ruralnim djelovima ili primorskim naseljima bez mogućnosti spoja na mrežu te za pojedinačne objekte rasvjete, razne vrste signalizacije, sustave videonadzora i dr.

Kod navedenog sustava potrebno je imati spremnik električne energije tj. bateriju (akumulator). Regulator punjenja u sustavu ima zadaću regulirati punjenje te pražnjenje baterije. Za pretvorbu istosmjernje električne energije u izmjeničnu je u sustavu potrebno koristiti izmjenjivač. Dodavanjem izmjenjivača samostalnom sustavu omogućuje se korištenje uređaja kojima je potrebna izmjenična električna energija kao što su perilice, hladnjaci, usisavači, mali kućni aparati i druga trošila. Shema samostalnog (otočnog) sustava prikazana je slikom 2.2.



Slika 2.2. Samostalni fotonaponski sustav

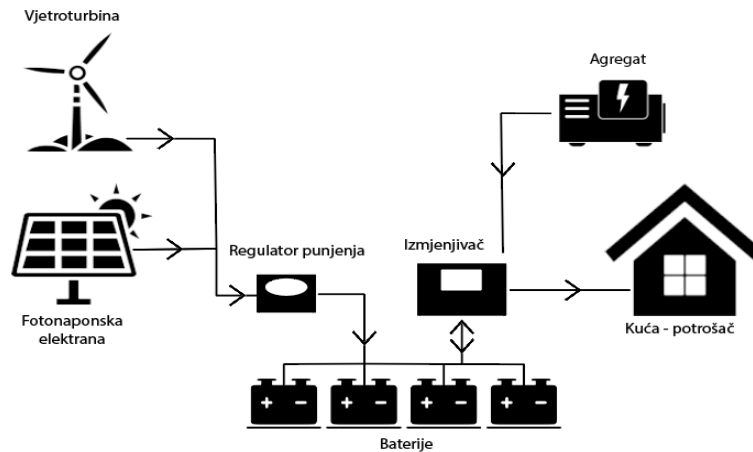
Slikom je prikazan ciklus energije, kako od zračenja sunčeve energije dolazi do električne energije potrošača. Istosmjerni napon generiran na fotonaponskim modulima elektrane spaja se na regulator punjenja gdje se regulira količina energije koja se skladišti u baterije. Istosmjerna energija iz baterija dolazi do izmjenjivača koji pretvara istosmjerni napon u izmjenični kako bi električna energija mogla iskoristiti u kućanstvu.

### 2.3.2. Hibridni fotonaponski sustavi

Hibridni fotonaponski sustavi koriste vlastitu energiju akumuliranu u baterijama te po potrebi sustav uzima energiju iz drugih izvora kao što su dizel generatori, vjetroagregati i drugo.

U hibridnim fotonaponskim sustavima primarno je korištenje energije iz solarnih elektrana ili vjetroagregata za napajanje potrošača, a višak energije skladišti se u baterijama. Najveći utjecaj na dobivenu energiju uvjetuju vremenske prilike i doba dana. U slučaju vremenske nepogode i

uvjetima smanjene proizvodnje sustav crpi dodatnu električnu energiju iz baterije. Kada u bateriji nije skladišteno dovoljno energije za opskrbu tada se za izvor napajanja koristi generator na dizel ili biodizel gorivo što se može vidjeti na slici 2.3.



Slika 2.3. Hibrindi fotonaponski sustav

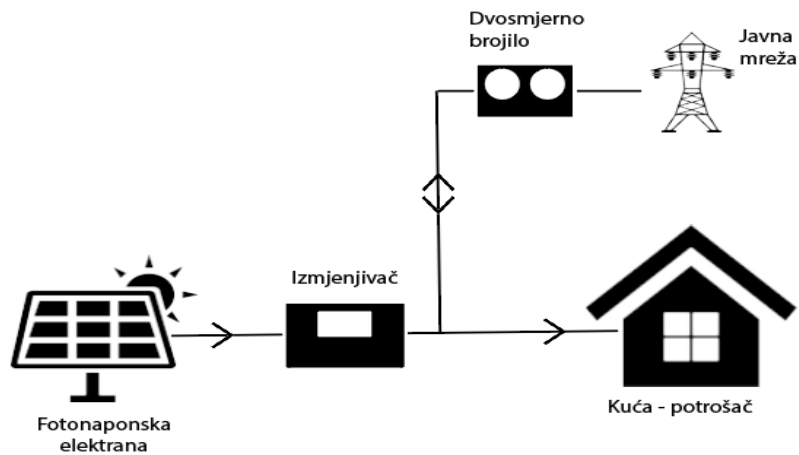
Istosmjerni napon generiran vjetroturbinom i fotonaponskim modulima dolazi na regulator punjenja koji se zatim skladišti u baterijama za potrebe potrošača. Istosmjerni napon s agregata i baterije dolazi na izmjenjivač koji istosmjerni napon pretvara u izmjenični napon za daljnje korištenje potrošača.

### 2.3.3. Mrežni fotonaponski sustavi

Mrežni fotonaponski sustavi proizvedenu električnu energiju primarno koriste za vlastitu potrošnju. Sustav je priključen na javnu elektroenergetsku mrežu preko napojnog kabla koji dolazi na glavni razvodni ormar kuće. Navedeni sustav ne treba ne zahtjeva korištenje baterije (akumulatora) zato što javna elektroenergetska mreža služi kao sekundarni izvor napajanja.



Ovo je najčešća izvedba fotonaponskih sustava. Višak proizvedene energije moguće je predati distributeru jer je fotonaponski sustav u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom. U slučaju kada proizvedena energija iz fotonaponskog sustava ne može zadovoljiti potrebe potrošača, tada se iz distribucijske mreže uzima električna energija.



Slika 2.4. Mrežni fotonaponski sustav

Ovi fotonaponski sustavi spajaju se tako da se fotonaponski sustav nakon izmjenjivača, odnosno glavnog razvodnog ormara, fotonaponski sustava spaja direktno u kućnu instalaciju (GRO). Umjesto postojećeg brojila kuće (objekta) ugrađuje se dvosmjerno brojilo koje bilježi koliko je energije predano u mrežu, a koliko preuzeto.

### 3. DJELOVI FOTONAPONSKE ELEKTRANE

Djelovi fotonaponskog sustava ovise o građevini, njezinoj poziciji i mogućnosti priključka na distribucijsku mrežu. U slučaju kada građevina nema mogućnost priključka na distribucijsku mrežu ili je izvedba priključka ne isplativa, tada se razmatra opcija samostalnog sustava (*off-grid*). U slučaju kada građevina ima mogućnost priključka na distribucijsku mrežu tada se izvodi mrežna fotonaponska elektrana. Shema sustava i njezini dijelovi prikazani su na slici 3.1.



Slika 3.1. Osnovni dijelovi solarne elektrane [4]

Dijelovi fotonaponske elektrane :

1. Fotonaponski niz
2. Istosmjerni zaštitni prekidač
3. Izmjenjivač
4. Baterija
5. Dvosmjerno brojilo
6. Razvodni ormar
7. Izmjenično trošilo
8. Distribucijska mreža

### 3.1. Regulator punjenja

Regulator punjenja solarne baterije (akumulatora) smatra se ključnim uređajem otočnog sustava, a glavna uloga je brinuti o stanju solarne baterije, njezino punjenje i pražnjenje. Pruža zaštitu od učinka kratkog spoja. Sastavljen je od komponenata energetske elektronike.



Slika 3.2. Regulator punjenja [6]

Pomoću ove opreme solarne ćelije mogu vršiti nadzor na pražnjenju baterije kao i na samom punjenju. Regulator punjenja je opremljen zaštitnim funkcijama. Mogućnost ručnog nadzora nad regulatorom dopušta korisniku uključivanje i isključivanje regulatora. Njegova primjena je u malim elektranama koje u svojoj izvedbi imaju solarnu bateriju. [6]

### 3.2. Baterija (Akomulator)

Fotonaponska elektrana proizvodi najviše električne energije sredinom dana kada Sunce zatvara najmanji kut azimuta. Stvara se situacija gdje je proizvodnja veća od potrošnje te postoji mogućnost skladištenja. Solarne baterije imaju prednosti poput energetske neovisnosti i hitne pričuvne energije.



**Slika 3.3.** Baterije za solarnu elektranu [6]

### 3.3. Izmjenjivač

Fotonaponsko polje je izvor istosmjernog napona, a kako bi iskoristili tu energije potrebno ju je pretvoriti u izmjeničan napon. Fotonaponsku pretvorbu obavlja izmjenjivač (engl. *Inverter*). Izmjenjivač ima zaštitu od pojave otočnog režima rada. Nadalje, mjeri ulazni i izlazni napon, struju, frekvenciju i impedanciju mreže. Ukoliko neki od parametara odstupa izvan granica dopuštenih iznosa, izmjenjivač ima mogućnost isključivanja. Izmjenjivač se može i elektronski limitirati ovisno o potrebama potrošača.



Slika 4.2. Prikaz izmjenjivača [9]

#### 4. IZBOR ELEMENATA ZA PROJEKTIRANJE

Kao prvi i najbitiniji element solarne elektrane potrebno je izabrati fotonaponski modul. Za ovaj slučaj odabrao se modul proizvođača Leapton Solar - LP182\*182\*M-54-MH-410W [10]. Parametri modula su navedni u tablici 4.1.

Tablica 4.1 Parametri modula Leapton Solar

| Model                                 | Jed. | Vrijednost |
|---------------------------------------|------|------------|
| Vršna snaga PMPP                      | [W]  | 410        |
| Dozvoljeno odstupanje                 | [W]  | -0/+5      |
| Napon praznog hoda Uoc                | [V]  | 41,48      |
| Struja kratkog spoja Isc              | [A]  | 11,22      |
| Nazivna struja                        | [A]  | 10,62      |
| Nazivni napon UMPP                    | [V]  | 35,33      |
| Dozvoljeno odstupanje napona i struje | [%]  | ±3         |
| Učinkovitost modula                   | [%]  | 20,59%     |

Drugi element po kojemu je potrebno postaviti parametre te instaliranu snagu fotonaponskih modula jest izmjenjivač. Proizvođač izmjenjivača je Huawei - SUN2000-6KTL-M1. Tablično su prikazani njegovi parametri [9].

Tablica 4.2 Parametri izmjenjivača

| Model HUAWEI                     | Jed. | Vrijednost |
|----------------------------------|------|------------|
| Broj MPPT                        |      | 2          |
| Broj ulaza po MPPTt              |      | 1          |
| Nazivni ulazni napon             | [V]  | 600        |
| Maksimalna ulazna struja po MPPT | [A]  | 11         |
| Maksimalna izlazna snaga         | [W]  | 6000       |
| Maksimalna izlazna struja        | [A]  | 10,1       |
| Nazivni izlazni napon            | [V]  | 3x230/400  |
| Faktor snage                     |      | 1          |

## **5. PROJEKTIRANJE ELEKTRANE OVISNO O POTREBAMA**

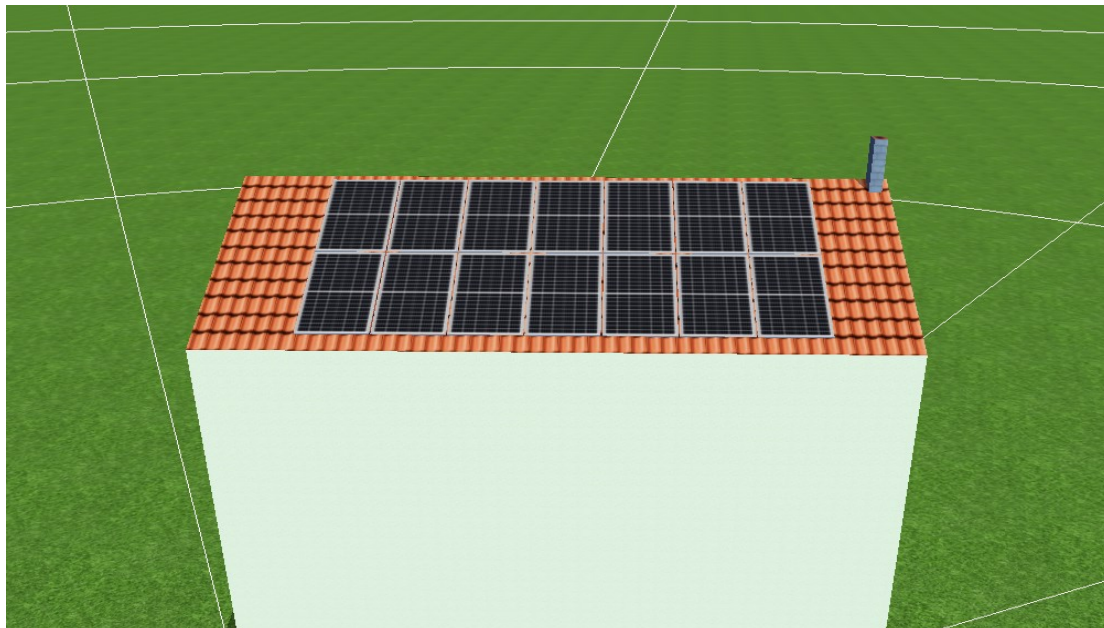
Na temelju podataka o trogodišnjoj potrošnji električne energije kućanstva, definirana je potrebna instalirana snaga elektrane. Za izvedbu fotonaponskog sustava korišten je programski alat PV SOL koji je pojednostavio projektiranje fotonaponske elektrane te omogućio shematski blok prikaz.

### **5.1. Programski alat PV SOL**

Programski alat PV SOL omogućuje jednostavnu projekciju krovnih ploha, dizajniranje fotonaponskih elektrana, vizualni prikaz zasjenjivanja te prikaz troškova izrade i dobiti kroz godišnju proizvodnju elektrane. Programski paket je interaktivan te omogućuje korisnicima jednostavnu navigaciju kroz program. Podijeljen je u 8 dijelova :

1. Unos podataka te opis projekta
2. Vrsta sustava i klimatski podatci
3. 3D prikaz modela
4. Kabliranje
5. Blok prikaz i lista dijelova
6. Financijsko izvješće
7. Rezultati
8. Konačna prezentacija projekta

Prije samog početka rada u programskom alatu potrebno je definirati tip sustava koji je u ovom slučaju mrežna fotonaponska elektrana te određivanje klimatskih podataka za elektranu. Potom na nacrtanom 3D modelu označava se područje na kojem će se nalaziti fotonaponska elektrana. Programski alat nudi veliki izbor fotonaponskih modula te je izabrani modul Lepton Solar naveden i tamo. Program također nudi mogućnost dodavanja korisnički definiranih modula. Zatim slijedi odabir izmjenjivača koji se također nalazi u ponuđenom katalogu programskog alata. Rezultat postavljanja modula na krovnu strehu prikazan je na slici 5.1.

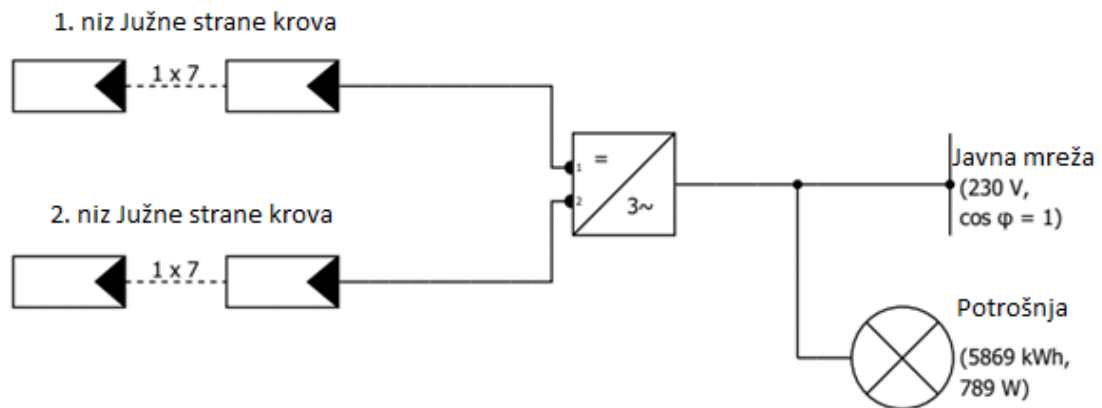


**Slika 5.1.** Instalirani fotonaponski moduli na krovnoj površini

Za fotonaponsku elektranu programski alat je simulirao blok prikaz elektrane. Fotonaponska elektrana podijeljena je u dva niza čiji su izlazi spojeni na izmjenjivač. Navedeni izmjenjivač se u nastavku spaja sa dvosmjernim brojilom koji se ugrađuje u kućanstvo kako bi se pratila potrošnja te proizvodnja kućanstva sa vlastitom proizvodnjom električne energije.



Shematski prikaz elektrane prikazan je na slici 5.2.



Slika 5.2. Blok prikaz fotonaponske elektrane

## 5.2. Postupak izračuna

Pomoću prikupljenih podataka iz računa za električnu energiju, grafički je prikazana potrošnja po godinama te je iz toga izvedena prosječna potrošnja el. energije po mjesecima u tri godine. Na temelju tih podataka određena je minimalna, srednja i maksimalna potrošnja kućanstva. Najmanja potrošnja kućanstva je zabilježena u rujnu koja iznosi 424,67 kWh te će se na osnovi te potrošnje projektirati fotonaponska elektrana. Maksimalna potrošnja kućanstva zabilježena je u ožujku a iznosila je 554 kWh. Za simulaciju proizvodnje elektrane korišten je simulator PV GIS koji će prikazati proizvodnju elektrane definiranu instaliranom snagom.

Za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača električne energije iz stavka utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom  $C_i$  obračunskom razdoblju  $i$  na sljedeći način:

$$C_i = 0,9 \cdot P_{KCi}$$

ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} \geq E_{ii}$

$$Ci = 0,9 \cdot P_{KCi} \cdot \frac{E_{pi}}{E_{ii}}$$

ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} < E_{ii}$ ,

pri čemu je:

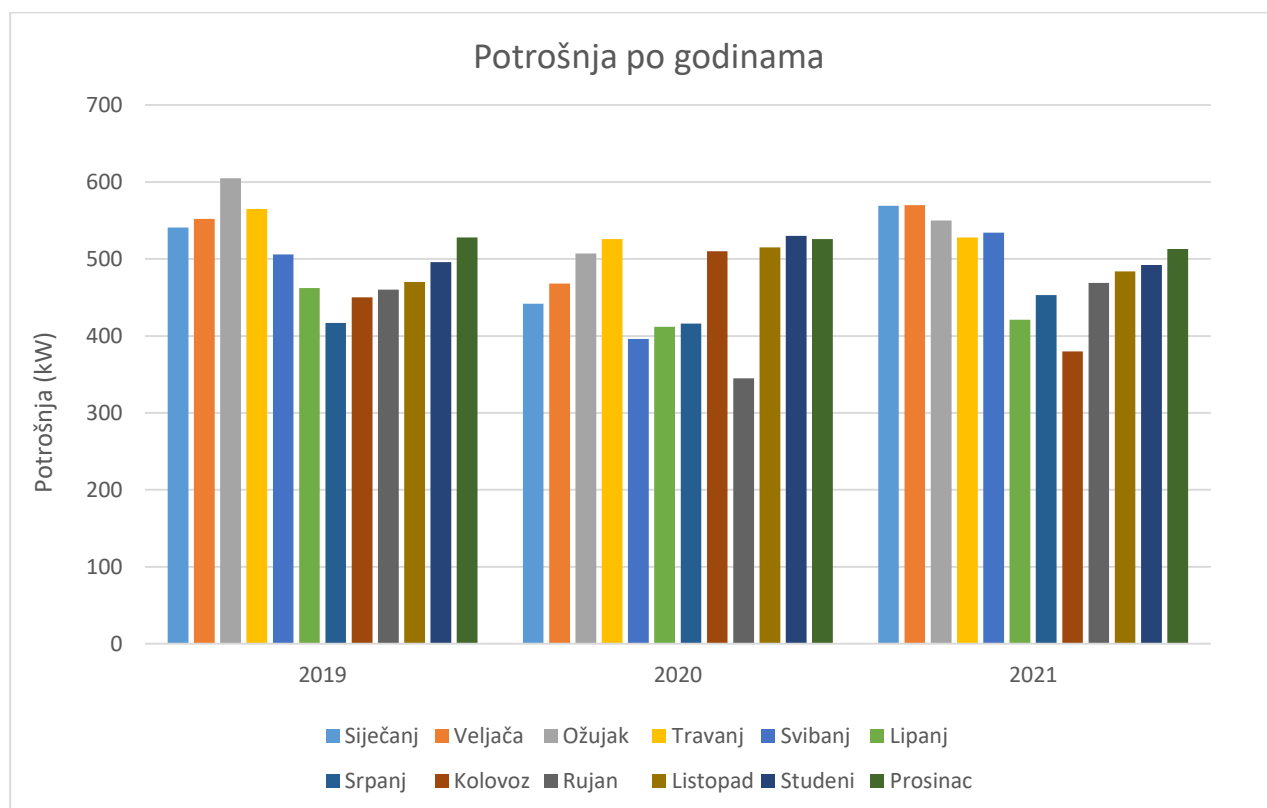
$E_{pi}$  – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh;

$E_{ii}$  – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh;

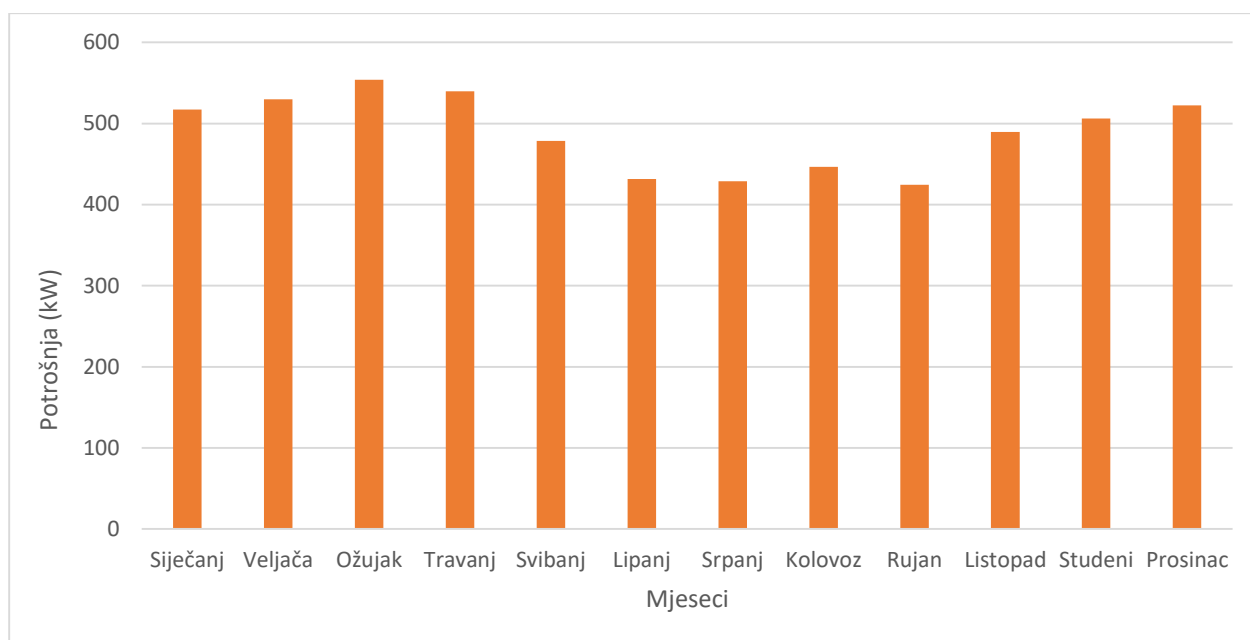
$P_{KCi}$  – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje.

Što bi po formuli za proračun otkupne cijene energije predane hepu

$$Ci = 0,9 \cdot P_{KCi}$$



**Grafikon 5.1.** Trogodišnja potrošnja po mjesecima



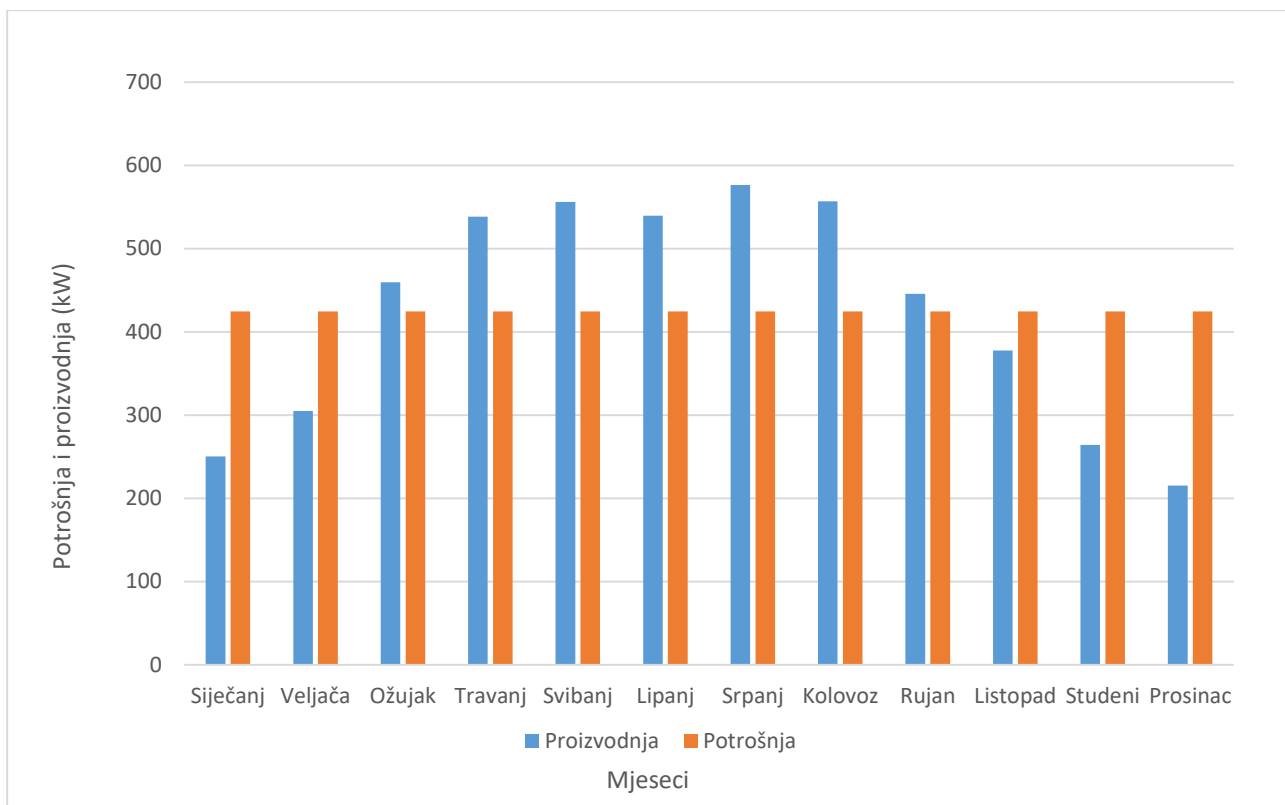
**Grafikon 5.2.** Prosječna potrošnja po mjesecima u tri godine

### 5.3. Elektrana s obzirom na minimalnu potrošnju

Kako bi se definirala potrošnja elektrane odabran je mjesec sa najmanjom potrošnjom (u ovom slučaju rujan) od 424,67 kWh te je taj iznos pomnožen s brojem mjeseci u godini što rezultira ukupnim iznosom potrošnje od 5096.06 kWh.

Projektirana elektrana sastoji se od 10 fotonaponskih modula ukupne instalirane snage 4,1 kW te invertera koji zadovoljava uvjete elektrane. Pomoću PV-GIS-a (engl. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*) [7] određen je geografski položaj kućanstva te azimut kuta upada energije u fotonaponski modul koji iznosi -5 stupnjeva.

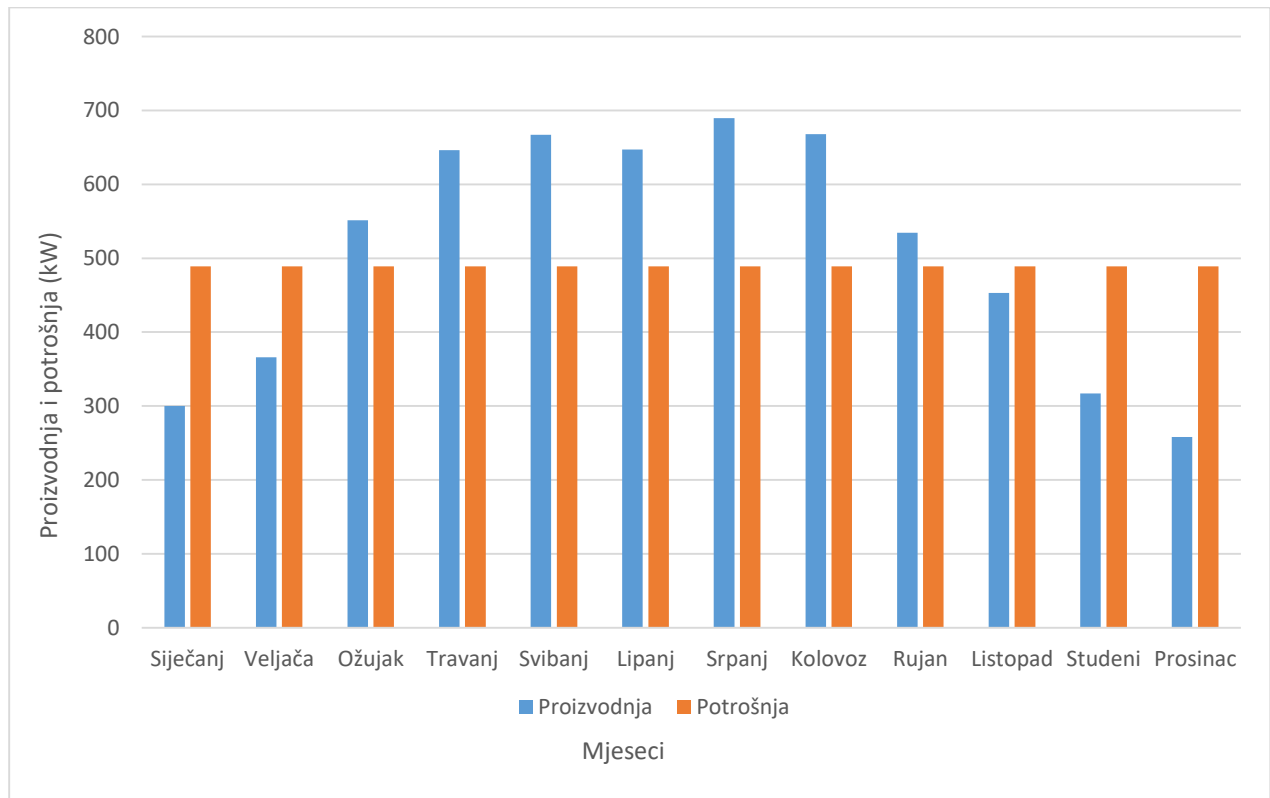
Uzevši u obzir kut nagiba krova koji iznosi 30 stupnjeva i instalirane snage elektrane, simulator je izračunao mjesečnu proizvodnju na temelju podataka jedne godine.



**Grafikon 5.3.** Prikaz potrošnje i proizvodnje elektrane minimalne snage

## 5.4. Elektrana s obzirom na prosječnu potrošnju

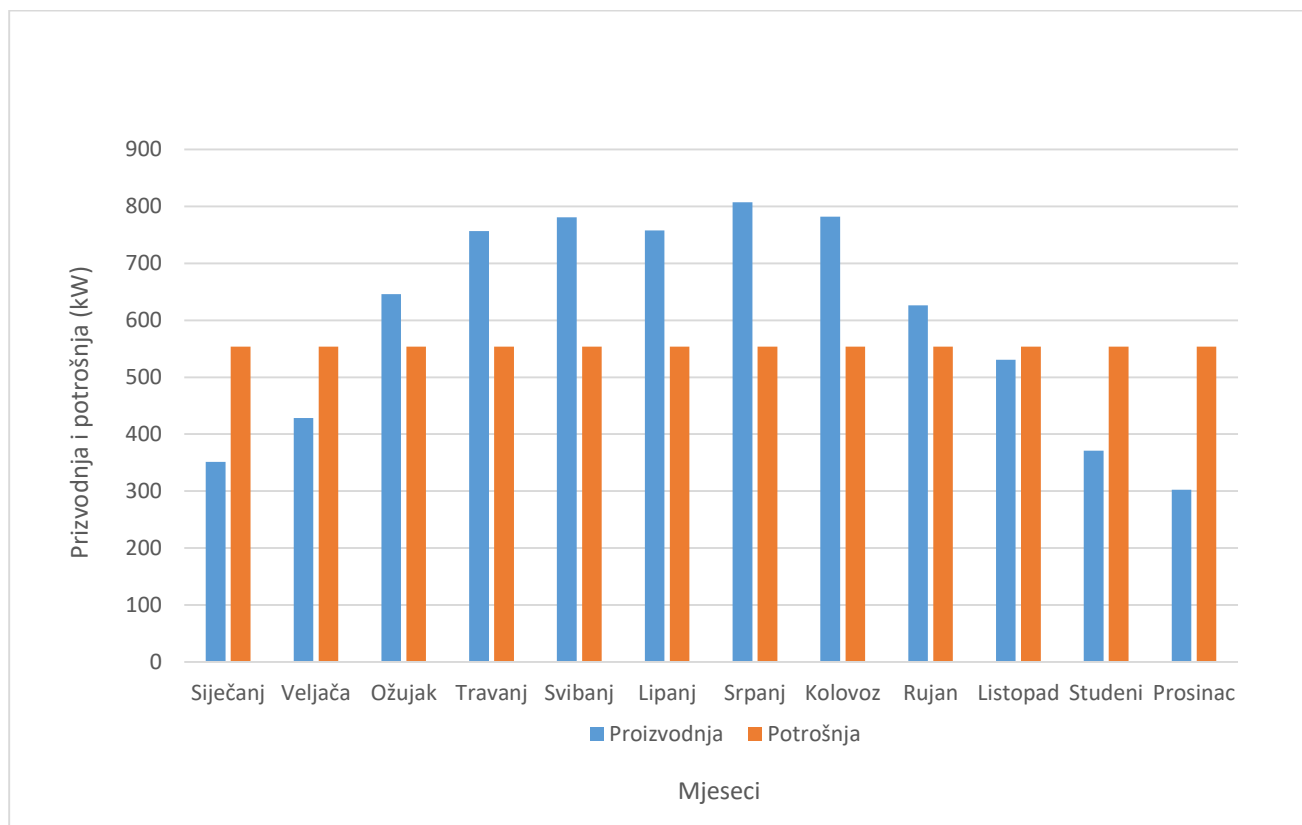
Za ovaj korak odabrana je situacija prosječne potrošnje kućanstva od 489,14 kWh te je pomnožen s brojem mjeseci u godini, a ukupni iznos potrošnje iznosi 5869,66 kWh. Projektirana elektrana sastoji se od 12 fotonaponskih modula ukupne instalirane snage 4920 W te invertera koji zadovoljava uvjete elektrane..



**Grafikon 5.4.** Prikaz potrošnje i proizvodnje elektrane prosječne snage

## 5.5. Elektrana s obzirom na maksimalnu potrošnju

Za ovaj korak odabrana je situacija prosječne potrošnje kućanstva od 554 kWh koja pomnožena s brojem mjeseci u godini i rezultira ukupnim iznosom potrošnje od 6648 kWh. Projektirana elektrana sastoji se od 14 fotonaponskih modula ukupne instalirane snage od 5760 W te invertera koji zadovoljava uvjete elektrane.



**Grafikon 5.5.** Prikaz potrošnje i proizvodnje elektrane maksimalne snage

## **6. ISPLATIVOST SUSTAVA**

Za utvrđivanje isplativosti sustava analizani su podaci o potrošnji i proizvodnji električne energije u razdoblju od 20 godina. Uz prosječna početna ulaganja od 7.234,70 kn/kW u elektranu instalirane snage 4,92 kW dolazi se do ukupnog troška od 35.594,9 kn. U cijenu elektrane ulaze troškovi invertera, kabliranja, fotonaponskih modula te nosača fotonaponskih modula. Rezultati isplativosti sustava prikazani su tablicama 6.1. 6.2. i 6.3.

| <b>Godine</b>       | <b>1. Godina</b>  | <b>2. Godina</b>  | <b>3. Godina</b>  | <b>4. Godina</b>  | <b>5. Godina</b>  | <b>6. Godina</b>  | <b>7. Godina</b>  | <b>8. Godina</b>  | <b>9. Godina</b>  | <b>10. Godina</b> |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ulaganje            | -35.594,90 kn     | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           |
| Uvoz/Izvoz iz mreže | 3.436,56 kn       | 3.441,55 kn       | 3.268,42 kn       | 3.128,77 kn       | 3.014,45 kn       | 2.919,31 kn       | 2.838,73 kn       | 2.769,23 kn       | 2.708,19 kn       | 2.653,63 kn       |
| Ušteda              | 422,47 kn         | 414,64 kn         | 397,99 kn         | 385,01 kn         | 374,82 kn         | 366,75 kn         | 360,30 kn         | 355,07 kn         | 350,78 kn         | 347,19 kn         |
| Godišnji prihod     | -31.735,86 kn     | 3.856,18 kn       | 3.666,41 kn       | 3.513,79 kn       | 3.389,27 kn       | 3.286,06 kn       | 3.199,02 kn       | 3.124,30 kn       | 3.058,96 kn       | 3.000,83 kn       |
| Ukupno              | -31.735,86 kn     | -27.879,68 kn     | -24.213,27 kn     | -20.699,48 kn     | -17.310,21 kn     | -14.024,15 kn     | -10.825,12 kn     | -7.700,83 kn      | -4.641,87 kn      | -1.641,04 kn      |
| <b>Godine</b>       | <b>11. Godina</b> | <b>12. Godina</b> | <b>13. Godina</b> | <b>14. Godina</b> | <b>15. Godina</b> | <b>16. Godina</b> | <b>17. Godina</b> | <b>18. Godina</b> | <b>19. Godina</b> | <b>20. Godina</b> |
| Početno ulaganje    | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           |
| Uvoz/Izvoz iz mreže | 2.604,08 kn       | 2.558,41 kn       | 2.515,77 kn       | 2.475,54 kn       | 2.437,22 kn       | 2.400,45 kn       | 2.364,96 kn       | 2.330,55 kn       | 2.297,04 kn       | 2.264,33 kn       |
| Ušteda              | 344,15 kn         | 341,52 kn         | 339,21 kn         | 337,14 kn         | 335,25 kn         | 333,51 kn         | 331,87 kn         | 330,31 kn         | 328,83 kn         | 327,39 kn         |
| Godišnji prihod     | 2.948,23 kn       | 2.899,93 kn       | 2.854,99 kn       | 2.812,68 kn       | 2.772,47 kn       | 2.733,96 kn       | 2.696,83 kn       | 2.660,86 kn       | 2.625,87 kn       | 2.591,72 kn       |
| Ukupno              | 1.307,20 kn       | 4.207,13 kn       | 7.062,12 kn       | 9.874,79 kn       | 12.647,26 kn      | 15.381,22 kn      | 18.078,05 kn      | 20.738,92 kn      | 23.364,78 kn      | 25.956,50 kn      |

**Tablica 6.1.** Prikaz troškova i sustava



| <b>Godine</b>       | <b>1. Godina</b>  | <b>2. Godina</b>  | <b>3. Godina</b>  | <b>4. Godina</b>  | <b>5. Godina</b>  | <b>6. Godina</b>  | <b>7. Godina</b>  | <b>8. Godina</b>  | <b>9. Godina</b>  | <b>10. Godina</b> |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ulaganje            | -28.136,92 kn     | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           |
| Uvoz/Izvoz iz mreže | 2.401,32 kn       | 2.515,84 kn       | 2.481,10 kn       | 2.446,85 kn       | 2.413,06 kn       | 2.379,75 kn       | 2.346,89 kn       | 2.314,49 kn       | 2.282,53 kn       | 2.251,02 kn       |
| Ušteta              | 415,68 kn         | 427,08 kn         | 425,39 kn         | 423,71 kn         | 422,04 kn         | 420,38 kn         | 418,72 kn         | 417,07 kn         | 415,42 kn         | 413,78 kn         |
| Godišnji prihod     | -25.319,92 kn     | 2.942,91 kn       | 2.906,49 kn       | 2.870,56 kn       | 2.835,11 kn       | 2.800,12 kn       | 2.765,61 kn       | 2.731,55 kn       | 2.697,95 kn       | 2.664,80 kn       |
| Ukupno              | -25.319,92 kn     | -22.377,00 kn     | -19.470,51 kn     | -16.599,95 kn     | -13.764,84 kn     | -10.964,72 kn     | -8.199,11 kn      | -5.467,56 kn      | -2.769,60 kn      | -104,80 kn        |
| <b>Godine</b>       | <b>11. Godina</b> | <b>12. Godina</b> | <b>13. Godina</b> | <b>14. Godina</b> | <b>15. Godina</b> | <b>16. Godina</b> | <b>17. Godina</b> | <b>18. Godina</b> | <b>19. Godina</b> | <b>20. Godina</b> |
| Početno ulaganje    | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           |
| Uvoz/Izvoz iz mreže | 2.219,94 kn       | 2.189,29 kn       | 2.159,06 kn       | 2.129,25 kn       | 2.099,86 kn       | 2.070,86 kn       | 2.042,27 kn       | 2.014,07 kn       | 1.986,27 kn       | 1.958,84 kn       |
| Ušteta              | 412,15 kn         | 410,52 kn         | 408,90 kn         | 407,29 kn         | 405,69 kn         | 404,08 kn         | 402,49 kn         | 400,90 kn         | 399,32 kn         | 397,75 kn         |
| Godišnji prihod     | 2.632,09 kn       | 2.599,81 kn       | 2.567,97 kn       | 2.536,54 kn       | 2.505,54 kn       | 2.474,95 kn       | 2.444,76 kn       | 2.414,98 kn       | 2.385,59 kn       | 2.356,59 kn       |
| Ukupno              | 2.527,29 kn       | 5.127,10 kn       | 7.695,07 kn       | 10.231,62 kn      | 12.737,16 kn      | 15.212,10 kn      | 17.656,87 kn      | 20.071,84 kn      | 22.457,43 kn      | 24.814,02 kn      |

**Tablica 6.2.** Prikaz troškova i sustava

| <b>Godine</b>              | <b>1. Godina</b>  | <b>2. Godina</b>  | <b>3. Godina</b>  | <b>4. Godina</b>  | <b>5. Godina</b>  | <b>6. Godina</b>  | <b>7. Godina</b>  | <b>8. Godina</b>  | <b>9. Godina</b>  | <b>10. Godina</b> |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Početno ulaganje</b>    | -39.391,68 kn     | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           |
| <b>Uvoz/Izvoz iz mreže</b> | 4.093,33 kn       | 4.100,22 kn       | 3.894,02 kn       | 3.727,68 kn       | 3.591,51 kn       | 3.478,18 kn       | 3.382,19 kn       | 3.299,40 kn       | 3.226,68 kn       | 3.161,69 kn       |
| <b>Ušteta</b>              | 430,17 kn         | 422,30 kn         | 405,35 kn         | 392,13 kn         | 381,75 kn         | 373,54 kn         | 366,96 kn         | 361,64 kn         | 357,27 kn         | 353,62 kn         |
| <b>Godišnji prihod</b>     | -34.868,19 kn     | 4.522,52 kn       | 4.299,37 kn       | 4.119,81 kn       | 3.973,26 kn       | 3.851,72 kn       | 3.749,15 kn       | 3.661,04 kn       | 3.583,95 kn       | 3.515,31 kn       |
| <b>Ukupno</b>              | -34.868,19 kn     | -30.345,66 kn     | -26.046,30 kn     | -21.926,48 kn     | -17.953,22 kn     | -14.101,50 kn     | -10.352,35 kn     | -6.691,32 kn      | -3.107,37 kn      | 407,94 kn         |
| <b>Godine</b>              | <b>11. Godina</b> | <b>12. Godina</b> | <b>13. Godina</b> | <b>14. Godina</b> | <b>15. Godina</b> | <b>16. Godina</b> | <b>17. Godina</b> | <b>18. Godina</b> | <b>19. Godina</b> | <b>20. Godina</b> |
| <b>Početno ulaganje</b>    | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           | 0,00 kn           |
| <b>Uvoz/Izvoz iz mreže</b> | 3.102,66 kn       | 3.048,25 kn       | 2.997,46 kn       | 2.949,52 kn       | 2.903,86 kn       | 2.860,06 kn       | 2.817,78 kn       | 2.776,77 kn       | 2.736,85 kn       | 2.697,88 kn       |
| <b>Ušteta</b>              | 350,52 kn         | 347,84 kn         | 345,49 kn         | 343,38 kn         | 341,46 kn         | 339,68 kn         | 338,01 kn         | 336,43 kn         | 334,91 kn         | 333,44 kn         |
| <b>Godišnji prihod</b>     | 3.453,18 kn       | 3.396,09 kn       | 3.342,94 kn       | 3.292,90 kn       | 3.245,32 kn       | 3.199,74 kn       | 3.155,79 kn       | 3.113,20 kn       | 3.071,76 kn       | 3.031,32 kn       |
| <b>Ukupno</b>              | 3.861,13 kn       | 7.257,22 kn       | 10.600,16 kn      | 13.893,06 kn      | 17.138,38 kn      | 20.338,11 kn      | 23.493,90 kn      | 26.607,10 kn      | 29.678,86 kn      | 32.710,19 kn      |

**Tablica 6.3.** Prikaz troškova i sustava

Uzme li se u obzir da je garancija za fotonaponske module 20 godina, dolazi se do pozitivnih i prihvatljivih rezultata. Pokazuje se isplativost sustava, smanjenje računa na kraju obračunatog vremena te prodaja električne energije distributeru električne energije po obračunatoj jedinici kn/kW.

## **7. ZAKLJUČAK**

U ovom završnom radu odrađena je tema projektiranja fotonaponske elektrane. Obradeni su osnovni pojmovi te je pojašnjen postupak proizvodnje električne energije iz Sunca. U radu je prikazano kako počevši od jedne fotonaponske ćelije dolazi do niza modula koji su osnovni dio svake fotonaponske elektrane. Mrežni fotonaponski sustav je cjenovno najprihvatljiviji te je pogodan za jedno kućanstvo. Za odabir glavnih elemenata fotonaponske elektrane potrebno je dobro definirati instaliranu snagu te prema njoj odrediti izmjenjivač. Projektiranje elektrane je zahtjevan posao čiji proces može dovesti do velikih problema. Programski alat PV-SOL pojednostavljuje postupak projektiranja, pruža modeliranje i projektiranje fotonaponske elektrane te je svima dostupan.. Analizom troškova izvedbe elektrane prikazana je ekonomska opravdanost ulaganja kroz razdoblje od 20 godina te su rezultati više nego zadovoljavajući.

## 8. 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] M. Borčić, I. Bonefačić, Fotonaponski sustav s dvoosnim praćenjem prividnog gibanja Sunca, Politehnika: Časopis za tehnički odgoj i obrazovanje, Volumen 2, Broj 1 (2018)
- [3] J. Zdenković, Shrack Technik d.o.o, „Fotonaponski otočni sustavi“, Zagreb, Kolorklinika, 2019.
- [4] Photovoltaic System, Natalie Kunz, Greenmatch, <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system> datum pristupa 27.4.2022
- [5] HEP- ODS, <https://www.hep.hr/elektra/kupci/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/uvjeti-otkupa-za-kupce-s-vlastitom-proizvodnjom/1632> , datum pristupa : 27.4.2022.
- [6] Slika regulatora punjenja, Victron Energy, <https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/smartsolar-mppt-75-10-75-15-100-15-100-20>, datum pristupa : 23.6.2022
- [7] Slika slaganja fotonaponskih ćelija, PVEducation.com, <https://pveducation.com/solar-concepts/solar-cells-modules-arrays/> , datum pristupa: 12.05.2022
- [8] PVGIS Photovoltaic Geographical Information System, [https://re.jrc.ec.europa/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa/pvg_tools/en/) , datum pristupa 24.4.2022
- [9] Slika izmjenjivača Huawei Solar, <https://solar.huawei.com/eu/residential> , datum pristupa: 03.05.2022
- [10] Slika fotonaponskog modula Leapton Solar, <http://www.leaptonpv.com/d/file/English/pvproduct/monocrystal/2021-08-03/ff8ab1c3d1f8597210031d111d615108.pdf> datum pristupa 03.05.2022

## SAŽETAK

U završnom radu obrađena je tema o modeliranju i projektiranju fotonaponske elektrane prema trogodišnjoj potrošnji. Opisane su osnovne spoznaje o fotonaponu, elementi fotonaponske elektrane i postojeće vrste elektrana na solarnu energiju. Prikazan je i opisan postupak projektiranja na primjeru jednog kućanstva prema potrebama za električnom energijom. Na temelju podataka potrošnje kućanstva definirala se snaga elektrane u programskom alatu PV-SOL premium te model i blok prikaz elemenata elektrane. Grafički je prikazan rezultat proizvodnje i potrošnje elektrane kroz godinu dana te je odgovoreno na pitanje isplativosti elektrane.

**Ključne riječi:** fotonaponska ćelija, fotonaponski modul, fotonaponski sustavi, dijelovi solarne elektrane, PV-SOL premium, PV-GIS, isplativost

## SUMMARY (DESIGNING A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT)

The final paper deals with the topic of modeling and designing a photovoltaic power plant based on three-year consumption. Basic knowledge about photovoltaics, elements and existing types of power plants are described. The designing procedure of one household installation based on energy needs is shown and described. Based on the data of household electricity consumption, the installed power of the PV powerplant was defined. The PV-SOL premium software tool shows the model and block display of the power plant elements. The results of the power plant's production and consumption in a year are graphically presented, and the question of the power plant's profitability is answered.

**Keywords:** photovoltaic cell, photovoltaic module, photovoltaic systems, solar power plant parts, PV-SOL premium, PV-GIS, cost-effectiveness

## **ŽIVOTOPIS**

Hrvoje Apčag rođen je u Osijeku 13.listopada 1997. godine. S vrlo dobrim uspjehom završava Osnovnu Školu Retfala u Osijeku. Nakon završenog osnovnoškolskog obrazovanja svoj daljnji uspjeh nastavlja u Elektrotehničkoj i prometnoj školi Osijek. Na 10. Međunarodnom sajmu inovacija, gospodarstva i tehničkog stvaralaštva mladih Inventum 2016. ostvaruje uspjeh te osvaja srebrnu medalju. Nakon završenog srednjoškolskog obrazovanja s vrlo dobrim uspjehom.

Svoj daljnji put nastavlja na usavršavanju za KNX tehnologije te nakon položenog ispita i odrađene prakse upisuje Fakultet elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

Najveće zanimanje pokazuje u predmetima vezane za energetiku te i samih obnovljivih izvora energije.

---

Potpis autora