

# Analiza isplativosti fotonaponskih sustava za kućanstva

---

Fajdetić, Luka

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:200:482023>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA ISPLATIVOSTI FOTONAPONSKOG  
SUSTAVA ZA KUĆANSTVA**

**Završni rad**

**Luka Fajdetić**

**Osijek, 2023.**

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

Osijek, 15.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Luka Fajdetić
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	R4056, 08.11.2021.
<b>OIB Pristupnika:</b>	04847557127
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Damir Šljivac
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Analiza isplativosti fotonaponskih sustava za kućanstva
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Dati pregled mogućih fotonaponskih sustava za kućanstva mrežni, s pohranom, otočni, hibridni. U praktično dijelu izvršiti proračun energetske i ekonomske karakteristika.
<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: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	15.09.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	24.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

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

Osijek, 25.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Luka Fajdetić

**Studij:**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

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

R4056, 08.11.2021.

**Turnitin podudaranje [%]:**

14

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza isplativosti fotonaponskih sustava za kućanstva**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Damir Šljivac

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**

UVOD ..... 6

Zadatak završnog rada.....	6
1. FOTONAPONSKI SUSTAVI .....	1
<b>1.1. Povijest razvoja fotonaponskih solarnih ćelija i modula</b> .....	1
<b>1.2. Fotonaponska ćelija</b> .....	2
<b>1.3. Fotonaponski modul</b> .....	4
2. OSNOVNA PODJELA FOTONAPONSKIH SUSTAVA .....	5
<b>2.1. Fotonaponski sustav za kućanstvo mrežni</b> .....	5
<b>2.2. Fotonaponski sustav za kućanstva s pohranom</b> .....	6
<b>2.3. Fotonaponski sustav za kućanstva otočni</b> .....	8
<b>2.4. Fotonaponski sustav za kućanstva hibridni</b> .....	9
3. KUPAC S VLASTITOM PROIZVODNJOM ( <i>ENG. PROSUMER</i> ) .....	11
<b>3.1. Postupak ostvarivanja statusa kupca s vlastitom proizvodnjom</b> .....	12
<b>3.2. Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom</b> .....	13
<b>3.3. Kućanstvo kao kupac s vlastitom proizvodnjom</b> .....	14
<b>3.4. Utjecaj integracije kupca s vlastitom proizvodnjom (<i>eng. prosumer</i>) na strujno-naponske prilike u mreži</b> .....	16
<b>3.5. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na protoke snaga u mreži</b> .....	17
<b>3.6. Utjecaj kupaca s vlastitom proizvodnjom na naponske prilike u mreži</b> .....	18
<b>3.7. Utjecaj kupaca s vlastitom proizvodnjom na strujne prilike u mreži</b> .....	20
4. Tehnički opis obiteljske sunčane elektrane .....	23
<b>4. 1. Komponente sunčane elektrane</b> .....	24
4. 1. 1. Fotonaponski modul.....	27
4. 1. 2. Podkonstrukcija fotonaponskih modula.....	28
4. 1. 3. Izmjenjivač – mozak cjelokupnog sustava .....	28
<b>4. 2. Tehnički proračun sunčane elektrane</b> .....	30
4. 2. 1. Troškovi ulaganja sunčane elektrane .....	33
5. Analiza isplativosti sunčane elektrane za mjesece veljaču i svibanj.....	35

<b>5.1 Potrošnja električne energije sunčane elektrane za mjesec veljaču i svibanj .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 Proizvodnja električne energije sunčane elektrane za mjesec veljaču i svibanj .....</b>	<b>40</b>
<b>5.3 Analiza lokacije sunčane elektrane i proračun očekivane proizvodnje električne energije pomoću programa <i>PVGIS</i> .....</b>	<b>42</b>
<b>5.4. Očekivana godišnja ušteda u troškovima za električnu energiju.....</b>	<b>46</b>
5.4.1. Godišnji troškovi za električnu energiju prije izgradnje sunčane elektrane 8,80 kWp .....	47
5.4.2. Godišnji troškovi za električnu energiju nakon izgradnje sunčane elektrane 8,80 kWp .....	50
5.4.3. Očekivana godišnja ušteda i isplativost sunčane elektrane 8,80 kWp .....	53
<b>6. Zaključak.....</b>	<b>54</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>57</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>57</b>
<b>Životopis.....</b>	<b>58</b>

## **UVOD**

U suvremeno vrijeme sve se više povećava svijest čovjeka o očuvanju okoliša te je potreba za obnovljivim izvorima energije sve veća. Sunce kao neiscrpan i obnovljivi izvor energije na Zemlji prikladan je za korištenje u konvencionalnim elektroenergetskim sustavima. Svake sekunde Sunce oslobodi toliku količinu energije razmjerne ukupnoj energiji koju je naša civilizacija iskoristila tijekom svojeg razvoja. Pretvorba energije Sunčevog zračenja pogodna je za korištenje u fotonaponskim (solarnim) sustavima, a način iskorištavanja Sunčeve energije temeljen je na fotonaponskom efektu odnosno izravnoj pretvorbi sunčevog svjetla u električnu energiju.

Fotonaponski sustav je u današnjici jedno od najbrže rastućih industrija u svijetu i njihova trenutna instalirana snaga iznosi 1046 [GW] prema statistikama iz 2022. godine koje provodi IRENA (*International Renewable Energy Agency*). [1]. Instalirani kapacitet u odnosu na prethodnu godinu porastao je otprilike za 18 %, te je potreba za fotonaponom sve veća. Povodom porasta potražnje fotonaponskog sustava zbog svoje jednostavnosti i dostupnosti u cijelome svijetu radi zarade i smanjena vlastitih troškova sve više korisnika električne energije odabire fotonapon i postaju kupci s vlastitom proizvodnjom i potrošnjom električne energije.

### **Zadatak završnog rada**

U završnom radu je provoden teorijski pregled fotonaponskih sustava za kućanstva mrežni, s pohranom, otočni, hibridni. Glavni zadatak rada je analiza tehničkog proračuna potrošnje električne energije za kućanstvo i ekonomsko uspoređivanje isplativosti dobiti za mjesec veljaču i svibanj, te prikaz troškova investicije sunčane elektrane. Biti će opisani svi proračuni, relacije i načini računanja potrebni u sastavljanju matematičkog modela, u što spadaju cijene otkupa električne energije. Proračun je proveden na primjeru predmetne sunčane elektrane na području Osječko-baranjske županije.

# 1. FOTONAPONSKI SUSTAVI

## 1.1. Povijest razvoja fotonaponskih solarnih ćelija i modula

Francuski fizičar Edmond Becquerel (1820.-1891.) otkriva fotonaponski efekt 1839. godine. Fotonaponski efekt opisuje kao proizvodnju električne struje kada se u otopinu elektrolita urone dvije ploče platine odvojene tankom membranom, koje generiraju napon i električnu struju dok su izložene sunčevom zračenju. Značajan utjecaj razvoju solarnih ćelija doprinio je američki izumitelj Charles Fritts 1883. godine, izumio prvu pravu solarnu ćeliju sačinjenu od poluvodiča selenija s tankim slojem zlata. Početak 20. stoljeća bio je predmetom mnogih istraživanja točnije 1905. godine proslavljeni teorijski fizičar Albert Einstein uvodi hipotezu fotonaponskog efekta. Einsteinu je dodjeljena Nobelova nagrada 1921. godine za radove na polju kvantne teorije. Američki znanstvenik Russell Ohl 1941. godine je otkrio prvu solarnu ćeliju načinjenu od silicija, no njezina djelotvornost pretvorbe bila je ispod 1 %. Grupa istraživača u Bell Laboratories u New Yorku, Daryl Chapin, Calvin Fuller i Gerald Pearson 1954. godine otkrila je prvi fotonaponski članak izrađen od silicija koji je generirao upotrebljivu količinu električne energije s djelotvornošću od 6 % i prvi solarni modul pod imenom Bellova solarna baterija. Od 1958. godine prva komercionalna primjena solarnih ćelija bila je u primjeni svemirskog programa za potrebe napajanja satelita. Uspješnost fotonaponskih ćelija u svemiru dovela je do komercijalnih primjena fotonapnske tehnologije. [2]



**Slika 1.1.** Fotonaponske ploče na satelitu [3]



## 1.2. Fotonaponska ćelija

Poglavlje započinje obrazloženjem rada fotonaponskog sustava, odnosno izravne pretvorbe sunčeva zračenja u električnu energiju, od čega se sastoji fotonaponski sustav i principa procesa proizvodnje električne energije te kako energiju prenosi u mrežu.

Sukladno autorima literature [4], definicija fotonaponske pretvorbe glasi: „Fotonaponska pretvorba je izravna pretvorba sunčevog svjetla u električnu struju.“

Spektar sunčevog zračenja sastoji se od fotona<sup>1</sup> koji obuhvaćaju različite količine energije koje odgovaraju različitim valnim duljinama sunčevog zračenja. Energija fotona je proporcionalna frekvenciji svjetlosti:

$$E_f = h * \nu \quad (1-1)$$

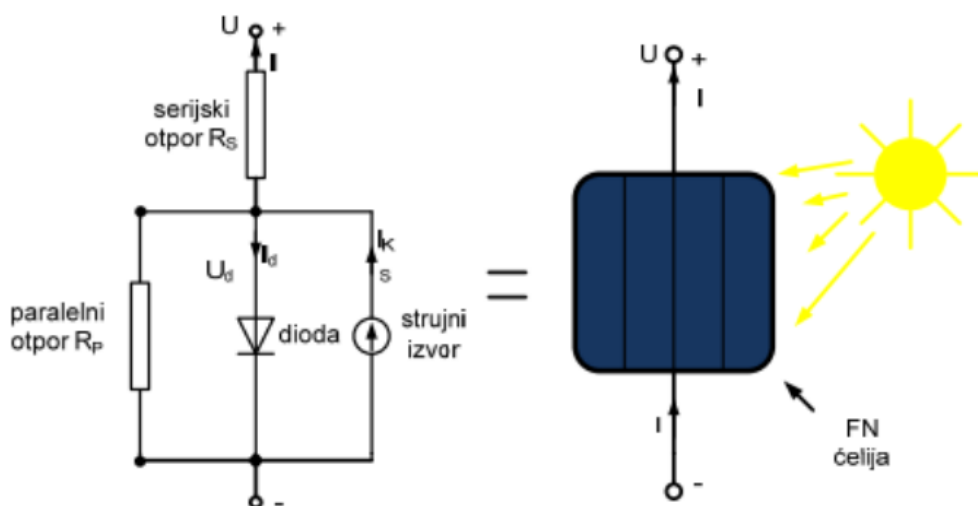
Gdje je:

- $\epsilon$  (epsilon) – energija čestice (fotona)
- $h$  – Planckova konstanta, ( $6,625 \cdot 10^{-34}$  [Js])
- $\nu$  (ni) – frekvencija promatranoga elektromagnetskog zračenja, 1/s

Kada fotoni pogode fotonaponsku ćeliju oni prodiru u unutrašnjost i izbijaju elektrone u ćeliji, oni se mogu zrcaliti od nje, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani. Fotoni nastali apsorpcijom iz sunčeva zračenja daju energiju fotonaponskoj ćeliji za oslobađanje elektrona, a kako se može reći da je električna struja zapravo strujanje slobodnih elektrona u vodiču, znači da će te negativno nabijene čestice uzrokovati električnu struju (fotonaponski efekt). Opisana električna svojstva fotonaponske ćelije biti će prikazana shematskim modelom. Na slici 2.20 prikazana je shema modela fotonaponske ćelije.

---

<sup>1</sup> Foton ili svjetlosni kvant - najmanji dio sunčeve energije koji se prenosi elektromagnetskim zračenjem



**Slika 1.2.** Shematski model FN ćelije [4]

Danas u praksi postoje četiri tehnološka pravca fotonaponskih ćelija, a oni su:

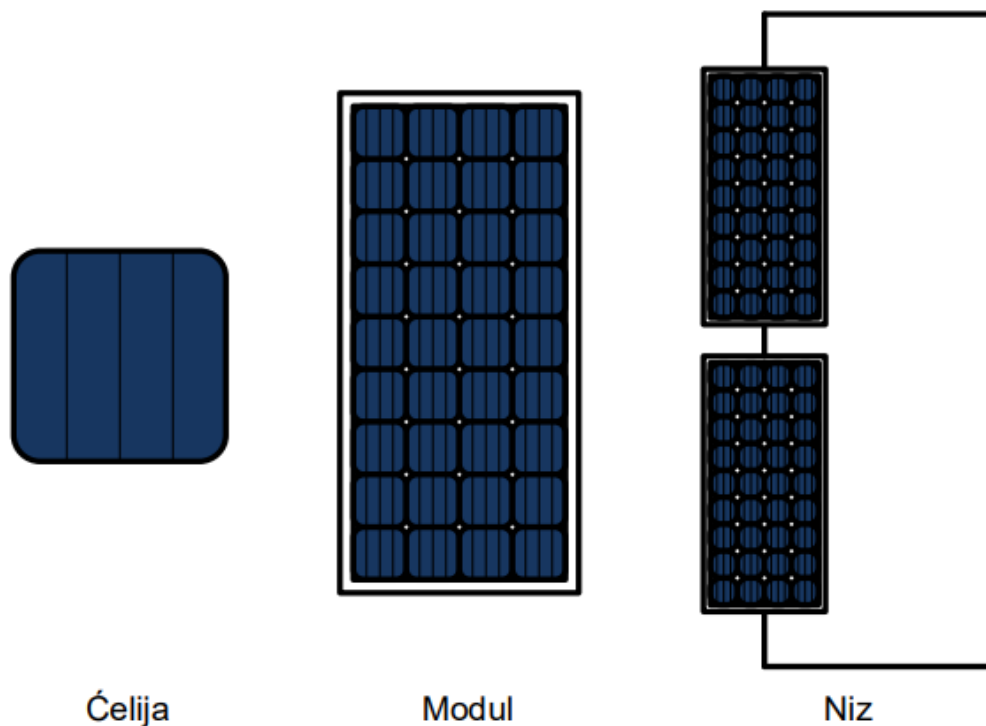
- 1) Monokristalni (i polikristalni) Silicij
- 2) Tanki filmovi
- 3) Višeslojne ćelije
- 4) Novi koncepti (niža cijena/veća efikasnost)

Spektralnom razdiobom pod standardnim testnim uvjetima sunčevog zračenja  $1 \text{ kW/m}^2$  i temperature fotonaponskog modula (ne okoline) od  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  stupanj djelovanja korisnosti fotonaponske ćelije ograničen je maksimalno termodinamički na oko 35%, a pojedini gubici prema autorima literature [4] su:

- 1) Gubici energije fotona manjih od donje granice zabranjenog pojasa  $E_g$  – 20.2%
- 2) Gubici energije fotona većih od zabranjenog pojasa – 30.2%
- 3) Gubici zbog ograničenja napona na veličinu manju od  $E_g/e$ , gdje je  $E_g$  donja granična energija, a  $e$  jedinični naboj elektrona. Za silicij on vrijedi:  $E_g/e = 0.8\text{V}$  – gubici 12%
- 4) Gubici iz dodatnih termodinamičkih razloga vezani uz omjer struje kratkog spoja i napona otvorenog kruga, tj. praznog hoda. Za Silicij kod omejsa 0.9 su oko 3%. Dakle, ukupni gubici fotonaponske pretvorbe min.: 65%

### 1.3. Fotonaponski modul

Fotonaponska ćelija je osnovni gradivni element fotonaponskog sustava, te individualne ćelije variraju od 1 do 15 cm, proizvodi napon od oko 0,5 V. Jedna ćelija proizvodi samo 1 – 3 W izlazne snage što je neupotrebljivo u praktičnim primjenama. Zbog toga ćelije povezujemo serijsko-paralelnim spojem čije spajanje omogućuje dobivanje željenih iznosa snage, struje i napona za praktičnu primjenu. Međusobnim povezivanjem dvaju ili više fotonaponskih ćelija postavljenih u kućište otporno na vremenske prilike nastaje fotonaponski modul. Više modula se povezuju u jedan niz. Slika 2.2. prikazuje FN ćeliju, FN modul, FN niz. [4]



**Slika 1.3.** Prikaz FN ćelija, FN modul i FN niz [6]

Kako solarni moduli daju istosmjernu struju napona 12 ili 24 V, potrebna je pretvračka komponenta (izmjenjivač) koja će tu istosmjernu struju pretvoriti u izmjeničnu pogodnu za predaju u mrežu ili vlastitu upotrebu. Trofazni izmjenjivači su najčešće u upotrebi koji daju simetričan trofazni napon iznosa 400 V i frekvencije 50 Hz. [7]

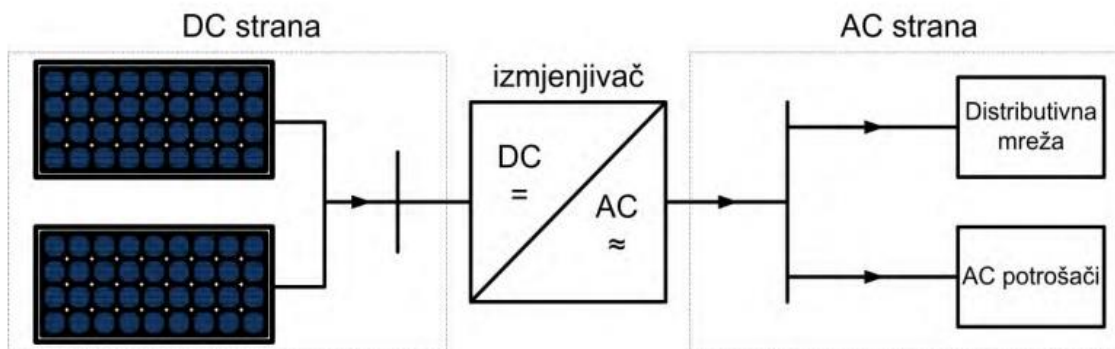
## 2. OSNOVNA PODJELA FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Vrste fotonaponskog sustava (elektrana) ovisno o načinu rada se mogu dijeliti na dvije osnovne skupine:

- Samostojeći fotonaponski sustavi (*eng. off grid*) koji nisu priključeni na elektroenergetku mrežu
  - obično se nazivaju još i otočni ili autonomni sustavi (*eng. stand alone*)
  - mogu biti s pohranom energije (s izmjenjivačem, bez izmjenjivača), bez pohrane energije ili hibridni sustavi koji su povezani s vjetroagregatom, s vodikovim ćelijama, s dizel agregatom
- Mrežni fotonaponski sustavi (*eng. on grid, grid connected*) koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu
  - često se nazivaju umreženi fotonaponski sustavi, mogu biti izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili priključeni na javnu mrežu preko instalacije

### 2.1. Fotonaponski sustav za kućanstvo mrežni

Mrežni fotonaponski sustav je sustav koji je spojen na distribucijsku elektroenergetsku mrežu. Kada se kuća u cijelosti napaja fotonaponskim sustavom, a ne koristi se sva proizvedena električna energija konektori i baterije nisu potrebni jer se proizvedena električna energija potroši na mjestu proizvodnje, višak se može prenijeti u elektroenergetsku mrežu, a kućanstvo dobiva otkup električne energije od elektroenergetske tvrtke za proizvedenu energiju. Takav sustav se sastoji od nekoliko elemenata, uključujući fotonaponske module, izmjenjivače (invertere), sustavno praćenje i kontrolu proizvodnje električne energije, te kabelski sustav. Izmjenjivači transformiraju istosmjernu struju koju generiraju fotonaponski moduli u izmjeničnu struju koja se primjenjuje za napajanje električnih uređaja u kućanstvu ili se preusmjeravaju u elektroenergetsku mrežu. [4]



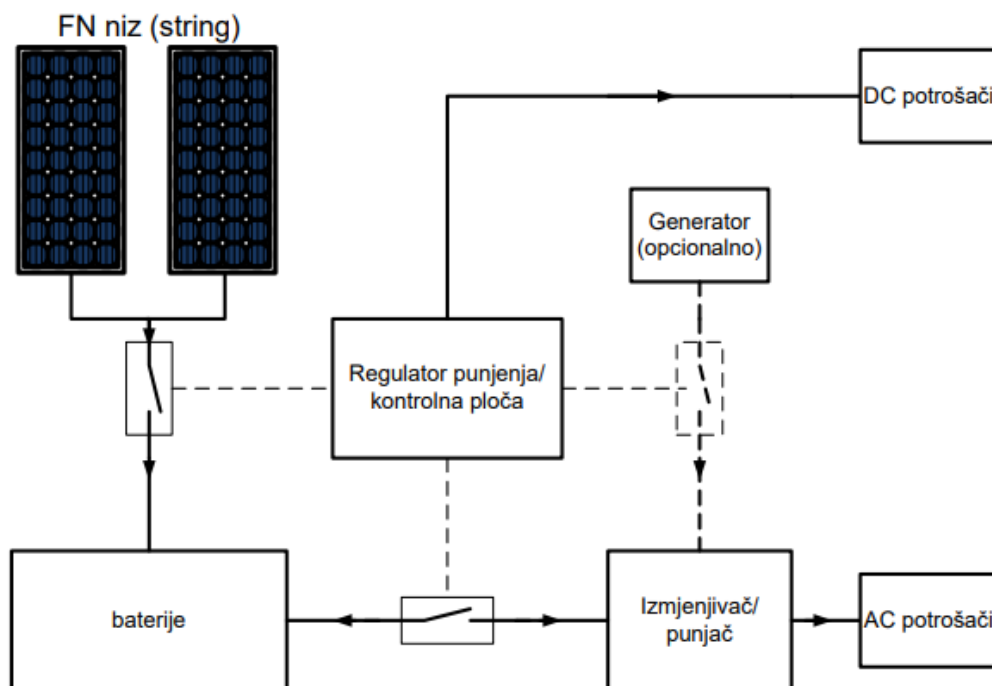
**Slika 2.1.** *Pojednostavljena shema mrežne fotonaponske elektrane [4]*

## 2.2. Fotonaponski sustav za kućanstva s pohranom

Fotonaponski sustav za pohranu energije u kućanstvu je sustav koji koristi sunčevu svjetlost u kućanstvu za proizvodnju električne energije i skladišti višak energije u baterijski sustav. Kada kućanstvo ne troši sav generirani električni potencijal, višak se pohranjuje u baterije za kasniju primjenu, a kada sunčeve svjetlosti nedostaje ili troši više energije nego što se trenutno proizvodi, kućanstvo koristi pohranjenu energiju. Fotonaponski sustavi sa pohranom energije najčešće uključuju fotonaponske module, pretvarače, baterije ili posebne uređaje za pohranu energije te sustave za nadziranje i kontrolu proizvodnje i potrošnje električne energije. Kada je potražnja za električnom energijom veća od proizvodnje, kućanstvo upotrebljava energiju pohranjenu u sustavu baterija. Ako se baterija isprazni, sustav se preusmjeri na mrežu ili generator kako bi obezbijedio neprekidno napajanje. Sustav omogućuje kućanstvima ostvarivanje energetske neovisnosti i reduciranje ovisnosti o elektroenergetskim tvrtkama. Međutim, uvođenje baterijskog sustava poskupljuje sustav, a održavanje baterije također uključuje dodatnu pažnju i troškove. Osnovni dijelovi samostojećeg FN sustavu su:

1. **Optimizator maksimalne snage:** otkriva trenutačne vrijednosti napona i struje uređaja i konstantno prilagođava radnu točku kako bi se povećala vršna snaga u danim uslovima. Izlaz ovog uređaja dovodi se do izmjenjivača (invertera) koji transformira istosmjernu struju u izmjeničnu struju koja se pritom može koristiti za punjenje baterije.

2. **Regulator punjenja:** je uobičajeno jednosmjerni (DC-DC) konverter. Nakon što je baterija u cijelosti napunjena ona će se preusmjeriti na grijač i upotrijebiti za grijanje prostora u samostalnom sustavu, samo ako ima preostalog izlaza snage. Kada nema sunčeve svjetlosti, baterija se prazni kroz konverter za napajanje potrošača. Baterijska dioda se primjenjuje za pražnjenje baterije kada je posve napunjena ili kada je punjač uključen iz različitih razloga. Dioda uređaja izoliraju uređaj od baterije, sprječavajući uređaj da upotrebljava bateriju noću.
  
3. **Modul nadzora i upravljanja (kontrolna ploča):** Prikuplja podatke o zbivanju u sustavu kao što su oprema, struja i napon baterije, kontrolira status punjenja baterije bilježenjem amper sati punjenja i pražnjenja, kontrolira punjače i konvertere pražnjenja te po potrebi uključuje i isključuje punjače. [5]

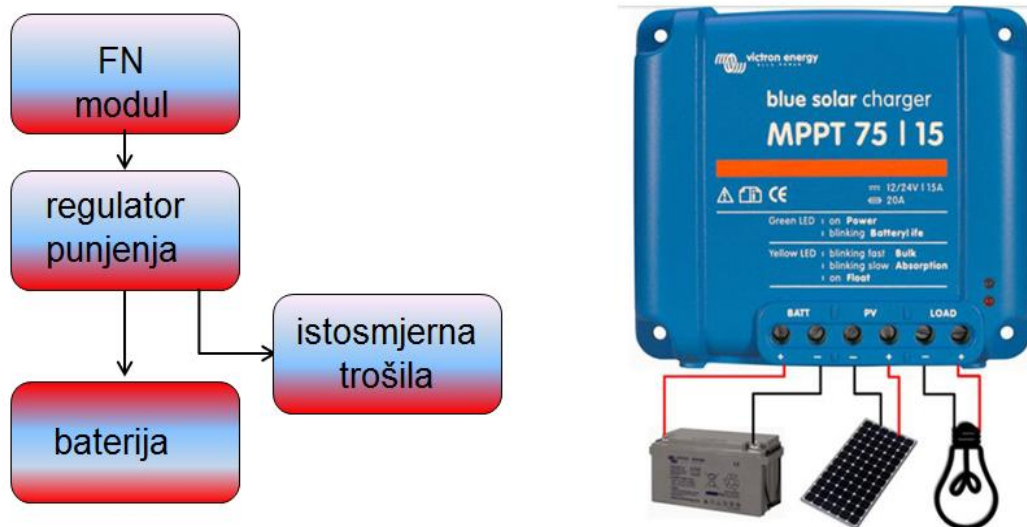


**Slika 2.2.** Prikaz sheme autonomne fotonaponske elektrane s pohranom električne energije

[4]

### 2.3. Fotonaponski sustav za kućanstva otočni

Kućni fotonaponski sustav je otočni sustav koji upotrebljava sunčevu svjetlost za proizvodnju električne energije i upotrebljava se kada ne postoje zahtjevi priključenja na elektroenergetsku mrežu, te u slučaju isključenja s mreže omogućuje osiguranje redundantnog napajanja u mrežnim sustavima. Sva proizvedena električna energija upotrebljava se istog trenutka, a višak se pohranjuje u baterije, pružajući kućanstvu da upotrebljava električnu energiju bez sunca. Ovakva vrsta sustava je najprikladnija za kućanstva koja nisu spojena na mrežu ili za kućanstva koja žele biti samostalna o elektroenergetskim tvrtkama. Najveći nedostaci otočnog sustava su: visoki početni troškovi, potreba za zamjenom litij-ionaskih baterija poslije određenog vremena te mogućnost pomanjkanja energije u slučaju oblačnog vremena ili u slučaju potrošnje veće količine energije od proizvedene.



**Slika 2.3.** Prikaz najjednostavnijeg otočnog sustava [8]

## 2.4. Fotonaponski sustav za kućanstva hibridni

Budući da je cijena baterija i dalje poprilično visoka, kao alternativa za smanjenje potrebnog broja baterija se dodaje još jedan izvor energije u samostojeći sustav. Najčešći izvori energije priloženi fotonaponskim panelima su vjetroturbine, dizelski generatori ili gorive ćelije. Za inačicu s vjetroturbinama prednost je što noću kada nema 100% sunčeve svjetlosti, postoji pojedina vjerojatnost da se određena količina energije vjetra može upotrijebiti. Ako vjetroturbina proizvodi više energije od opterećenja, energija se može pohraniti čak i noću. Kod inačice s dizel generatorom treba paziti da opterećenje generatora prelazi granicu od 70 - 80% nazivnog opterećenja, jer generator s nižim opterećenjem manje efektivno pokriva vršnu potrošnju sustava. U implementaciji gorivih ćelija, kada je sunčeva energija u višku, dio sunčeve energije se osim za bateriju može upotrijebiti za proizvodnju vodika elektrolizom. Vodik se može upotrijebiti u gorivim ćelijama za proizvodnju električne energije ako solarna energija nije raspoloživa potrošačima. Hibridni sustav može biti povezan na mrežu, samostalan ili kao potpora mreži. Neovisni hibridni sustavi su samostalni o elektrodistribucijskoj mreži i koriste se isključivo za napajanje uređaja u kućanstvu te su oni najidealnije rješenje na vrlo udaljenim lokacijama, gdje ne postoji sposobnost spajanja na elektrodistribucijsku mrežu.

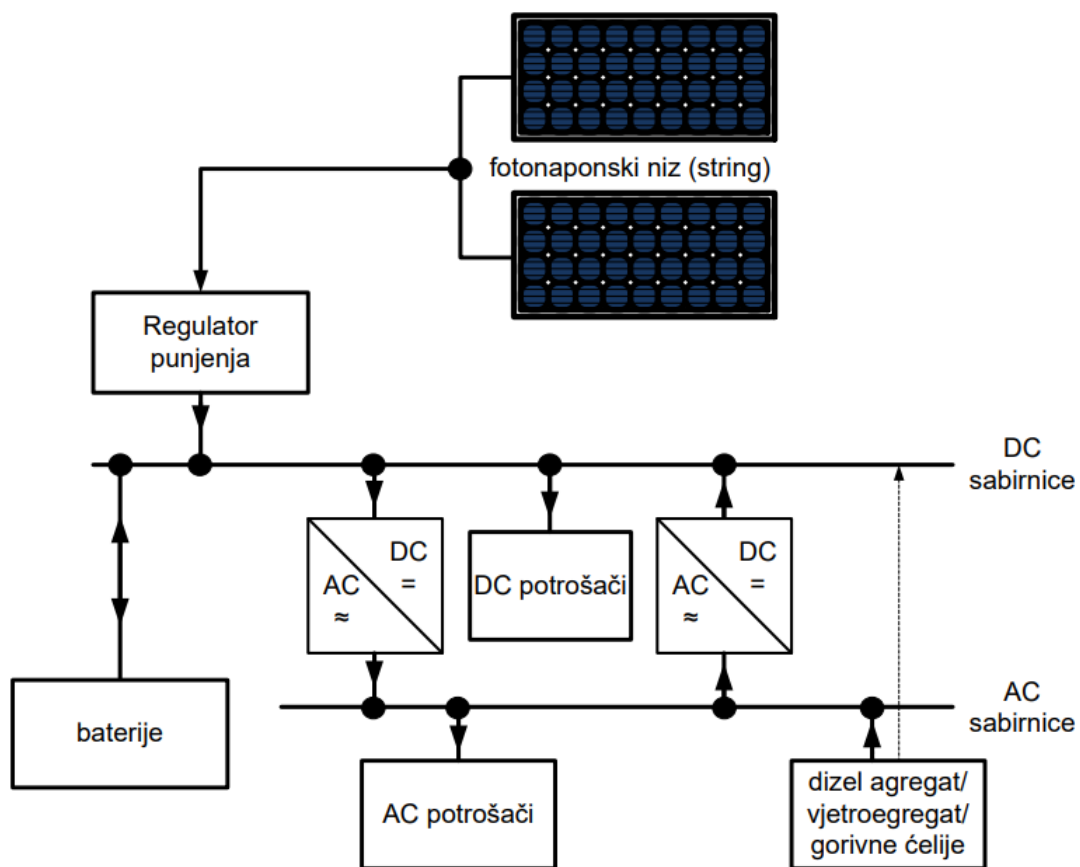
Prednosti hibridnih sustava:

- **Pouzdanost napajanja** – osigurava napajanje pri oblačnim danima i noću dok nema sunčeve svjetlost
- **Smanjenje računa za električnu energiju** – kombinacija solarnih modula i različitih izvora energije jamče smanjenje potrošnje električne energije iz elektroenergetske mreže
- **Održivost** – smanjena potrošnja konvencionalnih fosilnih goriva što pridonosi stabilnosti i smanjenju negativnog učinka na okoliš
- **Fleksibilnost** – skaliranje prema zahtjevima dodavanje ili uklanjanje dodatnog izvora energije
- **Neovisnost o mreži** – područja koja nemaju pristup električnoj mreži ili se upotrebljava kao rezervni izvor energije



Nedostaci hibridnih sustava:

- **Visoki početni troškovi** – povećani troškovi instalacije zbog zahtjeva za dodatnim komponentama poput generatora i baterija
- **Održavanje** – zahtjeva pravilno funkcioniranje svih komponenti uz održavanje i nadzor
- **Potreba za prostorom** – baterije i generatori mogu zahtijevati dodatan objekt za instalaciju



Slika 2.4 Shema samostojeće hibridne fotonaponske elektrane [4]

### **3. KUPAC S VLASTITOM PROIZVODNJOM (ENG. PROSUMER)**

Povećanjem osviještenosti kupaca o ekološkoj uravnoteženosti i smanjenjem cijena solarnih sustava, sve češće kupci električne energije odlučuju se na ugradnju solarnih modula na svoje stambene ili poslovne objekte. Na taj način kupci postaju i proizvođači, odnosno kupci koji imaju vlastite proizvode i doprinose prebacivanju energetskog sustava na pametnu mrežu. S obzirom na tehnologije koje se primjenjuju u izgradnji solarnih elektrana, razlikujemo nekoliko modela, mogućih rješenja vlastite proizvodnje podnosioca zahtjeva (eng. prosumer), kao kombinacije solarnih sustava i potrošača spojenih na distribucijsku mrežu.[9]

U Europi, postoji osam modaliteta na koje nas ljudi i tvrtke mogu usredotočiti prema inteligentnim i dekarboniziranim energetskim sustavima. Kada analiziramo kupce vlastite proizvodnje, ne bismo trebali uzeti u obzir samo jedno kućanstvo sa solarnim modulima, već širok raspon kućanstava, uključujući domaća kućanstva, te komercijalne i industrijske igrače. Definira osam različitih modela pametnih potrošača i otkriva financijske i nefinancijske faktore koji pokreću te modele, te dobrobiti koje ti potrošači pružaju društvu u cjelini. Moguća rješenja kupaca za vlastitu proizvodnju su:

1. Spojena kućanstva na mrežu s solarnim sustavom, pohranom energije ili efikasnim opterećenjem
2. Spojena kućanstva na mrežu s vanjskim energetskim sustavima
3. Kućanstva izvan mreže
4. Privatne zgrade s osobnim distribuiranim energetskim sustavima i ekonomičnim opterećenjem
5. Industrijski kupci s vlastitim distribuiranim energetskim sustavima i ekonomičnim opterećenjem
6. Zeleno korporativno opskrbljivanje
7. Virtualne energetske zajednice
8. Virtualne zajednice temeljene na neposrednoj blizini mreže [9]

### 3.1. Postupak ostvarivanja statusa kupca s vlastitom proizvodnjom

Postoji mnogo raličitih načina na koje kućanstvo može smanjiti potrošnju na računu za električnu energiju. Kućanstvo povezano na mrežu većinom proračunava svoje sustave tako da ekonomično odgovara samopotrošnji. Fotonaponski sustavi su sve više populariniji u Republici Hrvatskoj zbog isplativijih tarifa za uvođenje energije u elektroenergetsku mrežu (npr. putem ugovora o cijenama). Kućanstva koja posjeduju proizvodnju električne energije na objektu kuće u obliku solarnih modula koriste veoma važan izvor prihoda samopotrošnje. Kućanstva uštede na mjesečnom računu za električnu energiju zbog eliminiranja troškova kupnje energije putem distribucijske mreže. Kupci mogu biti novi ili dosadašnji korisnici mreže koji koriste vlastite instalirane fotonaponske elektrane za ostvarivanje vlastitih potreba i prodaju viška električne energije u elektrodistribucijsku mrežu. Također ima ponuđenu priključnu snagu u smjeru kupca i priključnu snagu u smjeru proizvodnje na istom mjernom mjestu. Prema članku 3. "Pravilnika o naknadi za pristup mreži i naknadi za povećanje pristupne snage" [11], naknada za pristup korisniku koju sami proizvedu preračunavaju se kao zbroj naknade za pristup kupcu i naknade za pristup. Za proizvođače kupci samo moraju platiti višu naknadu. Ugovorima o opskrbi krajnjih kupaca vlastitim proizvodima određeno je preuzimanje snage od kupaca vlastitih proizvoda. Prema članku 44. "Zakona o obnovljivim izvorima energije i učinkovitoj kogeneraciji, opskrbljivači električnom energijom"[12] su dužni otkupiti višak električne energije koju proizvedu od kupaca. Proizvođači imaju stečeno ovlaštenje trajnog priključka na mrežu, cijelokupna mrežno priključena snaga proizvodnih objekata na obračunsko-mjernom mjestu ne smije prekoračiti 500 kilovata, a priključna snaga željenih korisnika koju proizvodi sam proizvođač ne smije biti veća od priključne snage kupaca. Proizvođači i potrošači koji s vlastitim proizvodima ne zadovoljavaju uvjete za sklapanje ugovora s krajnjim korisnicima mogu po želji zahtijevati sklapanje ugovora o otkupu električne energije s bilo kojim kupcem na tržištu. Opskrbljivač električnom energijom definira minimalnu vrijednost električne energije utrošene za krajnje korisnike koji proizvode  $C_i$  po završetku obračunskog razdoblja i na sljedeći način:

$$C_i = 0,9 * PKC_i \quad (3-1)$$

Ako je obračunsko razdoblje  $E_{pi} \geq E_{ii}$ , odnosno ukupna električna energija koju je kupac otkupio iz mreže veća od ukupne električne energije koju su u mrežu isporučila energetska postrojenja u vlasništvu kupca,

i

$$C_i = 0,9 * PKC_i * E_{pi} / E_{ii} \quad (3-2)$$

i

prosječnu cijenu električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču tijekom obračunskog ciklusa u kojem vrijedi  $E_{pi} < E_{ii}$

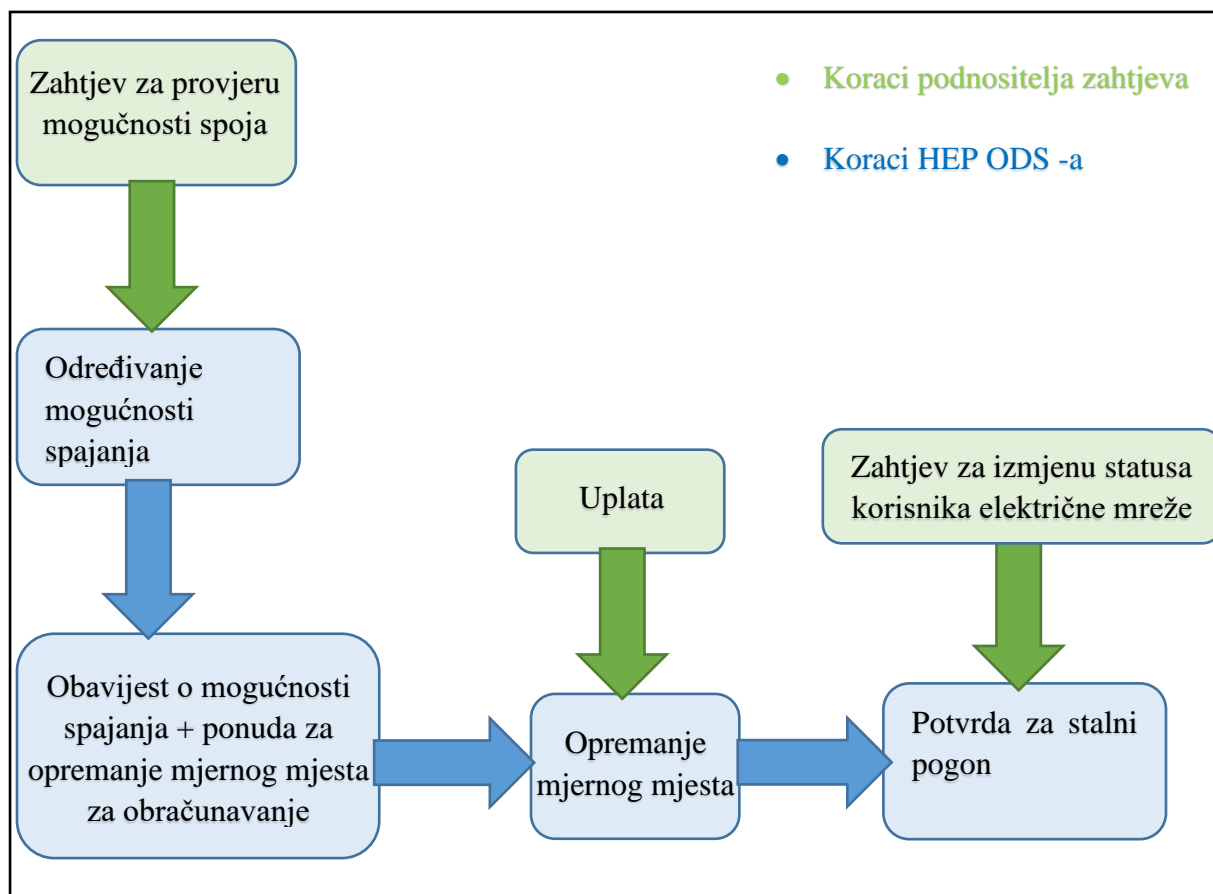
pri čemu je:

Tijekom obračunskog razdoblja  $E_{pi}$  prikazuje ukupnu električnu energiju koju je kupac primio iz mreže, u n.j./kWh (novčanoj jedinici), a  $E_{ii}$  je ukupna električna energija isporučena u mrežu iz vlastitih proizvodnih postrojenja kupca u n.j./kWh (novčanoj jedinici).  $PKC_i$  je prosječna cijena električne energije koju kupci plaćaju opskrbljivačima u n.j./kWh (novčanoj jedinici), bez naknade za korištenje mreže. Opskrbljivači električnom energijom imaju interes ponuditi krajnjim kupcima povoljnije standarde otkupa od minimalnih standarda propisanih Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. [10]

### 3.2. Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom

Osim praktičnih koraka spajanja, ako dosadašnji kupac iz kućanstva treba spojiti proizvodnu opremu na vlastiti postojeći sustav, instalirana snaga proizvodne opreme bit će reducirana na priključnu snagu obračunskog i mjernog mjesta priključenog na proizvodno postrojenje. Za izvođenje postupka primjenjuju se sljedeći osnovni koraci (Slika 3.2):

- zahtjev za kontrolu mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja
- dostavljanje relevantnih podataka o mogućnostima priključenja,
- usluga za opremanje mjernih mjesta za naplatu i prijedloga novih pravilnika za korištenje mreže
- provođenje opremanja za obračun mjernih mjesta,
- potpisivanje ugovora o korištenju mreže i zahtjeve za izmjenu osobnosti korisnika mreže,
- izdavanje potvrde za redoviti pogon



**Slika 3.2.** Koraci za spajanje kućanstva s vlastitom proizvodnjom energije [13]

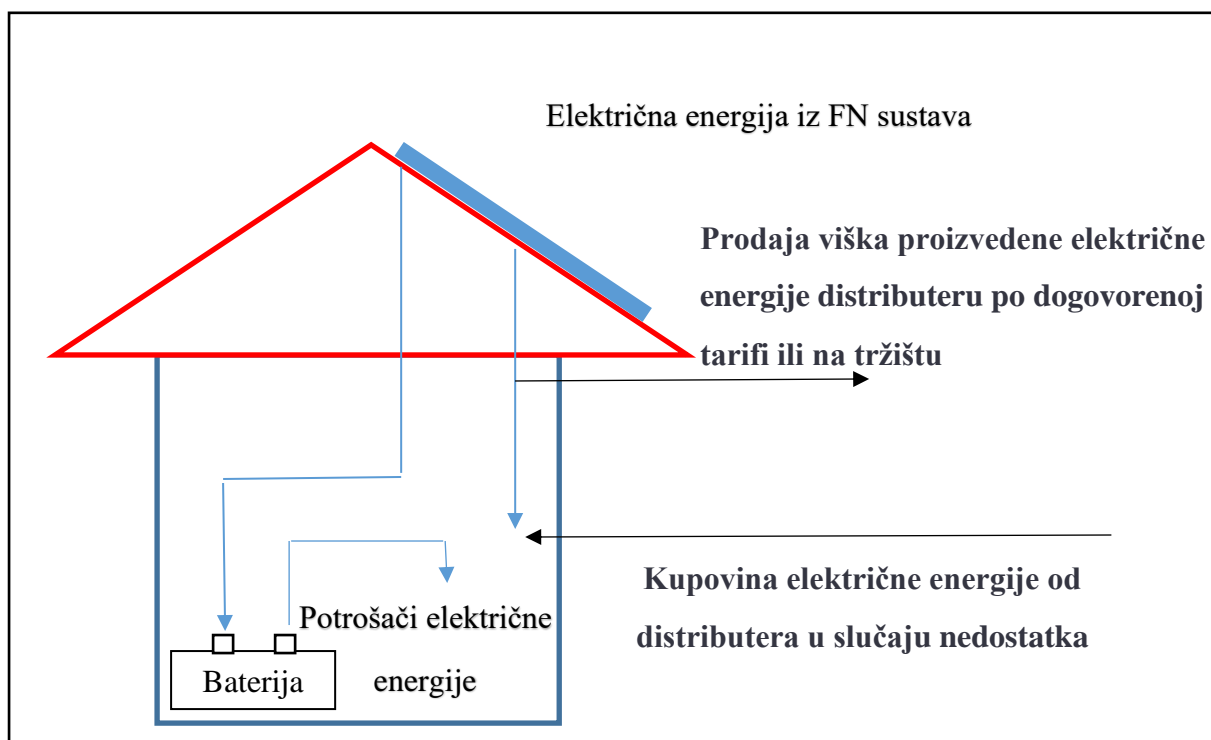
### 3.3. Kućanstvo kao kupac s vlastitom proizvodnjom

U obiteljskom objektu, fotonaponski sustavi proizvode električnu energiju kako bi ispunili potrebe kućanstva. Dio viška proizvedene električne energije isporučuje se u elektroenergetsku mrežu, a drugi dio se primjenjuje za punjenje baterijskog sustava za skladištenje električne energije. Električna energija proizvedena fotonaponskim sustavom troši se što je više poželjno u zatvorenom prostoru. Najbolje rješenje za efikasno i ekonomično korištenje je imati sustav koji sakuplja višak električne energije kako bi kompenzirao manjak energije tijekom niske proizvodnje ili kada nema proizvodnje noću. S potpuno napunjenim baterijama uz nisku potrošnju i visoku proizvodnju, višak električne energije usmjerava se u elektroenergetsku mrežu[14].

Elementi sustava:

- Fotonaponski moduli
- Fotonaponski pretvarač
- Sustav za kontrolu punjenja i pražnjenja baterija
- Pohrana električne energije u baterije
- Sustav za regulaciju energetskega toka
- Potrošnja
- Priključak na elektroenergetsku mrežu

Prema slici 3.3. Prikaz obiteljske kuće s fotonaponskim sustavom instaliranim na krovu. Proizvedena električna energija upotrebljava se za potrebe kućanstva i za punjenje baterija za pohranu viška energije. Ako proizvodnja nadmašuje potrošnju, višak energije se preusmjerava u mrežu i prodaje proizvođačima. Ako je potrošnja veća od proizvodnje, potrebno je dobiti dodatnu električnu energiju od proizvođača kako bi se zadovoljile energetske potrebe kućanstva.



**Slika 3.3.** Kućanstvo s vlastitim sustavom proizvodnje električne energije

Prednosti kućanstva kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Potpuna neovisnost dovodi do većih ušteda odnosno manju zavisnost o davateljima usluga distribucijskog sustava
- Smanjena ukupna potrošnja energije u sustavu
- Osigurani spremnici energije u slučaju prekida mreže
- Napredak u razvitak ekološke prihvatljivosti
- Doprinos transformaciji energetskeg sustava

Nedostaci kućanstva kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Troškovi investicije visoki
- Spremnici energije (baterije) imaju ograničen vijek trajanja
- Baterije mogu negativno odraziti na mrežu
- Veliki fotonaponski sustavi podvrguju velikim porezima
- Prodaja proizvedene električne energije podvrguje regulacijama
- Period otplate investicije je dug

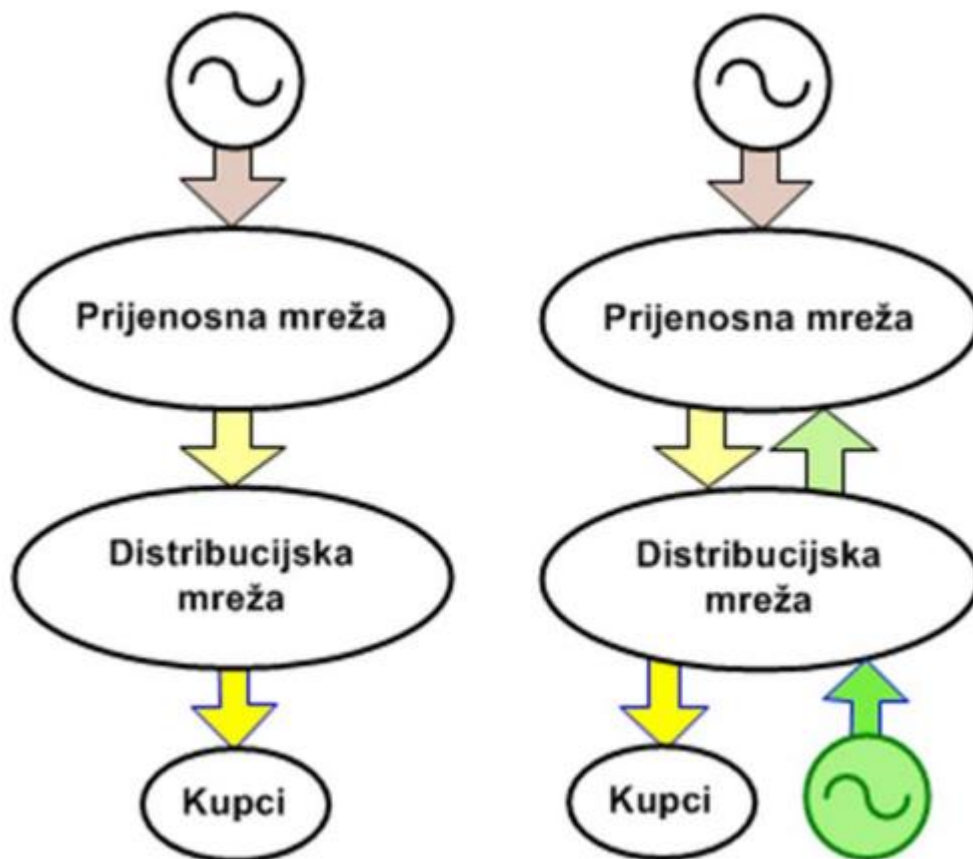
### **3.4. Utjecaj integracije kupca s vlastitom proizvodnjom (*eng. prosumer*) na strujno-naponske prilike u mreži**

Model proizvodnje kupca s vlastitom proizvodnjom i prodaje energije prodavača može imati znatan učinak na elektroenergetski sustav jer je kupac postao aktivni učesnik za proizvodnju i potrošnju električne energije. Na taj način kupac s vlastitom proizvodnjom pomaže u smanjenu opterećenja vršnih elektroenergetskih sustava i unapređenju sigurnosti napajanja. Izmjene u samoj distribucijskoj mreži zbivaju se s priključenjem kupca koji proizvodi vlastitu električnu energiju. S povećanjem distribuirane proizvodnje i bliskosti s brojem kupaca u distribucijskoj mreži, primijećen je sljedeći utjecaj na mrežu:

- Utjecaj na tokove snage
- Utjecaj na naponske uvjete
- Utjecaj na strujne uvjete

### 3.5. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na protoke snaga u mreži

Primjenom distributivne proizvodnje na distribucijskoj mreži, sam sustav će se mijenjati i postati aktivniji jer prisustvuje u proizvodnji snage. Ova metoda između ostalog utječe na tokove snage u lokalnoj distribucijskoj mreži. Snaga ubrizgana generatorom distribucije indirektno utječe na mijenjanje u protoku snage u pojedinim granama distribucijske mreže. Osim toga, kada je proizvodnja manja od potrošnje, opterećenje se može smanjiti. U slučaju veće proizvodnje od potrošnje, tokovi snage u granama distribucijske mreže mogu mijenjati smjer. Budućim povećanjem proizvodnje ili smanjenjem potrošnje mogu se povećati gubici u mreži. Dakle, integriranost elektrana distribuirane proizvodnje iz fotonaponskih sustava na distribucijsku mrežu može osigurati novi način za optimizaciju i unaprjeđenje elektroenergetskog sustava. Distribucijska mreža postaje „prijenosna“ mreža jer prenosi energiju od izvora do druge prijenosne mreže i postaje „izvor“ jer napaja proizvedenom energijom prijenosnu mrežu, na način da oni mogu biti (Slika 3.5.): [15]



**Slika 3.5.** Elektroenergetski sustav prije i poslije integracije distribuiranih izvora [15]



Fotonaponski sustavi izvrstan su primjer utjecaja distribuirane proizvodnje na protoke snage u distribucijskoj mreži. Ona ovisi o meteorološkim uvjetima sve dok se na distribucijskim vodovima smjer protoka snage može mijenjati nekoliko puta tijekom dana, sukladno tome potrebno je učestalo praćenje i analiza protoka snaga kako bi se na redovite promjene protoka snaga moglo djelotvorno odgovoriti. Samo je maksimalna potrošnja bila razmatrana prije pojave distribuirane proizvodnje. Minimalna potrošnja postaje izrazito važna za sustav te njegovo učinkovito upravljanje i planiranje. Koliko se snage može spojiti na izvod ovisi o minimalnoj potrošnji i stupnju integracije u distribucijskoj mreži.

### **3.6. Utjecaj kupaca s vlastitom proizvodnjom na naponske prilike u mreži**

Priključivanje distribuiranih generatora najčešće ima efekt povećanja napona na mjestu priključka, što može izazvati prenapon drugim potrošačima u neposrednoj blizini. Potreba reduciranjem povećanja napona uglavnom definira veličina generatora koji se može spojiti na odgovarajuću lokaciju nego termičko naprezanje voda. Po završetku minimalnih preopterećenja najveći problemi pojavljuju se s porastom napona. Stupanj integracije prikazuje proizvodnu vrijednost koja se može priključiti na zadan sustav bez naponske nestabilnosti (između ostalog, strujna/toplinska opterećenja itd.). Najčešća je ovisnost stupnja integracije distribuirane proizvodnje o naponskim uvjetima i opterećenjima u mreži. Za precizno određivanje stupnja integracije važno je poznavati mrežna pravila, odnosno dozvoljeno odstupanje napona od nazivne vrijednosti. Razina integracije na zadanom mjestu u distributivnoj mreži može biti povećana regulacijom napona, primjenjujući određene metode: [15]

- **Regulacija napona mijenjanjem prijenosnog omjera transformatora** - Jedna od najčešćih metoda, čime prijenosni omjer transformatora može biti izmijenjen radi regulacije napona na sabirnici, transformatoru ili duž voda. Kod visokonaponskog namota smanjuje se napon na niskonaponskoj strani povećanjem zavoja primara. Suprotno do porasta napona na niskonaponskoj strani transformatora dolazi pri smanjenju broja zavoja visokonaponske strane. Upotrebljavaju se ručne ili automatske preklopke za izmjenu prijenosnog omjera transformatora. Ručne preklopke upotrebljavaju se u beznaponskom stanju, a kod automatskih preklopki mora postojati regulator koji će u propisanim uvjetima provesti preklapanje.

- **Regulacija napona gradnjom novih izvoda** - Novi izvodi (vodovi/transformatore) se mogu izgraditi ili povećanjem presjeka sadašnjih vodova/snage transformatora povećati radi kontrole napona. Obično zbog povećanja presjeka izvoda praktičnija je ugradnja sasvim novog izvoda. Novi izvodi su efikasno rješenje jedino za veće jedinice jer u slučaju manjih jedinica cijena novog izvoda preskupa je u usporedbi s cjelokupnom cijenom distribuirane proizvodnje.
- **Regulacija napona kontrolom djelatne i jalove snage** – Sposobnosti kontrole distribuiranom proizvodnjom, posebice regulacija djelatne i jalove snage (statičko i dinamičko upravljanje djelatnom snagom, upravljanje jalovom snagom), moraju biti definirane radi integracije te optimizacije paralelnog pogona s mrežom. Modeliranje tokova opterećenja prikazuju da će naponi povećati iznad prikladnih granica samo nekoliko sati godišnje. Onda je moguće financijski efikasno "natjerati" generatore da smanje proizvodnju djelatne snage tijekom tih sati. Izgubljeni prihod može biti mnogo manji u komparaciji s troškovima rekonstrukcije jačih vodova/transformatore ili drugih infrastrukturnih rješenja.
- **Koordinacija više metoda** - Dobra Q(U) kontrola jalove snage proizvodne jedinice u niskonaponskim NN mrežama može se značajno unaprijediti koordinacijom s aktivnom kontrolom napona na stezaljkama primarnog i sekundarnog SN/NN namotaja regulacijskog transformatora. Implementacija regulacijskih transformatora efikasna je u međugradskim i gradskim mrežama, a koncept Q(U) kontrole garantira siguran i stabilan rad mreže. Rekonstrukcija novih vodova/transformatore je najskuplja alternativa.

### 3.7. Utjecaj kupaca s vlastitom proizvodnjom na strujne prilike u mreži

Pri pripremi dimenzioniranja elektroenergetske mreže, osobito vodova bitno je uzeti u obzir termičku otpornost elemenata sustava. Ne ovise jedino o toku struje kroz komponentu već i o okolnostima okoline. Sve grane (vodove i transformatore) mreže poželjno je opteretiti do regulirane granice, ne narušavajući stabilnost distribucije i termičku barijeru vodova pri pokretanju vodova. Odabir prikladnog dijametra vodova i kabela, kao i odgovarajućih zaštitnih mjera će uvelike ovisiti o dozvoljenoj termičkoj struji, tj. maksimalnoj propisanoj struji koja neće oštetiti komponentu kroz koju protječe. Kako bi se izbjeglo preopterećenje voda te njegovo maksimalno zagrijavanje, a time i prekoračenje maksimalne dozvoljene struje neophodno je maksimizirati kapacitet (odnosno mogućnost opterećenja vodova i kabela). Izolacijski materijal ili vodič uvelike ovisi o temperaturi na koju će se zagrijati npr. temperaturi radne okoline, brzini vjetra i brzini transmisije topline na okolinu. U mrežama nižeg napona vodovi i kabeli su predimenzionirani u segmentima njihovih termičkih granica (do 20 kV). Uzrok predimenzioniranja je održavanje napona potrošača unutar granica, padovi napona u vodičima trebaju biti ograničeni. Obično zahtijeva primjenu vodiča većih od onih koje definira termičko ograničenje. Procjena troška gubitaka po završetku životnog vijeka i troška gubitka energije kroz životni vijek u odnosu na investiciju često je u korist predimenzioniranja. Kod dimenzioniranja transformatora definiranje termičkih granica je komplicirano tako da rade izrazito termički opterećeni, a gubici praznog hoda važni i tako je produktivnost slabo opterećenog transformatora loša. Radi toga transformator može biti hlađen prirodno (konvektivno), ventilatorom ili uljanom pumpom. Oblici i metode kojima se povećava razina integracije s obzirom na strujna opterećenja su: [15]

- **Povećanje sposobnosti opterećenja vodova, učinkovitost pri opterećenju i uspostavi novih poveznica** – ključne karakteristike prevencije u elektroenergetskom sustavu je mjerenje napona pomoću komponente i usporedbe te vrijednosti s mjerenom vrijednosti napona, te prvenstveno granice zaštite prikazuju granicu za dizajnirane toplinske parametre. Dimenzioniranje zaštite čuva komponente tijekom njihovog čitavog vijeka trajanja u svim vremenskim uvjetima. Prilikom zadovoljavanja svih mogućih kriterija zaštite, kao granica za dizajnirane toplinske pokazatelje zabilježena po završetku dugogodišnji maksimuma uzima granica od 10-15 godina. Opterećenjem

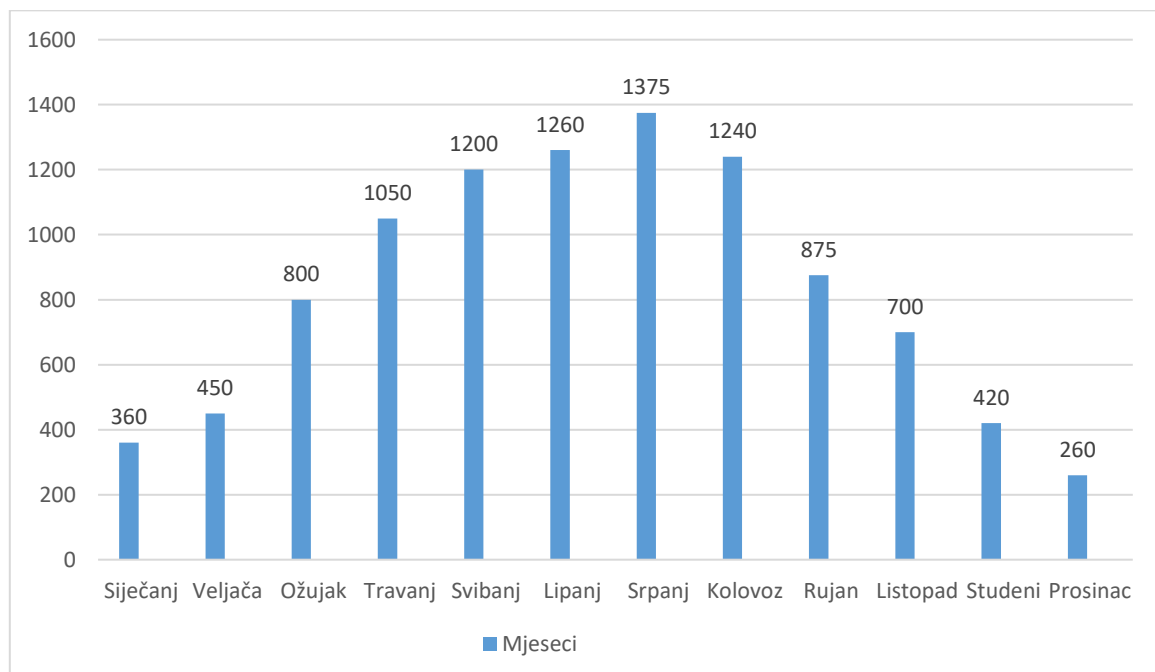
kapaciteta vodova upotrebom većeg presjeka omogućava se izravna transmisija većih tokova snaga, odnosno povećava se kapacitet transmisije. Nedostatak ove metode su veći dodatni troškovi jer je neophodno koristiti više bakra/aluminija. Međutim prilikom priključivanja distributivnih izvora na mrežu financijske troškove opreme snose vlasnici postrojenja, a to uključuje vodove, kablove i zaštitu.

- **Dinamička kontrola struja duž i poprijeko vodiča** – povećanjem integracije distributivne mreže drugog stupnja može se ostvariti primjenom poprečne nadoknade, odnosno serijskih uređaja FACTS (*Flexible Alternating Current Transmission System*). Uređaj za fleksibilnu distribuciju izmjenične struje koji omogućava povećanje transmisije snage vodovima. Klasični serijski kompenzator kreira se kao naponski izvor s impedancijom ovisnom o naponu spojen u seriju s vodičem, a može raditi na dva načina: nadgledanjem i regulacijom. Glavna razlika između primjene ove dvije metode kompenzacije je u tome kako modifikacija impedancije utječe na tokove snaga.
- **Sustavi upravljanja energijom** (*eng. Energy Management System, EMS*) – proizvodna regulacija iz distribuiranih izvora može se realizirati integriranjem informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT) odnosno u proces gospodarenja energijom. Ovaj proces upravljanja zasniva se na optimalnom korištenju obnovljivih izvora, jedno od temeljnih karakteristika intermitivnosti. Za djelotvorno upravljanje energijom sustava nužno je uspostaviti vezu unutar proizvodnih jedinica, pohrane energije u spremnike, primjena preciznih mjerenja te analizirati i prikupiti podatke SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sustava. Za ostvarivanje učinkovitosti sustava upravljanja energijom izvršiti će se metode verifikacije distribucijske mreže i operativne strategije. Primjena upotrebe različitih tehnika za sustave upravljanja energijom dovodi do optimizirane preciznosti i regulaciji distribuirane proizvodnje. Regulacijska metoda baze podataka upotrebe KSC (*Knowledge Server for Controllers*) jamči efikasna rješenja za raznovrsne probleme, pri čemu se ostvaruje smanjenje troškova i međusobno integriranje jedinica modula distributivne proizvodnje.

- **Upravljanje potražnjom (eng. load management) i skladištenje energije** – Prema autoru literature osnova zadaća elektroenergetskog sustava je: "Osiguravanje ravnoteže između proizvodnje i potrošnje električne energije i njihova vremenska usklađenost". [15] Cjelokupna potražnja električnom energijom izmjenjuje se varijabilno tijekom dana te distributeri koji gospodare elektroenergetskom mrežom trebaju na zahtjeve potrošnje odgovoriti zadovoljavajućom proizvodnjom, te primjenjuju procjenu koliko će određeni sustav dati u mrežu. Proizvodnja iz solarne energije većinom je nepredvidiva, što onemogućuje kontinuirano praćenje proizvodnje električne energije. Dok aktivna proizvodnja distributivnih izvora minimizira opterećenje distributivnog voda dolazi do opterećenja sustava. Dozvoljena rješenja preopterećenja sustava su: minimiziranje proizvodnje, maksimiziranje potrošnje ili uskladištenje viška energije. Gašenjem određenih elektrana proizvodnja se može reducirati. Reducirati proizvodnju sunčane elektrane nije jednostavno za vrijeme veoma sunčanog dana. Minimiziranje opterećenja sustava uvjetovati će povećanje potrošnje, no to nije uvijek poželjno jer potrošača nije moguće "natjerati" na povećanje potrošnje.
- **Prespajanje između izvora i integrirane zaštite** – integracija ovih metoda pruža mnoge mogućnosti, uključujući smanjenje emisije štetnih plinova i ovisnost o konvencionalnim izvorima energije. Međutim, stvara mnoge teškoće poput fluktuacija koje predstavljaju promjene u elektroenergetskom sustavu koje negativno utječu na napajanje električne mreže i potrebe za učinkovitim prespajanjem između izvora, te zaštite sustava u slučaju kvarova ili mrežne nestabilnosti. Primjeri kojima se nadomještaju izmjene u proizvodnji su: punjenje hibridnih *plug-in* automobila, upravljanje grijanjem, ventilacijom, klimatizacijom, te neplanirani industrijski procesi. Sadašnje tehnike koje se upotrebljavaju za prespajanje između izvora zahtijevaju tradicionalne načine, prebacivanje električnih strujnih krugova prekidačem ili zahtjevnije tehnologije poput digitalnih sigurnosnih prekidača i integriranih električnih sklopova.

## 4. Tehnički opis obiteljske sunčane elektrane

Geografska lokacija proizvodnog postrojenja FN elektrane iznosi 45.560° Sjeverno / 18.726° Istočno na području Osječko-baranjske županije. Projektirana sunčana elektrana snage 6 kWp istosmjerne struje koja proizvodi električnu energiju pretežno za vlastitu potrošnju obiteljske kuće. Na krovu obiteljske kuće će se postaviti fotonaponski sustav za proizvodnju električne energije. Fotonaponski sustav će se sastojati od 22 pojedinačna fotonaponska modula. Moduli iste jedinice snage 400 W, svaki postavljen na aluminijsku podkonstrukciju. Instalirana ukupna ulazna snaga je 8,80 kWp. Sunčane ćelije su iznimno učinkoviti, tihi i dugotrajni uređaji s učinkovitošću proizvodnje električne energije oko 20%. Fotonaponski moduli tijekom djelovanja ne ispuštaju zagađivače u atmosferu. Fotonaponski moduli imaju radni vijek veći od 30 godina i jedni su od najkvalitetnijih i najpouzdanijih poluvodičkih proizvoda. Na završetku radnog vijeka fotonaponski moduli se mogu u cijelosti reciklirati, a komponente sirovina se mogu upotrijebiti ponovno. Zbog povoljnog geografskog položaja u Hrvatskoj, proizvodnja energije putem FN elektrane je vrlo dobra. Prema dostupnim podacima sunčane elektrane predviđena je godišnja proizvodnja od 10.010 kWh godišnje s detaljnijim prikazom po mjesecima u sljedećem grafičkom prikazu: [16]

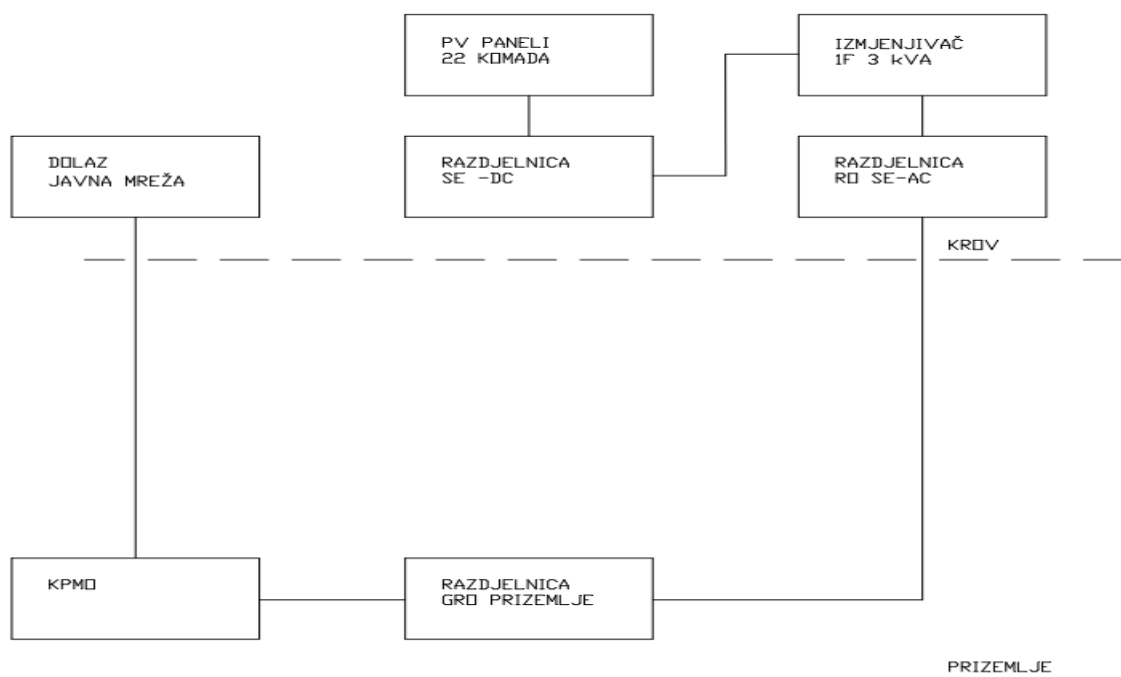


**Slika 4.1.** Grafički prikaz godišnje proizvodnje sunčane elektrane u [kWh]

## 4. 1. Komponente sunčane elektrane

Fotonaponski sustav obiteljske sunčane elektrane sastoji se od glavnih elemenata:

- Blok shema fotonaponskog sustava SE prikazuje povezanost svih glavnih dijelova ovog energetskeg sustava
- Jednopolna shema KMPO-E prikazuje detaljan uvid u električne veze koje kontroliraju izlaz električne energije na solarnim panelima
- HEP-ODS priključak s povezanom javno energetskom mrežom omogućuje djelotvorno dijeljenje viška energije s ostalim klijentima mreže
- Jednopolna shema SE-DC (istosmjerna struja) služi korištenju napajanja električnih uređaja u kućanstvu
- Jednopolna shema SE-AC (izmjenična struja) služi za svrhu pretvorbe istosmjerne struje u izmjeničnu za kućanske potrebe
- Raspored panela na krovu obiteljske kuće odabran tako da se iskoristi maksimalna sunčeva svjetlost
- Situacija prikazuje postavljanje fotonaponskih panela na terenu i odnos panela prema okolini

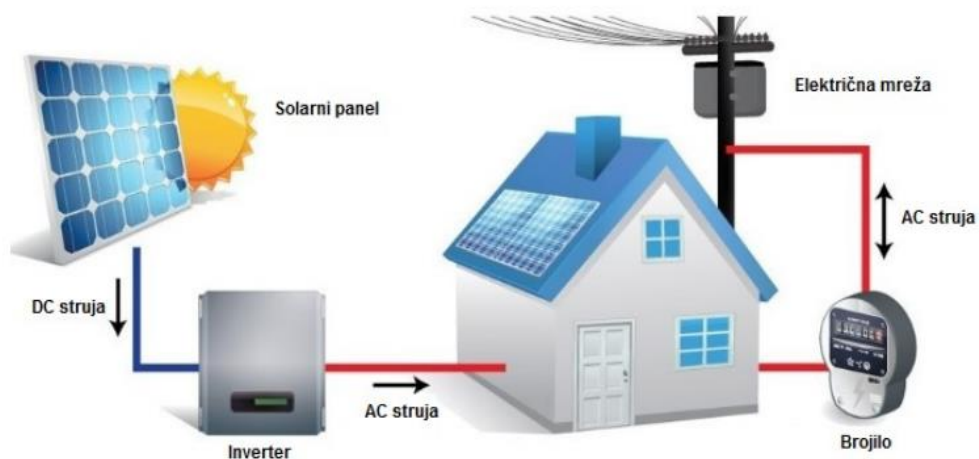


**Slika 4.2.** Shema sunčane elektrane [16]

Za planiranje i tehnološki razvoj sunčane elektrane važno je prikupiti meteorološke podatke s lokacije gdje se želi postaviti. Nužni su podaci kao što su geografska širina i dužina, nadmorska visina, insolacija mjesečne sunčeve energije, temperatura, zemaljski geoid itd. Iz ovih podataka može se izračunati pravilna orijentacija fotonaponskih panela i očekivana proizvodnja električne energije. Osim toga, neophodno je ispitati mogućnosti priključenja sunčane elektrane na distribucijsku mrežu i pružiti sigurnost i efikasnost sustava. Glavne komponente solarnog postrojenja uključuju (Slika 4.3.):

- **Generatorski sustav** - fotonaponski moduli, spojeni u seriju kako bi se povezali nizovi (stringovi), postavljeni na krovu
- **Razdjelnik RO – SE-AC** – služi za prihvaćanje izlazne AC (izmjenične) struje iz pretvarača s diferencijalnom zaštitom i prekidačima, te odvod prema glavnom razvodnom ormaru u hodniku prizemlja (GRO) ili priključno mjernom ormaru KPMO. U sklopu RO-SE sustava smješten je izmjenjivač (inverter)
- **Inverterski sustav** – izmjenjivač služi za pretvaranje DC (istosmjerne) električne struje u izmjeničnu, a također se u njemu izvršava i istovremeno paralelno spajanje dijela fotonaponskih nizova (stringova) te zaštita od kvarova i prenapona. Svi značajni parametri djelovanja elektrane mjeru se u pretvaraču te postoji mogućnost daljinskog nadzora rada sunčane elektrane
- **Ostali dijelovi** – nosiva potkonstrukcija na koju se direktno instaliraju fotonaponski paneli, DC/AC izmjenjivač, kabeli priključenja, niskonaponska pomoćna sklopna oprema i pripadni razvodni ormari





**Slika 4.3.** *Komponente sunčane elektrane i DC/AC pretvorbe invertera [17]*

U fotonaponskim ćelijama solarna energija se izravno pretvara u električnu energiju istosmjerne struje. Neophodno je pretvoriti ispitani napon u sinusoidalni izmjenični napon odgovarajuće frekvencije (230 V, 50 Hz) i regulirati ga s naponom elektroenergetske mreže. Nakon toga, transformaciju napona iz fotonaponskog polja definira DC/AC izmjenjivač (inverter). [17] Izmjenjivač u krugu fotonaponske sunčane elektrane označava mozak cjelokupnog sustava. Osim toga, označava uređaj energetske elektronike koji povezuje istosmjerni i izmjenični dio strujnog kruga. Sunčana elektrana proizvodi istosmjernu struju, dok su potrošači koje elektrana opskrbljiva izmjeničnog karaktera. Izmjenjivač osim pretvorbe istosmjernog u izmjenični napon izvršava i razne zadaće nužne za siguran rad sustava. Nužno je da DC/AC izmjenjivač ima ugrađenu zaštitu od autonomnog rada fotonaponskog sustava. U slučaju nestanka mrežnog napajanja, uređaj treba prestati opskrbljivati mrežu električnom energijom. Otočni rad sunčane elektrane može predstavljati opasnost za osobe koje rade na mreži jer se može vjerovati da nema napona te za opremu koja bi mogla biti oštećena. Oprema koja se implementira uključuje i uređaje za mjerenje i komunikaciju koji omogućuje daljinsko nadziranje proizvodnje. [17]

Generatorski blok predmetne sunčane elektrane sastoji se od 22 fotonaponska modula, pojedine snage 400 W. Na istosmjernoj strani nalazit će se 2 niza (stringa). Na krovu objekta spajaju se 22 modula na izmjenjivač na način da se prvi niz s 11 modula na krovu spaja na ulaz A izmjenjivača, a drugi niz s 11 modula spaja paralelno na ulaz B izmjenjivača.

#### 4. 1. 1. Fotonaponski modul

Za montažu sunčane elektrane odabrani su fotonaponski paneli vršne snage 400 Wp. Kućište modula je aluminijsko i vakuumski zaštićeno od korozije. Tijekom vremena fotonaponske ćelije unutar modula gube učinkovitost zbog nepovratnog procesa. Stupanj korisnosti modula prema tablici 4.1. iznosi 20,59 %. [16]

**Tablica 4.1.** Parametri FN modula sunčane elektrane

Električki podaci (STC: 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C temperatura ćelije, AM 1.5)		Radni uvjeti	
Vršna snaga, $P_{MPP}$ [W]	400	Temperaturno područje °C	Od -40 do +85
Dozvoljeno odstupanje [W]	-0/+5	Maksimalni napon sustava [V]	1500
Struja kratkog spoja, $I_{SC}$ [A]	11,36	Najveća dopuštena struja prekida po nizu FN modula [A]	20
Napon praznog hoda, $U_{OC}$ [V]	40,90	Najveća dozvoljena reverzna struja [A]	15
Nazivna struja, $I_{MPP}$ [A]	10, 91	Maksimalno opterećenje prednje i stražnje strane [Pa]	5400, 2400
Nazivni napon, $U_{MPP}$ [V]	34, 54	Otpornost na udar, ledena kiša promjer [mm] pri brzini [m/s]	25, 23
Dopušteno odstupanje napona i struje [%]	±3	Temperaturna svojstva	
Učinkovitost modula [%]	20,59	koeficijent snage, $P_{MPP}$ [%/K]	-0,42
		koeficijent struje, $I_{SC}$ [%/K]	0.5
		koeficijent napona, $U_{OC}$ [%/K]	-0,33

<b>Mehaničke karakteristike FN modula</b>			
Dimenzije [m]	1,755x1,038x0,035	Kaljeno staklo [mm]	3,2
Masa [kg]	20,00	Priključna kutija	IP68 s 3 <i>Bypass</i> diode
Vrsta ćelije	Monokristalični Si	Dužina priključni kablovi [mm]	350

#### **4. 1. 2. Podkonstrukcija fotonaponskih modula**

Podkonstrukcija za montiranje modula na krovu obiteljske kuće pokrovom od crijepa je sustav koji drži panele na njihovom propisanom položaju. Obično uključuje komponente s odgovarajućim montažnim priborom, nosači ili okviri su konstrukcije koje se postavljaju na postolja kako bi moduli čvrsto stajali na mjestu, temelji služe za osiguravanje stabilnosti sunčane elektrane, sustav montaže uključuje elemente poput vijaka, kopči i spojnih komponenta, orijentacija i kut zakretanja omogućuju konfiguriranje panela sunčane elektrane kako bi se osigurala maksimalna proizvodnja električne energije i optimalna izloženost sunčeve energije te može uključivati elemente zaštite od kiše, snijega, vjetra ili leda kao što su zaštitne kape ili brtve.

#### **4. 1. 3. Izmjenjivač – mozak cjelokupnog sustava**

Inverter (ili izmjenjivač) je uređaj koji transformira istosmjernu struju u izmjeničnu. Za predmetnu sunčanu elektranu izmjenjivač je smješten u ormaru *RO SE-AC* koji predstavlja izmjenično priključeno polje. S izmjenične strane invertera preko diferencijalne zaštitne sklopke dolazi dovod na izmjenično polje, a s izmjeničnog preko zaštitnog regulatora odlazi natrag na glavni distribucijski ormar odnosno na priključno mjerni ormar od kuda se energija predaje u niskonaponsku mrežu. Pretvordba istosmjernog napona modula u izmjenični napon provodi se jednom trofaznom mrežom vođenom izmjenjivačem nazivne izlazne snage reducirane na 6 [kW]. [15]

**Tablica 4.2. Parametri AC/DC strane izmjenjivača**

<b>Istosmjerna strana</b>		
Maksimalna nazivna snaga ( $\cos\varphi = 1$ )	-	9000 $W_p$
Maksimalni ulazni napon	-	1100 V
Nazivni ulazni napon	-	160 V do 1000 V/600 V
Minimalni ulazni napon	-	180 V
Maksimalna struja ulaza A i ulaza B	-	32 A (16 A/16 A)
Maksimalna struja ulaza kratkog spoja ulaza A i ulaza B	-	40 A (20 A/ 20 A)
Broj paralelnih nizova po MPP ulazu	-	1/A1;B1
Zaštita prenapona	Da	-
Nadzor kvara uzemljenja	Da	-
Zaštita zamjene polova	Da	-
<b>Izmjenična strana</b>		
Nazivna snaga	-	600 W
Maksimalna prividna snaga	-	6600 VA
Harmonijsko izobličenje struje (THD)	-	$\leq 3\%$
Nazivni napon	-	3/N/PE; 220/380 V 3/N/PE; 230/400 V 3/N/PE; 240/415 V
Radno područje napona mreže	-	180 V do 276 V
Radno područje frekvencije mreže	-	50 Hz/45 Hz to 55 Hz 60 Hz/ 55 Hz to 65 Hz
Nazivna frekvencija i napon mreže	-	50 Hz/230 V
Maksimalna izlazna struja	-	3x20 A
Broj faza	-	3/3
Otpornost na kratki spoj	Da	-
Efikasnost/europska efikasnost	-	98,40%/97,40 %

## 4. 2. Tehnički proračun sunčane elektrane

Pripadna fotonaponska elektrana izvedena je s 22 modula na krovu obiteljske kuće koji su povezani na inverter na način da se prvi niz s 11 modula na jugo-zapadnoj strani krova spaja paralelno na ulaz A invertera dok se drugi niz s 11 modula na istoj strani krova spaja također paralelno na ulaz B invertera.

Bilanca ukupne snage sunčane elektrane iznosi:

$$P_{max} = 400 * 22 = 8,8 [kW] \quad (4-1)$$

Za pravilnu analizu istosmjernog i izmjeničnog razvoda neophodno je provesti: regulaciju pada napona i kratkog spoja, dokaz sustavnosti, regulaciju toplinskog zagrijavanja vodiča, proračun otpora uzemljenja.

Proračun za jedan niz serijski povezanih 11 modula iznosi:

$$U_{max} = n * U_{OC} = 11 * 40,90 = 449,9 [V] \quad (4-2)$$

Gdje je:

- $n$  = serijski niz 11 povezanih modula
- $U_{OC}$  = napon otvorenog kruga

Najnepovoljniji slučaj otvorenog kruga na temperaturi od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  za 11 modula u nizu iznosi:

$$U_{max} = n * U_{OC} + n * (U_{OC} * (F_k * \Delta T)) = 11 * 40,90 + 11 * \left( 40,90 * \left( \frac{-0,41}{100} * (-35) \right) \right) =$$
$$U_{max} = 572,60 [V] \quad (4-3)$$

Gdje je:

- $n$  = serijski niz 11 povezanih modula
- $U_{OC}$  = napon otvorenog kruga
- $F_k$  = faktor korekcije
- $\Delta T$  = promjena termodinamičke temperature

Dopušteni ulazni napon je 1000 V istosmjerno, pri čemu je zaštita od visokog napona na ulazu kao i zaštita od krivog polariteta na ulazu integrirana u inverteru. Pri izračunu kabela na ulaznoj strani invertera za jedan niz serijski povezanih panela vrijedi  $I_{max} = 10,30 A$  koja označava struju kratkog spoja. Pri spajanju solarnih modula s izmjenjivačem upotrebljava se solarni spojni kabel tip PV1-F s promjerom od 4 mm<sup>2</sup> čija je maksimalna dopuštena struja 37 A (u zraku), a dizajn kabela posebno je konstruiran za izolaciju i otpornost na sunčevo zračenje. Takav proračun vrijedi za svaki niz FN modula, jer se struja na ulaznoj strani izmjenjivača ne mijenja serijskim spojem.

Ovisno o pojedinim čimbenicima izračun kabela na izlaznoj strani izmjenjivača uključivat će: snagu izmjenjivača, dužinu kabela, model kabela, dozvoljeni pad napona te okolišne uvjete. Izlazna struja izmjenjivača  $I_{max}$  je maksimalna i iznosi 20 A, dok je maksimalna izlazna snaga 6 kW.

Izlazna struja izmjenjivača prema izlaznoj maksimalnoj snazi:

$$I_{max(AC)} = \frac{P}{\sqrt{3} * U} = \frac{6000}{1,74 * 400} = 8,62 [A] \quad (4 - 4)$$

Gdje je:

- P – nazivna snaga na izmjeničnoj strani
- U – nazivni napon na izmjeničnoj strani

Za izračun na ulaznoj strani invertera upotrebljen je kabel NYY-J 5x6 mm<sup>2</sup> RE 0,6/1 kV koji se koristi u niskonaponskim mrežama s naponima od 0,6/1 kV. Kabel je sastavljen od po pet vodiča ukupnog presjeka 6 mm<sup>2</sup>, dok oznaka RE predstavlja vodič napravljen od bakra, ima maksimalno dopušteno opterećenje 43 A/fazi. Proračun maksimalne struje na izlaznoj strani sunčane elektrane je jednaka proračunu maksimalne struje na izlaznoj strani izmjenjivača od 8,62 [A]. Proračun je definiran za najnepovoljniji slučaj za minimalno opterećenje objekta uz maksimalnu proizvodnju sunčane elektrane što uvjetuje maksimalnim strujnim opterećenjem vodova od razvodnog ormara koji je priključen na izmjenično polje do glavnog razvodnog ormara. Nazivna struja elektrane je jednaka strujnom opterećenju vodova.

Za pad napona proračunava se najnepovoljniji slučaj to jest za niz od 11 modula koji su međusobno najudaljeniji od izmjenjivača. Proračun pada napona svih vodova kontroliran je Hrvatskim normativnim dokumentom HRN HD 60364-5-52:2012 [19]. Proračun pada napona ne smije biti veći od 2 % nazivnog napona. Za najnepovoljniji strujni krug pripradne sunčane elektrane proračun pada napona računamo po formuli za jednofazni sustav i za trofazni sustav.

Pad napona za jednofazni sustav:

$$u_{\%} = \frac{100 * 2 * l * P}{K * U_f^2 * S} [\%] \quad (4 - 5)$$

Pad napona za trofazni sustav:

$$u_{\%} = \frac{100 * l * P}{K * U_L^2 * S} [\%] \quad (4 - 6)$$

Gdje je:

- $u_{\%}$  – pad napona izražen u postocima [%]
- $l$  – duljina [ $m$ ]
- $P$  – snaga tereta [ $W$ ]
- $U_f$  – nazivni napon jednofaznog sustava [ $V$ ]
- $U_L$  – nazivni napon trofaznog sustava [ $V$ ]
- $S$  – presjek vodiča [ $mm^2$ ]
- $K$  – specifična vodljivost [ $\frac{Sm}{mm^2}$ ]

**Tablica 4.3.** Analiza proračuna pada napona izražena u postocima

Proračun	Poprečni presjek S [mm <sup>2</sup> ]	Specifična vodljivost K [ $\frac{Sm}{mm^2}$ ]	Duljina l [m]	Snaga tereta P [W]	Napon U [V]	Pad napona $u_{\%}$ [%]
Moduli – izmjenjivač (DC strana)	6	56	12	7500	572,60	0,17
Izmjenjivač (AC strana) RO-SE	6	56	1	6000	400	0,02
RO-SE - GRO	6	56	15	6000	400	0,09
<b>Zbroj padova napona <math>u_{\%}</math></b>					$\sum u_{\%}$	0,28 %

Povodom detaljnog proračuna pada napona izračunati pad napona je uistinu manji od 2 % nazivnog napona, te pad napona zadovoljava zadani proračun.

#### 4. 2. 1. Troškovi ulaganja sunčane elektrane

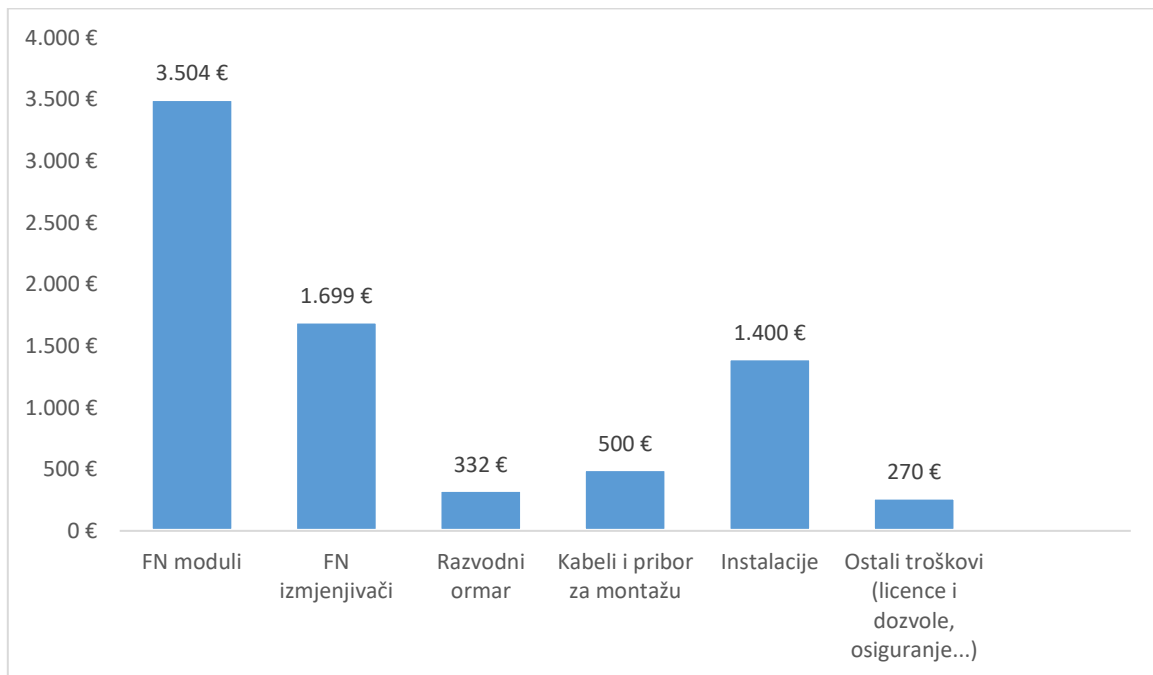
Najznačajniji troškovi fotonaponskih elektrana su troškovi građenja koji se uglavnom sastoje od:

- Troškova opreme - fotonaponski moduli, fotonaponski izmjenjivači, razvodni ormar elektrane, solarni instalacijski kabel, izmjenični kabelski razvod, vodiči za uzemljenje, pribor za postavljanje i instalaciju...
- Troškovi instalacije - komunikacija elektrane, podkonstrukcija fotonaponskih modula, dostava električne opreme i montaža elektrane, konfiguracija postavki izmjenjivača, beznaponsko ispitivanje instalacija u skladu s propisima elektrane, puštanje u pogon sunčane elektrane
- Ostali troškovi – licenca i dozvole, osiguranje, inspekcija...



Investicijski troškovi proizvodnje električne energije iz fotonaponske elektrane prema statistikama uzetih iz godišnjih izvješća 2021. godine koje provodi IRENA (*International Renewable Energy Agency*) su 1155 USD/kWh za Republiku Hrvatsku koja nas vodi u sam vrh najskupljih država u svijetu gdje su ispred nas samo Ruska Federacija s 1695 USD/kWh, Japan s 1693 USD/kWh i Indonezija s 1264 USD/kWh. [18]

Procjena investicijske troškova građenja predmetnog objekta sunčane elektrane prema troškovniku iznosi 7.697,92 EUR uz PDV 0%. Troškovi investicija sunčane elektrane su značajniji jer postrojenje ne koristi fosilna goriva za rad, pa nema troškova nekonvencionalnih resursa. Rad sunčane elektrane u potpunosti je automatiziran i optimiziran, u pogledu ne zahtjeva korištenje osoblja, te nema potrebe troškove plaća radnika. Uvažava se jedino trošak održavanja koji iznosi svega 1 - 2% sveukupnih investicijskih godišnjih troškova. Troškovi raznih elemenata opreme i instalacija prikazani su na Slici 4.4.



**Slika 4.4.** Troškovi predmetne sunčane elektrane

## 5. Analiza isplativosti sunčane elektrane za mjesec veljaču i svibanj

Analiza isplativosti sunčane elektrane jedan je od najvažnijih dijelova u procesu kreiranja projekta sunčane elektrane. U ovom poglavlju će se izvršiti analiza isplativosti sunčane elektrane za mjesec veljaču i svibanj. Za potrebe ovog završnog rada upotrijebiti će se podaci vlasnika sunčane elektrane u Osijeku putem platforme *icloudsolar*. Na temelju prikupljenih podataka s platforme *icloudsolar* kreirana je tablica 5.1. i 5.2. u kojoj su prikazane vrijednosti dnevne proizvodnje električne energije, ukupne kupljene i isporučene energije po pojedinim danima, te iznos prihoda u eurima po danima u mjesecu veljači i mjesecu svibnju.

**Tablica 5.1.** Izvješće za sunčanu elektranu u veljači

Datum	Dnevni prinos [kWh]	Dnevna kupljena energija [kWh]	Dnevna isporučena energija [kWh]	Prihod u EUR
01.02.2023.	10,300	9,800	4,800	1,5037
02.02.2023.	8,400	12,200	2,800	1,2502
03.02.2023.	12,600	11,100	8,100	1,8395
04.02.2023.	7,100	16,600	2,500	1,0366
05.02.2023.	13,900	14,500	6,700	2,0293
06.02.2023.	19,600	16,400	14,100	2,8615
07.02.2023.	18,300	14,300	12,700	2,6717
08.02.2023.	13,800	15,600	8,700	2,0147
09.02.2023.	21,700	13,800	13,000	3,1681
10.02.2023.	21,500	12,900	15,100	3,1389
11.02.2023.	20,300	15,000	11,400	2,9637
12.02.2023.	14,000	14,700	6,500	2,0439
13.02.2023.	18,700	12,100	13,200	2,7301
14.02.2023.	5,400	14,200	1,400	0,7857
15.02.2023.	22,600	10,000	17,400	3,2995
16.02.2023.	22,300	9,900	15,500	3,2557

17.02.2023.	22,800	12,200	14,900	3,3287
18.02.2023.	10,800	17,800	3,400	1,5767
19.02.2023.	17,500	16,900	9,800	2,5549
20.02.2023.	24,000	10,000	16,900	3,5039
21.02.2023.	25,300	10,000	18,300	3,6937
22.02.2023.	23,400	10,600	15,900	3,4163
23.02.2023.	22,100	13,000	16,000	3,2265
24.02.2023.	19,300	11,300	13,400	2,8177
25.02.2023.	3,900	13,400	0,700	0,5694
26.02.2023.	-	23,800	-	-
27.02.2023.	0,200	19,200	-	0,0292
28.02.2023.	-	14,500	-	-
Ukupno	419,8	385,8	263,2	59,79 EUR

Prema tablici 5.1. može se uočiti za dane 26. veljače 2023. i 28. veljače 2023. godine da je dnevna proizvodnja električne energije nula, što se može pripisati lošim vremenskim prilikama odnosno snježnom pokrivaču koji je prekrrio fotonaponske module, te najbolji dnevni prinos električne energije je na dan 21. veljače 2023. godine te iznosi 25,300 kWh, što je ekvivalentno prihodu od 3,7 EUR.

**TABLICA 5.2.** *Izvjешće za sunčanu elektranu u svibnju*

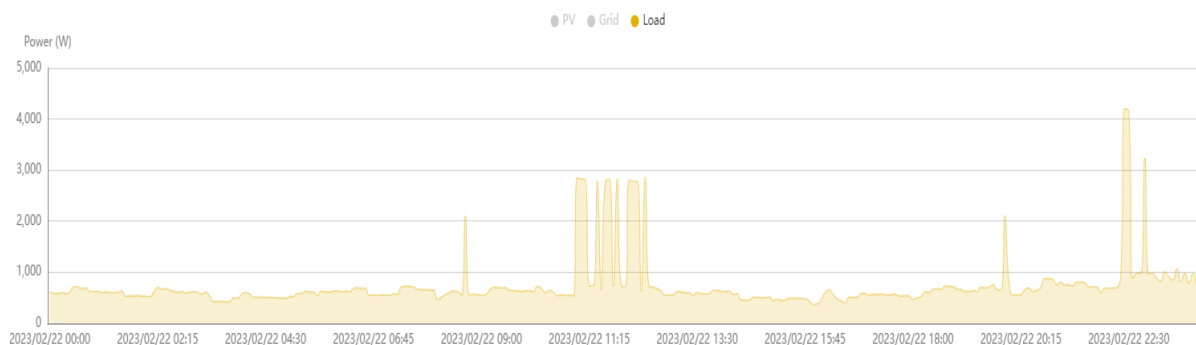
Datum	Dnevni prinos [kWh]	Dnevna kupljena energija [kWh]	Dnevna isporučena energija [kWh]	Prihod u EUR
01.05.2023.	48,600	7,700	38,800	7,0954
02.05.2023.	26,400	9,300	19,100	3,8543
03.05.2023	30,100	8,100	20,800	4,3945
04.05.2023	26,600	7,700	17,000	3,8835
05.05.2023	37,000	8,200	28,000	5,4018
06.05.2023	45,200	6,800	38,900	6,5990
07.05.2023	40,800	9,400	30,800	5,9566

08.05.2023	35,700	8,300	29,200	5,2120
09.05.2023	42,200	6,400	35,200	6,1610
10.05.2023	45,800	7,000	36,800	6,6866
11.05.2023	20,900	9,100	12,700	2,7859
12.05.2023	32,400	8,600	26,400	4,7302
13.05.2023	31,500	10,900	22,900	4,5988
14.05.2023	15,400	13,800	6,300	2,2483
15.05.2023	13,600	7,100	5,900	1,9855
16.05.2023	25,400	6,800	17,800	3,7083
17.05.2023	29,600	8000	19,700	4,3215
18.05.2023	7,700	6,700	2,300	1,1242
19.05.2023	39,000	5,900	23,600	4,5112
20.05.2023	56,000	5,300	43,100	7,3874
21.05.2023	39,000	9,700	30,100	5,8252
22.05.2023	52,400	6,300	43,500	7,6501
23.05.2023	46,900	6,900	36,600	6,8472
24.05.2023	42,200	6,700	33,700	6,1610
25.05.2023	41,800	7,900	31,500	6,1026
26.05.2023	39,400	7,600	32,200	5,7522
27.05.2023	41,300	7000	35,200	6,0296
28.05.2023	45,600	8,600	36,900	6,6574
29.05.2023	38,600	6,400	32,800	5,6354
30.05.2023	23,900	6,900	17,300	3,4823
31.05.2023	34,900	5,900	28,400	5,0952
Ukupno	1095,9	15226	833,5	157,89 EUR

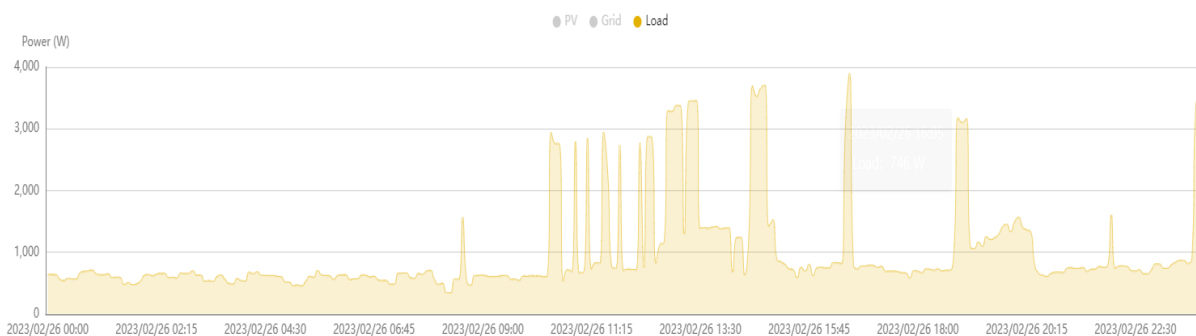
Prema tablici 5.2. najveća proizvodnja električne energije iznosi 56,000 kWh na dan 20. svibnja 2023. godine. Kada se uspoređuju mjesec veljača i svibanj po uspješnosti u prihodima, zapaža se da je u mjesecu veljači najveći dnevni prihod bio 3,69 eura, dok je u svibnju zabilježen najveći dnevni prihod od 7,39 eura, to se pripisuje većoj količini svjetlosti i povoljnijim vremenskim prilikama u svibnju.

## 5.1 Potrošnja električne energije sunčane elektrane za mjesec veljaču i svibanj

Analiza potrošnje električne energije sunčane elektrane provedena je putem platforme *icloud.com*. Uspoređena je potrošnja električne energije na radni dan 22. veljače 2023. (srijeda) s danom vikenda 26. veljače 2023. (nedjelja). Želja je da se primijete razlike i podudaranosti potrošnje električne energije za cjelodnevni dan. Dobiveni rezultati prikazani su prema Slika 5.1. i Slika 5.2. i prikazuju očekivani trend da je potrošnja električne energije veća vikendom. Objašnjava se činjenicom da ukućani provode više vremena u svome kućanstvu tijekom vikenda, pripremaju obroke, koriste računalo, koriste češće uređaj za grijanje, više gledaju televiziju, koriste pećnicu i druge kućanske uređaje... Usporedbom ta dva dijagrama može se uočiti da je potrošnja električne energije znatno povećana u poslijepodnevним satima za dan vikenda 26. veljače 2023., nego u odnosu na radni dan 22. veljače 2023.

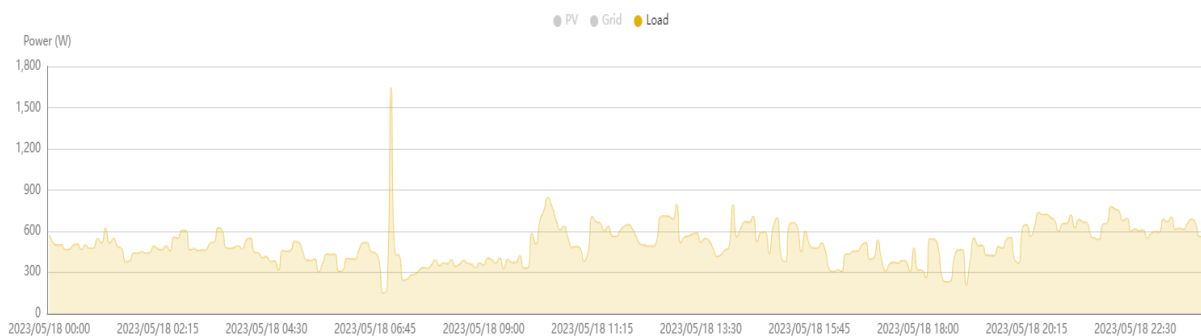


**Slika 5.1.** Dijagram potrošnje električne energije za dan 22. veljače 2023.

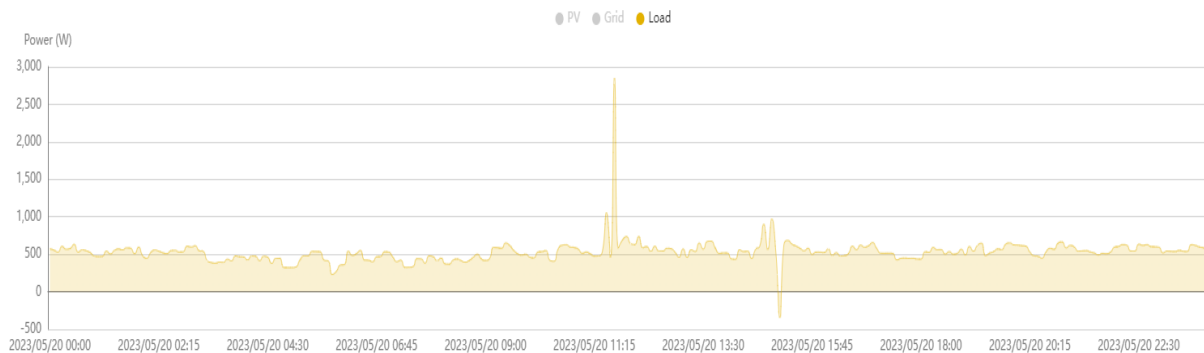


**Slika 5.2.** Dijagram potrošnje električne energije za dan 26. veljače 2023.

Usporedba dijagrama potrošnje sunčane elektrane za radni dan (četvrtak) 18. svibnja 2023. godine prema Slika 5.3. i za dan vikenda (subota) 20. svibnja 2023. godine prema Slika 5.4. je neuobičajena jer dijagram potrošnje prikazuje veću potrošnju električne energije na radni dan. Udio kupljene električne energije iz distribucijske mreže u cjelokupnoj potrošnji na radni dan iznosi 6,700 kWh, dok je za dan vikenda 5,300 kWh. Isporučena energija prema Tablici 5.2. na radni dan iznosi 2,300 kWh, dok je na dan vikenda ukupna isporučenost 43,100 kWh.



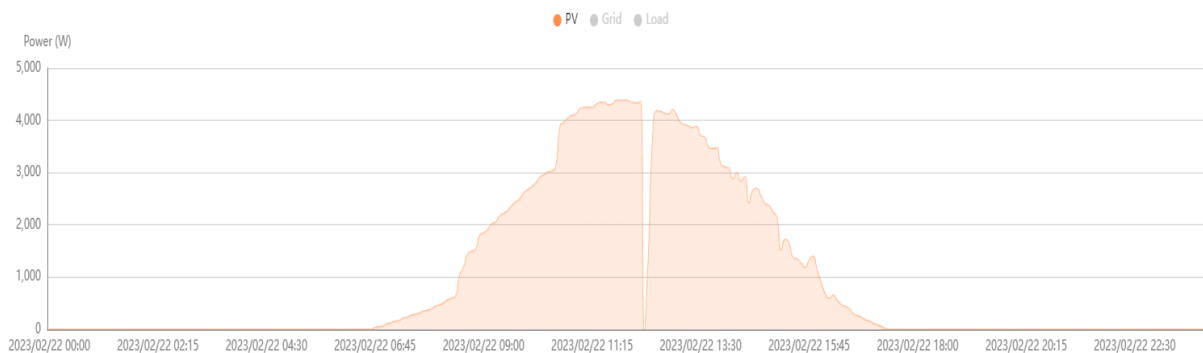
**Slika 5.3.** *Dijagram potrošnje električne energije na dan 18. svibnja 2023.*



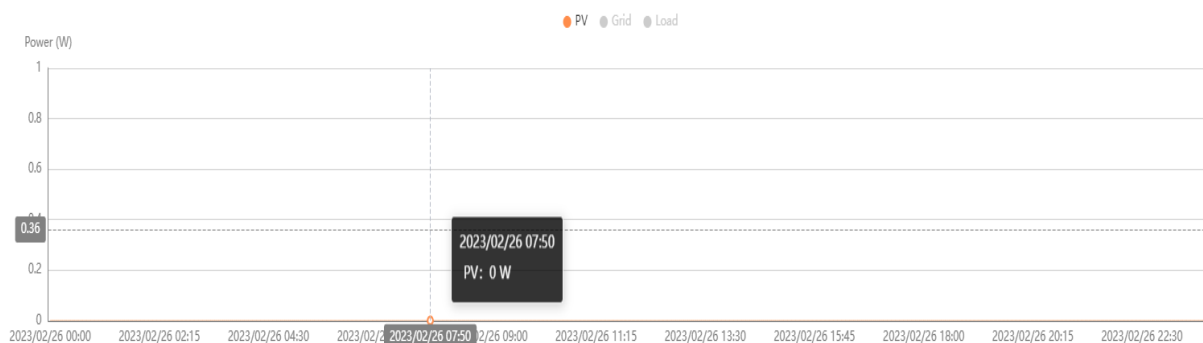
**Slika 5.4.** *Dijagram potrošnje električne energije na dan 20. svibnja 2023.*

## 5.2 Proizvodnja električne energije sunčane elektrane za mjesec veljaču i svibanj

Prema Slika 5.5. i Slika 5.6. predstavlja cjelokupan dan proizvodnje električne energije iz sunčane elektrane kućanstva koja se nalazi na krovu obiteljske kuće. Usporedbom dijagrama za radni dan može se utvrditi da je srijeda 22. veljače 2023. godine obilježena sunčanim danom. Prinos električne energije zabilježen na taj dan je 23,400 kWh, te prihod od proizvodnje iznosi oko 3,42 EUR. Proizvodnja električne energije na dan 26. veljače 2023. godine može se pripisati lošim vremenskim prilikama, odnosno snijegu koji je nanio debeli snježni pokrivač preko fotonaponskih modula sunčane elektrane. Povodom nepovoljnih vremenskih prilika proizvodnja električne energije bila je onemogućena, te je za taj dan proizvodnja sunčane elektrane iznosila 0 kWh i prihod je također iznosio 0 EUR.

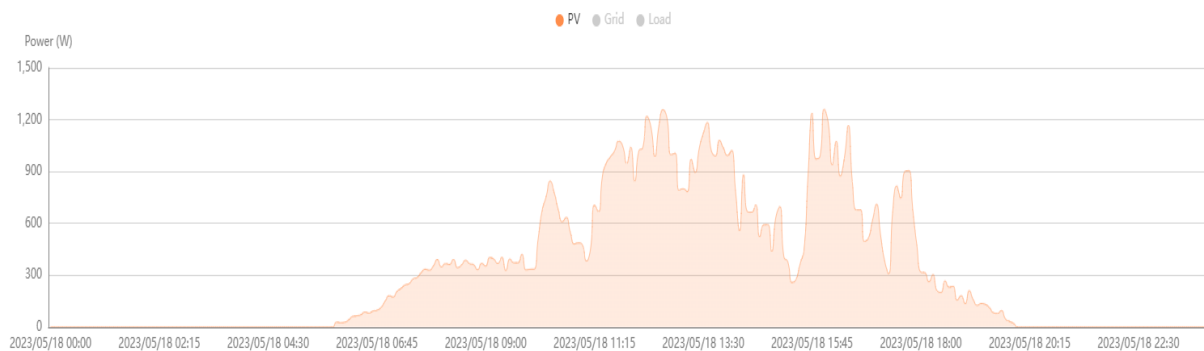


**Slika 5.5.** Dijagram proizvodnje električne energije na dan 22. veljače 2023.

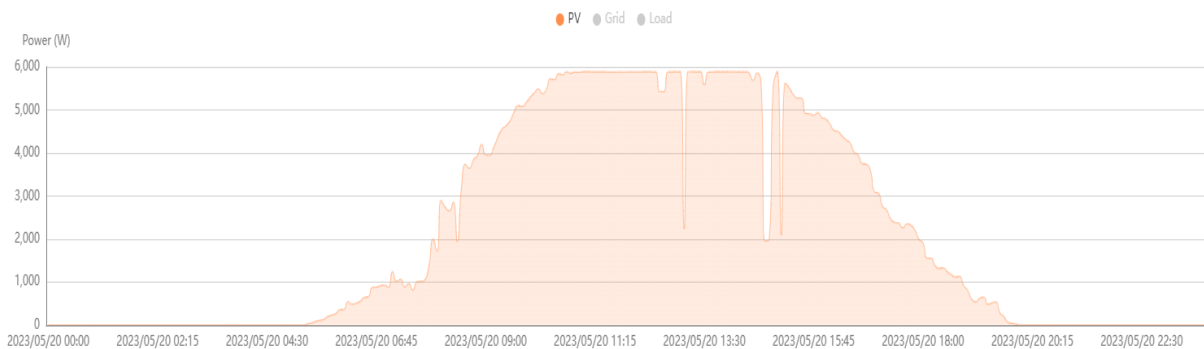


**Slika 5.6.** Dijagram proizvodnje električne energije na dan 26. veljače 2023.

Prema Slika 5.7. na dan 18. svibnja 2023. (četvrtak) dnevna proizvodnja električne energije iznosi 7,700 kWh, a prema Slika 5.8. na dan 20. svibnja 2023. (subota) iznosi 56,000 kWh. Za radni dan 18. svibnja 2023. godine je ujedno i najmanji dnevni prinos električne energije u mjesecu svibnju. Smanjenje dnevnog prinosa pripisuje se nepovoljnim vremenskim prilikama u obliku kišnog i oblačnog dana. Usporedbom otkupa električne energije opskrbljivača na radni dan 18. svibnja 2023. godine iznosi 1,12 EUR, dok na dan vikenda 20. svibnja 2023. godine iznosi 7,39 EUR.



**Slika 5.7.** *Dijagram proizvodnje električne energije na dan 18. svibnja 2023.*



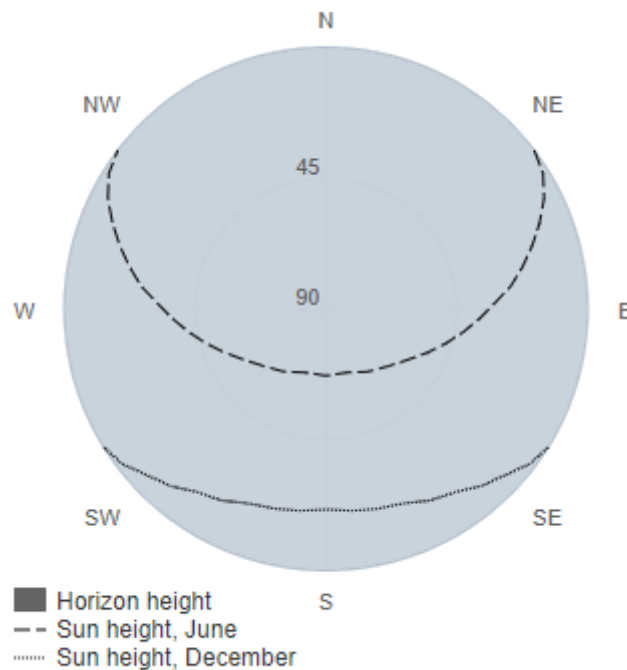
**Slika 5.8.** *Dijagram proizvodnje električne energije na dan 20. svibnja 2023.*



### 5.3 Analiza lokacije sunčane elektrane i proračun očekivane proizvodnje električne energije pomoću programa *PVGIS*

Analiza lokacije gdje se postavljaju fotonaponski moduli je u Osijeku, s koordinatama  $45.560^\circ$  Sjeverno /  $18.726^\circ$  Istočno. Odabrana je lokacija i u javnom programu *PVGIS*-a te je i prikazana na *Slikama 5.9.* i *5.10.*s određenim parametrima:

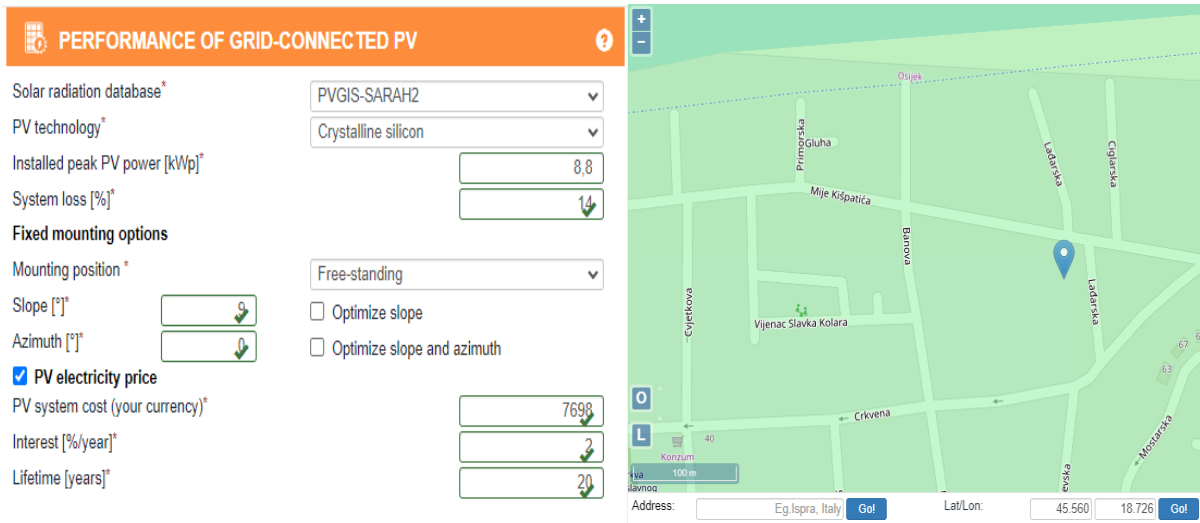
- Nazivna snaga elektrane:  $8,8 \text{ kWp}/6 \text{ kVA}$
- Orijentacija krova: jug
- Nagib krova:  $9^\circ$
- Azimut kut:  $0^\circ$



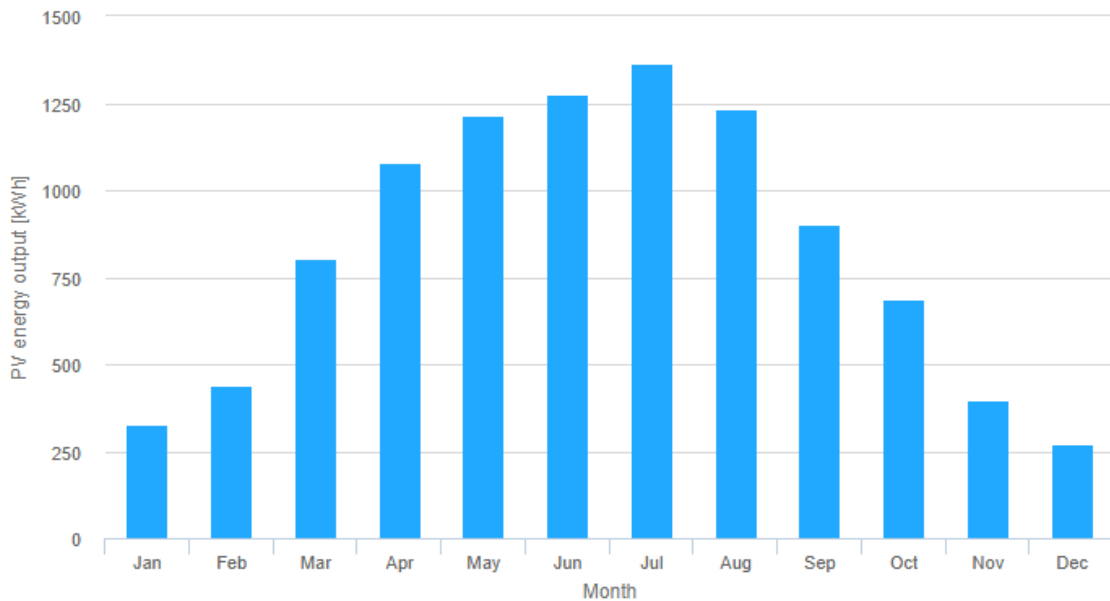
**Slika 5.9.** Odabir lokacije u *PVGIS*-u [20]

Nakon odabira lokacije na koju se postavljaju fotonaponski moduli u javnom servisu *PVGIS*-a, neophodno je definirati ostale parametre za proračun dobivene mjesečne proizvodnje energije, što je prikazano na *Slikama 5.10.* U javnom servisu *PVGIS*-a se može vidjeti točna geografska lokacija fotonaponskih modula, njihove gubitke, tehnologija fotonaponskog solarnog sustava, materijal od kojeg su izrađeni te cijena i životni vijek fotonaponskih modula. Očekivana

proizvodnja električne energije po mjesecima za sustav ukupne instalirane ulazne snage 8,80 *kWp* prikazana je na Slici 5.11.



**Slika 5.10.** Parametri i lokacija FN sustava povezanog na mrežu [20]



**Slika 5.11.** Dijagram proizvodnje električne energije tijekom svakog mjeseca [20]

Na temelju podataka prikazanih na Slici 5.11. kreirana je Tablica 5.3. u kojoj je prikazana vrijednost proizvodnje električne energije tijekom svakog mjeseca u godini u *kWh*.

**Tablica 5.3.** Mjesečna proizvodnja električne energije s platforme PVGIS

	Mjesečni prinos [kWh]	Broj dana	Dnevne vrijednosti [kWh/dan]
Siječanj	328,77	31	10,61
Veljača	438,53	28	15,66
Ožujak	801,53	31	25,86
Travanj	1078,58	30	35,95
Svibanj	1214,86	31	39,19
Lipanj	1274,93	30	42,50
Srpanj	1362,64	31	43,96
Kolovoz	1234,47	31	39,82
Rujan	904,7	30	30,16
Listopad	687,19	31	22,17
Studeni	399,31	30	13,31
Prosinac	269,98	31	8,71
Ukupno	9995,49	365	327,9

U stupcu "Mjesečni prinos [kWh]" prikazana je ukupna mjesečna proizvodnja električne energije na godišnjoj razini koja iznosi 9995,49 kWh, dok je u stupcu "Broj dana" prikazan broj dana po pojedinim mjesecima u godini. Izračunata je i prosječna godišnja vrijednost proizvodnje energije po danu, prikazano u stupcu "Dnevne vrijednosti [kWh/dan]".

Prema Slici 5.12. prikazani su potrebni podaci o geografskoj lokaciji objekta i fotonaponskim modulima, iz kojih proizlazi stupanj učinkovitosti fotonaponskog sustava 20,59 %, ukupni gubici sustava rezultat su pretvorbe energije invertera, gubici u spojnicama i kablovima, te zbog zagrijavanja fotonaponskih panela, itd.

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	45.560,18.726
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	8.8
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	9
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	9994.83
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1467.16
Year-to-year variability [kWh]:	391.96
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-3.4
Spectral effects [%]:	1.11
Temperature and low irradiance [%]:	-7.83
Total loss [%]:	-22.59
PV electricity cost [per kWh]:	0.063

**Slika 5.12.** *Dodatne informacije o lokaciji i FN modulima [20]*

## 5.4. Očekivana godišnja ušteda u troškovima za električnu energiju

U javnom servisu PVGIS-a definirane su prosječne mjesečne količine proizvedene električne energije te se može analizom proračuna izvršiti koliko energije se predaje u elektroenergetsku mrežu prosječno po mjesecima za svaki pojedini mjesec u godini.

Ekonomska ušteda na godišnjoj razini prikazuje razliku godišnje proizvedene električne energije i godišnje potrebne energije. Taj dobiveni rezultat se pomnoži s vrijednosti otkupne cijene HEP-ODS-a od 0,059831 EUR:

$$\text{Godišnja ušteda} = |\text{Proizvedena god. vr.} - \text{Potrebne god. vr.}| * \text{CIJENA OTKUP}$$

Pretpostavka  $W_{god} = 6800 \text{ kWh}$ , kućanstvo godišnje troši 6800 kWh energije od čega 2/3 u višoj tarifi a 1/3 u nižoj.

$$- W_{god. v.T.} = 6800 * \frac{2}{3} = 4533,33 \text{ kWh}$$

$$- W_{god. n.T.} = 6800 * \frac{1}{3} = 2266,67 \text{ kWh}$$

### 5.4.1. Godišnji troškovi za električnu energiju prije izgradnje sunčane elektrane 8,80 kWp

Proračun prije izgradnje fotonaponske sunčane elektrane za model HEPI bijeli samoopskrba za obračun opskrbe od 1.1.2023. – 31.12.2023. godine prikazani su Tablicom 5.4. gdje je:

- Viša tarifa potrošnja = 4533,33 kWh
- Niža tarifa potrošnja = 2266,67 kWh
- Viša proizvodnja = 0 kWh
- Niža proizvodnja = 0 kWh
- Naknada za potrošenu energiju, viša tarifa po EUR/kWh = 4533,33 kWh \* 0,059831 EUR/kWh = 271, 23 EUR
- Naknada za potrošenu energiju, niža tarifa po EUR/kWh = 2266,67 kWh \* 0,036697 EUR/kWh = 83,18 EUR
- Solidarna naknada = 6800 kWh \* 0,003982 EUR/kWh = 27,08 EUR
- Naknada za poticanje obnovljivih izvora energije = 6800 kWh \* 0,013936 EUR/kWh = 94,76 EUR
- Opskrbna naknada = 12 mjeseci \* 0,982 EUR/mjesec = 11,78 EUR
- Popust na solidarnu naknadu = 12 mjeseci \* (-0,69) EUR/mjesec = -8,28 EUR

**Tablica 5.4.** Obračun opskrbe na godišnjoj razini bez FN elektrane

OBRAČUN OPSKRBE			
Obračun 1. siječnja 2023. – 31. prosinca 2023.			
Opis	Potrošak	Iznos u EUR	Ukupno EUR
Viša tarifa po EUR/kWh	4533,33	0,059831	271, 23
Niža tarifa po EUR/kWh	2266,67	0,036697	83,18
Viša tarifa potrošnja	4533,33	/	/
Niža tarifa potrošnja	2266,67	/	/
Viša proizvodnja	0	/	/

Niža proizvodnja	0	/	/
Solidarna naknada po EUR/kWh	6800	0,003982	27,08
Obnovljivi izvori po EUR/kWh	6800	0,013936	94,76
Opskrbna naknada po EUR/mjesec	12	0,982	11,78
<b>Popusti</b>			
Opis	Iznos u EUR		Ukupno EUR
Popust na solidarnu naknadu po EUR/mjesec	/		-8,28
<b>Ukupan iznos za opskrbu</b>			<b>479,75 EUR</b>

U Tablici 5.5. proveden je obračun za korištenje mreže, gdje je:

- Naknada za potrošenu energiju, viša tarifa po  $EUR/kWh = 4533,33 kWh * 0,051762 EUR/kWh = 234,65 EUR$
- Naknada za potrošenu energiju, niža tarifa po  $EUR/kWh = 2266,67 kWh * 0,022563 EUR/kWh = 51,14 EUR$
- Naknada za mjernu uslugu (br. Mjeseci) =  $12 mjeseci * 1,540 EUR/mjesec = 18,48 EUR$

**Tablica 5.5.** Obračun za korištenje mreže na godišnjoj razini

<b>OBRAČUN ZA KORIŠTENJE MREŽE</b>			
Obračun 1. siječnja 2023. – 31. prosinca 2023.			
Opis	Potrošak	Iznos u EUR	Ukupno EUR
Viša tarifa po EUR/kWh	4533,33	0,051762	234,65
Niža tarifa po EUR/kWh	2266,67	0,022563	51,14
Naknada za mjernu uslugu (br. Mjeseci)	12	1,540	18,48
<b>Ukupan iznos za korištenje mreže</b>			<b>304,27 EUR</b>

U Tablici 5.6. prikazani su ukupani rashodi za opskrbu i korištenje mreže na godišnjoj razini.

**Tablica 5.6.** Opskrba i korištenje mreže, razdoblje 1/2023. – 12/2023.

Opskrba i korištenje mreže, razdoblje 1/2023. – 12/2023.		
Opis	Iznos	Ukupno EUR
Ukupan iznos za opskrbu	/	479,75
Ukupan iznos za korištenje mrežne usluge	/	304,27
PDV 13% (osnovica: 784,02)	/	101,92
<b>Ukupan iznos računa</b>	<b>/</b>	<b>885,94 EUR</b>

Ukupan račun za opskrbu i korištenje mreže na godišnjoj razini bez fotonaponskog sustava iznosi 885,94 EUR.



## 5.4.2. Godišnji troškovi za električnu energiju nakon izgradnje sunčane elektrane 8,80 kWp

Proračun nakon izgradnje fotonaponske sunčane elektrane za model HEPI bijeli samoopskrba za obračun opskrbe od 1.1.2023. – 31.12.2023. godine prikazani su Tablicom 5.7., gdje je:

Količina viškova nakon izgradnje FN elektrane u javnom servisu PVGIS iznosi 9995,49 kWh u višoj tarifi. Viša tarifa se analizom dobije kao razlika proizvedene više tarife i potrošnje niže tarife, gdje je:

- Viša tarifa potrošnja = 4533,33 kWh
- Niža tarifa potrošnja = 2266,67 kWh
- Viša proizvodnja = 9995,49 kWh
- Niža proizvodnja = 0 kWh
- Naknada za potrošenu energiju, viša tarifa po EUR/kWh =  $(9995,49 \text{ kWh} - 4533,33 \text{ kWh}) * 0,059831 \text{ EUR/kWh} = 326,81 \text{ EUR}$
- Naknada za potrošenu energiju, niža tarifa po EUR/kWh =  $2266,67 \text{ kWh} * 0,036697 \text{ EUR/kWh} = 83,18 \text{ EUR}$
- Solidarna naknada =  $2266,67 \text{ kWh} * 0,003982 \text{ EUR/kWh} = 9,03 \text{ EUR}$
- Naknada za poticanje obnovljivih izvora energije =  $2266,67 \text{ kWh} * 0,013936 \text{ EUR/kWh} = 31,59 \text{ EUR}$
- Opskrbna naknada =  $12 \text{ mjeseci} * 0,982 \text{ EUR/mjesec} = 11,78 \text{ EUR}$
- Popust na solidarnu naknadu =  $12 \text{ mjeseci} * (-0,69) \text{ EUR/mjesec} = -8,28 \text{ EUR}$

**Tablica 5.7.** Obračun opskrbe na godišnjoj razini s FN elektranom

<b>OBRAČUN OPSKRBE</b>			
Obračun 1. siječnja 2023. – 31. prosinca 2023.			
Opis	Potrošak	Iznos u EUR	Ukupno EUR
Viša tarifa po EUR/kWh	-5461,16	0,059831	0,00
Niža tarifa po EUR/kWh	2266,67	0,036697	83,18
Viša tarifa potrošnja	4533,33	/	/
Niža tarifa potrošnja	2266,67	/	/
Viša proizvodnja	9995,49	/	/
Niža proizvodnja	0	/	/
Solidarna naknada po EUR/kWh	2266,67	0,003982	9,03
Obnovljivi izvori po EUR/kWh	2266,67	0,013936	31,59
Opskrbna naknada po EUR/mjesec	12	0,982	11,78
<b>Popusti</b>			
Opis	Iznos u EUR		Ukupno EUR
Popust na solidarnu naknadu po EUR/mjesec	/		-8,28
<b>Ukupan iznos za opskrbu</b>			<b>127,3 EUR</b>

U Tablici 5.8. prikazan je proračun obračuna za korištenje mreže, gdje je:

- Naknada za potrošenu energiju, viša tarifa po *EUR/kWh* = 0,00 *EUR*
- Naknada za potrošenu energiju, niža tarifa po *EUR/kWh* = 2266,67 \* 0,022563 = 51,14 *EUR*
- Naknada za mjernu uslugu (br. Mjeseci) = 12 *mjeseci* \* 1,540 *EUR/mjesec* = 18,48 *EUR*

**Tablica 5.8.** Obračun za korištenje mreže na godišnjoj razini s FN elektranom

<b>OBRAČUN ZA KORIŠTENJE MREŽE</b>			
Obračun 1. siječnja 2023. – 31. prosinca 2023.			
Opis	Potrošak	Iznos u EUR	Ukupno EUR
Viša tarifa po EUR/kWh	-5461,16	0,051762	0,00
Niža tarifa po EUR/kWh	2266,67	0,022563	51,14
Naknada za mjernu uslugu (br. Mjeseci)	12	1,540	18,48
<b>Ukupan iznos za korištenje mreže</b>			<b>69,62 EUR</b>

U Tablici 5.9. prikazani su ukupani rashodi za opskrbu i korištenje mreže na godišnjoj razini.

**Tablica 5.9.** Ukupan iznos opskrbe/korištenje mrežne usluge

Opskrba i korištenje mreže, razdoblje 1/2023. – 12/2023.		
Opis	Iznos	Ukupno EUR
Ukupan iznos za opskrbu	/	127,3
Ukupan iznos za korištenje mrežne usluge	/	69,62
PDV 13% (osnovica: 196,92)	/	25,60
<b>Ukupan iznos računa</b>	<b>/</b>	<b>222,52 EUR</b>

Ukupan račun za opskrbu i korištenje mreže na godišnjoj razini sa instaliranim fotonaponskim sustavom iznosi 222,52 EUR.

### 5.4.3. Očekivana godišnja ušteda i isplativost sunčane elektrane 8,80 kWp

885,94 EUR je račun za električnu energiju (prema obračunu troškova u poglavlju 5.4.1.) iz Tablice 5.6. kada nije instalirana FN elektrana 8,80 kWp.

222,52 EUR je račun za električnu energiju (prema obračunu troškova u poglavlju 5.4.2.) iz Tablice 5.9. kada je instalirana FN elektrana 8,80 kWp. Dodatno, naknada za viškove proizvedene električne energije predane u mrežu iznose (pretpostavka je sve u višoj tarifi =  $(9995,49 - 4533,33) kWh * 0,059831 EUR/kWh = 326,81 EUR$

Očekivana godišnja dobit elektrane 8,80 kWp iznosi:

$$326,81 EUR - (222,52 EUR - 885,94 EUR) = 990,23 EUR$$

Prema jednostavnom proračunu (bez kamatnog računa) rok otplate investicije iznosi:

$$7.697,92 EUR \text{ (investicija)} / 990,23 EUR \text{ (dobit, godišnje)} = 7,77 \text{ godina.}$$

U slučaju poticaja od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost od 40% rok isplate investicije iznos:

$$7.697,92 * 0,6 EUR \text{ (investicija)} / 990,23 EUR \text{ (dobit, godišnje)} = 4,66 \text{ godina.}$$

## 6. Zaključak

Povodom sve većih težnji za električnom energijom te minimizacijom konvencionalnih ograničenih izvora u proizvodnji električne energije, povećava se broj kupaca s vlastitom proizvodnjom priključenih na elektroenergetsku mrežu koji proizvode električnu energiju iz ekološki prihvatljivih izvora. U posljednjih nekoliko godina fotonaponski sustavi imaju sve veću tendenciju porasta zbog uredbe Europske unije o energetskim i klimatskim paketima kao dugoročna strategija u budućnosti. Instalirani kapacitet u odnosu na prethodne godine sve je veći, a u budućnosti se predviđa da njihov broj sve više raste te da njihov pozitivan učinak na elektroenergetsku mrežu postaje važan.

Proizvodnja iz obnovljivih izvora energije nije predvidljiva i stalna, odnosno često je varijabilna što nije u skladu s zahtjevima potrošača, ali usprkos činjenici prijateljski je nastrojena prema životnoj sredini te ima značajne pogodnosti u odnosu na konvencionalne izvore energije.

Za priključak na elektroenergetsku mrežu kupac s vlastitom proizvodnjom dužan je zadovoljiti niz uvjeta koji nameće operater distribucijske mreže na lokalnoj razini. Izvršavanjem tih kriterija izdaje se odobrenje za priključak. Glavni projektanti dužni su konstruirati sunčanu elektranu prikladno normama i propisima gdje sustav zadrži komponente uključujući fotonaponske module, izmjenjivače, nosivu potkonstrukciju, kabeli priključenja i ostali razvodni ormari.

U završnom radu prikazana su uspoređivanja veličina za pojedine mjesece veljaču i svibanj koje utječu na optimiziranje sunčane elektrane u što svrstavaju: dnevni prinos u *kWh*, dnevna kupljena energija u *kWh*, dnevna isporučena energija u *kWh*, te prihod za pojedini dan u mjesecu izražen u eurima. Prema tablicama izvješća 5.1. i 5.2., mjesečni prihod od električne energije kućanstva za mjesec veljaču iznosi 59,79 *EUR*, dok za mjesec svibanj iznosi 157,89 *EUR*. Usporedbom novčanog prinosa ta dva mjeseca vidljivo je da se veći profit postiže u svibnju zbog povećane sunčeve insolacije i većeg broja sunčanih sati.

Očekivana godišnja dobit elektrane 8,80 *kWp* iznosi 990,23 *EUR*, dok je investicija sunčane elektrane 7.697,92 *EUR* te je rok otplate 7,77 godina. Rok otplate investicije značajno se smanjuje od poticaja Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost od 40%, rok otplate investicije značajno se smanjuje od 7,77 godina na samo 4,66 godina. Potpora fonda ima ključnu ulogu u ubrzanju povrata ulaganja i čini investiciju privlačnom i održivom opcijom.

# Literatura

- [1] Renewable capacity statistics 2023 IRENA [https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2023.pdf?rev=b357baf054584e589c8ab635140d0596](https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=b357baf054584e589c8ab635140d0596) (31. ožujka 2023., stranica 37.)
- [2] ] Majdandžić Lj.: Fotonaponski sustavi (Priručnik), str. 1-21
- [3] <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog> (pristup 2. ožujka 2023.)
- [4] D. Šljivac, D. Topić, „Obnovljivi izvori električne energije“, Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018., str. 159-185
- [5] D. Šljivac „Fotonaponski sustavi“, materijali s predavanja, 2021/2022.
- [6] D. Bálint, A. Bodor, D. Došen, K. Fekete. Z. Hajdú. R. Horeczki, B. Horváthné Kovács, Z. Klaić, G. Knežević, S. Z. Kovács, C. Mezei, D. Pelin, M. Primorac, D. Šljivac, P. Póla, A. Titov, D. Topić, V. Varjú, M. Žnidarec, “Renewable energy sources and energy efficiency for rural areas”, Pečuh, MTA KRTK Institute for Regional Studies, 2018.
- [7] Lj. Majdandžić, „Solarni sustavi“, *GRAPHIS d.o.o.*, Zagreb, 2010.
- [8] [Schrack Technik: Otočni fotonaponski sustavi](#) (pristup 15. ožujka 2023.)
- [9] [https://smarten.eu/wp-content/uploads/2020/05/Smart\\_Energy\\_Prosumers\\_2020.pdf](https://smarten.eu/wp-content/uploads/2020/05/Smart_Energy_Prosumers_2020.pdf) (3. travnja 2023., stranica 3.)
- [10] <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (pristup 5. travnja 2023.)
- [11] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006\\_03\\_28\\_664.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_03_28_664.html) (pristup 5. travnja 2023.)
- [12] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_09\\_100\\_1937.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_09_100_1937.html) (pristup 5. travnja 2023.)
- [13] <https://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/prikljucenje-kucanstva-s-vlastitom-proizvodnjom/185> (pristup 5. travnja 2023.)

- [14] iDistributedPV: Solar PV on the Distribution Grid: Smart Integrated Solutions of Distributed Generation based on Solar PV, Energy Storage Devices and Active Demand Management. <http://www.idistributedpv.eu> (pristup 6. travnja 2023.)
- [15] D. Šljivac „Integracija OIE i napredne mreže“, materijali s predavanja, 2022./2023.
- [16] Glavni projekt elektrotehnički projekt – sunčana elektrana Šljivac, Broj projekta: EL-051-11/2022-GL
- [17] Izmjenjivač, Poveznica: [Izmjenjivač – mozak cjelokupnog sustava! - Solarne elektrane \(solarne-elektrane.hr\)](http://solarne-elektrane.hr), (pristup 10. svibnja 2023.)
- [18] IRENA\_Power\_Generation\_Costs\_2021.pdf (pristup 19. svibnja 2023., stranica 89.)
- [19] <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+HD+60364-5-52%3A2012> (pristup 20. svibnja 2023.)
- [20] PVGIS: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) (pristup 10. rujna 2023.)

# SAŽETAK

Glavni cilj završog rada je detaljan opis realizacije projekta sunčane elektrane gdje su potpuno opisane ključne komponente fotonaponskih modula s električnim parametrima, te radnim i temperaturnim svojstvima i parametri izmjenjivača s istosmjernom i izmjeničnom stranom. U sklopu rada opisane su tehničke karakteristike sunčane elektrane koje su izračunate preko matematičkog modela. Prikazan je postupak vrijednosti investicije elektrane, komponenti, cijene troškova te izračun otkupa električne energije u Republici Hrvatskoj. Na primjeru obiteljske kuće analizirana je isplativost sunčane elektrane za pojedine mjesece u godini.

Ključne riječi: fotonaponski sustav, kupac s vlastitom proizvodnjom, fotonaponski modul, izmjenjivač, isplativost

# ABSTRACT

The main objective of this thesis is to provide a detailed description of the implementation of a solar power plant project, including a comprehensive overview of key components of photovoltaic modules with their electrical parameters, as well as their operational and temperature characteristics, and the parameters of the inverter with its DC and AC sides. The technical characteristics of the solar power plant are described within the thesis, and they are calculated using a mathematical model. The process of determining the investment value of the power plant, components, cost prices, and the calculation of electricity purchase in the Republic of Croatia are presented. The profitability of the solar power plant for specific months of the year is analyzed using the example of a residential house.

Keywords: photovoltaic system, self-consumption customer, photovoltaic module, inverter, profitability



## Životopis

Luka Fajdetić je rođen 18. prosinca 1998. godine u gradu Vinkovci. U Vinkovcima je pohađao osnovnu školu „Antun Gustav-Matoš“. Tijekom osnovnoškolskog obrazovanja sudjeluje na natjecanjima iz povijesti i matematike. Nakon završetka osnovne škole upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima, smjer tehnička gimnazija. Uspješno polaže državnu maturu 2017. godine, te iste godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.