

# Modeliranje realne FN elektrane 5 kW na vlastitom stambenom objektu

---

**Zebec, Filip**

**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:200:065648>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**

*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**

**MODELIRANJE REALNE FN ELEKTRANE 5 KW NA  
VLASTITOM STAMBENOM OBJEKTU**

**Završni rad**

**Filip Zebec**

**Osijek, 2023.**

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

Osijek, 08.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Filip Zebec
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4777, 23.09.2019.
<b>OIB Pristupnika:</b>	18808817492
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Srete Nikolovski
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Modeliranje realne FN elektrane 5 kW na vlastitom stambenom objektu
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Za realni FN sustav na osobnom stambenom objektu prikazati proračun instalacije i modelirati ga u EasyPower progamu. Odraditi tokove snaga (Zebec)
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	08.09.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	24.09.2023
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 25.09.2023.

Ime i prezime studenta:

Filip Zebec

Studij:

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4777, 23.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

15

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Modeliranje realne FN elektrane 5 kW na vlastitom stambenom objektu**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Srete Nikolovski

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada.....	2
<b>2. TEHNOLOGIJA FOTONAPONSKIH SUSTAVA</b> .....	<b>3</b>
2.1. Matematička analiza fotonaponske ćelije.....	4
2.2. Posljedice rada FN ćelija pod utjecajem sunčeve svjetlosti i temperature.....	6
2.3. Tehnike za postizanje maksimalne snage i povećanja efikasnosti fotonaponskih panela.....	7
2.3.1. Neizravne metode za pronalazak MPP.....	7
2.3.2. Izravne metode za pronalazak MPP.....	8
2.4. Izravna transformacija sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije.....	10
<b>3. SOLARNI FOTONAPONSKI SUSTAVI</b> .....	<b>11</b>
3.1. Samostalni fotonaponski sustavi.....	12
3.1.1. Hibridni fotonaponski sustavi.....	13
3.2. Integracija FN sustava u javnu elektroenergetsku mrežu putem kućne instalacije.....	14
3.2.1. Opis sustava realne FN elektrane 5kW na vlastitom stambenom objektu.....	16
<b>4. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA REALNE FN ELEKTRANE 5KW NA VLASTITOM STAMBENOM OBJEKTU</b> .....	<b>19</b>
<b>5. PRAKTIČNI DIO RADA</b> .....	<b>23</b>
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>31</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>32</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>33</b>
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>34</b>

# 1. UVOD

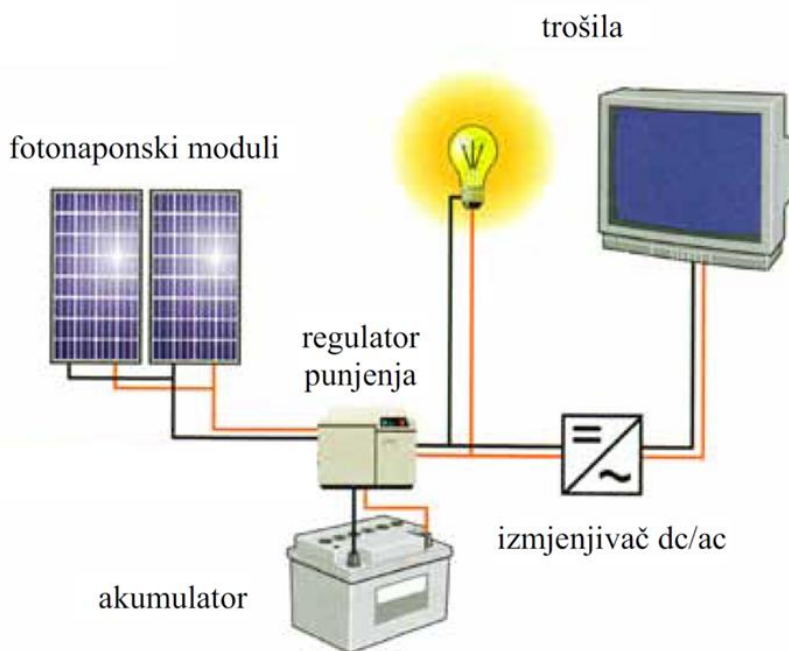
Sunce je ključni izvor elektromagnetnog zračenja koje prodire kroz Zemljinu atmosferu, pružajući nam neiscrpan izvor obnovljive energije. Ova energija je osnovna snaga koja omogućava postojanje života na Zemlji, pokreće cikluse u prirodi i oblikuje atmosferske i klimatske uvjete. Koliko su reakcije na suncu još uvijek turbulentne najbolje opisuje podatak da svake sekunde 3000 tona napusti sunčevu površinu u obliku sunčevog vjetra. Potrebno je 200 000 milijardi godina da sva materija napusti Sunce na ovaj način. Ogromne količine tako dobivene energije osim što su stvorile nužne i osnovne uvjete za nastanak života i razvoj života na Zemlji, već su nam također osigurale zalihe energije koje koristimo svakodnevno, kao što su nafta, prirodni plin i ugljen[1]. Sunce oslobađa ogromnu količinu energije u samo jednoj sekundi, mnogo više nego što je ljudska civilizacija potrošila tokom svojih godina razvoja. Proučavanje i razvoj tehnologija koje omogućavaju efikasno iskorištavanje energije Sunca ima ključnu ulogu u prevladavanju energetske krize i uspostavljanju održivog energetskeg sustava. Prelazak na obnovljive izvore energije, kao što je to solarna energija, ima ključnu ulogu u osiguravanju energetske stabilnosti i zaštiti budućih generacija od negativnih posljedica fosilnih goriva na okoliš [1]. Svakodnevno se, iz tog razloga, provode intenzivna i inovativna istraživanja novih metoda i procesa pretvorbe sunčeve energije u toplinsku, električnu ili hladnu energiju. Solarni fotonaponski (FN) sustavi postaju popularan izbor za proizvodnju čiste i obnovljive električne energije. Ovi sustavi koriste sunčevu svjetlost kao izvor energije i pretvaraju je u upotrebljivu električnu energiju. Prednosti FN sustava su smanjenje emisije stakleničkih plinova, neovisnost o fosilnim gorivima i dugoročne financijske uštede. FN sustavi u privatnoj stambenoj zgradi omogućuju vlasnicima kuća da proizvode vlastitu električnu energiju i smanjuju ovisnost o tradicionalnim izvorima energije. Ovi se sustavi mogu integrirati u postojeću elektroenergetsku mrežu, a višak proizvedene energije može se prodati elektrooperateru, dajući vlasnicima financijsku korist. Ovaj opis rada detaljno objašnjava funkciju fotonaponskog sustava na vlastitom stambenom objektu, ilustrirajući proces pretvaranja sunčeve svjetlosti u električnu energiju putem solarnih panela i kako se ta generirana energija može koristiti u napajanju domaćinstva. Pomoću programa EasyPower mogu se provesti detaljni izračuni i modeliranje kako bi se analizirali tokovi snage i točnije procijenila učinkovitost FN sustava. [1]

## **1.1.       Zadatak završnog rada**

Za realni FN sustav na osobnom stambenom objektu prikazati proračun instalacije i modelirati ga u EasyPower programu te prikazati tokove snaga. Također, obraditi teorijski fotonaponske elektrane, njihove dijelove, pretvarače i samu fotonaponsku pretvorbu.

## 2. TEHNOLOGIJA FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Solarni fotonaponski (FN) sustavi sve su popularniji izvor obnovljive energije, omogućujući domovima da generiraju vlastitu električnu energiju iz sunčeve svjetlosti. Njihova svrha je smanjenje potrebe za konvencionalnim izvorima energije, kao što su fosilna goriva, istovremeno doprinoseći smanjenju emisija stakleničkih plinova odgovornih za klimatske promjene [2]. Jedan od ključnih elemenata je solarna ploča s fotonaponskim modulima, tzv. solarni panel, koja se sastoji od fotonaponskih ćelija. Kada sunčeva svjetlost padne na fotonaponske ćelije, događa se fotoelektrični efekt koji rezultira generiranjem električnih naboja i stvaranje električne energije. Oni nude održivu i ekološki prihvatljivu alternativu proizvodnji električne energije. U radu FN sustava, solarni paneli montirani na krovu ili drugom prikladnom mjestu hvataju sunčevu svjetlost i pretvaraju je u istosmjernu struju (DC). Ta se energija zatim dovodi u pretvarač, koji je odgovoran za pretvaranje istosmjerne struje u izmjeničnu struju u kućanstvu (AC). Ovaj sustav omogućuje kućanstvu korištenje vlastite električne energije, što može rezultirati nižim računima za komunalije ili čak prodajom viška energije u mrežu. To čini solarni FN sustav privlačnim izborom za mnoge vlasnike kuća koji žele smanjiti svoje račune za energiju i pomoći u zaštiti okoliša.

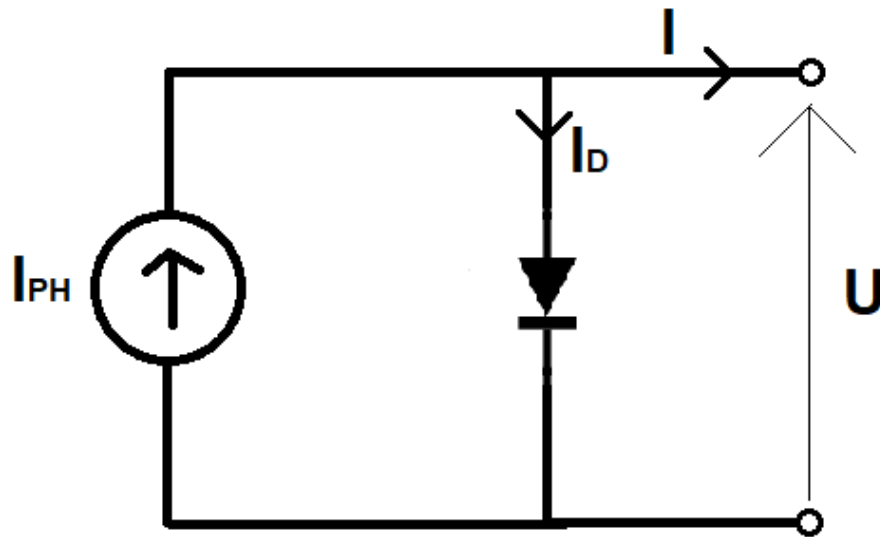


**Slika 2.1.** Fotonaponski sustavi



## 2.1. Matematička analiza fotonaponske ćelije

Matematički model fotonaponske ćelije često se koristi za analizu i predviđanje ponašanja fotonaponskog sistema u različitim uvjetima osvjetljenja, temperature i drugih faktora. Fotonaponska ćelija se izrađuje od poluvodičkih materijala koji imaju sposobnost da apsorbiraju energiju sunčevog zračenja i pretvore je u električnu energiju. Ovaj fenomen je poznat kao fotoelektrični efekt i osnova je funkcioniranja fotonaponskih sustava. Fotonaponsku ćeliju možemo zamisliti kao strujni izvor zato što se temelji na svojstvima poluvodičkih materijala da generiraju električne naboje kada su izloženi svjetlu. Na slici 2.2. prikazana je shema idealne fotonaponske ćelije [3].



Slika 2.2. Shema idealne FN ćelije [3]

Nastavno na sliku 2.1., izraz za struju fotonaponske ćelije može se izraziti kao:

$$I = I_{PH} - I_D \quad (1)$$

gdje su:  $I$  [A] – „izlazna struja FN ćelije“,  $I_{PH}$  [A] – „fotostruja“,  $I_D$  [A] – „struja diode“ [3]

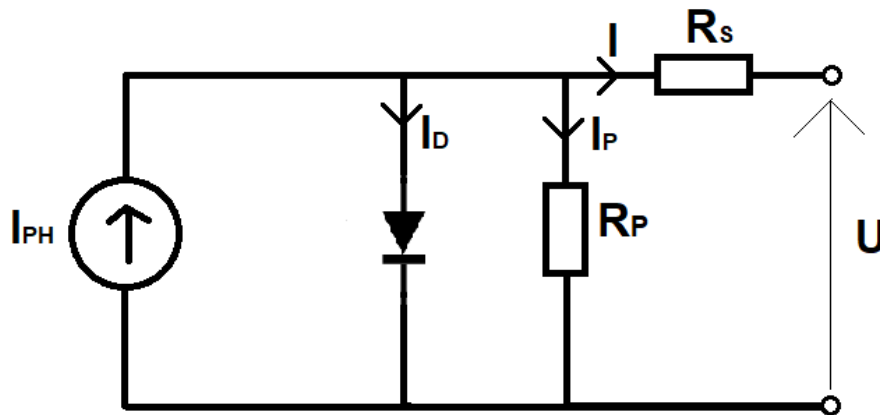
Ako koristimo izraz (2) struje diode i uvrštavajući ga u (1), dobije se izraz (3) kojim opisujemo I-U karakteristiku FN ćelije [3]:

$$I_D = I_S * \left( e^{\frac{q*U}{A*k*T}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I = I_{PH} - I_S * \left( e^{\frac{q*U}{A*k*T}} - 1 \right) \quad (3)$$

Gdje su:  $I_S$  [A] – „struja zasićenja diode“,  $q$  – „naboj elektrona ( $1,602*10^{-29}$  C)“,  $k$  – „Boltzmanova konstanta ( $1,381*10^{-23} \frac{J}{K}$ )“,  $T$  [K] – „temperatura diode“,  $U$  [V] – „izlazni napon“,  $A=1$  – „faktor kvalitete diode“ [3].

Realna FN ćelija obično uključuje paralelni i serijski otpor. Serijski otpor označava gubitke struje kroz različite slojeve ćelije [3]. Ovaj otpor uglavnom zavisi od spoja metalne baze s n i p slojem poluvodiča. Paralelni otpor fotonaponske ćelije uzrokovan je strujama odvoda (engl. leakage current) [3]. Paralelni otpor ovisi uglavnom o procesu proizvodnje fotonaponske ćelije, uključujući materijale, tehnike spajanja i druge faktore koji utječu na kvalitetu ćelije i sprečavaju curenje struje [3]. Slika 2.3. prikazuje realnu shemu fotonaponske ćelije.



Slika 2.3. Realna shema FN ćelije

Izrazom (4) prikazana je jednadžba realne FN ćelije:

$$I = I_{PH} - I_S * \left( e^{\frac{q*U}{A*k*T}} - 1 \right) - \frac{U + I * R_S}{R_p} \quad (4)$$

[2]

## 2.2. Posljedice rada FN ćelija pod utjecajem sunčeve svjetlosti i temperature

Djelovanje sunčevog zračenja i temperature na fotostruju  $I_{PH}$  prikazujemo sljedećim izrazom (5) [3]:

$$I_{PH} = \frac{G}{G_{ref}} [I_{SC} + \alpha(T - T_{ref})] \quad (5)$$

Gdje su:  $G [\frac{W}{m^2}]$  – „sunčevo zračenje“,  $G_{ref} [\frac{W}{m^2}]$  – „sunčevo zračenje pri standardnim uvjetima testiranja (engl. STC – standard testing conditions)“ [3],  $I_{SC} [A]$  – „struja kratkog spoja pri STC“,  $T_{ref} [K]$  – „temperatura pri STC“,  $\alpha [\frac{mA}{K}]$  – „temperaturni koeficijent struje“. STC podaci:  $G_{ref} = 1000 [\frac{W}{m^2}]$ ,  $T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ . [3]

Djelovanje sunčevog zračenja i temperature na struju zasićenja diode  $I_S$  Prikazujemo formulom (6):

$$I_S = \frac{I_{SC} + \alpha(T - T_{ref})}{e^{\frac{q \cdot (U_{OC} + \beta(T - T_{ref}))}{A \cdot k \cdot T}} - 1} \quad (6)$$

Gdje su:  $U_{OC} [V]$  – „napon praznog hoda pri STC“,  $\beta [\frac{mV}{K}]$  – „temperaturni koeficijent napona“ [3].

Ako izraze (5) i (6) uvrstimo u izraz (4) dobije se izraz (7) kojim se opisuje ovisnost realne fotonaponske ćelije o promjeni temperature i sunčevog zračenja [3]:

$$I = \frac{G}{G_{ref}} [I_{SC} + \alpha(T - T_{ref})] - \frac{I_{SC} + \alpha(T - T_{ref})}{e^{\frac{q \cdot (U_{OC} + \beta(T - T_{ref}))}{A \cdot k \cdot T}} - 1} * \left( e^{\frac{q \cdot (U + I \cdot R_S)}{A \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_S}{R_p} \quad (7)$$

[2]

## 2.3. Tehnike za postizanje maksimalne snage i povećanja efikasnosti fotonaponskih panela

Točka maksimalne snage varira u ovisnosti o temperaturi i intenzitetu sunčevog zračenja. Stoga, kako biste ostvarili najveću moguću snagu, potrebno je neprestano podesiti panel na radnu točku maksimalne snage [3]. Postoje mnoge metode za pronalaženje maksimalne točke snage (eng. MPP – maximum power point) te se one mogu podijeliti u neizravne i izravne metode [3].

### 2.3.1 Neizravne metode za pronalazak MPP

Dvije najpoznatije metode za pronalazak MPP-a su:

- Metoda praznog hoda (eng. Fractional Open-Circuit Voltage)
- Metoda struje kratkog spoja (eng. Fractional Short-Circuit Current) [3]

Metoda praznog hoda se bazira na hipotezi konstantnog ili stalnog odnosa napona praznog hoda  $U_{OC}$  maksimalnog napona  $U_{MPP}$  :

$$U_{MPP} = k * U_{OC} \quad (8)$$

Koeficijent  $k$  iznosi 0.65 – 0.8 prema (8), dok prema (7) iznosi 0.71 – 0.78 [3]. Napon praznog hoda može se izračunati izvodeći periodično isključenje opterećenja u vremenskim razmacima od 10 -50 ms, te zatim mjerimo  $U_{OC}$ , kako bi na temelju koeficijenta  $k$  i izmjerenog praznog hoda odredio na panelu napon radne točke. Kako bi se izbjegli energetske gubici, može se upotrijebiti i pilot ćelija, koja reprezentira karakteristike cijelog modula na kojoj se mjeri napon  $U_{OC}$ .

- **Prednosti:** ekonomična i jednostavna implementacija koja zahtijeva samo uređaj za mjerenje napona [3]

- **Nedostaci:** ograničena učinkovitost s obzirom na činjenicu da radna točka rijetko korespondira s točkom maksimalne snage, a također i zbog nedovoljne jasnoće koeficijenta  $k$ . [3]

Metoda kratkog spoja oslanja se na hipotezi o stalnom odnosu struje kratkog spoja  $I_{SC}$  i struji  $I_{MPP}$ , koja se podudara sa točkom maksimalne snage:

$$I_{MPP} = k_1 * I_{SC} \quad (9)$$

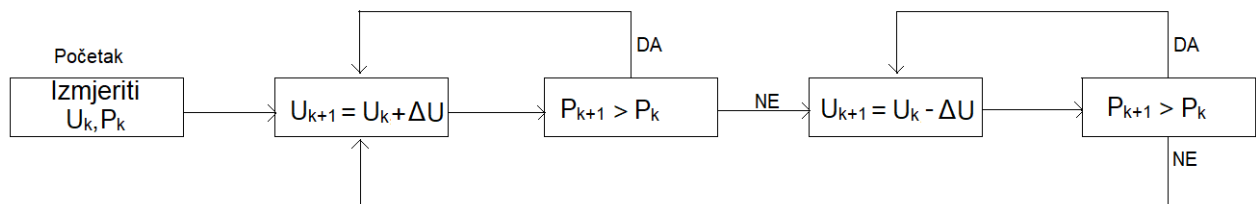
Mjerenjima je ustanovljeno da koeficijent  $k_1$  iznosi 0.78 – 0.92 prema (7). [3] Kad se utvrdi vrijednost struje kratkog spoja, uz već dobro poznati koeficijent  $k_1$ , možemo izračunati struju  $I_{MPP}$  kod koje znamo da je ona upravo maksimalna izlazna snaga panela.

### 2.3.2 Izravne metode za pronalazak MPP

Dvije najpoznatije izravne metode su:

- Metoda perturbacije (eng. Perturb and Observe)
- Metoda inkrementalne vodljivosti (eng. Incremental Conduance) [3]

Najčešća korištena metoda u praksi je metoda perturbacije. Metoda se temelji na periodičnoj promjeni napona za određeni promjenjivi ili fiksni korak. Nakon svake promjene napona prati se promjena snage [3]. Ako je promjena snage istog predznaka kao i promjena napona, napon nastavlja promjenu u istom smjeru. Ako je promjena snage suprotnog predznaka od promjene napona, sljedeća promjena napona biti će suprotnog smjera [3]. Na slici 2.3. je grafički prikazan dijagram metode perturbacije [3].



**Slika 2.4.** Prikaz metode perturbacije [3]

- **Prednosti:** jednostavnost i brzo izvođenje algoritma [3]
- **Nedostaci:** radna točka oscilira oko vrijednosti  $U_{MPP}$  (dovodi do smanjenja efikasnosti); pri brznoj promjeni sunčevog zračenja, algoritam divergira i računa pogrešan MPP [3].

Metoda inkrementalne vodljivosti osmišljena je iz razloga da se smanje, odnosno uklone fluktuacije oko MPP u metodi koju zovemo perturbacija. Ako se promatra funkcija  $P(U)$ , vrijedi [3]:

$$\frac{dP}{dU} = 0 \quad \text{u točki MPP} \quad (10)$$

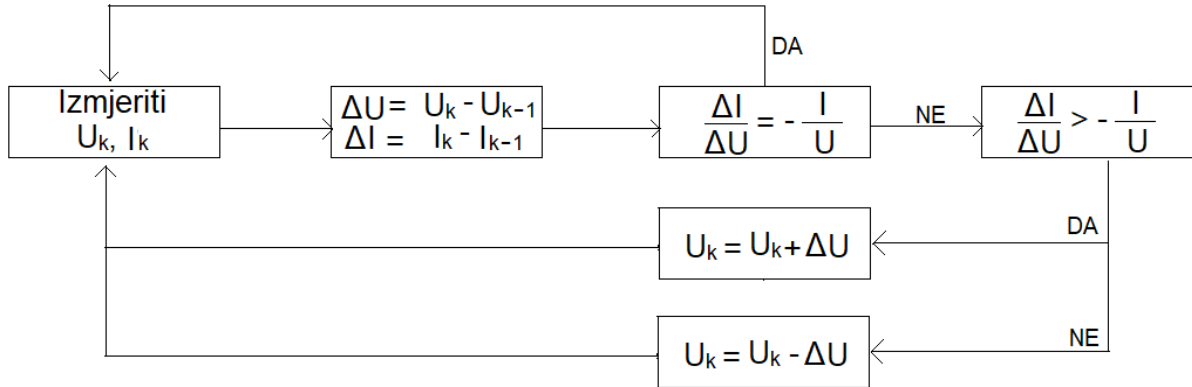
$$\frac{dP}{dU} = \frac{d(U \cdot I)}{dU} = I + U \cdot \frac{dI}{dU} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{dI}{dU} = -\frac{I}{U} \quad \text{u točki MPP} \quad (12)$$

$$\frac{dI}{dU} > -\frac{I}{U} \quad \text{lijevo od MPP} \quad (13)$$

$$\frac{dI}{dU} < -\frac{I}{U} \quad \text{desno od MPP} \quad (14)$$

Potreban smjer promjene napona dobiva se uspoređivanjem povećanja vodljivosti sa trenutnom vodljivošću [3]. Kada dobijemo ekvivalentnu vrijednost, algoritmu napon ostaje nepromijenjen tako dugo dok ne dođe do promjene jednakosti. Na slici 2.5. je prikazan dijagram algoritma metode [3].

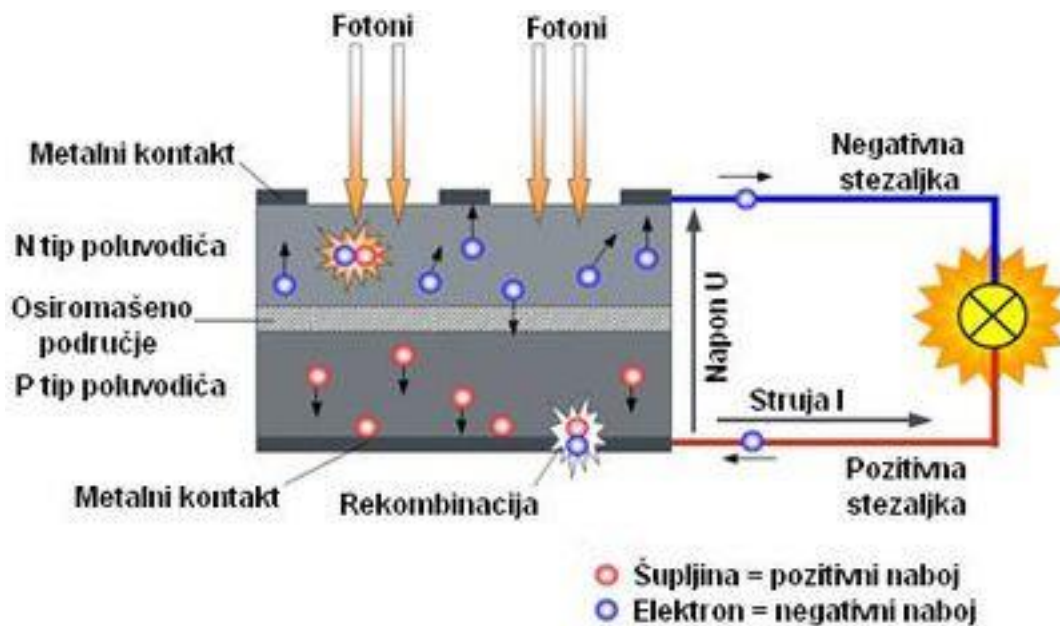


Slika 2.5. Prikaz dijagrama algoritma [3]

- **Prednosti:** smanjene ili u potpunosti izbjegnute oscilacije oko MPP (povećanje efikasnosti algoritma) [3]
- **Nedostaci:** Složenija izvedba algoritma iz razloga što nazivnik u bilo kojem trenutku može imati vrijednost nulu; problem brze promjene vremenskih uvjeta. [3]

#### 2.4. Izravna transformacija sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije

Kada sunčeva svjetlost dopre do solarnih ćelija (tzv. fotonaponske ćelije) i bude apsorbirana, zultira fotonaponskim efektom koji stvara elektromotornu silu (napon) na krajevima ćelije, transformirajući je u izvor energije. Solarna ćelija pretvara se u poluvodičku diodu, tj. PN spoj, i djeluje poput ispravljač čija je uloga propuštanja struje isključivo u samo jednom smjeru. Kada je solarna ćelija ili PN spoj osvijetljen, apsorbirani fotoni stvaraju parove elektron-rupa [4]. Ako se apsorpcija dogodi daleko od PN spoja, rezultirajući par će se uskoro rekombinirati [4]. Nadalje, ukoliko prilikom apsorpcije u blizini ili unutar PN spoja, električno polje koje se nalazi unutar osiromašenog područja, rastavlja šupljinu i rezultirajuću negativnu nabijenu česticu, elektron. Elektron se pomiče na N stranu, a šupljina na P stranu. Elektromotorna sila nastaje na krajevima solarne ćelije iz razloga što se na tim krajevima nagomilaju elektroni i rupe na suprotnim stranama PN spoja. U trenutku kada solarna ćelija primi svjetlost, kontakt N-strane postaje negativno nabijen, dok kontakt suprotne P-strane postaje pozitivno nabijena. Ukoliko se stvara veza između kontakta ćelija s vanjskim trošilom, dolazi do prolaska struje te tako solarna ćelija u konačnici postaje izvorom proizvedene električne energije [5].



Slika 2.6. Prikaz nastanka para elektron-šupljina u solarnoj ćeliji [5]

### 3. SOLARNI FOTONAPONSKI SUSTAVI

Solarni fotonaponski sustavi (FN) možemo podijeliti u dvije različite skupine: FN sustavi koji se mogu povezati na javnu elektroenergetsku mrežu, dok u drugu skupinu pripadaju fotonaponski sustavi koji ne mogu biti spojeni na javnu elektroenergetsku mrežu (samostalni sustavi) [6].

Samostalni sustavi, odnosno oni FN sustavi koji se ne mogu povezati na mrežu [4], mogu raditi bez ili sa pohranom energije, hibridni sustavi s vjetroturbinama ili kombiniranom električnom i toplinskom energijom, dizel generatori ili gorive ćelije, ovisno o primjeni i vrsti potrošnje energije.

Fotonaponski sustavi koji mogu biti priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu, spajaju se direktno ili pomoću drugog načina koji se koristi, a to je spajanje preko kućne instalacije [6].



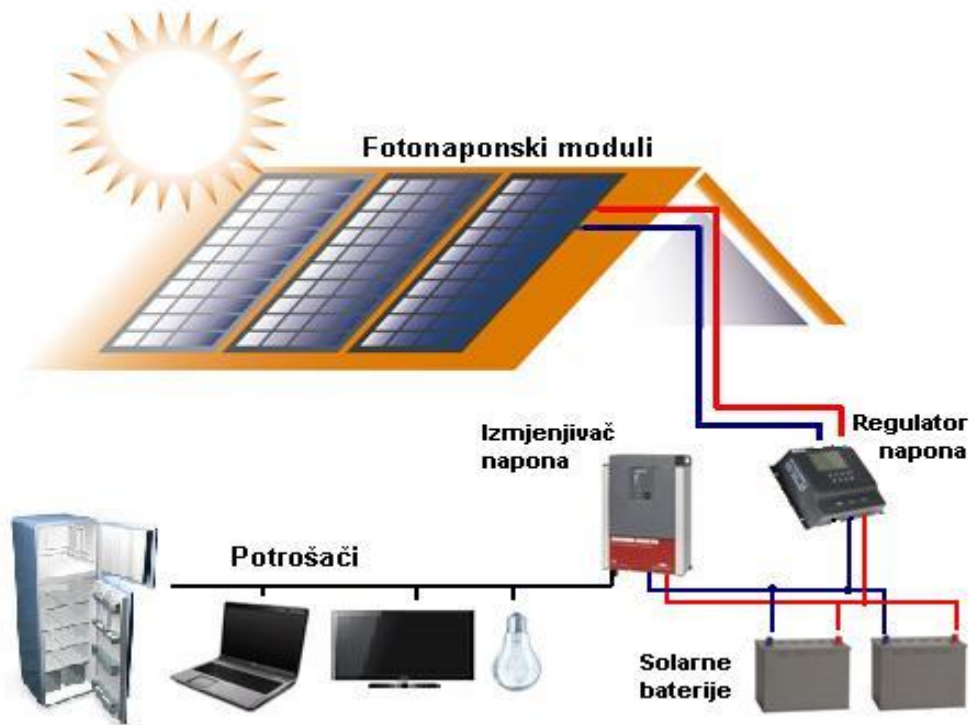
### 3.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Temeljne komponentne samostalnog fotonaponskog sustava [7]:

1. Fotonaponski moduli (spojeni serijski-paralelno ili paralelno)
2. Regulatori punjenja
3. Akumulatori
4. Trošilo
5. Izmjenjivači (Samo ako trošila mogu raditi na AC struju)

Za FN sustave, koji sadrže ove temeljne komponente, postoje dva različita osnovna procesa [7]:

- Pretvorba sunčeve energije u električnu
- Pretvorba električne energije u kemijsku, i obratno

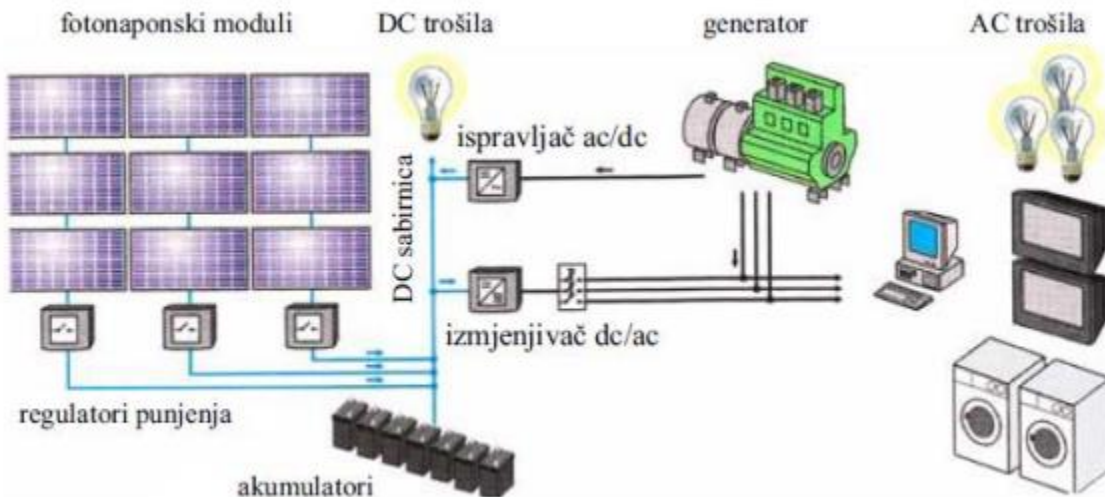


**Slika 3.1.** Samostalni fotonaponski sustav priključen na istosmjernu (AC) struju

Fotonaponska konverzija svjetlosne energije u električnu energiju se dešava unutar solarnih ćelija, dok u akumulatorskom akumulatoru imamo reverzibilni proces elektrokemijske pretvorbe u odnosu na pražnjenje i punjenje. Kod Potrošača, dolazi do transformacije električne energije u raznolike oblike energije, poput mehaničke, svjetlosne, toplinske. Potrošač je definiran strujom, naponom i snagom.

### 3.1.1. Hibridni fotonaponski sustavi

U ovim FN sustavima potrošači se u početku opskrbljuju električnom energijom koju generiraju solarni paneli ili vjetroturbine, a višak energije pohranjuje se u tzv. solarne baterije. Ukoliko nema uvjeta prilikom proizvodnje električne energije, izvor električne energije istosmjernih ili izmjeničnih potrošača postaje baterija. Dok se baterija isprazni, odnosno ne preostaje energije za napajanje, dolazi do uključivanja generatora koji pokreće pomoću dizelskog ili bio-dizelskog goriva. Na slici 3.2. je dana shema samostalnog hibridnog FN sustava s generatorom za napajanje potrošača izmjeničnom (AC) ili istosmjernom (DC) strujom [5].



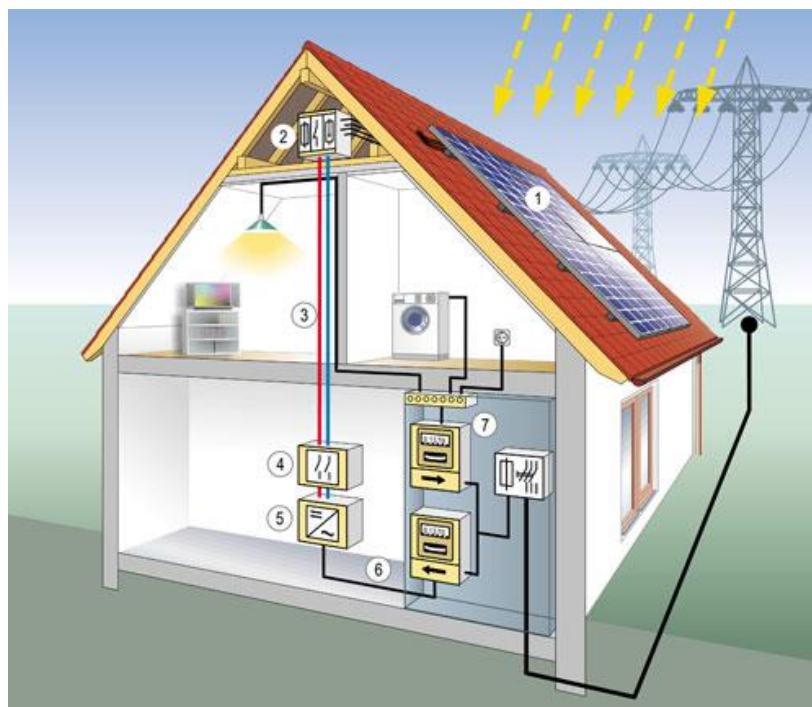
**Slika 3.2.** Shema samostalnog hibridnog FN sustava s generatorom [5]

### **3.2. Integracija FN sustava u javnu elektroenergetsku mrežu putem kućne instalacije**

Distribuirana generirana električna energija koja sadrži FN sustave spojene na javnu elektroenergetsku mrežu pomoću kućne instalacije omogućava vezu decentraliziranih sustava na sustave koji su najčešće spojeni na niskonaponske razine elektroenergetske mreže (centralni sustavi).

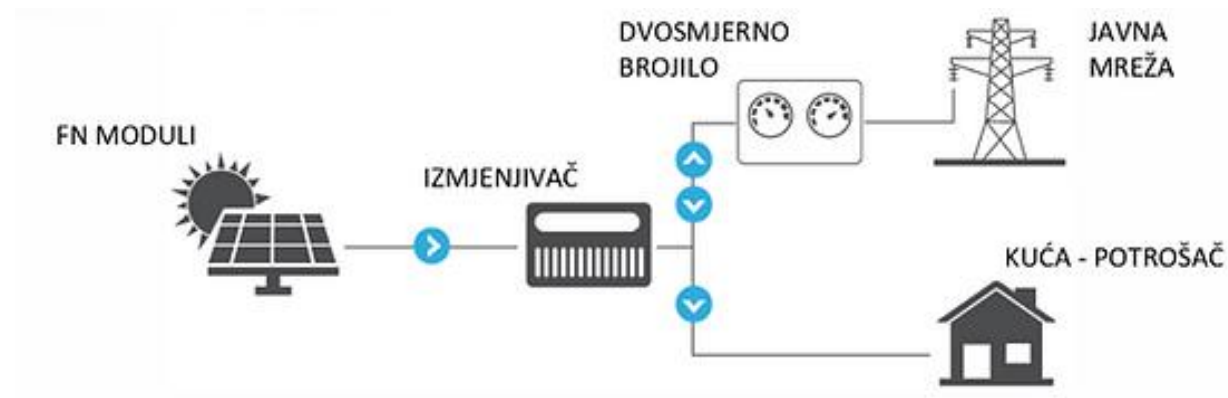
Temeljne komponente FN sustava koji su spojeni na kućnu instalaciju preko javne elektroenergetske mreže su [7]:

1. Fotonaponski moduli
2. Spojna kutija u kojoj se nalazi zaštitna oprema
3. Kablovi istosmjernog (DC) razvoda
4. Osnovni prekidač za isključivanje
5. Izmjenjivač DC/AC
6. Kablovi izmjeničnog (AC) razvoda
7. Brojčani zapis (brojila) predane i preuzete el. Energije [7]



**Slika 3.3.** Prikaz FN sustava spojenog preko kućne instalacije na javnu mrežu [5]

Fotonaponski sustav povezan je na javnu mrežu isključivo putem kućne instalacije te radi paralelno s elektrodistribucijskom mrežom. Njegova zadaća je opskrba potrošača u domaćinstvima. Višak električne energije se odvodi u elektrodistribucijsku mrežu [5]. Ukoliko solarni moduli ne generiraju dostatnu količinu električne energije, energija iz mreže će preuzeti zadaću napajanja aparata za kućanstvo. S obzirom na to da FN sustavi priključeni na javnu mrežu mogu generirati najveći dio električne energije danju, to omogućava da u onim područjima gdje je slaba električna mreža, u znatnoj mjeri rasteretiti elektroenergetsku mrežu i time mogu pokriti sve potrebe potrošača [5].



**Slika 3.4.** Brojčani zapis (brojila) predane i preuzete električne energije

Prednosti FN sustava priključenih preko kućne instalacije na javnu elektroenergetsku mrežu, kao decentralizirane proizvodnje električne energije su [7]:

- Proizvodnja električne energije ekološki prihvatljivim putem bez zagađenja
- Generiranje električne energije blizu mjesta potrošnje
- U prijenosu i distribuciji nema gubitaka energije
- sigurnost i pouzdanost opskrbe
- Manji troškovi održavanja u usporedbi s centraliziranim proizvodnim objektima.
- Brza i jednostavna instalacija i puštanje u rad
- Lakša dostupnost lokacija za postavljanje fotonaponskih sustava u usporedbi s većim centraliziranim proizvodnim sustavima [7]

### 3.2.1. Opis sustava realne FN elektrane 5kW na vlastitom stambenom objektu

Bitno je zadovoljiti sljedeće parametre sa maksimalnim učinkom proizvodnje električne energije iz sunčane elektrane [7]:

- Što je moguće što veće zračenje sunca na solarnim modulima – iradijacija
- Što bolji kut koji s pomoću sunčevog zračenja pada na solarne module
- Što je zasjenjenje solarnih modula što manje moguće
- Čim veća učinkovitost pretvarača odnosno izmjenjivača
- Što su gubici u kabelima uzrokovani padom napona što manji mogući
- Čim manji gubici prouzrokovani povišenom temperaturom solarnih modula [7].

Tijekom projektiranja FN elektrane posebnu pozornost treba obratiti na pravilno projektiranje elektrane u smislu najniže zabilježene temperature okoline na lokaciji elektrane, jer se temperatura elektrane može sniziti povećanjem solarnih ćelija [5]. Pri vrlo niskim temperaturama taj napon (ovisno o broju modula spojenih u liniju) može biti vrlo visok, što može oštetiti pretvarač (eksplozija kondenzatora). Zemljopisni položaj, doba dana, godišnje doba i vremenski uvjeti glavni su parametri za promjene u zračenju. Iz tog razloga je proračun proizvodnje električne energije solarne elektrane relativno složen proces i provodi se pomoću posebnih računalnih programa. Najveći utjecaj na redukciju proizvedene električne energije je upravo zbog zamračenja solarnih panela, najviše zimi kad je sunčeva svjetlost najslabija i kud upada sunčevih zraka jako mali, gdje su i zanemarive prepreke jako bitne za zasjenjenje solarnih panela. Efekt sjenčanja je da ako je samo jedan modul u nizu osjenčan, cijeli red neće proizvoditi električnu energiju. Učinci zasjenjenja na proizvodnju električne energije FN elektrane mogu se smanjiti [8]:

- Snimanjem zasjenjenja na krovu uređajem Solar PathFinder i raspoređivanjem modula na mjesta bez zasjenjenja
- Ugradnjom više manjih pretvarača (izmjenjivača) s 2 nezavisna MPPT (eng. Maximum Power Point Tracking) ulaza te razmještajem modula koji će biti zasjenjeni u zasebne linije (eng. Strings) kako bi ostali moduli za vrijeme zasjenjenja proizvodili električnu energiju [8]

Odabirom pretvarača najveće moguće učinkovitosti (97% i više) smanjuju se ukupni gubici elektrane, što u konačnici dovodi do veće proizvodnje električne energije [8]. Na izmjeničnoj (AC) i istosmjernoj (DC) strani elektrane moguće je uveliko smanjiti gubitke u kablovima preciznim određivanjem dimenzija kabela uslijed kao posljedica smanjenja napona. Kabeli moraju uvijek biti dimenzionirani tako da gubici u kabelima ne pređu 1% proizvedene električne energije [8].

S obzirom na zahtjeve te na raspoloživu krovnu konstrukciju, prijedlozi rješenja projekta izrade osobne sunčane elektrane bili su sljedeći [8]:

- a) Izvedba integrirane sunčane elektrane instalirane AC snage do uključivo 5,00 kW
- b) Korištenje pretvarala (izmjenjivača) bez transformatora učinkovitosti veće od 97%
- c) Ugradnja uređaja za praćenje rada sunčane elektrane zbog lakšeg parametriranja u slučaju pojave bilo kakvih smetnji u radu elektrane [8]

- d) Ugradnja 20 fotonaponskih modula WINAICO WSP-300-M6, kako bi se ostvarila ukupna DC snaga FN modula od 6,00 kWp
- e) Ugradnja pretvarača DC/AC, FRONIUS SYMO 5.0-3-M, maksimalne izlazne snage ukupno 5,00 kW [8]
- f) Solarne module potrebno je postaviti na nosivu konstrukciju koja mora zadovoljiti uvjete fizičkog i temperaturnog naprežanja na lokaciji sunčane elektrane, te mora udovoljiti parametre nosivosti (statika objekta) sunčane elektrane
- g) Solarne module spojiti prema uputstvima dobavljača opreme [8]

Pretvarač (izmjenjivač) se spaja na priključni ormar. FN moduli koji se postavljaju na krov imaju ukupnu DC snagu 6 kWp, dok odabrani pretvarač ima deklariranu maksimalnu AC snagu 5,00 kW [8]. S obzirom da se snaga elektrane određuje prema maksimalnoj AC snazi koju elektrana može dati na izlazu, snaga ove FN elektrane iznosi 5,00 kW [8].

#### 4. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA REALNE FN ELEKTRANE 5KW NA VLASTITOM STAMBENOM OBJEKTU

Sunčana elektrana izvedena je na krovu građevine obiteljske kuće. Ukupno je u funkciji 20 fotonaponskih modula što rezultira ukupnom instaliranom snagom fotonaponskih modula (generatora) od 6 kWp. Fotonaponski moduli postavljeni su aluminijskom podkonstrukcijom paralelno na krovu postojećih građevina. Fotonaponski moduli povezani su DC/AC izmjenjivačem, tako da priključna snaga sunčane elektrane iznosi 5,00 kW.

<i>Maskimalna predviđena snaga elektrane:</i>	5,00 kWp
<i>Predviđena godišnja proizvodnja:</i>	6014,5 kWh/god
<i>Predviđena godišnja potrošnja:</i>	7329 kWh/god
<i>Nazivni napon priključenja:</i>	3*230/400V, 50 Hz
<i>Fotonaponski moduli:</i>	WINAICO WSP-300-M6
<i>Snaga FN modula:</i>	300 kWp
<i>Broj FN modula:</i>	20
<i>Ukupna snaga FN modula:</i>	6 kWp
<i>Pretvarač:</i>	FRONIUS SYMO 5.0-3-M

**Tablica 4.1.** Osnovni podaci elektrane

Sustavi solarnih fotonaponskih modula mogu biti sastavni dio sunčanih elektrana (postrojenja) koja funkcionira tako što je spojena u paralelu sa distribucijskom mrežom istovremeno s pretvaračem (izmjenjivačem) te je konstantno spojena na istu. Ova elektrana je osmišljena kako bi zadovoljila vlastitu potrošnju uz opciju preostale energije usmjeravanja u elektroenergetsku mrežu. Fotonaponski moduli su izrađeni u tehnologiji monokristal silicija snage 300 Wp, pričvršćeni na aluminijsku konstrukciju [9]. Elektrana se sastoji od 20 fotonaponskih modula nazivne snage 300 Wp. Moduli su podijeljeni u 2 niza (stringa) od po 10 + 10 modula.



Karakteristike FN modula (panel tip WINAICO WSP-300-M6):

*Mehanički podaci*

<i>Ćelija</i>	Monokristal, 156.75 x 156.75 mm, silicij
<i>Broj ćelija</i>	60 u seriji
<i>Dimenzije</i>	1,665 x 999 x 40 mm
<i>Masa</i>	19.6 kg
<i>Okvir</i>	Crni anodizirani aluminij
<i>Tip konektora</i>	MC4 (PV-KBT4/PV-KST4) IP68; QC4.10 IP67
<i>Radna temperatura</i>	-40 °C do +85 °C
<i>Temperaturni koeficijent <math>P_{max}</math></i>	-0.43%/ °C
<i>Temperaturni koeficijent <math>V_{oc}</math></i>	-0.29%/ °C
<i>Temperaturni koeficijent <math>I_{sc}</math></i>	0.06%/ °C

*Električni podaci (STC)*

<i><math>P_{max}</math></i>	300 Wp
<i><math>V_{MP}</math></i>	3.23 V
<i><math>I_{MP}</math></i>	9.31 A
<i><math>V_{oc}</math></i>	39.8 V
<i><math>I_{sc}</math></i>	9.86 A
<i>Učinkovitost</i>	18 %

*Električni podaci (NOCT)*

<i><math>P_{max}</math></i>	223 Wp
<i><math>V_{MP}</math></i>	29.7 V
<i><math>I_{MP}</math></i>	7.53 A
<i><math>V_{oc}</math></i>	37.6 V
<i><math>I_{sc}</math></i>	7.95 A

**Tablica 4.2.** Karakteristike FN modula: WINAICO WSP-300-M6

Zadaća DC/AC pretvarača je pretvaranje istosmjernog (DC) napona dobivenog iz fotonaponskih modula u izmjenični (AC) napon [10]. Tijekom pretvorbe izlazni napon mora zadovoljiti tražena svojstva bez obzira na fluktuaciju ulaznog istosmjernog (DC) napona. Pretvarač treba postići najveću učinkovitost pri pretvaranju istosmjernog napona u izmjenični napon [10]. Pretvarač mora imati sljedeće zaštite na izmjeničnoj strani: prenaponsku, podnaponsku, podfrekvencijsku, nadfrekvencijsku, zaštitu od ubrizgavanja istosmjerne (DC) struje i zaštitu impedancije [11]. Fotonaponski generator mora imati zaštitu od prenapona na istosmjernoj (DC) strani .

#### INPUT DATA

Number of MPP trackers	2
Max. input current ( $I_{dc\ max}$ )	16 / 16 A
Max. short circuit current, module array*	31 / 31 A
DC input voltage range ( $U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$ )	150 - 1000 V
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )	200 V
Nominal input voltage ( $U_{dc,r}$ )	595 V
MPP voltage range ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )	163 - 800 V
Usable MPP voltage range	150 - 800 V
Number of DC connections	2 + 2
Max. PV generator power ( $P_{dc\ max}$ )	10 kW <sub>peak</sub>

**Slika 4.1.** Ulazni podaci FRONIUS SYMO 5.0-3-M pretvarača

## OUTPUT DATA

AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	5000 W
Max. output power ( $P_{ac,max}$ )	5000 VA
AC output current ( $I_{ac,nom}$ )	7,2 A
Grid connection ( $U_{ac,r}$ )	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
AC voltage range ( $U_{min} - U_{max}$ )	150 - 280 V
Frequency ( $f_r$ )	50 / 60 Hz
Frequency range ( $f_{min} - f_{max}$ )	45 - 65 Hz
Total harmonic distortion	< 3 %
Power factor ( $\cos \varphi_{ac,r}$ )	0,85 - 1 ind./cap,

**Slika 4.2.** Izlazni podaci FRONIUS SYMO 5.0-3-M pretvarača

## EFFICIENCY

Max. efficiency (PV - grid)	98 %
European efficiency ( $\eta_{EU}$ )	97,3 %
$\eta$ at 5% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	84,9 / 91,2 / 85,9 %
$\eta$ at 10% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	89,9 / 94,6 / 91,7 %
$\eta$ at 20% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	93,2 / 96,7 / 95,4 %
$\eta$ at 25% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	93,9 / 97,2 / 96,0 %
$\eta$ at 30% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	94,5 / 97,4 / 96,5 %
$\eta$ at 50% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	95,2 / 97,9 / 97,3 %
$\eta$ at 75% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	95,3 / 98,0 / 97,5 %
$\eta$ at 100% $P_{ac,r}$ <sup>3)</sup>	95,2 / 98,0 / 97,6 %
MPP adaptation efficiency	> 99,9 %

**Slika 4.3.** Podaci učinkovitosti FRONIUS SYMO 5.0-3-M pretvarača

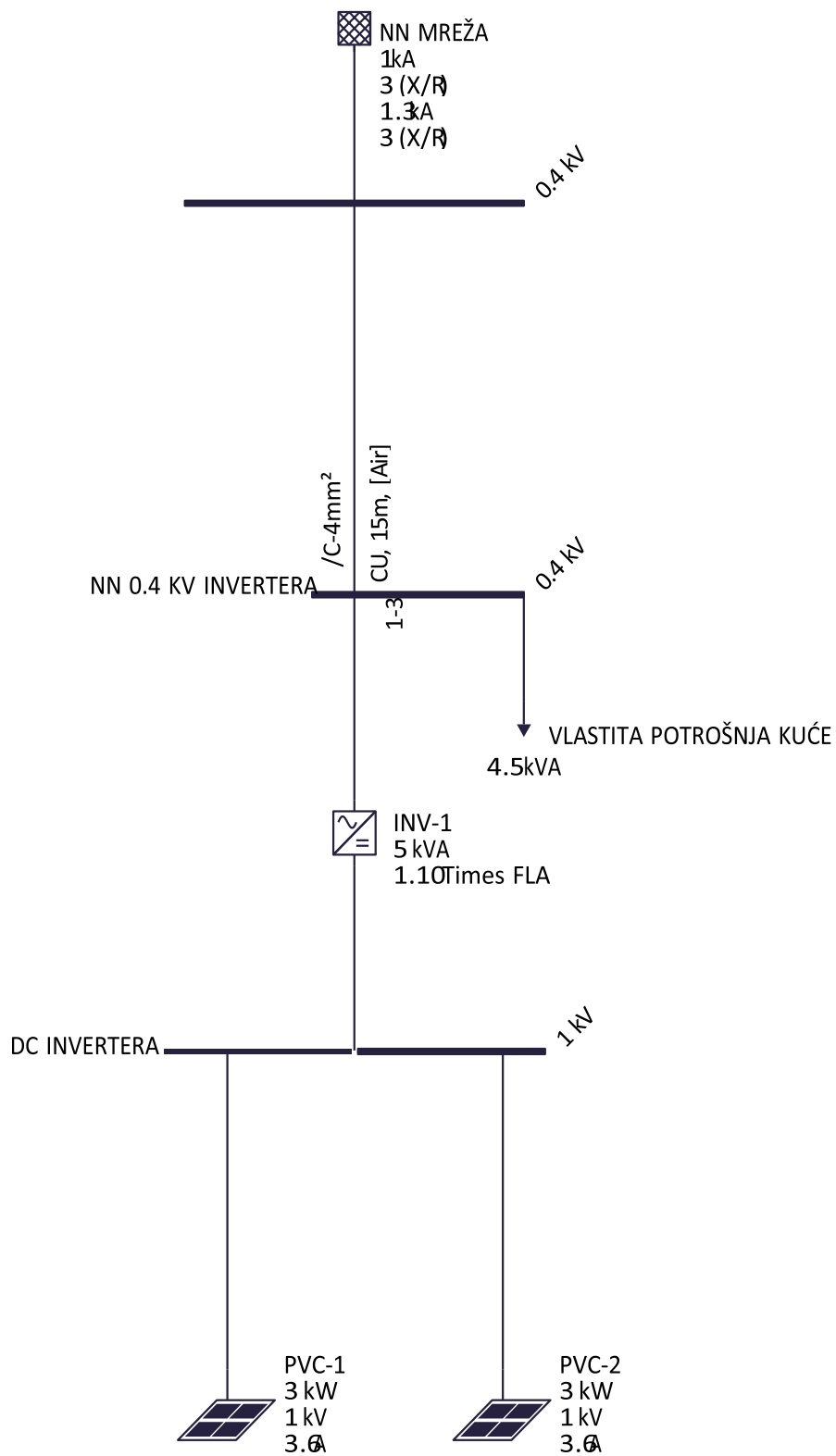
## PROTECTION DEVICES

DC insulation measurement	Yes
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation
DC disconnect	Yes
DC Reverse polarity protection	Yes

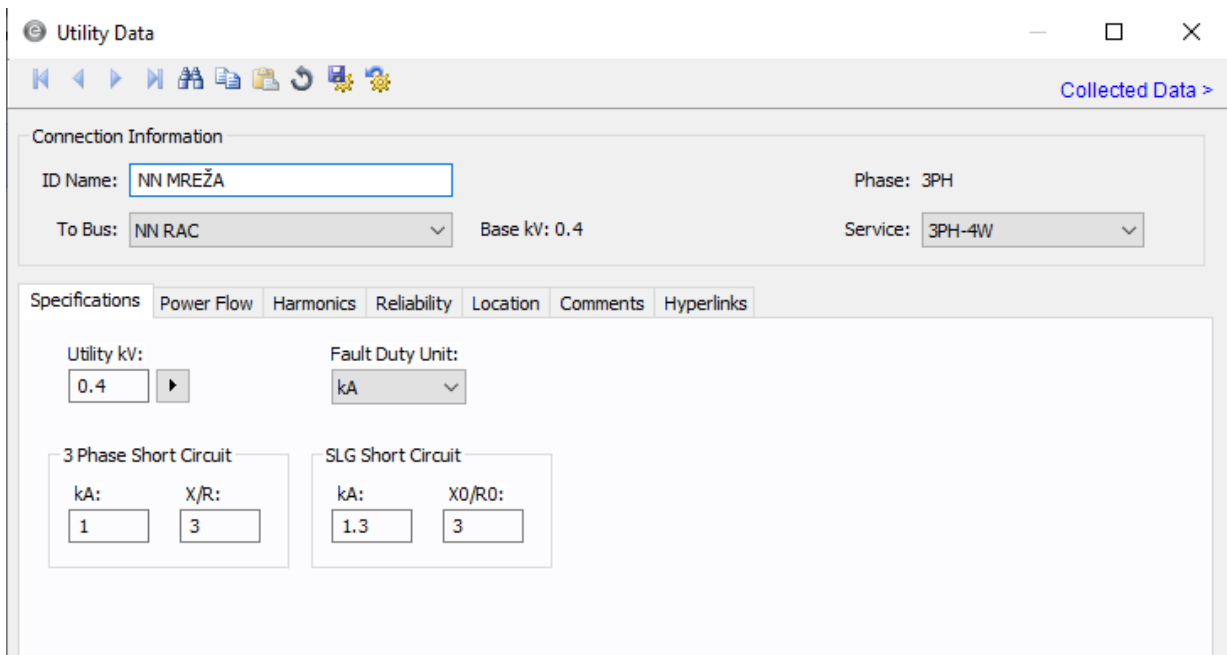
**Slika 4.4.** Podaci o zaštiti FRONIUS SYMO 5.0-3-M pretvarača

## 5. PRAKTIČNI DIO RADA

Praktični dio rada je rađen u programskom paketu EasyPower 10.6.1.8045. EasyPower je programski alat koji omogućuje provedbu analize tokova snage, kratkih spojeva, koordinacije zaštite, utjecaja harmonika i stabilnosti [12]. Na slici 5.1. je prikazana shema jednostavnog spoja mreže, 3 sabirnice, niskonaponske mreže, izmjenjivača, 2 fotonaponska modula i 1 potrošača moduliranog vlastitom potrošnjom stambenog objekta. Priključenjem postavljenih fotonaponskih modula, osim mreže imaju i vlastiti izvor napajanja. U toj situaciji iz mreže uzima se manje djelatne snage [12].

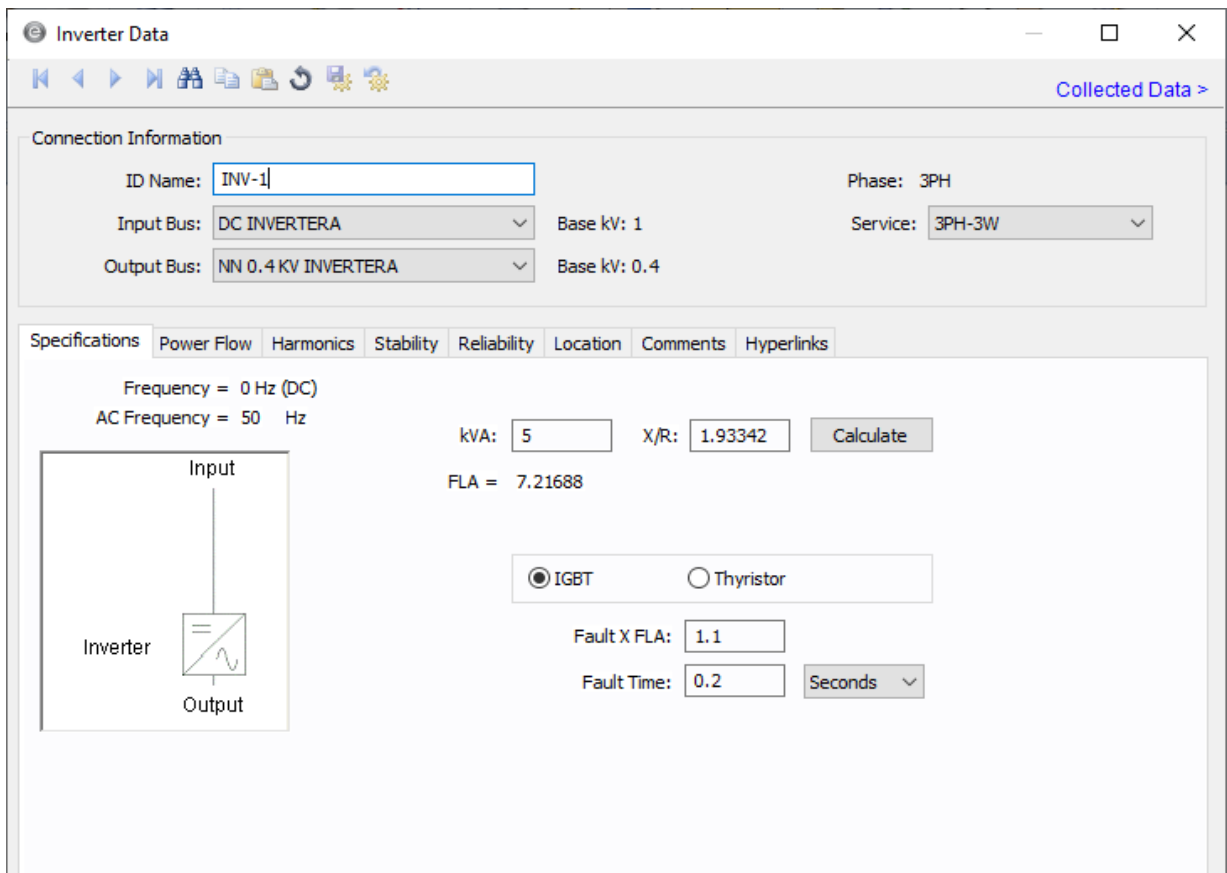


5.1. Shema jednostavnog spoja mreža-inverter-FN iz programskog alata EasyPower



**Slika 5.2.** Podaci nadomjesne mreže iz programskog alata EasyPower

Na slici je prikazano kako je nadomjesna mreža ovog sustava napona 400V (0,4 kV), što predstavlja trofazni niskonaponski priključak javne distribucijske mreže na koju je vlastiti stambeni objekt priključen. Iznos struje trofaznog kratkog spoja (zemljo-spoja) je 1 kA ( 1000 A). Omjer X/R iznosi 3 i predstavlja odnos između udjela kratkog spoja u mreži. Program taj podatak izračuna sam. SLG („Single line to ground“ – jednofazni kratki spoj) struja ove mreže postavljen je na 1,3 kA.



**Slika 5.3.** Podaci izmjenjivača iz programskog alata EasyPower

Na slici 5.3. prikazane su karakteristike invertera (izmjenjivača) kojeg koristimo pri simulaciji realne FN elektrane na vlastitom objektu u programu EasyPower. Inverter je definiran prividnom snagom 5 kVA i frekvencije 50 Hz. Prema slici vidimo kako je X/R zapravo omjer kratkog spoja invertera. Program taj podatak izračuna sam. Postoje dva načina rada invertera: IGBT i tiristorski način rada. Za IGBT način rada moguće je odabrani tri načina upravljanja. . IGBT je brzo upravljiva komponenta izmjenjivača, s malim gubicima, podjednako tijekom provođenja struje kao i tijekom uklapanja i isklapanja. Kod Tiristorskog načina rada reaktivna i stvarna snaga simulirane su preko Kimbarkovih jednadžbi.

The screenshot shows the 'Load Data' window in EasyPower. The 'Connection Information' section includes: ID Name: VLASTITA POTROŠNJA KUĆE, Phase: 3PH, To Bus: NN 0.4 KV INVERTERA, and Base kV: 0.4. The 'Specifications' section has tabs for Specifications, Harmonics, Reliability, Location, Comments, and Hyperlinks. Under 'Specifications', 'Load Class' is set to 'Non-essential' and 'Power Type' is 'NPS'. The 'Load Model' section has 'Specified' selected. The 'Load Data' section shows 'Load Unit' as 'kVA @ PF'. A table of constants is displayed:

	kVA	PF	Scaling Factor	%
Constant kVA:	4.5	0.95	100	%
Constant I:	0	1	100	%
Constant Z:	0	1	100	%

The 'Equipment Design' section includes: Demand Factor: 1, Code Factors: <None>, and Quantity: 1.

**Slika 5.4.** Podaci potrošača iz programskog alata EasyPower

Na slici 5.4. prikazana je konstantna potrošnja vlastitog stambenog objekta modelirana na 4.5 kVA pri faktoru snage od 0,95. Iz jednadžbe trokuta snage može se zaključiti sljedeće:

$$P = S * \cos \varphi \text{ [W]}$$

S – jalova snaga [VA]

P – djelatna snaga [W]

$\varphi$  – kut upravljanja [°]

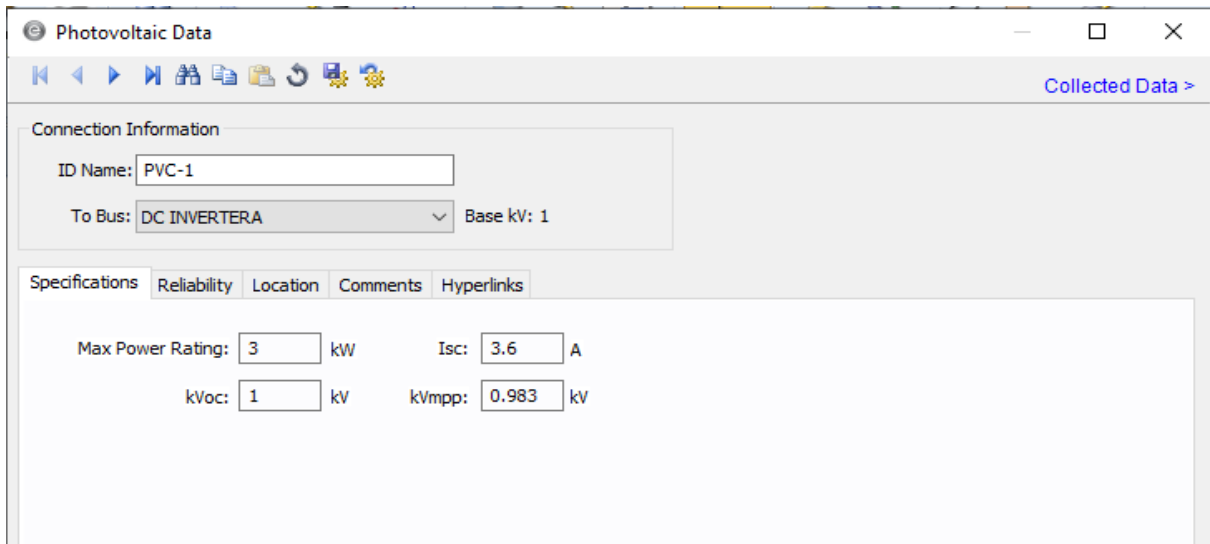
PF („power factor“ – faktor snage) – u ovom slučaju predstavlja  $\cos\varphi$

$$P = 4.5 * 0.95 \text{ [kW]}$$

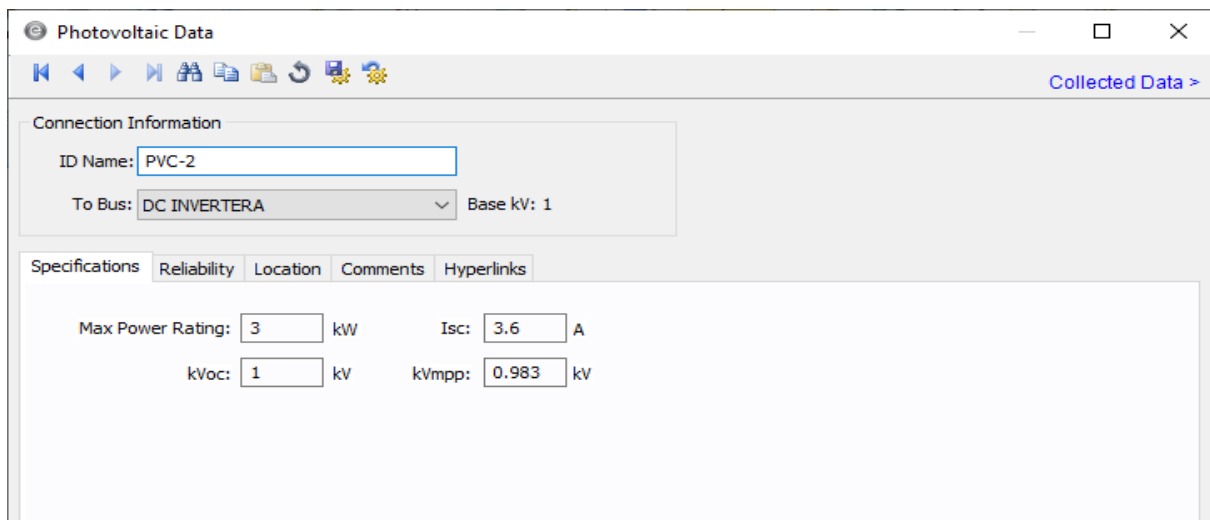
$$P = 4.275 \text{ [kW]}$$

Djelatna snaga potrošača u ovom slučaju iznosi 4.275 kW, dok jalova snaga iznosi 1.405 kVAR.



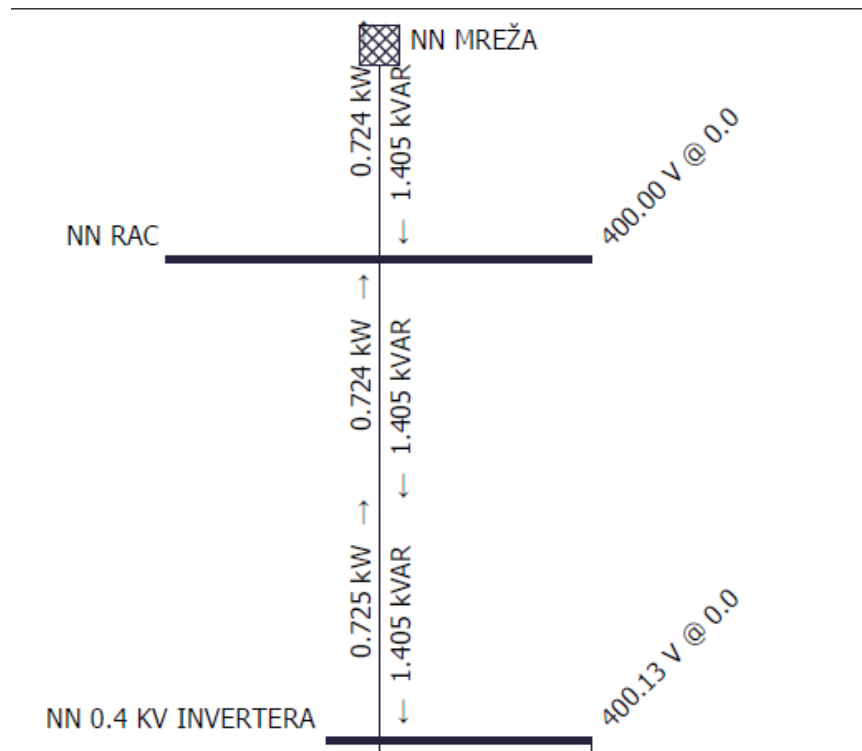


**Slika 5.5.** Podaci fotonaponskog modula 1 iz programskog alata EasyPower

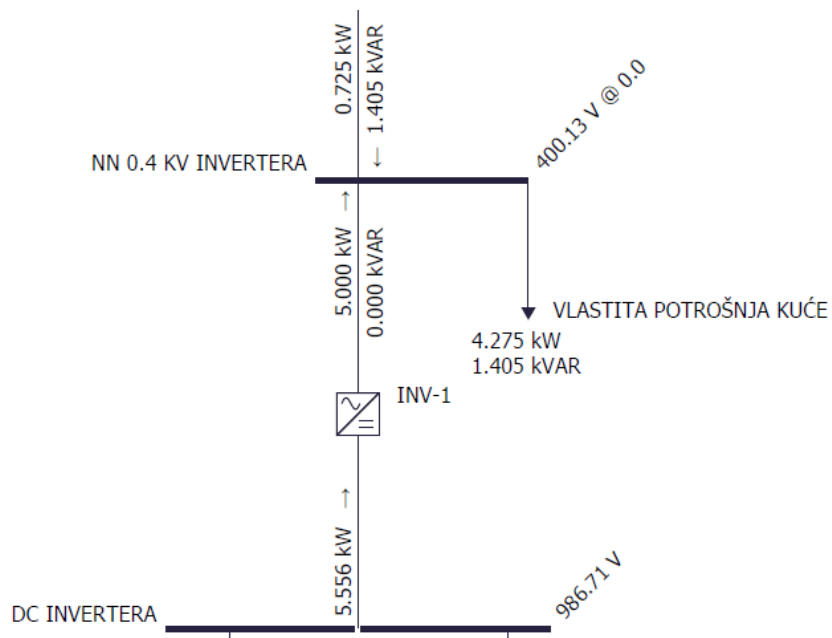


**Slika 5.6.** Podaci fotonaponskog modula 2 iz programskog alata EasyPower

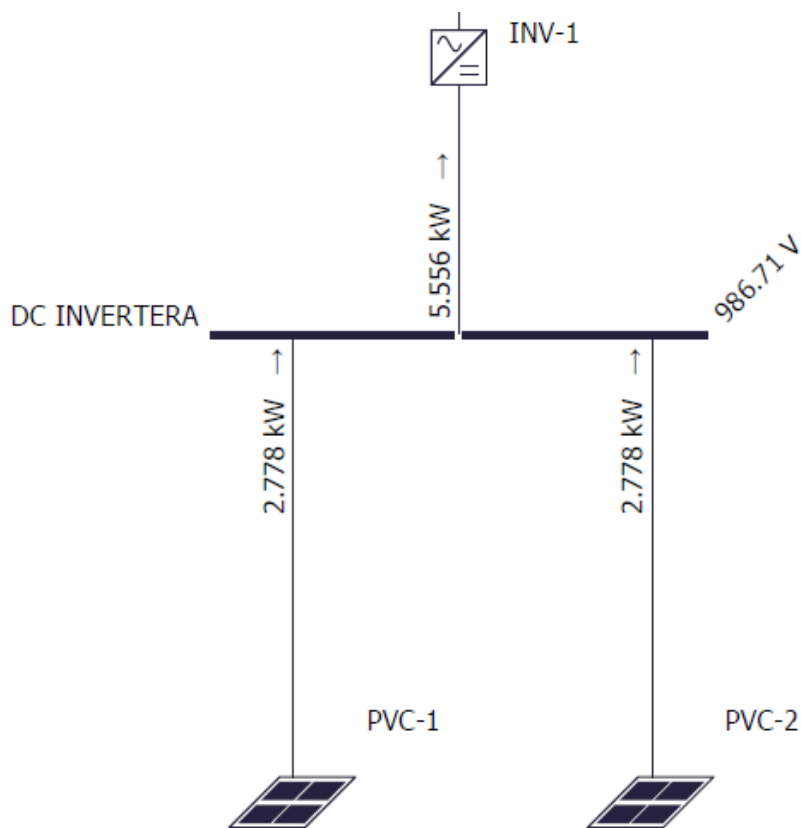
Connection Information omogućava prikaz sabirnice i imena modula na koju je povezan. Max Power Rating označava vrijednost maksimalne snage koju modul daje, Isc je oznaka za struju kratkog spoja, zatim kVoc označava napon praznog hoda i kVmpp oznaku koristimo za napon kod kojeg dolazi do stvaranja maksimalne snaga [12].



**Slika 5.7.** Tokovi snaga prvog dijela mreže iz programskog alata EasyPower



**Slika 5.8.** Tokovi snaga drugog dijela mreže iz programskog alata EasyPower



**Slika 5.9.** Tokovi snaga trećeg dijela mreže iz programskog alata EasyPower

Fotonaponski moduli PVC-1 i PVC-2 proizvode snagu u iznosu od 2.778 kW pojedinačno, a 5.556 kW zajedno. Kroz izmjenjivač INV-1, snaga opada na 5 kW zbog efikasnosti ovog izmjenjivača koja iznosi 90%. Tako mreža iz ovih fotonaponskih modula dobiva 5 kW djelatne snage. Također je vidljivo kako potrošač, tj. vlastiti stambeni objekt u ovom slučaju, pri uključenim fotonaponskim modulima iz mreže ne uzima djelatnu snagu za svoje potrebe. Budući da je vlastita potrošnja simulirana na 4.275 kW, a fotonaponski moduli proizvedu 5 kW, dio djelatne snage se predaje mreži, točnije 0.725 kW. Iz mreže se uzima samo reaktivna komponenta jalove snage potrebna za normalan rad i korištenje mreže zbog toga što fotonaponski moduli proizvode čistu djelatnu snagu u iznosu od 1.405 kVAR.

## 6. ZAKLJUČAK

U drugom poglavlju su navedeni najznačajniji parametri fotonaponskih panela koji utječu na projektiranje cijelog fotonaponskog sustava. Matematički model objašnjava oblik U-I karakteristike fotonaponskih panela na koji utječu sunčevo zračenje i temperatura iz čega se izravno vidi potreba za MPPT-om kako bi se dobila najveća moguća snaga pri promjenjivim vremenskim uvjetima (sunčevo zračenje i temperatura). Ukratko su opisane metode za pronalaženje točke maksimalne snage na U-I karakteristike panela.

U trećem poglavlju su opisani dijelovi fotonaponskog sustava za kućanstvo te njihove izvedbe zavisne o prisutnosti distribucijske mreže. Kada nema distribucijske mreže tada govorimo o samostalnim fotonaponskim sustavima koji su većinom koriste hibridne invertere jer takvi sustavi trebaju skladištenje električne energije. Kada je FN elektrana spojena na mrežu tada inverter može biti isključivo solarni, tj. potreba za skladištenjem eklektične energije nije značajna.

U četvrtom poglavlju opisani su dijelovi fotonaponskog sustava koji je postavljen na obiteljsku kuću. Tehnički podatci fotonaponskih modula i invertera dobiveni od proizvođača su prikazani tablično te je na temelju njih određen broj panela u stringu te broj stringova.

U petom poglavlju je napravljena simulacija FN sustava u Easy poweru. Simulacijski model se sastoji od panela izravno spojenih (bez gubitaka u kablovima na DC strani), DC sabirnice, invertera, AC sabirnica sa potrošačem, kabela i NN distribucijske mreže. Pretpostavlja se da je snaga invertera nazivna a potrošnja kućanstva prosječna. Promatrali su se tokovi snaga, te napon na sabirnicama. Uz zadane pretpostavke vidi se da mreža preuzima višak proizvedene snage te pri tome ne dolazi do značajnih promjena napona na sabirnicama.

## LITERATURA

- [1] Čista energija za sve Europljane, Bruxelles, 30.11.2016. godine, dostupno na: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52016DC0860\(01\)&from=BG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52016DC0860(01)&from=BG), pristupljeno 10.05.2023.
- [2] Strategija nisko ugljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu, Lipanj, 2021., dostupno na: [https://ec.europa.eu/clima/sites/its/its\\_hr\\_hr.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/its/its_hr_hr.pdf), pristupljeno 11.05.2023.
- [3] Igor Kuzle, Tomislav Baškarad: Modeliranje fotonaponske elektrane, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 13. simpozij o sustavu vođenja EES-a, Rovinj, 5.-7. studenog 2018., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/329034189\\_MODELIRANJE\\_FOTONAPONSKJE\\_ELEKTRANE](https://www.researchgate.net/publication/329034189_MODELIRANJE_FOTONAPONSKJE_ELEKTRANE), pristupljeno: 12.05.2023
- [4] Edvin Piralić, Diplomski rad, *Električne instalacije i osvjetljenja*, Bihać, 2019.
- [5] Ljubomir Majdandžić: Fotonaponski sustavi, Priručnik, Zagreb, 2010.
- [6] Solar Končar: Fotonapon – izravni priključak na Sunce, 2011., dostupno na: [www.ksip.hr](http://www.ksip.hr), pristupljeno 14.05.2023
- [7] Elektroinstalacije nove generacije, HRKI.HR, dostupno na: [https://www.hrki.hr/fotonaponski\\_sustavi.html](https://www.hrki.hr/fotonaponski_sustavi.html), pristupljeno 15.05.2023
- [8] Ivan Radmanović, Diplomski rad, *Simulacija utjecaja zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponske elektrane*, Osijek, 2017.
- [9] Denis Čamber, Diplomski rad, *Ekonomska i energetska analiza korištenja fotonapona u naseljima*, Zagreb, 2012.
- [10] Josip Hulak, Završni rad, *Izvedba DC-AC pretvarača kod Bežičnog prijenosa energije*, Osijek, 2016.
- [11] Infoton elektronika, Projektiranje, proizvodnja i instalacija solarnih fotonaponskih sustava, dostupno na: <https://www.infoton-elektronika.hr/proizvodi/dc-ac-izmjenjivaci-cisti-sinus-sp/>, pristupljeno 18.05.2023.
- [12] Srete Nikolovski, Tomislav Barić, Predrag Marić: Programski paketi – za analizu i simulaciju rada elektroenergetskog sustava, Osijek, 2010.

## SAŽETAK

Objašnjeni su tehnički podaci solarnih panela i fizikalne veličine koju utječu na proizvodnju solarnih panela. Na temelju promjenjivih vrijednosti sunčevog zračenja i temperature uočava se zašto je potrebno imati MPPT-ove kao sastavni dio izmjenjivača. Algoritmi za MPPT su navedeni s prednostima i nedostacima. Pri projektiranju foto naponskih sustava utjecaj ima i dostupnost mreže te sustava za skladištenje električne energije. Promatran je slučaj projektiranja FN elektrane na kućanstvu te su navedeni svi tehnički podaci panela i izmjenjivača bitan za projekt. Simulacijskim modelom u Easy poweru provedena je analiza tokova snaga. Na temelju provedene analize vidi se da uz najveću proizvodnju FN elektrane te prosječnu potrošnju naponi na sabirnicama ne odstupaju značajno od nazivnih.

**Ključne riječi:** FN modul, foto napon, tokovi snage

## ABSTRACT

Technical data for solar panels and physical values that impacts on output power are described. Since solar panels output power depends on solar radiation and temperature purpose of MPPT system inside inverter is shown. MPPT algorithms are presented and compared. Availability of distribution network and battery storage system have also impact on photovoltaic system. Case study is given for household with data about panels and inverter obtained from manufacturers. Simulations in Easy power are used for power flow analysis. Simulation shows that voltage profile is not significantly changed while inverter produce at rated power and household consumption is average.

**Key words:** PV modul, photovoltaic, power flow

## **ŽIVOTOPIS**

Filip Zebec rođen je 23.1.1997. u Virovitici. Završio je Osnovnu školu Antuna Gustava Matoša u Čačincima. Poslije toga upisao je Srednju školu Marka Marulića Slatina, smjer elektrotehnika. Srednju školu završava 2015. godine. 2015. godine nakon završene srednje škole zapošljava se u privatnom poduzeću kako bi primijenio stečena znanja iz škole. 2019. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija Osijek