

# Projektiranje obnovljivih izvora energije.

---

Jurić, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*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:200:178403>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni diplomski studij**

**PROJEKTIRANJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE**

**Diplomski rad**

**Davor Jurić**

**Osijek, 2021**

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

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 16.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Ime i prezime studenta:	Davor Jurić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-518, 28.09.2020.
OIB studenta:	03399540958
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
Član Povjerenstva 1:	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Član Povjerenstva 2:	Zorislav Kraus
Naslov diplomskog rada:	Projektiranje obnovljivih izvora energije.
Znanstvena grana rada:	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
Zadatak diplomskog rada:	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	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: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	16.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 30.09.2021.

Ime i prezime studenta:

Davor Jurić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-518, 28.09.2020.

Turnitin podudaranje [%]:

10

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje obnovljivih izvora energije.**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić

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:

IZJAVA

**o odobrenju za pohranu i objavu ocjenskog rada**

kojom ja Davor Jurić, OIB: 03399540958, student/ica Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na studiju Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika, kao autor/ica ocjenskog rada pod naslovom:

Projektiranje obnovljivih izvora energije,

dajem odobrenje da se, bez naknade, trajno pohrani moj ocjenski rad u javno dostupnom digitalnom repozitoriju ustanove Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek i Sveučilišta te u javnoj internetskoj bazi radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu, sukladno obvezi iz odredbe članka 83. stavka 11. *Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju* (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog ocjenskog rada. Ovom izjavom, kao autor/ica ocjenskog rada dajem odobrenje i da se moj ocjenski rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima/icama i djelatnicima/ama ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon proteka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

*\*U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem ocjenskom radu, podnosi se obrazloženi zahtjev nadležnom tijelu Ustanove.*

Osijek, 30.09.2021.

(mjesto i datum)

\_\_\_\_\_

(vlastoručni potpis studenta/ice)

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE .....	2
2.1. Klasifikacija oblika energije .....	2
2.2. Energija biomase .....	2
2.3. Energija vjetra.....	3
2.4. Geotermalna energija.....	4
2.5. Energija položaja vode .....	4
2.6. Energija sunčevog zračenja .....	4
2.6.1. Sunčevo zračenje na području Hrvatske .....	7
2.7. Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj .....	8
3. FOTONAPONSKE ČELIJE I MODULI .....	10
3.1. Razvoj fotonaponskih ćelija .....	10
3.2. Fizikalne osnove i princip rada fotonaponskih ćelija .....	10
3.3. Standardni uvjeti testiranja fotonaponskih ćelija.....	15
3.4. Materijali za izradu fotonaponskih ćelija .....	16
3.5. Fotonaponski moduli .....	17
3.5.1. Utjecaj uvjeta okoline i zasjenjivanje fotonaponskog modula .....	18
4. FOTONAPONSKI SUSTAVI .....	20
4.1. Samostalni fotonaponski sustavi .....	20
4.2. Hibridni fotonaponski sustavi.....	21
4.3. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije .....	22
4.4. Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu mrežu .....	23
4.5. Potrebna površina za proizvodnju energije iz fotonaponskih sustava.....	24
4.6. Zaštita fotonaponskih sustava.....	24
5. ZAKONSKA REGULATIVA .....	27
5.1. Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj .....	27
5.2. Postupak jednostavnog priključenja fotonaponskih elektrana na mrežu.....	29

5.2.1. Elektroenergetska suglasnost (EES) .....	29
5.2.2. Ugovor o priključenju i ponuda o priključenju.....	30
5.2.3. Potvrda glavnog projekta .....	30
5.2.4. Plan i program ispitivanja primjerenog paralelnog pogona.....	30
5.2.5. Ugovor o korištenju mreže .....	31
5.2.6. Početak korištenja mreže i potvrda o početku korištenja mreže.....	32
5.2.7. Pokusni rad i konačno izvješće .....	32
5.2.8. Dozvola za trajni pogon.....	32
5.3. Postupak priključenja fotonaponske elektrane kao jednostavne građevine.....	33
5.4. Izrada projektne dokumentacije.....	34
5.4.1. Idejni projekt.....	35
5.4.2. Glavni projekt .....	36
<b>6. IZGRADNJA INTEGRIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE INSTALIRANE SNAGE</b>	
<b>30 kW NA KROVU POSTOJEĆEG OBJEKTA.....</b>	<b>37</b>
6.1. Uvod .....	37
6.2. Tehnički opis .....	38
6.2.1. Fotonaponski modul .....	39
6.2.2. Izmjenjivač.....	40
6.3. Proračuni.....	41
6.3.1 Proračuni DC i AC krugova, dimenzioniranje kabela i zaštitne opreme.....	41
6.3.2. Struja kratkog spoja na mjestu priključka fotonaponske elektrane .....	44
6.3.3. Proračun visine novih hvataljki na postojećoj građevini .....	45
6.3.4. Proračun proizvodnosti sustava, korištenjem programa PV*SOLExpert.....	46
6.4. Program kontrole i osiguranja kvalitete.....	50
6.5. Posebni tehnički uvjeti gradnje i način zbrinjavanja građevnog otpada .....	51
6.6. Projektirani vijek fotonaponske elektrane i uvjeti održavanja .....	51
6.7. Prikaz tehničkih rješenja zaštite od požara .....	51
6.8. Troškovnik.....	52
6.9. Grafički dio.....	53
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>57</b>
<b>8. LITERATURA.....</b>	<b>58</b>
<b>9. SAŽETAK.....</b>	<b>60</b>
<b>10. ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>61</b>

# 1. UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća rastuće svjetske potrebe za energijom dovele su do povećanog interesa za korištenje električne energije iz obnovljivih izvora. U obnovljive izvore energije pripadaju energija iz biomase, vjetra, vodnih snaga i energiju Sunčevog zračenja. Energija Sunčevog zračenja potječe od nuklearne reakcije u unutrašnjosti Sunca i ima golemi potencijal za iskorištenje u svrhu proizvodnje električne i toplinske energije.

Pretvorba energije Sunčevog zračenja u električnu energiju se odvija pomoću fotonaponskih ćelija. Fotonaponski sustavi omogućavaju da se proizvedena električna energija izravno koristi za napajanje trošila i u sustavima koji nisu priključeni na javnu mrežu. Kod sustava koji su priključeni na javnu mrežu se električna energija izravno koristi za napajanje trošila, dok se višak predaje u mrežu, a u slučaju nedovoljne proizvodnje iz fotonaponskih modula se električna energija preuzima iz elektroenergetske mreže.

Prednosti fotonaponskih sustava su neograničeno korištenje energije Sunčevog zračenja, nepostojanje emisija štetnih plinova prilikom pretvorbe energije, napajanje korisnika na mjestima gdje nema mogućnosti izgradnje elektroenergetske mreže, pouzdanost, mali troškovi održavanja jer vijek trajanja fotonaponskih modula i opreme iznosi više od 25 godina.

Glavni nedostaci fotonaponskog sustava su visoka cijena sustava i instalacija, promjenjiva proizvodnja električne energije koja ovisi o dnevnoj insolaciji i utjecaju zasjenjenja koje umanjuje proizvodnju električne energije i ukupnu korisnost fotonaponskog modula, te potreba za velikim građevinskim površinama za izgradnju veće elektrane.

U Republici Hrvatskoj je donesena zakonska regulativa kojom je omogućeno da svi zainteresirani za ugradnju fotonaponskog sustava mogu dobiti status povlaštenog proizvođača električne energije i za isporučenu električnu energiju u javnu elektroenergetsku mrežu primiti novčanu naknadu određenu propisima.

U ovom diplomskom radu je na stvarnom primjeru prikazano kako se uz primjenu zakonskih propisa, normi i pravila struke oblikuje projekt. Obraden je projekt integrirane fotonaponske elektrane instalirane snage 30 kW. Projekt je izrađen u tvrtki Presa d.o.o. u Osijeku.



## **2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**

### **2.1. Klasifikacija oblika energije**

U svakodnevnom životu energija se pojavljuje u različitim oblicima, a u osnovi se kako je navedeno u [3] dijeli na „primarne, transformirane i korisne oblike energije. Primarni oblici energije se nalaze u prirodi, a mogu se svrstati u konvencionalne i nekonvencionalne oblike energije. U konvencionalne oblike energije se ubrajaju ugljen, sirova nafta, prirodni plin i nuklearna goriva.“

Nekonvencionalni oblici energije se prema [2] definiraju kao „obnovljivi nefosilni izvori energije (aerothermalna, energija iz biomase, energija mora, energija vjetra, hidropotencijala, geothermalna i hidrothermalna energija, plina iz deponija otpada, plina iz postrojenja za obradu otpadnih voda i bioplina, sunčeva energija).“

Razlike koje se javljaju između konvencionalnih i nekonvencionalnih oblika energije najviše se odnose kako se navodi u [3] na razlike „u konstantnosti, mogućnosti uskladištenja i transporta, a i u pogledu investicija za izgradnju postrojenja i potrebnih troškova za njihov pogon i održavanje.“

Svojstva obnovljivih izvora energije uspoređuju se sa svojstvima neobnovljivih izvora energije te u odnosu na njih imaju poželjna, ali i nepoželjna svojstva.

Pretežno ispunjena poželjna svojstva obnovljivih izvora energije su kako je navedeno u [1] „obnovljivost, potencijal, vlastita potrošnja, energija za pridobivanje, utjecaj na okoliš, moguća diverzifikacija i CO<sub>2</sub> neutralnost, a pretežno neispunjena poželjna svojstva obnovljivih izvora energije su površinska distribucija, površinska gustoća, izvorno uskladištenje, prirodna oscilacija, nužnost rezerve, zauzimanje prostora, stupanj djelovanja i mogućnost kogeneracije.“

### **2.2. Energija biomase**

Kako je navedeno u [4] biomasa je „biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka biološkog podrijetla iz poljoprivrede (uključujući tvari biljnoga i životinjskoga podrijetla), šumarstva i srodnih proizvodnih djelatnosti, uključujući ribarstvo i akvakulturu, kao i biorazgradivi dio industrijskoga i komunalnoga otpada.“

Drvena biomasa uključuje šumsku biomasu (ogrjevno drvo, ostaci od gospodarenja šumama) i biomasu iz drvne industrije (ostaci dobiveni piljenjem i brušenjem, briketi i peleti), a u nedrvnu biomasu ubrajamo ostatke od poljoprivrede (slama, stabljike suncokreta, kukuruza i drugo).

Bioplin je kako se navodi u [5] „plinovito gorivo dobiveno anaerobnom razgradnjom organskih tvari, a sirovine za proizvodnju bioplina su otpad iz stočarske proizvodnje, uzgoja životinja i poljoprivredne proizvodnje.“

Bioetanol je gorivo koje se proizvodi fermentacijom šećernih sirovina (šećerna trska, repa) i škrobnih sirovina (kukuruz) i može se koristiti kao čisto pogonsko gorivo ili u smjesi s benzinom.

Biodizel je metilni ester masnih kiselina koji se proizvodi od biljnih ulja ili životinjske masti sa svojstvima približno jednakima mineralnom dizel gorivu, a može se koristiti u smjesi s dizelskim gorivom ili kao njegova zamjena, [1].

Korištenje energije iz termičke obrade komunalnog otpada za dobivanje električne energije je učinkovit način uporabe otpada jer se tako smanjuje njegov volumen i količina i ukoliko se proces obrade otpada provodi ispravno ima minimalan utjecaj na prirodno okruženje.

Biomasa se kod proizvodnje električne energije koristi gotovo uvijek u kombinaciji s proizvodnjom toplinske energije zbog većeg stupnja djelovanja postrojenja. Tehnologija kojom se proizvodi električna energija u kombinaciji s toplinskom energijom naziva se kogeneracija, a stupanj kogeneracijskog postrojenja na biomasu iznosi oko 80 posto.

### **2.3. Energija vjetra**

Vjetar je kako se navodi u [7] „pretežno vodoravno strujanje zraka, određeno smjerom i brzinom. Vjetar je posljedica više čimbenika: razlike tlaka između dvaju područja, Zemljine rotacije i Coriolisove sile.“

Postrojenja u kojima se proizvodi električna energije dobivena iz energije vjetra nazivaju se vjetroelektrane. U vjetroelektranama se kinetička energija vjetra pretvara u mehaničku energiju preko vjetroturbina, a mehanička energija se pretvara u električnu energiju preko generatora koji mogu biti sinkroni i asinkroni.

Vjetroelektrane prema položaju osi vrtnje možemo podijeliti na dva osnovna tipa: s horizontalnom (vodoravnom) osi vrtnje i vertikalnom (okomitom) osi vrtnje.

Ostala podjela vjetroelektrana je prema:

- mjestu postavljanja (kopnene i priobalne)
- snazi (male, srednje, velike) i
- vrsti priključenja na elektroenergetsku mrežu (sa stalnom i promjenjivom brzinom vrtnje)

## 2.4. Geotermalna energija

Geotermalna energija je kako se navodi u [5] „energija sadržana u Zemlji, koja se putem unutarnje energije vode pridobiva na površinu i koristi u energetske svrhe.“

Geotermalni izvori se dijele na: nisko-temperaturne izvore (do 100°C) za izravno korištenje, srednje-temperaturne izvore (od 100°C do 200°C) za izravno korištenje i proizvodnju električne energije i visoko-temperaturne izvore (preko 200°C) za izravnu proizvodnju električne energije.

Prilikom pretvorbe toplinske energije u električnu najčešći tehnološki procesi koji se koriste su: otvoreni, Rankinov, flash, binarni i Stirlingov proces.

Izravno korištenje toplinske energije bez pretvorbe u druge oblike energije je najjednostavniji način iskorištenja geotermalne energije i može se koristiti samostalno ili kombinirano za različitu primjenu u industriji, turizmu i grijanju.

## 2.5. Energija položaja vode

Potencijalna energija vode je zahvaljujući ponajviše Sunčevoj energiji obnovljiv izvor energije zbog hidrološkog ciklusa koji se neprestano održava i predstavlja ekonomski najisplativiji i najznačajniji obnovljivi izvor energije.

Hidroelektrane su kako je opisano u [3] „postrojenja u kojima se potencijalna energija vode pomoću vodnih turbina i električnih generatora pretvara u električnu energiju.“

Hidroelektrane se u osnovi dijele prema:

- visini pada (niskotlačne, srednjetačne i visokotlačne),
- načinu korištenja vode (protočne i akumulacijske)
- volumenu akumulacijskog bazena (s dnevnom, sezonskom i godišnjom akumulacijom) i
- smještaju strojarne (pribranske i derivacijske).

Hidroelektrane su siguran izvor električne energije i značajne su zbog velike mogućnosti prilagodbe potrebama elektroenergetskog sustava (brza promjena radne točke) i koriste se za pokrivanje iznenadnog porasta potrošnje.

Hidroelektrane velike snage spadaju u konvencionalne izvore energije, a male hidroelektrane spadaju u nekonvencionalne izvore energije, [11].

## 2.6. Energija sunčevog zračenja

Zvijezda Sunce je izvor elektromagnetskog zračenja koje dolazi na Zemljinu površinu i neograničen je i obnovljiv izvor energije od kojeg izravno ili neizravno potječe najveći dio

drugih obnovljivih izvora energije. Sunčeva energija potječe od nuklearne reakcije fuzije kojom se vodik pretvara u helij uz oslobađanje velike količine energije.

Kako se navodi u [13] „snaga Sunčevog zračenja iznosi oko  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW od čega do površine Zemlje dolazi  $1,75 \cdot 10^{14}$  kW ili  $1,53 \cdot 10^{18}$  kWh/god.“

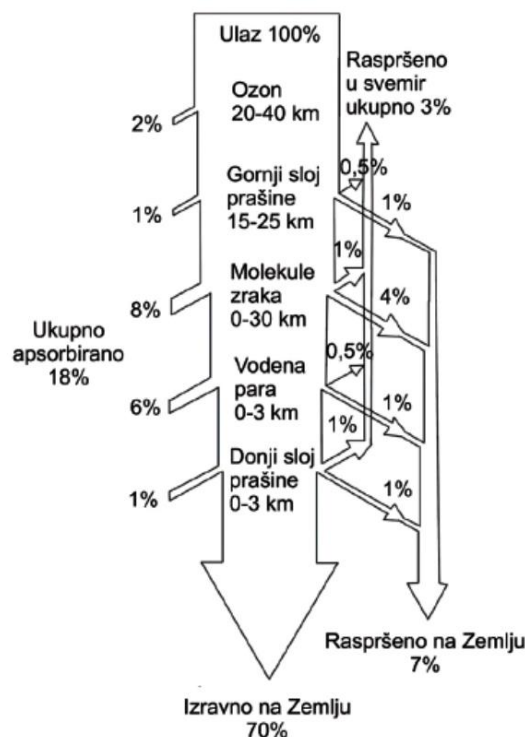
Osnovni pojmovi vezani uz Sunčevo zračenje su kako je navedeno u [12]:

- „Ozračenje (iradijancija) je gustoća energetskega toka Sunčevog zračenja i jednaka je omjeru energetskega toka Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer tog zračenja. Jedinica za ozračenja je vat po četvornom metru ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).
- Ozračenost (iradijacija) je gustoća dozračene energije koja u promatranom vremenu upadne na jediničnu površinu plohe. Jedinica za ozračenost je vat sat po četvornom metru ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ).“

Prilikom prolaza kroz Zemljinu atmosferu (Slika 2.1.) Sunčevo zračenje slabi zbog atmosferskih utjecaja i međudjelovanja s molekulama plinova, česticama vodene pare i prašine i do površine tla dolazi kao izravno (direktno) Sunčevo zračenje, raspršeno (difuzno) i odbijeno (reflektirano).

Sunčevo zračenje na gornjoj granici Zemljine atmosfere naziva se ekstraterestričko zračenje i mijenja se tijekom godine zbog promjene udaljenosti Zemlje od Sunca. Kako se navodi u [12] najmanja vrijednost ekstraterestričkog zračenja iznosi  $1321 \text{ W}/\text{m}^2$ , a najveća  $1412 \text{ W}/\text{m}^2$ .“

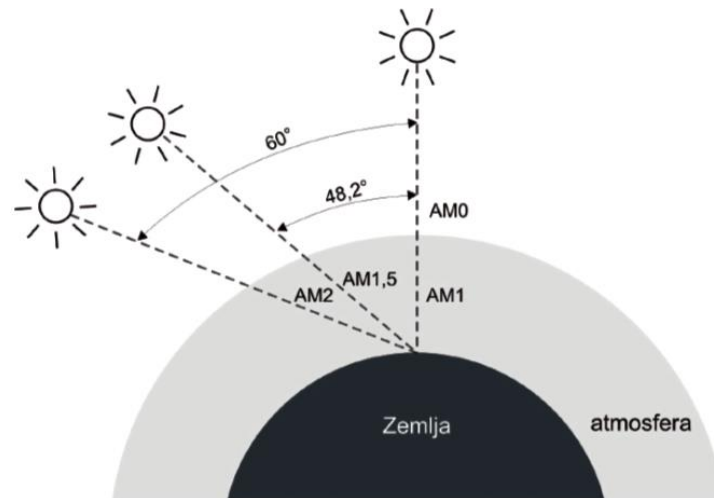
Srednja vrijednost Sunčevog zračenja iznosi oko  $1367 \text{ W}/\text{m}^2$ , a ukupna snaga upadnog Sunčevog zračenja ovisi o duljini puta Sunčevih zraka kroz atmosferu.



Slika 2.1. Utjecaj atmosfere na Sunčevo zračenje [12]

Optička masa zraka  $m$  (Slika 2.2.) je kako se navodi u [12] „omjer stvarne duljine puta Sunčevih zraka na putu kroz atmosferu i najkraćeg mogućeg puta.“

Ekstraterestričko zračenje označavamo s AM0 (engl. *air mass*), a kao normirana vrijednost prizemnog Sunčevog zračenja definirana je vrijednost spektra AM1,5 i označava zračenje koje dolazi do površine mora s upadnim kutom od  $\zeta_S=48,19^\circ$ .



Slika 2.2. Optička masa zraka [12]

Najvažniji podatak kod izračuna energije Sunčevog zračenja na nagnutu plohu je upadni kut  $\theta$ , koji se definira kao kut između ukupnog izravnog upadnog zračenja i izravnog zračenja na nagnutu plohu. Orijentacija plohe određena je azimutom i nagibom plohe  $\beta$  (Slika 2.3.) Zbog toga se u svrhu iskorištavanja maksimalne ozračenosti fotonaponski moduli postavljaju na razne konstrukcije orijentirane najčešće prema jugu pod određenim kutom. Ovisnost orijentacije plohe o azimutu i nagibu plohe prikazana je izrazima (2-1) i (2-2):

$$\cos \zeta_S = \frac{B}{B_n} \quad (2-1)$$

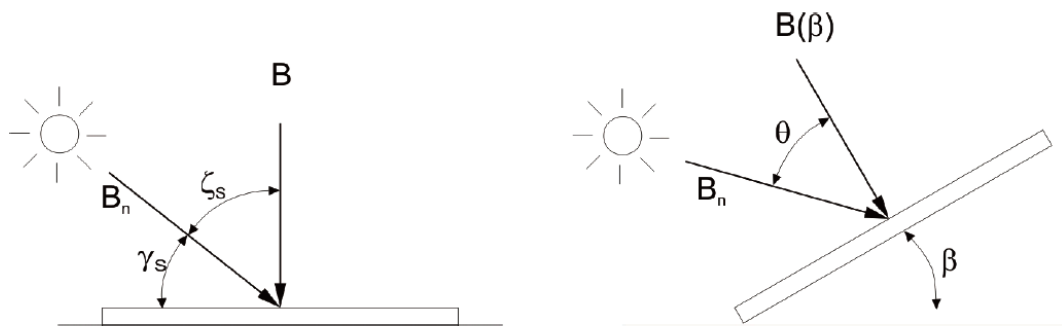
$$\cos \theta = \frac{B(\beta)}{B_n} \quad (2-2)$$

gdje je:

$B$  – izravno zračenje za vodoravnu plohu,

$B_n$  – ukupno upadno izravno zračenje,

$B(\beta)$  – izravno zračenje na plohu pod kutom,



Slika 2.3. Izravno zračenje na vodoravnu i nagnutu plohu [12]

Kako je navedeno u [19] „ukupno oko 51 posto upadnog ekstraterestičkog zračenja dolazi do površine Zemlje, 26 posto se rasprši ili reflektira na oblacima i atmosferskim česticama, 19 posto zračenja se apsorbira, a 3 do 4 posto se reflektira od Zemlje natrag u svemir.“

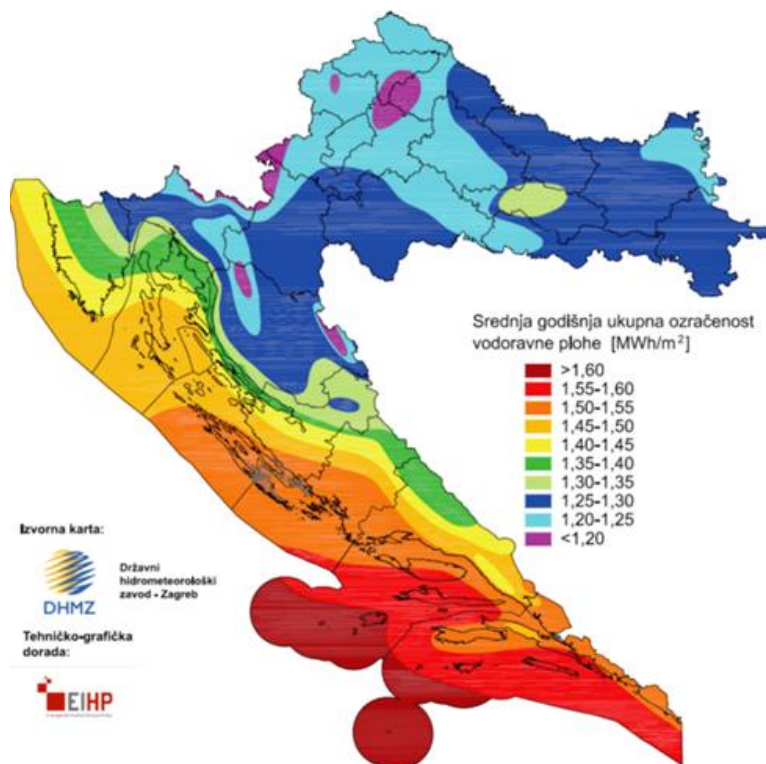
Energija koju su površina Zemlje ili atmosfera apsorbirale transformira se najčešće u toplinsku energiju. Toplinska energija uzrokuje zagrijavanje zemlje, stvaranje vjetrova, morskih struja, isparavanje vodenih površina, nastanak oborina i zbog toga su obnovljivi izvori izravni ili neizravni oblici pretvorbe energije Sunčeva zračenja.

### 2.6.1. Sunčevo zračenje na području Hrvatske

Zbog povoljnog geografskog položaja Republika Hrvatska ima velik potencijal za primjenu Sunčeve energije. Kako se navodi u [8] „potencijal iskorištenja fotonaponske elektrane na području Hrvatske se kreće od 970 do 1380 kWh po metru kvadratnom površine fotonaponskog sustava postavljenog pod optimalnim godišnjim kutom.“

Kako je navedeno u [9] „ozračenost teritorija Republike Hrvatske se kreće 1,2 do 1,6 MWh/m<sup>2</sup>.“ Najveći potencijal za iskorištavanje Sunčeve energije ima primorski dio Hrvatske (Slika 2.4), a posebno Dalmacija s otocima gdje se ozračenost kreće do 1,50 MWh po četvornom metru, dok u kontinentalnom dijelu Hrvatske ozračenost iznosi do 1,30 MWh po četvornom metru.

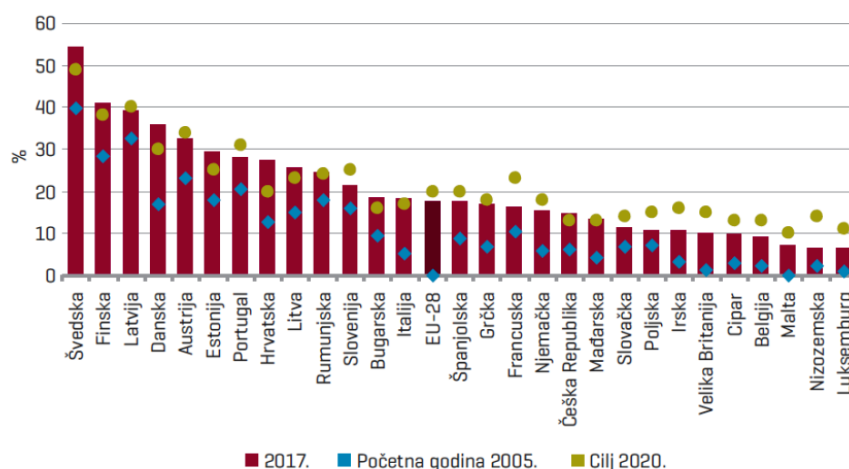
Republika Hrvatska se unatoč dobrim uvjetima za korištenje Sunčeve energije trenutno nalazi na samom dnu Europe po instaliranim fotonaponskim sustavima i stoga se može zaključiti da u Hrvatskoj nije dovoljno iskorištena energija Sunčevog zračenja za proizvodnju električne i toplinske energije, [9].



Slika 2.4. Srednja godišnja ozračenost [12]

## 2.7. Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj

Republika Hrvatska je prihvaćanjem Direktive 2009/28/EZ preuzela obvezu korištenja energije iz obnovljivih izvora i kao cilj je zadano 20 posto udjela energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije do 2020. godine (Slika 2.5.). Kao polazna točka uzima se 12,6 posto udjela u 2005. godini. Direktivom (eu) 2018/2001 definirani su novi uvjeti za razdoblje do 2030. godine, a glavni cilj je povećanje udjela energije iz obnovljivih izvora na 32 posto za sve članice Europske Unije, [14].

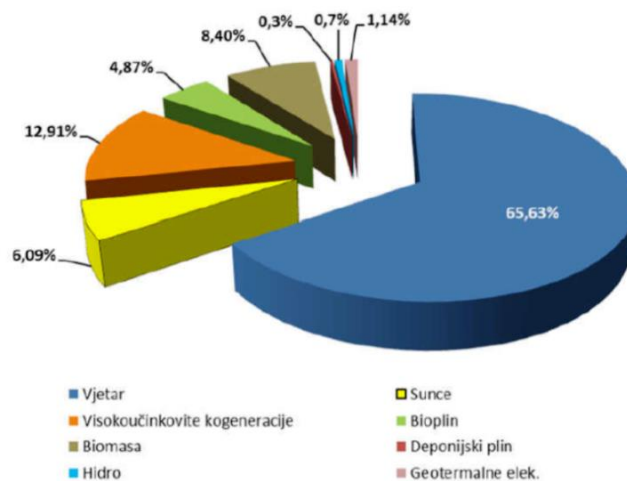


Slika 2.5. Udio energije iz obnovljivih izvora po zemljama članicama Europske unije za 2017 godinu [14]

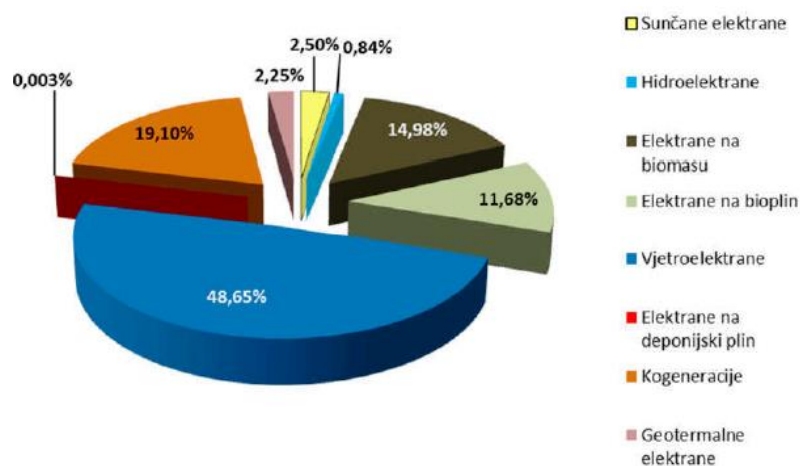
Ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije je u 2019. godini kako se navodi u [15] „porasla je za 16,1 posto u odnosu na 2018. godinu. Svi instalirani proizvodni kapaciteti obnovljivih izvora energije i kogeneracije u 2019. godini ukupne instalirane snage 877,38 MW proizveli su ukupno 2.882.229.100 kWh.“

Od postrojenja ukupno gledajući najviše ima fotonaponskih elektrana i to 1230, zatim slijede elektrane na bioplin kojih ima 39, 34 elektrane na biomasu, 22 vjetroelektrane, 14 malih hidroelektrana, 6 kogeneracijskih postrojenja, te jedna elektrana na bioplin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i geotermalna elektrana, [15].

Kako je prikazano na slikama 2.6. i 2.7. najveći udio u ukupnoj instaliranoj snazi zadržale su vjetroelektrane od 65,6 posto, dok udio u proizvodnji električne energije iz vjetroelektrana iznosi 48,65 posto. Udio solarnih sustava u ukupnoj instaliranoj snazi iznosi 6,09 posto, a u proizvodnji električne energije 2,50 posto. Povećao se također udio proizvodnje iz biomase i geotermalnih elektrana. Visokoučinkovita kogeneracija ima udio od 19,10 posto u ukupnoj proizvodnji električne energije.



Slika 2.6. Udio tipova postrojenja u ukupnoj instaliranoj snazi (MW) [15]



Slika 2.7. Udjeli proizvodnje električne energije po tehnologijama u 2019. godini [15]



## **3. FOTONAPONSKE ĆELIJE I MODULI**

### **3.1. Razvoj fotonaponskih ćelija**

Francuski fizičar Alexandre Edmond Becquerel 1839. godine uočava fotonaponski efekt na temelju kojeg počiva princip rada fotonaponskih ćelija, a 1883. godine je Charles Fritts konstruirao prvu fotonaponsku ćeliju od poluvodičkog elementa selena s efikasnošću prilikom pretvorbe energije manjom od 1 posto.

Russell Ohl je 1941. godine konstruirao prvu silicijevu fotonaponsku ćeliju, a 1954. godine su tri američka znanstvenika Daryl Chapin, Calvin Fuller i Gerald Pearson konstruirala silicijevu fotonaponsku ćeliju snage  $60 \text{ W/m}^2$  s učinkovitošću pretvorbe od 6 posto i od tog trenutka započinje veći razvoj fotonaponske tehnologije

U šezdesetim godinama 20. stoljeća fotonaponske ćelije su se zbog vrlo visoke cijene izrade koristile uglavnom u tehnologiji svemirskog istraživanja za napajanje satelita, [16].

U sedamdesetim i osamdesetim godinama 20. stoljeća dolazi do napretka u proizvodnji, karakteristikama i kvaliteti fotonaponskih ćelija što dovodi do smanjenja troškova proizvodnje i otvara brojne mogućnosti za njihovu praktičnu primjenu. Nakon završetka krize iz sedamdesetih godina najveća praktična primjena fotonaponskih ćelija je bila na lokacijama bez električne mreže, gdje su se pokazale kao izvrsna zamjena za opskrbu kućanstava električnom energijom. Danas se ulažu veliki napor u razvoj fotonaponskih ćelija radi veće mogućnosti uporabe u kućanstvima čime se osigurava veća energetska neovisnost o neobnovljivim izvorima energije. Najveću primjenu fotonaponske ćelije danas imaju kod napajanja raznih uređaja potrošačke elektronike, telekomunikacijske opreme, svjetiljki i ostalih uređaja, [17].

### **3.2. Fizikalne osnove i princip rada fotonaponskih ćelija**

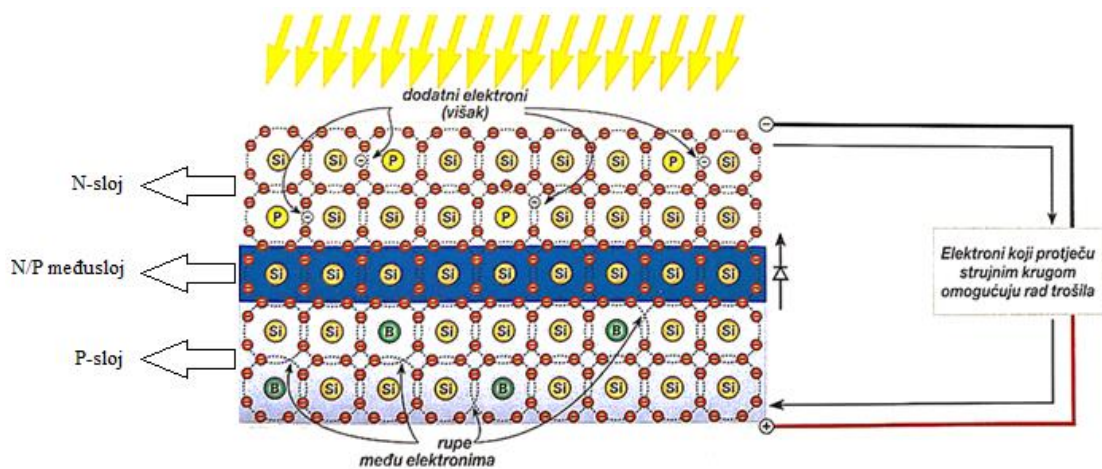
Kako se navodi u [13], „kristali su čvrsta tijela sastavljena od atoma, iona ili molekula u kojima se ponavlja njihov trodimenzionalni raspored s pravilnom međusobnom udaljenošću tvoreći tzv. kristalnu rešetku.“

Materijali za izradu fotonaponskih ćelija pojavljuju se u obliku monokristala, polikristala (multikristala) ili kao amorfne tvari. Kod monokristalnih ćelija se aktivni obujam od samo jednog kristala, dok se kod polikristalnih ili multikristalnih sastoji od više zajedničkih kristala.

Amorfne tvari nemaju pravilan raspored atoma kao kristali. Nastaju hlađenjem rastaljenog materijala tako da se molekule ne stignu organizirati u stabilnija kristalna stanja.

Materijale za vođenje električne struje dijelimo na vodiče, poluvodiče i izolatore, a s obzirom da su fotonaponske ćelije sastavljene od kristala koji su većinom poluvodiči, važno je znati njihova svojstva za razumijevanje rada fotonaponske ćelije. Poluvodiče dijelimo na čiste poluvodiče i poluvodiče s nečistoćama (primjesama).

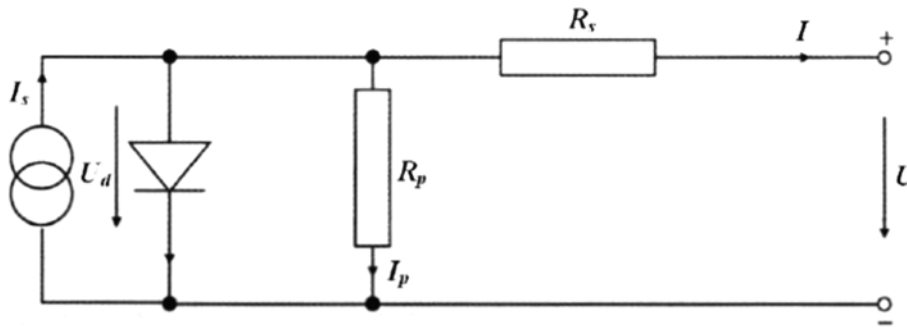
Najjednostavniji opis rada fotonaponske ćelije je da ćeliju promatramo kao poluvodičku diodu odnosno PN-spoj (Slika 3.1.). Kada Sunčeva svjetlost osvjetli fotonaponsku ćeliju, fotonaponskim efektom se na njezinim krajevima pojavljuje razlika potencijala i kako se navodi u [1] „fotonaponski efekt kojim se može proizvoditi električna energije nastaje kada foton dovoljne energije pogodi elektron u neutralnom PN poluvodičkom spoju.“



Slika 3.1. Princip rada fotonaponske ćelije [18]

Neutralno područje sastoji se od čistog silicija koji kao poluvodič propušta elektrone iz p-tipa prema n-tipu, ali ne i u suprotnom smjeru. Prelaskom elektrona i šupljina na različite strane poluvodiča stvara se razlika potencijala tj. napon i fotonaponska ćelija se ponaša kao poluvodička dioda (ispravljački element) i samo u jednom smjeru propušta struju i to kad je n-područje negativno, a p-pozitivno.

Princip rada realnih fotonaponskih ćelija najjednostavnije možemo opisati i pomoću nadomjesnog strujnog kruga (Slika 3.2.) kod kojeg je fotonaponska ćelija u idealnom slučaju električni krug sa strujnim izvorom i paralelno spojenom diodom, dok se u stvarnom slučaju u nadomjesni strujni krug dodaje jedan otpornik u seriju, a drugi otpornik u paralelu sa strujnim izvorom i diodom.



Slika 3.2. Nadomjesna shema fotonaponske ćelije [15]

Za ispravan odabir fotonaponskih modula potrebno je poznavati osnovne parametre fotonaponskih ćelija od kojih je sastavljen, a to su kako je navedeno u [19]:

- „struja kratkog spoja  $I_{KS}$
- napon otvorenog kruga (praznog hoda)  $U_{ok}$  ( $U_{PH}$ )
- točka maksimalne snage  $P_m$  ( $P_{MPP}$ )
- karakteristični otpor fotonaponske ćelije  $R_k$
- stupanj korisnog djelovanja fotonaponske ćelije  $\eta$
- ovisnost stupnja korisnog djelovanja
- ovisnost stupnja korisnog djelovanja ćelije o temperaturi.“

Struja  $I_d$  koja protječe kroz fotonaponsku ćeliju kada nije osvjetljena je dana jednadžbom:

$$I_d = I_0 \cdot \left( e^{\frac{QU}{mKT}} - 1 \right) \quad (3-1)$$

gdje je:

$I_d$  – struja diode,

$I_0$  – struja zasićenja,

$Q$  – naboj =  $1.6 \cdot 10^{-19}$  [C],

$m$  – parametar fotonaponske ćelije ( $m=1$ ),

$k$  – Boltzmannova konstanta =  $1.38 \cdot 10^{-23}$  [J/K]

$T$  – temperatura [K]

$U$  – vanjski napon [V]

Kada je fotonaponska ćelija osvjetljena struja  $I$  koja protječe kroz trošilo dana je jednadžbom:

$$I = I_s - I_d = I_s - I_0 \left( e^{\frac{QU}{kT}} - 1 \right) \quad (3-2)$$

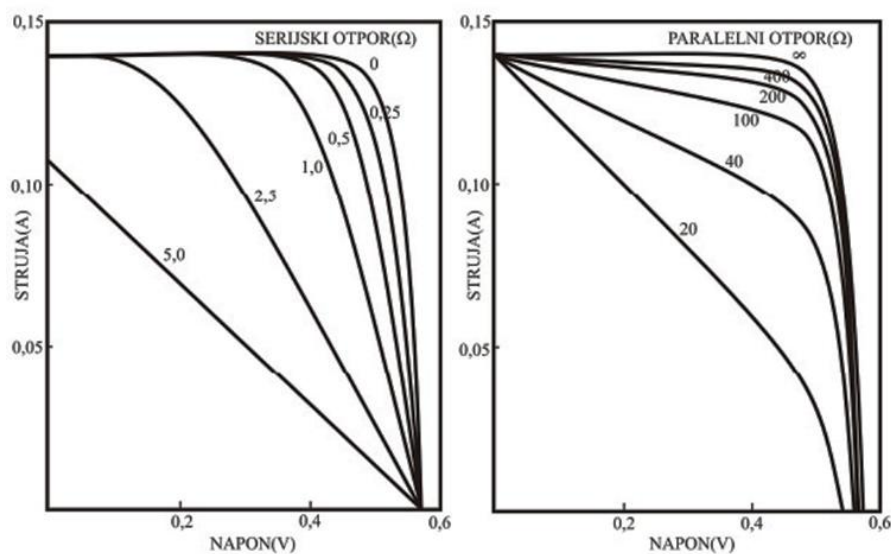
gdje je:

$I_s$  – struja nastala u fotonaponskoj ćeliji zbog fotonaponskog efekta

Serijski otpor  $R_s$  je unutarnji otpor toku struje i njegova vrijednost najviše ovisi o otporu materijala, spojeva i pojavi nečistoće na modulu i zbog toga je poželjno da je iznos serijskog otpora što manji. S promjenom temperature i razine osvjetljenosti mijenja se cijela U-I karakteristika fotonaponske ćelije, a s njom i iznos serijskog otpora. U idealnom fotonaponskom članku  $R_s=0$  (nema serijskog gubitka). Kvalitetne fotonaponske ćelije imaju manji serijski otpor.

Paralelni otpor  $R_p$  može se zanemariti jer je uglavnom dovoljno velik, a ovisi o karakteristikama fotonaponske ćelije. U idealnoj fotonaponskoj ćeliji otpor paralelni otpor je beskonačan.

Serijski i paralelni otpor utječu na ukupnu snagu, učinkovitost fotonaponske ćelije i na oblik U-I karakteristike i prikazani su na slici 3.3.



Slika 3.3. Utjecaj serijskog i paralelnog otpora na U-I karakteristiku [21]

Napon otvorenog kruga  $U_{ok}$  fotonaponske ćelije kod standardnih silicijskih ćelija iznosi oko 600 mV, a najveća vrijednost napona je prilikom otvorenog kruga pod punom osvjetljenošću ćelije i pri vrlo niskim temperaturama. Napon otvorenog kruga  $U_{ok}$  računa se prema izrazu:

$$U_{ok} = \frac{kT}{Q} \cdot \ln \left( \frac{I_s}{I_d} + 1 \right) \quad [V] \quad (3-3)$$

gdje je:

$kT/Q$  – apsolutna temperatura izražena u voltima ( $300 \text{ K} = 0.026 \text{ V}$ )

Struja kratkog spoja  $I_{ks}$  računa se prema izrazu:

$$I_{KS} = I_s - I_d \left[ e^{\frac{QU_{ok}}{kT}} - 1 \right] - \frac{U_{ok}}{R_p} \quad [A] \quad (3-4)$$

Karakteristični otpor  $R_k$  fotonaponske ćelije prikazan je izrazom:

$$R_k = \frac{U_{ok}}{I_{KS}} \quad [\Omega] \quad (3-5)$$

Snaga fotonaponske ćelije jednaka je:

$$P = U \cdot I = U \cdot \left[ I_s - I_d e^{\frac{qU}{kT}} + I_d \right] \quad [W] \quad (3-6)$$

Idealna fotonaponska ćelija daje veću snagu u odnosu na realnu fotonaponsku ćeliju. Maksimalna snaga  $P_m$  ( $P_{MPP}$ ) koju fotonaponska ćelija može dati jednaka je:

$$P_m = I_m \cdot U_m = I_{KS} \cdot U_{ok} \cdot FF \quad [W_p] \quad (3-7)$$

Faktor punjenja prikazujemo kao omjer realne i idealne snage fotonaponske ćelije i prikazan je sljedećim izrazom:

$$FF = \frac{P_{MPP}}{P_{idealno}} = \frac{I_m \cdot U_m}{I_{KS} \cdot U_{ok}} \quad (3-8)$$

Djelotvornost fotonaponske ćelije direktno ovisi o faktoru punjenja jer na njega utječu serijski i paralelni otpor. Serijski otpor treba biti što manji, idealno nula, a paralelni što veći. Kod idealnih fotonaponskih ćelija faktor punjenja jednak je jedan, a kod realnih kristalnih ćelija kreće se u rasponu  $0.7 < FF < 0.9$ .

U realnim uvjetima učinkovitost fotonaponske ćelije  $\eta$  prikazana je izrazom:

$$\eta = \frac{P_m}{P_u} = \frac{P_m}{E \cdot A} = \frac{I_m \cdot U_m}{E \cdot A} \quad (3-9)$$

gdje je:

$E$  – ozračenje površine,

$A$  – površina fotonaponske ćelije.

Uvrštavanjem izraza za maksimalnu snagu (3-7) u izraz (3-9) dobiva se:

$$\eta = FF \cdot \frac{U_{ok} \cdot I_{KS}}{E \cdot A} \quad (3-10)$$

Što je faktor punjenja bliži jedan time je veća i učinkovitost fotonaponske ćelije. Vrijednost faktora punjenja kod silicijskih ćelija približno iznosi:  $FF = 0.82$ , a vrijednost faktora  $\eta = 14-17$  posto za monokristalne,  $13-15$  posto za polikristalne, te  $8-10$  posto za amorfne fotonaponske ćelije, [19].

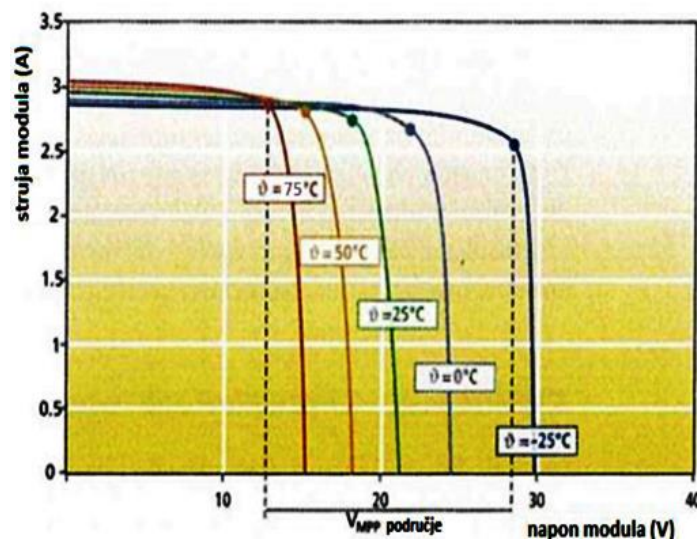
### 3.3. Standardni uvjeti testiranja fotonaponskih ćelija

Uspoređivanje karakteristika fotonaponskih ćelija i modula različitih proizvođača i tipova potrebno je promatrati pod istim standardnim uvjetima testiranja STC (engl. *standard test conditions*), a to su kako je navedeno u [19]:

- „vertikalna ozračenost  $E=1000 \text{ W/m}^2$ ,
- temperatura ćelije  $T=25^\circ\text{C} \pm 2 \%$  i
- optička masa zraka  $AM= 1.5$ .“

Tehnički podaci o karakteristikama modula koji se pojavljuju u publikacijama i specifikacijama proizvođača trebaju se promatrati pod STC uvjetima. Osim pojma STC, često se pojavljuje pojam NOCT (engl. *nominal operating cell temperature*) kod kojeg su karakteristike modula definirane na sljedeći način: vertikalna ozračenost  $E=800 \text{ W/m}^2$ , temperatura ćelije  $T=20^\circ\text{C} \pm 2 \%$  i brzina vjetra od  $1 \text{ m/s}$ , [19].

Na vrijednost napona otvorenog kruga  $U_{ok}$  najviše utječe temperatura (Slika 3.4.), dok struja kratkog spoja  $I_{ks}$  ima blagi pozitivni koeficijent s porastom temperature. Napon otvorenog kruga  $U_{ok}$  i snaga imaju veći negativni temperaturni koeficijent, što znači da rastu sa sniženjem temperature i zbog toga se fotonaponski moduli postavljaju tako da se omogući prozračnost i hlađenje modula zrakom prirodnim putem.



Slika 3.4. Utjecaj temperature na napon otvorenog kruga  $U_{ok}$  i struju kratkog spoja  $I_{ks}$  [19]

Točka maksimalne snage  $P_m$  ( $P_{MPP}$ ) je za fotonaponski modul određena kod standardnih uvjeta testiranja, dok je u stvarnosti jednaka površini pravokutnika upisanog u U-I karakteristiku pri određenoj ozračenosti koja se stalno mijenja. Zadaća pretvarača je stalno tražiti najpovoljniju točku na krivulji da se postigne što bolja učinkovitost sustava. Fotonaponski sustavi rijetko rade

prema standardnim uvjetima testiranja, jer se uvjeti mijenjaju tijekom dana ovisno o vremenskim uvjetima i promjena intenziteta ozračenja bitno utječe na U-I karakteristiku, [19].

### 3.4. Materijali za izradu fotonaponskih ćelija

U praksi se kao osnovni materijal kod proizvodnje fotonaponskih ćelija koristi silicij (Slika 3.5.), stoga se izrada fotonaponskih ćelija provodi u tehnologiji kristalnog silicija i tankog filma.

Monokristalne silicij ćelije imaju relativno veći stupanj iskoristivosti i prednost im je veća proizvodnja električne energije u odnosu na polikristalne silicij ćelije, dok je kod polikristalnih silicij ćelija prednost jeftinija proizvodnja samih ćelija. Prednost polikristalnih silicij ćelija je ekonomski efikasnija proizvodnja u odnosu na monokristalne silicij ćelije. Prednost ćelija od amornog silicija je jednostavna tehnologija proizvodnje kod koje se tanki sloj silicija u amornom stanju nanosi na podlogu, te su stoga i troškovi proizvodnje manji, a nedostatak im je niža iskoristivost u usporedbi s drugim tipovima ćelija.

Vrsta ćelije	$U_{ok}$ V	$J_{ks} / (mA\ cm^{-2})$	$\eta$ %	Proizvodnja
Monokristalična-Si	0,65	30	14- 18	masovna
Polikristalična-Si	0,60	26	~14	masovna
Amorfna-Si	0,85	15	8	masovna
Amorfna-Si, 2 sloja, tanki film	0,5	20	8,8	manje količine
Cd S / Cu <sub>2</sub> S	0,7	15	12	manje količine
Cd S / Cd Te	1	25	10,7	manje količine
Ga In PAs / Ga As			21	manje količine

Slika 3.5. Osnovni parametri fotonaponskih ćelija [1]

Izrada fotonaponskih ćelija (Slika 3.8.) je vrlo složen i zahtjevan tehnološki proces u kojem se traži čistoća silicija od 99,9999 posto, a kako se navodi u [13] prevladava uglavnom „tehnologija proizvodnje monokristalnog silicija dobivenog tzv. Czochralskim postupkom kod koje se iz otopljenog silicija izvlači monokristalični blok ili tehnologijom lebdeće zone (engl. *float zone*) kod koje se iz multikristaličnog bloka dobiva monokristalični blok.“

Proces izrade fotonaponskog modula započinje stavljanjem prvog sloja EVA filma na antirefleksijsko kaljeno staklo. Nakon toga se na kaljeno staklo postavlja najčešće 6 komada serijski spojenih fotonaponskih ćelija i vrši njihovo paralelno spajanje. Na modul se zatim stavlja završni sloj EVA filma i bijelog tedarla (polivinil-klorid) čija je glavna zadaća zaštita stražnje strane modula od atmosferskih utjecaja. Nakon spajanja moduli se laminiraju na 150°C u

laminatoru i na modul se ugrađuje priključna spojna kutija i aluminijski okvir radi lakše montaže.



Slika 3.6. Postupak proizvodnje ćelija i fotonaponskih modula [13]

U praksi se najčešće koriste kristalne silicijeve ćelije jer imaju najbolju učinkovitost po jedinici površine, te u prosjeku iskoriste od 10 do 20 posto primljene energije, a u stvarnosti to obično bude oko 13 posto (3 posto se reflektira radi zasjenjenja od prednjih kontakata, 23 posto se gubi zbog niske energije fotona nižih frekvencija, 32 posto se gubi zbog fotona s visokim energijama viših frekvencija, 8,5 posto su gubici rekombinacije, 20 posto gubitaka nastaje ovisno o lokaciji i načinu pozicioniranja modula, 0,5 posto gubitaka nastaje u spojevima), [19].

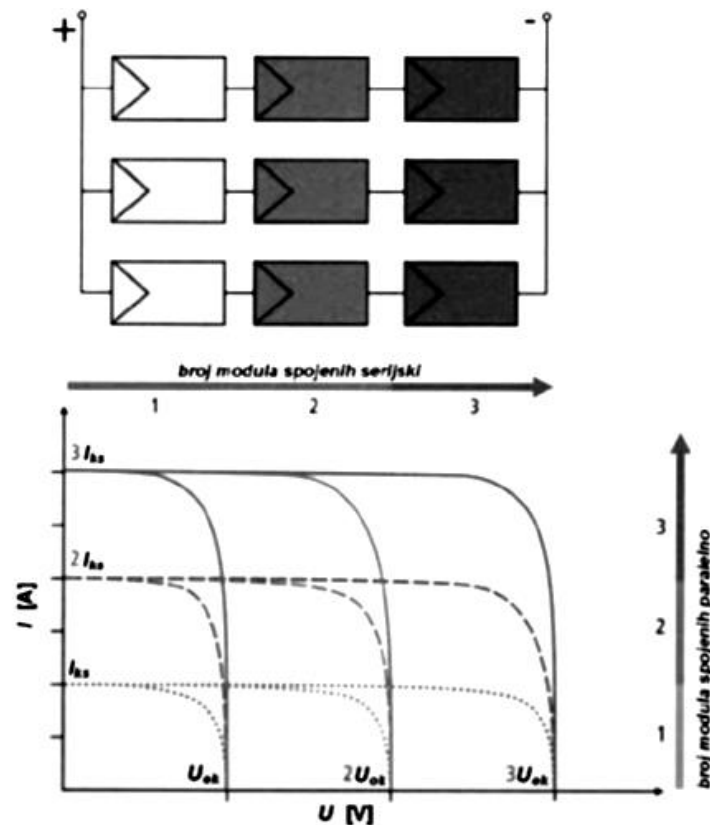
### 3.5. Fotonaponski moduli

Fotonaponski modul nastaje od više integriranih fotonaponskih ćelija, a u standardnoj izvedbi sadrži 36, 60, 72 ili 96 fotonaponskih ćelija. Povezivanje modula (Slika 3.7.) u niz se izvodi serijski, paralelno ili najčešće kombinacijom oba načina. Kod serijskog spajanja fotonaponskih ćelija povećava se ukupni izlazni napon modula, a struja je jednaka struji jedne ćelije, što dovodi do smanjenja gubitaka u kabelima i potrebe za kabelima velikog presjeka.

Kod paralelno spojenih fotonaponskih ćelija raste izlazna struja modula, a napon je jednak naponu jedne ćelije. Paralelno spajanje ćelija u modulima se rjeđe koristi. Spajanjem fotonaponskih ćelija u fotonaponske module osigurava se zaštita ćelija od atmosferskih utjecaja



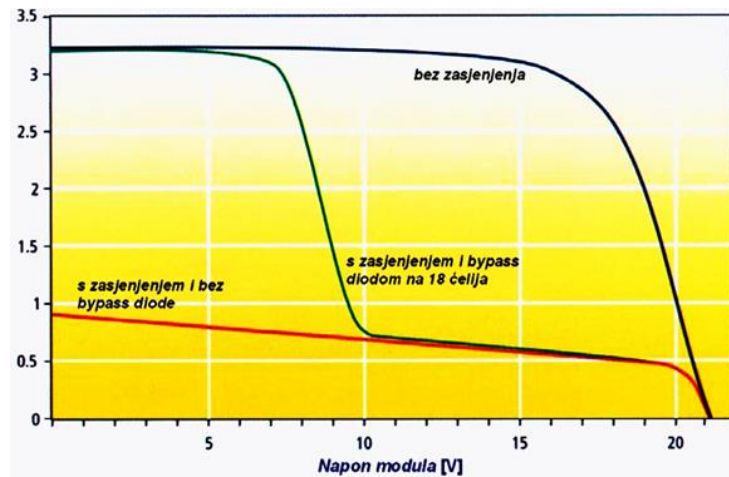
(kiša, snijeg, tuča, vlaga) i mehaničkih oštećenja, a područje oko modula se štiti od dodira visokog napona.



Slika 3.7. U-I karakteristika u ovisnosti o broju serijski i paralelno spojenih modula [20]

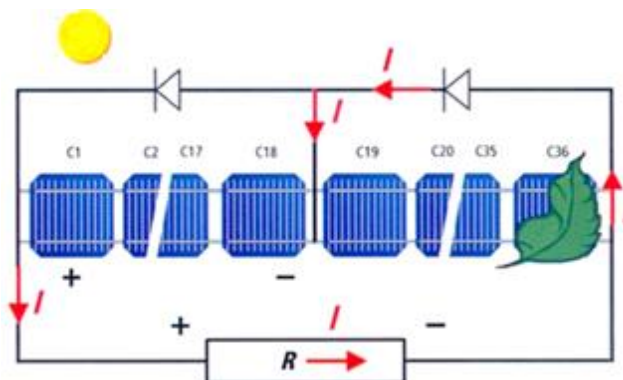
### 3.5.1. Utjecaj uvjeta okoline i zasjenjivanje fotonaponskog modula

Lokaciju za korištenje Sunčeve energije izabiremo na temelju dobrih karakteristika lokacije, što podrazumijeva da je fotonaponska elektrana orijentirana prema jugu i izložena Suncu cijeli dan i da nema prepreka koje uzrokuju zasjenjivanje modula (stabla, stupovi, građevine i drugo). Privremeno zasjenjivanje modula nastaje uslijed snijega, prašine, ptičjeg izmeta, oblaka, prljave kiše i drugih privremenih stanja. Stalno zasjenjivanje (Slika 3.8.) može uzrokovati velike gubitke u proizvodnji električne energije, skratiti vijek trajanja ili uništenje zasjenjene ćelije. Zasjenjivanja su u pravilu najviše izražena tijekom zimskog perioda, kada je kut upada sunčanih zraka nizak, što uzrokuje veću izduženost sjene, pa zbog toga i niske prepreke mogu uzrokovati veliko zasjenjivanje jednog ili više modula što može znatno smanjiti proizvodnju čitavog niza modula.



Slika 3.8. Utjecaj zasjenjenja na U-I karakteristiku modula [19]

Zasjenjena ćelija neće proizvoditi struju nego će se ponašati kao obična dioda i trošiti struju koju proizvode druge ćelije što uzrokuje visoko zagrijavanje zasjenjene ćelije i do 100°C. Ovaj efekt se naziva još i vruća točka modula. Kako bi se izbjeglo pregrijavanje zasjenjene ćelije u pojedine module se ugrađuje premosna (engl. *bypass*) dioda koja omogućava da kroz zasjenjenu ćeliju ne teče struja, te ne dolazi do zagrijavanja ćelije i mogućnosti oštećenja modula. Premosna dioda (Slika 3.9.) se najčešće spaja na svakih 18 fotonaponskih ćelija.



Slika 3.9. Paralelni spoj premosne diode [19]

Idealno stanje kojem treba težiti je kada su sve ćelije u nizu jednako ozračene i kao takve se ponašaju kao generatori, a naponi ćelija se zbrajaju. Sve navedeno vrijedi i za nizove modula u fotonaponskim sustavima gdje naponi mogu biti i do 900 V, [19].

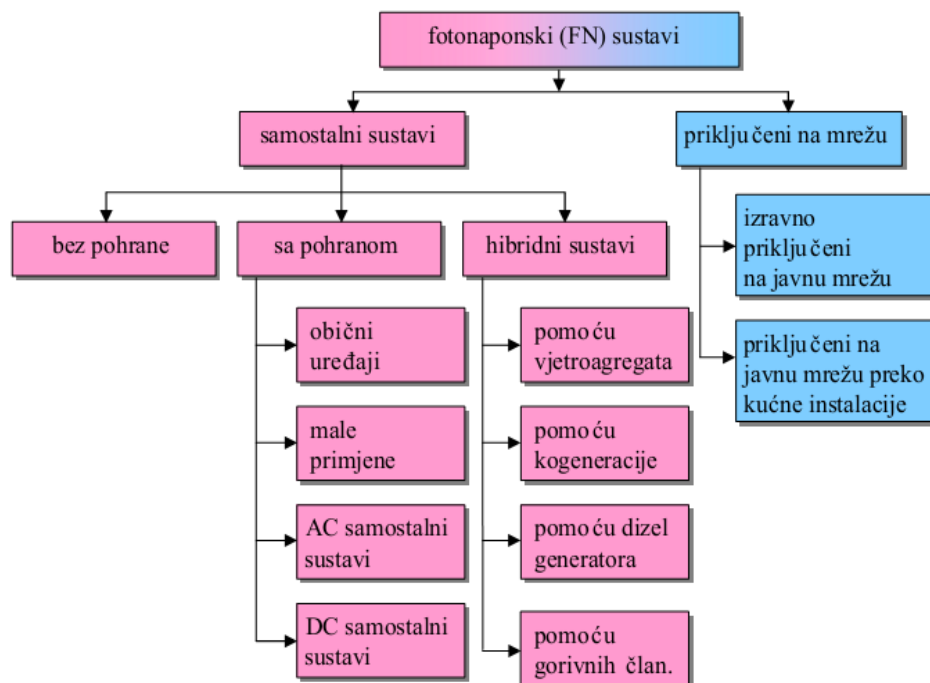
Zbog toga je pri planiranju instalacije fotonaponskog sustava i procjeni proizvodnih kapaciteta lokacije potrebno predvidjeti premještanje svega što bi zasjenjivalo module. U slučaju da se zasjenjivanje ne može izbjeći, potrebno je procijeniti utjecaj zasjenjivanja na proizvodnju preko uređaja ili programskih alata (PV\*SOLExpert).

## 4. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Skup komponenti koji se sastoji fotonaponskih modula, pretvarača, baterija, instalacija, nosača modula i ostalih dijelova pomoću kojih se Sunčeva energija izravno pretvara u električnu energiju nazivamo fotonaponski sustav.

Kako se navodi u [13] “fotonaponski sustavi (Slika 4.1.) mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

- fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (samostalni sustavi)
- fotonaponski sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu (izravno i preko kućne instalacije).“

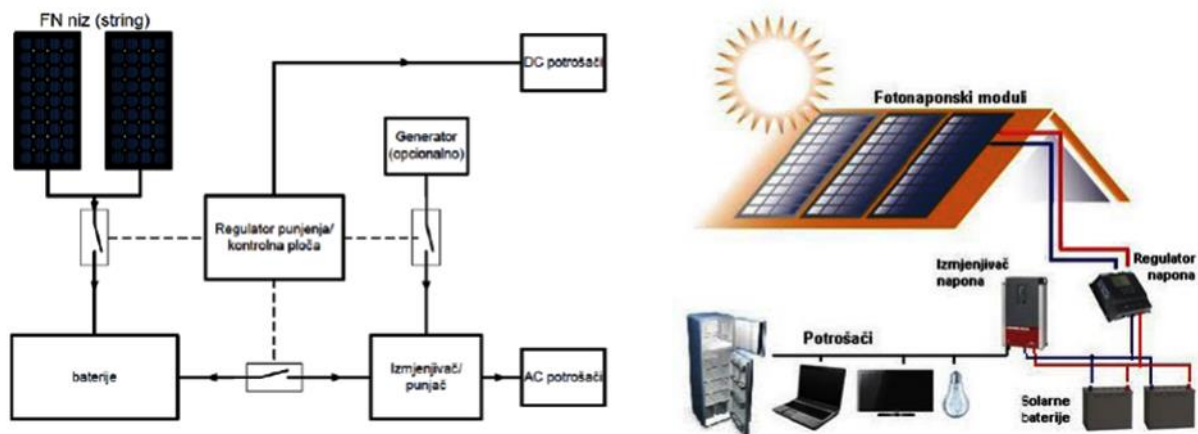


Slika 4.1. Podjela fotonaponskih sustava [13]

### 4.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Samostalni sustavi (Slika 4.2.) pogodni su za primjenu na lokacijama gdje nije izgrađena elektroenergetska mreža, te za primjenu kod pojedinačnih objekata različitih namjena (prometna signalizacija, automati za parking, rasvjeta, svjetionici, punionice automobila).

Kako je navedeno u [13], „temeljne komponente samostalnoga fotonaponskog sustava su: fotonaponski moduli, regulator punjenja, akumulatorska baterija, trošila i izmjenjivač.“



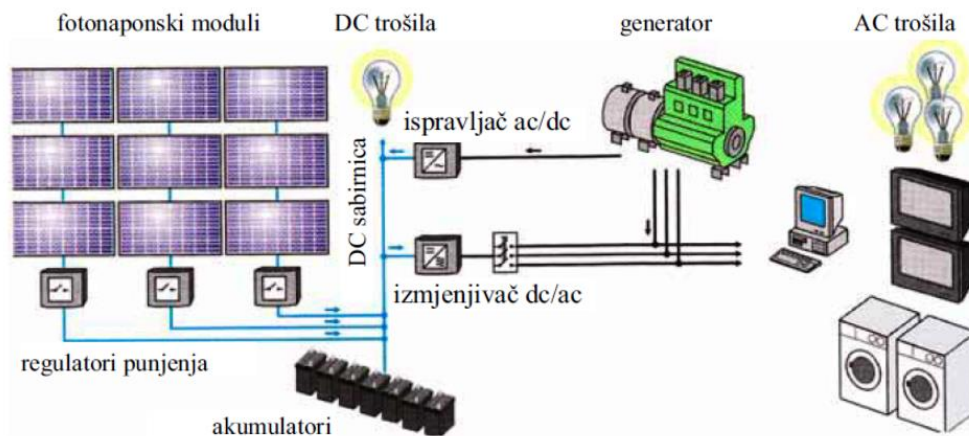
Slika 4.2. Samostalni fotonaponski sustav [23]

Kod samostalnih sustava potrebno je imati akumulatorsku bateriju koja služi kao spremnik električne energije i regulator punjenja koji služi za kontrolu punjenja i pražnjenja akumulatorske baterije. Ugradnjom izmjenjivača omogućava se korištenje trošila na izmjenični napon kao što su osnovni kućanski aparati (hladnjak, perilica suđa i rublja, električni bojler, računalo i ostala trošila).

## 4.2. Hibridni fotonaponski sustavi

Kada se samostalni fotonaponski sustav poveže s drugim obnovljivim izvorima električne energije kao što su vjetroagregat, kogeneracija ili s dizel i plinskim agregatima nastaje hibridni fotonaponski sustav.

Električnom energijom proizvedenom iz fotonaponskih modula ili drugim izvorom energije primarno se napajaju trošila, dok se višak proizvedene energije skladišti u akumulatorske baterije. Ukoliko ne postoji mogućnost za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula (nedovoljna ozračenost) ili drugog obnovljivog izvora energije, akumulatorska baterija postaje izvor za napajanje trošila. U slučaju da se akumulatorska baterija isprazni uključuje se dizel agregat. Sustav je projektiran tako da drugi (pričuvni) izvori energije pomognu hibridnom fotonaponskom sustavu (Slika 4.3.), te se isključuju nakon što se napuni akumulatorska baterija.



Slika 4.3. Hibridni fotonaponski sustav [13]

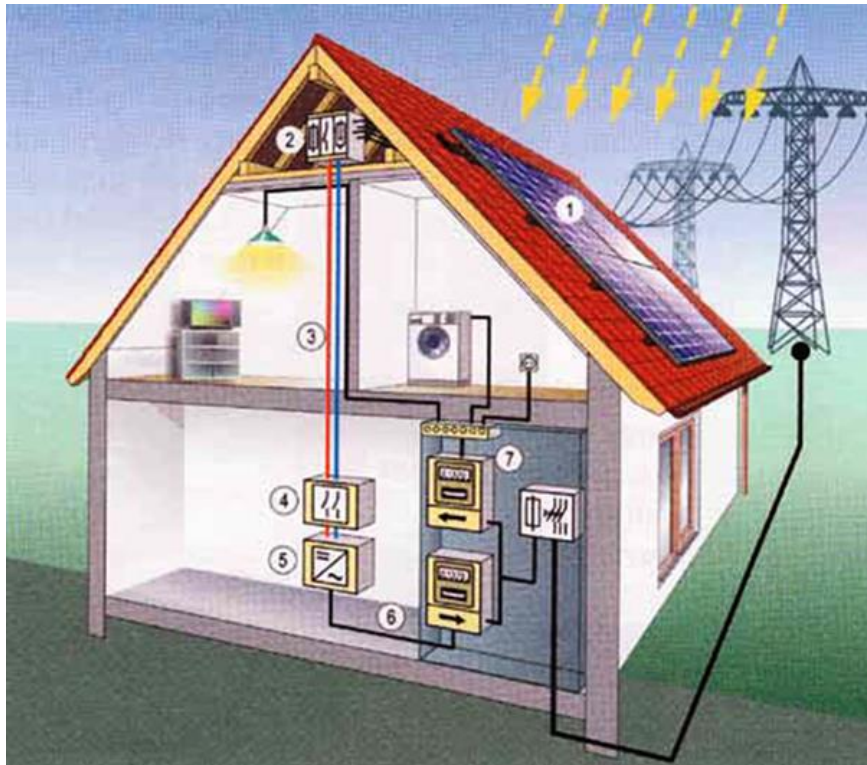
### 4.3. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije

Kako je navedeno u [13] „fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije, odnosno omogućuju povezivanje distribuiranih sustava na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava.“

Princip rada ovakvog fotonaponskog sustava (Slika 4.4.) je da se fotonaponski moduli postavljeni na krovu građevine međusobno povezuju u nizove i preko razdjelnog ormarića (na DC strani) u kojem se nalazi zaštitna oprema (odvodnici prenapona i istosmjerni prekidači) dovode do izmjenjivača.

Zadatak izmjenjivača je pretvaranje proizvedene istosmjerne struje u izmjeničnu koja se kabelskim razvodom na izmjeničnoj strani prenosi do kućnog priključnog mjernog ormarića (KPMO) na elektroenergetsku mrežu. U kućno priključno mjernom ormariću (KPMO) je smješteno dvosmjerno brojilo električne energije s funkcijom očitavanja proizvedene energije predane u mrežu i preuzete energije iz mreže.

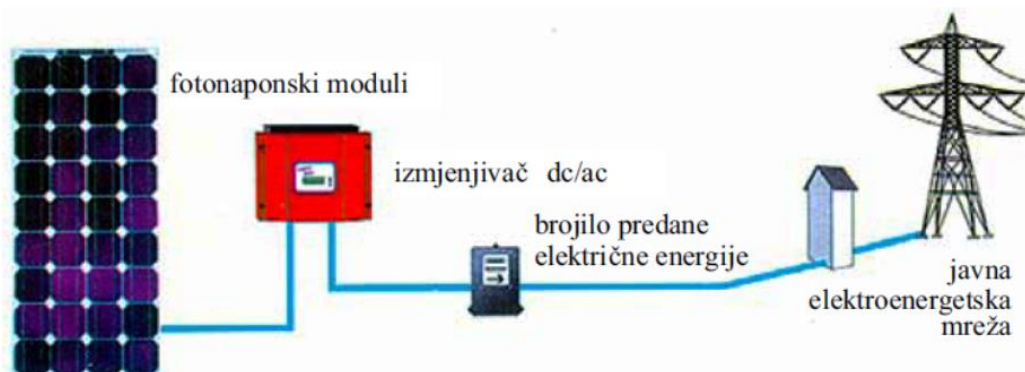
Ovakav fotonaponski sustava ne zahtijeva ugradnju baterija zbog paralelnog pogona s elektroenergetskom mrežom i glavni zadatak mu je napajanje trošila u građevini i predaja viška u elektroenergetsku mrežu. U trenucima kada fotonaponski moduli nemaju dostatnu proizvodnju za napajanje trošila u građevini, električna energija se preuzima iz elektroenergetske mreže.



Slika 4.4. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [13]

#### 4.4. Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu mrežu

Fotonaponski sustavi izgrađuju se na slobodnim građevinskim i poljoprivrednim česticama zbog mogućnosti priključenja na niskonaponsku, srednjenaponsku ili visokonaponsku razinu elektroenergetskog sustava i direktnu predaju proizvedene električne energije u elektroenergetski sustav. Glavna karakteristika ovakvog sustava (Slika 4.5.) je velika instalirana snaga i potrebna površina čestice jer se izgrađuju na velikim neobrađenim zemljištima, krovnim površinama tvornica, farmi, proizvodnih pogona i slično.

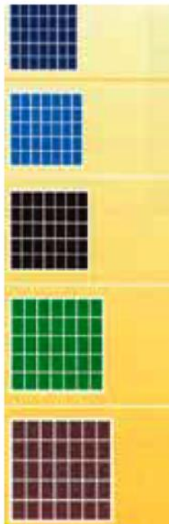


Slika 4.5. Fotonaponski sustav izravno priključen na javnu elektroenergetsku mrežu [13]



## 4.5. Potrebna površina za proizvodnju energije iz fotonaponskih sustava

Površina potrebna za proizvodnju električne energije iz fotonaponskog modula određene snage (Slika 4.6.) ovisi o vrsti materijala koji se koriste za proizvodnju fotonaponskih ćelija, a bitna je kod manjih fotonaponskih sustava jer se želi postići najveći mogući stupanj iskorištenja fotonaponskog sustava, odnosno maksimalna proizvodnja električne energije na što manjoj površini krova ili zemljišta.

monokristalne ćelije	$7 \text{ m}^2 - 9 \text{ m}^2$	
ćelije visokog stupnja djelovanja	$6 \text{ m}^2 - 7 \text{ m}^2$	
polikristalne ćelije	$7,5 \text{ m}^2 - 10 \text{ m}^2$	
bakar-indij-diselenid (CIS)	$9 \text{ m}^2 - 11 \text{ m}^2$	
kadmijev telurid (CdTe)	$12 \text{ m}^2 - 17 \text{ m}^2$	
amorfni silicij	$14 \text{ m}^2 - 20 \text{ m}^2$	

Slika 4.6. Potrebna površina za smještaj fotonaponskih modula snage 1 kWp [13]

## 4.6. Zaštita fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi postavljaju se krovove kuća, zgrada ili na velike slobodne površine što povećava vjerojatnost od udara munje i zbog toga bi svaka građevina na koju se postavlja fotonaponska elektrana morala imati instalaciju zaštite od udara munje, izjednačenja potencijala, temeljnog uzemljivača i odvodnike prenapona na izmjeničnoj i istosmjernoj strani izmjenjivača, koji osiguravaju sigurnost i neprekidan rad fotonaponskog sustava.

Najvažniji dijelovi instalacije zaštite od udara munje (Slika 4.7.) u zgradu ili drugi objekt su: hvataljka, odvodi, uzemljivač i odvodnici prenapona.

Hvataljka je najistureniji dio instalacije zaštite od udara munje i njezin zadatak je privlačenje i preuzimanje udarca munje. Struja munje se od hvataljke odvodi u zemlju preko odvoda koji se postavljaju na građevinu ovisno o proračunu rizika od udara munje. Odvodi se spajaju na uzemljivač koji se polaže u zemlju oko građevine. Otpor odvoda mora biti što manji, jer u suprotnom može doći do preskoka napona s odvoda prema drugim predmetima u blizini. Zbog toga se provodi i glavno izjednačavanje potencijala, a to znači galvansko povezivanje svih

metalnih masa građevine na sabirnicu za izjednačenje potencijala zaštitnim vodičem žutozelene boje čiji presjek za bakar ne smije biti manji od  $6 \text{ mm}^2$ .

Ukoliko građevina na koju se postavljaju fotonaponski moduli nema instalaciju zaštite od udara munje, metalna konstrukcija fotonaponskih modula se izravno spaja na uzemljenje. Kod građevina s postojećom instalacijom zaštite od udara munje na krovu, udaljenost između fotonaponskih modula i postojeće instalacije zaštite od udara munje mora biti veća od 0,5 m, a ako nije moguće ostvariti propisanu udaljenost fotonaponski moduli se spajaju s postojećom instalacijom zaštite od udara munje koja je spojena s uzemljenjem.



*Slika 4.7. Fotonaponski sustav i instalacija sustava zaštite od udara munje [13]*

Otpor uzemljenja instalacije mora biti što niži ( $<10 \Omega$ ) kako bi uzemljivač što bolje raspršio struju munje u zemlji. Otpor uzemljivača ovisi o vrsti zemljišta i karakteristikama samog uzemljivača. Bitna karakteristika zemljišta je specifični otpor tla koji ovisi o vrsti materijala tla. Struja munje se prilikom prolaska kroz uzemljivač rasprostire kroz zemlju najčešće u obliku naponskog lijevka. Kod uzemljivača je potencijal najviši i naglo opada s povećanjem udaljenosti od uzemljivača.

Prilikom izravnog udara munje u građevinu, pokraj građevine, u opskrbne vodove koji ulaze u građevinu ili pokraj opskrbnih vodova koji ulaze u građevinu pojavljuje se prenapon. Zaštitu od prenapona za izmjenjivač i ostale dijelove opreme koja se nalazi u građevini predstavljaju odvodnici prenapona. Zbog mogućnosti udara munje u metalnu konstrukciju fotonaponskih



modula, izmjenjivač se štiti ugradnjom odvodnika prenapona u razdjelnom ormariću na istosmjernoj DC strani, dok se ugradnjom odvodnika prenapona u razdjelnom ormariću građevine štiti izmjenjivač i ostala trošila u građevini na izmjeničnoj AC strani od prenapona koji mogu doći iz električne mreže.

Na sabirnicu za izjednačenje potencijala spajaju se odvodnici prenapona sa istosmjerne i izmjenične strane. Prilikom projektiranja fotonaponskog sustava predviđa se ugradnja jednog odvodnika prenapona ukoliko je udaljenost između polja fotonaponskih modula i izmjenjivača manja od 25 m, a ukoliko je udaljenost veća od 25 m, predviđa se ugradnja odvodnika prenapona na izlaznoj strani fotonaponskih modula, [13].

## 5. ZAKONSKA REGULATIVA

### 5.1. Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj

U području obnovljivih izvora energije i kogeneracije u Republici Hrvatskoj donesen je niz zakonskih i podzakonskih propisa, uredbi i pravilnika koji se kako je navedeno u [15] temelje na:

- „Zakonu o energiji (Narodne novine broj 120/12, 14/14, 95/15, 102/15, 68/18),
- Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (Narodne novine broj 100/15, 111/18)
- Zakonu o tržištu električne energije (Narodne novine broj 22/13, 95/15, 102/15, 68/18, 52/19).“

Sukladno članku 3, Zakona [4], „u pravni poredak Republike Hrvatske prenose se sljedeće direktive Europske unije:

- Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, koja je posljednji put izmijenjena Direktivom Vijeća 2013/18/EU od 13. svibnja 2013. o prilagodbi Direktive 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora zbog pristupanja Republike Hrvatske
- Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti, izmjeni direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU i stavljanju izvan snage direktiva 2004/8/EZ i 2006/32/EZ.
- Direktiva (EU) 2015/1513 Europskog parlamenta i Vijeća od 9. rujna 2015. o izmjeni Direktive 98/70/EZ o kakvoći benzinskih i dizelskih goriva i izmjeni Direktive 2009/28/EZ o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora.“

Poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u razdoblju od 1.7.2007. godine do 31.12.2015. godine, provodilo se prema Tarifnim sustavima za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije iz 2007, 2012 i 2013 godine.

Od 1.1.2016. godine i stupanjem na snagu Zakona [4] „prestaje važiti Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine broj 133/13, 151/13, 20/14 i 107/14), osim za nositelje projekta koji su do dana stupanja na snagu ovoga Zakona sklopili ugovor o otkupu električne energije s operatorom tržišta električne energije.“

Dana 20.12.2018. godine, Vlada Republike Hrvatske donijela je Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (Narodne novine broj 111/18) sljedeće uredbe:

- „Uredbu o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitim kogeneracija (Narodne novine broj 116/18, 60/20) i
- Uredbu o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (Narodne novine broj 116/18).“

Sustav poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije je reguliran kako se navodi u [15] sljedećim podzakonskim aktima:

- „Odluka o visini naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (Narodne novine broj: 87/17), koja se primjenjuje od 1. rujna 2017. godine:
- Pravilnik o Registru obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (Narodne novine broj 87/19)
- Pravilnik o kriterijima za izdavanje energetskeg odobrenja za proizvodna postrojenja (Narodne novine broj 5/20)
- Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (Narodne novine broj 132/13, 81/14, 93/14, 24/15, 99/15 i 110/15).“

Na slici 5.1. prikazan je ukupan broj sklopljenih ugovora o otkupu električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja od srpnja 2007. do kraja 2019. godine, [15].

<b>Povlašteni proizvođači</b>	<b>Sklopljeni ugovori (broj postrojenja)</b>	<b>Instalirana snaga (kW)</b>
Vjetroelektrane	26	717.800
Sunčane elektrane	1230	53.434
Hidroelektrane	16	6.719
Elektrane na biomasu	50	109.808
Elektrane na bioplin	44	49.922
Kogeneracijska postrojenja	6	113.293
Geotermalne elektrane	1	10.000
Elektrane na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda	1	2.500
<b>Ukupno</b>	<b>1.374</b>	<b>1.063.476</b>

*Slika 5.1. Ukupan broj sklopljenih ugovora o otkupu električne energije [15]*

Klasifikacija fotonaponskih elektrana se kako je navedeno u [24] dijeli se na sljedeće grupe:

1. „sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 50 kW
2. sunčane elektrane instalirane snage veće od 50 kW do uključivo 500 kW
3. sunčane elektrane instalirane snage veće od 500 kW do uključivo 10 MW
4. sunčane elektrane instalirane snage veće od 10 MW.“

## **5.2. Postupak jednostavnog priključenja fotonaponskih elektrana na mrežu**

Osnovni koraci pri jednostavnom priključenju fotonaponske elektrane na distribucijsku mrežu su kako je navedeno u [25]:

1. „Izdavanje Elektroenergetske suglasnosti (EES) s Ponudom o priključenju,
2. Izdavanje Potvrde glavnog projekta,
3. Uplata naknade za priključenje,
4. Izgradnja priključka,
5. Sklapanje Ugovora o korištenju mreže,
6. Prvo priključenje i Potvrda o početku korištenja mreže,
7. Pokusni rad s mrežom i Dozvola za trajni pogon (ako je u EES uvjetovan pokusni rad).“

### **5.2.1. Elektroenergetska suglasnost (EES)**

HEP-ODS izdaje elektroenergetsku suglasnost (EES) kao dokument u kojem su navedeni svi uvjeti koje građevina mora ispuniti da bi mogla biti priključena na mrežu. EES se izdaje za priključenje građevine ili dijela građevine na distribucijsku mrežu, ne sadrži opis tehničkog rješenja priključenja i na temelju EES se ne može izvršiti priključenje, niti se može povećati priključna snaga. Podnositelj zahtjeva za EES mora biti vlasnik građevine, investitor građevine, korisnik mreže, odnosno pravna ili fizička osoba koja ima stvarno pravo na predmetnoj nekretnini, [25].

Elektroenergetska suglasnost sadrži:

- podatke o podnositelju zahtjeva (investitoru),
- podatke o fotonaponskoj elektrani (tip izmjenjivača, predvidiva godišnja proizvodnja i vlastita proizvodnja električne energije),
- uvjete na lokaciji fotonaponske elektrane (opći podaci važni za građenje fotonaponske elektrane, a uvjetovani su postojanjem distribucijske mreže na lokaciji),
- podatke o obračunskom mjernom mjestu (mjesto razgraničenja vlasništva, način mjerenja, mjernu opremu i kategoriju potrošnje/proizvodnje)

- uvjete priključenja (tehničko-energetski uvjeti koje mora ispuniti fotonaponska elektrana radi priključenja na mrežu kao što su: opis priključka i mjesto priključenja fotonaponske elektrane na mrežu, način rada fotonaponske elektrane i priključna snaga, opis uređaja za odvajanje elektrane od mreže i osiguranje paralelnog rada s mrežom)
- ostale uvjete.

### **5.2.2. Ugovor o priključenju i ponuda o priključenju**

Kod jednostavnog priključenja na distribucijsku mrežu Ponuda o priključenju zamjenjuje Ugovor o priključenju. Prihvaćena Ponuda o priključenju smatra se sklopljenim Ugovorom o priključenju i dostavlja se podnositelju zahtjeva uz EES i obuhvaća tehničko rješenje priključka i iznos naknade za priključenje. HEP-ODS je dužan ugovorom izgraditi priključak, stvoriti tehničke uvjete u mreži i priključiti fotonaponsku elektranu na mrežu.

Ponuda o priključenju sadrži:

- podatke o Podnositelju zahtjeva,
- tehničko rješenje jednostavnog priključka,
- uvjete za početak korištenja mreže,
- međusobna prava i obveze,
- ostale uvjete, [25].

### **5.2.3. Potvrda glavnog projekta**

Potvrda na glavni projekt je dokument HEP-ODS-a kojim se utvrđuje usklađenost glavnog projekta građevine s posebnim uvjetima.

U svaki glavni projekt građevine moraju biti uvezani posebni uvjeti HEP ODS-a koji obavlja pregled glavnog projekta u cilju provjere usklađenosti građevine s posebnim uvjetima.

Ukoliko projektirana građevina ispunjava sve uvjete, HEP ODS izdaje Potvrdu glavnog projekta.

### **5.2.4. Plan i program ispitivanja primjerenog paralelnog pogona**

Izrada plana i programa ispitivanja (PPI) uvjetovana je u EES. Korisnik mreže dužan je izraditi PPI i dostaviti ga HEP-ODS-u na suglasnost. PPI je dokument temeljem kojeg se provodi pokusni rad korisnika s mrežom.

PPI sadrži:

- Tehnički opis ispitivanja,
- Dokumentacija o građevini korisnika mreže,
- Elektrotehnički podaci o građevini korisnika mreže,

- Tehnički preduvjeti za pokusni rad s mrežom,
- Popis svih ispitivanja tijekom pokusnog rada korisnika s mrežom,
- Detaljna razrada svakog ispitivanja, [25].

PPI se izrađuje nakon izgradnje građevine korisnika mreže i kao završni dokument objedinjava svu dokumentaciju o građevini korisnika mreže (idejni, glavni, izvedbeni projekt, elaborat zaštite i utjecaja na mrežu) i kao takav sadržava cjelovit opis građevine korisnika mreže.

U praksi se pokusnim radom provjerava pravilnost svih pokusa u postrojenju korisnika mreže koji su važni za paralelni pogon korisnika s mrežom. Usuglašeni PPI jedan je od priloga Zahtjevu za sklapanje ugovora o korištenju mreže. Pokusi u PPI ovise o tipu, konfiguraciji, karakteristikama korisnika mreže i o mreži na koju se korisnik priključuje, a pokusi u PPI sadrže sljedeća ispitivanja:

- Provjera spremnosti građevine korisnika mreže za prvo priključenje na mrežu
- Normalni pogon – sposobnost građevine za normalni pogon s mrežom
- Izvanredni pogon u mreži - provjera utjecaja građevine korisnika na kvar ili drugi izvanredni događaj u mreži.
- Izvanredni pogon kod korisnika mreže - provjera utjecaja građevine korisnika na mrežu pri kvaru kod korisnika mreže
- Ostala ispitivanja (ispitivanja dodatnih mogućnosti ili specifičnosti korisnika mreže), [25].

### **5.2.5. Ugovor o korištenju mreže**

Odnos HEP ODS-a i korisnika mreže tijekom korištenja distribucijske elektroenergetske mreže uređuje se Ugovorom o korištenju mreže (UoKM), u kojem se korisnik mreže obvezuje koristiti mrežu prema uvjetima iz EES i plaćati HEP ODS-u propisanu naknadu za mrežu.

Kako je navedeno u [25] „Ugovor o korištenju mreže sadrži:

- podatke o ugovornim stranama,
- broj elektroenergetske suglasnosti,
- podatke o priključnoj snazi,
- uvjete korištenja snage,
- razinu kvalitete opskrbe električnom energijom,
- razinu dopuštenog negativnog povratnog utjecaja na mrežu,
- uvjete pristupa obračunskom mjernom mjestu, očitavanja i korištenja mreže
- uvjete za raskid i otkaz ugovora i
- ostale međusobne obveze.“

### **5.2.6. Početak korištenja mreže i potvrda o početku korištenja mreže**

Početak korištenja mreže počinje prvim priključenjem korisnika na mrežu (stavljanje priključka pod napon) i izdavanjem Potvrde o početku korištenja mreže, odnosno Dozvole za trajni pogon za one korisnike kojima je u EES uvjetovan pokusni rad s mrežom koji se provodi po usuglašenom PPI.

Ako se pri prvom priključenju korisnika mreže nije aktivirala zaštita u postrojenju ili instalaciji korisnika mreže, niti u susretnom postrojenju zaključuje se da je prvo priključenje uspješno i HEP ODS izdaje Potvrdu o početku korištenja mreže kojim potvrđuje da je instalacija korisnika sigurna i sposobna koristiti distribucijsku mrežu pod uvjetima definiranim u izdanoj EES, [25].

### **5.2.7. Pokusni rad i konačno izvješće**

Kako je navedeno u [25], „pokusni rad je niz planiranih ispitivanja ograničenog trajanja u stvarnim pogonskim uvjetima kojima se utvrđuje spremnost građevine korisnika mreže za primjereni paralelni pogon s mrežom, odnosno kojim se provjerava je li postrojenje i instalacija korisnika mreže sposobno ispuniti uvjete operatora distribucijskog sustava na njen primjereni paralelni pogon s mrežom definirane u elektroenergetskoj suglasnosti.“

Pokusni rad elektrane s mrežom sadrži sljedeća ispitivanja:

- Spremnost fotonaponske elektrane za prvo priključenje
- Paralelni pogon s mrežom
- Odziv elektrane na kvar ili izvanredni pogon u mreži
- Odziv elektrane pri kvaru u elektrani

Pokusni rad fotonaponske elektrane s mrežom smatra se uspješno okončanim samo ako su sva ispitivanja iz PPI proglašena uspješnim.

Za ispravnu provedbu svih ispitivanja u pokusnom radu odgovoran je Voditelj ispitivanja koji mora imati propisanu razinu stručne osposobljenosti, a imenuje ga korisnik mreže.

Nakon uspješno provedenih svih ispitivanja, Voditelj ispitivanja izrađuje Konačno izvješće u kojem mora s punom odgovornošću izjaviti da je ispitivanjima nedvojbeno dokazano da je fotonaponska elektrana spremna za paralelni pogon s distribucijskom mrežom i dostavlja ga HEP-ODS-u koji zatim izdaje korisniku mreže Dozvolu za trajni pogon.

### **5.2.8. Dozvola za trajni pogon**

Kako se navodi u [25] „Dozvola za trajni pogon je dokument kojim HEP ODS potvrđuje da je građevina korisnika mreže temeljem uspješno provedenog pokusnog rada s mrežom stekla pravo

na trajni pogon s distribucijskom mrežom pod uvjetima definiranim u izdanoj elektroenergetskoj suglasnosti (EES) i posebnim uvjetima, te da nema zapreka za izdavanje Uporabne dozvole građevini korisnika mreže.“

### **5.3. Postupak priključenja fotonaponske elektrane kao jednostavne građevine**

Propisima je omogućeno da se fotonaponske elektrane mogu graditi na postojećim građevinama, građevinama u tijeku gradnje, planiranim građevinama, te kao samostojeći objekti.

Kako se navodi u [24], „integrirana fotonaponska elektrana je elektrana koja je smještena na površini građevine odnosno na krovovima, pokrovima, sjenilima, balkonima, terasama, fasadama, prozorima, vratima) ili infrastrukturnog objekta (trafostanice, mostovi i slične građevine), a neintegrirana fotonaponska elektrana je elektrana izgrađena kao samostojeća građevina.“

Prema članku 5., podstavku 11 i 12., Pravilnika [28], navedeno je da se „bez građevinske dozvole, a u skladu s glavnim projektom mogu izvoditi radovi na postojećoj građevini priključenoj na elektroenergetsku mrežu na koju se postavlja sustav fotonaponskih modula u svrhu proizvodnje električne energije s pripadajućim razdjelnim ormarom i sustavom priključenja na javnu mrežu za predaju energije u mrežu, odnosno za potrebe te građevine bez mogućnosti predaje energije u mrežu.“

Postupak priključenja na distribucijsku mrežu HEP-ODS-a (Slika 5.2.) je pojednostavljen u svim okvirima aktivnosti HEP-ODS-a uz preuzimanje dodatnih obveza HEP-ODS-a prema posebnim uvjetima priključenja.

U svrhu mogućnosti priključka fotonaponske elektrane na distribucijsku elektroenergetsku mrežu, korisnik mreže podnosi zahtjev HEP-ODS-u za izdavanje elektroenergetske suglasnosti uz koji prilaže idejni projekt fotonaponske elektrane i drugu potrebnu dokumentaciju (građevinsku dozvolu ili drugi akt o legalnosti građevine, izvod iz katastra, zemljišnoknjižni uložak).

Temeljem zaprimljenog zahtjeva za izdavanje EES i izjave projektanta, HEP ODS utvrđuje da je fotonaponska elektrana jednostavna građevina te izdaje EES i Ponudu o priključenju.

Nakon ishoda EES, ured ovlaštenog inženjera izrađuje glavni projekt fotonaponske elektrane za korisnika mreže koji projekt dostavlja HEP ODS-u na Potvrdu glavnog projekta.

Prije priključenja, a nakon izvršene uplate naknade za priključenje, korisnik mreže podnosi zahtjev za sklapanje Ugovora o korištenju mreže, nakon čega će HEP-ODS dostaviti Ugovor o



korištenju mreže korisniku mreže na potpis i pokrenuti postupak izgradnje jednostavnog priključka.

Korisnik mreže sklapa s HROTE Ugovor o otkupu električne energije. Potpisivanjem Ugovora o priključenju i Ugovora o otkupu korisnik mreže kreće u izgradnju fotonaponske elektrane, a HEP-ODS u izgradnju priključka fotonaponske elektrane na elektroenergetsku mrežu, [30].

Nakon završetka izgradnje fotonaponske elektrane i priključka, korisnik mreže predaje HEP-ODS-u zahtjev za sklapanje Ugovora o korištenju mreže i podnosi zahtjev za početak korištenja mreže.

Prije trajnog korištenja mreže, korisnik mreže kojem je u EES-u uvjetovan pokusni rad s mrežom dužan je uspješnim ispitivanjima u pokusnom radu dokazati da fotonaponska elektrana ispunjava sve tražene uvjete koji se provodi po usuglašenom PPI. Voditelj ispitivanja provodi ispitivanja u pokusnom radu uz nadzor djelatnika HEP-ODS-a i nakon uspješno provedenih ispitivanja izrađuje Konačno izvješće o provedenim ispitivanjima i dostavlja ga HEP-ODS-u, [30].

HEP-ODS temeljem dostavljenog Konačnog izvješća izdaje korisniku mreže Dozvolu za trajni pogon fotonaponske elektrane s mrežom i time se stavlja u djelovanje Ugovor o otkupu električne energije sklopljen s HROTE, [29].



Slika 5.2. Pojednostavljeni priključak sunčane elektrane na mrežu HEP-ODS-a [25]

## 5.4. Izrada projektne dokumentacije

Projekt je vremenski određena aktivnost s jasno postavljenim ciljem i utvrđenim resursima, koja za rezultat ima ostvarivanje zadanih ciljeva u zadanom vremenu. Projekti se kako je navedeno u [26] „razvrstavaju prema namjeni i razini razrade na glavni projekt, izvedbeni projekt, tipski projekt, projekt uklanjanja građevine.“

Prilikom projektiranja fotonaponske elektrane potrebno je poznavati karakteristike zračenja na lokaciji na kojoj se planira izgradnja fotonaponske elektrane. Za procjenu proizvodnih kapaciteta lokacije potrebne su iskoristive dimenzije krovnih ploha radi izrade prijedloga odabira veličine

fotonaponskog sustava (npr. do 100 m<sup>2</sup> odabiremo elektranu do 10 kW). Računska simulacija fotonaponske elektrane može se izvesti primjenom računalnih programa kao što su PV\*SOL Expert, SMA Sony design, i dr. iz kojih se može odrediti najoptimalnija konfiguracija sustava, odabrati oprema i izračunati procjena proizvodnje.

Potrebno je vizualno provjeriti stanje uzemljivača, LPS zaštite, sustav razvoda unutar građevine, postojeći elektroenergetski priključak, brojila, te uočiti moguća zasjenjenja od okolnih građevina, drveća, stupova, dimnjaka i dr.

Podaci o lokaciji, mjerenja i proračuni su potrebni za izradu idejnog rješenja kako bi se investitoru prikazala procjena proizvodnje fotonaponske elektrane i prezentirale realne vrijednosti investicije. Ukoliko se investitor odluči za izgradnju fotonaponske elektrane od njega se traži da dostavi potrebnu dokumentaciju:

- Građevinsku dozvolu ili drugi akt o legalnosti građevine,
- Izvod iz katastra,
- Zemljišnoknjižni uložak,
- Postojeći projekt građevine (statički proračun konstrukcije krovišta) i
- Ugovor o pravu služnosti

Nakon dostavljanja dokumentacije, istu je potrebno pažljivo pregledati i ako postoji sumnja u vjerodostojnost dokumentacije o legalnosti kao i zbog drugih razloga kao što su: gradnja na zaštićenim objektima, gradnja u starim gradskim jezgrama i dr., poželjno je kontaktirati ured za graditeljstvo i zatražiti mišljenje ili rješenje za gradnju fotonaponske elektrane.

#### **5.4.1. Idejni projekt**

Na temelju projektnog zadatka, idejnog rješenja i potrebne dokumentacije izrađuje se idejni projekt za provedbu zahvata u prostoru. Idejni projekt se kako je navedeno u [27] „izrađuje u skladu sa zakonom kojim se uređuje prostorno uređenje (u daljnjem tekstu: Zakon), prostornim planom i drugim propisima donesenim na temelju Zakona, idejnim rješenjem čija je izrada propisana Zakonom, posebnim propisima, posebnim uvjetima i uvjetima priključenja pribavljenim elektroničkim putem primjenom elektroničkog programa eDozvola.“

Sadržaj idejnog projekta sastoji se od općeg i tehničkog dijela. Grafičke podloge za idejni projekt se sastoje od situacijskog nacрта na katastarskoj čestici s ucrtanim fotonaponskim modulima na krovu građevine, nacrt krovišta, detalja krovišta i dr.

Zbog postavljanja fotonaponskih modula na krovne plohe potrebno je pregledati i provjeriti stanje krova i nosivih krovnih elemenata. Fotonaponski moduli s pripadajućom konstrukcijom

opterećuju krovnu konstrukciju, stoga je potrebno imati postojeći proračun statike krovne konstrukcije, odnosno tražiti provjeru statike od strane ovlaštenog inženjera graditeljstva.

#### **5.4.2. Glavni projekt**

Glavni projekt građevine kako se navodi u [35] „mora sadržavati one odgovarajuće projekte pojedinih struka koji su, ovisno o vrsti građevine, potrebni za davanje cjelovitog i usklađenog tehničkog rješenja građevine, prikaza smještaja građevine u prostoru i dokazivanje ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevinu.“

Svaki projekt mora sadržavati opći i tehnički dio. Projekt u općem dijelu obvezno sadrži:

- naslovnu stranicu projekta,
- stranicu za ovjeru revidenta (ukoliko je revizija potrebna),
- popis svih projektanata i suradnika,
- popis svih mapa projekta,
- sadržaj mape,
- izjavu projektanta,
- izjavu glavnog projektanta o međusobnoj usklađenosti projekata,
- posebne uvjete i/ili uvjete priključenja
- lokacijsku dozvolu.

Tekstualni dio i grafički prilozi čine tehnički dio glavnog projekta.

U tekstualnom dijelu glavnog projekta nalaze se svi tehnički i tehnološki podaci, proračuni i tehnička rješenja pomoću kojih se dokazuje da građevina ispunjava sve temeljne zahtjeve i uvjete. Proračunima se dokazuje ispunjenje temeljnih zahtjeva za građevinu.

Programom kontrole i osiguranjem kvalitete prikazani su uvjeti s ispunjavanjem temeljnih zahtjeva za građevinu, dokumentaciju o kvaliteti izvedenih radova (pregledavanje, ispitivanje instalacije, mjerenja i atesti) i uvjete za održavanja građevine nakon gradnje. U posebnim tehničkim uvjetima građenja i načinu zbrinjavanja građevinskog otpada definirana su tehnička pojašnjenja za građevinu i način gospodarenja nastalim otpadom prilikom građenja.

Iskaz procijenjenih troškova građenja prikazuje procjenu troškova izgradnje građevine i tržišnu vrijednost materijala. Mjere zaštite od požara podrazumijevaju prikaz svih primijenjenih mjera uz dokaz ispunjenja temeljnog zahtjeva sigurnosti u slučaju od požara. Grafički dio projekta sadrži projektantsku situaciju s ucrtanim položajem građevine u prostoru, nacрте (tlocрте, presjeke) građevine, sheme tehničkih i/ili funkcionalnih sklopova i po potrebi 3D grafičke priloge (detalje).

## 6. IZGRADNJA INTEGRIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE INSTALIRANE SNAGE 30 kW NA KROVU POSTOJEĆEG OBJEKTA

### 6.1. Uvod

Integrirana fotonaponska elektrana je izgrađena na dvostrešnom krovu postojeće građevine u Osijeku u ulici Josipa Jurja Strossmayera 343 A. Orijentacija krovnih ploha je sjever-jug. Nagib krovnih ploha na južnoj strani na kojoj su postavljeni moduli je 17 stupnjeva. Uz fotonaponsku elektranu je instaliran i toplinski sustav za zagrijavanje tople vode. Solarni moduli toplinskog sustava smješteni su uz fotonaponske module.

Instalirana snaga fotonaponske elektrane iznosi 30 kW, dok je ukupna instalirana snaga fotonaponskih modula 32,50 kW. Sustav se sastoji od 130 fotonaponskih modula i jednim trofaznim izmjenjivačem snage 30 kW direktno sinkroniziranim za paralelan rad s postojećom mrežom.



Slika 6.1. Položaj integrirane fotonaponske elektrane [31]

## 6.2. Tehnički opis

Integrirana fotonaponska elektrana je projektirana da radi od 0 do 24 sata sve dane u godini, paralelno postojećoj mreži, a cijeli sustav je osmišljen da omogućava obračun proizvedene energije i prodaju po povlaštenoj tarifi, te je bitno da bude primjereno učinkovita u svim godišnjim dobima. Održavanje je svedeno na minimum uz eventualno povremeno pranje površine modula od prljavštine radi podizanja efikasnosti. Svi dijelovi i komponente su vrhunske kvalitete, pouzdanosti i životnog vijeka.

Uvjeti priključenja, tehnički zahtjevi za elektranu, ispitivanje i puštanje u probni rad će se izvršiti prema uvjetima iz prethodne elektroenergetske suglasnosti (PEES).

Za priključak elektrane koristit će se samostojeći priključno mjerni ormar (SPMO). Elektrana će se priključiti u samostojećem priključno mjernom ormaru (SPMO) kabelom NYY 4x35mm<sup>2</sup>.

Ormar SPMO predstavlja kontrolno mjerno mjesto i treba imati prozorčić za očitavanje brojila radi Korisnikovog uvida u stanje brojila, kako bi se mogla vršiti naplata proizvedene energije prema važećim zakonskim propisima.

Opći podaci integrirane fotonaponske elektrane:

1. Ukupna instalirana snaga fotonaponske elektrane: 30 kW
2. Ukupna instalirana snaga fotonaponskih modula: 32,50 kW.
3. Nazivni napon: 0.4 kV
4. Frekvencija: 50 Hz
5. Način rada s elektroenergetskom mrežom: paralelni pogon
6. Broj modula: 130
7. Broj izmjenjivača: 1 (30 kW)
8. Tipovi sistema vodiča pod naponom:
  - izmjenični trofazni s pet vodiča
  - istosmjerni s dva vodiča za DC razvod po nizu.
9. Tip razvodnog sistema u pogledu uzemljenja:
  - Sistem tip TN-S.
  - Neutralni i zaštitni vodič su odvojeni u cijeloj instalaciji osim u SPMO
  - Zaštitni vodiči su spojeni na zaštitnu sabirnicu u razvodnim ormarima
10. Karakteristike napajanja:
  - Spoj na niskonaponsku mrežu u ormaru SPMO kabelom NYY 4x35 mm<sup>2</sup>.
11. Obračunsko mjerenje:
  - Predviđeno je vlastito kontrolno mjerno mjesto u ormaru SPMO.

12. Zaštita od indirektnog dodira (previsokog dodirnog napona):

- Obavezno je izvođenje instalacija u TN-S sustavu za sve korisnike mreže na zajedničkom objektu, ako je jedan od korisnika mreže elektrana.

13. Isključenje napona u nuždi:

- Isključenje napona na AC strani izmjenjivača vrši se dovođenjem prekidača u električnom ormariću fotonaponske elektrane u beznaponsko stanje.

14. Upravljanje:

- Upravljanje fotonaponskom elektranom i njezinim izmjenjivačem za spoj na mrežu vrši se pomoću grebenastih sklopki u ormariću izmjenjivača tako da se može pojedinačno isključiti sekcija DC dovoda ili glavni spoj s mrežom. Ispravan rad signaliziran je lampicama i ekranom za prikaz bitnih tehnoloških parametara. Izmjenjivač je opremljen sustavom za podešavanje parametara, podacima o proizvedenoj energiji, grafovima i drugim podacima. Isto tako u ormariću fotonaponske elektrane moguće je na prekidaču odspojiti i odvojiti elektranu od mreže.

Osnovne komponente fotonaponskog sustava su fotonaponski moduli i izmjenjivač. Za polaganje kabela između fotonaponskih modula i izmjenjivača koristit će se kableske police, kanali i zaštitni profili. Istosmjerna instalacija izvedena je jednožilnim kabelima tipa SOLAR 1x6 mm<sup>2</sup>. Kabeli su predviđeni za međusobno povezivanje fotonaponskih modula i ugradnju na mjestima gdje se očekuje velika termička i mehanička naprezanja. Za spoj izmjenjivača s elektroenergetskom mrežom koristi se višežilni kabel NYY 4x35 mm<sup>2</sup>.

Konstrukcija i metalni dijelovi za nošenje kablova moraju biti izvedeni tako da s konstrukcijom i opremom čine jednu galvansku cjelinu.

Građevina ima postojeći sustav zaštite od udara munje LPS (engl. *lightning protection system*) i isti će se koristiti i dalje u tu svrhu. Metalna podkonstrukcija i fotonaponski moduli povezani su putem postojećih odvoda u zidu na postojeći temeljni uzemljivač. Svi metalni dijelovi koji pripadaju instalaciji zaštite od udara munje spajaju se na zajednički uzemljivač u temelju objekta.

### **6.2.1.Fotonaponski modul**

Za ugradnju su odabrani moduli tipa SCHÜCO MPE 250 PS 60 EA. Nazivna snaga modula je 250 Wp. Tehnologija proizvodnje je polikristalna tako da je kvaliteta i dugi životni vijek zajamčen. Ukupno će biti instalirano 130 modula i to u 3 grupe (3x2 niza po izmjenjivaču). Ugrađeni su u eloksirani aluminijski samonosivi okvir otporan na utjecaj okoline. Staklo je kaljeno zbog bolje otpornosti na udarce i tuču.

Tehnički podaci za modul SCHÜCO MPE 250 PS 60 EA:

- Maksimalna snaga  $P_{MPP}$ : 250 Wp
- Napon kod maksimalne snage  $U_{MPP}$ : 30,4 V
- Struja kod maksimalne snage  $I_{MPP}$ : 8,28 A
- Napon otvorenog kruga  $U_{ok}$ : 37,48 V
- Struja kratkog spoja  $I_{KS}$ : 8,71 A
- Maksimalni napon sustava  $U_m$ : 1000 V
- Temperaturni koeficijent napona  $\alpha_u$ : -0,42 % / °C
- Temperaturni koeficijent napona  $\beta_i$ : +0,06 % / °C
- Tolerancija izlazne maksimalne snage: + 5/-0 %
- Radna temperatura ćelije:  $46 \pm 2$  °C

Kod postavljanja konfiguracije grupa fotonaponskih modula mora se voditi računa o tome da napon u normalnom radu bude u granicama točke maksimalne snage pretvarača MPP. Isto tako se mora paziti da uslijed većeg broja paralelnih ulaza u pretvarač on ne bude strujno preopterećen.

U slučaju da imamo zasjenjenja fotonaponskog modula, konfiguraciju treba postaviti tako da zasjenjenje ima što manje utjecaja na proizvodnju. To se može postići grupiranjem zasjenjenih modula u posebnu grupu. Isto tako negativni efekti se mogu smanjiti i pravilnom orijentacijom modula s obzirom na prenosne diode.

### 6.2.2. Izmjenjivač

Zadatak izmjenjivača je pretvorba istosmjernog napona dobivenog iz fotonaponskih modula u izmjenični napon 3x230/400 V, 50 Hz.

Odabir izmjenjivača i dimenzioniranje treba uskladiti s konfiguracijom fotonaponskog polja (grupa modula) i planiranom maksimalnom izlaznom snagom  $P_{max(AC)}$ . Pri odabiru se mora voditi računa o graničnim naponskim i strujnim vrijednostima.

Snaga pretvarača u odnosu na instaliranu snagu fotonaponskog modula može se prilagoditi u ovisnosti da li se pretvarač koristi u sustavu koji prati kretanje Sunca ili fiksno postavljenim modulima.

Za ugradnju je odabran mrežno vođeni trofazni izmjenjivač nazivne snage 30 kW tip SCHÜCO SGI 30k-02 HOME s naprednim mogućnostima prikupljanja podataka, pogodan za ugradnju u unutrašnji ili vanjski prostor.

S obzirom na to da uređaj ima osjetljivu elektroničku opremu treba voditi računa o hlađenju ili grijanju istog tijekom godine.

Osnovni tehnički podaci su:

- $P_{\max}$  (DC): 37,5 kW
- MPP područje rada (DC): 350-800V
- $U_{\max}$  (DC): 1000V
- $I_{\max}$  (DC): 3x34A
- $P_{\max}$  (AC): 30 kW
- $U$  (AC): 230/400V
- $I_{\max}$  (AC): 43,5A
- Temperatura okoline: -20 do 60 °C
- Stupanj zaštite kućišta: IP 54
- Dimenzije: 840 x 1360 x 355 mm
- Masa: 151 kg
- Priključne stezaljke (DC): 10 mm<sup>2</sup> (maks.)
- Priključne stezaljke (AC): 50 mm<sup>2</sup> (maks.)

### 6.3. Proračuni

Kod postavljanja konfiguracije elektrane mora se voditi računa o maksimalnim vrijednostima struja i napona na ulazima izmjenjivača, kao i o nazivnim podacima fotonaponskog modula. Maksimalno dozvoljene vrijednosti se ne smiju prekoračivati kako ne bi dolazilo do ispada i kvarova na opremi. Isto tako se mora voditi računa o efikasnosti sustava tako da radno područje bude u rasponu maksimalnog iskorištenja snage  $P_{MPP}$ .

#### 6.3.1 Proračuni DC i AC krugova, dimenzioniranje kabela i zaštitne opreme

Pri dimenzioniranju istosmjernog kabela i zaštitnih elemenata treba uzeti u obzir sljedeće:

- izloženost vrlo visokim vanjskim temperaturama do 70°C i niskim do -20°C,
- izloženost UV zračenju, kiši i snijegu,
- vođenje kabela u snopu ili kabelskim policama (faktor polaganja), [19].

Kod izbora kabela i struje rastalnog osigurača moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

$$I_{KS} < I_o < I_d \quad (6-1)$$

$$1,4 \cdot I_{KS} \leq I_o \leq 2,4 \cdot I_{KS} \quad (6-2)$$



gdje je:

$I_{KS}$  - struja kratkog spoja fotonaponskog modula (A)

$I_d$  - trajno dopuštena struja kabela (A).  $I_d=70A$  (za jednožilni SOLAR 1x6 mm<sup>2</sup>)

$I_o$  - nazivna struja osigurača

Uvrštenjem tehničkih karakteristika fotonaponskog modula u izraze (6-1) i (6-2) dobivamo:

$$I_{KS} < I_o < I_d = 8,7 < 16 < 70 \quad [A]$$
$$1,4 \cdot I_{KS} \leq I_o \leq 2,4 \cdot I_{KS} = 12,18 \leq 16 \leq 20,88 \quad [A]$$

Iz izračuna je vidljivo da su oba uvjeta zadovoljena.

U serijskom spoju fotonaponskog modula maksimalni napon jednak je zbroju napona svih modula. Vrijednosti napona modula s natpisne pločice ili iz tehničkih podataka odnose se na standardne uvjete rada (zračenje 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1,5 i temperaturu 25°C). Provjera maksimalnog napona prikazana je sljedećim izrazom:

$$U_{ok(-T)} = U_{ok} \left( 1 - (25 - T) \cdot \frac{\Delta V\%}{100} \right) \cdot n \quad [V] \quad (6-3)$$

gdje je:

$U_{ok}$  - napon otvorenog kruga pod standardnim uvjetima rada

$\Delta V\%$  - temperaturni koeficijent modula koji obično iznosi od -0.30%/°C do -0,40 %/°C (negativni predznak)

$n$  - broj modula u seriji

Kod definiranja serija modula računa se da ni kod vrlo hladnih i sunčanih dana ne dođe do prekoračenja dozvoljenih granica napona. Tu uvijek treba ostaviti i malo rezerve, da ne bi dolazilo do nepotrebne prorade prenaponske zaštite (SPD). Prenaponska zaštita treba biti usklađena s maksimalnim vrijednostima istosmjernog napona izmjenjivača i sustava modula.

Prema preporukama i uputama proizvođača nazivni napon SPD-a treba biti za 20 posto viši od ukupnog napona niza kod otvorenog kruga na temperaturi 25°C, [19].

Uvrštenjem tehničkih karakteristika fotonaponskog modula u izraz (6-3) dobivamo:

$$U_{PH(-T)} = U_{PH} \left( 1 - (25 - T) \cdot \frac{\Delta V\%}{100} \right) \cdot n = 37,5 \left( 1 - (25 - (-25)) \cdot \frac{-0,29}{100} \right) \cdot 22 = 944 \quad [V]$$

Iz izračuna je vidljivo da će napon biti unutar dozvoljenih granica sustava (944 V < 1000 V).

U praksi se uzima gubitak snage na istosmjernim kabelima do 1 posto pod standardnim uvjetima rada. Kod provjere se odabire najnepovoljnija situacija (najudaljenija grupa modula). U proračun treba uzeti i spojne kabele na modulima koji su dugi do 2 m. Provjera gubitaka na istosmjernim kabelima prikazana je sljedećim izrazima:

$$P_{DCstring} = \frac{2 \cdot l \cdot I_{MPP}^2}{S \cdot K} \quad (6-4)$$

$$P_{max} = I_{MPP} \cdot U_{MPP} \cdot n \quad (6-5)$$

$$p = \frac{P_{DCstring}}{P_{max}} \cdot 100 \quad (6-6)$$

gdje je:

S - presjek vodiča (mm<sup>2</sup>) - odabran je kabel PV1-F 1x6mm<sup>2</sup>

K - specifična vodljivost (1/Ω),

l - maksimalna udaljenost (m)

Uvrštenjem tehničkih karakteristika fotonaponskog modula u izraz (6-6) dobivamo:

$$p = \frac{P_{DCstring}}{P_{max}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 50 \cdot 8,28^2}{6 \cdot 56} \cdot 100 = 0,39 \%$$

Iz izračuna je vidljivo da je gubitak snage manji od 1 %.

Dimenzioniranje niskonaponskog izmjeničnog kabela i opreme prema strujnom opterećenju za jednofazna i trofazna trošila prikazano je sljedećim izrazima:

$$I = \frac{P_v \cdot 10^3}{U_f \cdot \cos \varphi} \quad [A] \quad (6-7)$$

$$I = \frac{P_v \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \varphi} \quad [A] \quad (6-8)$$

gdje je:

P<sub>v</sub> – vršna snaga (W)

cosφ – faktor snage

U<sub>f</sub> – fazni napon (V)

U<sub>l</sub> – linijski napon (V)

Odabrani kabeli zadovoljavaju uvjete 6-9 i 6-10:

$$I_n < I_o < I_d \quad (6-9)$$

$$I_2 < 1,45 \cdot I_d \quad (6-10)$$

gdje je:

$I_n$  – nazivna struja u kabelu (A)

$I_2$  – struja koja osigurava pouzdano djelovanje zaštitnog uređaja (A)

Struju u kabelu računamo prema izrazu (6-8):

$$I = \frac{P_v \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \varphi} = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 45,58 \text{ A}$$

Prema izračunatoj struji kabela odabiremo osigurač nazivne struje 63 A zbog dodatne rezerve. Za kabel NYY 4x35 mm<sup>2</sup> trajno dopuštena struja kabela  $I_d$  iznosi 147 A i uvrštavanjem u izraz (6-9) uvjet je ispunjen.

$$I_n < I_o < I_d = 45,58 \text{ A} < 63 \text{ A} < 147 \text{ A}$$

Pad napona računamo da bude manji od 1 posto od izmjenjivača do ormara SPMO. U nekim slučajevima kada je napon mreže visok, veći pad napona na vodu može uzrokovati ispad elektrane ( $U_n + 11\%$ ). Pad napona prikazan je sljedećim izrazom:

$$u = \frac{0,0124 \cdot P \cdot l}{A} \quad [\%] \quad (6-11)$$

gdje je:

$u$  - pad napona na dionici (ormar SPMO-izmjenjivač) (%)

$l$  - dužina kabela (m)

$A$  - presjek kabela (mm<sup>2</sup>)

Uvrštenjem zadanih parametara u izraz (6-11) dobivamo:

$$u = \frac{0,0124 \cdot 30 \cdot 67}{35} = 0,71 \%$$

Zaštitu od indirektnog dodira računamo za minimalnu vrijednost struje greške prema zemlji. Ukoliko zaštita od indirektnog dodira ne zadovoljava, obvezna je ugradnja RCD sklopke karakteristike A. Iz proračuna je vidljivo da je pad napona manji od 1 posto i da odabrani kabel NYY 4x35 mm<sup>2</sup> zadovoljava.

### 6.3.2. Struja kratkog spoja na mjestu priključka fotonaponske elektrane

Osnova za izračun utjecaja elektrane na struju kratkog spoja su podaci o niskonaponskoj mreži. Maksimalna struja kratkog spoja izmjenjivača određena je tipom i snagom izmjenjivača, a može se vidjeti iz tehničkih podataka koje daje proizvođač. Ova vrijednost za predmetni izmjenjivač

iznosi 43,5A. Obzirom da u PEES nema podatka o trolnoj snazi kratkog spoja, nije moguće izračunati trolnu struju kratkog spoja na mjestu priključka.

### 6.3.3. Proračun visine novih hvataljki na postojećoj građevini

Hvataljke (Slika 6.2.) su postavljene po sljemenu na razmaku od 10 m kao i na najnižem dijelu krova s južne strane. Proračunom je dokazano da je dostatna zaštita postaviti hvataljke visine 0.7 m.

#### **Određivanje visine hvataljke pomoću metode kugle munje (kotrljajuće kugle) prema normi HRN EN 62305-3**

*Minimalna visina hvataljke može se točno odrediti pomoću metode kotrljajuće kugle. Za razliku od metode zaštitnog kuta, ova metoda omogućuje točan izračun visine hvataljke potrebne za zaštitu objekta. Polumjer kotrljajuće kugle određen je razinom zaštite*

Značenje obojanih polja:

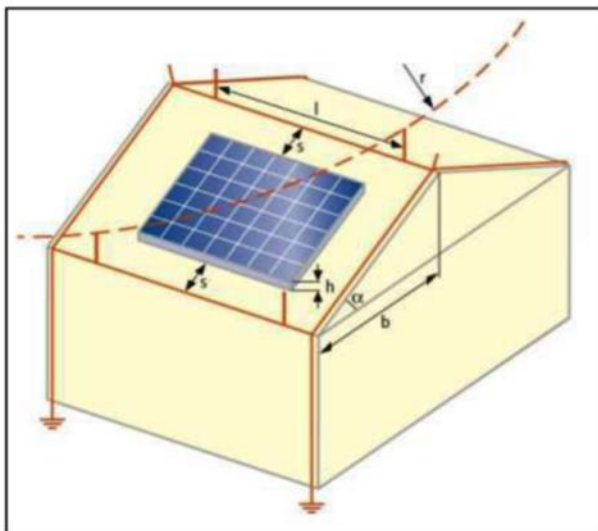
Polje za unos vrijednosti

Međurezultat

Konačni rezultat

#### **Proračun za 4 hvataljke na kosom krovu:**

(npr. kod solarnih panela na kući s kosim krovom)



Razina zaštite LPS-a= LPS IV

Polumjer kugle munje r= 60 m

Nagib krova  $\alpha$ = 17°

Udaljenost između dviju hvataljki l= 10,00 m

Razmak između viših i nižih hvataljki b= 12,00 m

Visina objekta h= 0,10 m

Minimalna visina hvataljke potrebna za zaštitu objekta:

hvataljka > 0,67 m

Slika 6.2. Određivanje visine hvataljke pomoću metode kugle munje [32]

### 6.3.4. Proračun proizvodnosti sustava, korištenjem programa PV\*SOLExpert



Location:	Osijek
Climate Data Record:	Osijek
PV Output:	32,50 kWp
Gross/Active PV Surface Area:	211,63 / 213,87 m <sup>2</sup>

PV Array Irradiation:	298.702 kWh
Energy Produced by PV Array (AC):	37.373 kWh
Grid Feed-in:	37.373 kWh
Yield Reduction Due to Shading:	0,9 %

System Efficiency:	12,5 %
Performance Ratio:	82,2 %
Inverter Efficiency:	95,9 %
PV Array Efficiency:	13,0 %
Specific Annual Yield:	1.148 kWh/kWp
CO <sub>2</sub> Emissions Avoided:	33.060 kg/a

The results are determined by a mathematical model calculation. The actual yields of the photovoltaic system can deviate from these values due to fluctuations in the weather, the efficiency of modules and inverters, and other factors. The System Diagram above does not represent and cannot replace a full technical drawing of the solar system.

Slika 6.3. Proračun proizvodnosti sustava [33]

### System in Grid Connected Operation

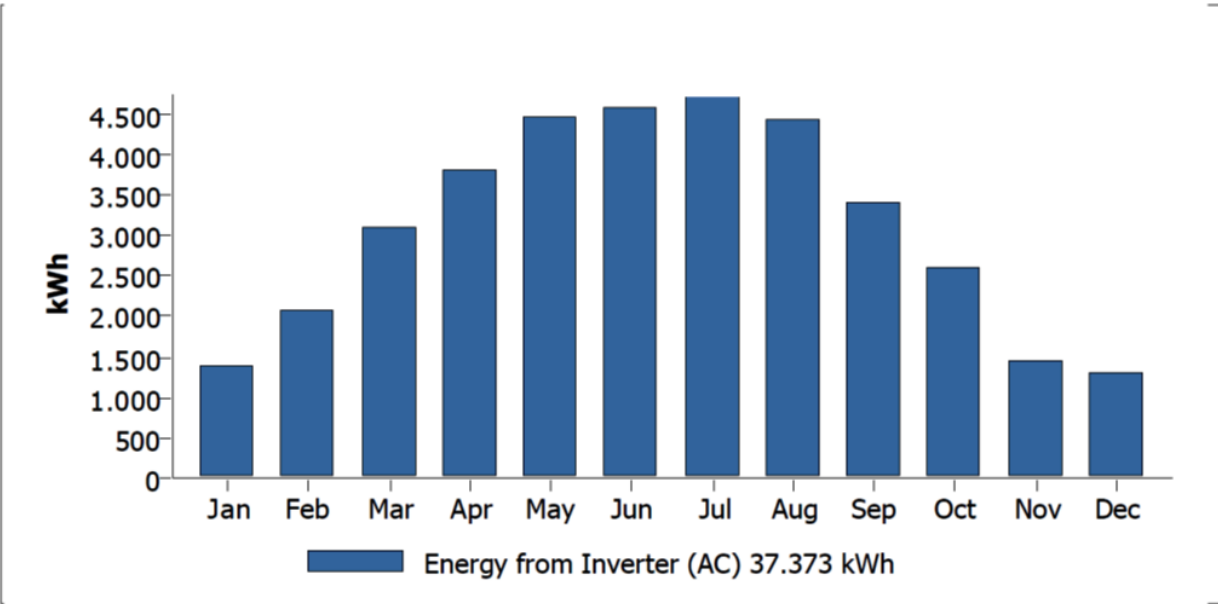
Location:	Osijek	PV Output:	32,50 kWp
Climate Data Record:	Osijek	Gross/Active PV Surface Area:	211,6 m <sup>2</sup> / 213,9 m <sup>2</sup>
Number of Arrays:	1		

### Array 1: System 1

Output:	32,50 kW	Ground Reflection:	20,0 %
Gross/Active Solar Surface Area:	211,6 m <sup>2</sup> / 213,9 m <sup>2</sup>	Output Losses due to... deviation from AM 1.5:	1,0 %
<b>PV Module</b>	130 x	deviation from Manufacturer's Specification:	2,0 %
Manufacturer:	SCHÜCO International KG	in Diodes:	0,5 %
Model:	MPE 250 PS 60 EA	due to Pollution:	0,0 %
Nominal Output:	250 W	<b>Inverter</b>	1 x
Power Rating Deviation:	0 %	Manufacturer:	SCHÜCO International KG
Efficiency (STC):	15,3 %	Model:	SGI 30k-02 Home
No. of Modules in Series:	21   22   22	Output:	30,00 kW
MPP Voltage (STC):	638   669   669 V	European Efficiency:	97,8 %
Orientation:	0,0 °	No. of MPP Trackers:	3
Inclination:	15,0 °	MPP Tracking:	350 V To 800 V
Mount:	with Ventilation		
Shade:	Yes		

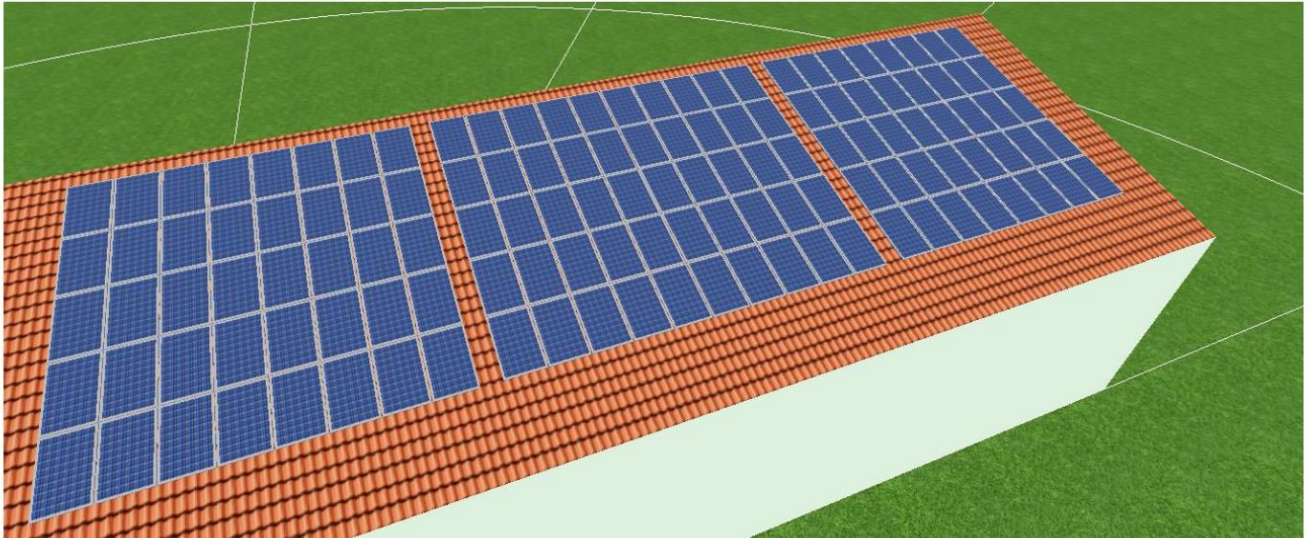
### Simulation Results for Total System

Irradiation onto Horizontal:	274.201 kWh	Own Use:	59,3 kWh
PV Array Irradiation:	298.702 kWh	Energy Produced by PV Array:	38.908 kWh
Irradiation minus Reflection:	283.190 kWh	System Efficiency:	12,5 %
Irradiation without Shade:	301.257 kWh	Performance Ratio:	82,2 %
Energy from Inverter (AC):	37.373 kWh	Final Yield:	3,1 h/d
Consumption Requirement:	0 kWh	Specific Annual Yield:	1.148 kWh/kWp
Energy from Grid:	59 kWh	Array Efficiency:	13,0 %

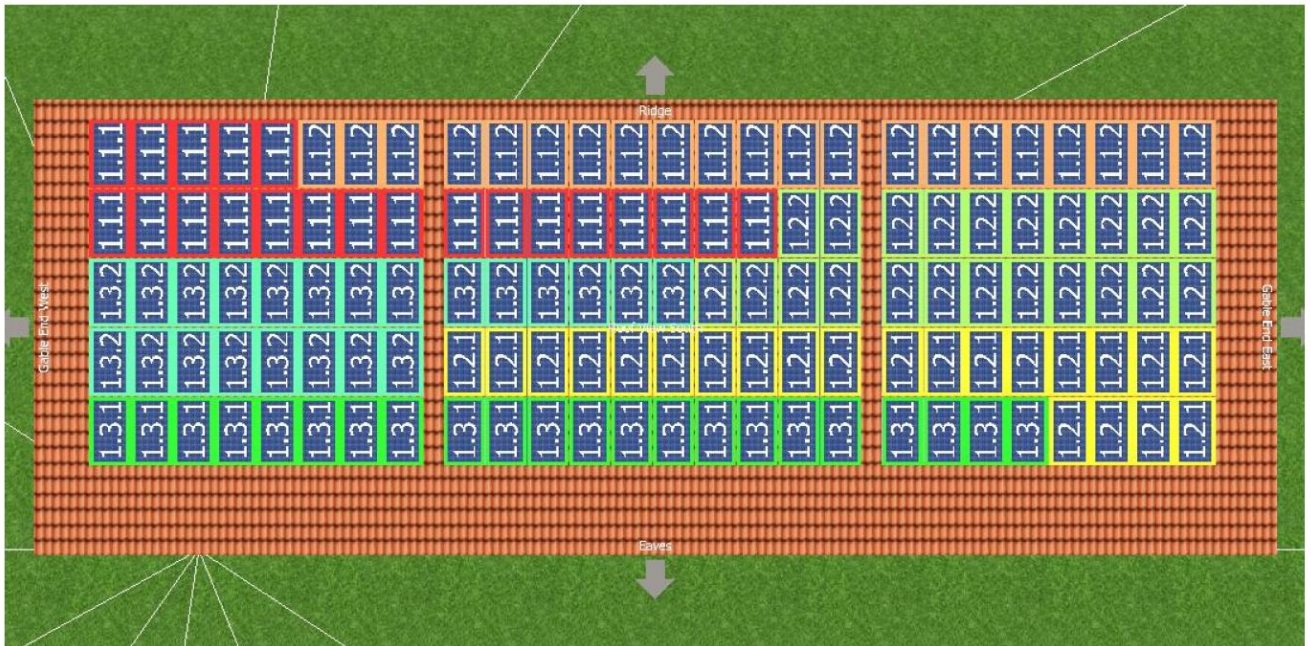


Slika 6.4. Proračun proizvodnosti sustava [33]

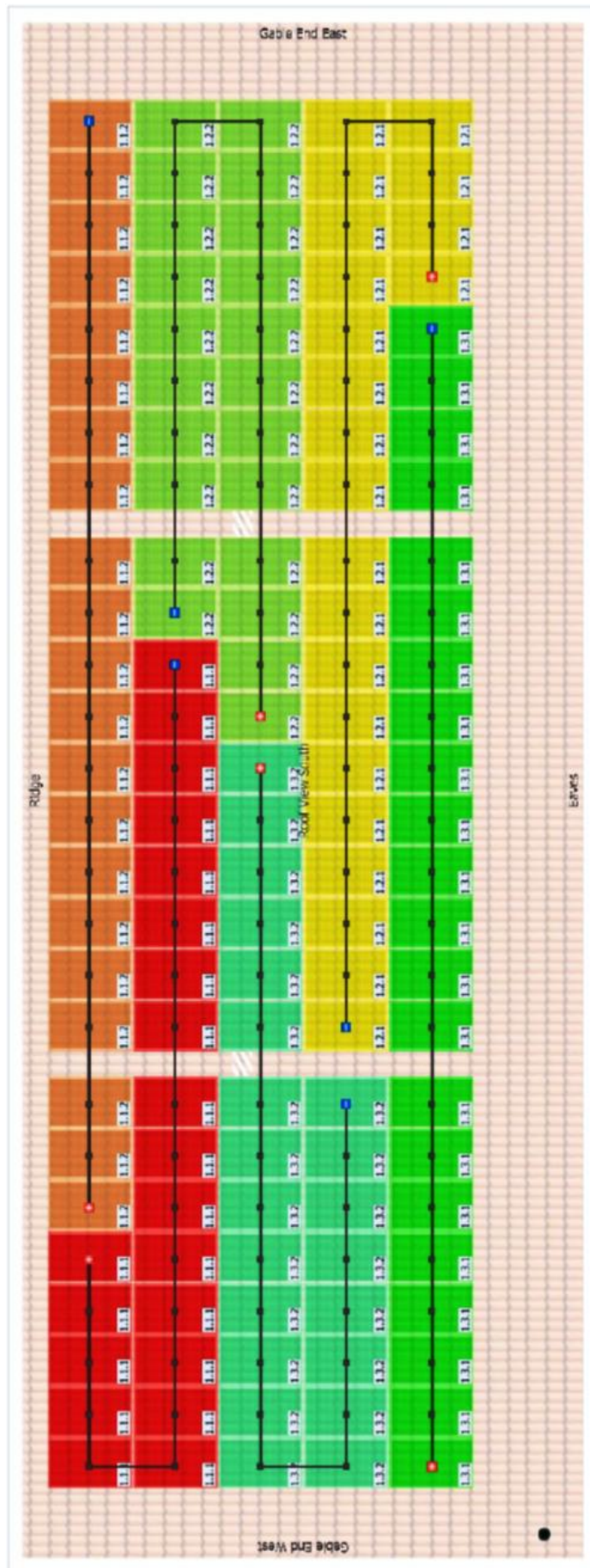




Slika 6.5. 3D vizualizacija [33]



Slika 6.6. Dispozicija modula na krovu [33]



Slika 6.7. Plan kabliranja fotonaponskih modula modula [33]



## 6.4. Program kontrole i osiguranja kvalitete

Program kontrole i osiguranja kvalitete kako se navodi u [35] „mora sadržavati pregled i specificirana svojstva svih građevnih i drugih proizvoda te predgotovljenih elemenata koji se ugrađuju u građevinu, kao i opis potrebnih ispitivanja i/ili postupaka i zahtijevanih rezultata kojima se dokazuje sukladnost s propisima odnosno projektom, ispunjavanje temeljnih zahtjeva i tražena kvaliteta.“

Uvjeti obuhvaćeni programom kontrole su:

- kontrola materijala koji se ugrađuju u građevinu,
- kontrola izvođenja radova,
- kontrola usklađenosti s projektnom dokumentacijom,
- ispitivanja tijekom građenja i prije početka uporabe građevine,
- pravovremeno otklanjanje uočenih nedostataka,
- popis dokumentacije o izvršenim radovima

Tehnička svojstva bitna za građevinu su:

- Pouzdanost - fotonaponska elektrana treba biti izvedena i održavana da pouzdano radi tijekom svog životnog vijeka od minimalno 25 god.
- Mehanička otpornost i stabilnost - fotonaponska elektrana u tijeku građenja i uporabe, neće dovesti do rušenja, oštećenja i velikih deformacija na građevini
- Zaštita od požara - tijekom održavanja treba pregledati stanje sustava zaštite od udara munje, stanje ožičenja i spojeva i elemente zaštite od strujnog preopterećenja.
- Higijena, zdravlje i zaštita okoliša – fotonaponska elektrana ne predstavlja prijetnju za okoliš, sigurnost i zdravlje ljudi tijekom svog životnog vijeka.
- Sigurnost u korištenju – fotonaponsku elektranu može održavati ovlaštena osoba za održavanje.
- Zaštita od buke – buka koju emitira fotonaponska elektrana ne predstavlja prijetnju zdravlju ljudi.
- Odstupanje od bitnih zahtjeva za građevinu - izgradnja elektrane ne smije narušiti bitna svojstva građevine na koju se postavlja.

## **6.5. Posebni tehnički uvjeti gradnje i način zbrinjavanja građevnog otpada**

Projektant je dužan u projektu prikazati rješenja posebnih tehničkih uvjeta gradnje i način gospodarenja građevnim otpadom koji nastaje tijekom građenja, kao i rješenja posebnih tehničkih uvjeta za zbrinjavanje građevnog otpada.

Obveze iz posebnih tehničkih uvjeta gradnje:

- radovi na građevini se moraju izvesti sukladno grafičkim priložima prema, tekstualnom opisu i troškovniku.
- izvođač radova je dužan upozoriti investitora i nadzornog inženjera na sve eventualne nedostatke u glavnom projektu koji bi mogli ugroziti sigurnost građevine, živote i zdravlje ljudi.
- svi radovi moraju biti kvalitetno izvedeni.
- izvođač radova je dužan voditi građevinski dnevnik tijekom trajanja građevinskih radova.

Obveze iz posebnih tehničkih uvjeta gospodarenja građevnim otpadom:

- izvođač radova je dužan voditi nadzor u smislu nekontroliranog odbacivanja otpada tijekom izvođenja radova.
- završetkom izgradnje građevine, otpad se odlaže na prikladna mjesta i cijeli prostor u području radova se mora dovesti u stanje sličnom prije početka radova.

## **6.6. Projektirani vijek fotonaponske elektrane i uvjeti održavanja**

Fotonaponske elektrane i pripadajuće elektrotehničke instalacije imaju projektirani vijek trajanja od 25 godina uz uvjet redovnog godišnjeg održavanja. Pod održavanjem se podrazumijeva pregled modula na krovu, kabela i izmjenjivača.

## **6.7. Prikaz tehničkih rješenja zaštite od požara**

Pod tehničkim rješenjem zaštite od požara smatra se pravilan odabir opreme i vodova na temelju tehničkih specifikacija i proračuna i korištenje unutar granica propisanih vrijednosti. Takva projektirana i odabrana ne predstavlja rizik od nastanka požara. Zaštita vodova i električnih trošila od preopterećenja i kratkog spoja izvedena je osiguračima i prekidačima tako da ne postoji mogućnost nastanka požara zbog zagrijavanja uzrokovanog povećanom strujom. Na početku kablenskog voda ugrađuje se nadstrujna zaštita odabrana prema rezultatima proračuna i čija je nazivna struja manja od dopuštenih struja kabela pri čemu se osigurava uspješno djelovanje zaštite u trenutku kada strujno opterećenje prijeđe nazivnu vrijednost. Sva ugrađena

zaštita je odabrana da sve struje kratkog spoja prekida trenutno i time se sprječava naglo razvijanje toplinske energije.

Kao glavni prekidač ugrađuje se kompaktni niskonaponski prekidač tipa B, četveropolni, nazivne struje 63 A i nazivne prekidne moći 15 kA. Zaštita od električnog udara te kao dodatna zaštita (zaštita od požara) je osigurana ugradnjom RCD sklopke (63/0.3 A, 4p, tip A) koja reagira na sinusne struje i na pojavu istosmjernih struja greške koje nastupaju iznenada ili polaganim rastom. U razdjelni ormar se ugrađuju i odvodnici prenapona koji se ponašaju kao nelinearni otpori čiji se iznos mijenja u zavisnosti od veličine napona. Odvodnik prenapona uz vrlo velike struje održava uvijek konstantan napon i osim amplitude nailazećeg naponskog vala smanjuje i njegovu strminu. Ugrađeni odvodnik prenapona je razreda II, nazivne struje odvodnje 25 kA i napona aktiviranja 1,5 kV. U razdjelni ormar je ugrađena četveropolna sklopka s kratkospojnikom od 63 A i 160 A (osigurač-rastavna sklopka). Osigurač-rastavne sklopke su niskonaponski sklopni aparati koji omogućavaju sigurno uklapanje i isklapanje električnih strujnih krugova pod teretom, ovisno o naponu i kategoriji upotrebe, a osnovna namjena im je zaštita električne opreme od kratkog spoja i preopterećenja.

U slučaju požara na fotonaponskoj elektrani, ispitivanjima je utvrđeno da je prisutan opasan električni napon odnosno struja, jer i nakon isključenja struje na izmjenjivaču fotonaponski moduli proizvode struju (fotonaponski moduli prilikom direktnog Sunčevog zračenja ne mogu biti isključeni). Ukoliko dođe do požara na fotonaponskim modulima ili u njihovoj blizini, gašenje požara se provodi s aparatima za početno gašenje ugljičnim dioksidom i prahom. Gašenje većih požara izvodi se vodom pridržavajući se propisane udaljenosti od električne instalacije.

## **6.8. Troškovnik**

Proračunom troškova radi se izračun svih potencijalnih troškova opreme i radova. Troškovnik (Slika 6.8) se sastoji se od proračuna troškova fotonaponskih modula, izmjenjivača, montaže modula na konstrukcije, izmjeničnog i istosmjernog ožičenja, instalacije uzemljenja i izjednačenja potencijala, mjerenja i ispitivanja instalacije. Razvodni ormari sastoje se od kućišta s vratima i pripadajućim elementima i opremom kao što su odvodnici prenapona, glavne sklopke, diferencijalne sklopke četveropolne sklopke s kratkospojnikom i trofaznog brojila, te ostalog materijala poput sabirnica, uvodnica kabela i slično. Fotonaponske module i izmjenjivač odabiremo prema ukupnoj instaliranoj snazi fotonaponske elektrane. Konstrukcija za module se izrađuje sukladno površini i količini fotonaponskih modula. Izmjenično ožičenje se odnosi na

montažu energetskih kabela od razvodnog ormara do izmjenjivača, a istosmjerno ožičenje od izmjenjivača do fotonaponskih modula na krovu. Za instalaciju uzemljenja, izjednačenja potencija i zaštitu od udara munje u izračun troškova se uzima traka za uzemljenje metalne konstrukcije za montažu modula, hvataljke i odvodi, vodič za uzemljenje kabljskih nosača, odgovarajuće križne spojnice i drugo. U ukupnom izračunu zbrajaju se svi troškovi i na njih se dodaje porez na dodatnu vrijednost (PDV).

Kategorija	količina	jed. mjera	Opis opreme i radova	ukupno
Module	130	kom	MPE 240 PG 04	€ 23.400,00
				€ 23.400,00
pretvarači	1	kom	SGI 30K 02 HOME	€ 5.760,00
				€ 5.760,00
Monitoring	1	kom	SUNALYZER WEB PR	€ 522,24
				€ 522,24
Montaža	44	kom	Bazni profil 130	€ 1.247,40
	210	VE	OT-KH TYP 43-2	€ 450,90
	100	VE	OT-KH TYP 43-1	€ 166,32
	400	VE	DA PFANNE 10.1/PV2	€ 2.916,00
	400	VE	ONETURN 18 / 100ERVE	€ 438,48
	40	VE	KOPPLUNGSSTUECK-4	€ 135,00
	104	VE	ABRU.SICHERUNG / 100	€ 151,20
			€ 5.505,30	
DC-ožičenje	10	kom	SOLARLEITUNG6 SW/100	€ 561,60
	10	VE	MC-T4 BUCHSEN 10/20	€ 28,08
	10	VE	MC-T4 STECKER 10/20	€ 23,40
	30	kom	GAK 5-1	€ 465,66
			ugradba	
			troškovi AC strana	
			trafostanica	
			papirologija	
			priključak Hep	
			€ 1.078,74	
			<b>€ 36.266,28</b>	

<b>SVEUKUPNO (bez PDV-a):</b>	$36.266,28 * 7,51 = 272.359,76 \text{ kn}$
<b>PDV 25%:</b>	$= 68.089,75 \text{ kn}$
<b>SVEUKUPNO SA PDV-om:</b>	$= 340.449,70 \text{ kn}$

Slika 6.8. Troškovnik fotonaponske opreme [34]

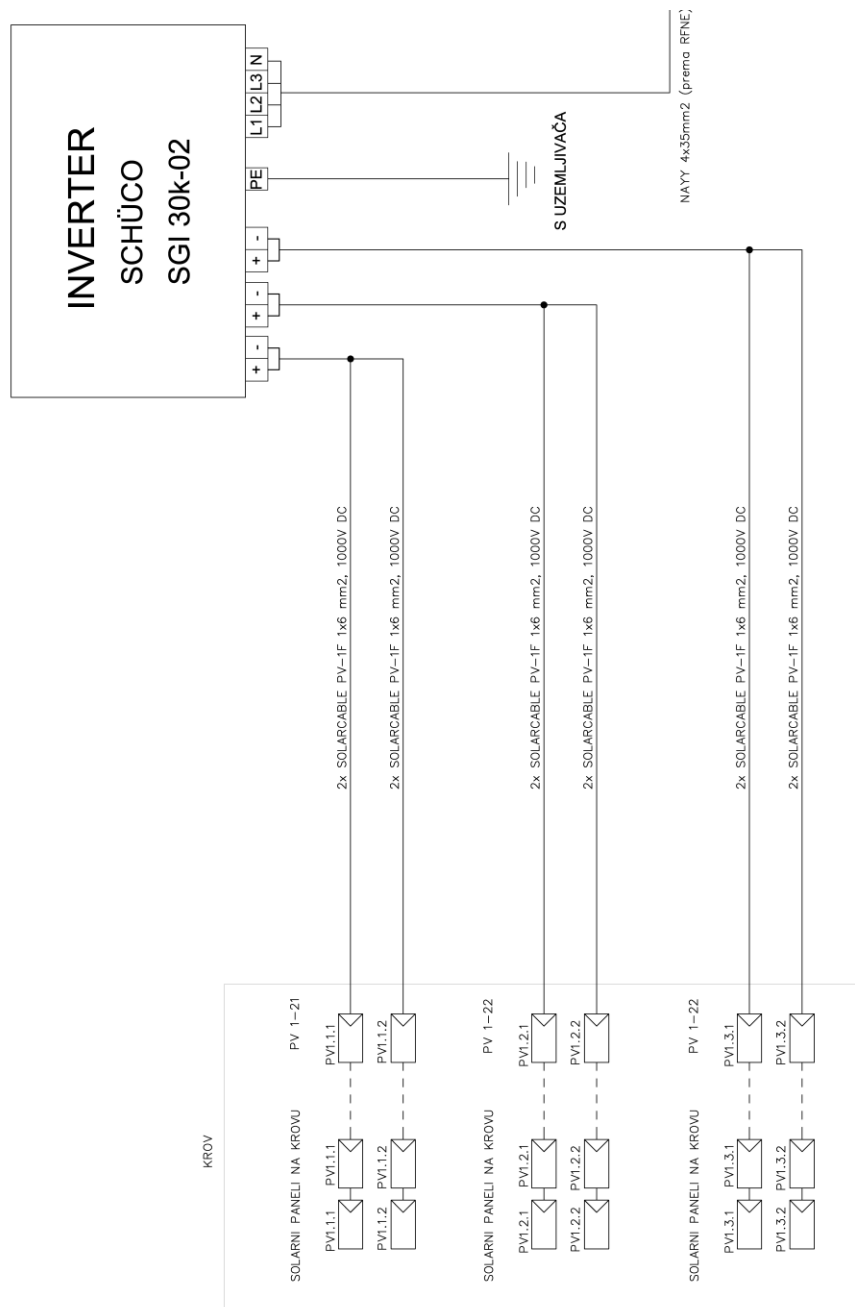
## 6.9. Grafički dio

Grafički dio projekta sadrži situacijski nacrt kojim se prikazuje položaj građevine u prostoru, izvedbu konstrukcije fotonaponske elektrane na krovu građevine, raspored fotonaponskih modula na krovu građevine, blok shemu fotonaponske elektrane, jednopolnu shemu

samostojećeg priključno mjernog ormarića (SPMO) i jednopolnu shemu razdjelnika fotonaponske elektrane (RFNE)

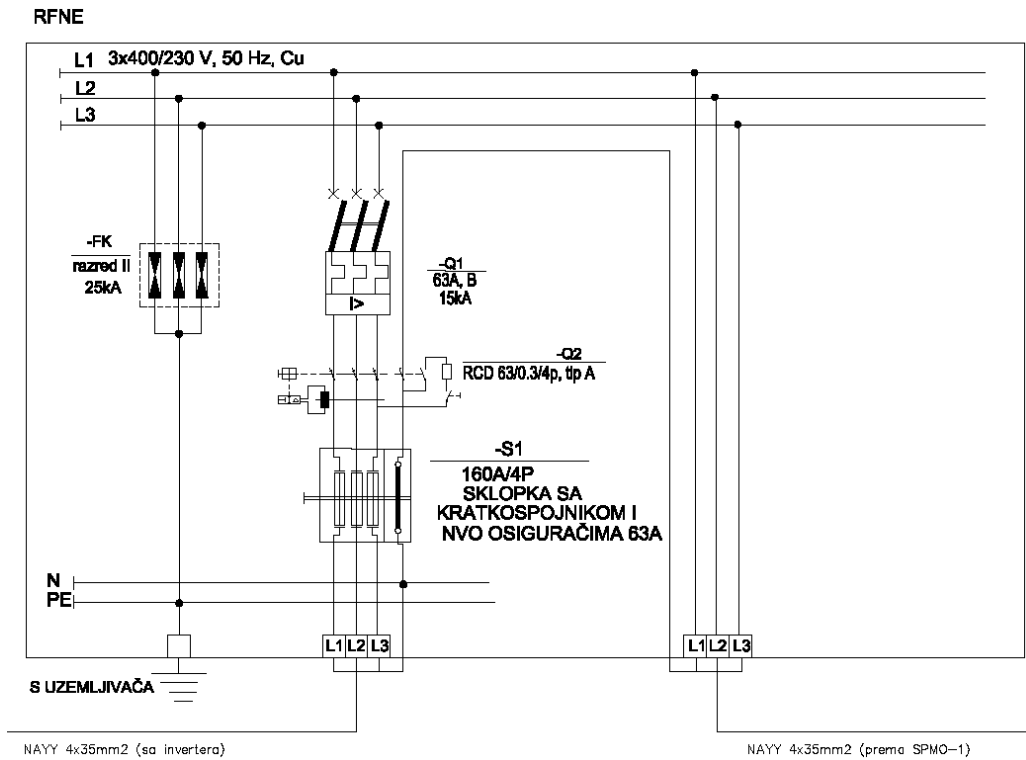
Situacijski nacrt projektirane građevine prikazuje položaj katastarske čestice, odnosno položaj fotonaponske elektrane na građevini, a nacrt konstrukcije fotonaponske elektrane na krovu građevine nam prikazuje izgled konstrukcije koja se postavlja na kosi ili ravni krov s jednostrukim ili dvostrukim nosačima ili na zemlju. Raspored fotonaponskih modula na krovu građevine nam prikazuje plan kabliranja fotonaponskih modula tj. povezivanje u isti niz (Slika 6.6. i Slika 6.7.).

Blok shema fotonaponske elektrane (Slika 6.9.) predstavlja pojednostavljeni prikaz modula, kabela, izmjenjivača i razvodnih ormara odnosno cijelog fotonaponskog sustava i omogućava na jednostavniji način princip rada cijelog sustava. Simbolima se prikazuju svi dijelovi postrojenja ili uređaja i ostalih komponenti sustava.

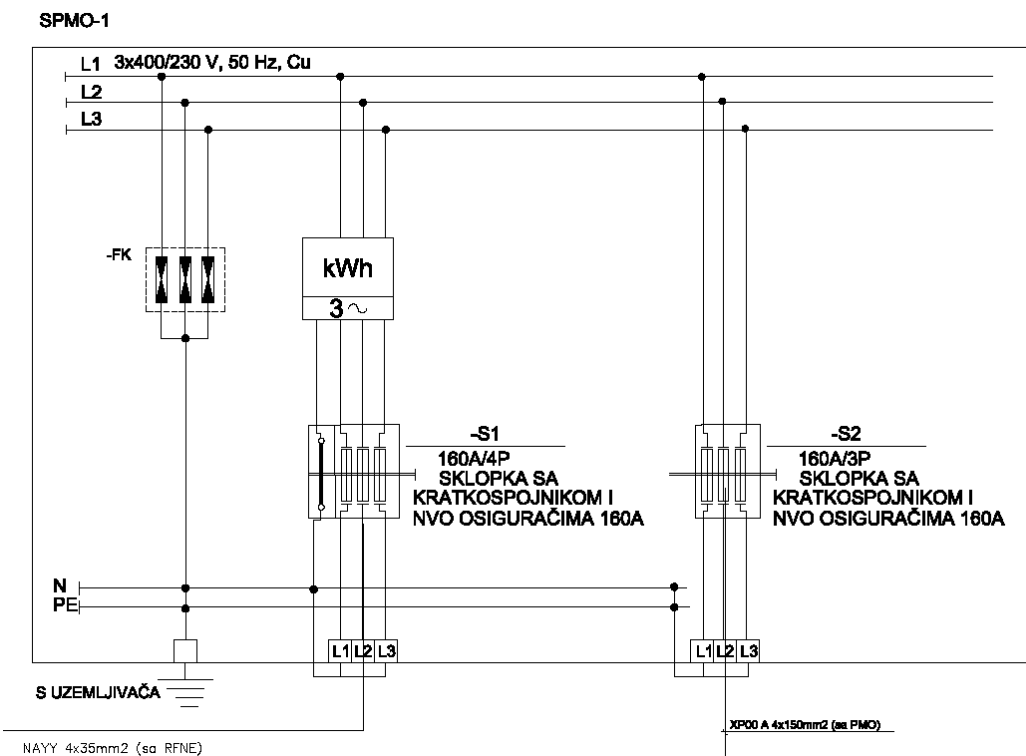


Slika 6.9. Primjer blok sheme fotonaponske elektrane [34]

Jednopolna shema razvodnih ormara prikazuje sve strujne krugove i elemente ugrađene u razvodni ormar. U razvodne ormare se ugrađuju odvodnici prenapona (razred II, 25 kA), glavna sklopka (4P, 63A, krivulja B, 15 kA), RCD sklopka (63/0.3/ A,4p, tip A), četveropolne sklopke s kratkospojnikom od 63 A i 160 A i trofazno brojilo. Na slici 6.10 i 6.11 može se vidjeti primjer jednopolne sheme razvodnog ormara fotonaponske elektrane (RFNE) i jednopolne sheme samostojećeg priključno mjernog ormarića SPMO-1.



Slika 6.10. Primjer jednopolne sheme razvodnog ormara fotonaponske elektrane (RFNE) [34]



Slika 6.11. Primjer jednopolne sheme samostojećeg priključno mjernog ormarića SPMO-1 [34]

## 7. ZAKLJUČAK

Energija Sunčevog zračenja je neograničeno obnovljiv izvor energije koji pristiže svakodnevno na Zemlju i čija je količina energije dovoljna da se zadovolji potreba za energijom cijelog čovječanstava.

Proizvodnjom energije iz obnovljivih izvora smanjuje se emisija CO<sub>2</sub>, povećava se samoodrživost i sigurnost elektroenergetskog sustava, potiče se razvoj gospodarstva i otvaranje novih radnih mjesta.

U svrhu pretvaranja energije Sunčevog zračenja u električnu energiju se koriste fotonaponski sustavi koji izravno i trenutno pretvaraju energiju Sunčevog zračenja u električnu bez upotrebe fosilnih goriva i emisije štetnih plinova.

Unatoč velikom razvoju tehnologije u posljednjih nekoliko godina, izgradnja fotonaponske elektrane još uvijek zahtijeva veća financijska izdvajanja, a fotonaponska tehnologija je još uvijek relativno skupa u odnosu na neobnovljive izvore energije. Razvojem i usavršavanjem fotonaponske tehnologije očekuje se pad cijena i povećanje učinkovitosti fotonaponskog sustava. Projektiranje fotonaponskog sustava zahtijeva dobro poznavanje fotonaponske tehnologije, klimatskih specifičnosti same lokacije i zakonske regulative, a izgradnja fotonaponske elektrane predstavlja dugoročno isplativu investiciju.



## 8. LITERATURA

- [1] Damir Šljivac, Zdenko Šimić: Obnovljivi izvori energije, 2009.g.
- [2] Zakon o energiji (Narodne novine 120/2012, 014/2014, 102/2015 )
- [3] Lajos Jozsa: Energetski procesi i elektrane, udžbenik ETF Osijek, 2006.g.
- [4] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/2015, 111/2018)
- [5] Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske (NN 130/2009)
- [6] Zakon o biogorivima za prijevoz (NN 65/2009, 145/2010, 26/2011, 144/2012, 14/2014, 94/2018, 52/2021)
- [7] Leksikografski zavod Miroslav Krleža,  
URL: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=64995>, 1.10.2020.g
- [8] Srpak, D., Stijačić, S., Šumiga, I. Izgradnja sunčane elektrane na studentskom restoranu u Varaždinu  
URL: [https://bib.irb.hr/datoteka/789753.tj\\_8\\_2014\\_4\\_433\\_437.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/789753.tj_8_2014_4_433_437.pdf) , 20.3.2021.g
- [9] Marko Perčić, Bernard Franković: Solarna energija u priobalnom području Republike Hrvatske – danas i sutra
- [10] HEP-ODS  
URL: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>, 15.5.2021.g
- [11] Uredba o kvotama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (NN 057/2020)
- [12] Zdeslav Matić: Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske-Priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja, EIHP, Zagreb, ožujak 2007.
- [13] Ljubomir Majdandžić. Fotonaponski sustavi, Priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu
- [14] Sektorske analize, Ekonomski institut Zagreb, prosinac 2019.g, broj 73, godina 8: Energetika: obnovljivi izvori energije
- [15] HROTE d.o.o. Sustav poticanja OIEIK u RH – godišnji izvještaj za 2019. godinu
- [16] Ljubomir Majdandžić: Solarni sustavi, Graphis d.o.o., Zagreb, 2010.
- [17] Fotonaponski sustavi, REA Kvarner d.o.o., Rijeka, siječanj 2012. godine.
- [18] Schrack: Fotonaponski otočni sustavi, drugo prošireno izdanje, siječanj 2019.g
- [19] Fotonaponske elektrane: Upute za projektiranje, stručni seminar HKIE, Branko Vidaković, travanj.2013.g.

- [20] Planning and Installing Photovoltaic Systems, The German Solar Energy Society, James & James/ Earthscan, United Kingdom, 2005
- [21] Tihomir Pehar: Smjernice za izradu projektne dokumentacije fotonaponskog sustava spojenog na elektroenergetsku mrežu, Zagreb, listopad 2009.g
- [22] Otočni fotonaponski sustav, Goran Oreški, Zagreb, rujan 2008.g
- [23] Prirodoslovna lepeza za mlade znanstvenike – suvremena nastava za izazove tržišta, Energija sunca i fotonaponske ćelije.  
URL:<http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/>, 20.3.2021.g
- [24] Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (NN 116/2018, 60/2020)
- [25] HEP-ODS, Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu veljača. 2018.
- [26] Zakon o gradnji (NN 153/2013, 020/2017, 039/2019, 125/2019)
- [27] Pravilnik o obveznom sadržaju idejnog projekta (NN 118/2019, 65/2020)
- [28] Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20)
- [29] HROTE d.o.o, Kratki vodič kroz zakonodavni okvir i administrativnu proceduru za proizvodnju električne energije iz sunčanih elektrana koje se smatraju jednostavnim građevinama
- [30] mr.sc. Marina Čavlović, dipl.ing.el., Pojednostavljeni postupak priključenja sunčane elektrane kao jednostavne građevine. Seminar: Male sunčane elektrane u novim zakonodavnim i regulacijskim uvjetima u Hrvatskoj, Zagreb, 18. prosinca 2012.
- [31] GEOPORTAL  
URL:<https://geoportal.dgu.hr/> 2.5.2021.g
- [32] Programski alat: DEHN SUPPORT
- [33] Programski alat: PV\*SOLExpert
- [34] Elektrotehnički projekt- Izgradnja integrirane sunčane elektrane instalirane snage 30 kW na krovu postojećeg objekta, Projektant: Darko Rudvald, mag.ing.el. srpanj 2013.g
- [35] Pravilnik o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevina (Narodne novine 118/2019, 065/2020)

## 9. SAŽETAK

Tema diplomskog rada je projektiranje obnovljivih izvora energije, a cilj ovog diplomskog rada je upoznati se s načinima pretvorbe sunčeve energije u električnu energiju te komponente od kojih se sastoji fotonaponski sustav.

Prvi dio rada se odnosi na energiju koju dobivamo iz Sunca i način na koji se ta energija pretvara u električnu. U radu su opisane su osnovne teorije rada fotonaponskih ćelija, fotonaponskih modula, fotonaponskih sustava i svi koraci koje korisnik mreže treba proći s HEP-ODS-om u postupku priključenja elektrane na distribucijsku mrežu: od izdavanja temeljnih dokumenata, sklapanja ugovora do izdavanja suglasnosti na dokumente korisnika mreže.

Zadnji dio rada obrađuje solarnu elektranu u Osijeku i njezine karakteristike.

Ključne riječi: energija sunčevog zračenja, fotonaponske ćelije, fotonaponski moduli, fotonaponski sustavi

### ABSTRACT

The topic of this thesis is the design of renewable energy sources, and the aim of this thesis is to get acquainted with the ways of converting solar energy into electricity and this component of which the photovoltaic system consists.

The first part of the work is related to the energy that we get from the Sun and ways in which this energy is converted to electricity. The paper describes the basic theories of photovoltaic cells, photovoltaic modules, photovoltaic systems and all steps that network user must take with the HEP-ODS in the process of connecting the power plant to the distribution network: the issue of fundamental documents, contracts, the issue for approval for the network user's studies and documents.

The last part of the paper cover the solar power plant in Osijek and its characteristics.

Keywords: solar radiation energy, photovoltaic cells, photovoltaic modules, photovoltaic systems

## 10. ŽIVOTOPIS

Davor Jurić rođen je 11. kolovoza. 1988. godine u Osijeku. Osnovnu školu završava 2003. godine, iste godine upisuje se u Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku, smjer elektroenergetika. 2007. godine je maturirao sa odličnim uspjehom. Iste godine upisuje se na Preddiplomski studij Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, smjer elektrotehnika. 2012. upisuje se na Diplomski studij Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, smjer elektroenergetika. Od 2015.g se zapošljava kao suradnik na projektiranju elektrotehničkih instalacija. Aktivni je član Dobrovoljnog vatrogasnog društva Gornji Grad i ima čin vatrogasnog časnika. Član je interventne specijalističke postrojbe civilne zaštite Republike Hrvatske (ISP CZ RH) za spašavanje iz ruševina koja djeluje u sastavu Državne uprave za zaštitu i spašavanje (DUZS). Oženjen, otac jednog djeteta.