

# Postavljanje i održavanje fotonaponskih elektrana

---

**Tadić, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:200:655992>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**

*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 studij**

**MONTAŽA I ODRŽAVANJE FOTONAPONSKIH  
ELEKTRANA**

**Završni rad**

**Nikola Tadić**

**Osijek, 2024.**

**SADRŽAJ**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Opis zadatka .....</b>	<b>1</b>

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za ocjenu završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Nikola Tadić
Studij, smjer:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer
Mat. br. pristupnika, god.	A4689, 29.07.2021.
JMBAG:	0165092090
Mentor:	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	dr. sc. Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva 1:	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
Član Povjerenstva 2:	dr. sc. Željko Špoljarić
Naslov završnog rada:	Postavljanje i održavanje fotonaponskih elektrana
Znanstvena grana završnog rada:	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
Zadatak završnog rada:	Rezervirano za: Nikola Tadić
Datum ocjene pismenog dijela završnog rada od strane mentora:	18.09.2024.
Ocjena pismenog dijela završnog rada od strane mentora:	Vrlo dobar (4)
Datum obrane završnog rada:	09.10.2024.
Ocjena usmenog dijela završnog rada (obrane):	Izvrstan (5)
Ukupna ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio stručni prijediplomski studij:	10.10.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMATIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 10.10.2024.

**Ime i prezime Pristupnika:**

Nikola Tadić

**Studij:**Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer  
Elektroenergetika**Mat. br. Pristupnika, godina  
upisa:**

A4689, 29.07.2021.

**Turnitin podudaranje [%]:**

4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Postavljanje i održavanje fotonaponskih elektrana**

izrađen pod vodstvom mentora Zorislav Kraus, dipl. ing. el.

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 pristupnika:

<b>2. PREGLED PODRUČJA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. OPREMA ZA MONTAŽU FOTONAPONSKIH ELEKTRANA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Konstrukcija za fotonaponske elektrane .....</b>	<b>4</b>
<b>4. PROCES IZGRADNJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Planiranje i projektiranje fotonaponske elektrane.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Instalacija fotonaponskih modula i elektroopreme .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.1 DC ormar .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2 AC ormar .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Spajanje elektrane i puštanje u rad .....</b>	<b>25</b>
<b>5. ODRŽAVANJE FOTONAPONSKIH ELEKTRANA.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Redovito održavanje i inspekcija.....</b>	<b>28</b>
<b>5.2 Preventivno i korektivno održavanje .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3 Upravljanje performansama i optimizacija .....</b>	<b>31</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>33</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>34</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>35</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>36</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>36</b>

# 1. UVOD

U današnjem svijetu, u kojem se energija iz obnovljivih izvora sve više priznaje kao ključna za održivi razvoj, fotonaponske elektrane igraju sve značajniju ulogu u proizvodnji električne energije. Ove elektrane, koje koriste solarnu energiju za generiranje električne energije, omogućuju smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i doprinose smanjenju emisije stakleničkih plinova. Uvođenje fotonaponskih sustava u energetske mreže, bilo da se radi o malim kućnim instalacijama ili velikim komercijalnim projektima, zahtijeva precizno planiranje, stručno projektiranje i pažljivu implementaciju. Stoga, razumijevanje svakog koraka u procesu, od odabira opreme do finalne inspekcije, ključno je za uspjeh svakog fotonaponskog projekta.

Ovaj rad pruža detaljan pregled svih aspekata izgradnje fotonaponskih elektrana, s posebnim naglaskom na proces montaže i puštanja u rad. Uvodno poglavlje obuhvaća osnovne zadatke i ciljeve istraživanja, dajući kontekst za razumijevanje složenosti i važnosti pojedinih faza izgradnje. Sljedeće poglavlje daje pregled trenutnog stanja tehnologije i razvoja u području solarne energije, pružajući uvid u trendove i izazove koji utječu na dizajn i implementaciju fotonaponskih sustava.

Kako bi se postigla maksimalna učinkovitost i sigurnost, rad detaljno razmatra tehničke aspekte, uključujući odabir i instalaciju opreme, kao i kritične komponente poput DC i AC ormara. Proces izgradnje fotonaponskog sustava obuhvaća sve korake, od planiranja i projektiranja, preko instalacije modula i elektroopreme, do spajanja elektrane i njenog puštanja u rad. Održavanje i optimizacija sustava također su ključni za dugoročnu pouzdanost i učinkovitost, te će biti obrađeni kroz smjernice za redovito i preventivno održavanje. Kroz ovaj rad, cilj je pružiti sveobuhvatan vodič za uspješnu implementaciju fotonaponskih elektrana, od prvotne ideje do konačne operativne faze.

## **1.1 Opis zadatka**

Cilj ovog rada je detaljno istražiti i dokumentirati proces izgradnje fotonaponskih elektrana, s naglaskom na ključne korake od planiranja do puštanja u rad. Rad će obuhvatiti sve aspekte implementacije, uključujući odabir opreme, instalaciju solarnih modula, te montažu i konfiguraciju DC i AC ormara. Pritom će se analizirati tehnički zahtjevi, preporučene prakse za sigurno kabliranje i zaštitu, te metode za optimizaciju performansi sustava. Osim toga, rad će pružiti smjernice za održavanje i inspekciju kako bi se osigurala dugoročna pouzdanost i učinkovitost fotonaponske elektrane.

## 2. PREGLED PODRUČJA

Literatura [2] pruža sveobuhvatan pregled obnovljivih izvora energije koji su danas široko primjenjivani, ali taj pregled smješta u kontekst cjelokupnog energetskeg sustava. Naime, jedan od ključnih problema u pristupu većine onih koji se, čak i s najboljim namjerama, bave obnovljivim izvorima energije, jest taj što se često fokusiraju na pojedine oblike obnovljivih izvora ili, u rijetkim slučajevima, na cjelinu tih izvora. Međutim, vrlo rijetko (gotovo nikada) promišljaju o integraciji tih izvora unutar kompletnog energetskeg sustava, gdje bi obnovljivi izvor trebao biti smješten ili već djeluje. Vrijednost pojedinog obnovljivog izvora ovisi upravo o tome koliko doprinosi povećanju vrijednosti (u najširem smislu) cjelokupnog energetskeg sustava u kojem se razmatra.

U radu [4] opisani su fotonaponski sustavi s praćenjem kretanja Sunca te različite vrste fotonaponskih modula. Rad se fokusira na teorijsku usporedbu proizvodnje električne energije između fiksnih i pokretnih fotonaponskih modula. Kako bi se olakšalo razumijevanje tih sustava, objašnjen je proces generiranja električne energije, a prikazan je i laboratorijski postav korišten za testiranje programa za praćenje Sunčevog kretanja. Dodatno, za bolje razumijevanje logike rada programa, detaljno su opisani njegovi sastavni dijelovi, metode funkcioniranja te načini upravljanja pomoću Arduino mikroupravljača.

Knjiga [5] obrađuje suvremene aspekte i izazove elektroenergetskeg sustava, koji je danas jedan od najvažnijih, najutjecajnijih, najsloženijih i najskupljih tehničkih sustava. Sam tehnološki proces izuzetno je zahtjevan, počevši od osiguravanja prirodnih izvora energije, preko njihove prerade, proizvodnje i prijenosa, sve do distribucije krajnjim korisnicima. Dodatni izazov predstavlja problem zagađenja okoliša, koji je vrlo osjetljiv u kontekstu ovih procesa. Knjiga je strukturirana u jedanaest poglavlja koja pokrivaju teme poput energije i energetskeg sustava, elektroenergetske bilance, vrednovanja elektrana, razvoja i planiranja sustava, utjecaja na okoliš, cijena energenata, liberalizacije tržišta te organizacije i problema slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj. Također je obrađen informacijski sustav i baze podataka.

Knjiga [10] namijenjena je kao literatura za tehnologije proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Osim studentima, korisna je i stručnjacima u području energetike. Njezin sadržaj temelji se na predavanjima održanim na FERIT-u u Osijeku, koja su se razvijala u okviru studijskih programa elektrotehnike, posebno unutar smjera elektroenergetike. Predavanja su



započela kao izborni kolegij pod nazivom "Dopunski izvori energije," a s vremenom su se razvila u popularan kolegij diplomskog studija prema bolonjskom sustavu.

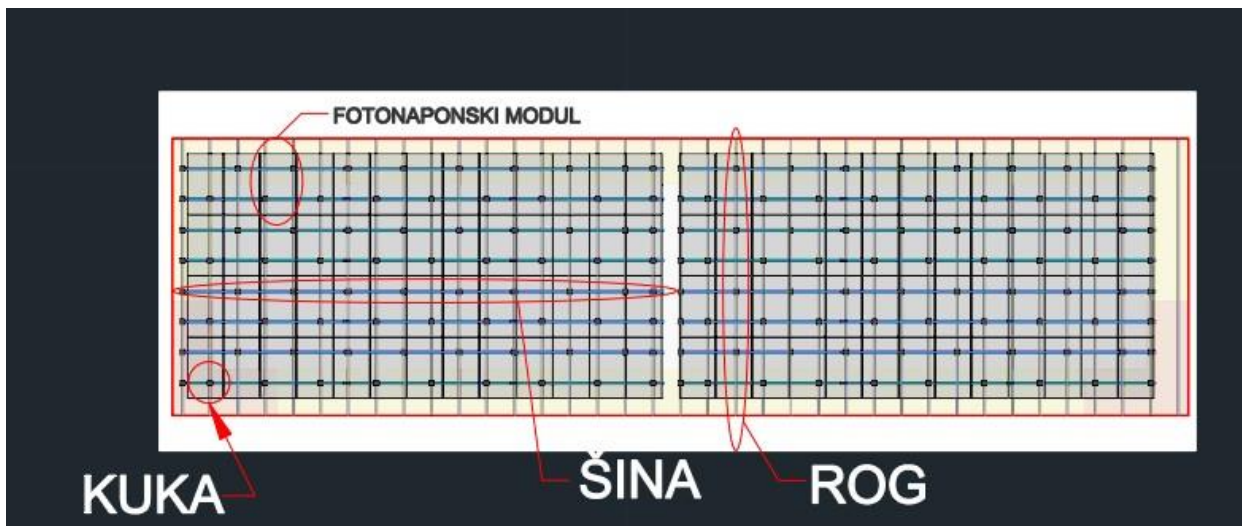
### **3. OPREMA ZA MONTAŽU FOTONAPONSKIH ELEKTRANA**

Vrste opreme za montažu fotonaponskih elektrana bitna je za učinkovitu i sigurnu instalaciju solarnih sustava. Prva kategorija uključuje PV module i njihove nosače, koji su temeljni elementi za prikupljanje sunčeve energije. Odabir odgovarajućih nosača osigurava stabilnost i optimalan kut nagiba modula prema suncu. Druga važna komponenta su inverteri i pretvarači, koji pretvaraju istosmjernu struju proizvedenu modulima u izmjeničnu struju pogodnu za korištenje u kućanstvima i mreži. Kabeli i konektori predstavljaju most između svih električnih komponenti, osiguravajući siguran i efikasan prijenos energije. Osim osnovnih komponenti, prateća oprema poput sustava za utemeljenje, alata za montažu te sigurnosne opreme igraju ključnu ulogu u procesu instalacije. Pravilna integracija svih ovih elemenata ključna je za postizanje maksimalne učinkovitosti i dugotrajnosti fotonaponskih elektrana (Majdandžić, 2012).

#### **3.1 Konstrukcija za fotonaponske elektrane**

Montiranje PV modula zahtijeva pažljivo planiranje i odabir nosača, koji osiguravaju optimalan kut nagiba i stabilnost strukture. Konstrukcije mogu biti prilagođene za krovne instalacije, gdje se moduli postavljaju na krovne konstrukcije, ili za zemljišne instalacije, gdje su moduli postavljeni na tlo pomoću temelja ili vijaka (Majdandžić, 2012). Krovne instalacije mogu biti izazovne zbog ograničenog prostora i potrebe za dodatnim ojačanjima krovne konstrukcije. Krovne konstrukcije se razlikuju prema tipu krovne površine. Najčešći tipovi krovnih površina su crijep, trapezni lim, ravni krov.

Za instalaciju fotonaponskih modula na krovove prekrivene crijepom, najčešće se koriste specijalizirani kuke koji se pričvršćuju na nosive dijelove krova, kao što su rogovi. Proces uključuje podizanje određenih crijepova kako bi se pristupilo konstrukcijskom okviru krova, gdje se postavljaju kuke. Zatim se crijep vraća na mjesto, a kuke ostaju ispod crijepa, osiguravajući stabilnost bez narušavanja vodonepropusnosti krova. Postoje različiti tipovi nosača, uključujući kuke i šine, koji su dizajnirani da odgovaraju specifičnim vrstama i oblicima crijepa (T., 2017).



Slika 3.1 Prikaz fotonaponske elektrane na crijepu u software-u



Slika 3.2 Prikaz postavljanja kuka na rog

Prilikom postavljanja kuka za fotonaponske elektrane za krovne površine s crijepom potrebno je bušiti kuku u rog krova vidljivo iz slike 3.2 kako bi kuka mogla biti stabilna i kako vjetrovi ili bilo koja nepogoda ne bi mogla izbiti kuku iz krova slika 3.3.



*Slika 3.3 Prikaz postavljanja kuka na krov*

Nakon postavljanja kuka na krovnu površinu vidljivo iz slike 3.3 potrebno je spojiti kuke sa šinama na koje se postavljaju fotonaponski moduli prikazano na slici 3.4. nakon postavljanja svih šina i kabliranja DC kabela postavljaju se moduli na prije navedene šine i stabiliziraju se sa kopčama prikazano na slici 3.5.



*Slika 3.4 Prikaz postavljanja pod konstrukcije na krov*



*Slika 3.5 Prikaz postavljenih fotonaponskih modula na krov*

Krovovi prekriveni trapeznim limom su vrlo česti u industrijskim, komercijalnim, ali i nekim stambenim objektima zbog njihove izdržljivosti, niske cijene i relativno jednostavne instalacije. Trapezni limovi su metalni krovni moduli s profiliranim valovima koji im daju dodatnu čvrstoću (Šljivac, 2019/2020). Ovi krovovi su iznimno otporni na vremenske uvjete, a njihova lagana struktura omogućuje jednostavnu ugradnju na različite vrste objekata. Zbog metalne prirode trapeznog lima, krovovi s ovakvim prekrivačem imaju izvrsnu nosivost, što ih čini pogodnim za ugradnju fotonaponskih modula. Za ugradnju fotonaponskih modula na trapezne limove koriste se specijalizirani kuke koji su dizajnirani da se lako pričvrste na profile lima (M., 2014).

Konstrukcija uključuje postavljanje nosača direktno na vrh valovitog profila trapeznog lima prikazano na slici 3.6 , gdje se koriste samonosivi vijci ili šine koje se pričvršćuju na više točaka duž lima. Vijci su obično opremljeni brtvama koje osiguravaju vodonepropusnost na mjestima gdje se probija lim. Nakon postavljanja konstrukcije jednostavno se fotonaponski modul stavlja na konstrukciju i stabiliziraju s kopčama (Šljivac, 2019/2020).



*Slika 3.6 Prikaz postavljene konstrukcije za trapezni lim*



*Slika 3.7 Prikaz postavljene fotonaponskih modula za trapezni lim*

Ravni krovovi, iako se najčešće koriste na industrijskim, komercijalnim, ali i modernim stambenim objektima, predstavljaju posebne izazove i prilike za instalaciju fotonaponskih elektrana. Za razliku od krovova s nagibom, ravni krovovi ne omogućuju prirodnu odvodnju vode, što zahtijeva posebnu pažnju u dizajnu nosivih struktura kako bi se spriječilo nakupljanje vode i eventualna oštećenja. Njihova prostrana i otvorena površina čini ih idealnim za postavljanje velikih fotonaponskih sustava bez prevelike brige o sjenama, ali također zahtijeva sustav koji može podnijeti specifične opterećenja vjetra (Majdandžić, 2012).

Krovne fotonaponske elektrane najčešće koriste teške betonske blokove ili druge balastne materijale kako bi se konstrukcija fotonaponskih modula stabilizirala bez potrebe za probijanjem krova. Balastni sustavi su popularni jer minimalno ometaju krovnu membranu i smanjuju rizik od curenja vode. No, važno je pažljivo proračunati težinu balasta kako bi se osiguralo da krov može podnijeti dodatno opterećenje, posebno u područjima s visokim opterećenjem snijegom ili jakim vjetrovima.

Montaža fotonaponskih sustava na ravnim krovovima nudi nekoliko značajnih prednosti. Ravne površine omogućuju fleksibilnost u postavljanju modula, omogućujući instalaciju većeg broja modula bez komplikacija oko nagiba krova. Ovi sustavi također omogućuju lakši pristup za

održavanje i inspekciju, što je ključno za dugoročno učinkovito funkcioniranje elektrane (Majdandžić, 2012).



*Slika 3.8 Prikaz postavljene podkonstrukcije za fotonaponskih modula na ravnom krovu*



*Slika 3.9 Prikaz postavljene fotonaponskih modula na ravnom krovu*

Zemljišne instalacije često koriste statičke nosače koji fiksiraju module pod optimalnim kutom prema Suncu, ali sve više se koriste sustavi za praćenje Sunca (tracking systems) koji



omogućuju modulima da se okreću tijekom dana kako bi pratili putanju Sunca i time maksimizirali proizvodnju energije.

Fiksni sustavi, gdje su solarni moduli postavljeni pod određenim kutom prema jugu, najčešće su rješenje zbog svoje jednostavnosti i nižih troškova ugradnje. Ovi sustavi, iako jednostavni, zahtijevaju precizno određivanje optimalnog kuta nagiba modula kako bi se postigla maksimalna izloženost sunčevom zračenju tijekom cijele godine. Korištenjem softverskih alata za simulaciju solarne energije moguće je optimizirati dizajn, uzimajući u obzir lokalne klimatske uvjete i geografske specifičnosti lokacije (M., 2014).

Jedan od izazova kod fiksnih sustava je smanjenje učinkovitosti tijekom zimskih mjeseci, kada je sunčeva svjetlost slabija i dolazi pod manjim kutom. Ipak, uz pravilno dimenzioniranje i planiranje, gubici se mogu minimizirati. Također, tijekom projektiranja potrebno je voditi računa o eventualnim preprekama koje bi mogle bacati sjenu na module, kao što su drveće ili obližnje građevine, te osigurati da su moduli postavljeni na dovoljnoj visini kako bi se izbjeglo zasjenjenje tijekom različitih dijelova dana.

Orijentacija prema jugu predstavlja balans između maksimalne proizvodnje energije i ekonomičnosti projekta, čineći ovaj pristup optimalnim za većinu solarnih instalacija na zemlji.

Osim toga, izbor materijala nosača je kritičan za dugotrajnost instalacije, pa se koriste materijali otporni na koroziju poput aluminijske ili pocinčanog čelika. Važno je osigurati da kuke mogu izdržati ekstremne vremenske uvjete, uključujući snažne vjetrove i snijeg, kako bi se izbjegli kvarovi i oštećenja modula. Kvalitetna instalacija PV modula i njihovih nosača osigurava maksimalnu učinkovitost i dugotrajnost fotonaponskog sustava (ODS, 2024).



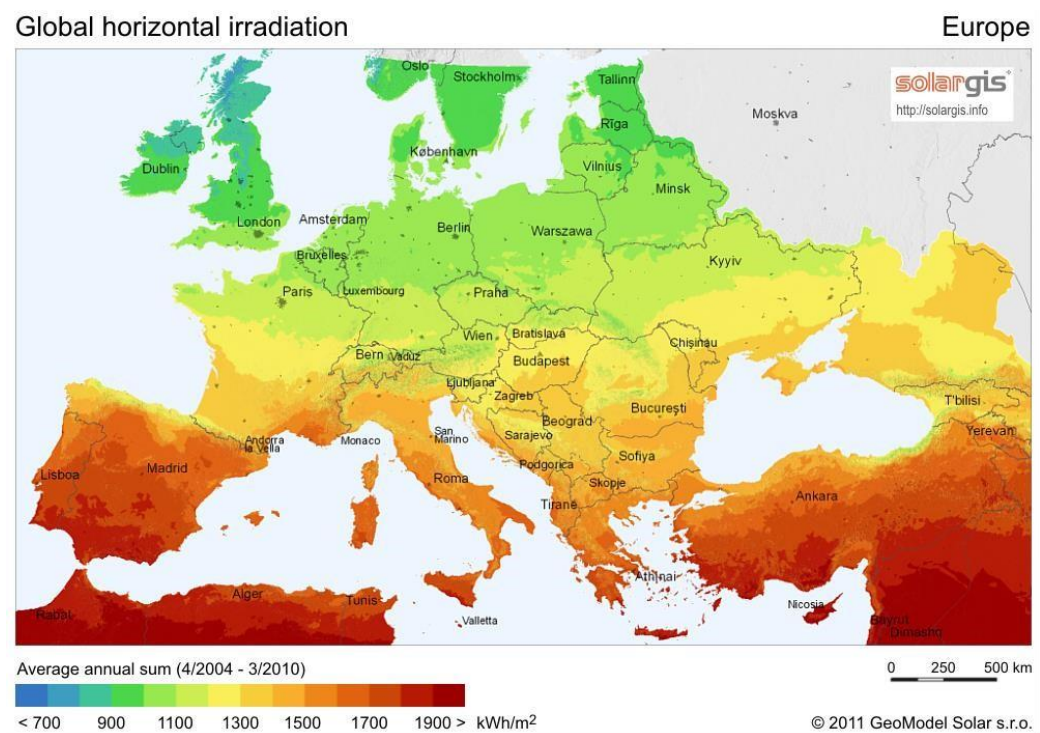
*Slika 3.10 Prikaz postavljanja pod konstrukcije fotonaponskih modula na zemlji*



*Slika 3.11 Prikaz postavljanja fotonaponskih modula na zemlji*

## 4. PROCES IZGRADNJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA

Montaža fotonaponskih elektrana predstavlja ključni korak u implementaciji solarnih sustava za proizvodnju električne energije. Ovaj proces uključuje niz aktivnosti koje zahtijevaju precizno planiranje, stručno znanje i pažljivo izvođenje kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost i dugotrajnost sustava. Jedan od prvih izazova u procesu izgradnje je pravilno planiranje i projektiranje. Ovo uključuje izbor optimalne lokacije koja ima dovoljno sunčeve svjetlosti, procjenu solarnih resursa te dimenzioniranje fotonaponskih modula i prateće opreme. Bez adekvatnog planiranja, sustav može imati smanjenu učinkovitost, što može dovesti do povećanih troškova i smanjene isplativosti. Odabir najbolje lokacije za postavljanje solarne elektrane se može videti na slici 4.1.



Slika 4.1 Prikaz iradijacije sunca u Europi [101]

Nakon faze planiranja i projektiranja slijedi instalacija fotonaponskih modula i opreme. Ova faza je tehnički zahtjevna jer uključuje montažu PV modula na nosive strukture, postavljanje invertera, kabliranje i povezivanje svih komponenti. Kvaliteta instalacije izravno utječe na performanse sustava. Loše izvedena instalacija može uzrokovati tehničke probleme kao što su gubici u prijenosu energije, pregrijavanje ili čak uzrokovati kvarove.



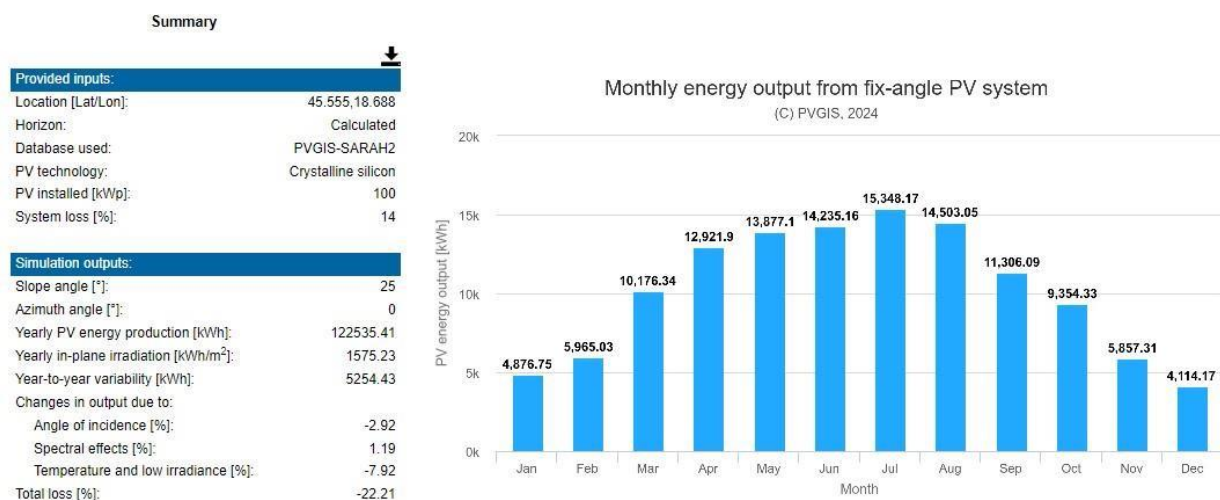
*Slika 4.2 Prikaz instaliranih fotonaponskih modula*

Posljednji korak u montaži je povezivanje sustava na električnu mrežu i puštanje u rad. Ovo uključuje provjeru svih spojeva, sigurnosne inspekcije i testiranje sustava kako bi se osiguralo da sve radi ispravno. Također je potrebno provesti potrebne procedure za odobrenje priključenja na mrežu od strane nadležnih tijela. Sigurnosne mjere i pravilno testiranje ključni su za izbjegavanje potencijalnih problema kao što su kratki spojevi, preopterećenja i druge tehničke poteškoće (T., 2017).

Planiranje i projektiranje, instalacija fotonaponskih modula i opreme, te povezivanje i puštanje u rad - zajedno čine cjeloviti pristup montaži fotonaponskih elektrana. Svaka faza ima svoje specifične izazove i zahtjeve, ali zajednički cilj im je postizanje učinkovite i pouzdane solarne elektrane koja će proizvoditi čistu energiju dugi niz godina. Kroz detaljno razmatranje svake od ovih faza, ovaj rad će pružiti sveobuhvatan uvid u kompleksnost i važnost pravilne montaže fotonaponskih sustava (T., 2017).

## 4.1 Planiranje i projektiranje fotonaponske elektrane

Planiranje i projektiranje fotonaponskih elektrana predstavlja ključnu fazu u implementaciji solarnih sustava, koja postavlja temelje za njihovu učinkovitost i dugotrajnost. Ova faza uključuje niz tehničkih izazova koji zahtijevaju duboko razumijevanje kako solarnih tehnologija, tako i šireg energetskeg sustava (Jeršek, 2019). Prvi korak u planiranju je izbor lokacije. Optimalna lokacija mora imati odgovarajuću količinu sunčevog zračenja, minimalnu sjenu i dovoljno prostora za instalaciju potrebnih komponenti. Korištenje alata za procjenu solarnih resursa, poput PVGISa, omogućuje preciznu analizu potencijala lokacije. Što se može vidjeti na slici 4.3.



Slika 4.3 Prikaz godišnje proizvodnje elektrane od 100 kW na području Osijeka preko programa PVGIS

Nakon odabira lokacije, slijedi projektiranje sustava koje uključuje dimenzioniranje fotonaponskih modula, invertera i prateće opreme. Ovdje je ključna optimizacija između maksimalnog iskorištenja solarne energije i ekonomičnosti projekta. Mora se uzeti u obzir niz faktora kao što su kut nagiba modula, orijentacija prema jugu (ili optimalnoj smjeru za maksimalno zračenje), te izbor odgovarajuće tehnologije modula (monokristalni, polikristalni,). Također, potrebno je odabrati prave invertore koji će efikasno pretvarati istosmjernu struju iz modula u izmjeničnu struju pogodnu za mrežu. Prilikom projektiranja je bitno uzeti u obzir 4 vrste proračuna (Solargis, 2024).

1. Prva vrsta proračuna je proračun uparivanja fotonaponskih modula i izmjenjivača relacijom:

$$U_{max} = n * U_{oc} \quad (4-1)$$

prema (Šljivac, 2019/2020), a gdje su:

- $U_{max}$  – Najveći napon koji generira najnepovoljniji niz FN modula na ulazu izmjenjivača [V],
- $U_{oc}$  – napon otvorenog kruga jednog FN modula [V]

Nakon izračuna napona treba se dobiti maksimalna struja unutar jednog niza što se prikazuje formulom [21]:

$$I_{max} = m * I_{sc} \quad (4-2)$$

prema (Šljivac, 2019/2020), a gdje su:

- $I_{max}$  – Najveća struja niza [A],
- $I_{sc}$  – Struja kratkog spoja [A],
- $m$  – broj paralelno spojenih nizova na ulazu izmjenjivača,

Nakon proračuna dobivenih iznosa provjerava se jesu li navedeni iznosi unutar okvira podatkovnih tablica fotonaponskih modula i invertera

2. Druga vrsta proračuna je proračun električnog razvoda i presjek vodiča koji se dobije relacijom:

$$I = \frac{P_V}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} \quad (4-3)$$

prema (Šljivac, 2019/2020), gdje su:

- $I$  – najveća struja izmjeničnog kruga [A],
- $P_V$  – Vršna snaga [W],

Nakon izračuna struje određuje se presjek istosmjernog kabela relacijom[21]:

$$S_m = 1 \frac{U_{mpp}^m * I_{st} * \chi}{100} \quad (4-4)$$

prema (Šljivac, 2019/2020), gdje su:

- $S_m$  – presjek istosmjernog kabela [mm<sup>2</sup>],
- $l_m$  – udaljenost najnepovoljnijeg niza [m],
- $I_{st}$  – Struja niza [A],
- $U_{mpp}$  – napon niza [V],
- $\chi$  – specifična vodljivosti [m/Ω] (što je to, ima li to drugi naziv? Mjerna jedinica? U svim formulama),

Računa se pad napona vodova izmjenične strane izmjenjivača koristeći relaciju:

$$U = \frac{100 * P_V * l}{\chi * S * U_2} \% \quad (4-5)$$

prema (Šljivac, 2019/2020), gdje su:

- $U$  – Pad napona[V],
- $P_V$  – Vršna snaga [W] ,
- $l$  – duljina vodiča za najnepovoljniji vod [m],
- $\chi$  – faktor vodljivosti [m/Ω],
- $S$  – presjek izmjeničnog vodiča [mm<sup>2</sup>]
- $U$  – linijski napon (400 V)

3. Treća vrsta proračuna je proračun električne zaštite koji se dobije relacijom:

$$Z_s = \frac{2 * l}{\chi * S} \quad (4-6)$$

prema (Jeršek, 2019), a gdje su:

- $Z_s$  – impedancija petlje kvara [ $\Omega$ ],
- $l$  – duljina vodiča najnepovoljnijeg strujnog kruga [m],
- $S$  – presjek vodiča najnepovoljnijeg strujnog kruga [ $\text{mm}^2$ ],
- $\chi$  – faktor vodljivosti [ $\text{m}/\Omega$ ],

Nakon izračuna struje određuje se presjek istosmjernog kabela [21]:

4. Četvrta vrsta proračuna je izračun DC osigurača koristeći relaciju:

$$I_{sc \max} = 1,25 * I_{sc} \quad (4-7)$$

prema (Šljivac, 2019/2020), gdje su:

- $I_{sc \max}$  – maksimalna struja kratkog spoja [A],
- $I_{sc}$  – struja kratkog spoja [A],



Ako  $I_{sc\ max}$  iznosi 18 A uzima se prvi veći osigurač s prekidnom strujom osigurača na DC strani 20 A.  $I_{sc}$  se dobiva iz tehničkog lista određenog panela.  $I_{sc}$  (struja kratkog spoja) predstavlja maksimalnu struju koju solarni panel može generirati kada su njegovi izlazni terminali kratko spojeni (Jeršek, 2019).

Integracija sustava u postojeću električnu mrežu također predstavlja značajan izazov. Potrebno je osigurati stabilnost mreže i spriječiti povratni utjecaj fotonaponske elektrane na mrežu, poput fluktuacija napona i frekvencije. Projektiranje sustava zaštite, uključujući prenaponsku zaštitu i zaštitu od strujnog udara, od suštinske je važnosti za sigurnost i pouzdanost elektrane. Inženjeri moraju osigurati da svi tehnički parametri budu u skladu s nacionalnim i međunarodnim standardima i regulativama (ODS, 2024).

U procesu projektiranja, važno je također razmotriti aspekte održavanja i pristupačnosti. Moduli moraju biti postavljeni tako da omogućuju lako čišćenje i zamjenu, dok električna oprema treba biti smještena na način koji omogućuje jednostavan pristup za inspekcije i popravke. Održivost i dugovječnost sustava direktno ovise o kvaliteti početnog projektiranja (Jeršek, 2019).

## **4.2 Instalacija fotonaponskih modula i elektroopreme**

Instalacija fotonaponskih modula i elektroopreme bitna je faza u uspostavi fotonaponskih elektrana, koja direktno utječe na učinkovitost i pouzdanost sustava (Majdandžić, 2012). Ovaj proces uključuje niz tehničkih izazova koji zahtijevaju preciznost, stručno znanje i pažljivo izvođenje kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost sustava.

Prvi korak u instalaciji je montaža fotonaponskih modula. Moduli moraju biti postavljeni na odgovarajuće nosive strukture koje osiguravaju optimalan kut nagiba i orijentaciju prema suncu prikazano na slici 4.4. Nosive strukture moraju biti dovoljno čvrste da izdrže vremenske uvjete poput vjetrova, snijega i kiše. Mora se osigurati da svi moduli budu pravilno povezani u nizove (serijski ili paralelno), kako bi se postigao željeni izlazni napon i struja. Kvaliteta električnih spojeva je od suštinske važnosti kako bi se minimizirali gubici i spriječili potencijalni kvarovi (Majdandžić, 2012).



*Slika 4.4 Prikaz pod konstrukcije za ravan krov*

Nakon montaže modula, slijedi instalacija elektroopreme koja uključuje invertere, distributivne ormariće, zaštitne uređaje i kabliranje prikazane na slici 4.5. Inverteri, kao ključne komponente, pretvaraju istosmjernu struju iz modula u izmjeničnu struju pogodnu za mrežu. Inženjeri moraju odabrati odgovarajuće invertere koji su kompatibilni s fotonaponskim modulima i koji mogu efikasno raditi u predviđenom rasponu napona i struja (M., 2014). Postavljanje invertera treba biti izvedeno na lokacijama koje omogućuju adekvatno hlađenje i jednostavan pristup za održavanje.



*Slika 4.5 Prikaz invertera i DC ormara*

Kabliranje je još jedan kritičan aspekt instalacije. Kabeli moraju biti odgovarajuće dimenzionirani kako bi se spriječili gubici i osigurala sigurnost sustava. Prilikom kabliranja, iznimno je važno koristiti kvalitetne spojnice i priključne elemente kako bi se osiguralo sigurno i pouzdano povezivanje između fotonaponskih modula i ostatka elektroinstalacije (Solargis, 2024). Loša izvedba spojeva može dovesti do neispravnosti sustava, povećanih gubitaka i mogućih opasnosti od požara.

Također, potrebno je osigurati zaštitu od prenapona i kratkih spojeva, što uključuje ugradnju odgovarajućih zaštitnih uređaja u distributivne ormariće. Zaštitni elementi, poput osigurača, prenaponskih zaštitnika i prekidača, ključni su za sigurnost i dugotrajnost sustava (Majdandžić, 2012).

Pravilno uzemljenje sustava je ključno za sigurnost i pouzdanost, posebno u slučajevima udara munje ili drugih prenaponskih situacija. Svaki dio sustava, uključujući spojeve i kabelske

priključke, mora biti pravilno povezan s uzemljenjem kako bi se spriječile opasnosti od prenapona i osigurao siguran rad sustava (T., 2017).

Također moraju osigurati da sve komponente budu instalirane u skladu s nacionalnim i međunarodnim standardima i regulativama. To uključuje provjeru usklađenosti sa sigurnosnim propisima, kao i provođenje testiranja kako bi se osiguralo da sustav radi ispravno prije puštanja u rad. Svaka faza instalacije mora biti pažljivo dokumentirana kako bi se omogućilo praćenje i održavanje sustava tijekom njegovog vijeka trajanja (Šljivac, 2019/2020).

### **4.2.1 DC ormar**

DC (istosmjerni) ormar ključan je dio sustava fotonaponske elektrane jer se u njemu prikuplja i obrađuje istosmjerna električna energija koju generiraju solarni moduli. Njegova glavna funkcija je zaštita, kontrola i distribucija istosmjerne energije prije nego što se ona usmjeri prema inverteru, koji je odgovoran za pretvaranje istosmjerne energije u izmjeničnu (ODS, 2024).

Glavne komponente DC ormara:

1. Spojni blokovi (terminali) – Koriste se za povezivanje kabela koji dolaze iz solarnih modula. Svaki string (niz) solarnih modula obično je povezan s ovim blokovima (ODS, 2024).
2. DC osigurači – Osigurači štite sustav od preopterećenja i kratkih spojeva. Svaki string solarnog modula obično ima svoj osigurač, koji osigurava da se u slučaju kvara u jednom nizu modula struja zaustavi, dok ostali dijelovi sustava mogu normalno raditi (ODS, 2024).
3. Prenaponska zaštita (odvodnik prenapona) – Ova zaštitna komponenta štiti DC strane sustava od prenapona uzrokovanih, primjerice, udarom munje ili drugim električnim smetnjama. Prenaponski zaštitnici smanjuju rizik od oštećenja komponenata (ODS, 2024).
4. DC prekidači (odvojni prekidači) – Ovi prekidači omogućuju isključivanje i kontrolu napajanja na DC strani sustava. U slučaju održavanja ili problema, mogu se koristiti za isključivanje istosmjerne struje iz solarnog polja (ODS, 2024).
5. Inverter – Iako se često nalazi izvan ormara, inverter je ključni uređaj koji pretvara istosmjernu struju iz solarnih panela u izmjeničnu struju, koja se koristi za napajanje domaćih i industrijskih potrošača (ODS, 2024).

Način rada:

Fotonaponski moduli generiraju istosmjernu (DC) električnu energiju, koja se zatim "solarnim kablovima" vodi do DC ormara. Kablovi iz svakog solarnog niza povezuju se s priključnim blokovima. Struja iz modula prolazi kroz DC osigurače, koji štite od preopterećenja. Ukoliko dođe do pojave prenapona, odvodnik prenapona preuzima višak energije kako bi zaštitio sustav. Na kraju, kroz DC prekidač, energija se usmjerava prema inverteru, gdje se pretvara u izmjeničnu (AC) struju (Majdandžić, 2012).



*Slika 4.6 Prikaz DC ormara*

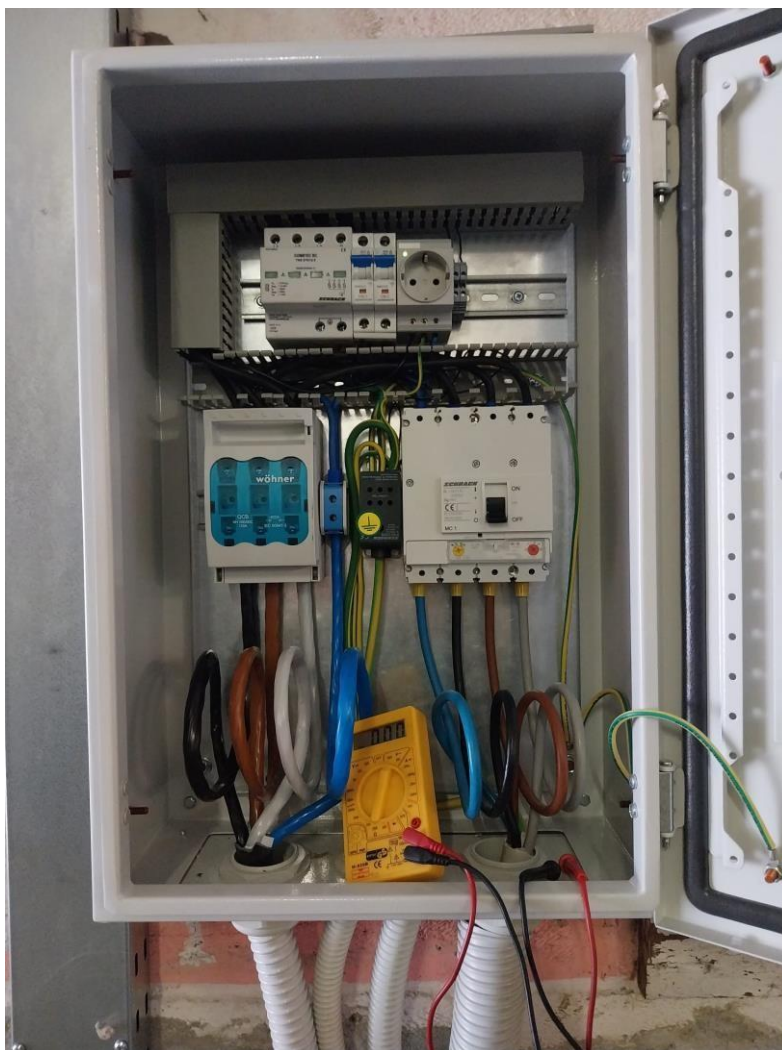
## 4.2.2 AC ormar

AC (izmjenični) ormar nalazi se na strani sustava nakon pretvaranja istosmjerne u izmjeničnu struju. Ovaj ormar ima ključnu ulogu u distribuciji i zaštiti izmjenične struje koja se koristi u kućnim ili industrijskim mrežama ili šalje u distribucijsku mrežu. Glavne komponente AC ormara:

1. AC osigurači – Slično kao i DC osigurači, oni štite izmjenični dio sustava od preopterećenja i kratkih spojeva. AC osigurači instalirani su na glavnim vodovima koji vode od invertera prema kućnoj ili mrežnoj instalaciji.
2. RCD (Residual Current Device) – Ovo je uređaj za zaštitu od struja curenja (diferencijalna zaštita). RCD isključuje napajanje kada prepozna curenje struje, čime se štite ljudi i imovina od električnog udara (ODS, 2024).
3. Prenaponska zaštita (odvodnik porenapona) – AC strana sustava također mora biti zaštićena od prenapona. SPD uređaji u AC ormaru štite od prenapona uzrokovanih npr. munjama ili kvarovima u elektroenergetskoj mreži (ODS, 2024).
4. Kompaktni prekidač (MCB/MCCB) – Kompaktni prekidač ima ključnu ulogu u zaštiti cijelog AC sustava od preopterećenja i kratkih spojeva. Postavlja se između izlaza iz invertera i distribucijske mreže, odnosno između sustava i lokalne mreže (potrošača). Njegova glavna funkcija je isključiti napajanje u slučaju preopterećenja ili kratkog spoja, čime štiti opremu i korisnike (ODS, 2024).
5. Mjerni uređaji – AC ormar često sadrži i mjerače energije koji prate koliko energije sustav generira i šalje u mrežu. Ovi uređaji omogućuju korisnicima da prate proizvodnju električne energije i optimiziraju rad sustava (ODS, 2024).

#### Način rada:

Nakon što inverter pretvori istosmjernu energiju iz solarnih modula u izmjeničnu energiju, ona se vodi do AC ormara. Kompaktni prekidač smješten između izlaza iz invertera i lokalne mreže osigurava zaštitu sustava, isključujući napajanje u slučaju prekomjerne struje ili kratkog spoja. Ostatak struje prolazi kroz AC osigurače, a RCD štiti korisnike od curenja struje. Ako dođe do prenapona u mreži, odvodnik prenapona ga preuzima i sprječava oštećenje opreme. Mjerni uređaji bilježe podatke o generiranoj i isporučenoj energiji (Solargis, 2024).



*Slika 4.7 Prikaz AC ormara*

### **4.3 Spajanje elektrane i puštanje u rad**

Spajanje fotonaponske elektrane na mrežu i njezino puštanje u rad predstavlja završnu, ali kritičnu fazu u uspostavi solarnog energetskeg sustava. Ovaj proces uključuje niz tehničkih izazova i proceduralnih koraka koji zahtijevaju pažljivu koordinaciju, provjere i testiranja kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost sustava (M., 2014).

Prvi korak u spajanju fotonaponske elektrane je provjera svih električnih spojeva i komponenti. To uključuje pregled spojeva na fotonaponskim modulima, kablovima, inverterima i zaštitnim uređajima. Cilj je osigurati da nema labavih spojeva, korozije ili drugih problema koji bi mogli uzrokovati smetnje ili kvarove. Moraju se koristiti odgovarajući alati i mjerna oprema za provjeru kontinuiteta, izolacije i uzemljenja svih električnih spojeva (Jeršek, 2019).

Nakon što su sve komponente provjerene, slijedi spajanje sustava na električnu mrežu. Ovo je vrlo osjetljiv proces koji zahtijeva koordinaciju s lokalnim distributerom električne energije. Potrebno je osigurati da su svi uvjeti za sigurno i učinkovito priključenje ispunjeni. To uključuje usklađenost s tehničkim standardima i regulativama koje se odnose na paralelni rad s mrežom, kao što su zahtjevi za zaštitu od povratnog napona i stabilnost mreže. Prilikom izgradnje velikih elektrana potrebno je ishoditi dodatne elaborate kao što su: Elaborat mogućnosti priključenja (EMP), elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja (EOTRP), elaborat utjecaja elektrane na mrežu (EUEM) i Elaborat podešenja zaštite (EPZ) (Šljivac, 2019/2020).

Jedan od ključnih koraka u puštanju elektrane u rad je testiranje sustava. Ovo uključuje provođenje niza testova kako bi se osiguralo da sve komponente rade ispravno i da sustav može sigurno proizvesti i isporučiti električnu energiju u mrežu. Testiranje obuhvaća provjeru funkcionalnosti invertera, mjerenje izlazne snage, analizu kvalitete električne energije i testove zaštitnih uređaja. Svako odstupanje od očekivanih rezultata mora biti identificirano i ispravljeno prije nego što se sustav pusti u stalni rad.

Sigurnost je najvažniji aspekt tijekom spajanja i puštanja u rad. Mora se osigurati da su sve sigurnosne mjere na mjestu, uključujući upotrebu odgovarajuće osobne zaštitne opreme i praćenje sigurnosnih procedura. Također, potrebno je provesti edukaciju za operativno osoblje koje će upravljati i održavati sustav kako bi se osigurala dugoročna sigurnost i učinkovitost.

## **5. ODRŽAVANJE FOTONAPONSKIH ELEKTRANA**

Održavanje fotonaponskih elektrana ključno je za osiguranje dugoročne učinkovitosti i pouzdanosti solarnih energetske sustava. Ovaj proces uključuje niz aktivnosti koje se protežu od rutinskih inspekcija do složenih popravaka, sve s ciljem optimizacije performansi i produljenja životnog vijeka elektrane. Pravilno održavanje ne samo da povećava energetske učinkovitost sustava, već i smanjuje operativne troškove te minimizira rizik od kvarova i zastoja.

Prvi korak u održavanju fotonaponskih elektrana je redovna inspekcija. Ovo uključuje rutinske provjere PV modula, invertera i drugih komponenti kako bi se osiguralo da sustav radi optimalno. Inspekcije uključuju vizualne preglede za identificiranje fizičkih oštećenja, kao što su pukotine ili nečistoće na modulima, te električne testove za provjeru ispravnosti spojeva i performansi sustava. Redovno čišćenje PV modula također je važno jer prašina, prljavština i ostaci mogu značajno smanjiti njihovu učinkovitost što je vidljivo na slici 5.1.





*Slika 5.1 Prikaz čišćenja fotonaponskih modula*

Preventivno i korektivno održavanje predstavlja sljedeći sloj aktivnosti. Preventivno održavanje fokusira se na redovne aktivnosti koje sprječavaju kvarove, kao što su provjere električnih spojeva, testiranje zaštitnih uređaja i ažuriranje softvera na inverterima. S druge strane, korektivno održavanje uključuje intervencije nakon što se kvar dogodi. To može uključivati zamjenu neispravnih modula, popravke invertera ili ponovno uspostavljanje ispravnih električnih veza. Brza i učinkovita reakcija na kvarove ključna je za minimalizaciju zastoja i održavanje visoke razine proizvodnje energije.

Upravljanje performansama i optimizacija su također bitni aspekti održavanja. Korištenje softverskih alata za nadzor performansi omogućuje inženjerima da prate rad sustava u realnom vremenu, identificiraju trendove i potencijalne probleme prije nego što postanu ozbiljni. Analiza podataka iz sustava pomaže u identificiranju područja za poboljšanje, bilo kroz tehničke prilagodbe ili promjene u operativnim procedurama. Na primjer, otkrivanje smanjenja performansi određenih modula može ukazivati na potrebu za čišćenjem ili zamjenom.

## 5.1 Redovito održavanje i inspekcija

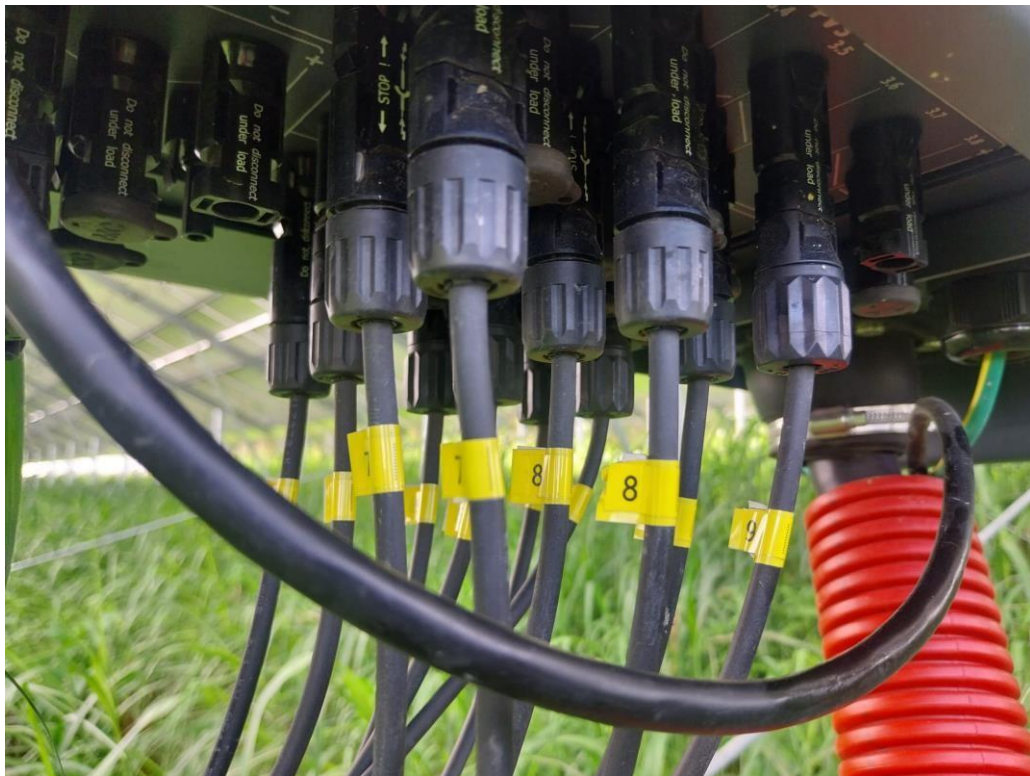
Redovito održavanje i inspekcija fotonaponskih elektrana ključni su za osiguranje njihove dugotrajne učinkovitosti i pouzdanosti. Ova faza održavanja obuhvaća rutinske provjere i preventivne aktivnosti koje omogućuju rano otkrivanje i rješavanje problema prije nego što postanu ozbiljni kvarovi. Redovito održavanje i inspekcija predstavljaju kontinuirani proces koji zahtijeva tehničko znanje, preciznost i pažnju na detalje.

Jedan od prvih koraka u redovitom održavanju je vizualna inspekcija fotonaponskih modula. Tijekom ovih inspekcija, provjeravaju se fizička oštećenja modula, kao što su pukotine, ogrebotine, delaminacija ili nečistoće koje mogu smanjiti njihovu učinkovitost. Prljavština, prašina i ostaci mogu značajno smanjiti količinu sunčeve svjetlosti koja dopire do solarnih ćelija, što direktno utječe na proizvodnju električne energije. Redovito čišćenje modula stoga je esencijalno kako bi se održala optimalna učinkovitost sustava. Čišćenje fotonaponskih modula može povećati efikasnost proizvodnje do 30 % (B., 2018). Usporedbu između očišćenih i neočišćenih fotonaponskih modula može se uočiti na slici 5.2.



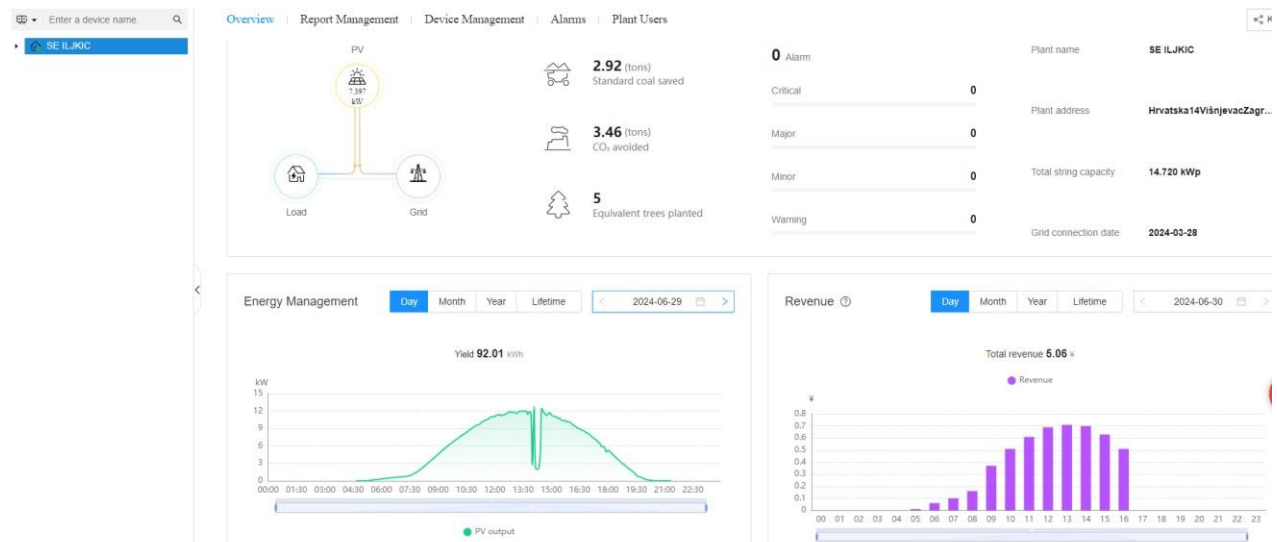
*Slika 5.2 Prikaz usporedbe čistih i prljavih fotonaponskih modula*

Električne inspekcije također su ključne. Moraju se provjeriti svi električni spojevi kako bi osigurali da nema labavih ili korodiranih veza koje bi mogle uzrokovati gubitke energije ili potencijalne opasnosti od požara vidljivo na slici 5.3. Provjere kontinuiteta, mjerenje napona i struja te provjera otpora izolacije standardni su postupci koji osiguravaju ispravnost električnih instalacija. Također, važno je provjeriti uzemljenje sustava kako bi se osigurala sigurnost i spriječili problemi uzrokovani prenaponom ili udarom munje (Jeršek, 2019).



*Slika 5.3 Prikaz električnih spojeva na inverteru*

Redovito održavanje invertera također je kritično. Inverteri, koji pretvaraju istosmjernu struju iz modula u izmjeničnu struju pogodnu za mrežu, moraju raditi optimalno kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost sustava. Moraju se provoditi redovite provjere softvera invertera, ažuriranja softvera, te testiranja izlaznih performansi prikaz monitoringa elektrane prikazano na slici 5.4.. Također, hlađenje invertera mora biti učinkovito kako bi se spriječilo pregrijavanje i osigurala dugovječnost opreme (Solargis, 2024).



Slika 5.4 Prikaz sustava za monitoring fotonaponske elektrane

Pored tehničkih inspekcija, dokumentacija je ključni aspekt redovitog održavanja. Moraju se pažljivo bilježiti sve provjere, održavanja i popravke kako bi se osigurala transparentnost i omogućilo praćenje performansi sustava tijekom vremena. Ova dokumentacija pomaže u prepoznavanju trendova, planiranju budućih aktivnosti održavanja i optimizaciji operativnih procedura (M., 2014).

## 5.2 Preventivno i korektivno održavanje

Preventivno i korektivno održavanje fotonaponskih elektrana ključni su elementi za osiguranje dugotrajne učinkovitosti i pouzdanosti ovih sustava. Ovaj proces uključuje niz aktivnosti koje se protežu od rutinskih inspekcija i održavanja do složenih popravaka i zamjena dijelova, s ciljem optimizacije performansi i produljenja životnog vijeka elektrane.

Preventivno održavanje obuhvaća planirane aktivnosti koje se provode kako bi se spriječili potencijalni kvarovi i osigurala optimalna funkcionalnost sustava. Jedan od ključnih aspekata preventivnog održavanja je redovita inspekcija fotonaponskih modula i elektroopreme. Provode se testiranja napona, struja i otpora kako bi identificirali eventualne nepravilnosti ili degradaciju komponenti. Također, provodi se inspekcija svih električnih spojeva kako bi se osiguralo da su čvrsti i bez korozije. Osim toga, važno je redovito čistiti fotonaponske module kako bi se uklonila prašina, prljavština i drugi ostaci koji mogu smanjiti učinkovitost sustava (T., 2017).

Korektivno održavanje, s druge strane, uključuje aktivnosti koje se poduzimaju nakon što se kvar dogodi. Ova vrsta održavanja zahtijeva brzu reakciju kako bi se minimalizirao zastoj i

osigurala kontinuitet proizvodnje električne energije. Brzo dijagnosticirati uzrok kvara treba se brzo odvijati, bilo da se radi o neispravnom modulu, kvaru na inverteru ili problemima u električnim spojevima (M., 2014). Nakon dijagnosticiranja problema, potrebno je provesti popravke ili zamjenu neispravnih komponenti. Korektivno održavanje također može uključivati ažuriranje softvera na inverterima kako bi se riješili eventualni softverski problemi..

Upravljanje performansama sustava kroz preventivno i korektivno održavanje omogućuje inženjerima elektrotehnike da optimiziraju rad fotonaponskih elektrana. Analiza podataka iz sustava, uključujući praćenje proizvodnje energije i učestalosti kvarova, pomaže u identificiranju područja za poboljšanje (ODS, 2024). Na primjer, ako određeni moduli pokazuju stalne probleme, može se razmotriti njihova zamjena s novim, učinkovitijim modelima.

### **5.3 Upravljanje performansama i optimizacija**

Upravljanje performansama i optimizacija fotonaponskih elektrana ključni su za osiguranje maksimalne učinkovitosti i dugoročne isplativosti solarnih energetske sustava. Inženjeri elektrotehnike suočavaju se s izazovom stalnog praćenja i analize rada elektrane kako bi identificirali potencijalna poboljšanja i osigurali optimalne uvjete rada. Ova aktivnost uključuje korištenje naprednih softverskih alata, redovito prikupljanje podataka i njihovu analizu (Solargis, 2024).

Prvi korak u upravljanju performansama je uspostava sustava za praćenje. Korištenje senzora i softverskih platformi omogućuje kontinuirano praćenje ključnih parametara, poput izlazne snage, napona, struje, temperature modula i okoline. Ovi podaci se prikupljaju i analiziraju kako bi se identificirale nepravilnosti ili odstupanja od očekivanih vrijednosti. Softverski alati omogućuju vizualizaciju podataka, što inženjerima olakšava praćenje performansi u realnom vremenu (Jeršek, 2019).

Analiza podataka ključna je za optimizaciju performansi. Inženjeri elektrotehnike koriste prikupljene podatke za identificiranje obrazaca i trendova koji ukazuju na probleme ili područja za poboljšanje. Na primjer, smanjenje izlazne snage može biti znak da su moduli prljavi ili da je došlo do degradacije komponenata. Analizom povijesnih podataka, inženjeri mogu predvidjeti potencijalne kvarove i planirati preventivne mjere prije nego što se problemi pojave. Ova

proaktivna strategija smanjuje vrijeme zastoja i održava visoku razinu proizvodnje energije (B., 2018).

Jedan od važnih aspekata upravljanja performansama je također upravljanje degradacijom sustava. Fotonaponski moduli s vremenom gube dio svoje učinkovitosti zbog prirodne degradacije materijala. Praćenje stope degradacije omogućuje inženjerima da planiraju zamjenu modula i održavaju konstantnu razinu proizvodnje energije. Korištenje naprednih algoritama za predviđanje pomaže u optimizaciji rasporeda održavanja i smanjenju troškova (B., 2018).

Osim tehničkih aspekata, upravljanje performansama uključuje i ekonomske analize. Procjenjuju se isplativost različitih mjera optimizacije i njihov utjecaj na ukupne troškove i prihode elektrane. Cilj je osigurati da svaka investicija uz optimizaciju donosi maksimalne koristi u smislu povećane proizvodnje energije i smanjenih operativnih troškova.

## 6. ZAKLJUČAK

Zaključno, montaža i održavanje fotonaponskih elektrana ključni su koraci u osiguravanju njihovog dugotrajnog i učinkovitog rada. Kroz ovaj rad objašnjeni su svi relevantni aspekti vezani uz ove procese, od opreme za montažu, preko instalacijskih radova, do redovitog održavanja i upravljanja performansama.

U dijelu koji obrađuje opremu za montažu fotonaponskih elektrana (poglavlje 3), naglašena je važnost pravilnog izbora konstrukcije koja služi kao osnova za postavljanje modula. Konstrukcija mora biti čvrsta, stabilna i otporna na vremenske uvjete, kako bi osigurala siguran rad elektrane kroz cijeli njen životni vijek. Osim toga, važno je da konstrukcija bude kompatibilna s različitim vrstama fotonaponskih modula, ovisno o potrebama specifične instalacije.

Razmatrajući montažu (poglavlje 4), ključni koraci započinju planiranjem i projektiranjem fotonaponske elektrane, koje uključuje odabir odgovarajuće lokacije, optimizaciju nagiba i orijentacije modula te dimenzioniranje sustava u skladu s potrebama korisnika. U sljedećoj fazi, instalacija fotonaponskih modula i elektroopreme zahtijeva preciznost i stručno znanje kako bi se osigurao pravilan rad sustava. Ugradnja se obavlja prema tehničkim specifikacijama koje definiraju točan položaj modula, njihovo pravilno usmjerenje prema suncu, te adekvatno postavljanje svih potrebnih komponenti elektroopreme, poput pretvarača i baterijskih sustava, ako su predviđeni (Majdandžić, 2012). Nakon što su moduli i elektrooprema instalirani, fotonaponska elektrana se spaja na mrežu i pušta u rad. Ovaj korak uključuje testiranje svih sustava kako bi se osiguralo da fotonaponska elektrana radi u skladu s predviđenim standardima.

Održavanje fotonaponskih elektrana (poglavlje 5) neophodno je za optimalne performanse i dugoročno očuvanje sustava. Redovito održavanje i inspekcije uključuju provjeru čistoće modula, pregled nosive konstrukcije, kabela i priključaka, kao i funkcionalnost elektroopreme. Preventivno održavanje smanjuje mogućnost neočekivanih kvarova te osigurava kontinuitet u radu elektrane, dok je korektivno održavanje potrebno u slučaju bilo kakvih problema koji se jave tijekom rada. Ova dva pristupa održavanju usmjerena su na produljenje životnog vijeka sustava i smanjenje operativnih troškova.

Upravljanje performansama i optimizacija važan su dio svakodnevnog funkcioniranja fotonaponskih elektrana. Kroz sustave za praćenje i kontrolu, moguće je pratiti proizvodnju

električne energije, identificirati eventualne nedostatke te poduzimati potrebne mjere kako bi se povećala učinkovitost sustava. Optimizacija se postiže praćenjem podataka u realnom vremenu i prilagodbom rada sustava uvjetima na terenu.

Zaključno, montaža i održavanje fotonaponskih elektrana predstavljaju složen, ali ključan proces za postizanje maksimalne iskoristivosti sunčeve energije. Ispravno planiranje, kvalitetna instalacija i redovito održavanje ključni su za dugoročnu učinkovitost i ekonomski isplativ rad fotonaponskih elektrana.

## **LITERATURA**

- [1] <https://solargis.info/> [ Pristup 29.06.2024]
- [2] Kalea M.: OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE, Kiklos-Krug knjige d.o.o., Zagreb, 2014.
- [3] Pandžić H., Rajšl I.: OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE (priručnik), Diozit d.o.o. Slavonski



- [4] Odak, T. et al.: FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRAĆENJEM POZICIJE SUNCA, Polytechnic & Design, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Vol 5, 2017, No.3
- [5] Udovičić B.: ELEKTROENERGETSKI SUSTAV, Kigen d.o.o., Zagreb, 2005
- [6] Vidović B.: ELEKTROTEHNIČKI PROJEKT FOTONAPONSKE ELEKTRANE, 17-25, Rijeka, 2018.
- [7] Centar Energetske Efikasnosti, "Činjenice o solarnoj energiji", Centar Energetske Efikasnosti, [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.cee.hr/cinjenice-solarnoj-energiji/>. [Pristup 29.6.2024].
- [8] L. Majdandžić, "Fotonaponski sustavi", Zagreb: Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu.
- [9] ] D. Topić, D. Šljivac, "Obnovljivi izvori električne energije", Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018.
- [10] D. Šljivac, "OIelen\_2019\_2020\_2 poglavlje.pdf", predavanja, Osijek: Damir Šljivac, 2019/2020.
- [11] Coulee Limited, "Standard test conditions of PV module", Coulee Limited, 2021. [Mrežno]. Dostupno na: [couleenergy.com/standard-test-conditions-of-pv-module/](https://couleenergy.com/standard-test-conditions-of-pv-module/). [Pristup 29.6.2024].
- [12] HEP ODS, " PRAVILA O PRIKLJUČENJU NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU", HEP ODS, [Mrežno]. Dostupno na: [https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Javne\\_rasprave/201802/prijedlog\\_pravila\\_o\\_prikljucenju.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Javne_rasprave/201802/prijedlog_pravila_o_prikljucenju.pdf). [Pristup 29.6.2024].
- [13] Ž. Jeršek, Diplomski rad, "Projektiranje fotonaponskog sustava za potrebe kućanstva", Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2019.
- [14] ] D. Fridl, "Glavni projekt sunčane elektrane b.o. 065/1/2020", Našice: EPIK d.o.o., 2020.

## **SAŽETAK**

Kroz ovaj rad obrađeni su bitni aspekti montaže i održavanja fotonaponskih elektrana. Detaljno su opisani oprema za montažu, uključujući konstrukcije za fotonaponske elektrane, te postupak montaže koji obuhvaća planiranje, instalaciju fotonaponskih modula i elektroopreme, spajanje sustava i puštanje u rad. Također je obrađena važnost održavanja, uključujući redovite inspekcije, preventivno i korektivno održavanje te upravljanje performansama i optimizacija rada elektrane. Pravilna montaža i održavanje bitni su za osiguranje dugoročnog, učinkovitog i ekonomičnog rada fotonaponskih sustava.

Ključne riječi: fotonaponske elektrane, montaža, održavanje, fotonaponski moduli,

## **SUMMARY**

This paper covers the key aspects of the installation and maintenance of photovoltaic power plants. It provides a detailed description of the installation equipment, including structures for photovoltaic systems, and outlines the installation process, which includes planning, installing photovoltaic modules and electrical equipment, system connection, and commissioning. The importance of maintenance is also discussed, including regular inspections, preventive and corrective maintenance, as well as performance management and system optimization. Proper installation and maintenance are crucial for ensuring the long-term, efficient, and cost-effective operation of photovoltaic systems.

Keywords: photovoltaic power plants, installation, maintenance, solar modules,

## **ŽIVOTOPIS**

Nikola Tadić rođen je u Đakovu 29.11.2002. godine. Nakon završetka Osnovne škole u Budrovcima, upisuje prvu godinu Srednje strukovne škole Antuna Horvata u Đakovu, smjer Tehničar za mehatroniku. Nakon završetka srednje škole, 2021. godine odlučuje upisati preddiplomski stručni studij elektrotehnika, smjer elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Stručnu praksu odraduje u 3. godini stručnog studija u Ninetech j.d.o.o.