

# Osiguranje kvalitete prilikom puštanja u rad solarnih elektrana

---

Hercog, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:755947>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





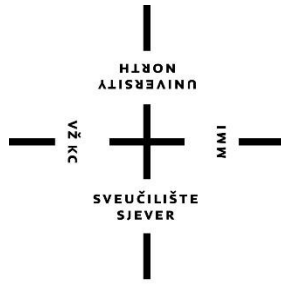
# Sveučilište Sjever

Završni rad br. 543/EL/2024

## **Osiguranje kvalitete prilikom puštanja u rad solarnih elektrana**

Filip Hercog, 0336049796

Varaždin, rujan 2024. godine



# Sveučilište Sjever

**Odjel za Elektrotehniku**

**Završni rad br. 543/EL/2024**

## **Osiguranje kvalitete prilikom puštanja u rad solarnih elektrana**

**Student**

Filip Hercog, 0336049796

**Mentor**

dr. sc. Josip Nađ, dipl. ing. el.

Varaždin, rujan 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJE preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Filip Hercog

MATIČNI BROJ 0336049796

DATUM 03.09.2024.

KOLEGIJ Osiguranje kvalitete

NASLOV RADA Osiguranje kvalitete prilikom puštanja u rad solarnih elektrana

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Quality assurance during commissioning of solar power plants

MENTOR dr. sc. Josip Nađ

ZVANJE Predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv. prof. dr. sc. Srđan Skok
2. doc. dr. sc. Dunja Srpak
3. dr. sc. Josip Nađ, predavač
4. Josip Srpak, viši predavač
- 5.

## Zadatak završnog rada

BR. 543/EL/2024

OPIS

Prilikom izgradnje solarnih elektrana potrebno je posvetiti veliku pažnju puštanju elektrane u pogon

U završnom radu je potrebno prikazati i analizirati proces puštanja u pogon jedne konkretne solarne elektrane, zajedno sa svim preduvjetima i mogućim posljedicama loše izvedbe:

- izbor kjučne opreme (nosači, fotonaponski paneli, pretvarači)
- potrebna ispitivanja prije puštanja u pogon
- proces puštanja u pogon

U sklopu izrade završnog rada je potrebno navesti korištene podloge, stručnu literaturu te predmetne pravilnike i norme koji se koriste prilikom izrade i puštanja u rad solarnih elektrana. Potrebno je ukazati na kritične točke kod puštanja u rad te navesti primjere načinjenih pogrešaka u procesu puštanja u rad koje su kasnije uzrokovale problem za korisnike elektrane.

ZADATAK URUČEN

03.09.2024.



1

J. Nađ

## **Predgovor**

Zahvaljujem svom mentoru dr. sc. Josipu Nađu, dipl. ing. el. na pomoći, usmjeravanju te uloženom trudu i vremenu za izradu završnoga rada. Ujedno zahvaljujem svim profesorima sa Sveučilišta Sjever na prenesenom znanju, iskustvu, vještinama i kompetencijama. Veliku zahvalnost iskazujem i tvrtki *Elzeb d.o.o.* iz Cestice te njihovim zaposlenicima, a posebno direktoru tvrtke Emilu Zebecu na nesebičnoj pomoći i stručnoj suradnji. Veliko hvala i kolegama sa Sveučilišta Sjever na uzajamnoj podršci. Na kraju, najveća zahvala mojoj obitelji i prijateljima koji su me bodrili, podupirali i tako mi pomogli da završim ovaj studij.

## Sažetak

U vremenu kada svijet iz dana u dan postaje zagađeniji, sve više ljudi počinje razmišljati o korištenju obnovljivih izvora energije. Na čelu različitih obnovljivih izvora energije, predvodi solarna energija zbog svoje ekološke i cjenovne prihvatljivosti, dugoročne održivosti i efikasnosti. Postavljanjem solarnih elektrana na krovove zgrada, kuća, poslovnih objekata ili livada, dobivamo električnu energiju bez ispuštanja štetnih plinova. Paneli postaju ekonomičniji, učinkovitiji i dugotrajniji, a sami korisnici energetske neovisniji.

Tijekom projektiranja solarnih elektrana važno je osiguranje kvalitete kako bi cijeli sustav bio što učinkovitiji i dugotrajniji, a ujedno i sigurniji za ljude i okoliš. Kroz ključne aspekte i metode osigurava se dugoročna pouzdanost solarnih sustava. Različite norme i propisi pridonose sigurnosti svih korisnika, ali i montera solarnih elektrana. Valja ukazati i na nužnost održavanja visoke razine kvalitete u svim etapama instaliranja solarnih elektrana. Neke od bitnijih etapa su planiranje, izbor opreme, izgradnja, puštanje u pogon te održavanje. Svaka od tih etapa izgradnje ima svoje kritične točke. Kako bi se te kritične točke otklonile, ključno je poštivati norme, izabrati kvalitetnu opremu te angažirati certificirane izvođače.

Ovim se radom propituju i istražuju potrebne mjere osiguranja kvalitete, nužne za postizanje sigurnog rada solarnih elektrana, uključujući i odabir primjerene opreme i montaže. Analizirani su tehnički normativi da bi sustav bio usklađen s najvišim kriterijima. U radu se velika pozornost pridaje puštanju solarnih elektrana u pogon. Pri puštanju u pogon, važno je obratiti pozornost na konzistentnost sa zakonima, električna ispitivanja, zaštitu radnika te izradu izvještaja. Također, dio završnoga rada dotiče se i održavanja solarnih elektrana čime se osigurava njihova dugotrajnost i efikasnost te izbor kvalitetne opreme.

**Ključne riječi:** solarne elektrane, solarni paneli, puštanje u pogon, norme, propis

## **Abstract**

At a time when the world is becoming more polluted day by day, more and more people are starting using renewable energy sources. At the forefront of various renewable energy sources is solar energy, due to its environmental and price acceptability, long-term sustainability and very good efficiency. By placing solar power plants on the roofs of buildings, houses, business buildings or meadows, we obtain electricity without releasing harmful gases. Panels become more economical, efficient and long-lasting, and the users themselves become more energy independent.

During the design of solar power plants, quality assurance is important so that the entire system is as efficient as possible, long-lasting, and safer for people and the environment. Long-term reliability of solar systems is ensured through key aspects and methods. Various norms and regulations greatly contribute to the safety of all users, as well as installers of solar power plants. It should also be pointed out the necessity of maintaining a high level of quality in all stages of installing solar power plants. Some of the more important stages are planning, equipment selection, construction, commissioning and maintenance. Each of these construction stages has its own critical points. In order to eliminate these critical points, it is essential to respect the norms, choose quality equipment and involve certified contractors in all this work.

This paper explores the necessary quality assurance measures that are inevitable to achieve the safe operation of solar power plants. The paper is based on the processes and norms that are applied during the installation of photovoltaic systems, including the selection of appropriate equipment and assembly. The technical standards analyzed are important to make the system compliant with the highest criteria. In this paper, great attention is drawn to the commissioning of solar power plants. During commissioning, it is important to pay attention to compliance with laws, electrical tests, worker protection and reporting. Likewise, part of the paper focuses on the maintenance of solar power plants, which ensures their longevity and efficiency, as well as the choice of quality equipment.

## Popis korištenih kratica

AC	Alternating current (izmjenična struja)
DC	Direct current (istosmjerna struja)
EPM	Ethylene-propylene-rubber
FN	Fotonaponski
HEP	Hrvatska elektroprivreda
HRN	Hrvatska norma
KPMO	Kućni priključno-mjerni ormari
LAN	Local Area Network
MC	Multi contact
MPPT	Maximum power point tracking
N	Nul-vodič
OMM	Obračunsko mjerno mjesto
PE	Protecting earth
PVC	Polivinil klorid
WLAN	Wireless Local Area Network



## Sadržaj

<b>Predgovor</b> .....	<b>4</b>
<b>Sažetak</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Popis korištenih kratica</b> .....	<b>7</b>
<b>Sadržaj</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
1.1. Podjele fotonaponskih sustava.....	1
1.1.1. Podjela prema načinu kretanja solarnih panela .....	1
1.1.2. Podjela prema načinu spajanja na energetski sistem .....	2
1.2. Puštanje u pogon.....	4
<b>2. Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom</b> .....	<b>6</b>
2.1. Podnošenje zahtjeva .....	6
2.2. Izdavanje obavijesti .....	6
2.3. Uplata troškova.....	7
2.4. Izvođenje radova.....	7
2.5. Sklapanje novog ugovora o korištenju mreže i promjena statusa .....	7
2.6. Izdavanje potvrde za trajni pogon .....	8
<b>3. Oprema fotonaponskih sustava</b> .....	<b>9</b>
3.1. Izmjenjivač ili mikroizmjenjivač.....	9
3.2. Solarni paneli .....	12
3.3. Potkonstrukcijski elementi .....	14
3.4. Istosmjerni (DC) kabeli .....	15
3.5. Izmjenični (AC) kabeli .....	16
3.6. Priključni ormar .....	17
3.6.1. Zaštitni uređaj za diferencijalne struje.....	18
3.6.2. Automatski prekidač .....	18
3.6.3. Rastavna sklopka .....	19
3.6.4. Odvodnik prenapona.....	20
3.7. Uzemljivačka instalacija.....	20
<b>4. Kritične točke kod postavljanja opreme</b> .....	<b>22</b>
4.1. Izmjenjivači .....	22
4.2. Solarni paneli i potkonstrukcija .....	22
4.3. Kabeli.....	23
4.4. Priključni ormar .....	24

4.5. Uzemljivačka instalacija.....	24
<b>5. Puštanje fotonaponskog sustava u pogon .....</b>	<b>25</b>
5.1. Početno provjeravanje .....	27
5.1.2. Pregledavanje.....	27
5.1.3. Ispitivanje .....	27
5.1.4. Izvješćivanje .....	28
5.2. Izvještaj o provedenom ispitivanju električne instalacije.....	28
5.3. Primjer izvještaja o provedenom ispitivanju električne instalacije solarne elektrane	28
5.3.1. Ispitivanje kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala	29
5.3.2. Ispitivanje električnog izolacijskog otpora vodiča .....	31
5.3.3. Ispitivanje otpora uzemljenja.....	32
5.4. Pokretanje izmjenjivača i instalacija aplikacije za puštanje u pogon .....	34
5.5. Kritične točke puštanja solarne elektrane u pogon .....	36
5.6. Osiguranje kvalitete .....	37
<b>6. Održavanje i monitoring solarne elektrane.....</b>	<b>38</b>
6.1. Održavanje solarne elektrane.....	38
6.2. Monitoring solarne elektrane .....	38
<b>7. Zaključak.....</b>	<b>39</b>
<b>8. Literatura.....</b>	<b>40</b>
<b>9. Popis slika .....</b>	<b>45</b>
<b>10. Popis tablica.....</b>	<b>47</b>
<b>11. Popis dijagrama .....</b>	<b>48</b>
<b>12. Prilozi .....</b>	<b>49</b>

# 1. Uvod

## 1.1. Podjele fotonaponskih sustava

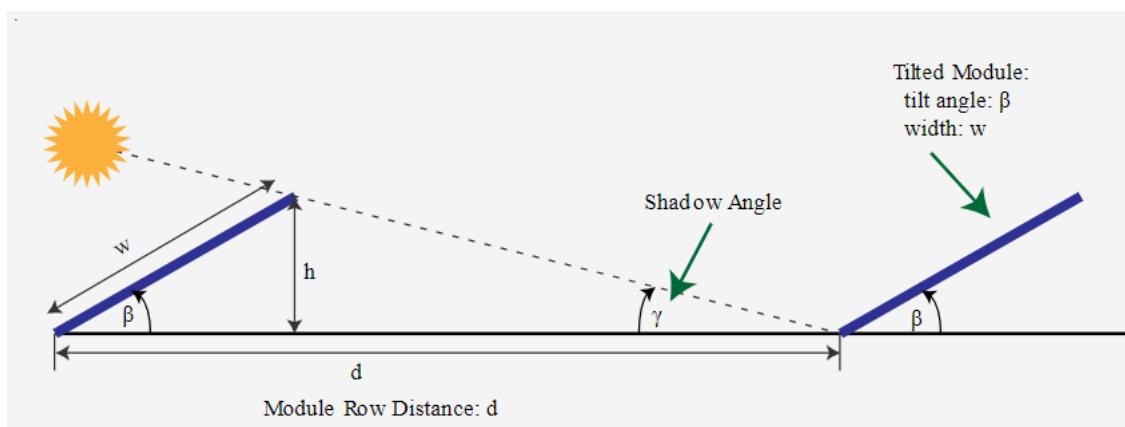
Fotonaponske sustave možemo podijeliti na dva načina:

- Prema načinu kretanja solarnih panela
  - Fiksni fotonaponski sustavi
  - Pokretni fotonaponski sustavi
- Prema načinu spajanja na energetska sistem
  - Direktni (*on-grid*)
  - S baterijama (*off-grid*)
  - Hibridni.

### 1.1.1. Podjela prema načinu kretanja solarnih panela

#### 1.1.1.1. Fiksni fotonaponski sustavi

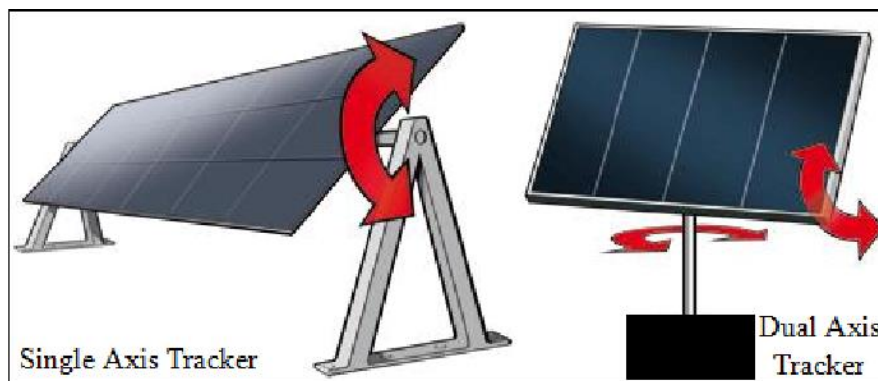
Kada se govori o fiksnim FN sustavima, govori se o najčešćem i najjednostavnijem tipu korištenih solarnih instalacija. Tako postavljeni FN sustavi stacionarni su i postavljeni pod određenim kutom prema suncu. Efikasnost takvog sustava ovisi o upadnom kutu sunca, pri čemu gubitci rastu s većim upadnim kutom. Fiksni FN sustav približno iskoristi 55 – 65 % omogućene energije [1].



Slika 1.1. Fiksni FN sustavi [5]

### 1.1.1.2. Pokretni fotonaponski sustavi

Pokretni FN sustavi su sustavi koji imaju mogućnost praćenja sunca. Dijele se na dvije vrste – jednoosne i dvoosne. Jednoosni sustavi prate sunce samo u jednoj osi (najčešće orijentacija istok-zapad), dok dvoosni prate sunce u dvije osi, omogućavajući pritom maksimalnu efikasnost. Pokretni FN sustavi, u odnosu na fiksne, imaju veću efikasnost, no mana im je to što imaju pokretne dijelove pri kojima kroz duži vremenski period dolazi do habanja i trošenja [1].



Slika 1.2. Pokretni FN sustavi [6]

### 1.1.2. Podjela prema načinu spajanja na energetska sistem

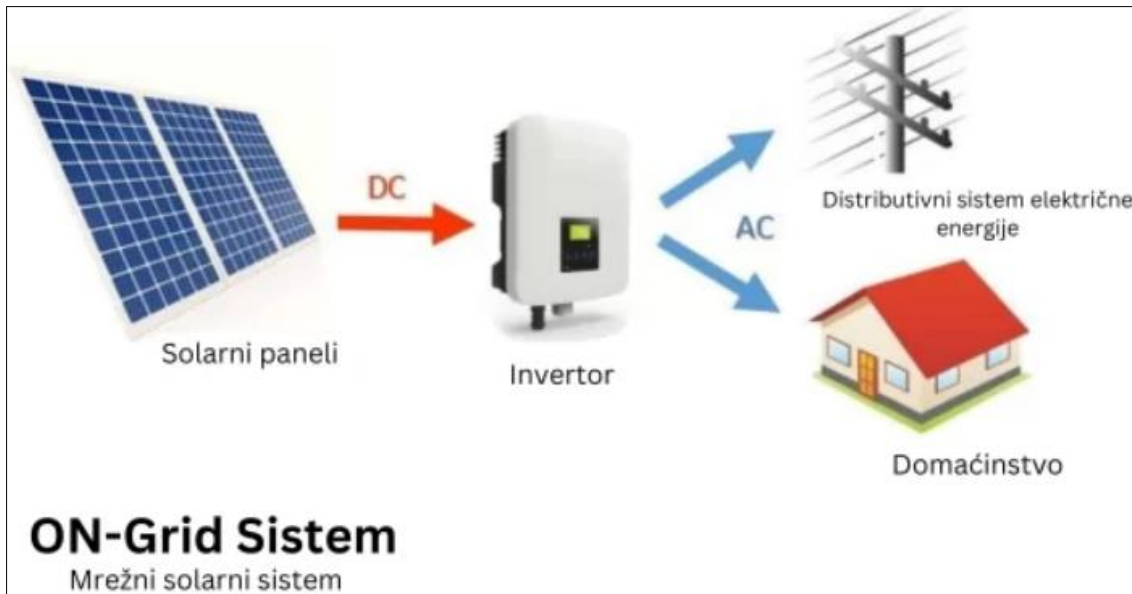
#### 1.1.2.1. Direktni (*on-grid*)

*On-grid* fotonaponski sistemi direktno su spojeni na distributivnu mrežu. Kod *on-grid* FN sistema postoje dvije vrste korisnika:

- korisnici koji direktno daju energiju dobivenu iz solarnih elektrana u mrežu, bez korištenja te iste energije (imaju status proizvođača);
- korisnici koji koriste električnu energiju iz solarne elektrane, a višak predaju u mrežu (kupci s vlastitom proizvodnjom); u trenutku kada korisnikova solarna elektrana ne proizvodi dovoljno električne energije za njegove potrebe, on preuzima energiju iz mreže.

Ako korisnik povuče iz mreže više energije, on plaća račun na mjesečnoj bazi, a ako na kraju godine ima ukupni „višak“, dobiva ugovorenu naknadu. Nedostatci su to što nema

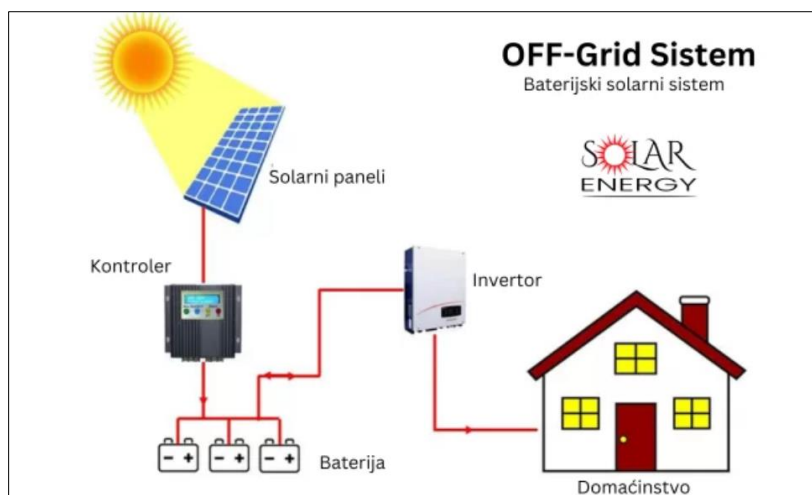
skladištenja viška električne energije te prodajna cijena električne energije koja je duplo manja od otkupne [4].



Slika 1.3. *Direktni (on-grid) FN sustav [7]*

#### 1.1.2.2. S baterijama (*off-grid*)

*Off-grid* solarni sistemi funkcioniraju neovisno o energetske distributivnoj mreži. Takav sustav skladišti višak električne energije u akumulatorima ili baterijama. Na taj se način omogućava korisnicima da tijekom noći ili oblačnih dana koriste višak električne energije. *Off-grid* sustav najčešće koriste korisnici koji su udaljeni od elektroenergetske infrastrukture (npr. otoci i ruralna područja) ili oni koji u potpunosti žele biti neovisni. Nedostatci takvog sustava su visoki početni troškovi (cijena baterija), vijek trajanja baterija te ograničena količina električne energije [4].



Slika 1.4. Baterijski (off-grid) FN sustav [8]

### 1.1.2.3. Hibridni

Hibridni sistem sjedinjenje je *on-grid* i *off-grid* sustava. Spojen je na elektroenergetsku mrežu, a korisnik može koristiti i energiju pohranjenu u baterijama. Velika je prednost takvih sustava kod nestabilne elektroenergetske infrastrukture, a jedina su mana troškovi [4].



Slika 1.5. Hibridni FN sustav [9]

## 1.2. Puštanje u pogon

Odlučujući korak u instalaciji solarnih elektrana je puštanje u pogon. To je zadnji i najvažniji korak u instalaciji solarne elektrane te iziskuje niz tehničkih procesa kao i

administrativnih postupaka. Kako bi cijeli FN sustav bio siguran za upotrebu, potrebno je izvršiti nekoliko pregleda, različitih testova i mjerenja. Prije samoga puštanja u pogon, obavlja se pretpregled koji uključuje provjeru cjelokupne ugrađene opreme: konstrukcije, solarnih panela, kablova, izmjenjivača te ostalih instalacija. Nakon pretpregleda slijede mjerenja koja se odvijaju prema pravilima struke i prema normama, kako bi se cjelokupni sustav nakon puštanja u pogon mogao sigurno povezati s elektroenergetskom mrežom. Nakon tehničkih procedura, slijede i administrativne. Prije samoga puštanja u pogon, potrebno je ispuniti i podnijeti niz formulara i zahtjeva. Najvažniji od svih dokumenata jest potvrda za trajni pogon, nakon koje solarna elektrana može u pogon.

## 2. Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom

U slučaju da korisnik koji već posjeduje građevinu s jednostavnim priključkom, odnosno u slučaju kada je građevina priključena na mrežu niskog napona (0,4 kV) te postojeći kupac potražuje priključenje proizvodnog postrojenja na svoju postojeću instalaciju, pri čemu je instalirana snaga proizvodnog postrojenja do iznosa priključne snage obračunskog mjernog mjesta na kojeg se priključuje proizvodno postrojenje, postupak se provodi na sljedeći način:

- podnošenje zahtjeva za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja;
- izdavanje obavijesti o mogućnosti priključenja, ponude za opremanje obračunskog mjernog mjesta i prijedloga novog ugovora o korištenju mreže;
- uplata troškova za opremanje obračunskog mjernog mjesta;
- izvođenje radova na opremanju obračunskog mjernog mjesta;
- sklapanje ugovora o korištenju mreže i podnošenje zahtjeva za promjenu statusa korisnika mreže;
- izdavanje potvrde za trajni pogon [13].

### 2.1. Podnošenje zahtjeva

U zahtjevu za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja nalaze se podatci podnositelja zahtjeva, svrha podnošenja zahtjeva, podatci o građevini, podatci o izmjenjivaču, ukupna tražena priključna snaga na OMM, planirana godišnja proizvodnja i potrošnja, način pogona te podatci o postojećem OMM-u. Zahtjev za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja najčešće ispunjava izvođač radova. Obavezni prilozi su glavni ili idejni projekt, dokaz o vlasništvu i izjava korisnika. Operater distribucijskog sustava dužan je korisniku u roku od 15 dana od primitka zahtjeva dostaviti obavijest o mogućnosti priključenja [26] [35].

### 2.2. Izdavanje obavijesti

Nakon odobrenog zahtjeva za mogućnost priključenja, operater distribucijskog centra šalje korisniku ponudu za opremanje obračunskoga mjernoga mjesta te novi ugovor u kojem korisnik mijenja status u *status kućanstva s vlastitom proizvodnjom*. U ponudu za opremanje OMM-a uključeno je novo dvosmjerno brojilo te ostali popratni radovi na električnoj instalaciji, kao što je na primjer pomicanje glavnog električnog ormara ili postavljanje novog dolaznog kabela [13].



### **2.3. Uplata troškova**

Uplatom iznosa troškova opremanja obračunskoga mjernoga mjesta građevine, podnositelj zahtjeva prihvaća sve odredbe ponude za opremanje OMM kućanstva s vlastitom proizvodnjom. Podnositelj zahtjeva iznos može platiti u dvije rate. Prva rata – 50 % označava da podnositelj zahtjeva prihvaća ponudu, dok drugu ratu podnositelj zahtjeva može platiti najkasnije do dana podnošenja zahtjeva za sklapanje ugovora o korištenju mreže. Troškovi opremanja OMM-a utvrđuju se na temelju stvarnih troškova. Troškovi su procijenjeni i specificirani u troškovniku koji se nalazi u ponudi te čini njezin sastavni dio [40]. Nakon uplate troškova operateru distribucijskog centra, operater je dužan u roku od 30 dana opremiti OMM [35].

### **2.4. Izvođenje radova**

Radove na opremanju obračunskog mjernog mjesta izvode djelatnici HEP-a ili po njima odabrani ovlaštene izvođači. Podnositelj zahtjeva obavezan je osigurati nesmetan rad izvođačima radova [40]. U Hrvatskoj, najčešći radovi koji se izvode na opremanju OMM-a u svrhu izgradnje solarne elektrane su premještaj KPMO-a, zamjena brojila te zamjena faznosti priključka. Mnogi stariji objekti u Hrvatskoj imaju KPMO smješten unutar samog objekta gdje je teško dostupan djelatniku distribucijskog centra te se zbog toga on premješta na dostupnije mjesto. Najčešće je to vanjski dio zida objekta ili kao samostojeći. Brojilo koje mijenjaju mora biti dvosmjerno, a najčešći tip brojila koje se montira jest ISKRAEMECO AM550-TD1. Faznost priključka mijenja se najčešće zbog toga što objekti s jednofaznim priključkom smiju imati solarnu elektranu s maksimalnom izlaznom snagom od 3,68 kW. U slučaju kašnjenja izvođenja radova, HEP će za svaki prekoračeni dan platiti kaznu od 1 %, a najviše do 3 % vrijednosti ukupnog ugovorenog iznosa [40].

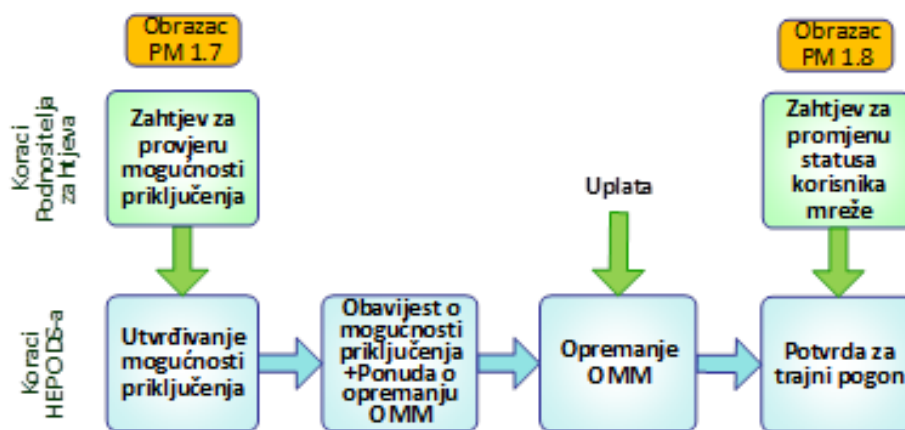
### **2.5. Sklapanje novog ugovora o korištenju mreže i promjena statusa**

Nakon što je korisnik podmirio sve troškove dobivene u ponudi za opremanje OMM-a, izvođači su opremiti OMM i instalirali solarnu elektranu te su ispunjeni svi uvjeti iz obavijesti o mogućnosti priključenja, korisnik potpisuje novi ugovor o korištenju mreže te šalje zahtjev za promjenu statusa kod kućanstva s vlastitom proizvodnjom [35]. Zahtjev za promjenu statusa sadrži: podatke podnositelja zahtjeva, podatke o građevini, podatke o OMM-u, podatke o početku korištenja mreže i obavezne priloge. Neki od obaveznih priloga su glavni ili izvedbeni projekt elektrane, certifikat za ugrađenu opremu, izjava ovlaštenog projektanta da je projekt

izrađen u skladu sa svim tehničkim uvjetima i važećim propisima, potvrda o uporabljivosti izvedene električne instalacije, izjava o završnom pregledu i ispitivanju električne instalacije te potpisan ugovor o korištenju mreže.

## 2.6. Izdavanje potvrde za trajni pogon

Nakon što je korisnik sklopio novi ugovor o korištenju mreže i predao zahtjev za promjenu statusa kod kućanstva s vlastitom proizvodnjom, dobiva potvrdu o promjeni statusa i potvrdu za trajni pogon. Izdavanjem potvrde za trajni pogon, solarna elektrana ispunjava sve uvjete za trajni pogon s distribucijskom mrežom te se dopušta promjena statusa korisnika mreže na OMM. Rok za izdavanje potvrde za trajni pogon je 15 dana od zaprimanja zahtjeva, no u praksi to najčešće traje duže [27].



Dijagram 2.1. Proces priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom [13]

### 3. Oprema fotonaponskih sustava

Solarne elektrane su dugoročne investicije. Upravo je radi toga kvalitetan izbor opreme za izgradnju elektrane nužna potreba. Kvalitetnim izborom opreme, ne samo da će fotonaponska elektrana raditi duže, nego će biti efikasnija i sigurnija, a investicija brže isplativija. Prema članku 12. *Postupka priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom*, stavak 9., za dobivanje dozvole za trajni pogon, svaka elektrana mora imati certifikat za ugrađenu opremu koji izdaje ovlašteni certifikator i koje je u skladu s Uredbom komisije (EU) 2016/631.

Osnovna oprema koja se koristi za izradu solarne elektrane je:

- izmjenjivač ili mikroizmjenjivač
- solarni paneli
- potkonstrukcijski elementi
- DC kabeli
- AC kabeli
- priključni ormar
- uzemljivačka instalacija.

#### 3.1. Izmjenjivač ili mikroizmjenjivač

Izmjenjivač ili mikroizmjenjivač je elektroničko energetska uređaj koji povezuje istosmjerni i izmjenični napon. Osnovni dio izmjenjivača je poluvodički most sastavljen od upravljivih poluvodičkih sklopki koje visokom frekvencijom prekidaju istosmjerni napon i pretvaraju ga u izmjenični napon jednak mrežnom naponu. Kada je riječ o izmjenjivačima, mogu postojati dvije vrste:

- autonomni izmjenjivači
- mrežom vođeni izmjenjivači.

Autonomni izmjenjivači u otočnom sustavu stvaraju vlastitu izmjeničnu mrežu napona 230 V i frekvenciju 50 Hz. Mrežom vođeni izmjenjivači su izmjenjivači koji moraju imati sklopove za sinkronizaciju s mrežom, u slučaju da dođe do kakvih grešaka u mreži. Autonomni izmjenjivači koriste se kod *off-grid* fotonaponskih sistema, dok se mrežom vođeni izmjenjivači koriste kod *on-grid* i hibridnih fotonaponskih sistema. Izmjenjivač mora sadržavati zaštitu od otočnoga rada sunčane elektrane.

Mikroizmjenjivači se za razliku od centralnih izmjenjivača instaliraju ispod svakog panela te su međusobno povezani AC kabelom, dok se centralni montiraju na projektno planirano

mjesto, najčešće neki zid te u njega dolaze DC kablovi, ovisno o broju stringova i DC inputa. Mikroizmjenjivači se najčešće koriste kad kod solarnih panela postoji neko zasjenjenje. U prosjeku oni nude 5 – 15 % višu efikasnost u odnosu na centralni izmjenjivač.

Kod odabira izmjenjivača mora se obratiti pozornost na više stavki:

- snagu izmjenjivača
- maksimalnu snagu solarnih panela koja se može priključiti na izmjenjivač
- maksimalni i minimalni ulazni istosmjerni napon
- maksimalnu ulaznu struju
- broj MPP *trackera*.

Izmjenjivači koji se instaliraju moraju odgovarati međunarodnim normama elektromagnetske kompatibilnosti: EN 61000-6-2, EN 61000-6-3/A1 [14] [15].

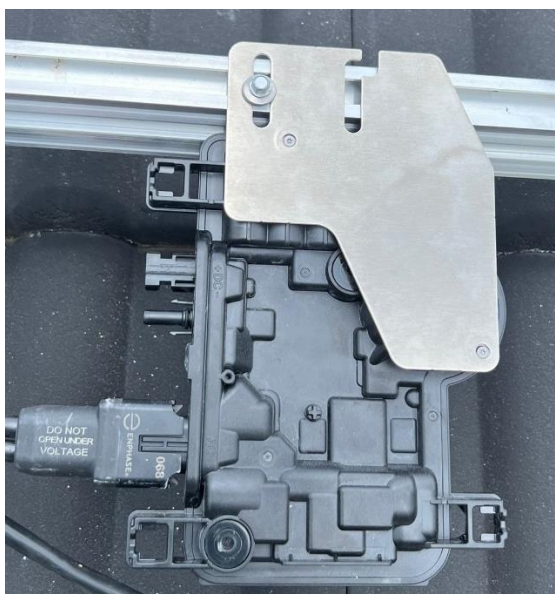


Slika 3.1. *Huawei 10KTL centralni izmjenjivač*

## Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
<b>Efficiency</b>						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input (PV)</b>						
Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>	1,100 V					
Operating voltage range <sup>3</sup>	140 V ~ 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	11 A					
Max. short-circuit current	15 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					
<b>Input (DC Battery)</b>						
Compatible Battery	HUAWEI Smart String ESS 5kWh - 30kWh					
Operating voltage range	600 V ~ 980 V					
Max operating current	16.7 A					
Max charge Power	10,000 W					
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W
<b>Output (On Grid)</b>						
Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>4</sup>
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
<b>Output (Off Grid)</b>						
Backup Box	Backup Box - B1					
Maximum apparent power	3,000 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA
Rated output voltage	220 V / 230 V					
Maximum output current	13.6 A	15 A	15 A	15 A	15 A	15 A
Power factor range	0.8 leading ... 0.8 lagging					

Slika 3.2. Huawei 10KTL datasheet



Slika 3.3. Emphase micro-inverter

### 3.2. Solarni paneli

Solarni paneli sunčevu svjetlost pretvaraju u istosmjernu struju tako da kristal silicija (ili nekog drugog poluvodiča) apsorbira svjetlost pri čemu uz odgovarajuće zračenje dolazi do oslobađanja elektrona. Neke od osnovnih vrsta solarnih panela su monokristalni, polikristalni i tankoslojni paneli [3].

Vrsta solarnih panela	Efikasnost	Prednosti	Mane
Monokristalni	20 %	Velika efikasnost Dug životni vijek (> 25 godina) Estetika	Skupi
Polikristalni	15 %	Mala cijena Dug životni vijek (25 godina)	Estetika
Tankoslojni	7 – 10 %	Fleksibilnost	Kratak vijek trajanja

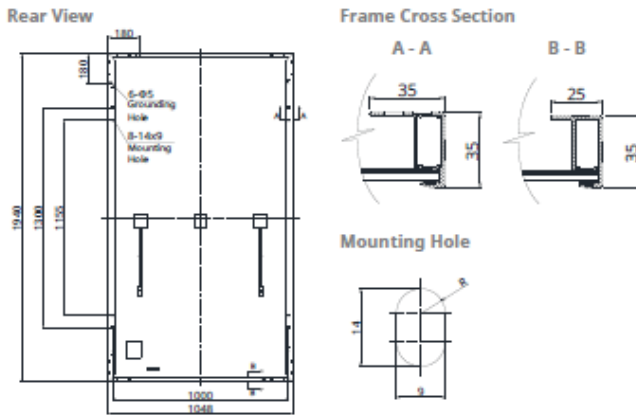
Tablica 3.1. *Razlike fotonaponskih panela*

Paneli se sastoje od niza FN ćelija spojenih u vodootpornom kućištu. Svaki panel mora imati *bypass* diodu koja sprječava pregrijavanje. Solarni paneli spajaju se u seriju tvoreći jedan niz, odnosno string, najčešće je to 10 – 20 panela. Zbog serijskog spajanja, panel s najlošijim učinkom diktira preostali string. Prema zakonu, svaki bi panel prije instalacije morao biti ispitan te bi morao zadovoljavati certifikate koji mu pripadaju.

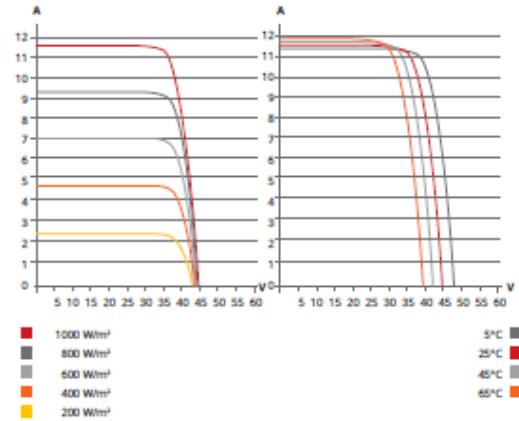
Pravilnici prema kojima bi svaki panel morao biti izrađen:

- HRN EN 61215:2021
- HRN EN 61730-1:2018
- HRN EN 61730-2:2018 [10] [25].

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS3N-410MS / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3N	400MS	405MS	410MS	415MS	420MS	425MS
Nominal Max. Power (Pmax)	400 W	405 W	410 W	415 W	420 W	425 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.2 V	37.4 V	37.6 V	37.8 V	38.0 V	38.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.76 A	10.83 A	10.92 A	10.98 A	11.06 A	11.13 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.5 V	44.7 V	44.9 V	45.1 V	45.3 V	45.5 V
Short Circuit Current (Isc)	11.50 A	11.56 A	11.62 A	11.68 A	11.74 A	11.80 A
Module Efficiency	19.7%	19.9%	20.2%	20.4%	20.7%	20.9%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3N	400MS	405MS	410MS	415MS	420MS	425MS
Nominal Max. Power (Pmax)	300 W	304 W	308 W	311 W	315 W	319 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.9 V	35.1 V	35.2 V	35.4 V	35.6 V	35.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.60 A	8.66 A	8.73 A	8.78 A	8.84 A	8.90 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.1 V	42.3 V	42.4 V	42.6 V	42.8 V	43.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.27 A	9.32 A	9.37 A	9.42 A	9.47 A	9.51 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m²-spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 X (11 X 6)]
Dimensions	1940 X 1048 X 35 mm (76.4 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-) (supply additional cable jumper: 2 lines/pallet); landscape: 1250 mm (49.2 in)*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

### PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

June 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V2.8\_EN

Slika 3.4. Canadian Solar FN panel datasheet [11]



### 3.3. Potkonstrukcijski elementi

Kako bi solarni paneli bili pričvršćeni u fiksnom fotonaponskom sustavu, potrebni su potkonstrukcijski elementi. Najčešći oblik fiksnog fotonaponskog sustava je instalacija na krovu nekog zidanog objekta. Ovisno o vrsti i nagibu pokrova, potrebno je odrediti najbolje konstrukcijske elemente.

Konstrukcijski elementi najčešće se izrađuju od aluminijskog zbog otpornosti na koroziju i ostale vanjske čimbenike te zbog svoje lakoće. Potkonstrukcija se najčešće pričvršćuje šarafima koji se šarafe ovisno o krovu, ali najčešće u drvo, lim ili beton. Postoji i vrsta potkonstrukcije koja se montira na ravni krov te se ona ne pričvršćuje, već se učvršćuje balastima (betonske kocke) [15].



Slika 3.5. *Potkonstrukcijski elementi za kosi krov popločen crijepom*



Slika 3.6. *Potkonstrukcijski elementi za kosi krov popločen crijepom*



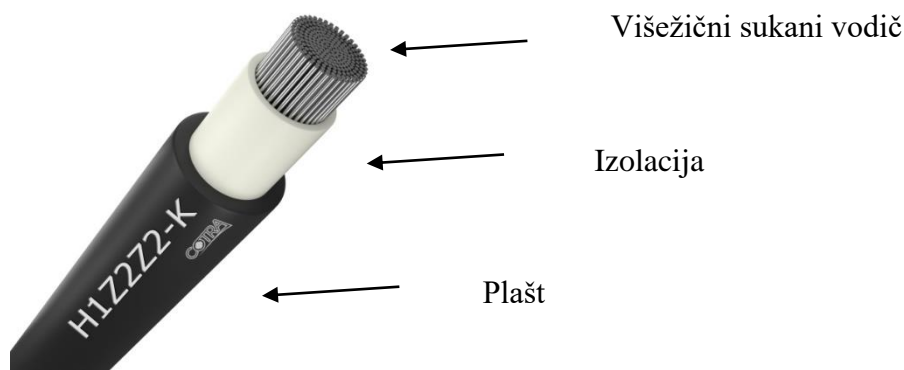
Slika 3.7. *Konstrukcijski elementi za limeni krov*



### 3.4. Istosmjerni (DC) kabeli

Solarni paneli opremljeni su spojnim kutijama s postojećim izvodima kabela čija se duljina razlikuje ovisno o proizvođaču solarnih modula i pripremljenim MC4 konektorima. Kabeli koji idu od panela do panela ne bi smjeli biti u dodiru s podlogom, već bi se trebali vezicama pričvršćivati na okvir modula. Isto tako, kabeli koji označavaju početak i kraj niza trebali bi se na trasi do izmjenjivača vezati na potkonstrukciju i dijelom u vruće cinčane metalne kableske kanale na dijelovima puta po krovovima i zidovima. Na tavanu se kabeli polažu u vruće cinčane metalne kableske kanale ili u metalne plastificirane SAPA cijevi.

Ovisno o strujnom opterećenju, izabire se presjek jednožilnog finožičanog instalacijskog vodiča tipa H1Z2Z2-K (PV1-F). Finožični vodič izrađen je od pokositrenog bakra koji je mnogo otporniji na veće temperature i vlagu, za razliku od običnog bakrenog. Izolacija je izrađena od EPM gume, a plašt od termoplastične smjese. Prema IEC 60364-7-712, kabeli stringova moraju podnositi struju koja je 1,25 puta veća od struje kratkog spoja fotonaponskog generatora. Vodič je dvostruko izolirani, otporan na UV zračenje prema HD 605/A1, ozon, hidrolizu i vremenske uvjete prema EN 50396 [31].



Slika 6.8. DC kabel [18]



Slika 3.9. Konektori za DC kabel [19]

Kako bi se DC kabel mogao spajati međusobno, ali i na izmjenjivač, potrebni su konektori. MC4 (*Multi-Contact*, 4 milimetra) konektori prvenstveno su dizajnirani samo za fotonaponske sustave. Poznati su po svojoj jednostavnosti, vodootpornosti (IP67), visokoj maksimalnoj struji i svojoj kompatibilnosti (odgovaraju na svaki solarni modul i izmjenjivač) [16]. Postoje dva tipa MC4 konektora, muški i ženski. Muški konektor spaja se na negativnu stranu vodiča, dok se ženski spaja na pozitivnu stranu. Radna temperatura kreće se najčešće od -40 °C do 90 °C, nazivni napon 1000 V, a nazivna struja 39 A.

### 3.5. Izmjenični (AC) kabeli

Za razliku od DC kabela, koji je specifično napravljen za velike napone koji vladaju u DC strujnom krugu fotonaponskog sustava te rigorozne vanjske atmosferske uvjete, izmjenični kabel u fotonaponskim sustavima povezuje izmjenjivač s razvodnim ormarom solarne elektrane te razvodni ormar solarne elektrane s razvodnim ormarom objekta. Za manje solarne elektrane koristi se kabel FG16OR16 čiji su vodiči bakreni te je izoliran tvrdom EPM gumom i PVC plaštom. Može se polagati u zemlju (CEI 64-8-61), vodu, na otvorenom ili u kabelaške kanale ako se ne očekuje naprezanje ili neko mehaničko oštećenje. Kabelaški razvod se polaže u plastične zaštitne kanalice ili podžbukno u instalacijske cijevi. Kabel je zahvaćen normama:

- HRN EN 50575:2014
- HRN EN 50575/A1:2016 [30].



Slika 3.10. Četverožilni AC kabel FG16OR16 [24]

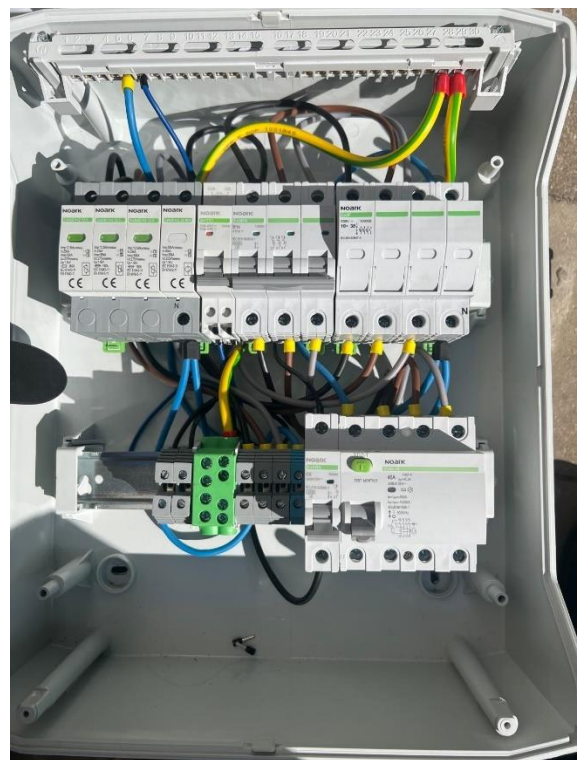
### 3.6. Priključni ormar

U priključni ormar dolazi AC kabel iz izmjenjivača. Za manje, kućne solarne elektrane u priključnom ormaru nalazi se zaštitni uređaj za diferencijalne struje (tip A), automatski prekidač (B karakteristike), rastavna sklopka s kratkospojnicima na N te AC odvodnik prenapona. Ovisno o vrsti izmjenjivača, neki nemaju ugrađene odvodnike prenapona na DC strani, te se isti onda ugrađuju u priključni ormar.

Svaki priključni ormar mora sadržavati oznake o priključenom naponu i sistemu zaštite od indirektnog dodira. Također, svaki kabel koji napaja trošilo treba sadržavati oznaku na kojoj je vidljivo koje se trošilo napaja, tip kabela, broj žila i presjek. U svaki priključni ormar po završetku spajanja potrebno je staviti tropolnu shemu. Ormar koji je podložan atmosferskim utjecajima treba imati stupanj zaštite IP65, te ispred njega treba biti minimalno 0,8 m slobodnog prostora kako bi mu se u bilo kojem trenutku moglo lako pristupiti.



Slika 3.11. Pogled na priključni ormar – izvana



Slika 3.12. Pogled na priključni ormar – iznutra

### 3.6.1. Zaštitni uređaj za diferencijalne struje

Diferencijalna zaštitna sklopka, poznatija i kao „FID“ sklopka, sklopni je aparat koji se koristi u električnim instalacijama kako bi se osigurala zaštita od strujnog udara, spriječilo nastajanje požara te povećala sigurnost korisnika. FID sklopka radi na način da detektira razliku struje koja ulazi u strujni krug te one koja izlazi, tj. mjeri struje u nultom i faznom vodiču. Kod fotonaponskih sustava FID sklopka je bitna radi nekoliko stvari. Kako je cijeli fotonaponski sustav sklon atmosferskim utjecajima (vlaga, prašina i sl.), dođe li do kakvog proboja, diferencijalna sklopka će to detektirati te će isključiti strujni krug. Nadalje, neki izmjenjivači koji su „veza“ između DC i AC struje nemaju ugrađene detektore curenja struje te u tom slučaju FID sklopka detektira i isključuje cijeli fotonaponski sustav.

Također, prema pravilima, svaki bi dio opreme fotonaponskog sustava trebao biti uzemljen. Dođe li do kakvog oštećenja uzemljenja, zaštitna će sklopka to detektirati i osigurati cijeli fotonaponski sustav. FID sklopka kod fotonaponskih sustava ima i funkciju sprječavanja ulaska istosmjerne komponente struje u mrežu. Prilikom odabira FID sklopke, važno je obratiti pozornost na broj polova sklopke, nazivnu struju, osjetljivost i nazivnu diferencijalnu struju [28] [29].



Slika 3.13. Diferencijalna zaštitna sklopka [20]



Slika 3.14. Automatski trolpolni prekidač [21]

### 3.6.2. Automatski prekidač

Automatski prekidač štiti uređaje i instalacije od prevelikog opterećenja i kratkog spoja. Kod trofaznih fotonaponskih sustava koristi se trolpolni automatski prekidač koji omogućava

prekid, odnosno uključenje svih triju faza istovremeno. Kod manjih solarnih elektrana, automatski se prekidač koristi i kao glavni prekidač solarne elektrane, pri čemu uz sebe mora imati pomoćni kontakt na koji se spaja gljivasto tipkalo s jednim N/C kontaktom koje služi za isklop u nuždi. Kod odabira automatskog prekidača, valja obratiti pozornost na broj polova, nazivnu struju, nazivnu kratkospojnu moć te karakteristiku okidanja.

Nazivna struja automatskog osigurača morala bi biti manja od nazivne struje zaštitne diferencijalne sklopke kako prilikom određenih anomalija u strujnom krugu ne bi prvo izbacilo FID sklopku, a tek onda automatski prekidač. Automatski prekidač ima mogućnost ručne i automatske kontrole, odnosno moguće je ručno isključiti napajanje faza (u slučaju kakvih popravaka) te je moguće automatsko isključivanje napajanja faza u slučaju anomalija [32].

### 3.6.3. Rastavna sklopka

Rastavna sklopka je elektroenergetski uređaj koji omogućava ručno isključivanje napona na dijelovima električne instalacije. Kod manjih fotonaponskih sustava najčešće se koriste rastavne sklopke s cilindričnim osiguračima te kratkospojnikom na nul-vodiču.



Slika 3.15. Rastavna 3PN sklopka s kratkospojnikom [17]

Rastavna se sklopka kod fotonaponskih sustava najčešće koristi za sigurno rastavljanje dijelova električnoga kruga, kako bi npr. uslijed kakvih popravaka ili održavanja na dijelovima fotonaponskog sustava monterima bili sigurni. Kratkospojnici omogućavaju siguran prolaz struje na druge dijelove sustava i zaštitu monterima od povratne struje [33].

### 3.6.4. Odvodnik prenapona

Odvodnici prenapona koriste se za zaštitu električnih sustava od naglih, kratkotrajnih povećanja napona. Uzroci prenapona mogu biti različiti, npr. udar munje, oštećenje električnih instalacija i sl. Kod prenapona, oni se ponašaju kao nelinearni otpori konstantnog napona.

U priključni ormar fotonaponskog sustava ugrađuje se odvodnik prenapona i struje munje tipa I+II. U normi IEC 60364-5-53 definirani su standardi za zaštitu od prenapona u niskonaponskoj električnoj instalaciji. Neke od karakteristika odvodnika prenapona su: impulsna struja munje, maksimalna struja odvođenja, nazivna struja odvođenja te najviši radni napon. Kako neki izmjenjivači nemaju ugrađene odvodnike prenapona na DC strani (npr. *SolarEdge*), tada je u priključni ormar potrebno instalirati i DC odvodnike prenapona koji se nalaze između solarnih panela i izmjenjivača te služe kako bi zaštitili DC strujni krug, izmjenjivač ili recimo baterije kod *off-grid* sistema [34].



Slika 3.16. AC odvodnik prenapona [22]



Slika 3.17. DC odvodnik prenapona [23]

### 3.7. Uzemljivačka instalacija

U fotonaponskim sustavima svi solarni paneli i pripadajuća konstrukcija moraju biti uzemljeni sukladno normama [HRN HD 60364-1](#) te [HRN HD 60364-5-54](#). Ako objekt nema ili ima slabu uzemljivačku instalaciju, potrebno je uz objekt postaviti uzemljivačku sondu te na istu Al žicom promjera 8 mm spojiti potkonstrukciju panela.

Svi odvojeni metalni dijelovi moraju međusobno biti galvanski povezani. Paneli koji nisu montirani za zajedničku konstrukciju, moraju koristiti podložne pločice za proboj eloksiranog sloja na FN panelu. Vodič uzemljenja sukladno normama mora biti žuto-zelene boje, a sabirnica PE priključnog ormara mora se povezati s postojećim temeljnim uzemljivačem objekta ili sondom minimalnog presjeka  $10 \text{ mm}^2$ .

Uzemljivači, odnosno metalni dijelovi koji su propisno ugrađeni u temelj objekta, mogu se koristiti i kao sustav zaštite za solarnu elektranu. Sva gromobranska instalacija mora biti projektirana prema propisu za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama [36].



## 4. Kritične točke kod postavljanja opreme

Kod postavljanja opreme, važno je da sudjeluju samo certificirani radnici. Dakle, na ugradnji podžbuknog i nadžbuknog instalacijskog materijala potrebna je PK radna snaga. Za spajanje vodova na trošila, u instalacijskim kutijama ili sklopkama, potrebna je KV radna snaga. Za spajanje složenijih razdjelnica ili motorskih pogona, potrebna je VKV radna snaga. Ipak, koliko radnici bili certificirani i kvalificirani, uvijek se može desiti neka pogreška ili nepažnja koja može dovesti do kobnih situacija.

### 4.1. Izmjenjivači

Prilikom spajanja izmjenjivača važno je obratiti pozornost na polaritete DC kablova koji ulaze u njega te na same ulaze na izmjenjivaču (MPPT). Okrenemo li polaritete, vrlo je moguće da se izazove neki veći kvar izmjenjivača. Za svako dodavanje nizova panela u izmjenjivač ili prespajanje nizova panela, obavezno je prethodno ugasiti izmjenjivač.

### 4.2. Solarni paneli i potkonstrukcija

Prilikom povezivanja solarnih panela s potkonstrukcijom važno je da je sve dobro pritegnuto kako kasnije ne bi došlo do oštećenja. Isto tako, važno je odabrati kvalitetnu opremu, a ne zamjensku.

Tako se na Slici 3.16. može vidjeti potkonstrukciju namijenjenu postavljanju na kosi krov, popločen crijepom, dok se u ovoj varijanti instaliralo na lim prilikom čega je prvo došlo do zamakanja u potkrovlje kuće, a nakon olujnog vjetrova i otpuhivanja solarnih panela s krova.



Slika 4.1. Potkonstrukcija za crijep montirana na limu



### 4.3. Kabeli

Kod kabliranja posebno treba obratiti pažnju na nekoliko stvari. Naime, DC kablovi imaju pojačanu zaštitu, a prema normi HRN HD 60364-4-41 (Zaštita od električnog udara) smatra se da i kabeli s osnovnom izolacijom zadovoljavaju zahtjeve HRN EN 61140 za pojačanu izolaciju. Ipak, pojačana se izolacija isto tako lako ogrebe o oštre predmete poput aluminijske konstrukcije ili pak u slučaju neke vrste proboja u ciglu, stoga bi se svi kablovi trebali dodatno izolirati zaštitnim izolacijskim cijevima.

Kod DC kabela kritičnu točku predstavljaju MC4 konektori. Iako su kabeli i spojna oprema poput konektora deklarirani za vanjske utjecaje i uporabu na otvorenom, konektori svejedno ne bi smjeli biti pod izravnim utjecajem vode. Upravo radi toga bi se svi konektori trebali vezicama vezati za FN panele, i pritom ne dodirivati podlogu.



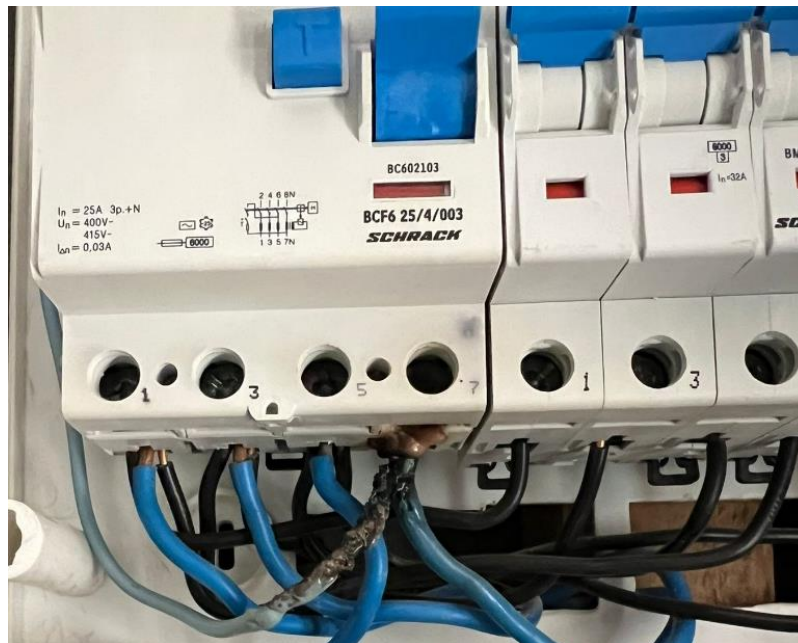
Slika 7.2. i Slika 4.3. *MC4 konektor nakon izloženosti električnom luku*

MC4 konektori moraju biti standardizirani prema IEC 62852. Također, MC4 konektori trebaju se pričvršćivati samo certificiranim kliještima. Najbolja je opcija da su konektori panela jednaki kao i konektori na DC kablovima. U protivnom može doći do stvaranja električnog luka, što dovodi do potencijalnog požara.

#### 4.4. Priključni ormar

U priključnom ormaru prije povezivanja s izmjenjivačem ili mrežom valja provjeriti povezanost te ima li kakvih međudjelovanja. Koriste li se licnaste žice, na kraju bi valjalo imati završne tuljke. Svaka komponenta priključnog ormara trebala bi imati navedenu količinu sile kojom bi se kontakti određene komponente trebali pričvrstiti.

Na Slici 4.3. prikazan je nul-vodič koji nije bio dovoljno pritegnut te je ispao iz kontakta, pritom uzrokujući taljenje izolacije vodiča i mogućnost izbijanja požara. Također, nalazi li se priključni ormar na otvorenom, pri čemu na njega djeluju različiti atmosferski utjecaji (kiša, prašina i sl.), valja obratiti pozornost na njegovu IP zaštitu.



Slika 4.4. Nedovoljno stisnuti vodič u kontakte FID sklopke u priključnom ormaru

#### 4.5. Uzemljivačka instalacija

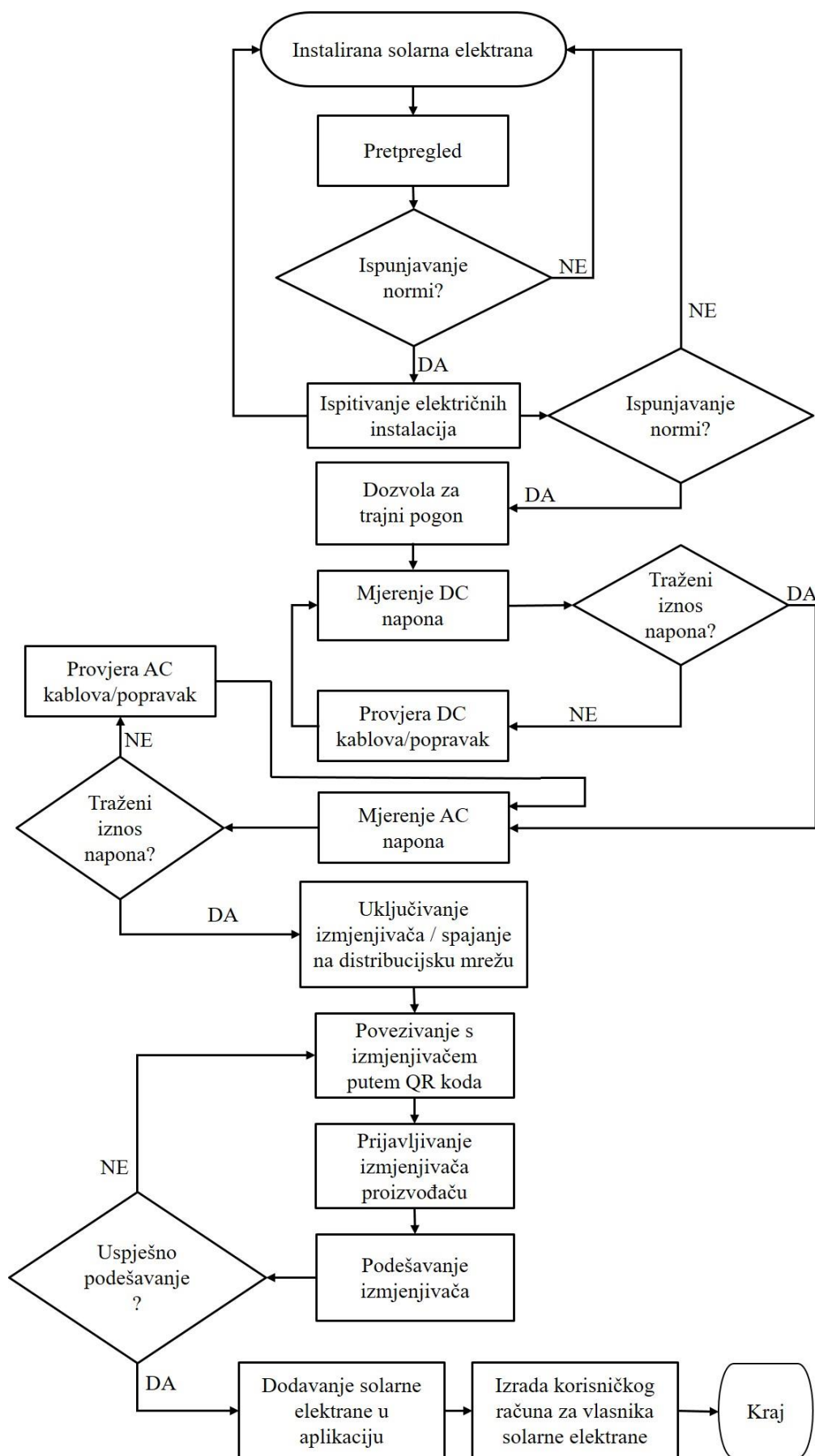
Kod spajanja uzemljivačke instalacije valja obratiti pozornost na spojeve aluminijske potkonstrukcije s bakrenom žicom kako ne bi došlo do elektrokemijske korozije. Prema tome, trebalo bi koristiti dvo-metalne spojnice ili aluminijsku žicu i aluminijske spojnice za spajanje na aluminijsku potkonstrukciju.

## 5. Puštanje fotonaponskog sustava u pogon

Puštanje fotonaponskog sustava u pogon faza je koja slijedi nakon izgradnje FN sustava te koja priprema čitav sustav za komercijalni rad. Ova ključna faza projekta, osim administrativnih dužnosti, uključuje niz testova pouzdanosti i performansi. Testovi uključuju ispitivanje pojedinačnih komponentni FN sustava kao i cjelokupnoga sustava.

Tako je prema normi HRN HD 60364-6 definirano kako je potrebno provoditi početno provjeravanje i periodično provjeravanje. Postupak ispitivanja uključuje radnje ispitivanja i kontrole prije puštanja u probni rad, ispitivanje tehničkih parametara prema protokolu HEP-a, ispitivanje sustava zaštite i iskapčanja.

Detaljniji proces puštanja u rad solarne elektrane prikazan je u Dijagramu 5.1. *Proces puštanja u pogon solarne elektrane*. Dijagram se sastoji od tehničkih i administrativnih procesa. Dijagram prikazuje kako proces puštanja u pogon započinje u trenutku kada je solarna elektrana instalirana, nakon čega slijedi pretpregled i ispitivanje električnih instalacija pri čemu sve norme moraju biti zadovoljene kako bi proces mogao napredovati. Prije samoga spajanja na distribucijsku mrežu, potrebno je dobiti potvrdu za trajni pogon. Nakon potvrde za trajni pogon, potrebno je izmjeriti DC i AC napone te uz tražene iznose DC i AC napona može uslijediti uključivanje izmjenjivača. Kada se izmjenjivač uključi, potrebno se povezati s njim, prijaviti ga proizvođaču, podesiti parametre izmjenjivača, dodati solarnu elektranu u aplikaciju te izraditi korisnički račun za vlasnika solarne elektrane. Procesi nakon uključivanja izmjenjivača mogu se odraditi pomoću pametnoga telefona i aplikacije izmjenjivača.



Dijagram 5.1. Proces puštanja u pogon solarne elektrane

## 5.1. Početno provjeravanje

Tijekom ugradnje svaka se instalacija mora provjeravati, što je više moguće prije samog stavljanja u uporabu od strane korisnika. Instalirana oprema ne smije ni u slučaju kvara prouzročiti pogibelj za osobe ili domaće životinji niti za nekretnine i opremu [38].

### 5.1.2. Pregledavanje

Beznaponsko pregledavanje prethodi ispitivanju, a točke koje se pregledavaju, ako je primjenjivo, su:

- metoda zaštite od električnog udara
- postojanje požarnih pregrada i drugih mjera opreza protiv širenja požara te za zaštitu od toplinskih učinaka
- odabir vodiča prema trajno podnosivim strujama i padu napona
- odabir i podešenost zaštitnih i nadzornih naprava
- postojanje i ispravni smještaj prikladnih naprava za odvajanje i sklapanje
- odabir opreme i zaštitnih mjera koje odgovaraju vanjskim utjecajima
- ispravno označeni neutralni i zaštitni vodič
- je li jednopolna sklopna naprava spojena u linijske vodiče
- postojanje shema, obavijesti upozorenja ili drugih sličnih podataka
- ispravno označavanje strujnih krugova, nadstrujnih naprava, sklopki i stezaljki
- postojanje i primjerenost zaštitnih vodiča, uključujući vodiče zaštitnog izjednačavanja potencijala i dodatnog izjednačivanja potencijala
- dostupnost opreme za udobnost pogona, prepoznavanja i održavanja [38].

### 5.1.3. Ispitivanje

Kad su primjenjiva, ispitivanja se izvode sljedećim redom:

- a) neprekidnost vodiča
- b) izolacijski otpor električne instalacije
- c) zaštita sa SELV, PELV ili električnim odjeljivanjem
- d) otpor/impedancija poda i zida
- e) mjerenje otpora uzemljenja uzemljivača, mjerenje otpora petlje kvara
- f) automatski isklop opskrbe
- g) dodatna zaštita
- h) ispitivanje polariteta
- i) ispitivanje slijeda faza

- j) funkcionalno i pogonsko ispitivanje
- k) pad napona [38].

#### **5.1.4. Izvješćivanje**

Nakon što je dovršeno provjeravanje nove instalacije ili dopune ili preinake postojeće instalacije, potrebno je pribaviti početni izvještaj. Početni izvještaj mora sadržavati zapise o pregledavanju i bilješke o ispitivanim strujnim krugovima i ispitne rezultate, pojedinosti o strujnim krugovima i ispitne rezultate za svaki strujni krug, uključujući s njim povezanu zaštitnu napravu. Također, potrebno je zabilježiti rezultate odgovarajućih ispitivanja i mjerenja.

### **5.2. Izvještaj o provedenom ispitivanju električne instalacije**

Za fotonaponske elektrane snage do 50 kW nije potrebno raditi naponska ispitivanja, već su potrebna samo beznaponska ispitivanja. Za fotonaponske elektrane snage iznad 50 kW potrebna su naponska ispitivanja sedam dana prije priključenja fotonaponske elektrane te sedam dana nakon priključenja fotonaponske elektrane.

### **5.3. Primjer izvještaja o provedenom ispitivanju električne instalacije solarne elektrane**

Prikazuje se izvještaj o provedenom beznaponskom ispitivanju električne instalacije solarne elektrane *Malez*. Osnovni podatci o elektrani:

- Snaga: 10 kW
- Instalirani izmjenjivač: HUAWEI SUN2000-10KTL-M1 High Current
- Lokacija: Augusta Šenoe 9, 42 240 Ivanec
- Moduli: Canadian Solar CS6R 435T x 23 kom

Opseg ispitivanja prema zahtjevu naručitelja:

- Ispitivanje kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala
- Ispitivanje električkog izolacijskog otpora vodiča
- Ispitivanje otpora uzemljenja.

Podatci o ispitivaču i opremi:

- Tvrtka: *Elistro j.d.o.o.*
- Adresa: Donje Ladanje, Vladimira Nazora 81, Maruševac
- Ispitivač: Zdravko Korpar, ing. el.
- Oprema: METREL EUROTTEST 61557

### 5.3.1. Ispitivanje kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala

Uvjet ispravnosti vodiča za izjednačavanje potencijala:

$$R \leq U_l / I_A$$

Pri tome je  $R$  električni otpor, a  $U_l$  dopušteni napon dodira (50 V). Oznaka  $I_a$  je vezana za struju djelovanja nadstrujnog zaštitnog uređaja nazivne struje  $I_n$  koja osigurava isključenje u vremenu od 5 s, ako se koristi zaštitni uređaj RCD, označava nazivnu diferencijalnu struju  $I_{\Delta n}$ .

Ispravnost vodiča za izjednačavanje potencijala potvrđuje se mjerenjem impedancije petlje kvara [38]. Podatci su prikazani u Tablici 5.1.

Red. broj	Između masa (zaštitna sabirnica razdjelnika)	Ispitna struja (A)	Izmjereni otpor ( $\Omega$ )	Dopušteni otpor ( $\Omega$ )	Zadovoljava (DA/NE)	Napomena
1.	Temeljni uzemljivač – zaštitna sabirnica razdjelnika RO-SE	$\geq 0.2$	$< 0.5$	do 2.0	DA	-
2.	Zaštitna sabirnica razdjelnika – metalna konstrukcija naponskih panela na krovu	$\geq 0.2$	$< 1.0$	do 2.0	DA	-

Tablica 5.1. Rezultati dobiveni ispitivanjem kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala

Ovo je ispitivanje provedeno na način da je jedna stezaljka mjernog uređaja spojena na fazni vodič kućnog priključnog ormara, a druga stezaljka na temeljni uzemljivač. U drugom dijelu



mjerenja stezaljka s temeljnog uzemljivača premjesti se na PE vodič koji dolazi s konstrukcije naponskih panela na krovu.



Slika 5.1. Ispitivanje kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala



Slika 5.2. Prikaz rezultata ispitivanja kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala

Nakon dobivenih rezultata ispitivanja i upisivanjem u tablicu, utvrđeno je da sve stavke zadovoljavaju zahtjeve tehničkog propisa za niskonaponske električne instalacije.



### 5.3.2. Ispitivanje električnog izolacijskog otpora vodiča

Uvjet ispravnosti električnog izolacijskog otpora vodiča:

$$R_{izo} \geq R_{izo \text{ min}}$$

$R_{izo \text{ min}} \geq 1 \text{ M}\Omega$  – za strujne krugove do 500 V, uključujući FELV (ispitni napon 500 V)

$R_{izo \text{ min}} \geq 1 \text{ M}\Omega$  – za strujne krugove od 500 do 1000 V (ispitni napon 1000 V)

$R_{izo \text{ min}} \geq 0.5 \text{ M}\Omega$  – za SELV i PELV strujne krugove (ispitni napon 250 V) [38].

Red. br.	Oznaka strujnog kruga / tip kabela	$R_{iso} [\text{M}\Omega]$										$R_d$ M $\Omega$	$R_{iso} > R_d$ DA/NE	
		L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-N	L2-N	L3-N	L1-PE	L2-PE	L3-PE	N-PE			
1.	Izmjenjivač do RO-SE/ FG16OR16 5x4 mm2	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>1	DA
2.	RO-SE do GRO/ FG16OR16 5x4 mm2	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>1	DA

Tablica 5.2. Rezultati dobiveni ispitivanjem električnog izolacijskog otpora vodiča

Nominalni napon [V]	Ispitni DC napon U [V]	Otpor izolacije $R_d$ [M $\Omega$ ]
SELV, PELV	250	$\geq 0.5$
Ex „i“	700	$\geq 1.0$
Do uključivo 500 V i FELV	500	$\geq 1.0$
Iznad 500 V	1000	$\geq 1.0$

Tablica 5.3. Kriteriji za odabir ispitnog napona i najmanji dozvoljeni otpor izolacije

Značenje oznaka je sljedeće:

- L1, L2, L3 – fazni vodiči
- N – neutralni vodič
- PE - zaštitni vodič
- $R_{iso}$  – izmjereni otpor izolacije
- $R_d$  – najmanji dozvoljeni otpor izolacije
- $U_i$  – ispitni napon.

Ispitivanje se provodi na način da se jednom stezaljkom mjernog uređaja uhvati jedan vodič, a drugom stezaljkom drugi vodič i tako ispitujemo dok ne ispitamo sve vodiče međusobno.



Slika 5.3. Ispitivanje izolacijskog otpora vodiča



Slika 5.4. Ispitivanje električnog izolacijskog otpora vodiča



Slika 5.5. Rezultati dobiveni ispitivanjem električnog izolacijskog otpora vodiča

Ispitivanjem je utvrđeno da sve stavke udovoljavaju zahtjevima.

### 5.3.3. Ispitivanje otpora uzemljenja

Uvjeti ispravnosti otpora uzemljivača:

$$R_u = k \times R_s \leq 20 \quad \text{za } \gamma \leq 240$$

$$R_u = k \times R_s \leq 0.8 \times \gamma \quad \text{za } \gamma > 240$$

Oznake:

- $R_u$  – udarni otpor rasprostiranja [ $\Omega$ ]
- $K$  – konstanta ovisna o dužini uzemljivača  $l$  i o specifičnom otporu tla
- $R_s$  - otpor rasprostiranja [ $\Omega$ ]
- $\gamma$  - specifični otpor tla [ $\Omega\text{m}$ ].

$$R_a \times I_a < 50$$

Oznake:

- $R_a$  – izmjereni otpor
- $R_d$  – projektirana vrijednost otpora uzemljenja
- $R_p$  – dopušteni otpor.

Uvjeti ispravnosti otpora uzemljivača odvodnika prenapona:

$$R \leq 5 \Omega [38]$$

Ispitno mjesto	$R_a$ [ $\Omega$ ]	$I_a$ [mA]	$R_{max}$ [ $\Omega$ ]	$R_d$ [ $\Omega$ ]	Napomena
RO – SE odvodnik prenapona	3.82	-	-	<5	zadovoljava
RO – SE otpor uzemljenja	3.83	300	166	<20	zadovoljava

Tablica 2.4. Rezultati ispitivanja otpora uzemljenja



Slika 5.6. Ispitivanje otpora uzemljenja



Slika 5.7. Rezultati dobiveni ispitivanjem otpora uzemljenja

Nakon ispitivanja, ispitivač sukladno zahtjevima *Tehničkog propisa niskonaponske električne instalacije* (N.N. br. 5/2010) i na osnovu dobivenih rezultata mjerenja izdaje izjavu o obavljenim mjerenjima po kojoj se utvrđuje je li sustav zadovoljavajući ili ne.

Također, kako bi HEP dao dozvolu za trajni pogon, ispitivač mora popuniti i poslati *Izjavu o završnom pregledu i ispitivanju elektroenergetskog postrojenja i instalacija*.

#### 5.4. Pokretanje izmjenjivača i instalacija aplikacije za puštanje u pogon

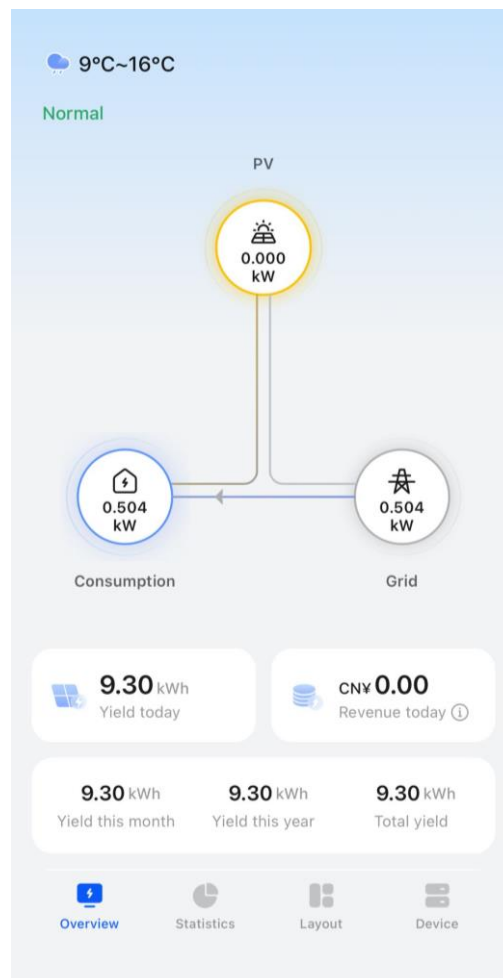
Nakon što HEP dostavi dokument *PM-2.10.3. potvrda za trajni pogon – kućanstvo s vlastitom proizvodnjom*, instalater može pokrenuti izmjenjivač, odnosno staviti solarnu elektranu u funkciju. Tijekom pokretanja važno je obratiti pozornost na napon faza i DC napon.

Kako bi se izmjenjivač mogao pokrenuti, važno je instalirati aplikaciju za puštanje u pogon i monitoring. *SE Malez* pokreće inverter tvrtke Huawei čija se aplikacija za puštanje u pogon naziva *FusionSolar*.

Koraci puštanja solarne elektrane u pogon pomoću aplikacije *FusionSolar* su:

1. Povezivanje s izmjenjivačem
  - skenira se QR kod s bočne strane izmjenjivača te se nakon toga putem WIFI-a mobilni uređaj poveže s izmjenjivačem
2. Prvo prijavljivanje
  - prilikom prvoga prijavljivanja instalater se prijavljuje s korisničkim imenom (installer) i inicijalnom lozinkom koja je jednaka za sve Huawei uređaje (00000a)

- postavljanje nove lozinke
3. Podešavanje parametara izmjenjivača
    - postavljanje mrežnih normi (npr. IEC61727 – niskonaponske mreže 50 Hz)
    - postavljanje datuma i vremena
    - dodavanje dodatnih uređaja (npr. pametno brojilo, optimizatori, baterija)
    - povezivanje s mrežom (putem LAN kabela ili WLAN)
  4. Dodavanje solarne elektrane u aplikaciju
    - dodavanje imena postrojenja
    - postavljanje maksimalnog DC kapaciteta
    - lokacija postrojenja
    - tip postrojenja (npr. poslovni ili stambeni)
  5. Izrada računa za korisnike solarne elektrane
    - instalater korisniku putem aplikacije šalje e-mail s korisničkim podacima



Slika 5.8. Izgled korisničkog sučelja FusionSolar aplikacije

## 5.5. Kritične točke puštanja solarne elektrane u pogon

Kod puštanja solarne elektrane u pogon važno je slijediti sve propise i norme radi dosljednosti. Veliki problem prilikom puštanja u pogon predstavljaju izvođači koji nisu dovoljno educirani i certificirani. Ključna je kvaliteta instalacija, dok loši spojevi, preskakanje kritičnih provjera i mjerenja te prikapčanje na mrežu bez koordinacije s distribucijskim operaterom dovode do ozbiljne ugroze rada solarnih elektrana, mreže, kao i ugroze ljudskih života.

Problem kod puštanja solarne elektrane u pogon predstavlja koordinacija s distribucijskim operaterom i njihovim zaposlenicima. U Hrvatskoj velik broj kuća još uvijek ima tarifni osigurač (pancir) koji nakon premještanja zamjene brojila, zaposlenici HEP-a kratko spoje.

Problem nastaje kada se elektrana treba prikopčati na dolazni kabel koji je pod naponom, te jedan od zaduženih električara zove najbliže distribucijsko područje kako bi HEP prekinuo dovod napajanja objekta. U tom slučaju HEP-ovi radnici najčešće ne žele ustupiti pomoć.

Npr. za razliku od Hrvatske gdje neslužbena osoba ne smije u kućno priključno-mjerni ormar postavljati i spajati svoje uređaje, u Sloveniji, uz prethodno najavljuvanje distribucijskom centru, električar može postaviti potrebne uređaje u njihove kućne priključno-mjerne ormare.

Hrvatska	Slovenija
<ul style="list-style-type: none"><li>- pristup kućno priključno-mjernom ormaru strogo zabranjen (električna oprema se postavlja u zasebne priključne ormare)</li><li>- optimizatori snage se ugrađuju po želji kupca</li><li>- veliki broj ugrađene električne opreme (tropolni osigurač, jednopolni osigurač, rastavna sklopka, DC odvodnik prenapona, AC odvodnik prenapona, FID sklopka, okidač, gljivasto tipkalo)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- mogućnost postavljanja električne opreme (npr. grebenasta sklopka, smart meter) u kućno priključno-mjerni ormar</li><li>- obavezna upotreba optimizatora snage (maksimalni iznos DC napona 50 V)</li><li>- mala količina ugrađenih zaštitnih uređaja, osigurača i ostale električne opreme (grebenasta sklopka, tropolni osigurač, DC odvodnik prenapona)</li></ul>

Tablica 5.5. Razlike između Hrvatske i Slovenije u instalaciji solarne elektrane

Kod puštanja solarne elektrane u pogon bitna je i sinkronizacija s mrežom koja mora biti automatska. Tako u HEP-ovim pravilnicima piše da razlika napona ne smije biti manja od  $\pm 10$  % nazivnog napona, frekvencija ne smije biti manja od  $\pm 5$  %, a fazni kut manji od  $\pm 10^\circ$  [37].

Najčešći problemi pri puštanju solarne elektrane u pogon vezani su uz rad izmjenjivača i njegovo pokretanje. Iako su solarne elektrane popularne već duže vrijeme, aplikacije samih proizvođača izmjenjivača, koje služe za njihovo pokretanje, imaju puno grešaka. Na primjer, aplikacija *FusionSolar* ima puno problema s povezivanjem izmjenjivača na WIFI, pronalaženjem i ažuriranjem optimizatora ili izmjenjivača, dok aplikacija *SolarEdge* ima probleme s povezivanjem samih izmjenjivača s aplikacijom. Velika je prednost aplikacije *SolarEdge* daljinsko upravljanje izmjenjivačem i ostatkom sustava, dok kod *FusionSolar* aplikacije to nije moguće, već se mora svaki put doći fizički do izmjenjivača i povezati se s njime.

## 5.6. Osiguranje kvalitete

Sve instalacije moraju biti izrađene u skladu s važećom tehničkom regulativom. Upotrebljavanje kabela, niskonaponske sklopne opreme i ostalih elemenata elektrotehničke instalacije mora biti prema pravilima struke.

Norma [HRN HD 60364-6](#) *Niskonaponske električne instalacije* jasno definira kako je potrebno provoditi mjerenja i ispitivanja prije puštanja solarne elektrane u pogon [38]. Na prolazima kroz požarne sektore obavezno koristiti protupožarne brtve. Projektirana električna oprema odabrana je na način da odgovara efektivnoj vrijednosti AC struje koja će protjecati tijekom normalnoga rada, a u izvanrednim situacijama oprema mora izdržati dokle god dopuštaju karakteristike zaštitnih uređaja.

Norma [HRN HD 60364-7-712](#) sadrži opis i vrste spajanja, uređaje za zaštitu, kontrolu te monitoring. Cijela norma detaljnije obrađuje fotonaponske sustave, pritom navodeći o terminima i definicijama povezanih s FN sustavima. Također, prema toj normi svaki objekt koji ima instaliran FN sustav mora na vidljivom mjestu imati, najčešće na priključnom ormaru FN sustava, naljepnicu koja ukazuje da je na objektu FN sustav te da postoji mogućnost električnog udara i kad je izmjenično napon 0.

Izvođač radova prilikom izvršavanja radova mora voditi brigu da izvršeni radovi budu u skladu sa zakonima i normama [39].

## 6. Održavanje i monitoring solarne elektrane

### 6.1. Održavanje solarne elektrane

Solarne elektrane zahtijevaju minimalno održavanje zbog svog automatiziranog rada. Održavanje bi trebalo izvoditi prema uputama proizvođača opreme. Neke od osnovnih radnji održavanja su:

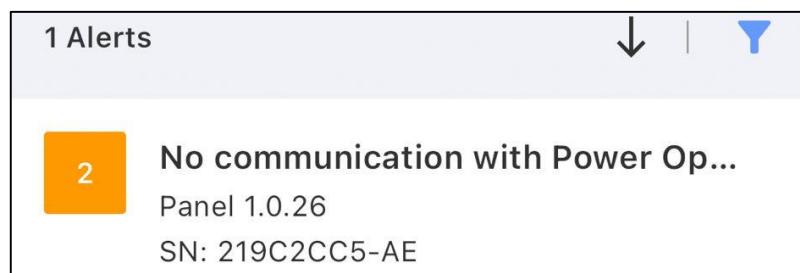
- vizualni pregled modula i potkonstrukcije
- čišćenje ventilatora na izmjenjivaču
- pritezanje vijčanih spojeva
- obnavljanje oznaka
- pregled ispravnosti komponenti priključnog ormara (FID, automatski osigurači i dr.)

Redoviti pregled trebao bi se vršiti svake godine, dok bi se redovito ispitivanje kompletne solarne elektrane trebalo vršiti svake četiri godine. Svaki pregled/ispitivanje vrši za to kompetentna osoba te je o svakom pregledu/ispitivanju potrebno sastaviti zapisnik koji investitor ima obvezu trajno čuvati.

Investitor je obvezan otkloniti zapažene nedostatke u najkraćem mogućem roku [38].

### 6.2. Monitoring solarne elektrane

Kako bi u bilo kojem vremenu korisnik mogao vidjeti rad svoje solarne elektrane, potrebna mu je aplikacija za monitoring. Njome može u realnom vremenu, udaljen od svoje solarne elektrane, mijenjati parametre, optimizirati rad elektrane te vidjeti eventualne greške u radu elektrane. Monitoring nije koristan samo za korisnike solarnih elektrana, već i za njene montere koji isto tako u bilo kojem trenutku mogu vidjeti abnormalnosti kod pojedinih elektrana te u najbržem mogućem roku djelovati kako ne bi došlo do većih oštećenja.



Slika 6.1. SolarEdge monitoring aplikacija - greška optimizatora



## 7. Zaključak

U ovom završnom radu analizirani su svi aspekti uspješne i sigurne instalacije solarne elektrane. Rad ističe kako se osiguranju kvalitete tijekom čitavog procesa gradnje mora pridavati posebni značaj. Osiguravanjem kvalitete ne samo da štitimo ljude i imovinu nego i osiguravamo efikasnost te dugoročnu održivost kompletnog sustava. Osiguranje kvalitete ne obuhvaća samo tehničke segmente poput tehničkih standarda, normi i sigurnosnih pravila, već i procese poput kontrole radova. Puštanje solarne elektrane u rad kompleksan je mehanizam koji iziskuje određivanje prioriteta i osmišljeno planiranje.

Važan čimbenik u kvalitetnoj instalaciji solarnih elektrana ima odabir kvalitetne opreme. Neki od važnijih komada opreme na koju treba obratiti pažnju prilikom projektiranja i instalacije su solarni paneli i izmjenjivač. Oba komada opreme moraju biti u skladu s normama i certifikatima, te ih samo certificirani majstori smiju spajati. Veliku pažnju valja pridodati i kablovima gdje najčešće dolazi do pojave grešaka uslijed nepažnje.

Završna faza izgradnje solarne elektrane svakako je puštanje u pogon. Proces puštanja u pogon nije samo pokretanje izmjenjivača. Puštanje u pogon započinje procesom pregledavanja cijeloga sustava, ispitivanjem električnih instalacija te na kraju instalacijom aplikacije za uspostavljanje veze s izmjenjivačem. U procesu ispitivanja i puštanja u pogon treba poštivati različite norme, kao što je na primjer [HRN HD 60364-6](#) koja definira zahtjeve za provođenjem početnog i periodičnog provjeravanja. Poznavanje normi omogućava poznavanje bitnih termina ključnih za siguran rad s fotonaponskim sustavima.

Nakon puštanja u pogon, važno je ne prepustiti solarnu elektranu samoj sebi, već se brinuti o njoj kako njezina efikasnost i rentabilnost ne bi podbacile. Dakle, održavanje fotonaponskih sustava je neophodno. Postoje neka manja preventivna, tek vizualna održavanja koja se odrađuju jednom godišnje. Značajnija održavanja trebala bi se realizirati svake četiri godine. Daljinskim monitoringom solarnih elektrana korisnicima pružamo veća saznanja o radu solarne elektrane u bilo kojem trenutku, a monterima sigurnost da ukoliko dođe do nekog kvara, brzo će biti prepoznati.

## 8. Literatura

[1] Fotonaponski sustavi

<https://web.archive.org/web/20111108053344/http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/Sunce%20prezentacija.pdf>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[2] Fiksni i pokretni fotonaponski sustavi

<https://hrcak.srce.hr/file/287381>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[3] Razlike solarnih panela

<https://solar.kernsteel.com/what-are-the-different-types-of-pv-modules/>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[4] Hibridne elektrane

<https://suncanigrad.hr/sto-su-hibridne-elektrane-on-grid-off-grid/>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[5] Zasjenjivanje panela

<https://www.greenrhinoenergy.com/solar/performance/shading.php>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[6] Zasjenjivanje panela

<https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-wind-and-shading-on-energy-contribution-Kumar-Sarkar/44071741c76dfb97a456b9a9b7d4961c50ba08c5>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[7] On-grid FN sustavi

<https://solarni.shop/on-grid-solarni-sistemi/>

Pristupljeno 6. rujna 2024.

[8] Off-grid FN sustavi

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fsolarni.shop%2Foff-grid-solarni-sistemi%2F&psig=AOvVaw3CBolSNUdGgKrINfkspbb1&ust=1725575360118000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCOjjiqaarqogDFQAAAAAdAAAAABAE>

Pristupljeno 7. rujna 2024.

[9] Hibridni solarni sustav

<https://hr.dsnsolar.com/info/introduction-to-hybrid-solar-system-36639521.html>

Pristupljeno 7. rujna 2024.

- [10] Vrste panela  
<https://www.eon.hr/hr/svijet-nove-energije/vrste-solarnih-panela-i-nacin-rada.html>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [11] CanadianSolar datasheet  
<https://gosolarmart.com/product/canadian-solar-565-watts-hiku6-mono-perc-module/>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [12] Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom  
<https://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/prikljucenje-kucanstva-s-vlastitom-proizvodnjom/185>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [13] Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom  
<https://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/prikljucenje-kucanstva-s-vlastitom-proizvodnjom/185>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [14] Izmjenjivač  
<https://www.enciklopedija.hr/clanak/izmjenjivac>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [15] Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers [2nd ed.] Earthscan Publications. 2005.
- [16] MC4 konektori  
<http://hr.dajiangcable.com/info/what-is-the-mc4-connector-72567629.html>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [17] Rastavna sklopka  
<https://www.schrack.hr/trgovina/rastavna-sklopka-za-cilindricne-osigurace-10x38mm-3p-n-32a-is506105.html>  
Pristupljeno 6. rujna 2024.
- [18] Solarni kabeli  
<https://www.cotra.hr/Search/solar%20h1z2z2%20k%20pv1%20f>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [19] MC4 konektori  
<https://www.solarno.hr/katalog/proizvod/0147/konektor-mc4-mz>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [20] FID sklopka  
[https://www.ellabo.hr/index.php?route=product/product&product\\_id=5478](https://www.ellabo.hr/index.php?route=product/product&product_id=5478)  
Pristupljeno 4. rujna 2024.

- [21] Automatski osigurač  
<https://www.el-zap.hr/proizvod/automatski-osigurac-eti-tropolni/>  
Pristupljeno 4. rujna 2024.
- [22] Odvodnici prenapona  
<https://www.eti.hr/proizvodi-i-usluge-hr/etitec/odvodnici-prenapona-modularni/002440396-odvodnik-prenapona-etitec-etitec-c-spd-t2-275-208-20>  
Pristupljeno 4. rujna 2024.
- [23] Odvodnici prenapona  
<https://www.se.com/hr/hr/product/A9L40281/iprddc-40r-1000pv-modularni-odvodnik-prenapona-2p-1000v-s-dalj-signalom/>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [24] AC kabl  
<https://www.metalka.hr/prodajni-program/elektroinstalacijski-kablovi-i-vodici/kabel-fg16or16/7447>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [25] Solarna elektrana  
<https://docplayer.gr/66910729-Energija-sunca-koristenje-energije-sunca-za-proizvodnju-el-energije-i-grijanje-prof-dr-sc-zdenko-simic-fer.html>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [26] Zahtjev za mogućnost priključenja  
[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/vazeci\\_obraci/PM-1.7.Zahtjev\\_za\\_provjeru\\_mogucnosti\\_prikljucenja\\_kucanstva\\_s\\_vl.%20proizv.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/vazeci_obraci/PM-1.7.Zahtjev_za_provjeru_mogucnosti_prikljucenja_kucanstva_s_vl.%20proizv.pdf)  
Pristupljeno 4. rujna 2024.
- [27] Potvrda za trajni pogon  
[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup\\_mrezi/PM\\_2.10.3.\\_Potvrda\\_za\\_trajni\\_pogon\\_kucanstvo%20s\\_vl\\_proizv.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup_mrezi/PM_2.10.3._Potvrda_za_trajni_pogon_kucanstvo%20s_vl_proizv.pdf)  
Pristupljeno 4. rujna 2024.
- [28] K. Meštrović: Sklopni aparati srednjeg i visokog napona. Graphis. 2007.
- [29] FID sklopka  
<https://schracktrainingcenter.com/kb/isklopna-karakteristika-fid-sklopke/>  
Pristupljeno 5. rujna 2024.
- [30] AC kabl  
<https://www.tim-kabel.hr/content/view/459/449/lang.hrvatski/>  
Pristupljeno 6. rujna 2024.

- [31] Solarni kabel  
<https://www.cotra.hr/Item/30132/VODI%c4%8c-H1Z2Z2K-PV1F-SOLAR---400-mm2-CRNA>  
Pristupljeno 6. rujna 2024.
- [32] Automatski osigurač  
<https://hr.elmarkstore.eu/mini-automatski-osigura%C4%8Di-category70>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [33] Rastavna sklopka  
<https://www.schrack.hr/trgovina/rastavna-sklopka-za-cilindricne-osigurace-10x38mm-3p-32a-is506103.html>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [34] Odvodnik prenapona  
<https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/odvodnik-prenapona>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [35] Proces izgradnje solarne elektrane  
<https://www.zgradonacelnik.hr/servisne-informacije/od-ideje-do-realizacije-kada-ce-solarna-elektrana-poceti-s-radom/658>  
Pristupljeno 7. rujna 2024.
- [36] Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (NN 87/08, 33/10)
- [37] Mrežna pravila distribucijskog sustava  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_08\\_74\\_1539.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_74_1539.html)  
Pristupljeno 12. rujna 2024.
- [38] Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije  
<https://uznr.mrms.hr/wp-content/uploads/propisi2/nacionalni/tpn031.pdf>  
Pristupljeno 12. rujna 2024.
- [39] Glavni elektrotehnički projekt SE Malez
- [40] Ponuda za opremanje OMM-a kućanstva s vlastitom proizvodnjom  
[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup\\_mrezi/PM\\_2.3.3.\\_Ponuda\\_za\\_opremanje\\_OMM\\_kucanstvo\\_s\\_vl\\_proizv.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup_mrezi/PM_2.3.3._Ponuda_za_opremanje_OMM_kucanstvo_s_vl_proizv.pdf)  
Pristupljeno 16. rujna 2024.

[41] Zahtjev za promjenu statusa kod kućanstva s vlastitom proizvodnjom

[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup\\_mrezi/PM\\_1.8.Zahtjev\\_za\\_promjenu\\_statusa\\_kucanstva\\_s\\_vl\\_proizv%20.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup_mrezi/PM_1.8.Zahtjev_za_promjenu_statusa_kucanstva_s_vl_proizv%20.pdf)

Pristupljeno 15. rujna 2024.

## 9. Popis slika

Slika 1.1. <i>Fiksni FN sustavi</i> [5]	1
Slika 1.2. <i>Pokretni FN sustavi</i> [6]	2
Slika 1.3. <i>Direktni (on-grid) FN sustav</i> [7]	3
Slika 1.4. <i>Baterijski (off-grid) FN sustav</i> [8]	4
Slika 1.5. <i>Hibridni FN sustav</i> [9]	4
Slika 3.1. <i>Huawei 10KTL centralni izmjenjivač</i>	10
Slika 3.2. <i>Huawei 10KTL datasheet</i>	11
Slika 3.3. <i>Enphase micro-inverter</i>	11
Slika 3.4. <i>Canadian Solar FN panel datasheet</i> [11]	13
Slika 3.5. <i>Potkonstrukcijski elementi za kosi krov popločen crijepom</i>	13
Slika 3.6. <i>Potkonstrukcijski elementi za kosi krov</i>	14
Slika 3.7. <i>Konstrukcijski elementi za limeni krov</i>	14
Slika 3.8. <i>DC kabel</i> [18]	15
Slika 3.9. <i>Konektori za DC kabel</i> [19]	16
Slika 3.10. <i>Četverožilni AC kabel FG16OR16</i> [24]	16
Slika 3.11. <i>Pogled na priključni ormar – izvana</i>	16
Slika 3.12. <i>Pogled na priključni ormar – iznutra</i>	17
Slika 3.13. <i>Diferencijalna zaštitna sklopka</i> [20]	17
Slika 3.14. <i>Automatski trolni prekidač</i> [21]	18
Slika 3.15. <i>Rastavna 3PN sklopka s kratkospojnikom</i> [17]	19
Slika 3.16. <i>AC odvodnik prenapona</i> [22]	20
Slika 3.17. <i>DC odvodnik prenapona</i> [23]	20
Slika 4.1. <i>Potkonstrukcija za crijep montirana na limu</i>	22
Slika 4.2. <i>MC4 konektor nakon izloženosti električnom luku</i>	22
Slika 4.3. <i>MC4 konektor nakon izloženosti električnom luku</i>	23
Slika 4.4. <i>Nedovoljno stisnuti vodič u kontakte FID sklopke u priključnom ormaru</i>	24
Slika 5.1. <i>Ispitivanje kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala</i>	30
Slika 5.2. <i>Prikaz rezultata ispitivanja kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala</i>	30
Slika 5.3. <i>Ispitivanje izolacijskog otpora vodiča</i>	32
Slika 5.4. <i>Ispitivanje električnog izolacijskog otpora vodiča</i>	32
Slika 5.5. <i>Rezultati dobiveni ispitivanjem električnog izolacijskog otpora vodiča</i>	32

Slika 5.6. <i>Ispitivanje otpora uzemljenja</i> .....	33
Slika 5.7. <i>Rezultati dobiveni ispitivanjem otpora uzemljenja</i> .....	34
Slika 5.8. <i>Izgled korisničkog sučelja FusionSolar aplikacije</i> .....	35
Slika 6.1. <i>SolarEdge monitoring aplikacija - greška optimizatora</i> .....	38



## 10. Popis tablica

Tablica 3.1. <i>Razlike fotonaponskih panela</i> _____	12
Tablica 5.1. <i>Rezultati dobiveni ispitivanjem kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačavanje potencijala</i> _____	29
Tablica 5.2. <i>Rezultati dobiveni ispitivanjem električnog izolacijskog otpora vodiča</i> ____	31
Tablica 5.3. <i>Kriteriji na odabir ispitnog napona i najmanji dozvoljeni otpor izolacije</i> __	31
Tablica 5.4. <i>Rezultati ispitivanja otpora uzemljenja</i> _____	33
Tablica 5.5. <i>Razlike između Hrvatske i Slovenije u instalaciji solarne elektrane</i> _____	36

## 11. Popis dijagrama

Dijagram 2.1. *Proces priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom* [13]\_\_\_\_\_ 8

Dijagram 5.1. *Proces puštanja u pogon solarne elektrane* \_\_\_\_\_ 26

## 12. Prilozi

Naslovna stranica Izvještaja o provedenom ispitivanju električne instalacije [38]

Broj: EP-458/24.  
Datum: 05.09.2024.

# IZVJEŠTAJ O PROVEDENOM ISPITIVANJU ELEKTRIČNE INSTALACIJE

*SUNČANA ELEKTRANA „SE MALEZ“  
Ivanec, k.č.br: 763, k.o. Ivanec*

*Beznaponsko ispitivanje*

**ELZEB d.o.o.**  
**Varaždinska 38, Dubrava Križovljanska,**  
/naručitelj/

---

## ELISTRO j.d.o.o.

Donje Ladanje, Vladimira Nazora 81  
Maruševec

Sukladno zahtjevima iz Tehničkog propisa za niskonaponske električne instalacije (N.N. br. 5/2010) i na osnovu dobivenih rezultata mjerenja izdaje se ova

IZJAVA O OBAVLJENIM MJERENJIMA broj EP-458/24

Naručilac mjerenja:	ELZEB d.o.o., Varaždinska 38, Dubrava Križovljanska, 42208 Cestica, OIB: 85341798229
Lokacija građevine:	Ulica Augusta Šenoae 9, Ivanec k.č.br: 763, k.o. Ivanec
Postrojenje:	Sunčana elektrana
Objekt / Korisnik:	Sunčana elektrana „SE MALEZ“ / NIKOLA MALEZ Ulica Augusta Šenoae 9, 42240 Ivanec, OIB: 35713311590

Ovom Izjavom potvrđujemo da smo na električnoj instalaciji proveli slijedeća mjerenja:

- Ispitivanje kontinuiteta zaštitnog vodiča i vodiča za izjednačenje potencijala
- Ispitivanje električkog izolacijskog otpora vodiča
- Ispitivanje otpora uzemljenja

Provedenim mjerenjima električne instalacije prema normi HRN HD 60364-6 je utvrđeno da sustav

ZADOVOLJAVA

NE ZADOVOLJAVA

NAPOMENA:

Mjesto i datum: Maruševec, 05.09.2024.

Ispitivač:  
Zdravko Korpar, ing.el.

ELISTRO j.d.o.o.  
Vladimira Nazora 81  
Donje Ladanje, MARUŠEVEC

*Zdravko Korpar*



### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Filip Hercog (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~završnog/~~ ~~specijalističkog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Osiguranje kvalitete prilikom puštanja u rad solarne elektrane (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Filip Hercog  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.