

# PROJEKT SOLARNE FARME VEĆE SNAGE

---

Župan, Matko

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:110551>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**PROJEKT SOLARNE FARME VEĆE SNAGE**

Rijeka, rujan 2024.

Matko Župan

0069086166

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**PROJEKT SOLARNE FARME VEĆE SNAGE**

Mentor: prof. dr. sc. Dubravko Franković

Rijeka, rujan 2024.

Matko Župan

0069086166

Rijeka, 13.03.2024.

Zavod: Zavod za elektroenergetiku  
Predmet: Elektrane

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Matko Župan (0069086166)**  
Studij: Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike (2300)  
Modul: Elektroenergetika (2332)

Zadatak: **Projekt solarne farme veće snage / Design of a large-scale photovoltaic farm**

### Opis zadatka:

U diplomskom radu je potrebno izraditi elektrotehnički projekt za solarnu farmu na razini glavnog projekta. Projektom je potrebno razraditi solarni generator, istosmjerni i izmjenični razvod, transformaciju NN/SN te priključak na susretno postrojenje operatora distribucijskog sustava. U radu treba izvesti adekvatne proračune potrebne za dimenzioniranje opreme te dati odgovarajuće tehničke opise. Uz računski i tekstualni dio diplomski rad mora sadržavati i pripadnu nacrtnu dokumentaciju.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:  
prof. dr. sc. Dubravko Franković

Komentor:  
dr. sc. Alen Jakoplić

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:  
prof. dr. sc. Dubravko Franković


SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

**IZJAVA**

Sukladno s člankom 9. stavak 1) Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad pod naslovom „Projekt solarne farme veće snage“, od 13.03.2024. godine, uz konzultacije s mentorom prof. dr. sc. Dubravkom Frankovićem.

Rijeka, rujan 2024.



---

Matko Župan

## **Zahvala**

Želim se zahvaliti mentoru prof. dr. sc. Dubravku Frankoviću na temi završnog rada, pomoći i vremenu tijekom pisanja rada te svim profesorima koji su svojim trudom i zalaganjem pridonijeli stjecanju novih iskustava i znanja.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji koja je bila uz mene tijekom cijelog obrazovanja.

Sadržaj:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PROJEKTIRANJE I SASTAVNI DIJELOVI SOLARNE FARME</b> .....	2
<b>2.1 Konstrukcija</b> .....	3
<b>2.2 Fotonaponski modul</b> .....	4
<b>2.3 Pretvarač</b> .....	5
<b>2.4 Vodiči i konektori za spajanje fotonaponskih modula</b> .....	7
<b>3. ELEKTROTEHNIČKI PROJEKT SOLARNE FARME</b> .....	8
<b>3.1 Tehnički opis</b> .....	8
3.1.1 Općenito o Solarnoj farmi.....	8
3.1.2. Proizvodnja i predaja električne energije.....	9
3.1.3 . Zaštita od munje, prenapona i nadstruje .....	10
3.1.4 . Zaštita od električnog udara.....	12
3.1.5. Tehnički uvjeti za izvedbu elektrane .....	14
3.1.6. Projektirani vijek upotrebe elektrane i uvjeti održavanja .....	18
<b>3.2 Proračuni</b> .....	19
3.2.1 Bilanca instaliranog postrojenja.....	19
3.2.2 Energetska bilanca Solarne farme.....	21
3.2.3 Proračun AC razvoda.....	22
3.2.4 Proračun proizvodnje električne energije .....	31
<b>3.3 Tehnička rješenja za primjenu pravila zaštite od požara</b> .....	32
<b>3.4 Sistem kontrole i garancije kvalitete</b> .....	33
3.4.1. Program kontrole .....	33
<b>4. PROCJENA TROŠKOVA</b> .....	39
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	40
<b>6. PRILOZI</b> .....	41
<b>6.1. Situacijski nacrt bez solarne farme</b> .....	42
<b>6.2. Smještaj solarne farme u situacijskom nacrtu</b> .....	43
<b>6.3. Jednopolna shema solarne farme</b> .....	44
<b>6.4. Spoj fotonaponskih panela na pretvarač 1</b> .....	45
<b>6.5. Spoj fotonaponskih panela na pretvarač 2</b> .....	46
<b>6.6. Spoj fotonaponskih panela na pretvarač 3</b> .....	47
<b>6.7. Spoj fotonaponskih panela na pretvarač 4</b> .....	48
<b>6.8. Spoj fotonaponskih panela na pretvarač 5</b> .....	49
<b>6.9. Fotonaponski panel</b> .....	50

<b>6.10. FN kabel i FN konektor</b> .....	51
<b>6.11. Opis i podaci solarnog panela</b> .....	52
<b>6.12. Opis i podaci pretvarača</b> .....	53
<b>6.13. Energetska bilanca solarne farme</b> .....	54
<b>7. LITERATURA</b> .....	62
<b>8. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRV. I ENG. JEZIKU</b> .....	63



# 1. UVOD

U današnjem svijetu, suočeni smo sa rastućim potrebama za energijom i sve većim pritiscima na životnu sredinu uslijed korištenja fosilnih goriva. Tradicionalni izvori energije, poput ugljena, nafte i prirodnog plina, ne samo da su ograničeni, već i značajno doprinose emisiji stakleničkih plinova, čime pospješuju klimatske promjene. U današnjoj situaciji ovih izazova, prelazak na obnovljive izvore energije postaje neophodno, a ne samo izbor.

Jedan od najperspektivnijih obnovljivih izvora energije je solarna energija. Zahvaljujući tehnološkim inovacijama i smanjenju troškova proizvodnje fotonaponskih panela, solarna energija postaje sve pristupačnija i efikasnija. Solarne farme veće snage, koje predstavljaju velike fotonaponske sustave instalirane na prostranim površinama, igraju ključnu ulogu u globalnom prelasku ka održivoj energetici.

Sunce je naš najbliži zvjezdani susjed, predstavlja neiscrpan izvor energije, ključan za mnoge prirodne procese na Zemlji. Svakodnevno na Zemlju doseže približno  $1,75 \cdot 10^{14}$  kW sunčevog zračenja, dovoljno da zadovolji sve energetske potrebe čovječanstva. Korištenje solarne energije postalo je moguće sa razvojem solarnih ćelija, koje pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju putem fotonaponskog efekta. Solarne ćelije su najčešće napravljene od silicija koji je osnovni gradivni elementi solarnih panela. Solarne farme, koje se sastoje od velikog broja panela, omogućavaju masovnu proizvodnju električne energije, tako smanjuju ovisnost o fosilnim gorivima.

Cilj ovog diplomskog rada je razraditi projekt, implementaciju i optimizaciju solarne farme veće snage. Rad će obuhvatiti analizu tehnoloških aspekata, uključujući izbor fotonaponskih modula, invertera i ostalih komponenti sistema, kao i razmatranje ekonomskih i ekoloških koristi koje takve farme donose. Pored tehničkih aspekata, poseban naglasak će biti na samom projektiranju navedene elektrane te će se proračuni vršiti u programskom paketu FusionSolar | SmartDesign i programskom paketu WinDis2 te sama shema spajanja solarne farme, solarnih panela i jednopolne sheme bit će izrađene u softveru AutoCad.

Kroz analizu primjera iz prakse i postojećih solarnih farmi, rad će pružiti sveobuhvatan pregled prednosti i izazova koje donosi implementacija solarnih farmi veće snage. Na kraju, rad će ponuditi preporuke za buduće projekte i istraživanja u oblasti solarne energije, sa ciljem unapređenja energetske efikasnosti i održivog razvoja.

## 2. PROJEKTIRANJE I SASTAVNI DIJELOVI SOLARNE FARME

Pri razmatranju pojma projektiranja, možemo odabrati i definirati sam pojam ovisno o perspektivi. U širem kontekstu, projektiranje se može definirati kao proces izrade, pribavljanja i prikupljanja cjelokupne projektne dokumentacije. Projektiranje obuhvaća trud, znanje i postupak kojim se tehnološki problem rješava, od same ideje do konačne realizacije.

Prilikom projektiranja solarne elektrane (solarne farme) potrebno je izučiti zakone koji se vežu uz područje projektiranja solarnih elektrana kao što su: Pravilnici o tehničkim propisima, normativima i normama, Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije, Pravilnik o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevina, Zakon o elektroničkim komunikacijama i Zakon o gradnji, Zakon o energiji i mnogi drugi.

Kao sljedeći korak prije projektiranja je dogovor sa investitorom o lokaciji sunčane elektrane te provjera u Županijskom uredu za urbanizam tj. od urbanizma zatražiti lokacijsku informaciju o mogućnosti gradnje navedene fotonaponske elektrane. Sa lokacijskom informacijom dobivamo saznanje je li na predmetnoj lokaciji moguća gradnja solarne elektrane tj. je li prostornim planom na tom području predviđena gradnja solarnih elektrana.

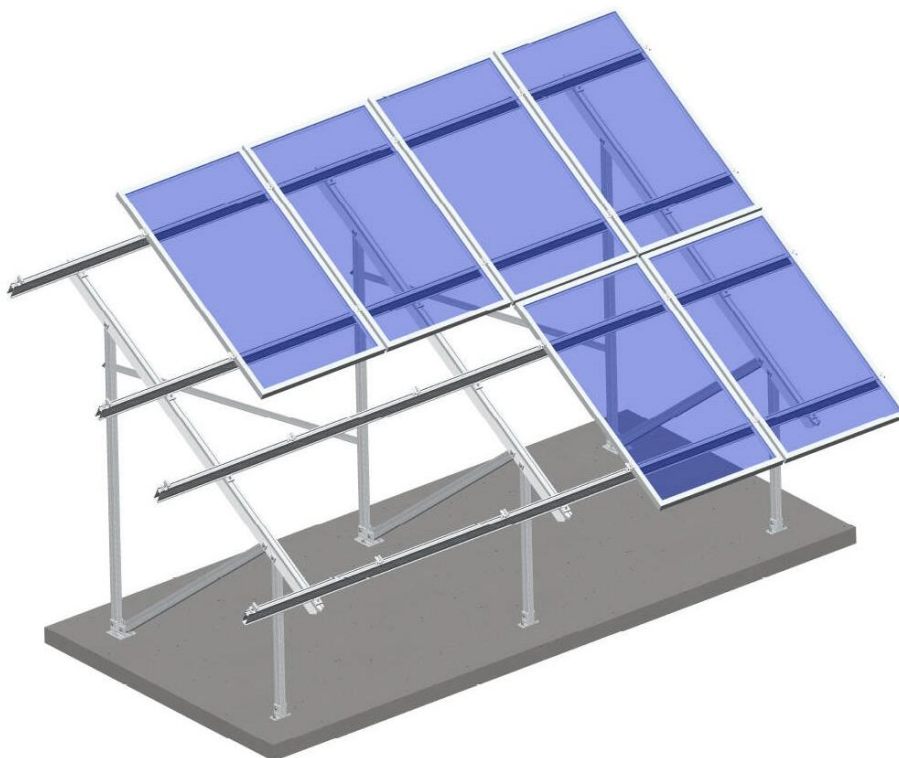
Ukoliko je na našoj predmetnoj čestici dozvoljena izgradnja solarne elektrane, provjerava se površina predmetne čestice te se u dogovoru sa investitorom dogovara veličina solarne elektrane koju investitor želi graditi. Prema pravilniku o jednostavnim građevinama ( NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20, 74/22 155/23) može se graditi solarna elektrana do 9,99 MW bez građevinske dozvole uz izradu glavnog projekta. Kako je želja investitora izgraditi elektranu od 499 kW, pristupa se izradi idejnog rješenja temeljem kojega će se od HEP ODS zatražiti EOTRP (elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja) za priključenje solarne elektrane. Dobivenim EOTROP-om investitor dobiva procjenu troškova priključenja njegove elektrane. Ukoliko je investitoru prihvatljiv trošak priključenja elektrane može se zatražiti EES (elektroenergetska suglasnost). Solarne elektrane do 500 kW priključuju se na niski napon (0,4 kV) te je i njihovo mjerenje na niskom naponu. Nakon dobivanja EES pristupa se izradi glavnog projekta, temeljem kojega će se prijaviti gradnja i pristupiti izgradnji solarne elektrane.

Projektna dokumentacija sastoji se od elektrotehničkog i građevinskog projekta. Građevinskim projektom definirat će se statički proračun temelja i postavljanje konstrukcije za fotonaponske panele. Elektrotehničkim projektom definira se potreban broj fotonaponskih panela, pretvarača, konektora te sam izračun proizvodnje solarne elektrane, kao i načini priključenja elektrane na niskonaponski razvod.

## 2.1 Konstrukcija

Konstrukcija predviđena za postavljanje fotonaponskih modula u okviru ovog projekta sastoji se od čeličnog sustava podkonstrukcije za montažu na tlo. Predviđena konstrukcija ima fiksni nagib od  $30^\circ$ , što predstavlja optimalni kut nagiba, a učvršćuje se na nosače koji su sidreni u tlo.

U sklopu projekta izgradnje fotonaponske elektrane planirano je korištenje konstrukcije s dva reda modula postavljenih okomito. Fotonaponski moduli pričvršćuju se na konstrukciju pomoću četiri hvataljke, koje su postavljene 20-30 cm od ruba modula. S obzirom na orijentaciju modula, hvataljke se postavljaju na dulju stranicu modula.



*Slika 1. Čelična konstrukcija fotonaponskih modula*

Podkonstrukcija mora biti izrađena od čeličnih profila i spojnih elemenata, uz obavezno dostavljanje dokaza o sukladnosti te izjave ovlaštenog građevinskog inženjera da predložena podkonstrukcija zadovoljava zahtjeve na mjestu ugradnje, uključujući otpornost na opterećenja vjetrom i snijegom. Njihovo pričvršćivanje mora se provoditi prema uputama i smjernicama proizvođača opreme. Proračun otpornosti na vjetar treba biti posebno obrađen u okviru projekta mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije, nakon konačnog odabira sustava nosive konstrukcije. Ovaj proračun također čini sastavni dio dokumentacije glavnog projekta fotonaponske elektrane.

## 2.2 Fotonaponski modul

Fotonaponski moduli izrađeni su od monokristalnog silicija, s nazivnom snagom od 600 Wp, i montirani su na čeličnu podkonstrukciju na predviđenom zemljištu. Kut nagiba modula, određen odabirom nosive konstrukcije, iznosi 30°, a paneli su orijentirani prema jugu. Na predviđenom zemljištu planira se postavljanje ukupno 828 modula, s nazivnom snagom svakog modula od 600 Wp. Ukupna instalirana snaga fotonaponske elektrane iznosi 496,80 kWp.

Moduli se montiraju na čelične nosače i podijeljeni su u 56 nizova, pri čemu se svaki niz sastoji od najmanje 13 i najviše 16 serijski spojenih modula. FN paneli povezani su s pet izmjenjivača, od kojih svaki ima najveću izlaznu snagu na AC strani od 100,00 kW.

Povezivanje modula bit će izvedeno originalnim proizvođačevim kabelima, kao i kabelima tipa PV1-F presjeka 6 mm<sup>2</sup>. Nosiva konstrukcija za montažu FN generatora bit će odabrana uz odobrenje stručne osobe, u dogovoru s izvođačem radova i investitorom, a bit će izrađen i projekt za samu nosivu konstrukciju. Fotonaponski generator mora biti povezan na sabirnicu izjednačenja potencijala, odnosno uzemljivač objekta, radi izjednačenja potencijala.

Osnovne karakteristike fotonaponskog modula su sljedeće:

- Tehnologija: monokristalni silicij
- Snaga modula: 600 Wp
- Maksimalni napon: 53,98 V
- Maksimalna struja: 14,13 A
- MPP napon: 44,65 V
- MPP struja: 13,45 A
- Efikasnost modula (STC): 21,47%
- Dozvoljeni napon sustava: 1500 V
- Dimenzije: 2464 x 1134 x 35 mm
- Masa: 32,1 kg

Tip modula: SUNKET SKT600M10 ili ekvivalent. [7]

## 2.3 Pretvarač

DC/AC pretvarač služi za pretvorbu istosmjernog napona koji se dobiva iz fotonaponskih modula u izmjenični napon od 400/230 V, 50 Hz. Tijekom ove pretvorbe, izlazni napon mora ispuniti tražene specifikacije, neovisno o promjenama ulaznog DC napona. Pretvarač mora osigurati maksimalnu učinkovitost pri pretvorbi iz DC u AC napon.

Kako bi se postigla ta maksimalna učinkovitost, pretvarač je opremljen sa šest (6) MPP tragača, koji na U-I karakteristici lanca modula traže točku maksimalne snage. Stoga je kod odabira serijsko-paralelnih kombinacija spajanja modula na pretvarač važno paziti da se tijekom različitih razina sunčevog zračenja postigne što veće iskorištenje.

Također, potrebno je osigurati da maksimalni napon praznog hoda u serijskom nizu modula nikada ne prelazi 1000 VDC, što se može dogoditi zimi pri niskim vanjskim temperaturama i sunčanom vremenu.

Na izmjeničnoj (AC) strani, pretvarač mora biti opremljen zaštitama protiv otočnog rada, nadnaponskom zaštitom, podnaponskom zaštitom, podfrekvencijskom i nadfrekvencijskom zaštitom, zaštitom od injektiranja istosmjerne struje te impedantnom zaštitom. Na istosmjernoj (DC) strani mora imati prenaponsku zaštitu za fotonaponski generator. Pretvarač je opremljen LED diodama na prednjoj strani koje prikazuju osnovno stanje uređaja, kao i wi-fi komunikacijom koja omogućuje praćenje stanja proizvodnje i električnih vrijednosti na DC i AC strani. U slučaju bilo kakvog kvara, pretvarač to signalizira. [1]

## **Karakteristike pretvarača:**

- **Ulazne karakteristike:**

- Maksimalni DC napon: 1000 V
- MPPT-napon: 200-850 V
- Maksimalna ulazna struja: 40 (60) A
- Broj nezavisnih MPP ulaza: 6
- Broj grupa (petlji) po ulazu: 4

- **Izlazne karakteristike:**

- Maksimalna AC snaga: 110,00 kVA
- Nazivna AC snaga: 100,00 kW
- Nazivni AC napon: 400/230 V, 50 Hz
- Maksimalna izlazna struja: 159,4 A
- Maksimalna efikasnost: 98,7%
- Standardna europska efikasnost: 98,3%

- **Opći podaci:**

- Dimenzije (š/v/d): 838/568/323 mm
- Masa: 73,7 kg
- Topologija izmjenjivača: Izmjenjivač bez transformatora
- Tip: FUJI SUN-100KG03 ili ekvivalentan. [8]

## 2.4 Vodiči i konektori za spajanje fotonaponskih modula

Za potrebe sunčanih elektrana potrebno je koristiti posebne vodiče oznake PV WIRE (Photovoltaic Wire). Radi se o vodičima s dvostrukom izolacijom, od pokositrenog bakra, koji su dizajnirani da izdrže relativno visoke istosmjerne napone (do 1000 VDC). Boje vodiča označene kao RED/BLUE služe za lakše razlikovanje pozitivnog (+) vodiča od negativnog (-) vodiča. Koristit će se vodiči tipa Lapp, kao što je OLFLEX SOLAR XLR, presjeka 4 mm<sup>2</sup>, ili odgovarajući ekvivalent.

Posebno treba pripaziti na izbor konektora. Oni moraju biti pomno dizajnirani za povezivanje fotonaponske opreme, s mogućnošću izdržavanja napona do 1000 VDC i istosmjerne struje do 25 A. Konektori moraju biti otporni na vlagu, prašinu i ostale vanjske utjecaje, uz odgovarajuću IP zaštitu. Koristit će se konektori proizvođača Tyco Electronics, tipa Solarlok ili njima jednaki.

### **3. ELEKTROTEHNIČKI PROJEKT SOLARNE FARME**

#### **3.1 Tehnički opis**

##### **3.1.1 Općenito o Solarnoj farmi**

Ovaj projekt uključuje preliminarnu analizu isplativosti izgradnje postrojenja i priključenja na elektroenergetsku mrežu, uz tehno-ekonomske podatke o opremi, kao i tehničko rješenje za izgradnju elektroenergetskog postrojenja namijenjenog predmetnoj fotonaponskoj elektrani.

Na određenom zemljištu smještenom u blizina grada Slavonski Brod planira se izgraditi solarna farma za proizvodnju električne energije te predaje električne energije u javnu elektroenergetsku mrežu Republike Hrvatske, a za isporučenu električnu energiju obračunava se naknada sukladno Ugovoru o opskrbi/otkupu koji će Investitor sklopiti s odabranim opskrbljivačem/otkupljivačem. Naknada za isporučenu energiju biti će obračunata po tržišnim cijenama.

Površina raspoloživog zemljišta za montažu fotonaponskih panela iznosi oko 6300 m<sup>2</sup> te će ukupna površina biti iskorištena za montažu fotonaponskih panela poštujući potrebne razmake između panela.

Na zadanoj površini fotonaponske module je potrebno smišljeno rasporediti, utvrditi njihov broj, odrediti nagib i azimut, osmisli način na koji bi se učvrstila nosiva konstrukcija, osmisli način električnog povezivanja, preporučiti fotonaponske izmjenjivače te pri kraju projekta procijeniti sveukupne troškove opreme i postavljanja i godišnju proizvodnju električne energije. [1]

Građevina će odraditi u roku 7 dana probni rad prije puštanja u trajni pogon.

Projekt elektrotehničkih instalacija navedene elektrane izradit će se na temelju postojećih satelitskih snimki i zahtjeva investitora.

Na određenoj parceli u blizini Slavanskog Broda bit će izgrađen trofazni priključak za priključenje fotonaponske elektrane , a sve u skladu s izdanom elektroenergetskom suglasnosti izdanom od Elektre Slavonski Brod. Sam priključak će trebati izgraditi u skladu sa uvjetima i elektroenergetskom suglasnosti izdanom od strane Elektre Slavonski Brod te kao takav nije sastavni dio ovog projekta.



### 3.1.2. Proizvodnja i predaja električne energije

Električna energija (istosmjerni napon i struja), generirana u solarnim panelima, prenosi se vodičima PV WIRE RED/BLUE presjeka 6 mm<sup>2</sup> do pretvarača..

Iz izmjenjivača, izmjenične komponente električne snage (napon i struja) prenose se kabelom XP00-A presjeka 4x95 mm<sup>2</sup> do glavnog ormara elektrane +GRO-SE, koji je zaseban slobodnostojeći ormaru u kojem se između ostalog nalazi glavni prekidač elektrane, nazivne struje 800A, naponsko frekventni nadzorni relej, trolpolne sklopke nazivne struje 250A, u odlazu prema svakom pretvaraču, prenaponska AC zaštita tipa C 20 kA i ostalo. Svi ovi zaštitni elementi nalaze se unutar novog glavnog razdjelnog ormara elektrane +GRO-SE. [1]

Ormar +GRO-SE je spojen s SPMO (samostojeći priključno mjerni ormar) u kojem se nalazi obračunsko mjerenje i mrežni uređaj za odvajanje koji je izveden kabelom 3 x (XP00-A 4x185mm<sup>2</sup>).

Projektirani sklopni blokovi moraju imati odgovarajuću zaštitnu klasu kućišta te biti izrađeni od odgovarajućeg izolacijskog materijala.

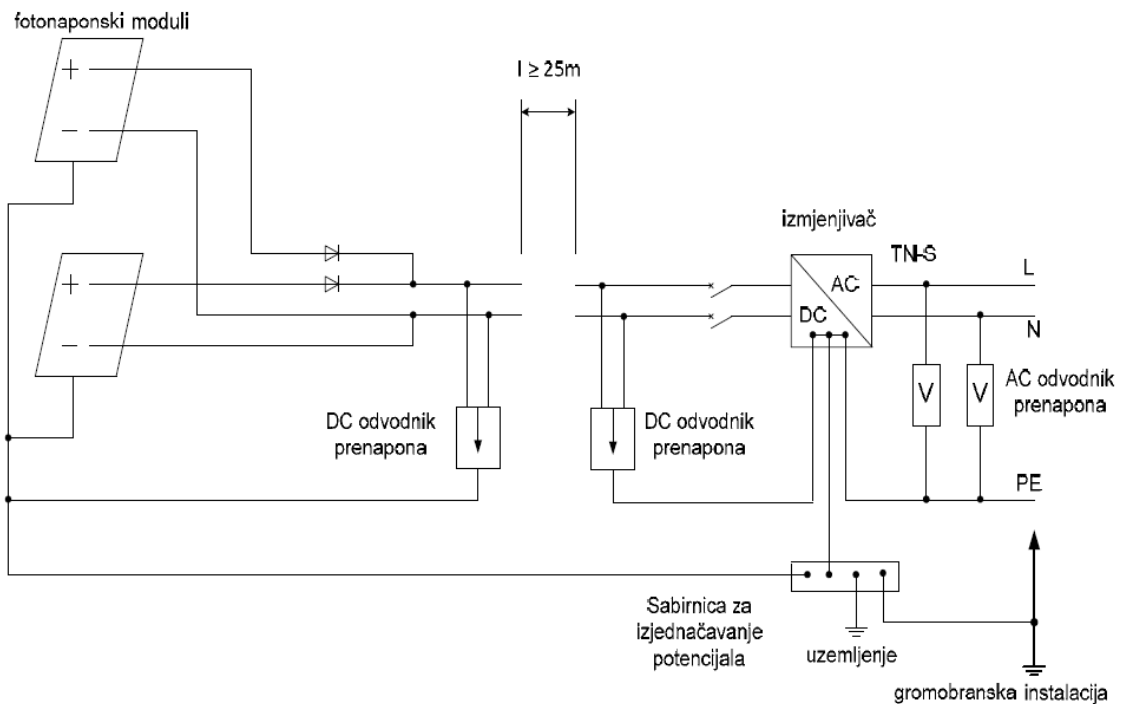
Nije neophodno da sam izmjenjivač bude zaštićen kutijom sklopnog bloka, jer već sam po sebi ima dovoljno visoku klasu zaštite kućišta, IP65/IP54 [2]

### 3.1.3 . Zaštita od munje, prenapona i nadstruje

Prenapon može nastati kao posljedica direktnog udara groma u objekt, udara groma u fazni ili uzemljeni vodič dalekovoda, atmosferskog pražnjenja između oblaka ili inducirano napona u niskonaponskom dijelu sistema. Odvodnici prenapona služe kao zaštita mrežno povezanih izmjenjivača i ostale opreme unutar objekta od ovih prenapona.

Mrežno povezani izmjenjivač zaštićen je od atmosferskih pražnjenja koja mogu utjecati na okvire fotonaponskih modula postavljenih na tlu, putem odvodnika prenapona na istosmjernoj (DC) strani. Odvodnici prenapona na izmjeničnoj (AC) strani štite mrežno povezani izmjenjivač od prenapona koji dolaze iz električne mreže. Odvodnici prenapona na istosmjernoj strani biraju se u zavisnosti od napona praznog hoda fotonaponskog sistema, što predstavlja suma napona svih povezanih modula. Odvodnici prenapona na istosmjernoj i izmjeničnoj strani, kao i okviri fotonaponskih modula, povezuju se na sabirnicu za izjednačenje potencijala.

U slučaju da je udaljenost između priključne sabirnice fotonaponskih modula i DC/AC izmjenjivača manja od 25 metara, preporučuje se ugradnja odvodnika prenapona na samo jednom mjestu. Na slici 2 prikazan je fotonaponski sistem sa odvodnicima prenapona postavljenim u blizini izmjenjivača i priključne sabirnice fotonaponskih modula. Stoga, zaštita mora biti osigurana ne samo na izlaznoj strani pretvarača, već i na strani koja izlazi iz fotonaponskih modula.[4]



Slika 2. Zaštita fotonaponskog sustava uzemljenjem i odvodnicima prenapona

Bitan dio gromobrnske instalacije je uzemljivač, čija efikasnost zavisi od specifičnog otpora tla i geometrije uzemljivača. Specifični otpor tla definira se kao otpor koji pruža kocka homogenog tla sa stranicama od 1 metra. Ako je otpor veći, potrebne su veće dimenzije uzemljivača. Ako konstrukcija fotonaponskih modula nije vodljivo povezana s gromobrnskom instalacijom, potrebno je direktno spojiti konstrukciju modula s uzemljenjem.

Uzemljivači se najčešće izvode kao trakasti (pocinčana čelična ili bakarna traka zakopana u zemlju), štapni (metalna šipka ili cijev ukopana okomito u zemlju) ili temeljni (metalni vodiči postavljeni u temelje objekta). Kada struja prolazi kroz uzemljivač, potencijal u tlu stvara tzv. potencijalni lijevak, najviši je uz uzemljivač, a s udaljenošću naglo opada, jer se struja širi na veću površinu s manjim otporom.[4]

Kako bi se uzemljila fotonaponska elektrana treba već u samom početku planirati ugradnju određene pocinčane trake za uzemljenje položene u rov na dubini 80 cm. Cijela čelična konstrukcija za montažu fotonaponskih panela treba biti spojena na traku za uzemljenje.

Zaštita izmjenične strane pretvarača mora biti izvedena koristeći trolne osigurač sklopke nazivne struje 250A sa ugrađenim osiguračima nazivne struje 160 A, a navedeni podaci dobili su se proračunom u nastavku rada. Glavni ormar elektrane +GRO-SE, koji je zaseban slobodnostojeći

ormar u kojem se između ostalog nalazi glavni prekidač elektrane, nazivne struje 800A, naponsko frekventni nadzorni relej, prenaponska AC zaštita tipa C 20 kA i ostalo.

Zaštita DC strane pretvarača tj. strujnih krugova bit će izvedena cilindričnim osiguračima gPV karakteristike koji će se nalaziti na konektorima kojima se stringovi spajaju na pretvarač.

### 3.1.4 . Zaštita od električnog udara

Zaštita od električnog udara postiže se primjenom sljedećih mjera:

- Zaštita od direktnog dodira
- Zaštita od indirektnog dodira

Zaštita od direktnog dodira realizira se kroz izolaciju dijelova pod naponom (kako bi se onemogućio svaki kontakt s dijelovima pod naponom), kao i putem zaštitnih pregrada ili poklopaca koji sprečavaju namjerni i nenamjerni pristup takvim dijelovima.

Zaštita od indirektnog dodira osigurava se automatskim isključenjem napajanja, koje ima za cilj, u slučaju kvara na instalaciji, spriječiti pojavu napona dodira takve vrijednosti i trajanja da bi mogli izazvati opasnost u smislu štetnog fiziološkog djelovanja na živa bića.

Osnovni principi zaštite od indirektnog dodira uključuju:

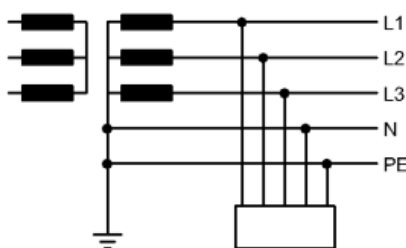
- Uzemljenje
- Glavno i dodatno izjednačenje potencijala
- Isključenje napajanja

U svakoj građevini vodič za glavno izjednačenje potencijala mora povezati sljedeće provodne dijelove:

- Glavni zaštitni vodič
- PEN vodič, ukoliko je sistem TN i ako je dozvoljeni napon dodira 50 V ili viši
- Glavni zemljovod ili glavnu stezaljku za uzemljenje
- Cijevci i metalne konstrukcije unutar građevine
- Instalacije za zaštitu od munje

Metalni dijelovi koji ulaze u građevinu izvana moraju biti povezani na glavno izjednačenje potencijala što bliže ulaznoj točki u građevinu. Da bi izjednačenje potencijala bilo efikasno, potrebno je međusobno povezati aluminijske okvire FN modula, kao i povezivanje tih okvira na aluminijsku konstrukciju pomoću vodiča P/F 6 mm<sup>2</sup>. Čelična konstrukcija se povezuje na temeljni uzemljivač koji je ukopan u zemlju, a to se izvodi vodičem P/F-Y 25 mm<sup>2</sup>. [4]

Kao mjera zaštite od udara električne struje predviđeno je automatsko isključenje napajanja, što se ostvaruje pomoću automatskih ili rastalnih osigurača i zaštitnih sklopki. Planirani sustav zaštite razvodne mreže je TN-S. Ovaj sustav zahtijeva da sve dostupne metalne površine budu povezane zaštitnim vodičem sa uzemljenom točkom napajanja sustava. Definicija TN-S sustava je: „sustav kod kojeg je u cijeloj mreži od transformatora do potrošača zaštitni vodič (PE) odvojen od neutralnog vodiča (N). Spojeni su samo u jednoj točki i to na zvjezdlištu transformatora“. U TN-S sistemu, zaštitni vodič (PE) je u cjelokupnoj mreži odvojen od neutralnog vodiča (N), što znači da radna struja ne prolazi kroz zaštitni vodič. Zaštitni uređaji i presjeci vodiča moraju biti odabrani na način da omoguće automatsko isključenje napajanja u vremenskom okviru koji odgovara vrijednostima navedenim u tablici 1, HRN N.B2.741, u slučaju kvara ili spoja sa vrlo malim otporom između faznog i zaštitnog vodiča ili dostupnog vodljivog dijela na bilo kojoj točki instalacije.[5]



Slika 3. TN-S sustav mreže

Osigurački elementi zaista moraju biti izbrani na način da pri najvećem očekivanom naponu 400 V, 50 Hz, sa sigurnošću mogu ispoštivati isklupna vremena sukladno s HRN N.B2.741 i to:

Tablica 1. Vrijeme prorade zaštite za određena trošila

za neprijenosna trošila	t = 5 sec
za prijenosna trošila i priključnice	t = 0,4 sec
za eksplozivno ugrožena trošila	t = 0,1 sec

Smatra se, da je uvjet zadovoljen ako je:  $Z_s \times I_a \leq U_0$  gdje je:

$Z_s$  - impedancija strujnog kruga u kvaru (oštećenog strujnog kruga)

$I_a$  - struja koja jamči automatsko isključenje zaštitnog uređaja

$U_0$  - nazivni napon prema zemlji [4]

### 3.1.5. Tehnički uvjeti za izvedbu elektrane

Električne instalacije moraju biti izvedene u skladu s tehničkim opisom i grafičkom dokumentacijom, kao i prema važećim tehničkim propisima definiranim Hrvatskim normama (HRN) i Pravilnikom o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona. Prije nego što započne radove, izvođač je dužan detaljno proučiti tehničku dokumentaciju, a zatim izvršiti pregled i usporedbu dokumentacije sa stvarnim stanjem na terenu.

Ukoliko se prilikom ovog pregleda ustanovi potreba za bilo kakvim izmjenama zbog promjena u reljefu ili uslovima na terenu, izvođač je obavezan konzultirati se s projektantom ili nadzornim inženjerom. Instalacije se zatim moraju izvesti u skladu sa stvarnim stanjem na gradilištu, a investitor je obavezan pokriti stvarne troškove koji proisteknu iz upotrebe materijala i radne snage. Za svako odstupanje od originalnog projekta, izvođač mora dobiti pismenu suglasnost od projektanta ili nadzornog inženjera.

Sva ugrađena tehnologija i materijali moraju ispunjavati standarde kvalitete i tehničke specifikacije prema HRN-u, te moraju imati odgovarajuće ateste koji potvrđuju njihovu ispitivanu kakvoću i tehničke karakteristike. Materijali koji ne zadovoljavaju ove uslove ne smiju se koristiti. Nabavka kompletnog materijala i izvođenje svih radova (uključujući instalaterske, zidarske, monerske i druge radove povezane s realizacijom elektrane prema projektu) padaju na teret izvođača. [1]

Pri izvođenju radova potrebno je voditi računa da se što manje oštete već izvedeni radovi, postrojenja i postojeće konstrukcije. Također, neophodna je puna koordinacija svih radova na elektrani kako bi se izbjegle smetnje i zastoji u radu. Tokom izvođenja instalacija, izvođač je dužan zabilježiti sva odstupanja od projektiranih rješenja u svom primjeru projekta i grafički ih prikazati crvenom bojom.

Neutralni i posebni zaštitni vodiči ne smiju biti zaštićeni osiguračima, a moraju činiti neprekidnu cjelinu u električnom i mehaničkom smislu. Njihov presjek mora biti jednak onom faznih vodiča, odnosno odgovarajućeg presjeka prema sljedećim pravilima: presjek neutralnog vodiča mora biti jednak presjeku faznog vodiča u jednofaznom strujnom krugu ili u

višefaznom krugu u kojem je presjek faznih bakrenih vodiča manji od  $16 \text{ mm}^2$ , a presjek faznih aluminijskih vodiča manji od  $25 \text{ mm}^2$ . U višefaznim strujnim krugovima gdje je presjek faznog bakrenog vodiča veći od  $16 \text{ mm}^2$ , a presjek faznog aluminijskog vodiča veći od  $25 \text{ mm}^2$ , neutralni vodič može imati manji presjek pri sljedećim uvjetima:

- 1) Očekivana najveća struja kroz neutralni vodič, uključujući eventualnu pojavu harmonika, tokom normalnog rada ne smije biti veća od trajno dopuštene struje za taj presjek;
- 2) Neutralni vodič mora biti zaštićen od preopterećenja;
- 3) Presjek neutralnog bakrenog vodiča mora biti najmanje  $16 \text{ mm}^2$ , a presjek neutralnog aluminijskog vodiča najmanje  $25 \text{ mm}^2$ .

Presjek zaštitnog vodiča određuje se prema standardu HRN N.B2.754. Za izradu instalacija moraju se koristiti kabeli predviđeni ovim radom. Ukoliko predviđeni kabeli nisu dostupni na tržištu, dozvoljeno je koristiti druge vrste kabela, pod kriterijem da imaju jednake ili bolje električne, mehaničke i izolacijske karakteristike. [4]

Spajanje i razdvajanje istosmjernih vodiča smije se obavljati isključivo pomoću posebnih konektora koji su opisani u poglavlju 2.4. Za izmjenične kabele, njihovo spajanje i razdvajanje smije se vršiti samo unutar razdjelnih kutija pomoću stezaljki kako bi se osigurao trajan i siguran spoj. Prije nego što se presiječe kabel, a nakon što se utvrde točne lokacije njihovog polaganja i priključaka, izvođač mora na licu mjesta točno izmjeriti dužine kabela.

Sklopni blokovi moraju biti odgovarajućih dimenzija kako bi omogućili pravilno smještanje opreme predviđene projektom. Svi elementi unutar i na prednjim pločama razdjelnog uređaja trebaju biti pregledno postavljeni i jasno označeni.

Instalacija mora biti usklađena s propisima zaštite na radu te propisima zaštite od požara, a izvođač se mora pridržavati tih propisa tijekom izvođenja radova, koristeći odgovarajuća sredstva propisana tim pravilnicima.

Izvođač radova je dužan, nakon završetka montaže, provesti funkcionalno ispitivanje svih izvedenih radova i odmah otkloniti eventualne neispravnosti. Prije tehničkog pregleda, izvođač mora pribaviti sve ateste koji potvrđuju kakvoću ugrađene opreme, kao i rezultate mjerenja otpora petlje, izjednačenja potencijala metalnih dijelova te utjecaja elektrane na mrežu.

Mjerenje otpora izolacije mora se provesti prije stavljanja u upotrebu nove ili rekonstruirane instalacije, a provodi se između vodiča međusobno, kao i između vodiča i zemlje. Način mjerenja i dozvoljene vrijednosti otpora izolacije navedeni su u članku 195. "Pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona". Članak 195. spomenutog pravilnika: „Električni izolacijski otpor električne instalacije mora se mjeriti:

1) između vodiča pod naponom, uzimajući dva po dva (mjerenje se obavlja tokom postavljanja prije povezivanja opreme);

2) između svakog vodiča pod naponom i zemlje (fazni vodič i neutralni vodič se mogu spojiti zajedno).

U TN-C sistemu PEN vodič ne smatra se vodičem pod naponom.

Električni izolacijski otpor mjeri se naponima koji nisu manji od vrijednosti napona danih u tablici 2. i udovoljava ako svaki strujni krug, bez priključene opreme, ima vrijednost koja nije manja od vrijednosti danih u tablici 2.

*Tablica 2. Definirani naponi i razmaci namijenjeni mjerenju izolacijskog otpora*

Nazivni napon električne instalacije izmjenične struje [V]	Najmanji razdjelni (rastavni) razmak [mm]
$U < 250$	2,5
$250 < U < 400$	3,5
$400 < U < 500$	4,5
$500 < U < 750$	6,5
$750 < U < 1000$	9

Mjerenja se obavljaju istosmjernom strujom. Kad strujni krug sadrži elektroničke uređaje, mjerenja se obavljaju samo između faznoga i neutralnog vodiča koji su spojeni zajedno sa zemljom. Bez spajanja vodiča pod naponom može se izazvati kvar na električnim uređajima.“  
[4]

Otpor petlje mora zadovoljiti uvjet :

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

Izjednačenje potencijala postiže se povezivanjem svih metalnih dijelova koji ne pripadaju električnoj instalaciji, na zaštitni vod ovisno o sustavu razvoda.



Instalacija se može predati investitoru po završenim svim radovima i nakon obavljenog probnog rada te tehničkog pregleda od strane nadležne komisije imenovane u tu svrhu od organa uprave. Prilikom pregleda elektroenergetskih instalacija i postrojenja treba utvrditi da su fazni vodiči i osigurači pravilno dimenzionirani, da zaštitni vodič ima propisan presjek i da je besprijekorno položen, da nema prekida i da je stručno priključen. Treba ustanoviti i da zaštitni vodič nije spojen sa vodičem pod naponom. Pregledom treba ustanoviti i da su neutralni i zaštitni vodiči propisno označeni po svojoj cijeloj dužini ili bar na svim priključnim i spojnim mjestima. Preuzimanje instalacije može biti tek poslije potpuno završenih radova i ispitivanja od strane mjerodavnih stručnjaka pomoću odgovarajućih mjernih instrumenata.

Izvođač je dužan voditi računa o već izvedenim radovima na elektrani te ukoliko se nešto ošteti dužan je o svom trošku popraviti.

Električna instalacija pregledava se kad je isključena, a pregled obuhvaća provjeru prema članku 192. "Pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona ":

1. zaštite od električnog udara uključujući mjerenje razmaka kod zaštite zaprekama ili kućištima, pregradama ili postavljanjem opreme izvan dohvata ruke
2. zaštitnih mjera od širenja vatre i od toplinskih utjecaja vodiča prema trajno dopuštenim vrijednostima struje i dopuštenom padu napona
3. izbora i udešenosti zaštitnih uređaja za nadzor
4. ispravnost postavljanja odgovarajućih sklopnih uređaja u pogledu razdjelnog (rastavnog) razmaka
5. izbor opreme i zaštitnih mjera prema vanjskim utjecajima
6. raspoznavanje neutralnog i zaštitnog vodiča
7. postojanja shema, pločica s upozorenjem ili sličnih informacija
8. raspoznavanju strujnih krugova, osigurača, sklopki, stezaljki i druge opreme
9. spajanja vodiča
10. pristupačnost i raspoloživost prostora za rad i održavanje“[4]

Opća ispitivanja po članku 193., navedenog pravilnika moraju se izvesti ovim redom:“

1. neprekinutost zaštitnog vodiča te glavnog i dodatnog vodiča za izjednačavanje potencijala
2. izolacijski otpor električne instalacije
3. zaštita električnim odvajanjem strujnih krugova
4. otpor poda i zidova
5. funkcionalnost“ [4]

Ako se pri ispitivanju ukaže neusklađenost s odgovarajućim odredbama iz danog pravilnika, ispitivanja se obavezno moraju ponoviti nakon što se greška ispravi.

### 3.1.6. Projektirani vijek upotrebe elektrane i uvjeti održavanja

Prema Uredbi o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitim kogeneracija (NN 70/2023), te Tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije (NN 70/2023), a na temelju Zakona o energiji (NN 120/12, 14/14, 95/15, 102/15, 68/18) propisano je trajanje otkupa električne energije. Projektirani vijek uporabe građevine iznosi 30 godina.

Za vrijeme trajanja same elektrane treba voditi računa o održavanju dijelova iste. Elektrotehničke instalacije treba redovito pregledavati, najmanje jednom godišnje i u slučaju sumnje u ispravnost i trajnost instalacija (oštećenje izolacije, slab spoj u razdjelnim kutijama, iskrenja na spojevima itd.), zamijećeno odmah popraviti jer može bitna manjkavost na elektrotehničkim instalacijama može imati štetan utjecaj na trajnost dijelova energetskog postrojenja. Također kvar na elektrotehničkim instalacijama može dovesti do havarija i bitno smanjiti trajnost iste. Vijek trajanja elektrotehničkih instalacija, uz dobro održavanje je 30 godina, nakon čega ih je potrebno zamijeniti novima. [6]

## 3.2 Proračuni

### 3.2.1 Bilanca instaliranog postrojenja

Prilikom izrade proračuna, predviđeno je da predmetna solarna farma ima vršnu snagu na izlazu izmjenjivača  $P_v = 500,00 \text{ kW}$ , snaga je određena prema ukupnoj izlaznoj AC snazi pretvarača. Fotonaponski modul SUNKET SKT600M10 snage  $600 \text{ Wp}$  vršne je snage  $P_{FN} = 600 \text{ Wp}$ . Za instalaciju predmetnog postrojenja ugrađuje se  $n = 828$  fotonaponskih modula.

Izmjenjivač FUJI SUN 100K-G03 maksimalne je izlazne snage na AC strani  $100,00 \text{ kW}$  i ima instaliranih **6 neovisnih MPPT ulaza**. Na svaki ulaz je moguće spojiti 4 niza sunčane elektrane.

Najveći dozvoljeni napon ulaza,  $U_{max} = 1000 \text{ VDC}$ , dok je najveća dozvoljena struja na svakom ulazu,  $I_{max} = 40(60) \text{ A}$ . Kako je najveći broj instaliranih i serijski spojenih FN modula  $n = 16$ , a za fotonaponski modul  $V_{oc} = -0,280 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ , i uz minimalnu temperaturu na lokaciji od  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$U_{max} = n \cdot U_{oc} \left( 1 + \frac{V_{oc}}{100} \cdot (T_{min} - T_{STC}) \right)$$

Gdje je:

$U_{max}$  – najveći dozvoljeni napon na ulazu u pretvarač

$n$  – broj modula

$U_{oc}$  – napon otvorenog strujnog kruga

$V_{oc}$  – temperaturni koeficijent

$T_{min}$  – minimalna temperatura za lokaciji

$T_{STC}$  – standardna testna temperatura solarnog panela

Gdje je  $U_{oc}$  napon otvorenog kruga jednog FN modula,  $U_{oc} = 53,98 \text{ V}$ . Za zadani niz od 18 modula  $U_{max}$  iznosi  $1080 \text{ V}$  što je više od dozvoljenog maksimalnog napona, stoga moramo smanjiti broj solarnih panela na ulazu u pretvarač. Prilikom smanjenja broja solarnih panela na  $n = 16$ ,  $U_{max} = 960,41 \text{ V}$ , iz čega je vidljivo da je niz veličine **16 FN modula** moguće spojiti na ulaz izmjenjivača. Najveća struja niza iznosi:

$$I_{max} = m \cdot I_{sc}$$

Gdje je :

$I_{max}$  – maksimalna struja

$m$  – broj paralelno spojenih nizova

$I_{sc}$  – struja kratkog spoja jednog fotonaponskog modula

Gdje je  $I_{sc}$  struja kratkog spoja jednog FN modula,  $I_{sc} = 14,13 \text{ A}$ , dok je  $m$  broj paralelno spojenih nizova na ulaz najviše dva,  $m = 2$ . Za 2 niza,  $I_{max} = 28,26 \text{ A}$ , iz čega je vidljivo da je moguće spojiti po dva niza na ulaz pretvarača.

Tablica 3. Podaci projektirane solarne farme

Vršna snaga FN polja	496,80 kWp
Vršna snaga na izlazu izmjenjivača	500,00 kW
Broj FN modula	828
Broj izmjenjivača	5
Broj korištenih ulaza izmjenjivača	56
Broj nizova u FN polju	56
Broj FN modula po nizu	13-16
Najveći napon FN polja	960,41 V
Najveći dopušteni napon ulaza izmjenjivača	1000V
Najveća struja niza	28,26 A
Najveća dopuštena struja ulaza	40(60) A

Detaljan opis i podaci solarnog panela prikazani su na prilogu br. 11. [7]

Detaljan je opis i podaci pretvarača prikazan je na prilogu br. 12. [8]

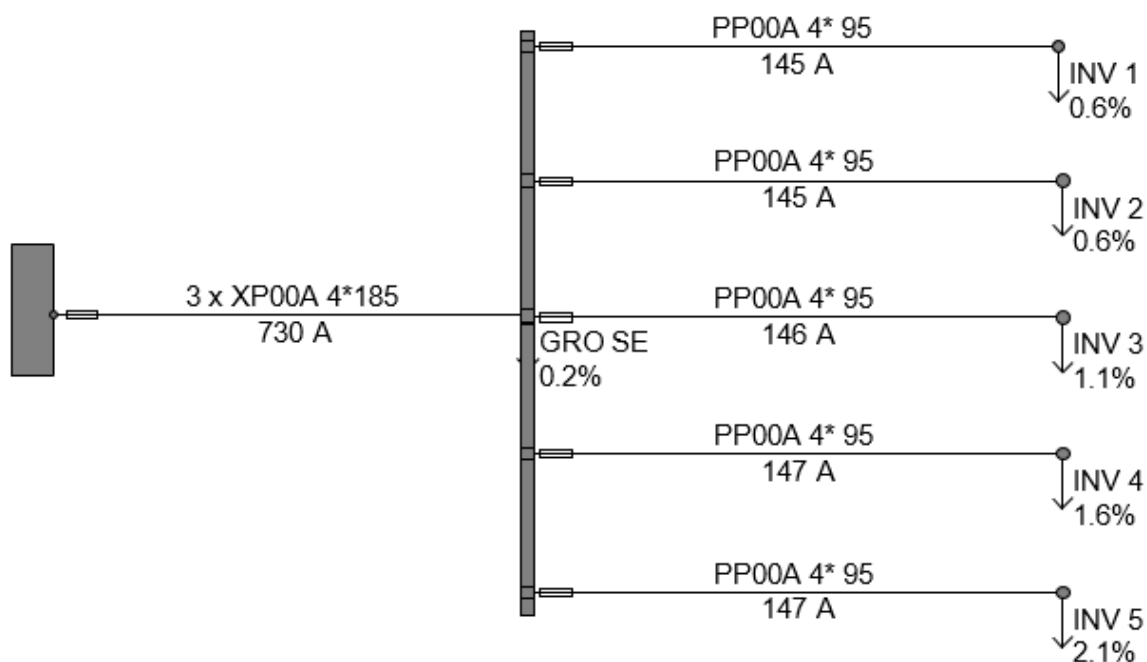
### 3.2.2 Energetska bilanca Solarne farme

Energetska bilanca solarne farme predstavlja omjer između ukupne količine proizvedene električne energije iz sunčevog zračenja i potrošene energije u procesu proizvodnje, održavanja i rada farme. Uključuje analizu količine energije koju solarni paneli generiraju, gubitke energije u sustavu (poput pretvorbe i prijenosa), te energetske učinkovitost cijelog sustava. Cilj energetske bilance je osigurati da solarna farma proizvodi više energije nego što troši, čime doprinosi održivosti i isplativosti ulaganja u obnovljive izvore energije. Energetska bilanca elektrane izrađena je u programskom paketu Huawei Smart Design na temelju geografskih i meteoroloških podataka lokacije gdje će se nalaziti postrojenje.

Prikaz energetske bilance Solarne farme prikazan je u poglavlju 5.13.

### 3.2.3 Proračun AC razvoda

Proračun AC razvoda predstavlja postupak izračuna i analize svih tehničkih parametara potrebnih za projektiranje i izvedbu izmjenične (AC) električne instalacije unutar nekog sustava. To uključuje određivanje presjeka vodiča, dimenzioniranje zaštitnih uređaja, izračun opterećenja, gubitaka energije, padova napona, te provjeru sigurnosti i usklađenosti instalacije s važećim normama i propisima. Cilj proračuna AC razvoda je osigurati pouzdan, siguran i efikasan prijenos električne energije od izvora do potrošača. Proračun AC razvoda izrađen je u programskom paketu WinDis 2.



Slika 4. Jednopolni prikaz AC razvoda solarne farme iz programskog paketa WinDis2

*Kazalo značenja slova:*

Čvorovi - podaci vezani za čvorove

- Umin - najmanji napon u tri faze  $\min(U_R, U_S, U_T)$
- URST - ispis napona sve tri faze
- U% - postotni pad napona (desni klik mišem pokazuje bojom indikaciju prekoračenja zadanih granica)
- RST - prikaz uključenosti faza u pojedinom čvoru
- Ik3 - struja troleznog kratkog spoja
- Ik1 - struja jednopolnog kratkog spoja

Dionice - podaci vezani za dionice

- 3ph - omogućavanje prikaza podataka dionica u sve tri faze
- P - radna snaga na ulazu u dionicu
- Q - reaktivna snaga na ulazu u dionicu
- dP - gubitak radne snage na dionici
- dQ - gubitak jalove snage na dionici
- I - struja kroz dionicu
- I% - odnos struje dionice i maksimalno dopuštene struje dionice (desni klik mišem pokazuje bojom indikaciju prekoračenja granica)

Potrošači - podaci vezani za potrošače

- P - radna snaga potrošnje u čvoru
- Q - reaktivna snaga potrošnje u čvoru
- cos - faktor snage potrošača
- 3ph - omogućavanje prikaza podataka u sve tri faze
- RST - prikaz postojanja opterećenja u fazama
- Ip – struja potrošača

Osigurači - podaci vezani za osigurače

- I<sub>vr</sub> -indikacija provjere osigurača s obzirom na vršno opterećenje dionice
- I<sub>nv</sub> -indikacija provjere osigurača s obzirom na trajno dopušteno opterećenje dionice
- term -indikacija provjere termičke čvrstoće s obzirom na maksimalnu i minimalnu struju kratkog spoja
- doseg -indikacija provjere dosega zaštite s obzirom na minimalnu struju kratkog spoja
- t<sub>max</sub> - maksimalno vrijeme isključenja kod kratkog spoja [11]

*Relacije pomoću koji softver WINDis računa potrebne podatke:*

- Struja u vodu I(A) za slučaj bez gubitaka:  $I = \frac{P_v}{1,73 * U * \cos\varphi}$

Značenje slova: I – struja u vodu (A)

P<sub>v</sub> – vršna snaga (W)

U – linijski napon (V)

cosφ – faktor snage

- Snaga izmjeničnog jednofaznog potrošača:  $P = U_f * I * \cos\varphi * \eta$

Značenje slova:  $U_f$  – fazni napon mreže (V)

$I$  – struja u vodu (A)

$\cos\varphi$  – faktor snage

$\eta$  – korisnost, stupanj djelovanja potrošača

- struja jednopolnog kratkog spoja:  $I_{k1,max} = \frac{E_{max}}{X_d} = k_{max} * \frac{U_{NG}}{\sqrt{3}} * \frac{1}{X_d}$

- zaštita od nedozvoljenog napona dodira:  $I_k > I_i$

Značenje slova:  $I_k$  – struja greške kod kratkog spoja faznog i nul vodiča

$I_i$  – isklopna struja odabranog osigurača



**Od:** PMO  
**Do:** GRO SE  
**Izvod:**  
Tip kabela/voda: 3 × PP00A 4\*185  
Smještaj: Zemlja  
Ck: 1  
In: 3 × 310 A  
Duljina: 10.0 m

---

P = 506kW    Q = 1.75kvar  
I(rst)= 730 A    I%(rst)= 79%  
ΔP= 0.88kW  
ΔQ= 0.43kvar

---

Tip Osigurača : 3 × Končar 2NVO 2[250A]  
In : 250 A  
k : 2.5  
**Izvod :**  
nivo : 1

---

tmax(Ik1) : 4.00ms

---

Kriteriji valjanosti odabranog osigurača

---

**Provjera prema vršnom opterećenju**

In(osigurač) : 3 × 250 A  
Iv : 3 × 243 A  
In(osigurač) > Iv ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 2.6%

---

**Provjera prema trajno dopuštenom opterećenju**

In(osigurač) : 3 × 250 A  
In(kab/vod) : 3 × 310 A  
In(osigurač) < In(kab/vod) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 19%

---

**Provjera termičke čvrstoće s obzirom na Ik3**

Ik3: >10<sup>8</sup>A  
t(osigurač)= t(Ik3): 4.00ms topl  
t(dop.)=(Ik3x1sek/Ik3)<sup>2</sup>: 69.6ms  
t(osigurač) > t(dop.) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 44%

---

**Provjera doseg zaštite (minimalni Ik1)**

Ios=Ik1min : 154kA  
Ios(nul)= : 154kA  
k\*In(osigurač) : 625 A  
Ios > k\*In(osigurač) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 100%

**Od:** GRO SE  
**Do:** INV 1  
**Izvod:**  
Tip kabela/voda: PP00A 4\* 95  
Smještaj: Zemlja  
Ck: 1  
In: 215 A  
Duljina: 20.0 m

---

P = 100kW      Q = 0.10kvar  
I(rst)= 145 A      I%(rst)= 68%  
 $\Delta P = 0.40\text{kW}$   
 $\Delta Q = 0.10\text{kvar}$

---

Tip Osigurača : Končar 2NVO 1[160A]  
In : 160 A  
k : 2.5  
nivo : 2

---

tmax(Ik1): 4.00ms

---

Kriteriji valjanosti odabranog osigurača

---

**Provjera prema vršnom opterećenju**

In(osigurač): 160 A  
Iv : 145 A  
In(osigurač) > Iv ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 9.3%

---

**Provjera prema trajno dopuštenom opterećenju**

In(osigurač): 160 A  
In(kab/vod): 215 A  
In(osigurač) < In(kab/vod) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 26%

---

**Provjera termičke čvrstoće s obzirom na Ik3**

Ik3: 324kA  
t(osigurač)= t(Ik3): 4.00ms topl  
t(dop.)=(Ik3x1sek/Ik3)^2: 67.9ms  
t(osigurač) < t(dop.) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 94%

---

**Provjera doseg zaštite (minimalni Ik1)**

Ios=Ik1min : 12.8kA  
Ios(nul)= : 12.8kA  
k\*In(osigurač): 400 A  
Ios > k\*In(osigurač) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 97%

**Od:** GRO SE  
**Do:** INV 2  
**Izvod:**  
Tip kabela/voda: PP00A 4\* 95  
Smještaj: Zemlja  
Ck: 1  
In: 215 A  
Duljina: 20.0 m

---

P = 100kW      Q = 0.10kvar  
I(rst)= 145 A      I%(rst)= 68%  
 $\Delta P = 0.40\text{kW}$   
 $\Delta Q = 0.10\text{kvar}$

---

Tip Osigurača : Končar 2NVO 1[160A]  
In : 160 A  
k : 2.5  
nivo : 2

---

tmax(Ik1): 4.00ms

---

Kriteriji valjanosti odabranog osigurača

---

#### **Provjera prema vršnom opterećenju**

In(osigurač): 160 A  
Iv : 145 A  
In(osigurač) > Iv ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 9.3%

---

#### **Provjera prema trajno dopuštenom opterećenju**

In(osigurač): 160 A  
In(kab/vod): 215 A  
In(osigurač) < In(kab/vod) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 26%

---

#### **Provjera termičke čvrstoće s obzirom na Ik3**

Ik3: 324kA  
t(osigurač)= t(Ik3): 4.00ms topl  
t(dop.)=(Ik3x1sek/Ik3)^2: 67.9ms  
t(osigurač) < t(dop.) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 94%

---

#### **Provjera doseg zaštite (minimalni Ik1)**

Ios=Ik1min : 12.8kA  
Ios(nul)= : 12.8kA  
k\*In(osigurač): 400 A  
Ios > k\*In(osigurač) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 97%

**Od:** GRO SE  
**Do:** INV 3  
**Izvod:**  
Tip kabela/voda: PP00A 4\* 95  
Smještaj: Zemlja  
Ck: 1  
In: 215 A  
Duljina: 45.0 m

=====  
P = 101kW Q = 0.24kvar  
I(rst)= 146 A I%(rst)= 68%  
 $\Delta P = 0.92\text{kW}$   
 $\Delta Q = 0.24\text{kvar}$   
=====

Tip Osigurača : Končar 2NVO 1[160A]  
In : 160 A  
k : 2.5  
nivo : 2

-----  
tmax(Ik1) : 4.00ms  
-----

Kriteriji valjanosti odabranog osigurača

**Provjera prema vršnom opterećenju**

In(osigurač) : 160 A  
Iv : 146 A  
In(osigurač) > Iv ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 8.8%

**Provjera prema trajno dopuštenom opterećenju**

In(osigurač) : 160 A  
In(kab/vod) : 215 A  
In(osigurač) < In(kab/vod) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 26%

**Provjera termičke čvrstoće s obzirom na Ik3**

Ik3: 324kA  
t(osigurač)= t(Ik3): 4.00ms topl  
t(dop.)=(Ik3x1sek/Ik3)^2: 313ms  
t(osigurač) < t(dop.) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 99%

**Provjera doseg zaštite (minimalni Ik1)**

Ios=Ik1min : 5.97kA  
Ios(nul)= : 5.97kA  
k\*In(osigurač) : 400 A  
Ios > k\*In(osigurač) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 93%

**Od:** GRO SE  
**Do:** INV 4  
**Izvod:**  
Tip kabela/voda: PP00A 4\* 95  
Smještaj: Zemlja  
Ck: 1  
In: 215 A  
Duljina: 70.0 m

=====  
P = 101kW Q = 0.37kvar  
I(rst)= 147 A I%(rst)= 68%  
 $\Delta P = 1.44\text{kW}$   
 $\Delta Q = 0.37\text{kvar}$   
=====

Tip Osigurača : Končar 2NVO 1[160A]  
In : 160 A  
k : 2.5  
nivo : 2

-----  
tmax(Ik1): 6.29ms  
-----

Kriteriji valjanosti odabranog osigurača

**Provjera prema vršnom opterećenju**

In(osigurač): 160 A  
Iv : 147 A  
In(osigurač) > Iv ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 8.3%

**Provjera prema trajno dopuštenom opterećenju**

In(osigurač): 160 A  
In(kab/vod): 215 A  
In(osigurač) < In(kab/vod) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 26%

**Provjera termičke čvrstoće s obzirom na Ik3**

Ik3: 324kA  
t(osigurač)= t(Ik3): 4.00ms topl  
t(dop.)=(Ik3x1sek/Ik3)^2: 737ms  
t(osigurač) < t(dop.) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 99%

**Provjera doseg zaštite (minimalni Ik1)**

Ios=Ik1min : 3.89kA  
Ios(nul)= : 3.89kA  
k\*In(osigurač): 400 A  
Ios > k\*In(osigurač) ⇒ ZADOVOLJAVA  
Rezerva: 90%

**Od:** GRO SE  
**Do:** INV 5  
**Izvod:**  
Tip kabela/voda: PP00A 4\* 95  
Smještaj: Zemlja  
Ck: 1  
In: 215 A  
Duljina: 95.0 m

=====

P = 102kW	Q = 0.51kvar
I(rst)= 147 A	I%(rst)= 69%
ΔP= 1.98kW	
ΔQ= 0.51kvar	

=====

Tip Osigurača : Končar 2NVO 1[160A]  
In : 160 A  
k : 2.5  
nivo : 2

---

tmax(Ik1): 13.6ms

---

Kriteriji valjanosti odabranog osigurača

---

**Provjera prema vršnom opterećenju**

In(osigurač):	160 A
Iv	: 147 A
In(osigurač) > Iv	⇒ ZADOVOLJAVA
Rezerva:	7.8%

---

**Provjera prema trajno dopuštenom opterećenju**

In(osigurač):	160 A
In(kab/vod):	215 A
In(osigurač) < In(kab/vod)	⇒ ZADOVOLJAVA
Rezerva:	26%

---

**Provjera termičke čvrstoće s obzirom na Ik3**

Ik3:	324kA
t(osigurač)= t(Ik3):	4.00ms topl
t(dop.)=(Ik3x1sek/Ik3)^2:	1.34 s
t(osigurač) < t(dop.)	⇒ ZADOVOLJAVA
Rezerva:	100%

---

**Provjera doseg zaštite (minimalni Ik1)**

Ios=Ik1min :	2.89kA
Ios(nul)= :	2.89kA
k*In(osigurač):	400 A
Ios > k*In(osigurač)	⇒ ZADOVOLJAVA
Rezerva:	86%

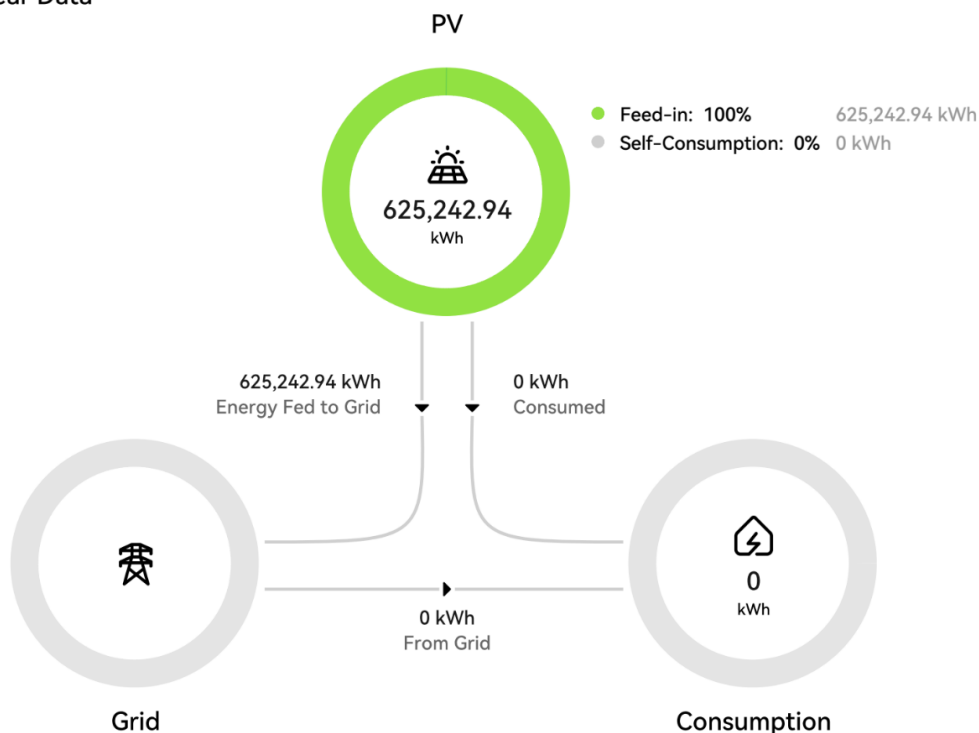
### 3.2.4 Proračun proizvodnje električne energije

Proračun proizvodnje električne energije je izrađen pomoću software-a Huawei Smart design koji uzima u obzir broj montiranih fotonaponskih panela, geografski smještaj objekta i sve ostale bitne parametre. Na osnovi izračuna dobiven je rezultat o godišnjoj proizvodnji od 625.242 kWh električne energije. U dijagramu je također vidljiva i mjesečna razdioba proizvodnje koja sumarno daje navedenu godišnju vrijednost.

Pošto je planirana fotonaponska elektrana za proizvodnju električne energije za vlastite potrebe i sa mogućnosti predaje viška električne energije u javnu elektroenergetsku mrežu Republike Hrvatske, naknada za isporučenu električnu energiju biti će obračunata sukladno Ugovoru o opskrbi/otkupu koji će Investitor sklopiti s odabranim tržišnim opskrbljivačem/otkupljivačem. U slučaju predaje viška električne energije, naknada za isporučenu energiju biti će obračunata po tržišnim cijenama.

## Energy Management

First-Year Data



Slika 5. Prikaz proizvodnje električne energije u prvoj godini rada Solarne farme

### 3.3 Tehnička rješenja za primjenu pravila zaštite od požara

Električna oprema namijenjena za ugradnju u solarnu elektranu odabrana je i postavljena uzimajući u obzir vanjske utjecaje, u skladu s normom HRN N.B2.751. Oprema koja se ugrađuje unutar građevine odabrana je i postavljena prema zahtjevima za zaštitu od toplinskog djelovanja, prema normi HRN N.B2.742. Svi kabeli i vodovi dimenzionirani su za nominalno vršno opterećenje u normalnom radu i u slučaju kratkog spoja. Instalacije i uređaji u sustavu odabrani su i izvedeni tako da odgovaraju uvjetima lokacije, namjeni i razini izloženosti vanjskim faktorima. Zaštita od indirektnog dodira postignuta je automatskim isklapanjem strujnog kruga. Planiran je TN-S sustav, koji kroz cijelu instalaciju koristi odvojeni zaštitni PE vodič. Zaštita je osigurana rastalnim osiguračima na DC strani i automatskim prekidačima na AC strani, odgovarajuće nazivne struje i presjeka vodiča pojedinih strujnih krugova, odnosno njihove trajno dopuštene struje (HRN N.B2.752). Vodiči su dimenzionirani prema vršnim opterećenjima, uz kontrolu dozvoljenog pada napona.

Opasnosti od požara zbog električnih instalacija mogu nastati zbog nepravilnog odabira opreme, preopterećenja ili kratkog spoja. Prilikom izgradnje solarne elektrane koristit će se negorivi materijali poput čelika, aluminijske i staklene. Fotonaponska elektrana je sustav bez pokretnih dijelova, ne emitira zračenje, ne zahtijeva radni medij (poput ulja) te FN ćelije imaju radnu temperaturu do maksimalno +80°C. Oprema i električni vodovi odabrani su u skladu s uvjetima ugradnje, a odgovarajuće dimenzioniranje osigurava njihovu uporabu unutar nazivnih i dopuštenih vrijednosti. Zaštita od kratkog spoja i preopterećenja osigurana je automatskim prekidačima te gdje je potrebno, strujnim zaštitnim sklopkama.[1]



### 3.4 Sistem kontrole i garancije kvalitete

#### 3.4.1. Program kontrole

„Sve električne instalacije moraju se tijekom postavljanja, ili kada su postavljene, ali prije predaje na korištenje, pregledati i ispitati. Prilikom provjere i ispitivanja električne instalacije, moraju se poduzeti mjere zaštite za sigurnost osoba i zaštite električne i druge opreme od oštećenja i uništenja. Ako se električna instalacija mijenja, potrebno je izvršiti provjeru i ispitivanje nove električne instalacije kako bi se utvrdilo da je izmijenjena električna instalacija u skladu sa propisima.

Prilikom pregleda električne instalacije, treba obratiti pažnju na:

- ❖ Zaštitu od električnog udara, uključujući mjerenje razmaka kod zaštite preprekama ili kućištima, pregradama ili postavljanjem opreme izvan dohvata ruku;
- ❖ Mjere zaštite od širenja vatre i zaštita od termičkih utjecaja na vodič prema trajno dozvoljenim vrijednostima struje i dozvoljenom padu napona;
- ❖ Izbor i postavke zaštitnih uređaja za nadzor;
- ❖ Ispravnost postavljanja odgovarajućih rasklopnih uređaja glede rastavnog razmaka;
- ❖ Izbor opreme i mjere zaštite prema vanjskim utjecajima;
- ❖ Opremljenost razvodnih uređaja i ormara jednopolnim i strujnim shemama, tablicama s upozorenjima, oznakama uređaja i sličnim informacijama;
- ❖ Spajanje kabela i vodiča;
- ❖ Pristupačnost i raspoloživost prostora za rad i održavanje;
- ❖ Urednost glavnih energetske prostorijske i kabelaških kanala, odnosno vertikala“ [1]

### 3.4.2. Osiguranje kvalitete električne instalacije u tijeku korištenja građevine

Funkcionalno ispitivanje cijele građevine potrebno je provoditi najmanje dvaput godišnje, uz obavezno popravke ili zamjenu neispravnih dijelova i uređaja. Radi osiguravanja kvalitete izvedenih elektrotehničkih instalacija, potrebno je provesti sljedeća ispitivanja i mjerenja:

- ❖ Provjera neprekidnosti zaštitnog vodiča, kao i glavnog i dodatnog vodiča za izjednačavanje potencijala;
- ❖ Mjerenje otpornosti izolacije električne instalacije;
- ❖ Provjera zaštite pomoću električnog odvajanja strujnih krugova;
- ❖ Mjerenje otpornosti podova i zidova;
- ❖ Ispitivanje otpornosti uzemljenja;
- ❖ Testiranje funkcionalnosti cijelog sustava.

Električna otpornost izolacije električne instalacije mora se mjeriti na sljedeći način:

- Između vodiča pod naponom, uzimajući ih u parovima;
- Između svakog vodiča pod naponom i zemlje.

Mjerenje električne otpornosti izolacije provodi se naponima koji nisu manji od vrijednosti navedenih u tablici broj 3 Pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (Sl. br. 53/88). Smatra se zadovoljavajućim ako svaki strujni krug bez priključene opreme ima vrijednost koja nije manja od one iz tablice 3, a mjerenje se vrši istosmjernom strujom. Prilikom ispitivanja instalacije, otpor izolacije između faznog i nultog vodiča mora iznositi najmanje 220k $\Omega$ , a otpor između faznih vodiča najmanje 380k $\Omega$ , pri čemu prekidači moraju biti uključeni, a žarulje izvađene iz svjetiljki.

Sklopni blokovi, poput razdjelnika i komandnih ploča, moraju se funkcionalno ispitati. Za zaštitne uređaje provjerava se ispravnost, pravilnost postavljanja i podešenost. Ako tijekom ispitivanja dođe do pogrešaka ili drugih problema, ispitivanje se mora ponoviti nakon što se greške isprave.

### 3.4.3. Norme i propisi kojim se dokazuje kvaliteta ugrađenih proizvoda i opreme glede zaštite od požara

Kvaliteta proizvoda ugrađenih u elektroinstalaciju, s obzirom na zaštitu od požara, potvrđena je dokumentima proizvođača koji dokazuju da su njihovi proizvodi izrađeni u skladu s relevantnim propisima i pravilnicima:

- Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19);
- Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19 i 67/23);
- Zakon o zaštiti na radu (NN br. 71/14, 118/14, 154/14, 94/18 i 96/18);
- Zakon o zaštiti od požara (NN br. 92/10, 114/22);
- Zakon o normizaciji (NN br. 163/03);
- Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (NN br. 55/96, 163/03 i Sl.l. br. 53/88);
- Tehnički propisi za niskonaponske električne instalacije (NN br. 05/10);
- Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije (NN 88/2012);
- Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu od statičkog elektriciteta (NN br. 55/96 i Sl.l. br. 62/73);
- Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica (Sl. list br. 13/78);
- Zaštita od električnog udara (HRN.N.B2.741);
- Trajno dozvoljene struje (HRN.N.B2.752);
- Standard o projektiranu sigurnosnih puteva i izlaza NFPA 101 (2009);

Izvođač radova obvezan je osigurati potrebne ateste i certifikate proizvođača za sve izrađene i ugrađene dijelove elektroinstalacija, uključujući termoplastične izolacijske cijevi, kabele, priključnice, prekidače, rasvjetna tijela i razdjelnike. Po završetku svih instalacijskih radova, a prije tehničkog pregleda objekta, potrebno je provesti detaljan pregled i ispitivanje izvedenih instalacija. Nakon toga, izvođač mora osigurati izdavanje kompletne atestne dokumentacije, koja mora obuhvaćati sve relevantne informacije i potvrde.:

- Vizualni pregled izvedene instalacije (HRN N.B2.751);
- Mjerenje otpora izolacije glavnog razvoda između pojedinih faza, te faza pojedinačno i zemlje (HRN N.C0.036);
- Kontrolu električne instalacije od indirektnog napona dodira (HRN N.B2.763);
- Kontrolu galvanske povezanosti metalnih masa i neprekinutost zaštitnog vodiča mjerenjem otpora (HRN N.B2.754)

### 3.4.3. Zaštitne mjere i prikaz tehničkih rješenja zaštite okoliša

Sukladno Zakonom o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19) i Zakonom o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19 i 67/23) predlažem sanaciju okoliša gradilišta.

Projektom su predviđene mjere za sanaciju okoliša gradilišta, s ciljem očuvanja ekoloških standarda i zaštite čovjekove okoline. Građevina je namijenjena za proizvodnju električne energije iz sunčeve energije, te nema štetan utjecaj na okoliš, niti svojom lokacijom ugrožava okolinu. Tehnologija i materijali korišteni u izgradnji elektrane osiguravaju potrebne karakteristike objekta, čime se jamči njegova funkcionalnost. Svi materijali ugrađeni u građevinu moraju posjedovati certifikate kvalitete.

Po završetku radova, radi vraćanja okoliša u prvobitno stanje, potrebno je provesti sanaciju gradilišta. To uključuje površine koje su korištene za privremeni promet i skladištenje materijala, a koje nisu obuhvaćene ovim projektom, kao i okoliš parcele na kojoj je građevina izgrađena. Predmetna građevina ne zahtijeva posebne mjere sanacije okoliša. Sav otpadni materijal treba postupno uklanjati s gradilišta kako ne bi ometao radove.

Višak materijala izvođač mora ukloniti s gradilišta, a sav otpad koji nastane tijekom pripreme i izvođenja radova, poput komada kabela, dijelova pocinčane trake, ili cijevi, izvođač je obavezan odvesti na odgovarajuću deponiju otpada.

Bilo kakvu štetu na postojećim objektima, za koju je izvođač bio svjestan ili morao biti svjestan da postoji, sanirat će izvođač bez dodatne naknade. Također, izvođač je obavezan pravovremeno obavijestiti investitora o svim imovinsko-pravnim problemima na gradilištu. Potencijalne štete izvan zone gradnje moraju se sanirati u dogovoru s vlasnikom zemljišta.

#### 3.4.4. Mjere sigurnosti pri izvođenju elektrotehničkih radova

Svi elektrotehnički materijali, električne naprave i zaštitna oprema moraju biti u skladu s važećim propisima i standardima zaštite na radu. Električna oprema za radne prostorije i gradilišta treba biti odabrana i instalirana u skladu s vanjskim utjecajima i standardima za elektroenergetske instalacije.

Na elektroenergetskim objektima raditi ili rukovoditi mogu samo osposobljeni i ovlašteni radnici. Ostali radnici mogu raditi samo pod nadzorom ovlaštenog radnika.

Radovi na električnim instalacijama dijele se u tri kategorije:

1. Radovi u beznaponskom stanju: Prije početka radova treba isključiti i označiti opremu, spriječiti ponovno uključivanje, provjeriti beznaponsko stanje, uzemljiti i ograničiti pristup.
2. Radovi u blizini napona: Osigurati dijelove pod naponom od dodira pomoću izolacijskih zaštita i održavati minimalnu udaljenost od 800 mm.
3. Radovi pod naponom: Dozvoljeni su samo ako radnik ima odgovarajuću stručnost i opremu, te ako su provedene sve sigurnosne mjere i pismene upute.

Radovi pod naponom zabranjeni su u opasnim uvjetima poput požara ili lošeg vremena. Na objektima s naponom do 50 V izmjeničnog ili 120 V istosmjerne struje može se raditi uz primjenu osnovnih zaštitnih sredstava.

Zaštita od električnog udara uključuje zaštitu od direktnog i indirektnog dodira. Zaštita se postiže izolacijom dijelova pod naponom i pravilan rad u sustavu TN-C s automatskim isključenjem.

Zaštitna sredstva uključuju izolacijske motke, kliješta, indikatore napona, izolacijske rukavice, čizme, zaštitne naočale i druge osobne zaštitne opreme. Svi zaštitni alati moraju biti u ispravnom stanju i primjenjivati se u skladu s namjenom i uvjetima rada. Prije uporabe, zaštitna sredstva treba pregledati, očistiti i osigurati da nisu istekao rok trajanja. [9]

#### **4. PROCJENA TROŠKOVA**

Procjena ukupnih investicijskih troškova za realizaciju predmetne solarne farme, koja uključuje nabavu sve potrebne tehničke opreme, kao i troškove instalacije, montaže i postavljanja solarnih panela, iznosi približno 360.000,00 €. Ova procjena obuhvaća sve faze projekta, od projektiranja i planiranja, preko nabave i implementacije, do završne integracije sustava u mrežu, čime se osigurava potpuna operativnost solarne farme u skladu s tehničkim i ekološkim standardima.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu detaljno je istražena problematika projektiranja i realizacije solarne farme velike snage, s posebnim naglaskom na tehničke, ekonomske i ekološke aspekte ovakvih projekata. Solarne farme predstavljaju ključan element u globalnoj tranziciji prema obnovljivim izvorima energije, a rad je pokazao da su one ne samo održive nego i ekonomski isplative investicije.

Tehnički dio rada obuhvatio je projektiranje i dimenzioniranje solarne farme, uključujući analizu odabira fotonaponskih modula, izmjenjivača, i ostalih ključnih komponenti sustava. Izvedeni proračuni pokazali su kako optimizacija ovih elemenata može značajno povećati učinkovitost i pouzdanost cijelog sustava. Primjena programskog alata FusionSolar | SmartDesign omogućila je precizno planiranje i simulaciju rada solarne farme, što je rezultiralo detaljnom energetsom bilancom koja jasno pokazuje potencijalne energetske dobitke i smanjenje emisije stakleničkih plinova.

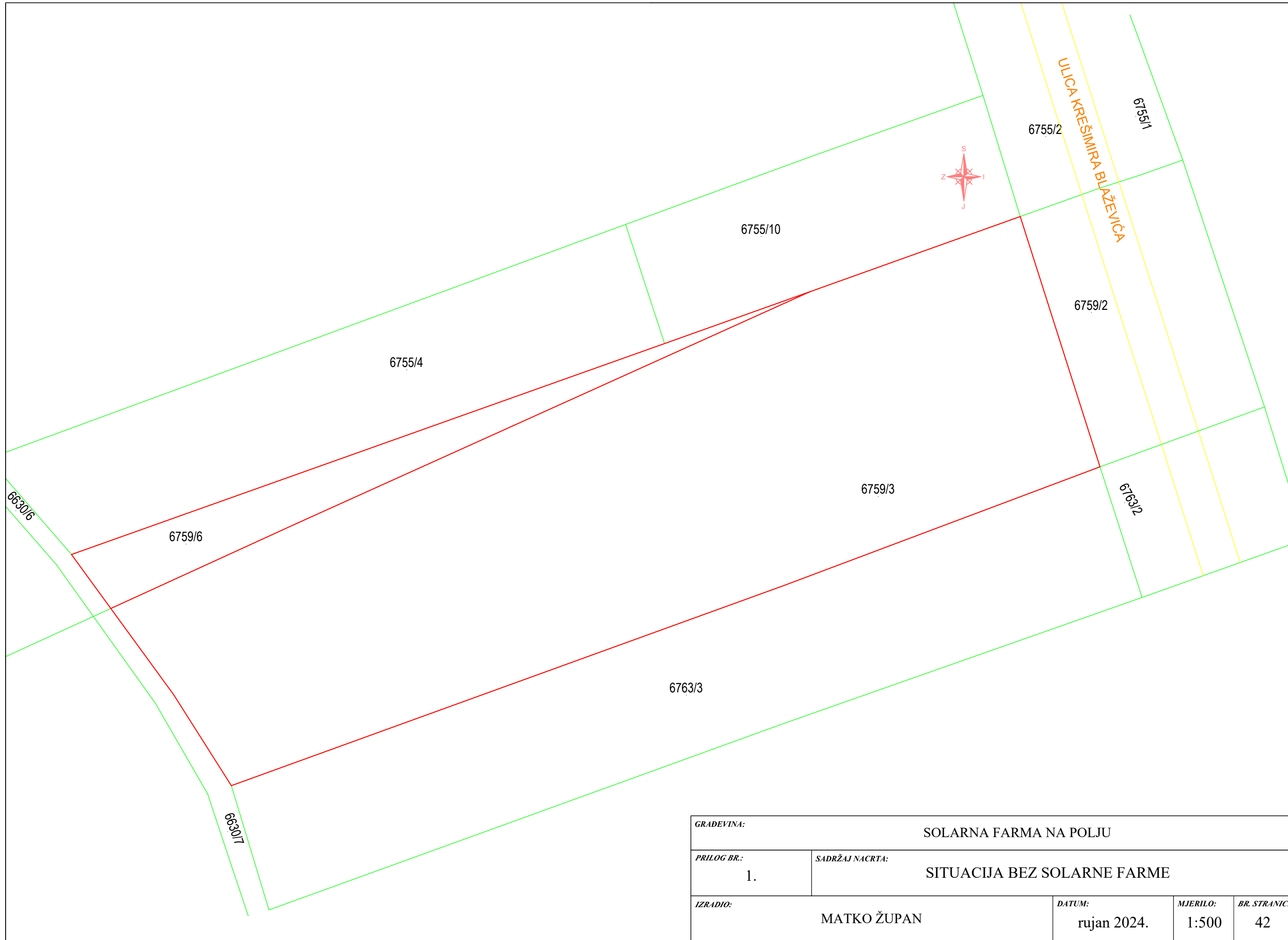
Ekonomsku analizu karakterizirala je procjena troškova izgradnje i održavanja solarne farme u odnosu na očekivani povrat investicije. Rezultati su ukazali na to da, iako početna ulaganja mogu biti značajna, dugoročne uštede na troškovima energije, uz prodaju viškova proizvedene električne energije, čine ovakve projekte financijski isplativima. Poseban je naglasak stavljen na analizu povrata investicije kroz razne scenarije, uključujući promjene u cijenama energije i poticaje za obnovljive izvore.

Ekološki aspekti projekta također su detaljno razmatrani. Solarne farme, kao čisti izvori energije, imaju minimalan negativan utjecaj na okoliš u usporedbi s konvencionalnim izvorima. Rad je potvrdio da, uz pravilno planiranje i implementaciju, solarne farme mogu značajno doprinijeti smanjenju emisije stakleničkih plinova, očuvanju prirodnih resursa i unapređenju kvalitete zraka.

Zaključno, ovaj diplomski rad ne samo da potvrđuje tehničku izvedivost i ekonomski potencijal solarnih farmi, već također naglašava njihovu važnost u kontekstu globalnih napora za očuvanje okoliša i borbu protiv klimatskih promjena. Solarne farme, kao dio šireg sustava obnovljivih izvora energije, nude održivo rješenje za rastuće energetske potrebe, smanjujući pritom negativne posljedice za planet. Rad nudi smjernice i preporuke za daljnje istraživanje i unapređenje tehnologije, čime doprinosi napretku na putu prema energetskej neovisnosti i održivom razvoju.



## **6. PRILOZI**



<b>GRAĐEVINA:</b>		SOLARNA FARMA NA POLJU		
<b>PRILOG BR.:</b>	<b>SADRŽAJ NACRTA:</b>	SITUACIJA BEZ SOLARNE FARME		
1.				
<b>IZRADIO:</b>	MATKO ŽUPAN	<b>DATUM:</b>	rujan 2024.	<b>MJERILO:</b> 1:500
				<b>BR. STRANICE</b> 42

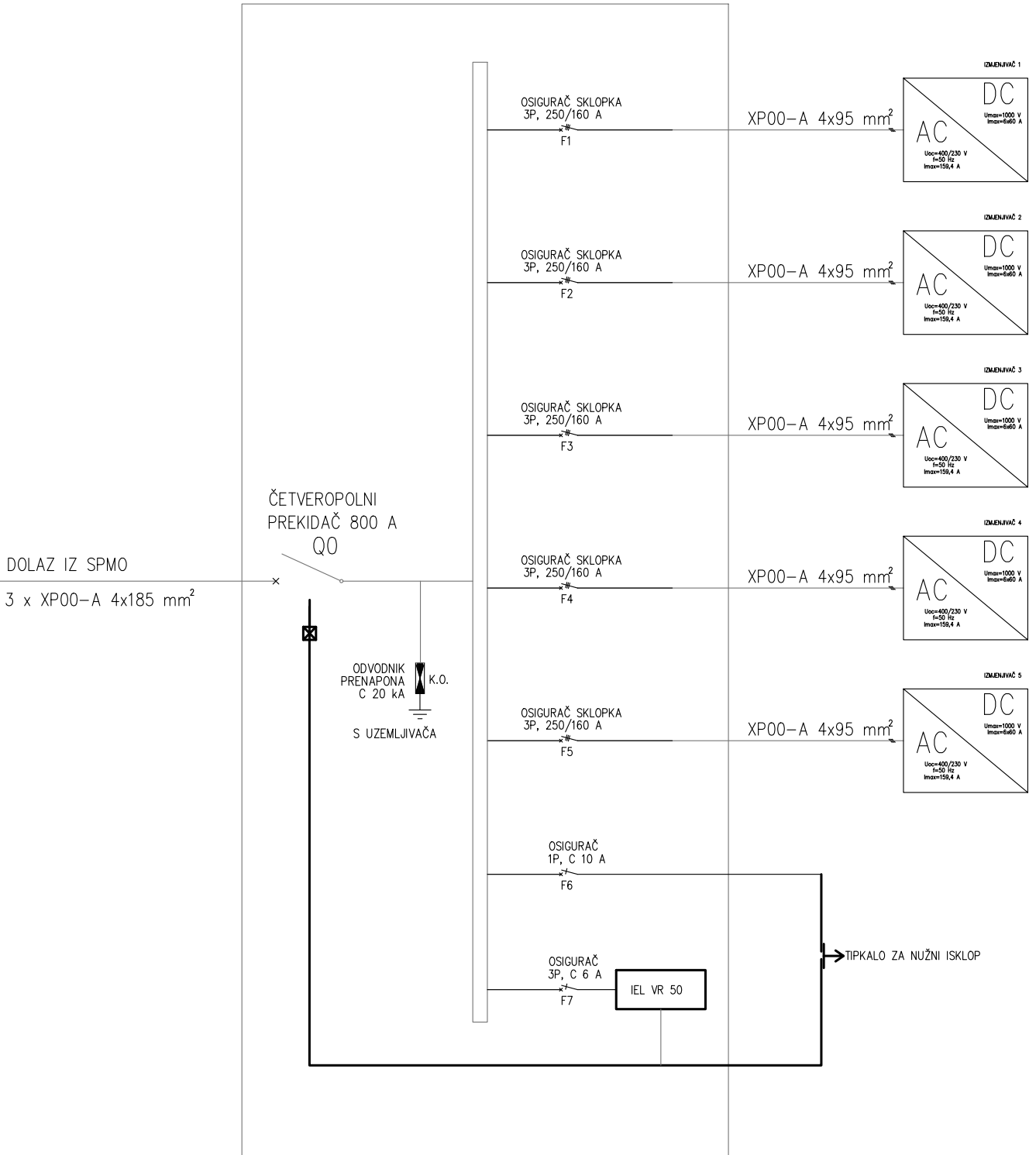
SVEUKUPNO FOTONAPONSKIH PANELA  
828x600W = 496,80 kW



- LEGENDA:
- GRANICA ČESTICA
  - ŽIČANA OGRADA
  - UDALJENOST OD REGULACIJSKE LINIJE I SUSJEDNIH ČESTICA
  - ZELENA POVRŠINA
  - TUCANIK POVRŠINA
  - NOVOPROJEKTIRANE GRAĐEINE:
    - SOLARNI PANELI

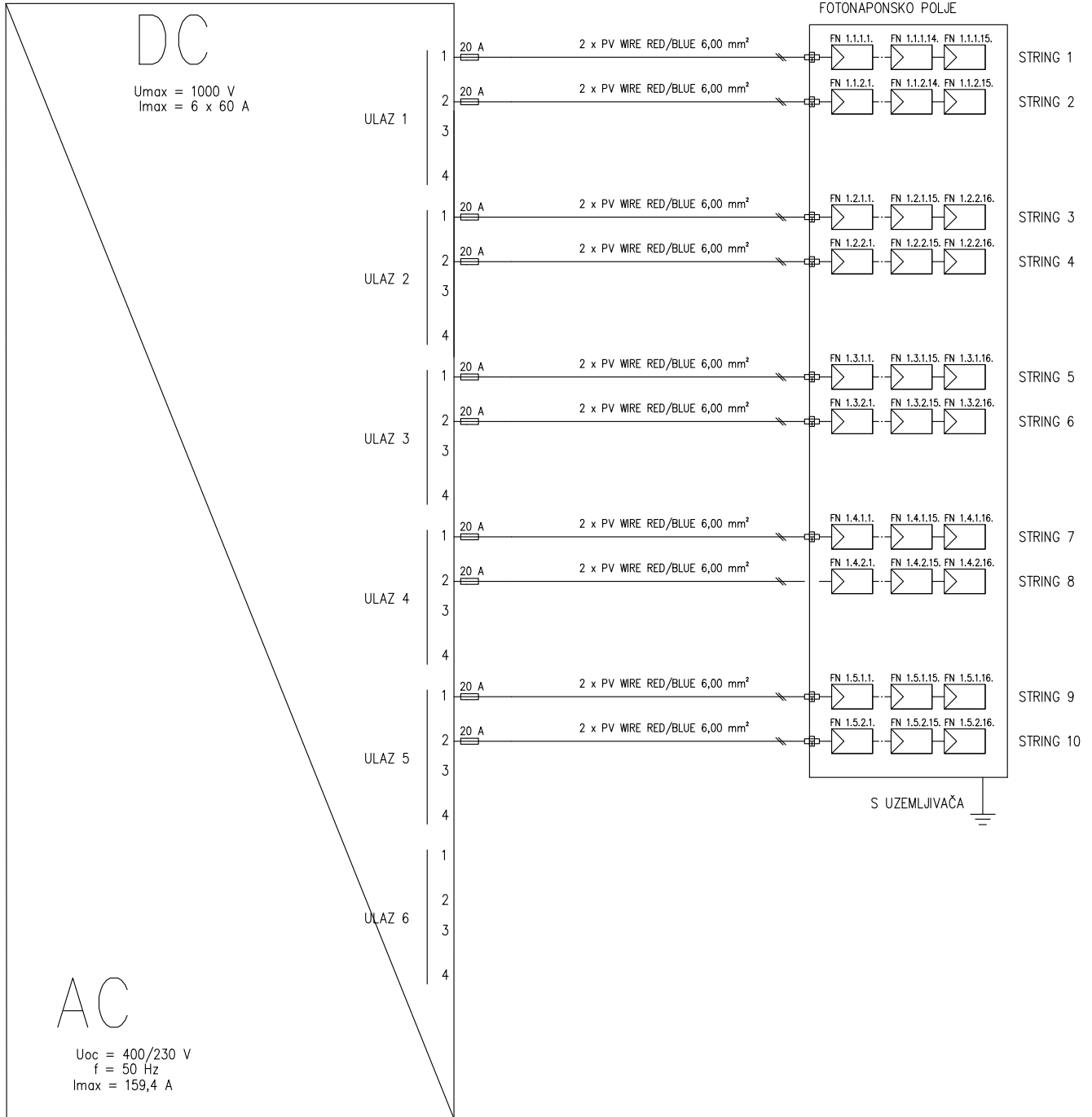
GRAĐEVINA:		SOLARNA FARMA NA POLJU					
PRILOG BR.:	2.	SADRŽAJ NACRTA:	SMJEŠTAJ SOLARNE FARME U SITUACIJSKOM NACRTU				
IZRADIO:	MATKO ŽUPAN	DATUM:	rujan 2024.	MJERILO:	1:500	BR. STRANICE:	43

+GRO-SE



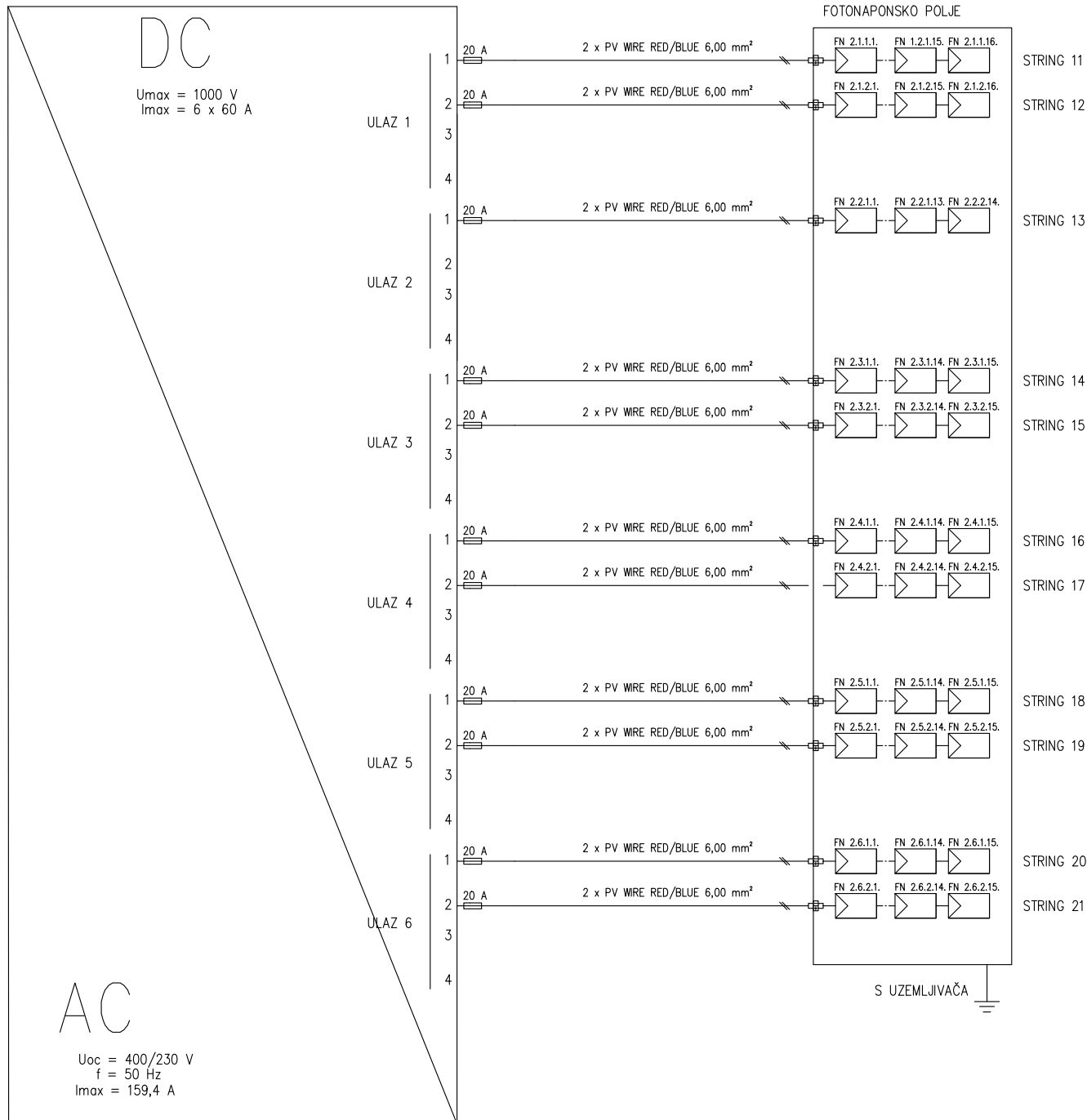
GRADEVINA:				SOLARNA FARMA NA POLJU					
PRILOG BR.:		SADRŽAJ NACRTA:		JEDNOPOLNA SHEMA SOLARNE FARME					
3.									
IZRADIO:			MATKO ŽUPAN		DATUM:		rujan 2024.	MJERILO:	BR. STRANICE
									44

# PRETVARAČ 1



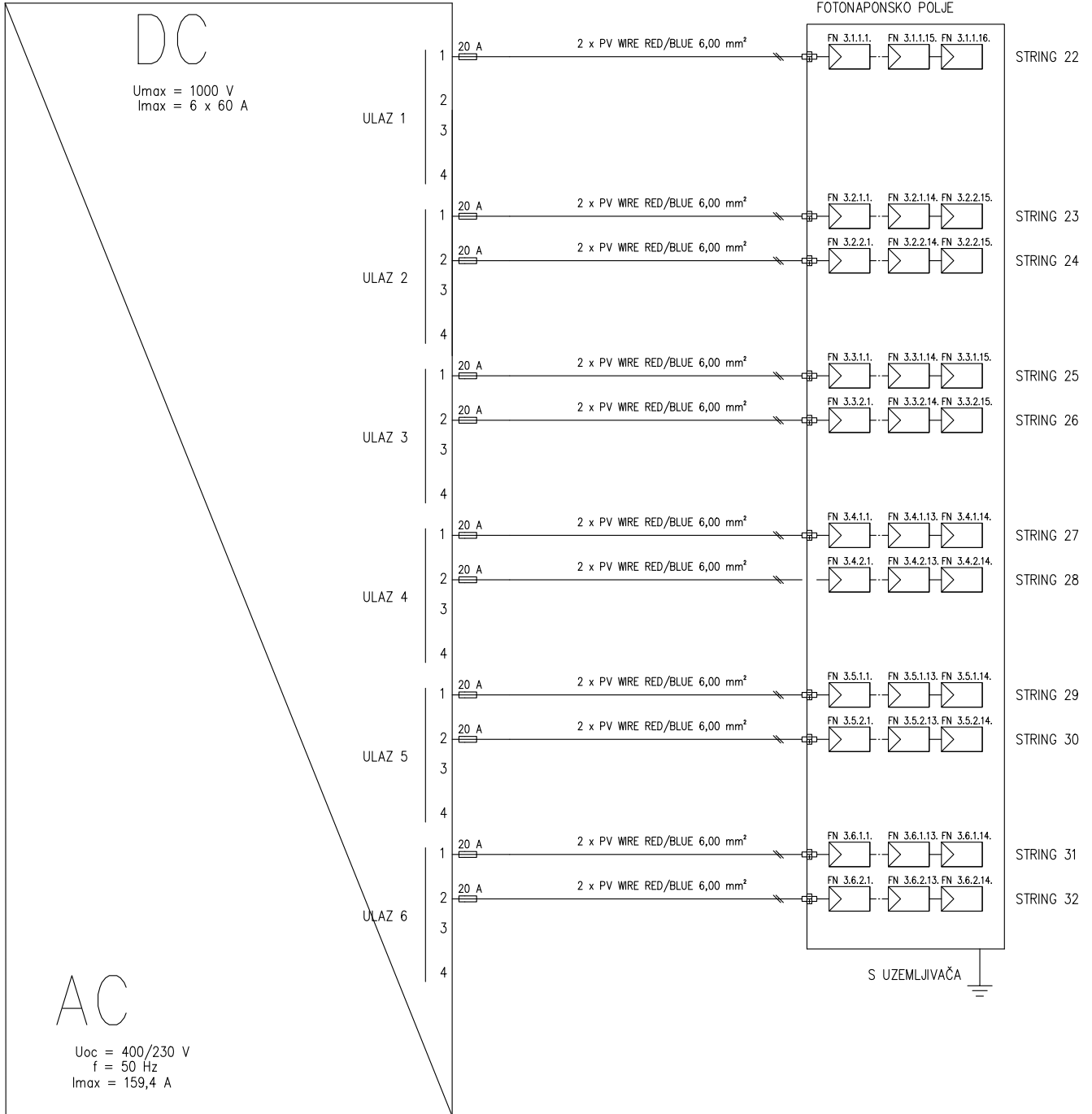
GRADEVINA:					SOLARNA FARMA NA POLJU					
PRILOG BR.:		4.			SADRŽAJ NACRTA:		SPOJ FOTONAPONSKIH PANELA NA PRETVARAČ 1			
IZRADIO:			MATKO ŽUPAN		DATUM:		rujan 2024.		MJERILO:	BR. STRANICE
										45

# PRETVARAČ 2



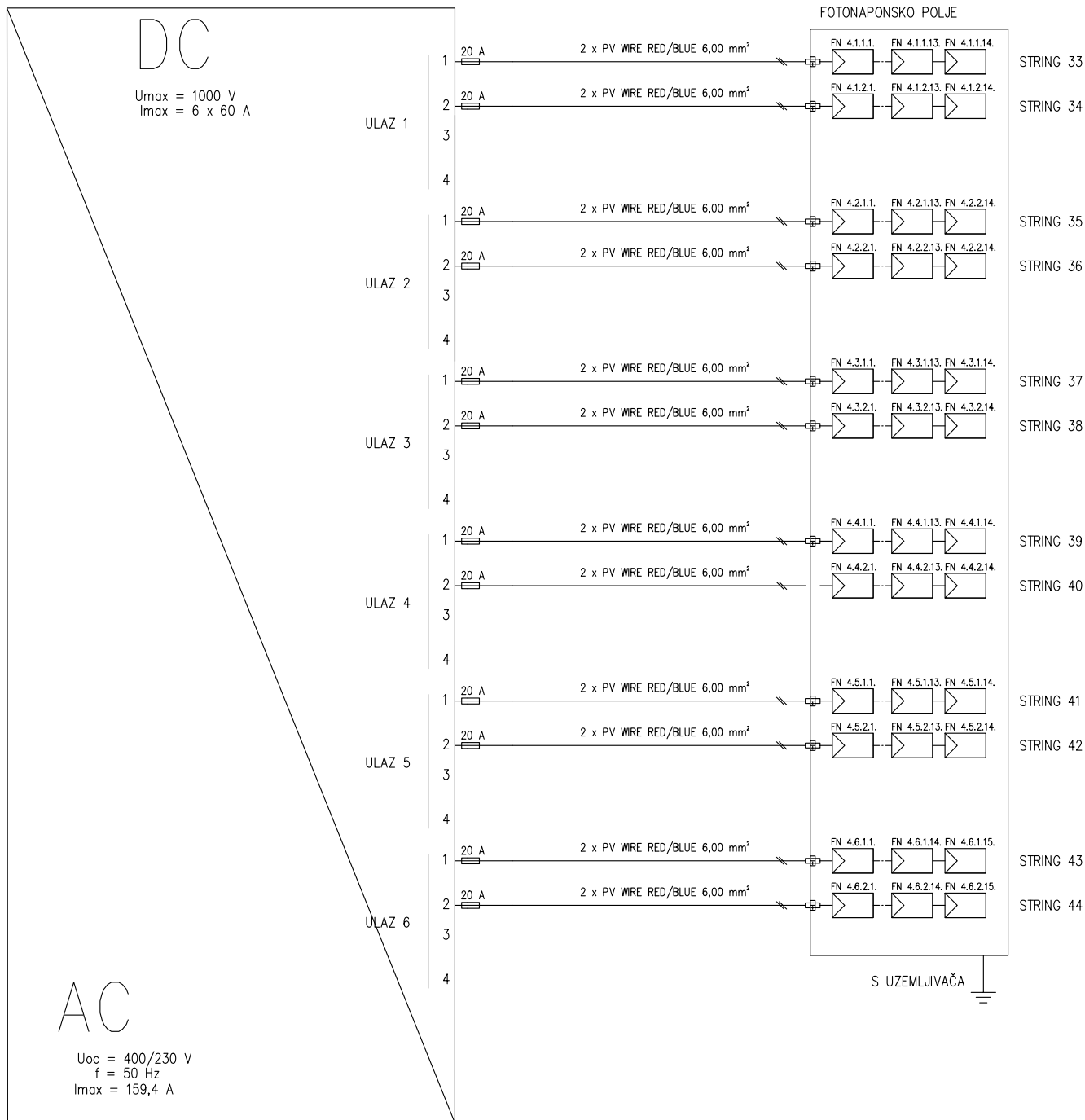
<b>GRADEVINA:</b> SOLARNA FARMA NA POLJU				
<b>PRILOG BR.:</b> 5.		<b>SADRŽAJ NACRTA:</b> SPOJ FOTONAPONSKIH PANELA NA PRETVARAČ 2		
<b>IZRADIO:</b> MATKO ŽUPAN		<b>DATUM:</b> rujan 2024.	<b>MJERILO:</b>	<b>BR. STRANICE:</b> 46

# PRETVARAČ 3



GRADEVINA:				
SOLARNA FARMA NA POLJU				
PRILOG BR.:		SADRŽAJ NACRTA:		
6.		SPOJ FOTONAPONSKIH PANELA NA PRETVARAČ 3		
IZRADIO:		DATUM:	MJERILO:	BR. STRANICE
MATKO ŽUPAN		rujan 2024.		47

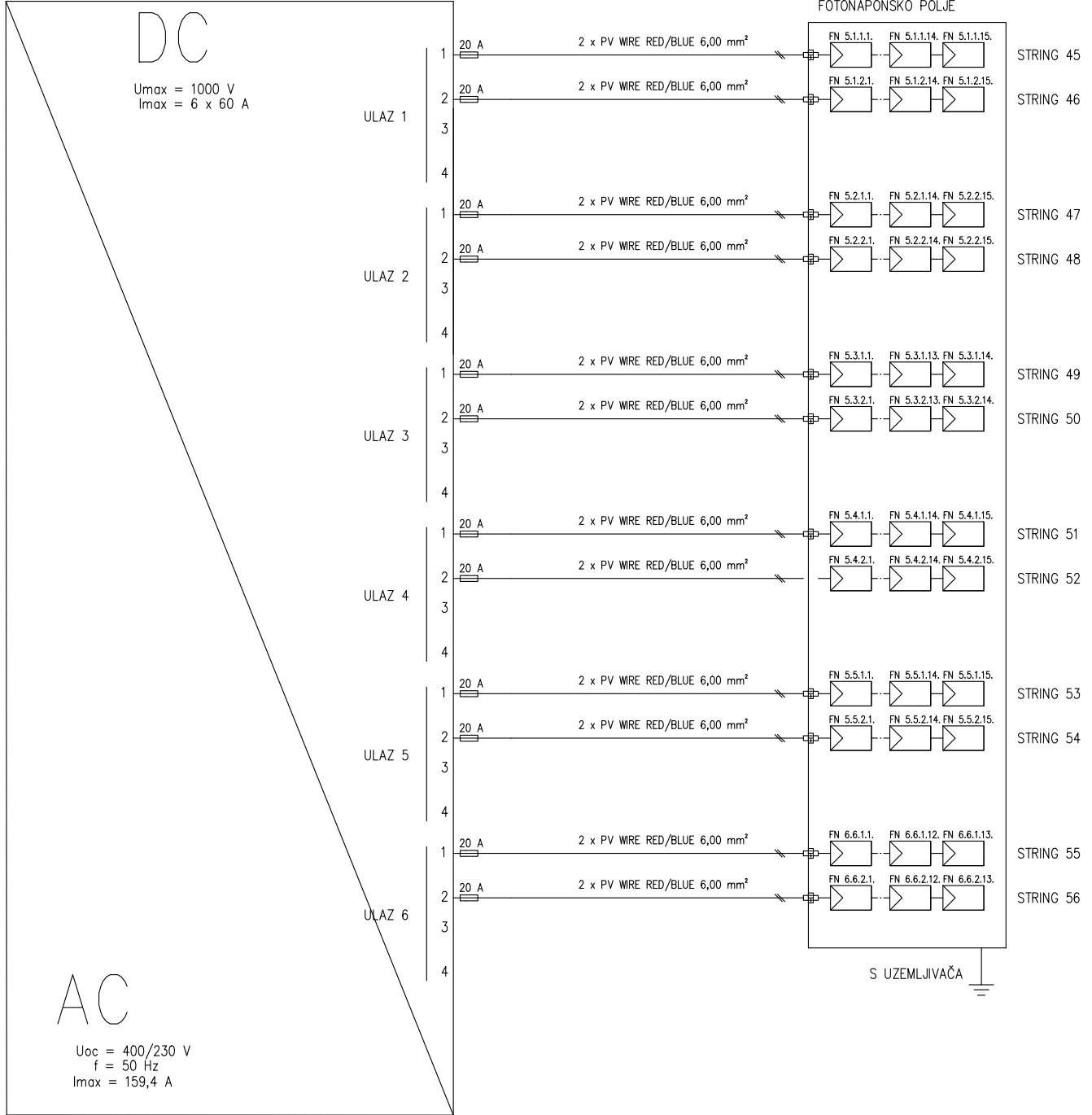
# PRETVARAČ 4



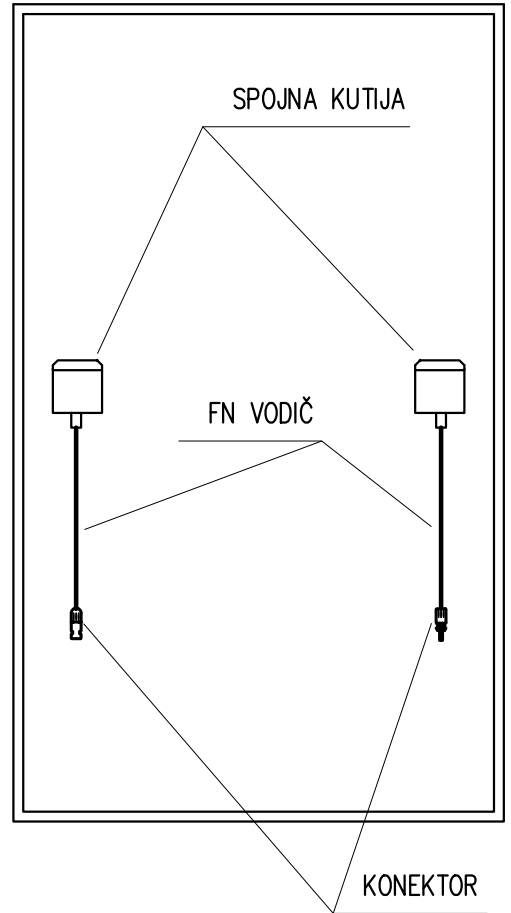
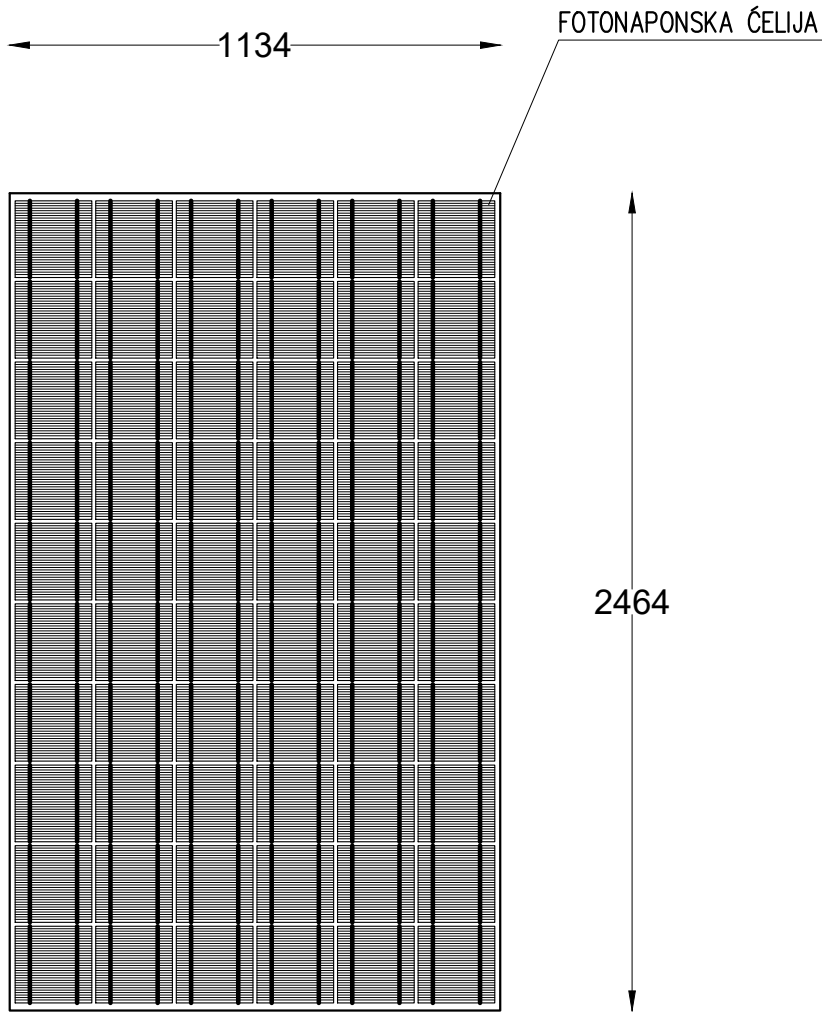
<b>GRADEVINA:</b> SOLARNA FARMA NA POLJU			
<b>PRILOG BR.:</b> 7.	<b>SADRŽAJ NACRTA:</b> SPOJ FOTONAPONSKIH PANELA NA PRETVARAČ 4		
<b>IZRADIO:</b> MATKO ŽUPAN	<b>DATUM:</b> rujan 2024.	<b>MJERILO:</b>	<b>BR. STRANICE:</b> 48



# PRETVARAČ 5



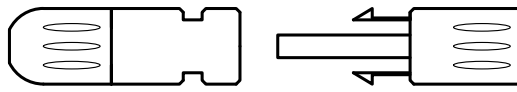
GRADEVINA:				
SOLARNA FARMA NA POLJU				
PRILOG BR.:		SADRŽAJ NACRTA:		
8.		SPOJ FOTONAPONSKIH PANELA NA PRETVARAČ 5		
IZRAĐIO:		DATUM:	MJERILO:	BR. STRANICE
MATKO ŽUPAN		rujan 2024.		49



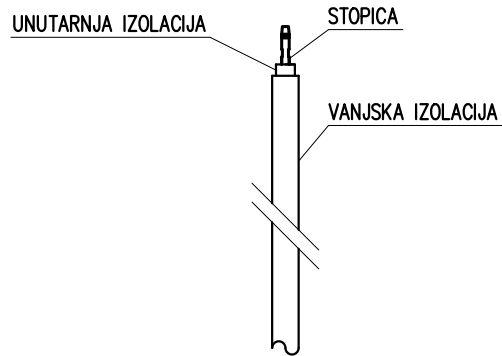
SUNKET SKT600 M10  
 $I_{sc} = 14,13 \text{ A}$   
 $U_{oc} = 53,98 \text{ V}$   
 $I_{mpp} = 13,45 \text{ A}$   
 $U_{mpp} = 44,65 \text{ V}$

GRADEVINA:				SOLARNA FARMA NA POLJU			
PRILOG BR.:		SADRŽAJ NACRTA:		FOTONAPONSKI PANEL			
9.							
IZRAĐIO:				DATUM:		MJELO:	
MATKO ŽUPAN				rujan 2024.		BR. STRANICE	
						50	

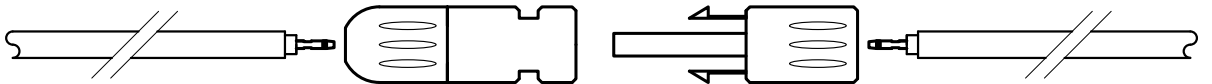
## KONEKTOR



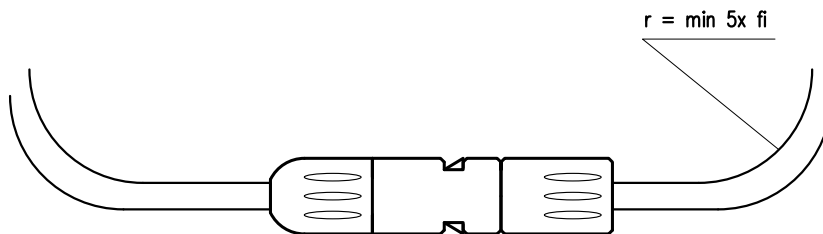
## FN KABEL



## SPOJ FN KABELA I KONEKTORA



## PRAVILNO OŽIČENJE



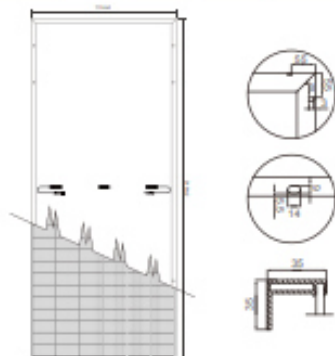
GRADEVINA: SOLARNA FARMA NA POLJU			
PRILOG BR.: 10.	SADRŽAJ NACRTA: FN KABEL I FN KONEKTOR		
IZRADIO: MATKO ŽUPAN	DATUM: rujan 2024.	MJERILO:	BR. STRANICE: 51

## 6.11. Opis i podaci solarnog panela



**SKT575~600M10**  
182mm 156Cells PV Module PLUS

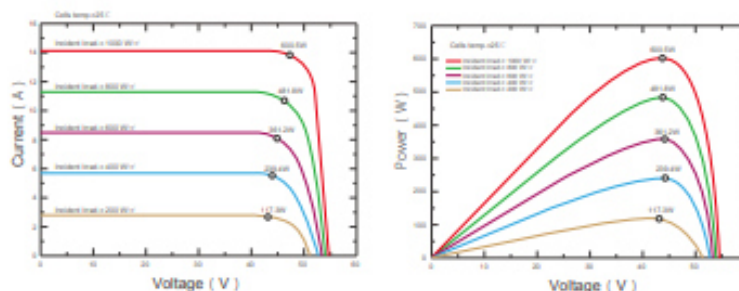
### Dimension Drawing



All Dimensions in mm  
The above drawing is a graphical representation of the product.  
For engineering quality drawings please contact SUNKET.

### I-V Graph

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (SKT600M10)



### Electrical Characteristics (STC/NOCT)

Module Type	SKT575M10		SKT580M10		SKT585M10		SKT590M10		SKT595M10		SKT600M10	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power- Pmax(W)	575	428	580	432	585	435	590	439	595	443	600	447
Open Circuit Voltage - Voc(V)	53.43	50.43	53.54	50.54	53.65	50.64	53.76	50.75	53.87	50.86	53.98	50.97
Short- Circuit Current - Isc(A)	13.69	11.06	13.77	11.12	13.85	11.19	13.97	11.27	14.05	11.35	14.13	11.43
Voltage at Pmax - Vmp(V)	44.22	41.14	44.34	41.29	44.41	41.39	44.49	41.46	44.57	41.67	44.85	41.88
Current at Pmax - Imp(A)	13.01	10.41	13.09	10.47	13.18	10.51	13.27	10.59	13.36	10.63	13.45	10.67
Module Efficiency - $\eta$ m(%)	20.58	/	20.76	/	20.94	/	21.12	/	21.29	/	21.47	/
Power Tolerance(W)	(0, +4.99W)											
Maximum System Voltage(V)	1500Vdc (IEC / UL)											
Maximum Series Fuse Rating (A)	25A											

STC : Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25 C., Air Mass 1.5

NOCT : Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20 C., Air Mass 1.5, Wind Speed 1m/s

### Mechanical Specifications

External Dimensions	2464x1134x35mm
Weight	32.1kg
Solar Cells	Mono crystalline 182mm (2x78pcs)
Front Glass	AR Coated 3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction Box	IP68
Output Cables	4.0mm <sup>2</sup> , 1200mm (+), 1200mm (-), length can be customized
Connector	MC4 Compatible
Mechanical Load	Front Side Max. 5400Pa, Rear Side Max. 2400Pa

### Packing Configuration

	2464x1134x35mm	
Container	20'GP	40'HQ
Pieces per Pallet	30	31
Pallets per Container	5	16
Pieces per Container	150	496

### Temperature Characteristics

Pmax Temperature Coefficient	-0.350%/C
Voc Temperature Coefficient	-0.280%/C
Isc Temperature Coefficient	+0.048%/C
Operating Temperature	-40 ~ +85 C
Nominal Operating Cell Temperature(NOCT)	45±2 C

Specifications are subject to change without further notification

[www.sunket.cn](http://www.sunket.cn)

[info@sunket.cn](mailto:info@sunket.cn)

SKT-CN-2020V1.0 © Copyright 2020 Sunket

## 6.12. Opis i podaci pretvarača

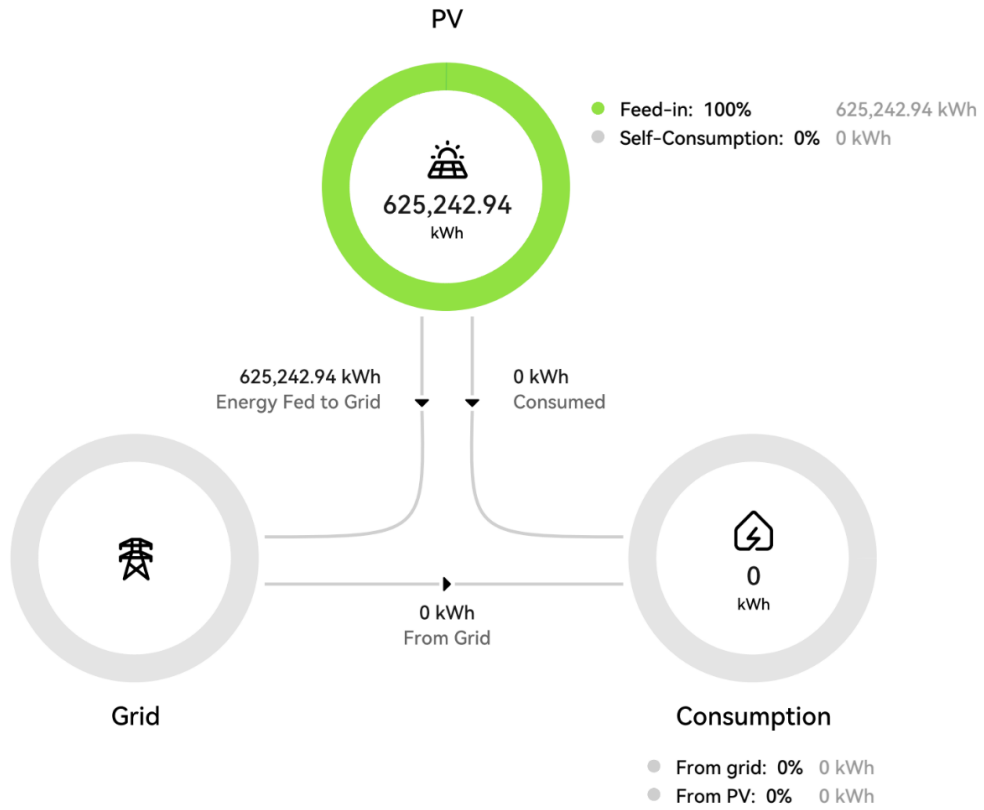
Model	SUN-70K-G03	SUN-75K-G03	SUN-80K-G03	SUN-90K-G03	SUN-100K-G03	SUN-110K-G03
<b>Input Side</b>						
Max. DC Input Power (kW)	91	97.5	104	135	150	150
Max. DC Input Voltage (V)	1000					
Start-up DC Input Voltage (V)	250					
MPPT Operating Range (V)	200~850					
Max. DC Input Current (A)	40+40+40+40			40+40+40+40+40+40		
Max. Short Circuit Current (A)	60+60+60+60			60+60+60+60+60+60		
Number of MPPT / Strings per MPPT	4/4			6/4		
<b>Output Side</b>						
Rated Output Power (kW)	70	75	80	90	100	110
Max. Active Power (kW)	77	82.5	88	99	110	121
Nominal Output Voltage / Range (V)	3L/N/PE 380V/0.85Un-1.1Un, 400V/0.85Un-1.1Un					
Rated Grid Frequency (Hz)	50 / 60 (Optional)					
Operating Phase	Three phase					
Rated AC Grid Output Current (A)	101.5	108.7	115.9	130.4	144.9	159.4
Max. AC Output Current (A)	111.6	119.6	127.5	143.5	159.4	175.4
Output Power Factor	>0.99					
Grid Current THD	<3%					
DC Injection Current (mA)	<0.5%					
Grid Frequency Range	47~52 or 57~62 (Optional)					
<b>Efficiency</b>						
Max. Efficiency	98.7%					
Euro Efficiency	98.3%					
MPPT Efficiency	>99%					
<b>Protection</b>						
DC Reverse-Polarity Protection	Yes					
AC Short Circuit Protection	Yes					
AC Output Overcurrent Protection	Yes					
Output Overvoltage Protection	Yes					
Insulation Resistance Protection	Yes					
Ground Fault Monitoring	Yes					
Anti-islanding Protection	Yes					
Temperature Protection	Yes					
Integrated DC Switch	Yes					
Remote software upload	Yes					
Remote change of operating parameters	Yes					
Surge protection	DC Type II / AC Type II					
<b>General Data</b>						
Size (mm)	838W×568H×323D					
Weight (kg)	73.7					
Topology	Transformerless					
Internal Consumption	<1W (Night)					
Running Temperature	-25~65°C, >45°C derating					
Ingress Protection	IP65					
Noise Emission (Typical)	<55 dB					
Cooling Concept	Smart cooling					
Max. Operating Altitude Without Derating	2000m					
Warranty	5 years					
Grid Connection Standard	CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, NRS 097, IEC 62116, IEC 61727, G99, G98, VDE 0126-1-1, RD 1699, C10-11					
Operating Surroundings Humidity	0-100%					
Safety EMC / Standard	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2					
<b>Features</b>						
DC Connection	MC-4 mateable					
AC Connection	IP65 rated plug					
Display	LCD 240 × 160					
Interface	RS485/RS232/Wifi/LAN					

## 6.13. Energetska bilanca solarne farme

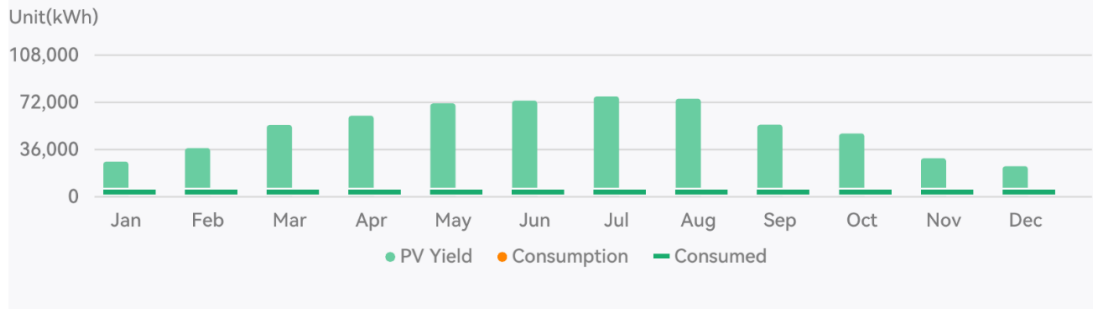


# Energy Management

## First-Year Data

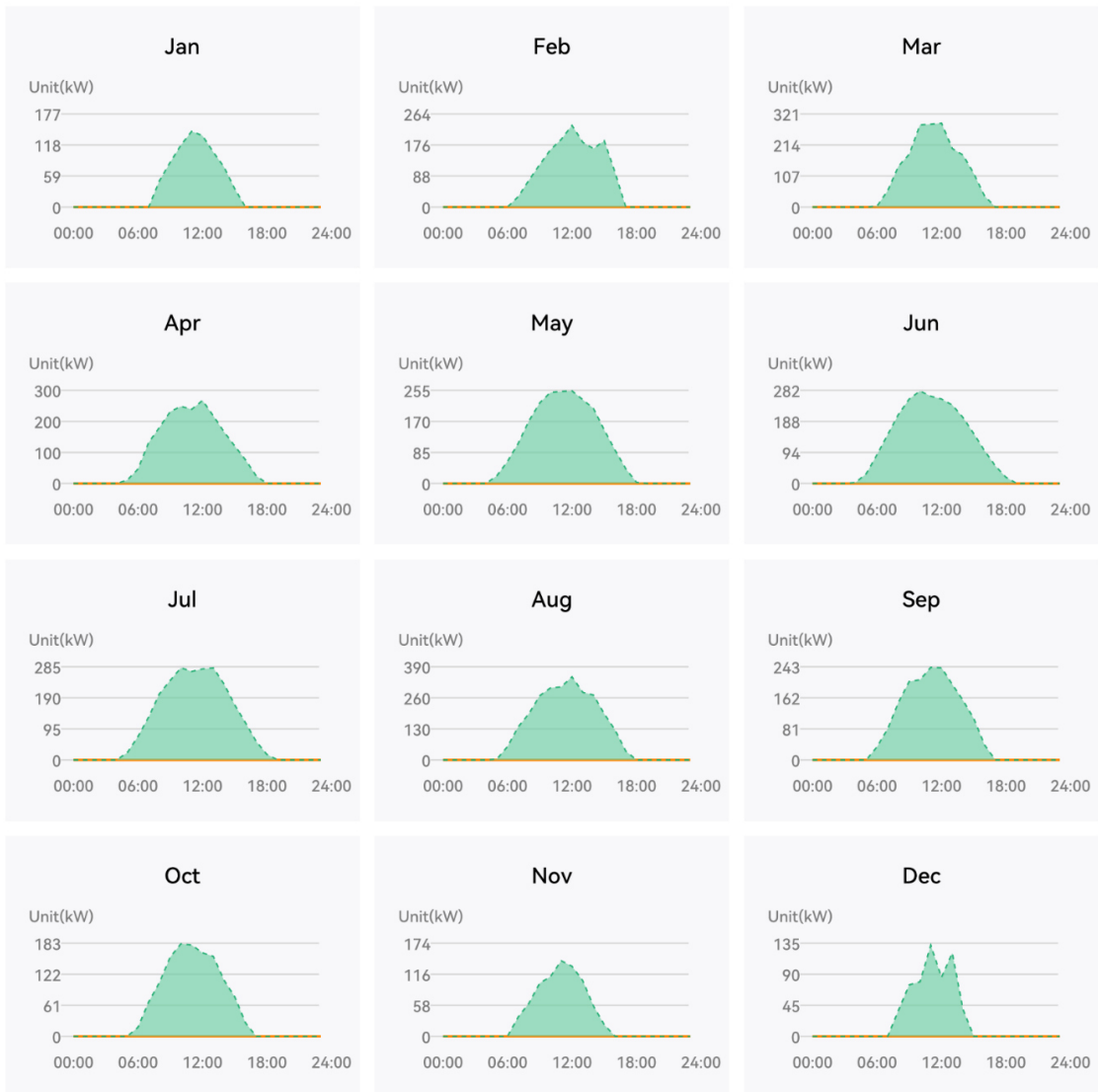


## Monthly Energy Consumption in the First Year



# Power Curve

■ Load Power ■ +Mains Power ■ PV Power






## Module Layout

Array	Manufacturer/Model	Quantity	DC Power	Azimuth	Tilt
Jug	Sunket/SKT600M10	828	496.8 kWp	0°	30°


## Electrical Connection

### Segment 1

 Inverter: FUJI SUN 100K-G03						
Oversizing Ratio 102%    PV Module: 170    DC Power: 102 kWp						
	Connected PV Array	Maximum DC Power	Startup Voltage	Normal PV Voltage	Maximum Input Voltage	Maximum DC Current
MPPT 1	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 2	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 3	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 4	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 5	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 6	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A


## Electrical Connection

### Segment 2

 <b>Inverter: FUJI SUN 100K-G03</b>						
Oversizing Ratio <b>99.6%</b> PV Module: <b>166</b> DC Power: <b>99.6 kWp</b>						
	Connected PV Array	Maximum DC Power	Startup Voltage	Normal PV Voltage	Maximum Input Voltage	Maximum DC Current
MPPT 1	PV-Array1:2x16	19.2 kWp	200 V	714.4 V	957.86 V	26.9 A
MPPT 2	PV-Array1:1x14	8.4 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	13.45 A
MPPT 3	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 4	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 5	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 6	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A


## Electrical Connection

### Segment 3

 <b>Inverter: FUJI SUN 100K-G03</b>						
Oversizing Ratio <b>104.4%</b> PV Module: <b>174</b> DC Power: <b>104.4 kWp</b>						
	Connected PV Array	Maximum DC Power	Startup Voltage	Normal PV Voltage	Maximum Input Voltage	Maximum DC Current
MPPT 1	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 2	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 3	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 4	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 5	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 6	PV-Array1:2x13	15.6 kWp	200 V	580.45 V	778.27 V	26.9 A


## Electrical Connection

### Segment 4

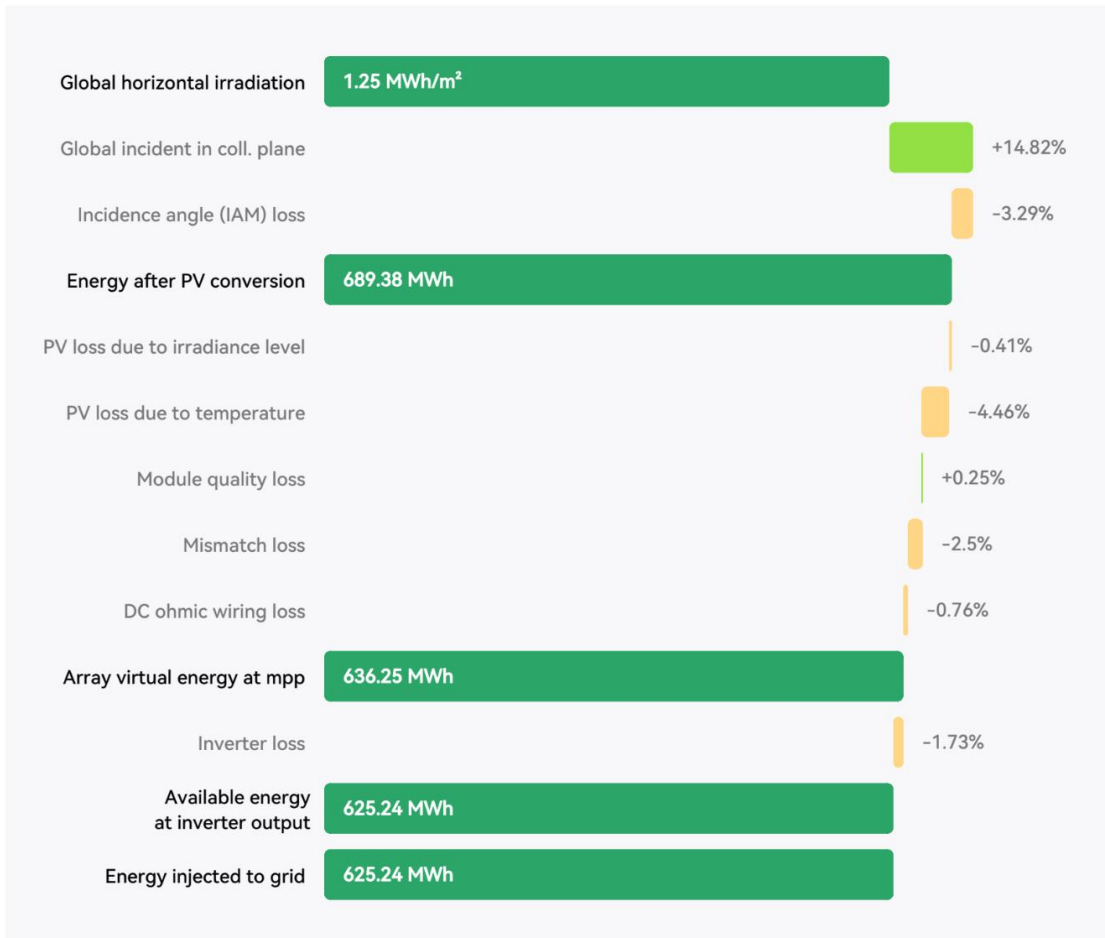
 <b>Inverter: FUJI SUN 100K-G03</b>						
Oversizing Ratio <b>96%</b> PV Module: <b>160</b> DC Power: <b>96 kWp</b>						
	Connected PV Array	Maximum DC Power	Startup Voltage	Normal PV Voltage	Maximum Input Voltage	Maximum DC Current
MPPT 1	PV-Array1:1x16	9.6 kWp	200 V	714.4 V	957.86 V	13.45 A
MPPT 2	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 3	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 4	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 5	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A
MPPT 6	PV-Array1:2x14	16.8 kWp	200 V	625.1 V	838.13 V	26.9 A

## Electrical Connection

### Segment 5

 <b>Inverter: FUJI SUN 100K-G03</b>						
Oversizing Ratio <b>94.8%</b> PV Module: <b>158</b> DC Power: <b>94.8 kWp</b>						
	Connected PV Array	Maximum DC Power	Startup Voltage	Normal PV Voltage	Maximum Input Voltage	Maximum DC Current
MPPT 1	PV-Array1:2x15	18 kWp	200 V	669.75 V	898 V	26.9 A
MPPT 2	PV-Array1:2x16	19.2 kWp	200 V	714.4 V	957.86 V	26.9 A
MPPT 3	PV-Array1:2x16	19.2 kWp	200 V	714.4 V	957.86 V	26.9 A
MPPT 4	PV-Array1:2x16	19.2 kWp	200 V	714.4 V	957.86 V	26.9 A
MPPT 5	PV-Array1:2x16	19.2 kWp	200 V	714.4 V	957.86 V	26.9 A

## System Loss Diagram



## Simulation Parameters

Time Zone	UTC +1:00
Weather Station	Slavonski Brod
Meteorological Data	Meteonorm
Grid Type	230 V/400 V
Plant Altitude	89 m

# First-Year Environmental Benefits



**297.19** tons  
CO<sub>2</sub> Reduced

---



**406**  
Equivalent Trees Planted

---



**250** tons  
Standard Coal Saved

---

## 7. LITERATURA

- [1] Elektrotehnički projekt tvrtke IMPETA d.o.o broj: SE 03-06/2024
- [2] <https://kupiled.eu/ip-tablica-stupnjevi-mehanicke-zastite/>, s interneta, pristupljeno 11.08.2024
- [3] Ljubomir Majdančić „Fotonaponski sustavi“ tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu 2009.godine
- [4] Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije iz Zakona o prostornom uređenju i gradnji (»Narodne novine« broj 76/07 i 38/09)
- [5] Predavanja iz projektiranja električnih postrojenja, tema: Zaštita od indirektnog dodira, prof. dr. sc. Dubravko Franković
- [6] Zakon o energiji, pročišćeni tekst zakona NN 120/12, 14/14, 95/15, 102/15, 68/18
- [7] Opis i podaci solarnog panela, <https://cdn.ensolar.com/z/pp/7936035e499d8bc1.pdf> s interneta, pristupljeno 13.8.2024
- [8] Opis i podaci pretvarača, <https://fuji-solar.com/wp-content/uploads/2022/07/datasheet-fu-sun-70-1.pdf> s interneta pristupljeno 13.8.2024
- [9] Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom iz zakona Zakona o zaštiti na radu (»Narodne novine«, br. 59/96, 94/96, 114/03, 100/04, 86/08, 116/08 i 75/09)

## **8. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRV. I ENG. JEZIKU**

Ovaj diplomski rad usmjeren je na detaljno projektiranje solarne farme veće snage, s ciljem optimizacije svih faza razvoja ovog obnovljivog izvora energije. Rad obuhvaća analizu ključnih tehničkih elemenata, uključujući izbor fotonaponskih modula, dizajn sustava za pretvorbu energije, te dimenzioniranje i smještaj komponenata unutar farme. Posebna pažnja posvećena je inženjerskom proračunu elektroenergetskog sustava, uključujući proračune opterećenja, energetske bilancu i integraciju zaštitnih mjera protiv prenapona i munje. Kroz simulacije i praktične primjere, istraženi su različiti scenariji izvedbe kako bi se osigurao maksimalan energetske prinos uz minimalne gubitke. Rezultati ovog rada pružaju konkretne smjernice za optimalno projektiranje solarnih farmi, čime se značajno doprinosi učinkovitosti i dugoročnoj isplativosti solarne energije kao održivog izvora električne energije.

**KLJUČNE RIJEČI:** struja, solarna farma, glavni projekt, gromobran, tehnička dokumentacija, solarni panel, pretvarač, proračun, snaga, vodič, zaštita, napon.

## SUMMARY:

This thesis is focused on the detailed design of a large-scale solar farm, aiming to optimize all phases of the development of this renewable energy source. The study includes an analysis of key technical elements, such as the selection of photovoltaic modules, the design of the energy conversion system, and the sizing and placement of components within the farm. Special attention is given to the engineering calculation of the electrical energy system, including load calculations, energy balance, and the integration of protective measures against overvoltage and lightning. Through simulations and practical examples, various performance scenarios have been explored to ensure maximum energy yield with minimal losses. The results of this work provide concrete guidelines for the optimal design of solar farms, thereby significantly contributing to the efficiency and long-term profitability of solar energy as a sustainable source of electricity.

**KEYWORDS:** current, solar farm, master project, lightning protection, technical documentation, solar panel, inverter, calculation, power, conductor, protection, voltage.