

# Instaliranje fotonaponskih postrojenja

---

Golić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:680543>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-22**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

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

**SVEUČILIŠNI STUDIJ**

**INSTALIRANJE FOTONAPONSKIH POSTROJENJA**

**Diplomski rad**

**Luka Golić**

**Osijek, 2022.**

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	3
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	4
<b>3. FOTONAPONSKA TEHNOLOGIJA</b> .....	5
<b>3.1 Fotonaponska ćelija</b> .....	5
<b>3.2 Fotonaponski modul</b> .....	8
<b>3.3 Fotonaponski niz</b> .....	12
<b>4. FOTONAPONSKA POSTROJENJA</b> .....	16
<b>4.1 Mrežni sustavi (engl. on grid)</b> .....	16
<b>4.2 Otočni sustavi</b> .....	22
<b>5. INSTALIRANJE FOTONAPONSKIH POSTROJENJA</b> .....	25
<b>5.1 Faza priprema za izvođenje radova</b> .....	27
<b>5.2 Početak radova i popis opreme fotonaponskog postrojenja</b> .....	29
<b>5.2.1. Odabrani fotonaponski modul</b> .....	36
<b>5.2.2. Odabrani pretvarači</b> .....	38
<b>5.3. Montažni radovi</b> .....	42
<b>6. IZRADA DOKUMENTACIJE</b> .....	44
<b>6.1. Elaborat utjecaja elektrane na mrežu (EUEM)</b> .....	44
<b>6.2. Elaborat podešenja zaštite (EPZ)</b> .....	46
<b>6.3. Mjerenja i ispitivanja</b> .....	48
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	50

# 1. UVOD

Pretvorba energije Sunčeva zračenja u električnu energiju predstavlja ogroman neiskorišteni potencijal kojim bi čitavo čovječanstvo moglo zadovoljiti svoje energetske potrebe. Spoznaja da se neiscrpna energija Sunčeva zračenja može iskoristiti za dobivanje električne energije motivira daljnji razvoj i istraživanje mogućnosti njenog iskorištavanja. U 19. stoljeću otkriven je fotonaponski efekt, a u 20. stoljeću napravljena je prva fotonaponska ćelija. Povezivanjem više fotonaponskih ćelija dobije se fotonaponski modul, a povezivanjem modula dobije se niz čije izlazne vrijednosti i struje mogu biti upotrebljive. Druga polovica 20. stoljeća donijela je prvu komercijalnu upotrebu fotonaponskog efekta za generiranje upotrebljive količine električne energije nakon što je isti doživio uspjeh u svemirskom programu napajanja satelita Sjedinjenih Američkih Država.

Daljnjim razvojem uočene su brojne prednosti i počela je sve veća primjena ovog obnovljivog izvora energije. Počela su se graditi fotonaponska postrojenja i integrirati u elektroenergetski sustav. Razvijene zemlje svijeta nastoje što više povećati udio proizvedene energije iz obnovljivih izvora, a shodno tome povećati broj fotonaponskih postrojenja. Tvornice, velike farme, bolnice i ostali veliki potrošači se sve češće odlučuju za instalaciju fotonaponskog postrojenja zbog dugoročne isplativosti. Potiče se ugradnja manjih fotonaponskih postrojenja za kućanstva. Takvom investicijom kućanstvo bi smanjilo svoje troškove električne energije, a ukoliko svoje postrojenje priključe na distribucijsku mrežu, višak proizvodnje mogu predavati u mrežu ili trgovati proizvedenom električnom energijom.

Ovaj diplomski rad bavi se opisom instalacije fotonaponskih postrojenja. Rad je podijeljen u poglavlja i potpoglavlja u kojima se opisuje od čega se sastoji i što je potrebno poduzeti da se realizira fotonaponska elektrana. Poglavlje 3 opisuje fotonaponsku tehnologiju i osnovnu jedinicu svakog fotonaponskog modula – fotonaponsku ćeliju. Opisane su tehničke karakteristike fotonaponskih modula i kako se njihovim povezivanjem dobivaju veće vrijednosti napona i struja. Poglavlje 4 govori o fotonaponskim postrojenjima odnosno fotonaponskim elektranama. Napravljena je osnovna podjela fotonaponskih elektrana i prema toj podjeli definirani su dijelovi svake elektrane. U poglavlju 5 je analiziran proces instalacije fotonaponskog postrojenja na praktičnom primjeru elektrane instalirane snage 230 kW. Dokumentacija nužna za puštanje elektrane opisana je u poglavlju 6 dok su u poglavlju 7 dani glavni zaključci rada.

## 2. PREGLED LITERATURE

Energija Sunčevog zračenja predstavlja neiscrpan izvor neiskorištene energije za čovječanstvo. Iako se konstantno povećava broj fotonaponskih postrojenja, prema [1] postoje izvjesni problemi pri iskorištavanju energije Sunčeva zračenja. Glavni problemi koji se nameću su: mala gustoća energetskega toka, oscilacija jakosti zračenja tijekom dana, ovisnost zračenja o klimatskim uvjetima, nemogućnost ekonomičnog skladištenja i razlika u vremenskom poklapanju intenziteta potrošnje i proizvodnje. Osim toga, učinkovitost fotonaponskih modula je jako niska i većina Sunčevog svjetla se reflektira od ćeliju, a samo manji dio koji je potreban za proizvodnju struje se apsorbira. Učinkovitost se pokušava povećati na razne načine. Jedan od njih je korištenje čistog kristala silicija pri proizvodnji fotonaponske ćelije koji se prema [2] kemijskim procesima dobiva pri visokoj temperaturi i postiže se 99% čistog kristala silicija. U [3] prikazane su ostale moguće kombinacije proizvodnje fotonaponske ćelije. Najčešća izvedba su monokristalni i polikristalni silicij čije razlike opisuje [6].

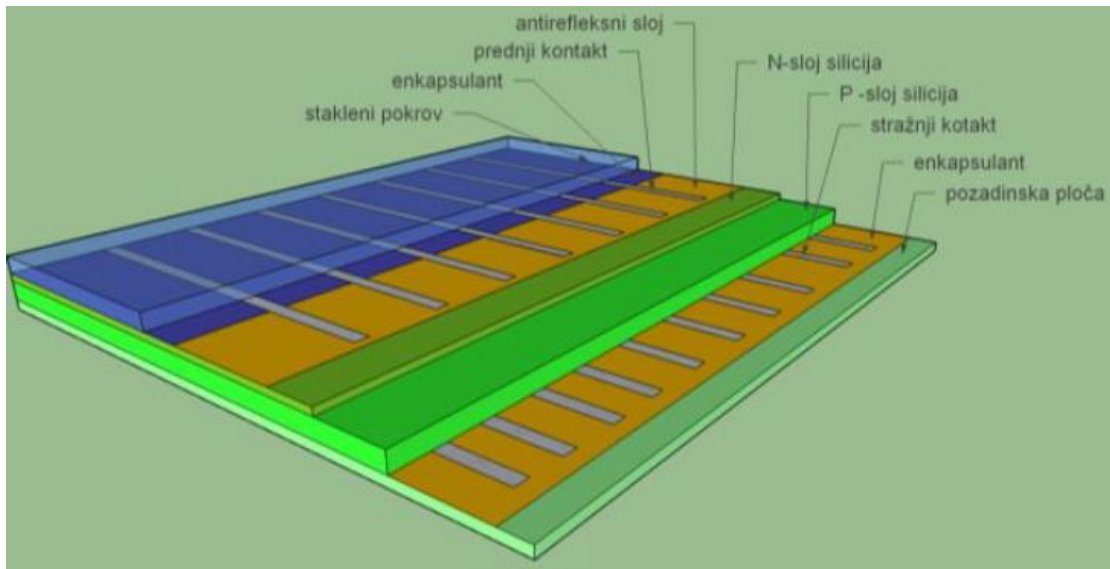
### **3. FOTONAPONSKA TEHNOLOGIJA**

Fotonaponska tehnologija temelji se na fotonaponskoj pretvorbi. Fotonaponska pretvorba se definira kao izravna pretvorba sunčeva svjetla u električnu struju, a odvija se u fotonaponskoj ćeliji. Sunčeva svjetlost ili Sunčevo zračenje predstavlja se kao spektar elektromagnetskih valova koji dolaze sa Sunca. Nositelji energije Sunčevog zračenja su elementarne čestice koje se nazivaju fotoni. Prilikom Sunčeva zračenja fotoni pogađaju fotonaponsku ćeliju i mogu se reflektirati od ćeliju, proći direktno kroz nju ili se apsorbirati, odnosno biti upijeni. Kako bi se dogodila fotonaponska pretvorba, potrebno je da fotoni budu apsorbirani kroz fotonaponsku ćeliju. Tada dolazi do oslobađanja energije za gibanje elektrona, odnosno proizvodnju električne struje.

Za fotonaponsku pretvorbu, osim fotonaponske ćelije, koristi se fotočlanak ili fotoelement.

#### **3.1 Fotonaponska ćelija**

Fotonaponska ćelija je osnovni dio fotonaponskog sustava koja omogućuje fotonaponsku pretvorbu i proizvodnju električne energije. To je poluvodički element čiji se princip rada bazira na poluvodičkom PN spoju. Najčešće korišteni kemijski poluvodički element je silicij. Proizvodnja fotonaponske ćelije uključuje procese taljenja, dopiranja, metalizacije i teksturiranja. Naposljetku, za praktičnu upotrebu ćelija mora biti zaštićena dodatnim pokrovima kako bi se spriječilo pucanje i oštećenje budući da se radi o krhkom materijalu.



Slika 3.1.1 Dijelovi fotonaponske ćelije [1]

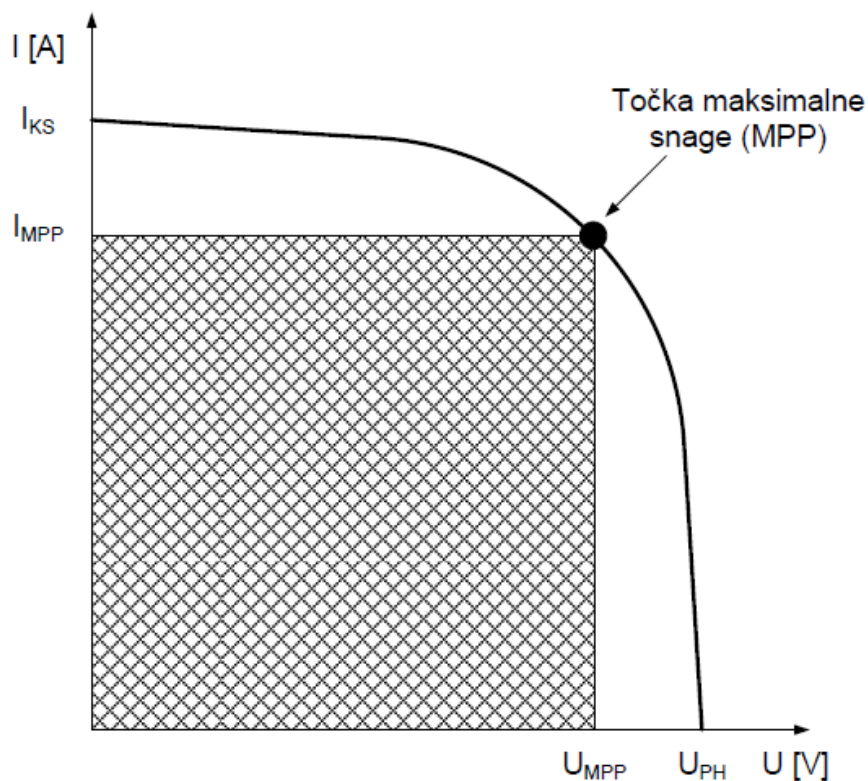
Slika 3.1.1 prikazuje dijelove fotonaponske ćelije prema slojevima. Na vrhu se nalazi stakleni pokrov koji štiti od nepovoljnih vremenskih utjecaja i potencijalnih krhotina koje se mogu naći u zraku. Radi se o kaljenom staklu debljine između 3 i 4 mm pravljenom da izdrži mehanička opterećenja i ekstremne promjene temperature. Prema IEC standardu stakleni pokrov treba izdržati udare tuče veličine promjera 25 mm pri brzini 27 m/s. Ukoliko se dogodi nesreća te dođe do pucanja, kaljeno staklo će se raspasti u sitne komadiće dok se obično raspada u oštre dijelove. To je još jedan razlog zbog kojeg se rabi kaljeno staklo umjesto običnog [2].

Enkapsulant je poseban sloj načinjen od polimera etilen vinil acetata, skraćeno EVA. To je prozirni materijal čija je uloga kapsuliranje ćelija i držanje na mjestu za vrijeme proizvodnje. Također ima i zaštitnu ulogu jer štiti fotonaponsku ćeliju od prodora vlage i prljavštine osiguravajući joj dugoročnu učinkovitost.

Metalni kontakt je postavljen s prednje i stražnje strane kako bi prikupio induciranu struju. Između kontakata nalaze se N – sloj i P – sloj silicija. Kako bi se dobili N i P tip poluvodiča, silicij se najčešće dopira atomima fosfora i bora.

Na dnu se nalazi pozadinska ploča koja je napravljena od različitih polimera i prvenstveno služi kao zaštita te omogućuje toplinsku stabilnost i dugotrajnu UV otpornost.

Grafički prikaz rada solarne ćelije i njenu povezanost između struje i napona prikazuje strujno – naponska karakteristika prikazana na Slici 3.1.2.



Slika 3.1.2 U-I karakteristika fotonaponske ćelije

Slika 3.1.2 prikazuje krivulju koja predstavlja strujno naponsku karakteristiku fotonaponske ćelije. Na prikazanoj karakteristici ističu se tri točke:

- $I_{KS}$  – struja kratkog spoja – struja kada su stezaljke fotonaponske ćelije kratko spojene. U tom trenutku napon  $U=0$ .
- $U_{PH}$  – napon praznog hoda – napon kada su stezaljke fotonaponske ćelije otvorene, odnosno kada na njih nije priključen teret. Struja  $I$  je u tom trenutku minimalna, odnosno  $I=0$ .
- MPP – točka maksimalne snage – predstavlja točku kada su stezaljke spojene na teret i iznos napona i struje je takav da se postiže maksimalna snaga. Oznaka za iznos napona koji u kombinaciji sa strujom daje maksimalnu snagu je  $U_{MPP}$ , dok je takva struja  $I_{MPP}$ . Oznaka „MPP“ je kratica engleskog naziva „Maximum power point“. MPP točka se mijenja s



obzirom na temperaturu, stoga se u fotonaponskom sustavu ugrađuju uređaji koji prate točku maksimalne snage u cilju što boljeg iskorištavanja fotonaponske ćelije.

Iznos maksimalne snage računa se prema izrazu (3-1)

$$P_{MPP} = U_{MPP} \cdot I_{MPP} \quad (3-1)$$

Fotonaponska ćelija daje izlazni napon manji od 1 V, što je većinom premalo za praktičnu upotrebu, stoga se kao osnovna jedinica fotonaponskog sustava smatra fotonaponski modul koji se sastoji od niza fotonaponskih ćelija.

### 3.2 Fotonaponski modul

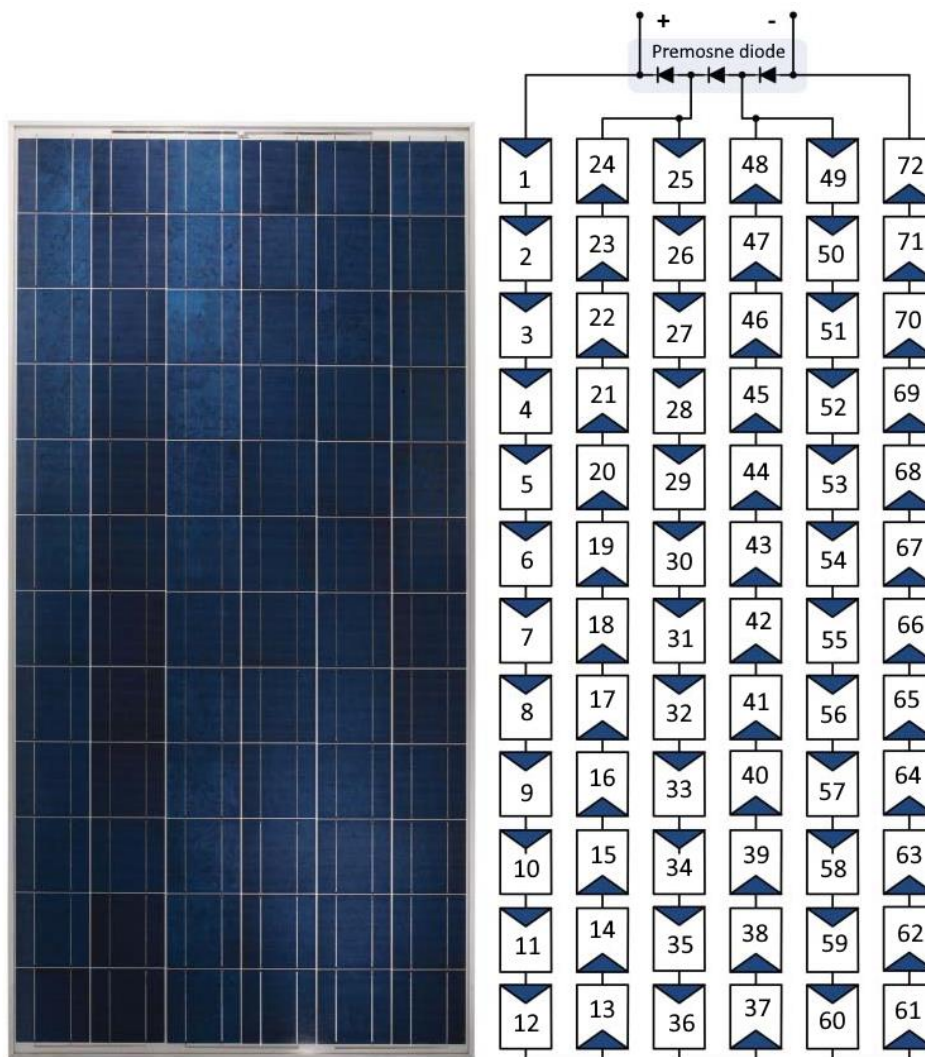
Fotonaponski modul je serijsko-paralelni spoj fotonaponskih ćelija čije spajanje omogućuje dobivanje željenih iznosa napona, struje i snage za praktičnu primjenu. Obrubljen je aluminijskim okvirom koji ima potpornu i zaštitnu ulogu, a dizajnirani su na način da istodobno budu lagani, ali iznimno čvrsti kako bi izdržali sva naprezanja i opterećenja od vjetra i vanjskih sila. Ovisno o proizvođaču, pojavljuje se u srebrnoj ili anodiziranoj crnoj boji. Proces anodizacije omogućuje dodatnu otpornost na habanje i koroziju te postizanje bolje estetike. Proizvođači također nude različita rješenja oko spajanja kutnih dijelova okvira što može imati utjecaja na čvrstoću.



*Slika 3.2.1 Prikaz kutnog dijela okvira fotonaponskog modula [2]*

U praksi fotonaponski modul sastoji se od 60 ili 72 fotonaponske ćelije. Razlog tome je u jednostavnijem rukovanju gdje su moduli sa 60 ćelija namijenjeni za manje fotonaponske sustave

dok su moduli sa 72 ćelije namijenjeni za veće sustave koji za instalaciju zahtijevaju posebnu opremu poput dizalica. Međutim, moguće je koristiti i veće module za manje sustave dokle god su zadovoljeni ostali uvjeti, na primjer oprema može podnijeti veće module i prostorno je moguće instalirati veći modul. Na slici 3.2.2 je prikazan primjer modula sa 72 ćelije.

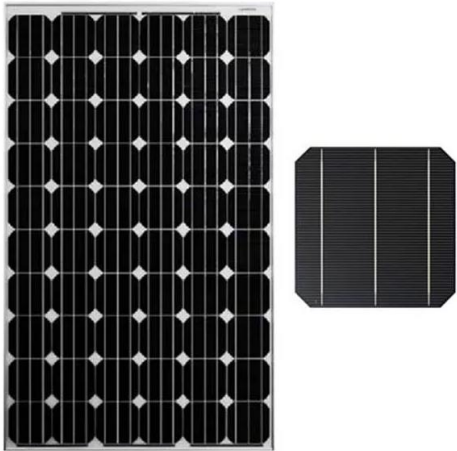
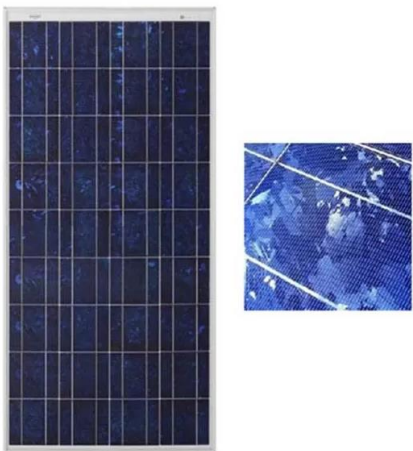


Slika 3.2.2 Fotonaponski modul sa 72 ćelije i 3 prenosne diode [3]

Osim fotonaponskih ćelija, proizvođači modula u maloj razvodnoj kutiji koja se najčešće nalazi na pozadini modula ugrađuju 3 prenosne (engl. bypass) diode. Uloga prenosnih dioda je očuvanje učinkovitosti fotonaponskog modula, odnosno smanjenje utjecaja zasjenjenja na izlaznu snagu. Zasjenjenje predstavlja značajan problem za izlaznu snagu fotonaponskog modula. Ako je samo jedna ćelija u cijelom modulu zasjenjena, izlazna snaga se može čak upola smanjiti.

Ćelije fotonaponskog modula su najčešće napravljene od kristala poluvodičkog elementa silicija. Ovisno o rasporedu kristalne rešetke i čistoći kristala, ćelije fotonaponskog modula mogu biti monokristalne i polikristalne. Moduli monokristalnog silicija sadržavaju ćelije napravljene od jednog kristala silicija dok moduli polikristalnog silicija imaju ćelije od nekoliko manjih nasumično orijentiranih fragmenata silicija. Budući da polikristalna ćelija sadrži više kristala silicija, elektroni imaju manju slobodu kretanja, stoga je učinkovitost takvog modula manja. Karakteristike i usporedba između navedene dvije tehnologije prikazane su u tablici 3.2.1.

Tablica 3.2.1 Usporedba monokristalnog i polikristalnog silicija

	<b>MONOKRISTALNI SILICIJ</b>	<b>POLIKRISTALNI SILICIJ</b>
<b>IZGLED MODULA I ĆELIJE</b>		
	Modul je crne boje, a ćelije su osmerokutnog oblika	Modul je tamno plave boje, a ćelije su pravokutnog oblika
<b>UČINKOVITOST</b>	Između 15% i 20%	Između 13% i 16%
<b>ŽIVOTNI VIJEK</b>	Očekuje se duži životni vijek, proizvođači nude garanciju između 20 i 30 godina	Imaju sličnu garanciju kao monokristalni silicij, iako se im učinkovitost brže pada zbog veće razine degradacije
<b>CIJENA</b>	Skuplji su zbog veće učinkovitosti i složenije proizvodnje	Jeftiniji

Svaki fotonaponski modul ima svoje tehničke karakteristike koji se definiraju pri standardnim testnim uvjetima (engl. STC – standard test conditions). Prema standardu IEC 60904, takvi uvjeti

podrazumijevaju sunčevo zračenje u iznosu  $1 \text{ kW/m}^2$  i temperaturu fotonaponskog modula iznosa  $25^\circ\text{C}$ . Osim standardnih testnih uvjeta, proizvođači često daju podatke za nominalnu radnu temperaturu ćelije (engl. NOCT). Takvi uvjeti podrazumijevaju temperaturu okoline  $20^\circ\text{C}$ , sunčevo zračenje u iznosu od  $0.8 \text{ kW/m}^2$  i brzinu vjetra  $1 \text{ m/s}$ .



Slika 3.2.3 Najlepica s tehničkim karakteristikama fotonaponskog modula

Slika 3.2.3 prikazuje primjer tehničkih karakteristika fotonaponskog modula monokristalnog silicija proizvođača Sunceco. Tehničke karakteristike koje su prikazane su:

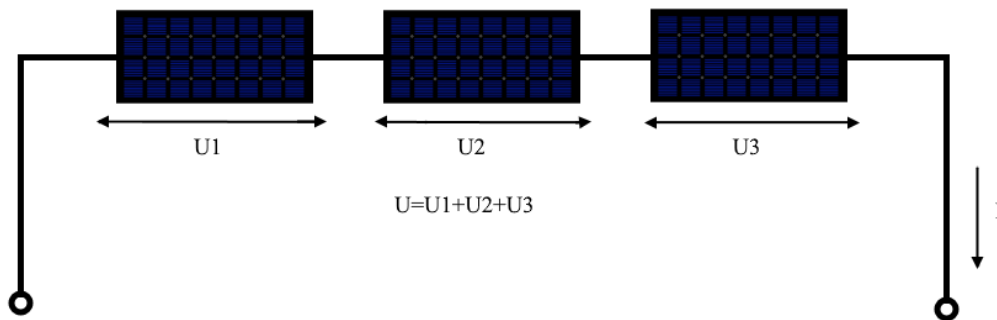
- Maksimalna snaga modula  $P_{\max}$  – u primjeru iznosi  $320 \text{ W}$
- Tolerancija snage – predstavlja mjeru koliko iznad ili ispod električne snage fotonaponski modul može proizvesti pri standardnim testnim uvjetima u odnosu na maksimalnu snagu – u primjeru je to  $0/+5 \text{ W}$  što znači da će pri navedenim uvjetima modul isporučiti  $320 \text{ W}$  –  $325 \text{ W}$  snage
- Napon maksimalne snage  $U_{\text{MPP}}$  (engl.  $V_{\text{MPP}}$ ) – u primjeru iznosi  $33.87 \text{ V}$
- Struja maksimalne snage  $I_{\text{MPP}}$  (engl.  $I_{\text{MPP}}$ ) – u primjeru iznosi  $9.45 \text{ A}$
- Napon praznog hoda  $U_{\text{PH}}$  (engl.  $V_{\text{OC}}$ ) – u primjeru iznosi  $41.30 \text{ V}$

- Struja kratkog spoja  $I_{PH}$  (engl.  $I_{SC}$ ) – u primjeru iznosi 9.97 A
- Masa – prikazani primjer ima masu od 18.5 kg
- Dimenzije modula izražene u mm – 1640 · 992 · 35 mm
- Maksimalan napon sustava – maksimalan napon fotonaponskog niza za koji su moduli proizvedeni – u primjeru iznosi 1000 V
- Zaštita razvodne kutije – u primjeru razina IP 67 – zaštita od prašine i vodootpornost
- Izdržljivost pod opterećenjem snijega i vjetra – u primjeru iznosi 5400 Pa za snijeg i 3800 Pa za vjetar
- Raspon radne temperature – u primjeru je od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $85^{\circ}\text{C}$

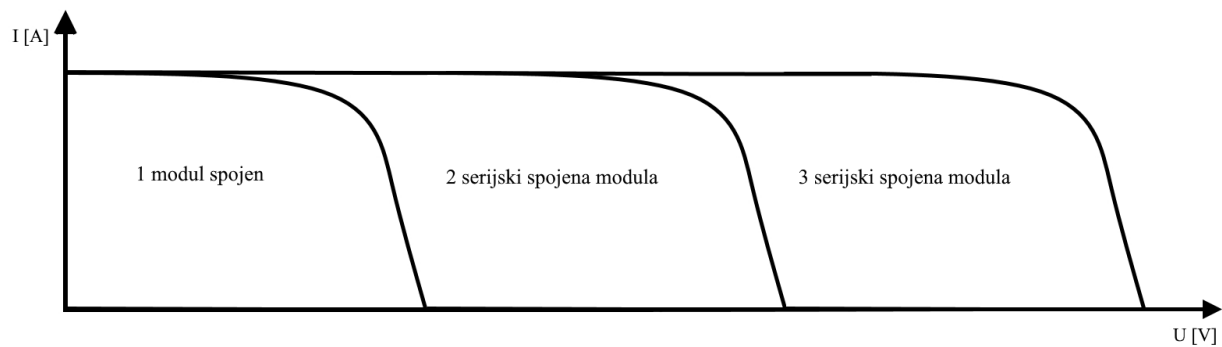
### 3.3 Fotonaponski niz

Više fotonaponskih modula može se spojiti u seriju i paralelu kako bi se dobile veće vrijednosti napona i struja. Takav spoj naziva se fotonaponski niz (engl. string).

Kada se fotonaponski moduli spajaju u seriju, postiže se veći iznos napona, odnosno naponi fotonaponskih modula u seriji se zbrajaju dok struja ostaje jednaka.

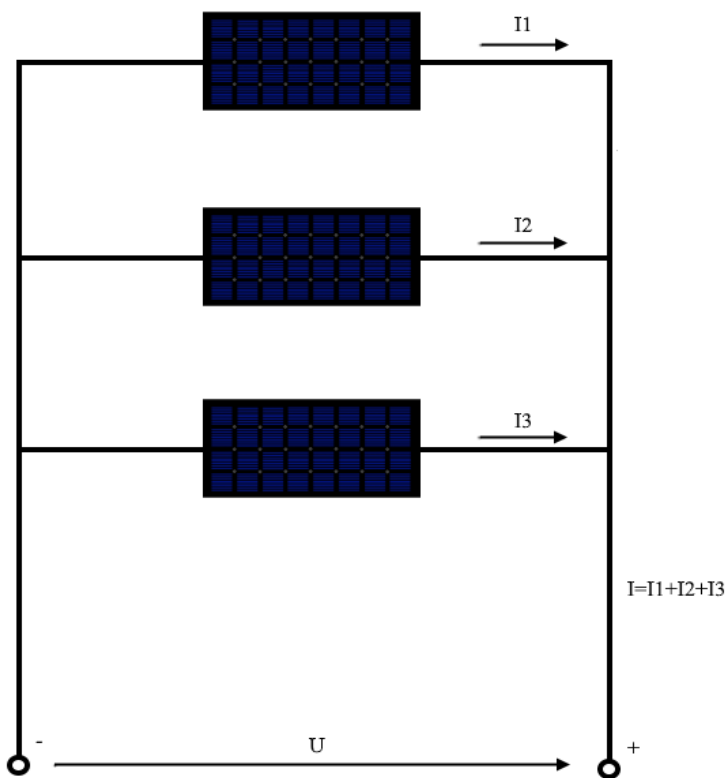


Slika 3.3.1. Fotonaponski moduli serijski spojeni

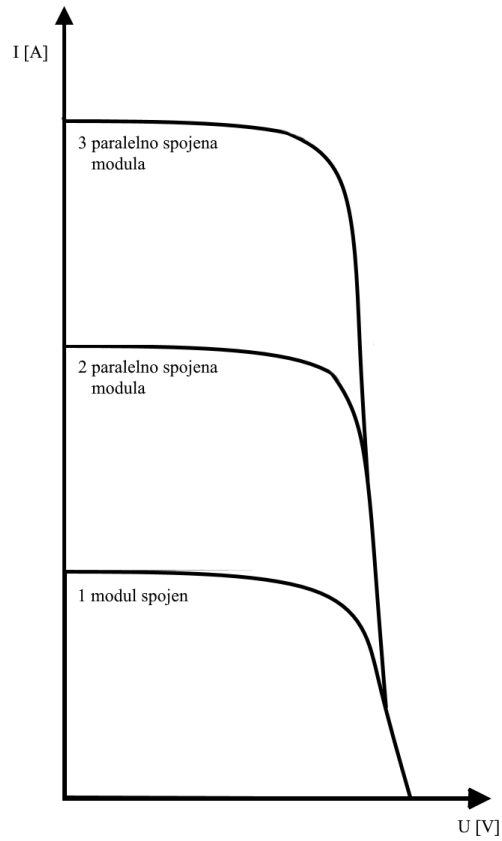


Slika 3.3.2 Karakteristika serijski spojenih fotonaponskih modula

Kada se fotonaponski moduli spajaju paralelno, postiže se veći iznos struje dok napon ostaje nepromijenjen.

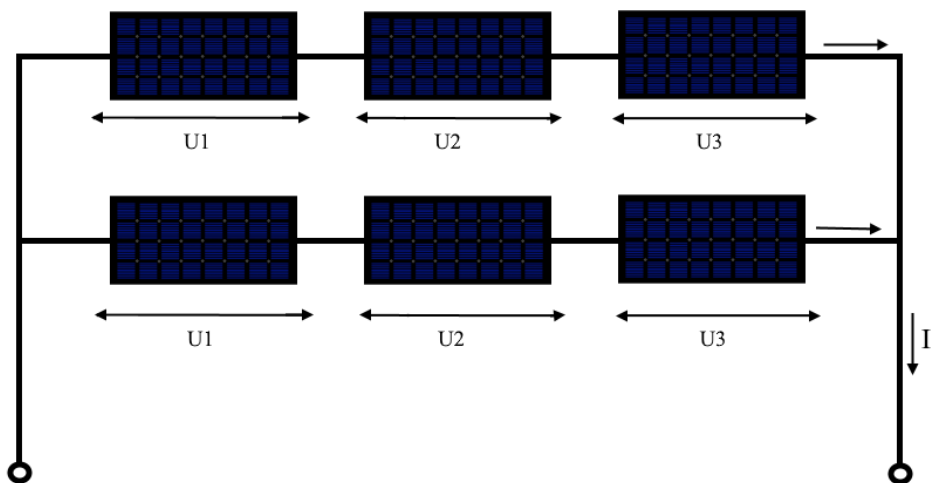


Slika 3.3.3 Fotonaponski moduli spojeni paralelno

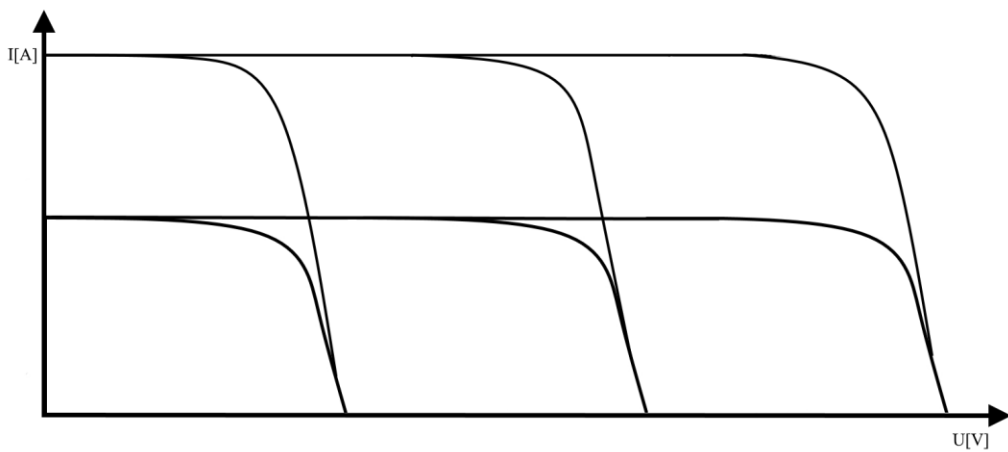


*Slika 3.3.4 Strujno naponska karakteristika paralelno spojenih fotonaponskih modula*

Fotonaponski niz može također imati kombinaciju serijski i paralelno spojenih fotonaponskih modula. Takvim spajanjem istovremeno se utječe na struju i napon. Slike prikazuju serijsko paralelni spoj fotonaponskih modula u fotonaponski niz i njihovu zajedničku karakteristiku.



Slika.3.3.5 Kombinacija serijskog i paralelnog fotonaponskog niza



Slika 3.3.6 Strujno naponska karakteristika kombinacije serijskog i paralelnog fotonaponskog niza



## 4. FOTONAPONSKA POSTROJENJA

Fotonaponska postrojenja predstavljaju sustave koji se uglavnom odnose na pojam fotonaponske elektrane. Postoje dva tipa fotonaponske elektrane:

- Mrežni sustavi (engl. on-grid) – elektrane spojene na elektroenergetsku mrežu
- Otočni sustavi (engl. off-grid) – elektrane koje nisu spojene na elektroenergetsku mrežu i zahtijevaju pohranu energije

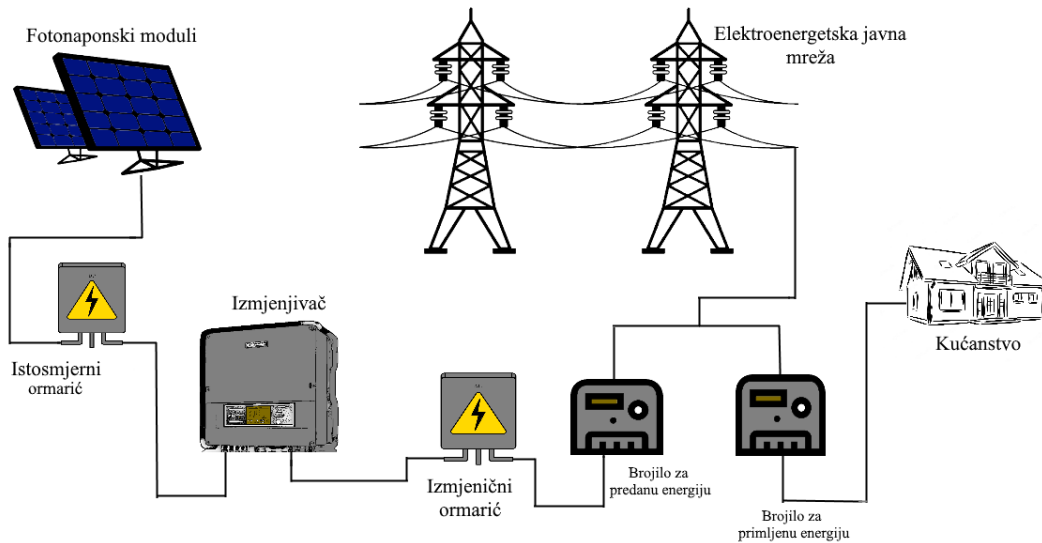
Parametar koji opisuje veličinu fotonaponskog postrojenja je instalirana snaga.

### 4.1 Mrežni sustavi (engl. on grid)

Mrežni fotonaponski sustav je takav tip fotonaponske elektrane koji proizvodi električnu energiju za svoje potrebe, a višak proizvodnje električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu. Kako bi se fotonaponska elektrana spojila na elektroenergetsku mrežu, potrebno je zadovoljiti određene uvjete operatora distribucijskog sustava. Uvjeti zahtijevaju da se elektrana realizira prema Mrežnim pravilima distribucijskog sustava poštujući pri tome propise i norme koje se odnose na priključak.

Dijelovi svake mrežne fotonaponske elektrane su:

- Generatori električne struje – fotonaponski moduli
- Istosmjerni (DC) razvod
- Pretvarači istosmjerne struje u izmjeničnu
- Izmjenični (AC) razvod
- Brojila za potrošenu i predanu energiju
- Ostala oprema potrebna za uspješnu realizaciju fotonaponske elektrane



Slika 4.1.1 Prikaz fotonaponskog mrežnog sustava

Generatori električne struje – fotonaponski moduli opisani su u prošlom poglavlju. Oni se spajaju u fotonaponske nizove koji daju određene vrijednosti napona i struje.

#### Istosmjerni (DC) razvod

U istosmjernom razvodnom ormariću sjedinjuju se fotonaponski nizovi i ukupna struja se prosljeđuje dalje prema izmjenjivaču. Unutar ormarića nalazi se odvodnik prenapona i struje manje i opcijski istosmjerni osigurači i sklopka.

#### Pretvarač (izmjenjivač)

Budući da fotonaponski moduli proizvode istosmjerni napon i struju, nužno je ugraditi pretvarač (izmjenjivač) koji će te veličine pretvoriti u izmjenični napon i struju pogodan za predaju u mrežu ili vlastitu upotrebu. Najčešće su u upotrebi trofazni izmjenjivači koji daju simetričan trofazni napon iznosa 400 V i frekvencije 50 Hz. Izmjenjivač u sebi ima ugrađen sklop praćenja maksimalne snage (engl. Maximum Power Point Tracker – MPPT). Sklop omogućava da spojeni fotonaponski moduli uvijek rade pri onim vrijednostima napona i struje pri kojima će njihova izlazna snaga biti što veća.

Proizvođači izmjenjivača daju sljedeće podatke koji čine tehničku karakteristiku izmjenjivača:

- Ulazni podaci:
  - Istosmjerna nazivna snaga
  - Istosmjerna maksimalna snaga
  - Naponsko područje MPP
  - Maksimalni ulazni napon
  - Maksimalna ulazna struja
- Izlazni podaci:
  - Maksimalna izlazna snaga
  - Maksimalni stupanj korisnog djelovanja
  - Euro stupanj korisnog djelovanja
  - Maksimalna struja po fazi
  - Napon i frekvencija mreže
  - Vrsta priključka
- Opći podaci
  - Dimenzije
  - Masa
  - Broj MPP regulatora
  - Stupanj zaštite
  - Radna temperatura
  - Izvedba koncepta (sa ili bez transformatora)
  - Garancija

Na slici je prikazan izgled jednog izmjenjivača snage 10 kW proizvođača Fronius.



*Slika 4.1.2 Izmjenjivač proizvođača Fronius*

Izmjenjivači se najčešće postavljaju na zid. Prilikom postavljanja preporuča se da izmjenjivač nije izložen suncu zbog potencijalnog pregrijavanja. Ukoliko se izmjenjivač nalazi na udaru sunca dok radi, potrebno je predvidjeti odgovarajuću zaštitu. Izlaz iz izmjenjivača vodi do ormara izmjeničnog (AC) razvoda.

#### Izmjenični (AC) razvod

U izmjeničnom AC razvodu nalaze se komponente koje služe za zaštitu pripadnih strujnih krugova. U to se ubrajaju RCD sklopka odgovarajuće nazivne i diferencijalne struje prema uputama na izmjenjivaču, zaštitni prekidač koji štiti priključne vodiče i odgovara nazivnoj struji uređaja i odvodnici prenapona. Primjer odvodnika prenapona prikazuje slika 4.1.3



Slika 4.1.3 Odvodnik prenapona

Ostala oprema potrebna za uspješnu realizaciju fotonaponske elektrane primarno se odnosi na solarni kabel, konektore i elemente konstrukcije.

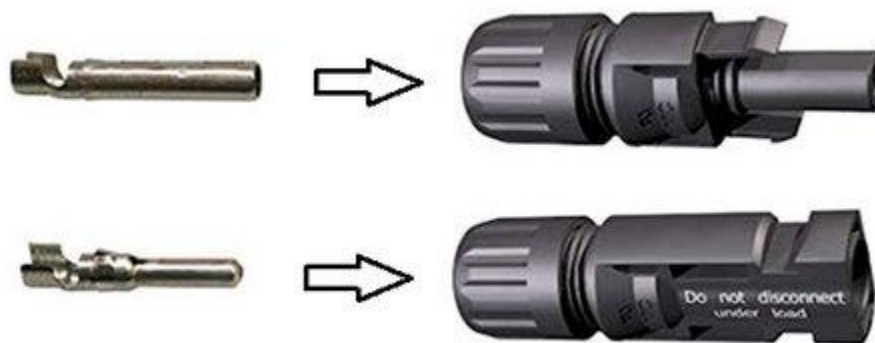
Solarni kabel je posebno razvijen kabel za povezivanje fotonaponskih modula. Najčešće dolazi u dva presjeka: 4 mm<sup>2</sup> i 6 mm<sup>2</sup>. Zbog izloženosti vremenskim uvjetima i dodatnom naprezanju, sastavljen je od dodatnog plašta koji osigurava ispravnu funkciju tijekom cijelog životnog vijeka fotonaponske elektrane. Solarni kabeli mogu se pojaviti u više boja, a prikaz presjeka jednog primjerka ja na slici 4.1.4.



- 1 Vodič: bakrena pocinčana licna, finožični vodič prema EN 60228, Klasa 5
- 2 Izolacija: Radox 125
- 3 Izolacija: Radox 125

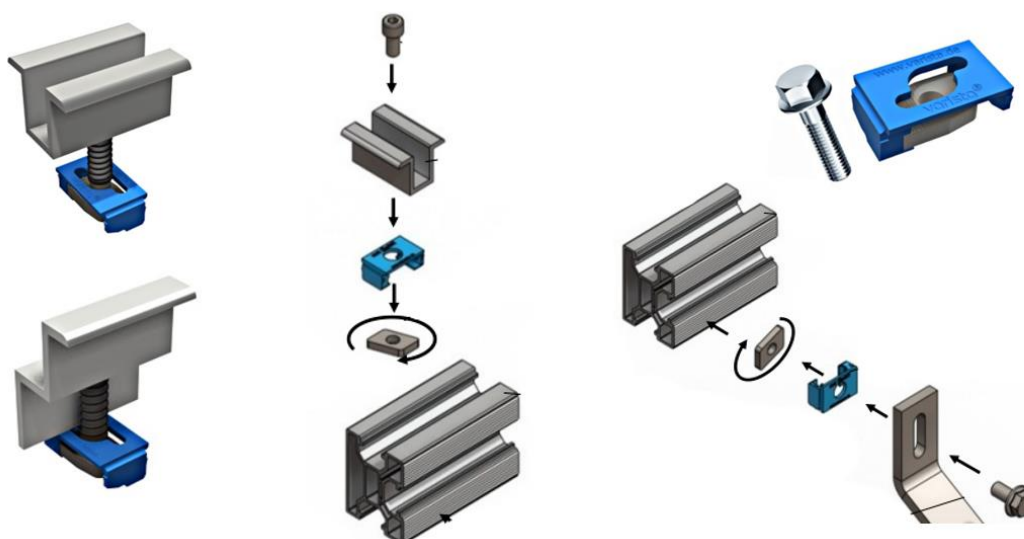
Slika 4.1.4 Presjek solarnog kabela [Schrak]

Konektori koji se koriste za spajanje fotonaponskih panela i njihovo spajanje na istosmjernu stranu izmjenjivača su MC4 konektori. MC4 (engl. multi-contact 4mm) su napravljeni tako da su otporni na nepogodne vremenske uvjete, UV zračenje, sigurni su i osiguravaju dobar spoj pri visokim naponima do 1000 V. Podržavaju uparivanje s 4 mm<sup>2</sup> i 6 mm<sup>2</sup> kabelom, a za ispravno sastavljanje koristi se poseban alat za stezanje na unutarnju stezaljku kabla koji se zatim umeće u kućište konektora. Na slici 4.1.5 je prikaz jednog primjerka MC4 konektora.



Slika 4.1.5 MC4 konektori sa stezaljkama [2]

Elementi konstrukcije podrazumijevaju opremu za pričvršćivanje modula na konstrukciju: kuke, nosače modula – šine, vijke i pričvrsnice. Na slici je prikazana oprema za pričvršćivanje.



Slika 4.1.6 Oprema za pričvršćivanje

Osim navedene opreme u elemente konstrukcije spadaju instalacijske kanalice koje se montiraju na krov i fasadne zidove, a uloga im je provođenje kablova i vodiča prema izmjenjivaču i razvodnim ormarima. Primjer takvih kanalice prikazani su na slici.



*Slika 4.1.7 Instalacijske kanalice*

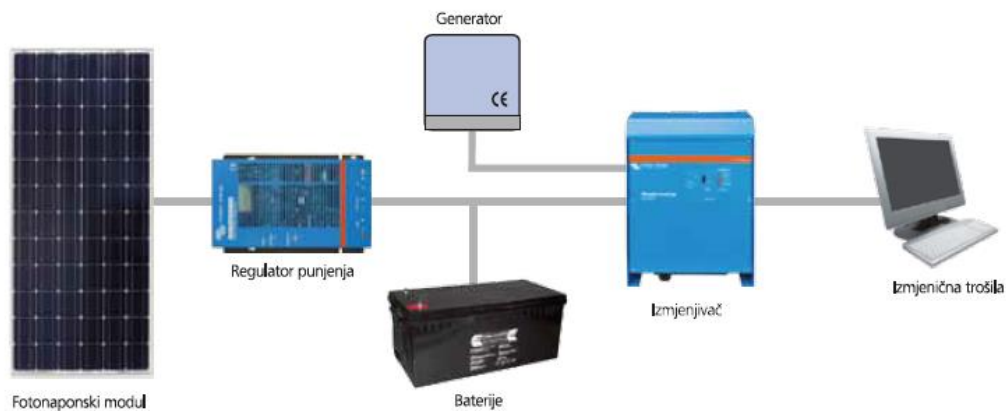
## **4.2 Otočni sustavi**

Otočni fotonaponski sustavi su sustavi koji nemaju doticaja s javnom elektroenergetskom mrežom. To znači da proizvodnja u svakom trenutku mora odgovarati potrošnji, odnosno da otočni sustav mora pokriti cjelokupnu potrošnju potrošača. Najčešći primjeri otočnog fotonaponskog sustava javljaju se na mjestima gdje povezivanje na mrežu nije moguće ili nije isplativo. Primjer takvih mjesta su: vikendice, izdvojeni poljoprivredni objekti, pomoćni prometni sustavi i mobilni sustavi. Manji otočni sustavi su reda veličine 12 V ili 24 V istosmjernog napona. Porastom energetske potrebe sustavi se prebacuju na 230 V jednofaznog izmjeničnog napona ili čak 400 V trofaznog izmjeničnog napona.

Postoji mnogo realizacija fotonaponskog otočnog sustava, ali osnovna podjela je:

- Direktni otočni sustavi – najjednostavnija vrsta otočnog sustava gdje su fotonaponski moduli direktno spojeni s trošilom. Ovakvi sustavi nalaze primjenu u ventilatorima, malim pumpama i ostalim jednostavnim strukturama
- Otočni sustavi sa spremnikom energije – sustavi koji koriste bateriju, odnosno akumulator za pohranu energije zbog raskoraka između proizvodnje i potrošnje
- Hibridni otočni sustavi – takvi sustavi kod kojih osim fotonaponskih modula postoji još jedan pomoćni izvor energije – generator. Time se osigurava pouzdan izvor električne energije, odnosno potrošnja ne ovisi isključivo o količini sunca. Pomoćni izvor također može biti neki oblik obnovljivih izvora energije, primjerice vjetroagregat.

Karakter trošila i potrebe potrošača određuju koja će se vrsta otočnog sustava instalirati. Na slici je prikazan primjer jednog hibridnog otočnog sustava sa izmjeničnim trošilima i jednim pomoćnim izvorom energije.



*Slika 4.2.1 Hibridni otočni sustav s pomoćnim izvorom*

Sustav prikazan na slici sastoji se od:

- Fotonaponskih modula – primarni izvori energije
- Regulatora punjenja
- Generator – pomoćni izvor energije
- Izmjenjivač
- Trošila



Primarni cilj navedenog hibridnog sustava je proizvodnja električne energije pomoću fotonaponskih modula. Ukoliko to nije moguće ili nije dovoljno, tada se proizvodnja nastavlja iz pomoćnog izvora koji osim generatora može biti mreža. U slučaju postojanja pomoćnog izvora pretvarač (izmjenjivač) mora imati izmjenični ulaz uz istosmjerni. Pomoćni izvor će se također uključiti ako je akumulator prazan i dođe do zahtjeva za dodatnom energijom. Sustav također omogućuje pametnu raspodjelu energije što ima povoljan utjecaj na životni vijek.

## **5. INSTALIRANJE FOTONAPONSKIH POSTROJENJA**

Svaka gradnja bilo kojeg objekta u Republici Hrvatskoj na koju se oslanja cjelokupna izrada projektne dokumentacije podložna je Zakonu o gradnji koji definira obavezne sudionike u procesu realizacije i gradnje. Ti sudionici su:

1. Investitor
2. Projektant
3. Revident
4. Izvođač
5. Nadzorni inženjer

Prema zakonu o gradnji, investitor se definira kao pravna i fizička osoba u čije ime se gradi građevina. Uloga investitora je angažiranje stručnog nadzora i pisanim ugovorom povjeravanje djelatnosti osobama koje imaju preduvjete za obavljanje iste. Također investitor osigurava potrebna financijska sredstva za realizaciju građevine.

Projektant se definira kao fizička osoba koja prema zakonu ima pravo upotrebe naziva ovlaštenu inženjer. Odgovornost projektanta je izrada projekta koji ispunjava sve propisane uvjete koji uključuju sklad građevine s lokacijskom dozvolom i prostornim planom te ispunjenje zahtjeva propisanih za energetska svojstva građevine i drugih propisanih uvjeta.

Revident se definira kao fizička osoba zadužena za kontrolu projekata prema propisima. Nakon kontrole projekta revident sastavlja pisano izvješće i ovjerava dijelove projekta.

Izvođač se definira kao osoba koja gradi ili izvodi radove na građevini. Dužnost izvođača je izvođenje radova u skladu s građevinskom dozvolom, zakonom o gradnji, tehničkim i posebnim propisima i pravilima struke.

Nadzorni inženjer se definira kao fizička osoba koja prema zakonu ima pravo upotrebe naziva ovlašten inženjer. Uloga nadzornog inženjera je nadzor građenja u ime investitora. Nadziranje mora biti u skladu s glavnim projektom, zakonom o gradnji, građevinskom dozvolom, propisima i pravilima struke.

Kako bi se uspješno provela ideja za potrebom fotonaponske elektrane ili fotonaponskog postrojenja te njena realizacija i spajanje u sustav elektroenergetske mreže neophodno je razmotriti i poduzeti sljedeće korake:

- Utvrditi potrebne preduvjete za instalaciju fotonaponske elektrane i razlog izgradnje

Kako bi se odredilo postoji li uopće mogućnost instalacije fotonaponske elektrane na neki stambeni ili poslovni objekt, potrebno je promotriti hoće li takva ugradnja, odnosno investicija imati smisla. Nepovoljni preduvjeti koji se u praksi najčešće nalaze su:

Zaštićene urbane jezgre – ukoliko je stambeni ili poslovni objekt unutar zaštićene urbane jezgre, na krov takve građevine se ne dozvoljava ugradnja fotonaponske elektrane.

O alternativnim mogućnostima (na primjer ugradnja solarnih kolektora) osoba koja želi ugraditi fotonaponsku elektranu trebala bi se obratiti u lokalni konzervatorski ured ili direktno upravi za zaštitu kulturne baštine koja će zatim donijeti rješenje hoće li se dobiti dozvola za ugradnju.

Nepovoljan položaj – ukoliko je stambeni ili poslovni objekt veći dio dana u sjeni nekog prirodnog ili ljudskog zaklona, na krov takve građevine nije preporučljiva ugradnja fotonaponske elektrane.

Alternativna mogućnost se pojavljuje provjerom raspoloživosti ugradnje fotonaponskih panela na fasadu ili pored spomenute građevine.

Orijentacija krova – ukoliko je orijentacija krova stambenog ili poslovnog objekta prema sjeveru, takva elektrana imala bi znatno manji potencijal proizvodnje električne energije, stoga nije preporučljiva ugradnja

Fotonaponska elektrana može služiti za:

- Za zadovoljavanje vlastitih potreba
- Proizvodnju električne energije te njenu prodaju
- Na osnovu razloga izgradnje projektant definira projektni zadatak
- Projektant radi idejno rješenje te predaje zahtjev distribucijskom centru s ciljem dobivanja suglasnosti priključenja fotonaponskog postrojenja na mrežu na lokaciji

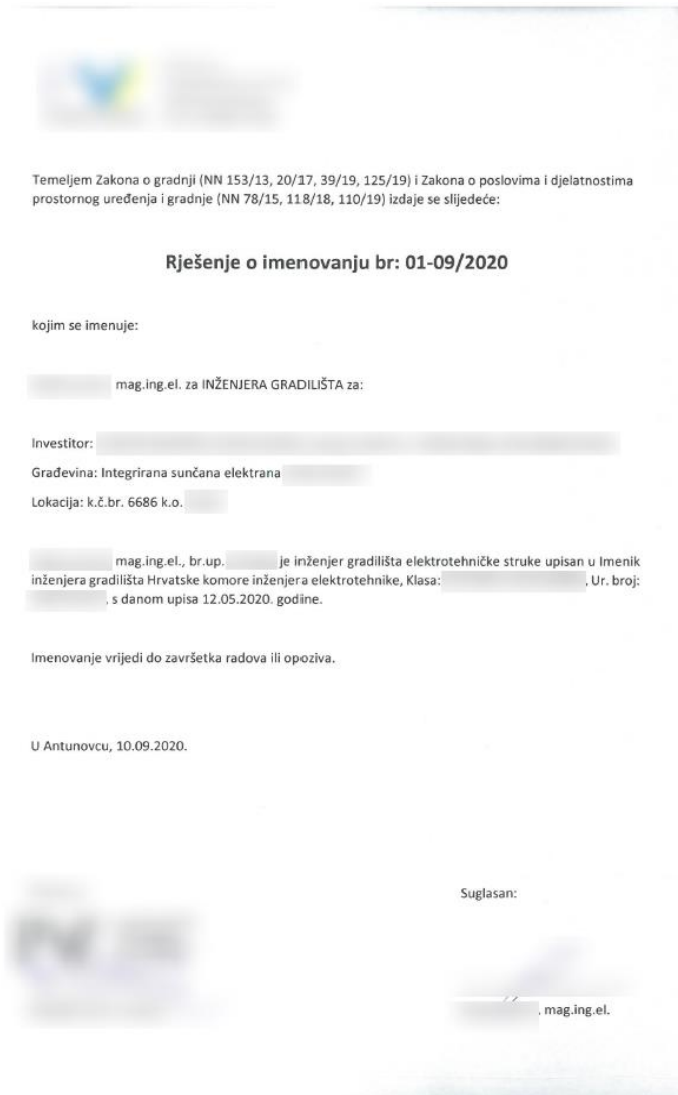
- Distribucijski centar izdaje elektroenergetsku suglasnost sa uvjetima priključenja fotonaponske elektrane na elektroenergetsku mrežu – uvjeti podrazumijevaju sve one radnje koje je potrebno poduzeti za nesmetan rad elektroenergetske mreže
- Na osnovu uvjeta iz elektroenergetske suglasnosti, prema pravilima i normama struke projektant izrađuje glavni projekt koji se razrađuje na način da se detaljnije određuje oprema i način izvođenja.
- Razrađivanjem glavnog projekta i opisivanjem načina izvođenja radova sa shemama međusobnog spajanja opreme dobiva se izvedbeni projekt i izrađuje se troškovnik
- Na osnovu izvedbenog projekta i troškovnika investitor raspisuje natječaj ili poziv prema izvođačima kako bi potonji napravili ponudu za izgradnju
- U natječaju ili pozivu se definiraju uvjeti izgradnje koje postavlja investitor i na osnovu navedenih uvjeta investitor bira najoptimalniju ponudu izvođača. Tipični uvjeti koje postavljaju investitori odnose se na cijenu, rokove izgradnje, garancije i servis.
- Konačnim odabirom izvođača, odabire se nadzorni inženjer za radove prema projektu. Pri izgradnji fotonaponske elektrane osim elektrotehničkih radova, mogući su i građevinski radovi. Takvi radovi najčešće su nužni kada se elektrana gradi na zemlji.
- Naposljetku, uz stručnu pomoć nadzornog inženjera, vrši se konačna provjera projekta, troškovnika i ponude odabranog izvođača

### **5.1 Faza priprema za izvođenje radova**

U fazu priprema za izvođenje radova ubrajaju se one radnje koje je potrebno poduzeti kako bi izvođač radova uspješno provodio realizaciju projekta. Najprije se potpisuje ugovor između investitora i izvođača gdje se izvođaču povjerava realizacija projekta. Vršiti se detaljan pregled tehničke dokumentacije i specifikacija, a zatim se vrši narudžba materijala.

Izvođač imenuje voditelja – inženjera gradilišta. Slika 5.1.1. prikazuje izgled dokumenta kojim se imenuje inženjer gradilišta. Ovisno o obujmu posla, na gradilištu može biti više vrsta radova, primjerice građevinski i elektrotehnički. Tada se mora imenovati zajednički glavni inženjer

gradilišta. Najčešće je to onaj čiji je obujam posla veći. Potom se vrši prijava gradilišta lokalnim nadležnim službama. To su najčešće upravni odjeli za prostorno uređenje, graditeljstvo i zaštitu okoliša. Prijava se mora napraviti minimalno 8 dana prije početka radova. Nakon toga slijedi otvaranje gradilišta, točnije otvaranje građevinskog dnevnika koji je u pravnom postupku najvažniji dokument tijekom građenja.



Slika 5.1.1 Prikaz dokumenta o imenovanju inženjera gradilišta

## 5.2 Početak radova i popis opreme fotonaponskog postrojenja

Početak radova se može smatrati onim trenutkom kada se gradilište označi i osigura. Kako bi se opisao proces izvođenja radova, uzet će se praktični primjer realizacije fotonaponske elektrane namijenjene za potrebe bolnice. Radi se o fotonaponskoj elektrani instalirane snage iznosa 230 kW. Elektrana je podijeljena na dva sustava na dvije različite zgrade: na jednoj je instalirana snaga 110 kW dok je na drugoj 120 kW. Razlog izgradnje elektrane je pokrivanje vlastitih potreba s predajom viška električne energije u mrežu. Elektrana nema opciju otočnog rada, nego radi paralelno s distribucijskom mrežom.

Nakon označavanja i osiguravanja gradilišta potrebno je dovesti sav materijal i opremu koja će biti korištena. Prema izrađenom troškovniku potrebni materijali za sustave od 110 kW i 120 kW su prikazani u tablicama 5.2.1., 5.2.2., 5.2.3. i 5.2.4.

*Tablica 5.2.1 Popis fotonaponske opreme*

<b>Materijal – fotonaponska oprema za sustav od 110 kW</b>	<b>komada</b>
<b>Nosač panela visoki</b>	414
<b>Nosač panela niski</b>	414
<b>Podložni profil 1850</b>	110
<b>Podložni profil 900</b>	250
<b>Podložna zaštitna guma</b>	830
<b>Vjetro lim s nagibom 10°</b>	367
<b>MiniClamp srednji 30-50 mm</b>	640
<b>MiniClamp krajnji 30-50 mm</b>	188
<b>Nosač utega</b>	36
<b>Temeljna ploča</b>	72
<b>Balast betonski utezi</b>	1
<b>Spojni materijal i vijci</b>	1
<b>Fotonaponski monokristalni moduli</b>	400
<b>Pretvarač 50 kVA</b>	2
<b>Pretvarač 20kVA</b>	1

<b>Uređaj za daljinski nadzor i kontrolu elektrane</b>	1
--	---

U tablici se nalazi popis fotonaponske opreme koja je potrebna za izgradnju sustava. Budući da se radi o ravnom krovu, potrebno je dobiti tipsku konstrukciju s nagibom od 10° i balast opreme za smještaj fotonaponske elektrane na krov. Konstrukcija treba biti izvedena za ugradnju 367 fotonaponskih modula određenih dimenzija. Elementi konstrukcije napravljeni su od aluminija dok su ostali dijelovi poput vijaka i matica načinjeni od nehrđajućeg čelika.

*Tablica 5.2.2. Elektromaterijal za sustav 110 kW*

<b>Elektromaterijal za sustav od 110 kW</b>	<b>Komada</b>
<b>1.</b>	<b>7 kompleta</b>
<b>Istosmjerni odvodnik prenapona 900 VDC 2p, tip 1+2</b>	2
<b>Rastavna osigurač sklopka 2p, 10x38</b>	4
<b>gPV osigurači 1000 V / 12 A</b>	8
<b>2.</b>	<b>1 komplet</b>
<b>Kompaktni prekidač snage, tip A, 3p, 25 kA, 250 A</b>	1
<b>Rastalni osigurač NH1 225 A</b>	3
<b>Osigurač – rastavna sklopka NH00 160 A / 3p</b>	3
<b>Rastalni osigurač NH00 100 A</b>	6
<b>Rastalni osigurač NH00 40 A</b>	6
<b>Odvodnik prenapona 4p, tip 1+2, TN-S</b>	1
<b>3.</b>	<b>1 komplet</b>
<b>Glavni kompaktni zaštitni prekidač 400 A / 4p s termičkom i nadstrujnom</b>	1

<b>zaštitom (s mogućnosti podešenja), nadnaponskom i podnaponskom zaštitom, nadfrekventnom i podfrekventnom zaštitom i daljinskim isklopom</b>	
<b>Osigurač – rastavna pruga NH1 250 A / 3p</b>	2
<b>Rastalni osigurač NH1 225 A</b>	6
<b>Odvodnik prenapona 4p, tip 2, TN-S</b>	1
<b>4.</b>	<b>1 komplet</b>
<b>Osigurač – rastavna sklopa NH2 400 A / 3p</b>	1
<b>Osigurač – rastalni osigurač NH2 350 A</b>	3
<b>5.</b>	<b>metara</b>
<b>Metalne toplo cinčane kanalice PK200 s poklopcima PPK200 za montažu na krov i fasadne zidove</b>	30 m
<b>Metalne toplo cinčane kanalice PK100 s poklopcima PPK100 za montažu na krov i fasadne zidove</b>	200 m
<b>Plastične instalacijske kanalice dimenzije 15x16 mm s poklopcem</b>	50 m
<b>6.</b>	
<b>NAYY 4x185 mm<sup>2</sup></b>	20
<b>NAYY 4x120 mm<sup>2</sup></b>	100
<b>NYY 5x35 mm<sup>2</sup></b>	30
<b>NYY 5x10 mm<sup>2</sup></b>	20
<b>H07V-K 50 mm<sup>2</sup></b>	100
<b>H07V-K 16 mm<sup>2</sup></b>	100



<b>FTP kabel cat.6</b>	80
<b>7.</b>	m
<b>Istosmjerni kabel PV 1f 1x6 mm<sup>2</sup></b>	2500
<b>8.</b>	<b>komadi</b>
<b>Kabelske vezice 4x360</b>	1000
<b>9.</b>	par
<b>Konektori 4-6 mm<sup>2</sup> MC4 (par Ž i M)</b>	112
<b>10.</b>	<b>komada</b>
<b>Aluminijski okrugli vodič fi 8 mm s krovnim nosačima</b>	150 m
<b>Križna spojnica</b>	24
<b>Spoj na potkonstrukciju</b>	36

Zbog količine potrebnog elektromaterijala u tablici 5.2.2., napravljena je podjela u stavke koje su označene brojevima 1 – 10.

Broj 1 predstavlja potreban materijal za realizaciju istosmjerne razdjelnice za priključak fotonaponskih nizova razine zaštite IP 65. Sadrži navedene elemente za upravljanje i zaštitu pripadnih strujnih krugova.

Broj 2 predstavlja potreban materijal za realizaciju izmjenične razdjelnice za priključak fotonaponske elektrane i 3 pretvarača. Osmišljena je kao limeni zidni ormar razine zaštite IP 66 i sadrži elemente upravljanja i zaštite pripadnih strujnih krugova.

Stavka broj 3 predstavlja potreban materijal za realizaciju glavne spojne izmjenične razdjelnice za priključak fotonaponske elektrane za na NN trafo polje potrošača. Razdjelnica je predviđena kao samostojeći ormar s 2 vrata razine zaštite IP 55 dimenzija 1800x1000x400 mm.

Pod stavkom broj 4 naveden je potreban materijal za realizaciju izmjenične razdjelnice u NN trafo polju potrošača.

Broj 5 predstavlja materijale koje je potrebno dobiti za realizaciju instalacijskih kanalicama uključujući sve nosače i montažni materijal.

Stavka pod brojem 6 predstavlja potrebne instalacijske kablove i vodiče. Količina kablova i vodiča koji su potrebni u troškovniku se navode u metrima.

Dobava istosmjernog PV1-f kabela 1x6mm<sup>2</sup> istosmjernog kabela nalazi se u stavci broja 7. Takav kabel ima dvostruku izolaciju i UV otpornost, a podržava rad u temperaturnim okolnostima između -40°C i 120°C

U stavci 8 nalaze se kabelaške vezice koje imaju UV otpornost dok su pod brojem 9 navedeni konektori kojima se spajaju fotonaponski moduli.

Stavka 10 predstavlja pribor potrebne za gromobransku instalaciju. Koristi se aluminijski okrugli vodič promjera 8 mm.

Materijali potrebni za sustav na drugoj zgradi iznosa 120 kW nalazi se u tablici ispod.

*Tablica 5.2.3 Popis fotonaponske opreme potrebne za fotonaponski sustav 120 kW*

<b>Materijal – fotonaponska oprema za sustav od 120 kW</b>	<b>komada</b>
<b>1.skupina</b>	
<b>D nosač panela visoki</b>	297
<b>Nosač panela niski</b>	297
<b>BSP podložna zaštitna guma 160x180 18mm</b>	297
<b>BSP podložna zaštitna guma 470x180 18mm</b>	297
<b>Temeljni profil 4.30 m</b>	128
<b>Brza spojnica profila</b>	70
<b>Vjetro lim 10° nagib 1757 mm</b>	240
<b>MiniClamp srednji 30-50 mm</b>	366
<b>MiniClamp krajnji 30-50 mm</b>	228
<b>Nosač utega - dugi</b>	12
<b>Nosač utega - mini</b>	594
<b>Balast betonski utezi</b>	1
<b>2. skupina</b>	

<b>Prihvatni CF nosač za žljebni lim</b>	613
<b>MiniClamp srednji 32-42 mm</b>	208
<b>MiniClamp krajnji 32-42 mm</b>	224
<b>Single rail Al šina 36; 4.30 m</b>	136
<b>Brza spojnica šine 36 Set</b>	96
<b>Spojni materijali i vijci</b>	1
<b>3. skupina</b>	
<b>Fotonaponski monokristalni moduli</b>	400
<b>Pretvarač 50 kVA</b>	2
<b>Pretvarač 20kVA</b>	1

Popis fotonaponske opreme koja je potrebna za izgradnju sustava 120 kW prikazan je u tablici i podijeljen u 3 skupine. U prvoj skupini radi se o ravnom krovu i potrebno je dobiti tipsku konstrukciju s nagibom od 10° i balast opreme za smještaj fotonaponske elektrane na krov. Konstrukcija treba biti izvedena za ugradnju 240 fotonaponskih modula određenih dimenzija. U drugoj skupini radi se o kosom krovu prekrivenim šavnim limom s nagibom 35°. Konstrukcija treba biti izvedena za ugradnju 160 fotonaponskih modula određenih dimenzija. Elementi konstrukcije u obje skupine napravljeni su od aluminijskog čelika dok su ostali dijelovi poput vijaka i matice načinjeni od nehrđajućeg čelika. U trećoj skupini nalazi se ostala oprema, odnosno fotonaponski moduli i pretvarači.

Tablica 2.2.4 Elektromaterijal za fotonaponski sustav 120 kW

<b>Elektromaterijal za sustav od 120 kW</b>	<b>Komada</b>
<b>1.</b>	<b>7 kompleta</b>
<b>Istosmjerni odvodnik prenapona 900 V DC 2p, tip 1+2</b>	2
<b>Rastavna osigurač sklopka 2p, 10x38</b>	4

gPV osigurači 1000 V / 12 A	8
<b>2.</b>	<b>1 komplet</b>
Kompaktni prekidač snage, tip A, 3p, 25 kA, 250 A	1
Rastalni osigurač NH1 225 A	3
Osigurač – rastavna sklopka NH00 160 A / 3p	3
Rastalni osigurač NH00 100 A	6
Rastalni osigurač NH00 40 A	6
Odvodnik prenapona 4p, tip 1+2, TN- S	1
<b>3.</b>	<b>metara</b>
Metalne toplo cinčane kanalice PK200 s poklopcima PPK200 za montažu na krov i fasadne zidove	20
Metalne toplo cinčane kanalice PK100 s poklopcima PPK100 za montažu na krov i fasadne zidove	300
Plastične instalacijske kanalice dimenzije 15x16 mm s poklopcem	50
<b>4.</b>	<b>metara</b>
NAYY 4x120 mm <sup>2</sup>	120
NYY 5x35 mm <sup>2</sup>	30
NYY 5x10 mm <sup>2</sup>	20
H07V-K 50 mm <sup>2</sup>	120
H07V-K 16 mm <sup>2</sup>	100
FTP kabel cat.6	80
<b>5.</b>	<b>metara</b>
Istosmjerni kabel PV 1f 1x6 mm <sup>2</sup>	3000
<b>6.</b>	<b>komada</b>

<b>Kabelske vezice 4x360</b>	1000
<b>7.</b>	par
<b>Konektori 4-6 mm<sup>2</sup> MC4 (par Ž i M)</b>	110
<b>8.</b>	<b>komada</b>
<b>Aluminijski okrugli vodič fi 8 mm s krovnim nosačima</b>	200 m
<b>Križna spojnica</b>	30
<b>Spoj na potkonstrukciju</b>	48

Elektromaterijal potreban za sustav 120 kW također je podijeljen u stavke. Potrebno je osigurati 7 kompleta istosmjerne razdjelnice za priključak fotonaponskih nizova. Razdjelnica sadržava opremu navedenu u tablici ispod broja 1. Komplet podrazumijeva sastavljanje opreme do pune pogonske funkcionalnosti.

Oprema potrebna za realizaciju izmjenične spojne razdjelnice za priključak 3 izmjenjivača nalazi se u tablici ispod broja 2. Razdjelnica je planirana kao limeni zidni ormar s razinom zaštite IP66. Potrebno je realizirati jedan komplet do pune pogonske funkcionalnosti.

Broj 3 u tablici označava materijal potreban za realiziranje instalacijskih kanalica dok su pod brojem 4 navedeni potrebni tipovi kabela i vodiča.

Posebno naveden pod brojem 5 je istosmjerni kabel koji se koristi i u sustavu od 110 kW. Potrebne su još UV stabilne kabelske vezice (broj 6 u tablici) i konektori (broj 7 u tablici). Materijal potreban za gromobransku instalaciju nalazi se ispod broja 8.

### **5.2.1. Odabrani fotonaponski modul**

Fotonaponski modul koji je odabran za navedeno postrojenje je SOLVIS SV60 – 300 E prikazan na slici. Radi se o fotonaponskom modulu dimenzija 1640 x 992 x 40 mm. Izrađen je od monokristalnog silicija sa 60 fotonaponskih ćelija. Priključna kutija nosi oznaku zaštite IP67, a unutar kutije su 3 zaobilazne (engl. bypass) diode. Priključni kabel je presjeka 4 mm<sup>2</sup>. Modul ima masu iznosa 18.3 kg, a temperaturno područje u radnim uvjetima se nalazi između -40°C i 85°C.



Slika 5.2.1.1. Fotonaponski modul SOLVIS SV60 - 300 E

Tehničke karakteristike nalaze se u tablici 5.2.1.1.

Tablica 5.2.1.1. Tehničke karakteristike fotonaponskog modula SOLVIS SV60 - 300E

<b>Parametri</b>	<b>Iznos pri standardnim testnim uvjetima (STC)</b>	<b>Iznos pri NOCT uvjetima</b>
<b>Vršna snaga <math>P_{MPP}</math> [W]</b>	300	219.4
<b>Dozvoljeno odstupanje [W]</b>	0/+4.9	0/+4.9
<b>Struja kratkog spoja <math>I_{KS}</math> [A]</b>	9.73	7.81
<b>Napon praznog hoda <math>U_{PH}</math> [V]</b>	40.14	36.9
<b>Nazivna struja <math>I_{MPP}</math> [A]</b>	9.13	7.31
<b>Nazivni napon <math>U_{MPP}</math> [V]</b>	33.03	30

<b>Dozvoljeno odstupanje napona i struje [%]</b>	-3/+3	-
<b>Učinkovitost modula [%]</b>	18.44	-

### 5.2.2. Odabrani pretvarači

Za realizaciju elektrane koristi se 6 pretvarača proizvođača SMA:

- Pretvarač modela Sunny Tripower CORE 1 nazivne snage 50 kW – 4 komada
- Pretvarač modela SAM Sunny Tripower 20000TL nazivne snage 20 kW – 2 komada

Pretvarači imaju softversko ograničenje koje ograničava da zbroj izlaznih snaga ne prelazi 230 kW. Na slici je prikazan pretvarač SMA Sunny Tripower CORE1, a njegove tehničke karakteristike na slici.



*Slika 5.2.2.1 Pretvarač SMA Sunny Tripower CORE1*

Technical Data	Sunny Tripower CORE1	Technical Data	Sunny Tripower CORE1
<b>Input (DC)</b>		<b>Efficiency</b>	
Max. generator power	75000 Wp STC	Max. efficiency / European efficiency	98.1% / 97.8%
Max. input voltage	1000 V	<b>General data</b>	
MPP voltage range / rated input voltage	500 V to 800 V / 670 V	Dimensions (W/H/D) without feet or DC load break switch	569 mm / 733 mm / 621 mm (22.4 in / 28.8 in / 24.4 in)
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	Weight	84 kg (185 lb)
Max. operating input current / per MPPT	120 A / 20 A	Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)
Max. short circuit current per MPPT / per string input	30A / 30A	Noise emission (typical)	< 65 dB(A)
Number of independent MPPT inputs / strings per MPP input	6 / 2	Self-consumption (at night)	4.8 W
<b>Output (AC)</b>		Topology / Cooling concept	Transformerless / OptiCool
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	50000 W	Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Rated / Max. apparent power	50000 VA / 50000 VA	Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Rated voltage	220 V / 380 V 230 V / 400 V 240 V / 415 V	Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
Voltage range	202 V to 305 V	<b>Features / functions / accessories</b>	
Grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	DC connection / AC connection	SUNCLIX / screw terminal
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	Mounting feet	●
Rated / Max. output current	72.5 A / 72.5 A	LED indicators (status / fault / communication)	●
Output phases / AC connection	3 / 3-(N)-PE	LC display	○
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging	Interface: Ethernet / WLAN / RS485	● (2 ports) / ▲ / ○
THD	< 3%	Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire, Webconnect	● / ● / ●
<b>Protective devices</b>		Multi-Function relay / Expansion Module Slots	● / ● (2 ports)
Input-side disconnection device	●	Shade management SMA ShadeFix / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	Off-grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○
Allpole sensitive residual-current monitoring unit	●	Certificates and permits (more available on request)	C10/11:2019, EN50549-1/2, CE, VDE 0126-1-1, VDE ARN 4110, VDE ARN 4105:2018, NRS097-2-1:2017 (A3), CEI 0-16/0-21: 2020, VFR 2019, RD 1699/413, RD 661, TED/749/2020, AS 4777, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 60068-2-x, TOR Erzeuger, G99, NBR 16149
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II	Type designation	STP 50-41
Arc-fault circuit interrupter (AFCI) / IV Generator diagnosis	● / ●		
AC/DC surge arrester (type 2, type 1/2)	○		

● Standard features ○ Optional – Not available ▲ Depending on availability Data at nominal conditions - status: 01/2022

Slika 5.2.2.2 Tehničke karakteristike pretvarača SMA Sunny Tripower CORE1

Pretvarač SMA Sunny Tripower 20000TL prikazan je na slici, dok su njegove tehničke karakteristike prikazane na slici.





*Slika 5.2.2.3 Pretvarač Sunny Tripower 20000TL*

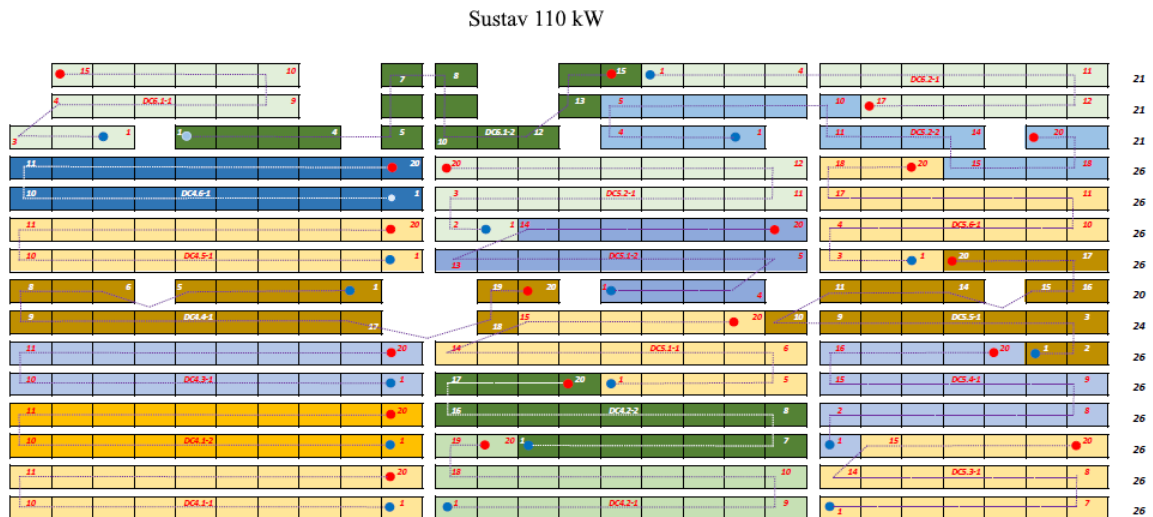
Technical Data	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
<b>Input (DC)</b>			
Max. generator power	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
DC rated power	15330 W	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Max. DC short-circuit current input A/input B	43 A / 43 A	43 A / 43 A	43 A / 43 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
<b>Output (AC)</b>			
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	15000 VA	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage		3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
AC voltage range		180 V to 280 V	
AC grid frequency / range		50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	
Rated power frequency / rated grid voltage		50 Hz / 230 V	
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A	29 A / 29 A	36.2 A / 36.2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor		1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
THD		≤ 3%	
Feed-in phases / connection phases		3 / 3	
<b>Efficiency</b>			
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%	98.4% / 98.0%	98.3% / 98.1%
<b>Protective devices</b>			
DC-side disconnection device		●	
Ground fault monitoring / grid monitoring		● / ●	
DC surge arrester (Type II) can be integrated		○	
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated		● / ● / –	
All-pole sensitive residual-current monitoring unit		●	
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)		I / AC; III; DC; II	
<b>General data</b>			
Dimensions (W / H / D)		661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)	
Weight		61 kg (134.48 lb)	
Operating temperature range		–25 °C to +60 °C (–13 °F to +140 °F)	
Noise emission (typical)		51 dB(A)	
Self-consumption (at night)		1 W	
Topology / cooling concept		Transformerless / Opticool	
Degree of protection (as per IEC 60529)		IP65	
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)		4K4H	
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)		100%	
<b>Features / function / Accessories</b>			
DC connection / AC connection		SUNCLIX / spring-cage terminal	
Display		○	
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect		○ / ●	
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus		● / ●	
Multifunction relay / Power Control Module		○ / ○	
Shade management SMA ShadeFix / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7		● / ● / ●	
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible		● / ●	
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years		● / ○ / ○ / ○	
Certificates and permits (more available on request)		AS 4777, BDEW 2008, C10/11, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, CNS 15382, CNS 15426, DEWA 2.0, DK1, DK2, EN 50549-1, EN 50549-2, G99/1, EN 50438:2013*, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IS 16221-1/2, IS 16169, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2013, NTS, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, RfG compliant, SI4777, TOR generator UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VDE-AR-N 4110, VFR 2014	
* Does not apply to all national appendices of EN 50438			
Type designation	STP 15000TL-30	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

Slika 5.2.2.4 Tehničke karakteristike pretvarača SMA Sunny Tripower 20000TL

### 5.3. Montažni radovi

Montažni radovi navedene opreme sastoje se od sljedećih aktivnosti:

- Istovar opreme, materijala, alata i potrebnog pribora na gradilište
- Montaža sustava aluminijske potkonstrukcije za prihvat fotonaponskih modula na krovu, njegovo polaganje na ravni krov koji je prekriven limom uključujući sav montažni materijal. Nakon montaže treba biti sve spremno za ugradnju fotonaponskih modula. Prilikom montaže bitno je paziti da se ne smanji nosivost krova i ne ugrozi vodonepropusnost krova.
- Montaža sustava aluminijske podkonstrukcije za prihvat fotonaponskih panela na kosom krovu nagiba 35° uključujući sav montažni materijal za polaganje na krov prekriven šavnim limom. Nakon montaže treba biti sve spremno za ugradnju fotonaponskih modula. Prilikom montaže bitno je paziti da se ne smanji nosivost krova i ne ugrozi vodonepropusnost.
- Postavljanje fotonaponskih modula na krovnu podkonstrukciju, spajanje modula u nizove sukladno tehničkoj dokumentaciji. Na slici se prikazuje prostorni raspored fotonaponskih nizova na primjeru sustava od 110 kW



367

Slika 5.3.1 Raspored fotonaponskih nizova na fotonaponskom sustavu 110 kW

- Pozicioniranje, postavljanje i spajanje pretvarača 50 kW
- Pozicioniranje i spajanje pretvarača 20 kW na zid

- Postavljanje i spajanje istosmjerne GAK razdjelnice u kojoj je sadržan sabirnički sustav i sav potreban montažni i spojni pribor. Montaža se vrši do pune pogonske funkcionalnosti.
- Postavljanje i spajanje izmjenične razdjelnice za priključak 3 invertera do pune pogonske funkcionalnosti
- Postavljanje i spajanje glavne spojne izmjenične razdjelnice za priključak fotonaponske elektrane na NN trafo polje potrošača – radi se u sustavu od 110 kW
- Postavljanje i spajanje opreme za izradu glavne izmjenične razdjelnice u NN trafo polju – radi se u sustavu od 110 kW
- Sustav od 120 kW zahtijeva postavljanje i spajanje glavnog napojenog kabela (NAYY 4x120 mm<sup>2</sup> +PF50mm<sup>2</sup>) od izmjenične razdjelnice do glavne izmjenične razdjelnice
- Montaža instalacijskih kanalica uključujući sve potrebne nosače i montažni materijal
- Polaganje kabela i vodiča u instalacijske kanale i njihovo spajanje
- Polaganje i spajanje istosmjernog kabela PV1-f 1x6mm<sup>2</sup>
- Montaža i spajanje konektora – MC4 konektori (4-6 mm<sup>2</sup> u paru)
- Postavljanje gromobranskog pribora: aluminijskog vodiča zajedno s krovnim nosačima, križnih spojnica i spoja na podkonstrukciju fotonaponskih modula. Spajanjem gromobranske instalacije podrazumijeva da se svi metalni dijelovi međusobno spajaju – time se postiže izjednačavanje potencijala
- Ugradnja i spajanje uređaja za nadzor elektrane s pretvaračima i ruterom te njihovo programsko aktiviranje
- Ugradnja i spajanje senzor kutije (engl. Sensor box) i senzora sa uređajem za nadzor elektrane, pretvaračima i ruterom te njihovo programsko aktiviranje
- Završetak montaže uključuje čišćenje i uređenje gradilišta

## **6. IZRADA DOKUMENTACIJE**

Kako bi se dovršio projekt instalacije fotonaponskog postrojenja (elektrane) potrebno je dokumentima potkrijepiti ispravnost instalacije. To se pokazuje sljedećim elaboratima:

- Elaborat utjecaja elektrane na mrežu (EUEM)
- Elaborat podešenja zaštite (EPZ)

Osim izrade elaborata, potrebno je provesti mjerenja i ispitivanja, a to su:

- Provjera ispravnosti instalacija
- Funkcionalna ispitivanja
- Mjerenje kvalitete električne energija

### **6.1. Elaborat utjecaja elektrane na mrežu (EUEM)**

Elaborat utjecaja elektrane na mrežu (EUEM) u svom okviru obrađuje elemente koji prethode proceduri puštanja elektrane u pokusni rad, a sadrže analizu utjecaja elektrane na mrežu – utjecaj na tokove snaga, naponske prilike, utjecaj na kratkospojne prilike i kvalitetu napona. Na temelju izmjerenih referentnih vrijednosti i prethodnih analiza utvrđuju se apsolutni iznosi parametara kvalitete električne energije. Osim što mogu biti mjerene referentne vrijednosti mogu biti definirane od strane operatora distribucijskog sustava.

Okvirni sadržaj koji elaborat utjecaja elektrane na mrežu treba imati [ckoi]:

- Utjecaj elektrane na strujno naponske okolnosti i tehničke gubitke u razmatranoj mreži
- Utjecaj elektrane na kratkospojne prilike u mreži
- Problematika prijelaznog procesa prilikom uključanja i isključenja elektrane na mrežu
- Utjecaj kompenzacije jalove snage elektrane
- Utjecaj elektrane na MTU signal
- Analiza utjecaja elektrane na kvalitetu mrežnog napona
- Doprinos elektrane treperenju napona (flikerima)

- Emisija strujnih harmonika elektrane
- Utjecaj emisije strujnih harmonika elektrane na pojavu naponskih harmonika u mreži

Za elaborat utjecaja elektrane na mrežu, uzet je primjer sustava od 120 kW navedene elektrane snage 230 kW. Elaborat sadržava sljedeće stavke:

1. Relevantne propise za izradu elaborata

Relevantni propisi za izradu elaborata odnose se na opće zahtjeve za priključenje na distribucijsku elektroenergetsku mrežu prema Mrežnim pravilima.

2. Osnovne podatke o elektrani

Osnovni podaci o elektrani sadrže informacije o investitoru, lokaciji građevine, mjestu priključka, načinu pogona i napon priključka. Sustav od 120 kW ima napon priključka 10 kV, a spaja se na mrežu na transformatorskoj stanici 10(20)/0.4 kV. Daju se podaci o ukupnoj instaliranoj snazi čitavog postrojenja te količini potrebnih fotonaponskih modula i pretvarača. Uz te informacije prilažu se sheme i slika smještaja fotonaponskog postrojenja. Sheme uključuju blok sheme elektrane, jednofazne sheme elektrane i jednofazne sheme transformatorske stanice.

3. Osnovne tehničke parametre okolne distribucijske mreže

Osnovni tehnički parametri okolne distribucijske mreže sadrže podatke za proračune o snagama i strujama kratkog spoja. Daju se informacije o karakterističnim pogonskim stanjima u normalnim i izvanrednim okolnostima te ulazni podaci za proračun tokova snaga u okolini fotonaponske elektrane.

4. Proračune tokova snaga i kratkih spojeva

Kako bi se pokrenuo proračun tokova snaga u prikladnom programu za izračune takve vrste potrebno je definirati varijante u kojima će se proračun izvesti. U tablici 6.1.1. su dane 4 varijante za koji se vrše simulacije tokova snage

*Tablica 6.1.1 Varijante za proračun tokova snage*

<b>Varijante</b>	<b>Opterećenje sustava</b>	<b>Status pogona fotonaponske elektrane</b>
<b>Varijanta 1</b>	Minimalno	Fotonaponska elektrana ne radi

<b>Varijanta 2</b>	Minimalno	Fotonaponska elektrana radi s faktorom snage $\cos\varphi=1$
<b>Varijanta 3</b>	Maksimalno	Fotonaponska elektrana ne radi
<b>Varijanta 4</b>	Maksimalno	Fotonaponska elektrana radi s faktorom snage $\cos\varphi=1$

Rezultati proračuna tokova snage prikazani su jednopolnim shemama. Nakon toga daje se analiza proračuna tokova snage. U analizi se raspravlja o povratnom utjecaju elektrane na razine napona i jesu li naponi u skladu s Mrežnim pravilima. Rezultatima simulacije je utvrđeno da elektrana pozitivno utječe na naponske prilike te ima dobar utjecaj na strujno rasterećenje i smanjenje gubitaka.

Proračun struja kratkih spojeva prikazuje se shematski i tablično, a radi se kako bi se pravilno dimenzionirala oprema i podesila zaštita. Analizom i simulacijama se zaključuje da je utjecaj elektrane na povišenje struja kratkog spoja unutar zadovoljavajuće razine.

#### 5. Analizu utjecaja elektrane na kvalitetu električne energije

Analiza utjecaja elektrane na kvalitetu električne energije sadrži simulacije koje provjeravaju je li elektrana u skladu s normom za kvalitetu električne energije HRN EN 50160 i tehničkim zahtjevima Mrežnih pravila. To se odnosi na procjenu doprinosa elektrane treperenju napona, procjenu utjecaja emisije strujnih harmonika elektrane na pojavu naponskih harmonika u mreži i procjenu doprinosa elektrane nesimetričnosti napona.

#### 6. Zaključke i preporuke

Zaključci i preporuke sadržavaju glavne ishode i rezultate mjerenja. Na kraju svih mjerenja vezano za fotonaponsku elektranu zaključuje se da ista utječe na smanjenje gubitaka u mreži nakon priključenja. Utjecaj elektrane na bilo kakve smetnje i nesimetrije u mrežu je neznatan i svi zahtjevi Mrežnih pravila su zadovoljeni.

### 6.2. Elaborat podešenja zaštite (EPZ)

Elaborat podešenja zaštite je dokument koji se izrađuje s ciljem utvrđivanja vrijednosti karakterističnih veličina za djelovanje zaštite i izbor podešenja zaštite koji će zadovoljiti zahtjeve

vezane za selektivnost, brzinu, osjetljivost i rezervu. U elaboratu se nalazi skup simulacija kvarova i poremećaja koji se mogu pojaviti za vrijeme pogona elektroenergetske mreže i elektrane. Elaborat podešenja zaštite koristi se podacima iz elaborata utjecaja elektrane na mrežu, na primjer podacima tokova snage i kratkih spojeva.

Okvirni sadržaj elaborata podešenja zaštite (EPZ):

- Prikaz osnovnih tehničkih parametara elektrane
- Prikaz razmatrane distribucijske elektroenergetske mreže
- Prikaz trenutnog podešenja zaštita
- Utjecaj priključenja elektrane na struje kratkog spoja
- Prijedlog podešenja nadstrujnih zaštita
- Zaštita od otočnog rada (podešenja naponskih i frekventnih zaštita)
- Automatski ponovni uklop (APU)
- Preporuke o podešenju zaštite
- I-t krivulje podešenja nadstrujnih zaštita
- Shema podešenja svih zaštita

Za elaborat podešenja zaštite, uzet je primjer sustava od 120 kW navedene elektrane snage 230 kW. Elaborat sadržava sljedeće stavke:

1. Relevantne propise za izradu elaborata

Relevantni propisi za izradu elaborata odnose se na opće zahtjeve za priključenje na distribucijsku elektroenergetsku mrežu prema Mrežnim pravilima, tehničke uvjete za priključenje postrojenja i instalacije korisnika mreže prema Mrežnim pravilima,

2. Osnovne podatke o elektrani

Osnovni podaci o elektrani dani su slično kao i u elaboratu utjecaja elektrane na mrežu uz dodatak prikaza osnovnih tehničkih parametara zaštite elektrane.

3. Osnovne tehničke parametre okolne distribucijske mreže

Osnovni tehnički parametri okolne distribucijske mreže u elaboratu podešenja zaštite daju informacije o tehničkim parametrima transformatorskih stanica i sredjenaponskih nadzemnih vodova, karakterističnim pogonskim stanjima u normalnim i izvanrednim



okolnostima i ulazni podaci za proračun tokova snaga u okolini fotonaponske elektrane. Također u poglavlju se nalaze podaci o podešenjima relejne zaštite.

#### 4. Analizu selektivnosti podešenja zaštite

Analiza selektivnosti podešenja zaštite provodi se u programskom paketu, a vrši se tako da se provode simulacije za trofazne, dvofazne i jednofazne kratke spojeve za bliske, srednje udaljene i udaljene kratke spojeve za slučajeve kada se mjesto kvara napaja od strane mreže i izmjenjivača suprotnim smjerom njihovog udjela u ukupnoj struji i istim smjerom njihovog udjela u ukupnoj struji.

Primjer: dvofazni kratki spoj na sabirnicama niskonaponske izabrane skupine izmjenjivača Impedancija na mjestu kvara iznosi  $0 \Omega$ . Kratki spoj nastupa u trenutku  $t=500$  ms, a simulacija počinje u trenutku  $t=-100$  ms. Trajanje simulacije iznosi 2000 ms. Simulacijom su dobiveni rezultati da nakon 44 ms od trenutka kvara dolazi do pobude nadstrujnog člana zaštite prekidača u izmjeničnoj razdjelnici i otvaranje kontakata prekidača. Nakon 198 ms dolazi do pobude podnaponske zaštite na izmjenjivačima i dolazi do odvajanja fotonaponske elektrane od mreže. U elaboratu navedene simulacije i grafovi su popraćeni shematski.

#### 5. Prijedlog konačnog podešenja zaštite

Prijedlozi konačnog podešenja zaštite dani su za glavni razdjelni ormar elektrane i za izmjeničnu razdjelnicu fotonaponskog sustava. Za transformatorsku stanicu u distribucijskoj mreži nema promjene postojećih podešenja zaštite.

### 6.3. Mjerenja i ispitivanja

Provjerom ispravnosti instalacija i funkcionalnim ispitivanjima utvrđuje se jesu li izvedeni radovi u skladu s projektnom dokumentacijom i odrađuju li pojedini sustavi postrojenja funkciju za koju su predviđeni na nesmetan i siguran način. Na primjeru instalirane elektrane 230 kW vršena su mjerenja s ciljem utvrđivanja izvođenja električne instalacije u skladu s Tehničkim propisom za niskonaponske električne instalacije. To uključuje sljedeće aktivnosti:

- Vizualan pregled mehaničkih spojeva, primjerice pregled načina spajanja i montaže fotonaponskih modula, pregled priključenih kabela istosmjerne i izmjenične strane te

uzemljenje pretvarača – pregledom je utvrđeno da su sve instalacije ispravno realizirane i da zadovoljavaju kriterije

- Provjera korektnosti izvedbe spojeva prema električnim shemama – pregledom je utvrđeno da su izvedbe spojeva napravljene u skladu s električnim shemama
- Mjerenje otpora izolacije – izvršeno je mjerenje otpora izolacije vodiča između aktivnih vodiča i zaštitnog vodiča spojenog na instalaciju. Mjerenje je vršeno naponom iznosa 500 V i istosmjernom strujom pri isključenim trošilima. Minimalni dozvoljeni otpor izolacije iznosi 1 M $\Omega$ . Dobiveni rezultati zadovoljavaju kriterije.
- Mjerenje otpora uzemljenja i izjednačavanje potencijala – dobiveni rezultati zadovoljavaju kriterije
- Mjerenje impedancije petlje kvara i struje kvara
- Mjerenje impedancije voda/struje kratkog spoja i pad napona
- Utvrđivanje redoslijeda faza
- Test ispravnog spoja PE sabirnice

Kvaliteta električne energije podrazumijeva mjerenja koja potencijalno uključuju odstupanja od referentnih vrijednosti u točki elektroenergetskog sustava. Svaki korisnik elektroenergetske mreže dužan je svoje negativna djelovanja prema mreži svesti unutar propisima prihvatljivih granica. Kvaliteta električne energije se referira prema Mrežnim pravilima i normi EN 50160, a mjerenja i analiza se sastoji od sljedećih aktivnosti:

- Mjerenje i izračuni svih parametara električne energije
- Zapis valnih oblika dinamičkih događanja
- Statistička obrada prema normi EN 50160

Prema pravilima operativnog distribucijskog sustava, mjerenja se provode u trajanju od 14 dana: 7 dana prije puštanja elektrane u pokusni rad i 7 dana za vrijeme pokusnog rada.

## 7. ZAKLJUČAK

Gradnja fotonaponskog postrojenja predstavlja veliki izazov za sve sudionike koji sudjeluju u projektu izgradnje. Kako bi se započeo projekt gradnje i instalacije elektrane, potrebno je utvrditi razloge izgradnje koji mogu biti sljedeći: pokrivanje vlastitih potreba i proizvodnja i prodaja električne energije. Fotonaponsko postrojenje može biti priključeno na elektroenergetsku mrežu (engl. on-grid) i može biti samostalno te raditi kao otočni sustav (engl. off-grid). Za priključak na elektroenergetsku mrežu potrebno je ispuniti niz uvjeta koji postavlja lokalni operater distribucijskog sustava. Ispunjenjem tih uvjeta izdaje se suglasnost za priključkom. Inženjeri su dužni prikladno dimenzionirati kompletan fotonaponski sustav uključujući pretvarače, fotonaponske module, kabele, vodiče i zaštitne uređaje. Nakon instalacije, potrebno izraditi dokumente koji sadrže mjerenja i simulacije utjecaja elektrane na mrežu. Osim toga daje se prijedlog podešenja zaštite i vrše se mjerenja kvalitete električne energije. Time se utvrđuje je li izgrađena elektrana u skladu s normama i pravilnicima i hoće li svaki dio fotonaponskog sustava svoje funkcije obavljati na siguran i nesmetan način.

## LITERATURA

- [1] Šljivac, Damir; Topić, Danijel: *Obnovljivi izvori električne energije*; Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
- [2] Svarc, Jason: Solar Panel Construction, 2020., URL:  
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>  
[14.9.2022.]
- [3] Xiao, Weidong; *Photovoltaic Power System, Modeling, Design and Control*; Wiley, 2017
- [4] Budrick, Joseph; Schmidt, Philip: *Install your own Solar Panels*, Storey Publishing, 2017
- [5] Fotonaponska postorjenja, Schrack tehnički priručnik
- [6] What is the difference between monocrystalline and polycrystalline solar panels, URL:  
<https://quebecsolar.ca/what-is-the-difference-between-monocrystalline-and-polycrystalline-solar-panels/> [17.9.2022]

## SAŽETAK

Diplomski rad „Instaliranje fotonaponskih postrojenja“ bavi se opisom realizacije projekta za izgradnju fotonaponske elektrane, odnosno fotonaponskog postrojenja. U radu su raščlanjeni dijelovi elektrane, počevši s osnovnom jedinicom elektrane, fotonaponskim modulom koji se sastoji od niza fotonaponskih ćelija. Prikazano je kako se spajanjem fotonaponskih modula mogu dobiti upotrebljivi iznosi napona i struja. Za prikaz procesa instalacije uzet je primjer elektrane instalirane snage 230 kW s priključkom na elektroenergetsku mrežu koja je podijeljena u dva fotonaponska sustava. Daje se detaljan popis opreme uključujući tehničke karakteristike korištenih pretvarača i modula. Opisan je redosljed montažnih radova s popratnim fotografijama pojedinih dijelova montaže. Nakon toga navedeni su elaborati utjecaja elektrane na elektroenergetsku mrežu i elaborat podešenja zaštite te opisana su dodatna mjerenja koja su potrebna da bi se elektrana mogla sigurno i bez smetnji pustiti u pogon.

Ključne riječi: fotonaponsko postrojenje, fotonaponski modul, instalirana snaga, elektroenergetska mreža, mjerenja

## **ABSTRACT**

The Master thesis "Installation of photovoltaic plants" deals with the description of the project implementation for the construction of a photovoltaic power plant. The paper breaks down the parts of the power plant, starting with the basic unit of the power plant, the photovoltaic module, which consists of a series of photovoltaic cells. It is shown how usable amounts of voltage and current can be obtained by connecting photovoltaic modules. To illustrate the installation process, an example of a power plant with an installed power of 230 kW with a connection to the power grid, which is divided into two photovoltaic systems, is taken. A detailed list of equipment is given, including the technical characteristics of the used inverters and modules. The sequence of assembly works is described with accompanying photos of individual assembly parts. After that, studies of the influence of the power plant on the electric power network and the study of protection settings are listed, and additional measurements are described, which are necessary in order for the power plant to be put into operation safely and without problems.

Keywords: photovoltaic plant, photovoltaic module, installed power, electric power network, measurements

## **ŽIVOTOPIS**

Luka Golić rođen je 9. lipnja 1998. godine u Slavonskom Brodu. Osnovnu školu pohađa u Slavonskom Brodu i završava ju 2013. godine. Iste godine upisuje Klasičnu gimnaziju fra Marijana Lanosovića u Slavonskom Brodu koju uspješno završava 2017. godine, polaže državnu maturu te upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini studija odabire izborni blok elektroenergetike. Preddiplomski studij je završio 2020. godine i stekao naziv sveučilišni prvostupnik inženjer elektrotehnike i informacijske tehnologije (univ.bacc.ing.el.techn.inf.). Iste godine nastavlja obrazovanje na diplomskom studiju elektrotehnike, smjer Održiva elektroenergetika. Govori engleski i njemački jezik. Tijekom studiranja upoznao se s različitim softverskim paketima: AUTOCAD, EPlan, EasyPower, PowerFactory, PVSol...