

# PROJEKTIRANJE I INSTALACIJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE, HODOGRAM AKTIVNOSTI ZA DOBIVANJE DOZVOLA

---

Antičević, Jerko

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:003317>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Prijediplomski stručni studij Elektroenergetika

**JERKO ANTIČEVIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**PROJEKTIRANJE I INSTALACIJA FOTONAPONSKE  
ELEKTRANE, HODOGRAM AKTIVNOSTI ZA  
DOBIVANJE DOZVOLA**

Split, kolovoz 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Prijediplomski stručni studij Elektroenergetika

**Predmet:** Osnove elektroenergetike

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Jerko Antičević

**Naslov rada:** Projektiranje i instalacija fotonaponske elektrane, hodogram aktivnosti za dobivanje dozvola

**Mentor:** dr. sc. Slobodanka Jelena Cvjetković, prof. struč. stud.

**Komentor:** Toni Karabatić, pred.

Split, kolovoz 2023.

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| SAŽETAK.....  | 1  |
| SUMMARY .....   | 2  |
| 1. UVOD .....   | 3  |
| 2. FOTONAPONSKI SUSTAVI .....                                     | 5  |
| 2.1. Sunčevo zračenje.....  | 5  |
| 2.2. Fotonaponski efekt .....                                     | 7  |
| 2.3. Fotonaponska ćelija.....                                     | 7  |
| 2.4. Podjela fotonaponskog sustava .....                          | 11 |
| 2.5. Fotonaponski moduli i nizovi.....                            | 14 |
| 2.6. Izmjenjivači.....  | 17 |
| 2.7. Baterije u fotonaponskom sustavu .....                       | 19 |
| 3. HODOGRAM AKTIVNOSTI ZA DOBIVANJE DOZVOLA.....                  | 21 |
| 3.1. Proces realizacije solarne elektrane.....                    | 21 |
| 3.2. Uvjeti gradnje.....  | 22 |
| 3.3. Izrada projekta.....   | 23 |
| 3.4. Priključenje elektrane i zamjena brojila .....               | 24 |
| 3.5. Priključenje kupca(kućanstva) s vlastitom proizvodnjom ..... | 25 |
| 3.6. Poticaji za solarne elektrane .....                          | 26 |
| 4. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE.....                      | 28 |
| 4.1. Projektiranje obiteljske kuće Antičević.....                 | 28 |
| 4.2. Analiza fotonaponske elektrane Antičević.....                | 39 |
| 4.3. Zaštita fotonaponske elektrane.....                          | 41 |
| 5. ZAKLJUČAK .....  | 43 |
| 6. LITERATURA.....  | 44 |
| 7. POPIS SLIKA .....  | 46 |
| 8. POPIS TABLICA.....   | 48 |

## SAŽETAK

# PROJEKTIRANJE I INSTALACIJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE, HODOGRAM AKTIVNOSTI ZA DOBIVANJE DOZVOLA

Projektiranjem i instalacijom fotonaponske elektrane pomoću programskog paketa PV SOL premium, pokazati će se važnost fotonaponskih elektrana kao glavnog izvora za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora (energije Sunca), osobito za samoopskrbu i energetska neovisno kućanstva. U radu obraditi će se teorijski fotonaponski sustavi, fotonaponska pretvorba, te elementi fotonaponskog sustava kao što su fotonaponska ćelija, fotonaponski modul, baterije i izmjenjivači. Objasniti će se i detaljno prikazati rad u programskog paketa PV SOL premium. To je program koji služi za simulaciju i analizu, projektiranje i instalaciju fotonaponskih sustava, te omogućava optimizaciju parametara za bolje iskorištavanje solarnog potencijala, kako bi se osigurala maksimalna energetska učinkovitost i ekonomska isplativost. U radu će se opisati postupak izrade projekta fotonaponske elektrane u PV SOL-u na primjeru projekta „Obiteljska kuća Antičević“, te će se objasniti hodogram aktivnosti za dobivanje dozvola (proces realizacije solarne elektrane), da bi se pustila u pogon jedna solarna elektrana na krovu obiteljske kuće.

**Ključne riječi:** električna energija, fotonaponski sustav, fotonaponska elektrana, PV-SOL premium, hodogram aktivnosti.

## SUMMARY

# DESIGN AND INSTALLATION OF A SOLAR POWER PLANT, SCHEDULE OF ACTIVITIES FOR OBTAINING A PERMIT

Designing and installing a photovoltaic power plant using the PV SOL premium program package will demonstrate the importance of the photovoltaic power plant as the main source for the production of electricity from renewable sources (energy from the Sun), especially for self-supply and energy-independent households. Theoretical photovoltaic systems, photovoltaic conversion, and photovoltaic system elements such as photovoltaic cell, photovoltaic module, batteries and exchangers will be covered in the paper. The work of the program package PV SOL premium will be explained and shown in detail. It is a program that serves for simulation and analysis, design and installation of photovoltaic systems, and enables the optimization of parameters for better utilization of solar potential, in order to ensure maximum energy efficiency and economic profitability. The paper will describe the process of developing a photovoltaic power plant project in PV SOL using the example of the "Family House Antičević" project, and will explain the activity schedule for obtaining permits (the process of realization of a solar power plant) in order to put one solar power plant into operation at the roof of the family house.

**Keywords:** electrical energy, photovoltaic system, photovoltaic power plant, PV-SOL premium, activity schedule.

## 1. UVOD

Obnovljivi izvori energije su: energija vjetra, energija sunčevog zračenja, biomasa i bioplin, energija vodnih snaga, energija mora, geotermalna energija, itd. Korištenje fosilnih goriva, kao glavnog izvora energije, dovodi do emisije velikih količina stakleničkih plinova, što doprinosi globalnom zagrijavanju i klimatskim promjenama. Za razliku od fosilnih goriva koja su ograničena i oslanjaju se na resurse koji se iscrpljuju, obnovljivi izvori, poput sunčeve energije i energije vjetra, su neiscrpn i dostupni gotovo svuda. Ta činjenica pruža dugoročno energetske rješenje. Prebacivanjem na obnovljive izvori energije smanjuj se negativni utjecaji na okoliš, pomaže se smanjenju emisija stakleničkih plinova, te se zaštićuje kvaliteta zraka i vode. U današnje vrijeme, potreba za održivim i čistim oblikom energije postaje sve važnija, stoga obnovljivi izvori energije su rješenje za osiguranje energetske neovisnosti uz minimalan negativan utjecaj na okoliš.

Razvoj obnovljivih izvora energije dovodi do ekonomske koristi i otvaranja novih radnih mjesta, te potrebe za specijaliziranim radnim kadrom i edukacijom za razvoj i stvaranja takvog kadra. Industrija obnovljivih izvora energije stvara nova radna mjesta u mnogim sektorima, uključujući inženjering, proizvodnju, instalaciju i održavanje sistema. Ova industrija podržava lokalne ekonomije i doprinosi razvoju tehnoloških inovacija. Napokon, prelazak na obnovljive izvori energije smanjuje energetske zavisnost i povećava energetske sigurnost. Zemlje koje oslanjaju svoj energetske miks na raznolike obnovljive izvori manje su podložne geopolitičkim nestabilnostima i promjenama cijena fosilnih goriva.

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća iskorištenje energije sunca, poznato kao solarna energija, doživjelo je značajan razvoj. Solarna tehnologija je postala učinkovitija i pouzdanija. Prva poluvodička Si sunčeva ćelija proizvedena je 1954.g u Bellovom laboratoriju s iskoristivošću od 6%, ćelija je proizvodila jedan wat električne snage po žarkom suncu i koštala je \$250, u usporedbi sa \$2-\$3 za elektranu na ugljen. Daljnjim razvojem tehnologije, poboljšanjem tehničkih karakteristika, povećanjem učinkovitosti, danas moduli imaju i do 25% učinkovitosti, maksimalne snage jednog modula do 600 W.

S vremenom, cijena proizvodnje solarnih komponenata, poput fotonaponskih panela, znatno je smanjena, prema izvješću IPPC-a (međuvladin panel o promjeni klime) u razdoblju od 2010. do 2019. troškovi solarnih panela su se smanjili za 85%. To je omogućilo širu dostupnost solarnih rješenja i povećalo ekonomsku isplativost ulaganja u obnovljivu energiju.

Uključivanje solarnih sustava u električne mreže omogućilo je povrat električne energije u mrežu kad se proizvede više energije nego što je trenutno potrebno, višak energije se može skladištiti u baterije. Fotonaponski sustavi s baterijama mogu smanjiti ovisnost o električnoj mreži. Tijekom dana, solarni paneli pune baterije, dok noću ili u uvjetima niskog sunčevog zračenja, baterije nadopunjuju sustav, čime se smanjuju troškovi električne energije iz mreže. U slučaju prekida opskrbe električnom energijom s mreže, fotonaponski sustavi s baterijama mogu pružiti rezervno napajanje. Na taj način, baterije u fotonaponskim sustavima poboljšavaju pouzdanost, efikasnost i neovisnost sustava o mreži, čineći ih sve atraktivnijim izvorom obnovljive energije za kuće, poduzeća i industrije. Sve ovo je promoviralo širenje solarnih sustava, budući da su postali izvor prihoda i sigurnost opskrbe električne energije za vlasnike. Također promoviranje i ulaganje u obnovljive izvore energije, solarnu energiju potaknula je vlada brojnim poticajima i subvencijama za ugradnju.

Sve veća efikasnost, ekonomska isplativost i ekološka osviještenost dovode do šireg prihvaćanja solarnih rješenja kao ključnog dijela tranzicije prema održivijem energetsom sustavu.

U prvom dijelu rada objasnit će se fotonaponski sustav, komponente fotonaponskog sustava, principa rada, osnove pretvaranja sunčeve energije u električnu. Nakon toga objasnit će i analizirati cijeli proces realizacije solarne elektrane (od dobivanja dozvola, izrade projekta do puštanja u pogon same elektrane na elektroenergetsku mrežu itd.). Također napraviti će se projekt i instalacija obiteljske kuće Antičević pomoću programskog paketa PV SOL kao primjer jednog fotonaponskog sustava.

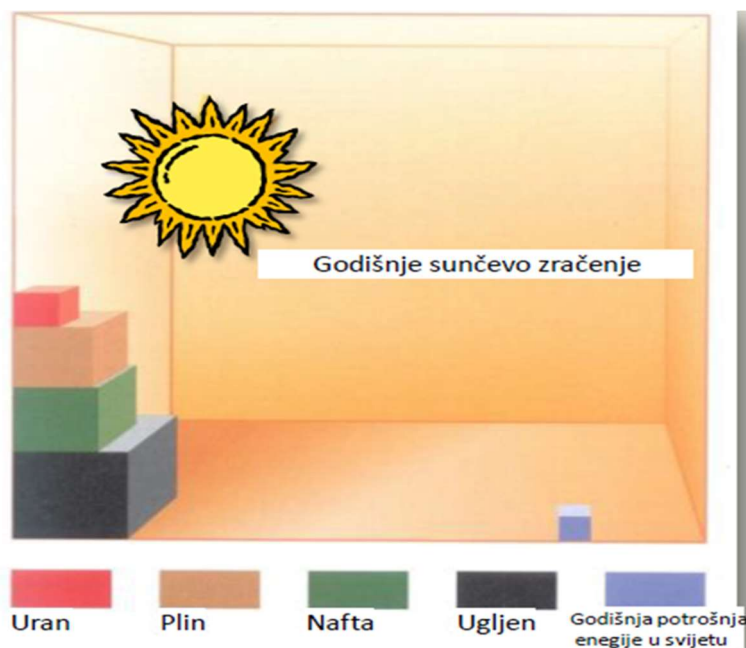


## 2. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Fotonaponski sustav je skup komponenti koji se koristi za proizvodnju i distribuciju električne energije pomoću fotonaponskih ćelija ili solarnih panela. Ovi sistemi koriste svjetlosnu energiju, uključujući Sunčevu svjetlost, kako bi proizveli električnu energiju za napajanje uređaja, kućanstava, industrijskih postrojenja i drugih električnih potreba.

### 2.1. Sunčevo zračenje

Sunčeva energija u obliku sunčevog zračenja na Zemlju šalje velike količine svjetlosti i topline, stvarajući neizmjeran potencijal za energetska proizvodnja i održivost. Sunčevo zračenje je elektromagnetno zračenje koje dolazi od Sunca. To je energija koja se širi kroz svemir u obliku elektromagnetskih valova različitih dužina i frekvencija. Na površini Zemlje, sunčevo zračenje može se iskoristiti na razne načine. Jedan od načina iskorištavanja je pomoću solarni panela (fotonaponskih ćelija), koji apsorbiraju fotone iz Sunčeve svjetlosti i koriste ih za proizvodnju električne energije. Slika 2.1. prikazuje ukupno godišnje sunčevo zračenje koje se uputi sa Sunca prema Zemlji u odnosu na druge oblike energije kao što su uran, plin, nafta i ugljen. Sunce svakog sata na Zemlju dozrači gotovo dovoljno energije za pokrivanje ukupne svjetske potrošnje u godini dana, stoga ima ogroman potencijal iskorištenja. [1]

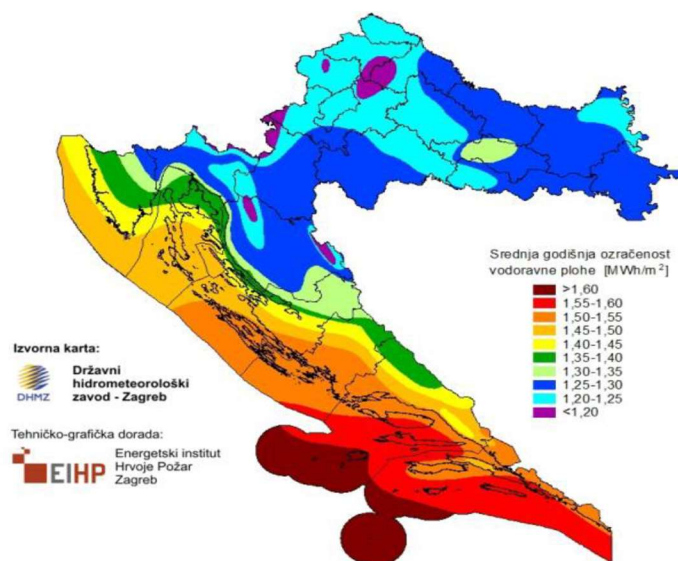


Slika 2.1. Godišnje sunčevo zračenje [2]

Razlikujemo tri osnovne vrste solarne energije su:

- fotonaponska solarna energija (PV solar), ovo je najčešći način iskorištavanja solarnog zračenja. Fotonaponske ćelije, poznate i kao solarni paneli, apsorbiraju fotone iz Sunčeve svjetlosti i pretvaraju ih u električnu energiju putem fotoelektričnog efekta. Ova energija može se koristiti za napajanje električnih uređaja, kućanstava, industrijskih postrojenja i još mnogo toga.
- Solarna toplinska energija: solarni paneli, ova tehnologija se koristi za direktnu pretvorbu solarne energije u toplinu uglavnom za grijanje vode.
- Koncentrirana solarna energija (CSP), ova tehnologija koristi ogledala ili leće kako bi se koncentrirala Sunčeva svjetlost na jedno mjesto, obično na posebne prijemnike fluida. Zagrijani fluidi proizvode paru koja pokreće turbine i proizvodi električnu energiju. CSP sistemi često se koriste za velike elektrane i mogu čuvati toplinsku energiju za noćno korištenje ili oblačne dane.

Osnovna karakteristika sunčeve energije je zračenje na promatranj točki u određenom vremenskom periodu. Kod sunčevog zračenja bitna je insolacija, kojom se definira vremensko trajanje sunčevog zračenja koje dopire do Zemljine površine. Na temelju insolacije moguće je procijeniti energiju zračenja, u prosjeku cca 4.5 [kWh/m<sup>2</sup>] kroz 24 sata na području Republike Hrvatske, RH. Snaga sunčevog zračenja po metru kvadratnome iznosi 187.5 [W/m<sup>2</sup>] što se dobilo dijeljenjem insolirane sunčeve energije s 24 sata. Na godišnjoj procjeni sunčevo zračenje iznosi 1.6 [MWh/m<sup>2</sup>] što je prikazano i na slici 2.2.



Slika 2.2. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe ukupnim Sunčevim zračenjem na području Republike Hrvatske [3]

## 2.2. Fotonaponski efekt

Godine 1839. francuski fizičar A. E. Becquerel je otkrio, da kada se osvijetle platinaste elektrode u otopini, na njima se pojavljuje elektromotorna sila (napon), te je 1904. Einstein tu pojavu objasnio kao fotonaponski efekt.

Fotonaponska pretvorba, fotonaponski efekt ili fotonaponski proces, je fenomen u kojem se svjetlosna energija pretvara u električnu energiju. Ovaj proces je osnova fotonaponskih ćelija ili solarnim panelima kako bi se proizvela električna energija iz Sunčeve svjetlosti. Sunčeva svjetlost se sastoji od fotona. Foton je elementarna čestica svjetlosti i elektromagnetnog zračenja, nema masu ni električni naboj.

Energiju fotona možemo definirati izrazom:

$$E = h * \nu$$

Gdje je:

$h$  – Planckova konstanta:  $6,625 \cdot 10^{-34}$  Js,

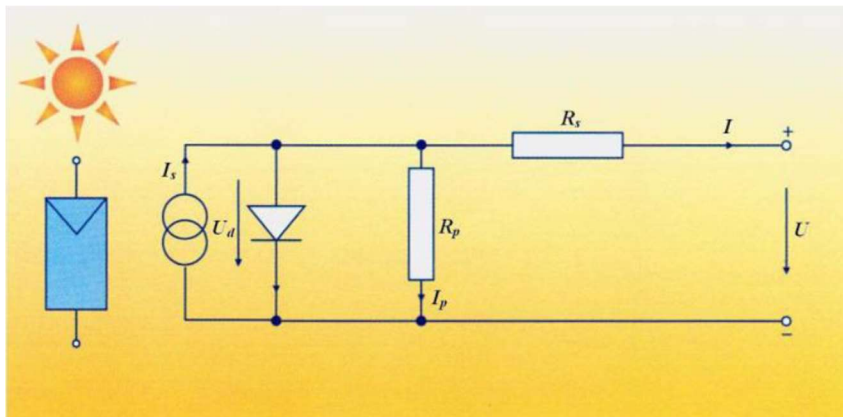
$\nu$  – frekvencija fotona obrnuto proporcionalna valnoj duljini [3].

Osvjetljenjem ćelije apsorbirani fotoni proizvode parove elektron-šupljina. U koliko se absorpcija dogodi u blizini ili unutar PN-spoja unutrašnje električno polje odvaja nastali elektron i šupljinu. Elektron se kreće prema N- spoju a šupljina prema P-spoju, te zbog sakupljanja elektrona i šupljina na odgovarajućim stranama dolazi do induciranja elektromotorne sile na krajevima fotonaponske ćelije. Osvjetljenjem ćelije P dio postaje pozitivan a N dio negativan, te spajanjem potrošača na krajevima izvoda dolazi do prolaska struje kroz trošilo i ćeliju.

## 2.3. Fotonaponska ćelija

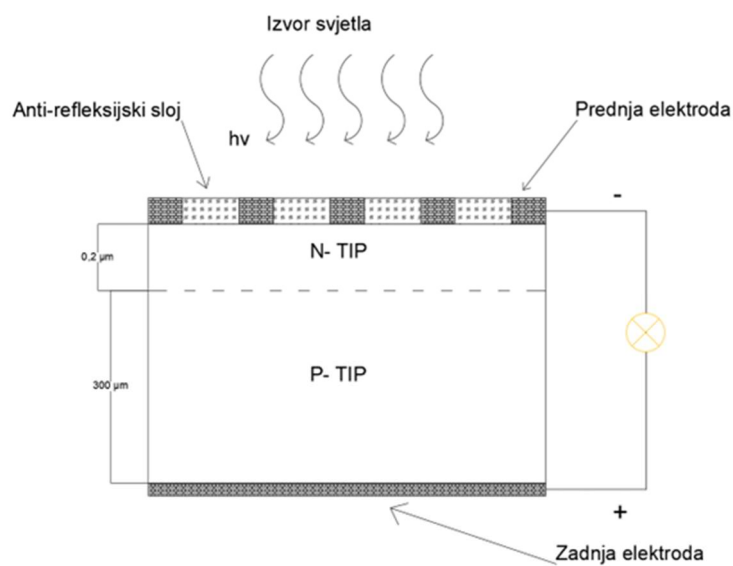
Fotonaponske ćelije izrađuju se od poluvodičkih materijala. To su zapravo diode sastavljene spajanjem P-tipa(koncentracija šupljina veća od koncentracije elektrona) i N-tipa(ekstrinzičan poluvodič, koncentracija elektrona veća od koncentracije šupljina) poluvodiča. Osnovno svojstvo P-N spoja je njegovo ispravljачko djelovanje

Slika 2.3. predstavlja nadomjesnu shemu fotonaponske ćelije. Kada spektar Sunčeva elektromagnetskoga zračenja obasja diodu  $U_d$ , stvaraju se slobodni nosioci naboja, elektroni. Takvo stanje FN modula predstavljamo strujnim izvorom  $I_s$  paralelno spojenim sa diodom  $U_d$ , gdje jakost struje izravno ovisi o intenzitetu Sunčeva zračenja. Serijski otpor  $R_s$  predstavlja gubitke u poluvodiču i metalnim kontaktima, poželjno je da bude što manji, paralelni otpor  $R_p$  ovisi o kvaliteti poluvodiča i tehnologiji izrade ćelije.



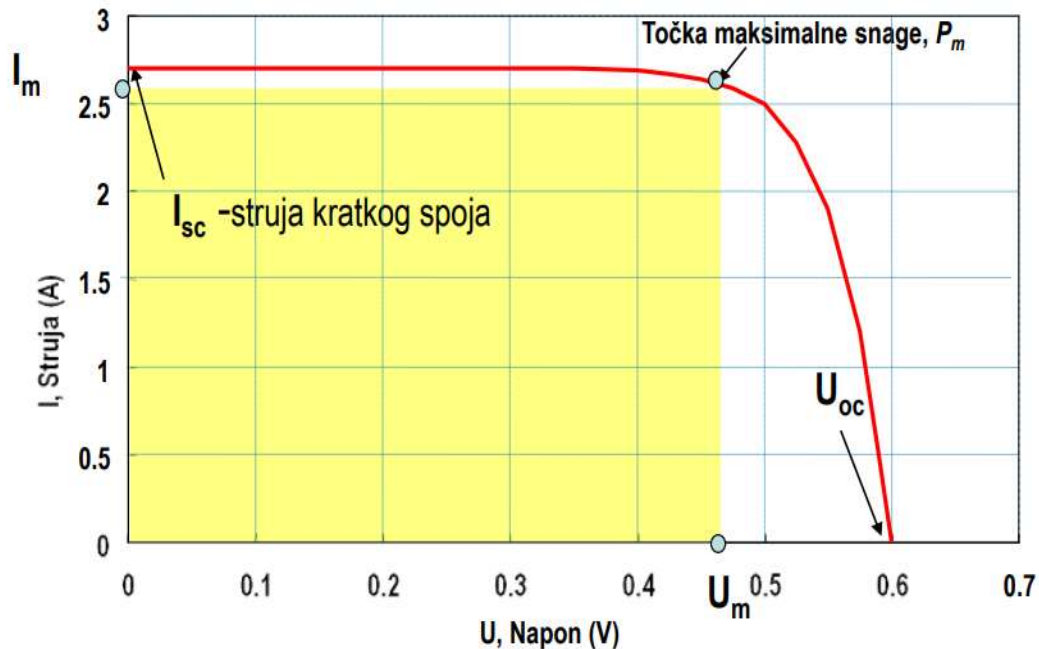
Slika 2.3. Nadomjesna shema FN ćelije [4]

Na prednjoj strani ćelije nalazi se metalna rešetka, prikazano na slici 2.4., koja ne pokriva više od 5 [%] površine te nema nekog velikog utjecaja pri proizvodnji. Stražnji dio se sastoji od metalnog kontakta prikazano na slici 2.4.



Slika 2.4. Fotonaponska ćelija [5]

Solarna ćelija uz prisutnost energije svjetla kontakt na P strani postaje pozitivan a na N strani postaje negativan. Napon na ćeliji se obično kreće između 0.5-0.7 [V] prikazano na slici 2.5. dok je gustoća struje par desetaka [mA/cm<sup>2</sup>], da bi se ostvarili navedeni iznosi potrebno i udovoljiti razinu svjetlosti.



Slika 2.5. U-I karakteristika fotonaponske ćelije [5]

Karakteristični parametri solarne ćelije:

- Struja kratkog spoja  $I_{KS}$  - (kratkospojene stezaljke) ćelije, napon ćelije  $U=0V$
- Napon praznog hoda  $U_{PH}$  - (otvorene stezaljke) ćelije, struja ćelije  $I=0A$ , tipična vrijednost kod standardnih Si ćelija iznosi 600mV
- Točka maksimalne snage  $P_{MPP}$  - je radna točka u kojoj ćelija predaje trošilu maksimalnu snagu (ovisi o temperaturi i ozračenosti)
- Struja  $I_{MPP}$  - je struja ćelije u točki maksimalne snage
- Napon  $U_{MPP}$  - je napon ćelije u točki maksimalne snage
- Faktor punjenja  $F$  – je omjer maksimalno moguće snage i idealne snage koju ćelija može predati trošilu (obično u rasponu 0,7- 0,9):

$$F = \frac{P_{MPP}}{U_{PH} * I_{KS}} = \frac{U_{MPP} * I_{MPP}}{U_{PH} * I_{KS}}$$

- „Poželjno je da je faktor punjenja što veći, za idealnu ćeliju jednak je jedan. Silicijske komercijalne ćelije imaju faktor punjenja oko 0,83, a galij-arsenidne oko 0,89.
- Učinkovitost ćelije - se definira kao omjer dobivene električne snage iz ćelije i snage Sunčevog zračenja koje je upalo na površinu ćelije:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{Sunca}} = \frac{U_{PH} * I_{KS} * FF}{P_{Sunca}}$$

- Učinkovitost ćelije ovisi o upadnom spektru, jačini zračenja i temperaturi fotoćelije [4].

Postoji nekoliko tehnologija i vrsta fotonaponskih ćelija, da bi se pristupilo projektiranju sustava potrebno je poznavati tehnologije fotonaponskih panela.

Monokristalni silicij je solarna ćelija izrađena od čistog kristala te ima jednoliko raspoređene rešetke crne boje. Postignuta efikasnost je između 22-24 [%]. Međutim, efikasnost im se postepeno smanjuje za otprilike 0.5 [%] godišnje. Vijek trajanja je 25-30 godina. Cijena na tržištu se smanjila, u odnosu na prethodne godine. S toga se ove ćelije više implementiraju u odnosu na ostale vrste.

Polikristalni silicij izrađuje se iz tekućeg silicija te se ulijeva u blokove koji se zatim režu u ploče. U procesu skrućivanja materijala stvaraju se kristalne strukture različitih veličina te zbog nejednolikosti ovakva ćelija ima učinkovitost između 10-14 [%]. Vijek trajanja je 20-25 godina.

Amorfni silicij, tehnologija „tankog filma“, proizvodi se metodom nanošenja silikonskog filma na podlogu stakla. Na ovaj način koristi se manje silicija pa je moguće imati fleksibilnu fotonaponsku ploču. Učinkovitost je 6 [%], a životni vijek 15-20 godina. Amorfni silicij manje se pregrijavan te mu se zbog toga ne smanjuju performanse.

Kadmij telurid CdTe su vrsta tankoslojne solarne tehnologije. Implementacija ovih ćelija bilježi stalni rast zbog niže cijene i bolje učinkovitosti, koja iznosi 16 [%]. Glavna prednost je glede „hvatanja“ kraćih valnih duljina svjetlosti u odnosu na ostale tehnologije. To znači da pri difuznom svjetlu proizvode više energije. Nedostatak je otpad kojeg je potrebno skladištiti zbog toksičnih utjecaja na okoliš.

Bakar indij galij selenid CIGS je materijal za solarne ćelije koji ne sadrži toksični Cd, te ima učinkovitost iznad 20 [%]. CIGS spadaju pod tankoslojne fotonaponske tehnologije koji su trenutno optimalne u pogledu njihove učinkovitosti. Ova tehnologija posjeduje fleksibilnost tijekom rada te pokazuje dobru otpornost na zagrijavanje.

Organski materijali se izrađuju u različitim debljinama i oblicima. Ove vrste su relativno lagane (u usporedbi sa silikonskim tehnologijama). Također, fleksibilne su i imaju relativno niske troškove izrade. Međutim, učinkovitost je svega oko 6 [%], te imaju kratak životni vijek.

Perovskit je mineral koji je ima tendenciju da postane materijal s najvišom korisnošću u odnosu na ostale materijale. Perovskit je materijal sam po sebi nestabilan i kada je izložen sunčevoj insolaciji brzo gubi na svojoj iskoristivosti. Jedna od velikih prednosti ovog materijala je što se paneli napravljeni od perovskita mogu proizvesti i do četiri puta brže nego solarni paneli. Iskoristivost im je oko 25 [%].

Također, za izradu fotonaponskih ćelija koriste se oksidi nekih materijala. Na primjer, Grafen se najčešće koristi kao oksid te su savitljivi i prozirni. Prednost im je što se mogu savijati te apsorbiraju veće količine svjetlost iz različitih kutova.

## **2.4. Podjela fotonaponskog sustava**

Fotonaponske sustav dijelimo na:

- Samostalne fotonaponske sustave (engl. off grid)
- Sustave priključene na mrežu (engl. on grid)

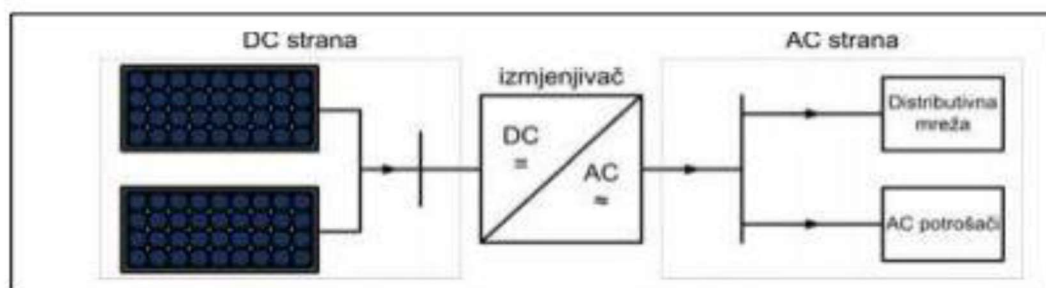
Mrežni fotonaponski sustavi (slika 2.7.), također poznati kao on-grid fotonaponski sustavi ili grid connected solarni sustavi, su solarni energetske sistemi koji su povezani na električnu mrežu. To znači da ovi solarni sustavi proizvode električnu energiju iz Sunčeve svjetlosti, ali također su povezani na lokalnu električnu mrežu, omogućavajući povrat električne energije natrag u mrežu. Mrežni fotonaponski sustavi koriste invertore kako bi pretvorili istosmjernu (DC) energiju koju proizvode solarni paneli u izmjeničnu (AC) energiju koja se koristi u električnim uređajima i mreži.

Ako mrežni fotonaponski sustav proizvodi više električne energije nego što je trenutno potrebno, taj višak energije može se usmjeriti nazad u električnu mrežu. To se naziva povratom energije u mrežu.

Mrežni fotonaponski sustavi (slika 2.6.), također poznati kao on-grid fotonaponski sustavi ili grid connected solarni sustavi, su solarni energetske sistemi koji su povezani na električnu mrežu. To znači da ovi solarni sustavi proizvode električnu energiju iz Sunčeve svjetlosti, ali također su povezani na lokalnu električnu mrežu, omogućavajući povrat električne energije natrag u mrežu. Mrežni fotonaponski sustavi koriste invertere kako bi pretvorili istosmjernu (DC) energiju koju proizvode solarni paneli u izmjeničnu (AC) energiju koja se koristi u električnim uređajima i mreži. Ako mrežni fotonaponski sustav proizvodi više električne energije nego što je trenutno potrebno, taj višak energije može se usmjeriti nazad u električnu mrežu. To se naziva povratom energije u mrežu.

Razlikujemo sljedeće izvedbe mrežnih fotonaponskih elektrana:

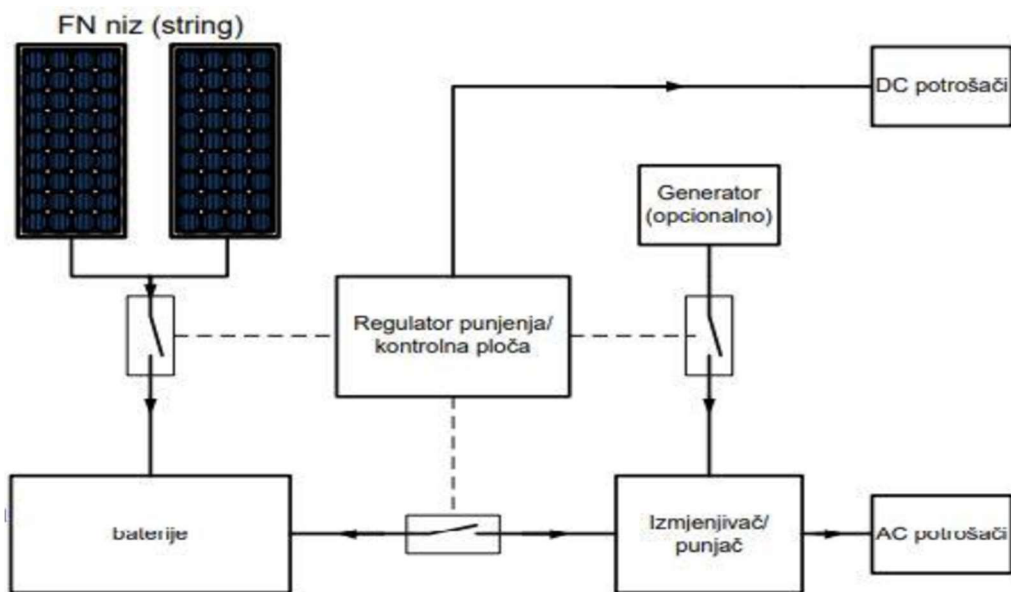
- Izvedbe s jednim izmjenjivačem (kod elektrana manjih snaga)
- Izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki fotonaponski niz (kod elektrana srednjih snaga)
- Izvedbe s više izmjenjivača (kod elektrana većih snaga) [4].



Slika 2.6. Mrežni (on-grid) fotonaponski sustav [4]

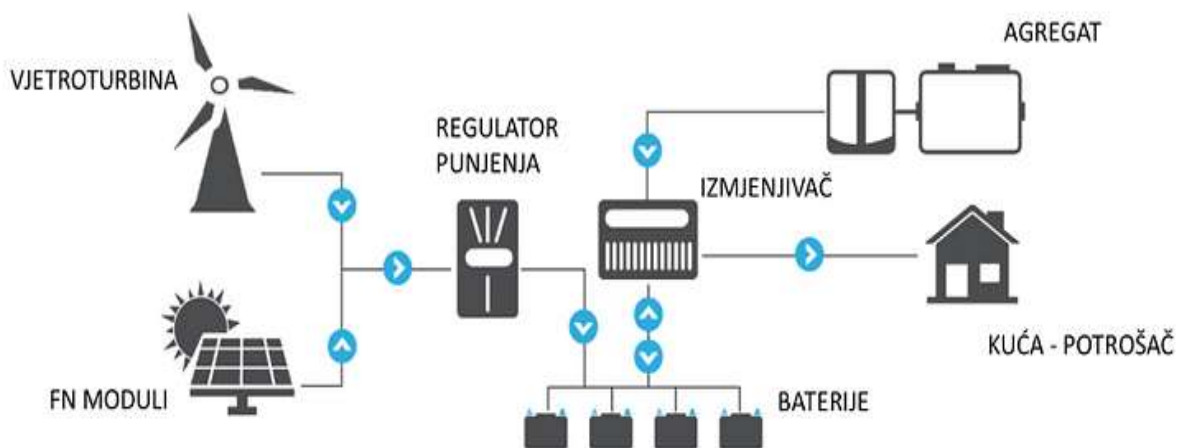
Samostalni off-grid fotonaponski sustav (slika 2.7.) je solarni energetske sustav koji nije povezan s centralnom električnom mrežom. Ovaj sustav koristi fotonaponske panele za proizvodnju električne energije i obično uključuje baterije ili neke druge spremnike za skladištenje viška energije kako bi se omogućilo napajanje uređaja i noću ili u periodima nedostatka sunčeve svjetlosti.





Slika 2.7. Samostalni (off-grid) fotonaponski sustav [4]

U nekim slučajevima (zbog visokih cijena baterija), off-grid sustavi mogu uključivati i rezervne generatora (vjetroatregat, dizel agregat ili gorive ćelije), koji se aktiviraju kada baterije nisu dovoljne za održavanje napajanja tijekom dužih perioda oblačnog vremena, tada se to naziva hibridni sustav slika 2.8. [4].

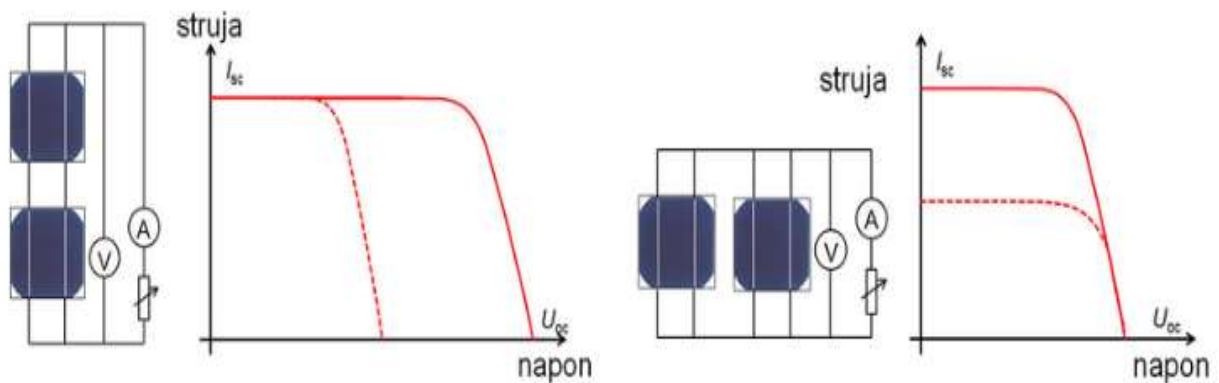


Slika 2.8. Hibridni fotonaponski sustav [4]

## 2.5. Fotonaponski moduli i nizovi

Fotonaponski modul je sastavljen iz solarnih ćelija. FN modul je najmanji i lako zamjenjivi dio generatora solarne elektrane. Sunčane ćelije međusobno se električki povezuju u vodonepropusno kućište tvoreći fotonaponski modul. FN modul je u osnovi električna serijska veza jednakih solarnih ćelija.

Više fotonaponskih modula može se povezati zajedno kako bi se formirao fotonaponski niz. Ovi moduli se obično povezuju paralelno ili serijski kao na slici 2.11. kako bi se postigao željeni napon i struja. Solarni paneli se povezuju jedan za drugim serijski, što povećava napon niza, a ako se povezuju paralelno tada bi se povećala ukupna struja niza. Ovisno o potrebnoj snazi, moduli se dalje mogu povezati da bi oblikovali niz, eng. string [6].



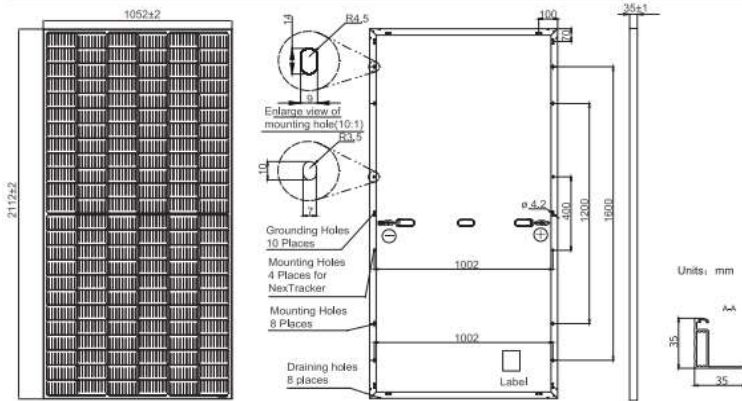
Slika 2.9. Grafički prikaz serijskog i paralelnog spajanja unutar strujnog kruga [5]

Snaga modula :  $P = U * I$   $P_{MPP} = U_{MPP} * I_{MPP}$

STC (Standard Test Conditions) - Osnovni električni podaci su izmjereni pri standardnim uvjetima ispitivanja, Proizvođači ih daju za točku MPP (Maximal Power Point).

Tehničke karakteristike fotonaponskih modula ovise o proizvođaču, tipu panela i namjeni upotrebe. Primjer tehničkih karakteristika fotonaponskog modul JA SOLAR dan je na slici 2.11. pri STC. To je modul koji ćemo koristiti u nastavku rada. Temperatura modula je tipično za 30 do 40°C viša od temperature okoline. Projektna radna temperatura modula mora biti najmanje 75°C.

**MECHANICAL DIAGRAMS**



Remark: customized frame color and cable length available upon request

**SPECIFICATIONS**

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Cell                               | Mono   |
| Weight                             | 24.5kg±3%  |
| Dimensions                         | 2112±2mm×1052±2mm×35±1mm                                       |
| Cable Cross Section Size           | 4mm <sup>2</sup> (IEC) , 12 AWG(UL)                            |
| No. of cells                       | 144 (6×24)   |
| Junction Box                       | IP68, 3 diodes   |
| Connector                          | QC 4.10(1000V)<br>QC 4.10-35(1500V)                            |
| Cable Length (Including Connector) | Portrait: 300mm(+)/400mm(-);<br>Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-) |
| Packaging Configuration            | 31pcs/pallet<br>682pcs/40ft Container                          |

**ELECTRICAL PARAMETERS AT STC**

| TYPE   | JAM72S20 -445/MR  | JAM72S20 -450/MR | JAM72S20 -455/MR | JAM72S20 -460/MR | JAM72S20 -465/MR | JAM72S20 -470/MR |
|--|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Rated Maximum Power(Pmax) [W]                      | 445   | 450              | 455              | 460              | 465              | 470              |
| Open Circuit Voltage(Voc) [V]                      | 49.56   | 49.70            | 49.85            | 50.01            | 50.15            | 50.31            |
| Maximum Power Voltage(Vmp) [V]                     | 41.21   | 41.52            | 41.82            | 42.13            | 42.43            | 42.69            |
| Short Circuit Current(Isc) [A]                     | 11,32   | 11,36            | 11,41            | 11,45            | 11,49            | 11,53            |
| Maximum Power Current(Imp) [A]                     | 10,80   | 10,84            | 10,88            | 10,92            | 10,96            | 11,01            |
| Module Efficiency [%]                              | 20,0  | 20,3             | 20,5             | 20,7             | 20,9             | 21,2             |
| Power Tolerance                                    | 0~+5W   |                  |                  |                  |                  |                  |
| Temperature Coefficient of Isc(α <sub>Isc</sub> )  | +0,044%/°C  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Temperature Coefficient of Voc(β <sub>Voc</sub> )  | -0,272%/°C  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Temperature Coefficient of Pmax(γ <sub>Pmp</sub> ) | -0,350%/°C  |                  |                  |                  |                  |                  |
| STC  | Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1,5G |                  |                  |                  |                  |                  |

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

**ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT**

| TYPE                           | JAM72S20 -445/MR  | JAM72S20 -450/MR | JAM72S20 -455/MR | JAM72S20 -460/MR | JAM72S20 -465/MR | JAM72S20 -470/MR |
|--------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Rated Max Power(Pmax) [W]      | 336   | 340              | 344              | 348              | 352              | 355              |
| Open Circuit Voltage(Voc) [V]  | 46.65   | 46.90            | 47.15            | 47.38            | 47.61            | 47.84            |
| Max Power Voltage(Vmp) [V]     | 38.95   | 39.19            | 39.44            | 39.68            | 39.90            | 40.10            |
| Short Circuit Current(Isc) [A] | 9,20  | 9,25             | 9,29             | 9,33             | 9,38             | 9,42             |
| Max Power Current(Imp) [A]     | 8,64  | 8,68             | 8,72             | 8,76             | 8,81             | 8,86             |
| NOCT                           | Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1,5G |                  |                  |                  |                  |                  |

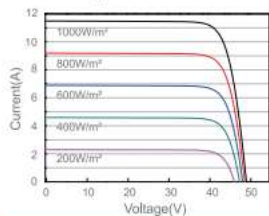
\*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

**OPERATING CONDITIONS**

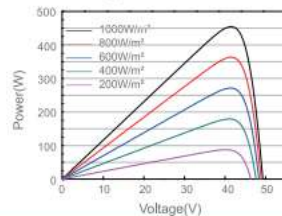
|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| Maximum System Voltage     | 1000V/1500V DC                  |
| Operating Temperature      | -40°C ~+85°C                    |
| Maximum Series Fuse Rating | 20A                             |
| Maximum Static Load,Front* | 5400Pa(112 lb/ft <sup>2</sup> ) |
| Maximum Static Load,Back*  | 2400Pa(50 lb/ft <sup>2</sup> )  |
| NOCT                       | 45±2°C                          |
| Safety Class               | Class II                        |
| Fire Performance           | UL Type 1                       |

**CHARACTERISTICS**

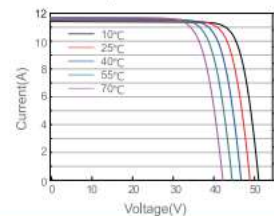
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR

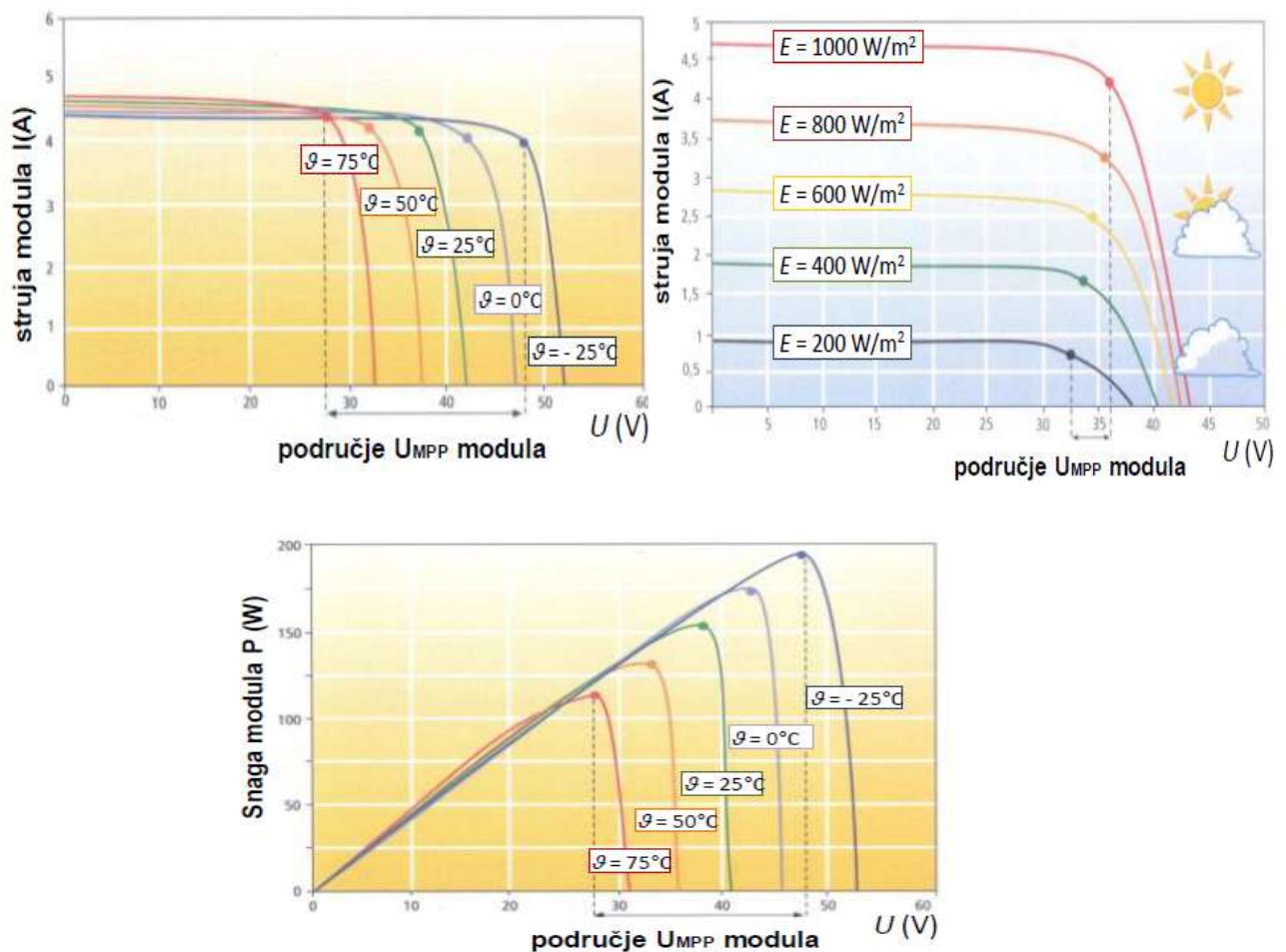


Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Slika 2.60. Primjer tehničkih podataka fotonaponskog modula JA Solar Holdings Co., Ltd., model JAM72S20 445-470/MR [7]

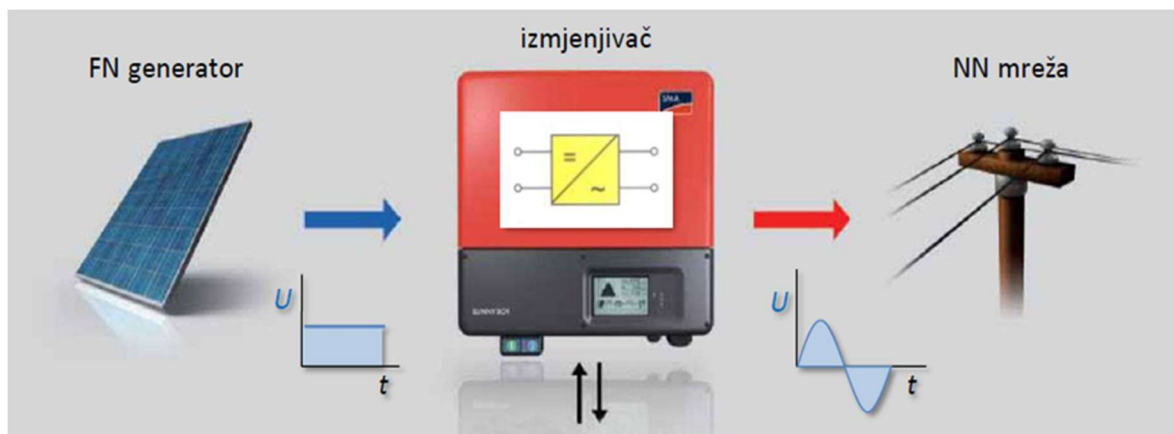
Slika 2.11. prikazuje utjecaj sunčevog zračenja u radu fotonaponskih modula, ono je jako bitno jer fotoni iz sunčeve svjetlosti potiču oslobađanje elektrona, stvarajući električnu struju. Veća svjetlosna izloženost obično rezultira većom proizvodnjom električne energije. S druge strane, visoke temperature mogu negativno utjecati na učinkovitost modula, smanjujući nazivnu snagu modula. Standardni FN modul pretvara 6-20 % upadnog sunčevog zračenja u električnu energiju, ovisno o vrsti solarnih ćelija te o klimatskim uvjetima. Ostatak upadnog sunčevog zračenja pretvara se u toplinu, što s vremenom rada tijekom dana povećava temperaturu FN modula i ujedno smanjuje njegovu nazivnu snagu. Pri standardnim uvjetima ispitivanja, učinkovitost pretvorbe FN modula opada za oko 0,40 do 0,50 % za svaki stupanj porasta temperature.



Slika 2.7. Utjecaj sunčevog zračenja i temperature na rad modula [8]

## 2.6. Izmjenjivači

Izmjenjivač su uređaji učinske elektronike koji povezuje istosmjerni i izmjenični električki sustav. Pri tome je smjer energije iz istosmjernog sustava prema izmjeničnom, kao što je prikazano na slici 2.12. Pri pretvorbi istosmjernog napona u izmjenični napon, izmjenjivač može proizvesti napon točno određenog iznosa i frekvencije. Izmjenjivač stvara vlastitu autonomnu izmjeničnu mrežu 230V, 50Hz i zato se on još naziva i autonomni izmjenjivač.



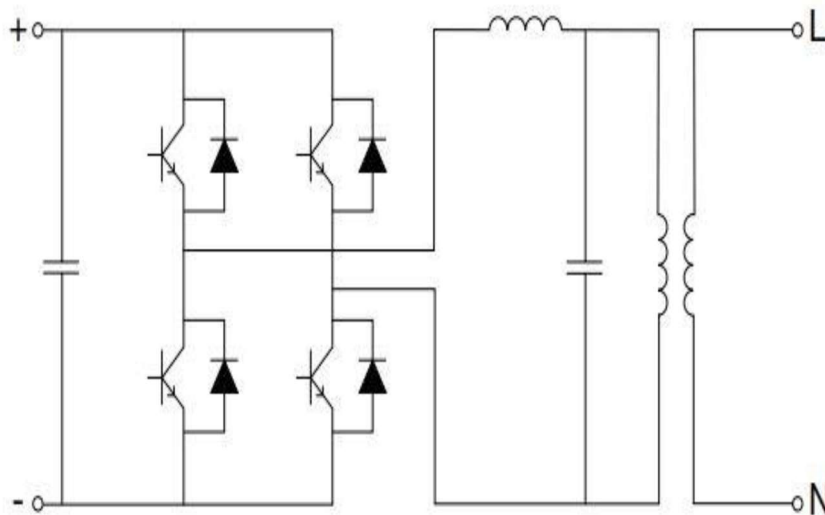
Slika 2.82. Izmjenjivač za NN mrežu [9]

Osnovne uloge izmjenjivača u fotonaponskom sustavu:

- Pretvaranje istosmjernog u izmjenični tok, solarne ćelije stvaraju istosmjernu (DC) struju, dok većina električnih uređaja i električnih mreža koristi izmjeničnu (AC) struju. Izmjenjivač pretvara istosmjernu struju koju proizvode solarni paneli u izmjeničnu struju koja je kompatibilna s kućanskim uređajima i električnim mrežama.
- Optimalno praćenje točke maksimalne snage (MPPT), izmjenjivači često imaju funkcionalnost praćenja točke maksimalne snage. Točka maksimalne snage fotonaponskog polja mijenja se s jačinom Sunčevog zračenja i temperaturom. Napon u točki maksimalne snage obično iznosi oko  $0,8 U_{PH}$ . To znači da se prilagode uvjetima svjetlosnog osvjetljenja kako bi se maksimizirala količina energije koja se može izvući iz solarnih panela.
- Sinkronizacija s električnom mrežom, ako je fotonaponski sustav povezan s električnom mrežom, izmjenjivač mora biti sposoban sinkronizirati se s mrežom kako bi se osiguralo sigurno i stabilno napajanje mreže. To uključuje prilagođavanje frekvencije i faze izmjenične struje.

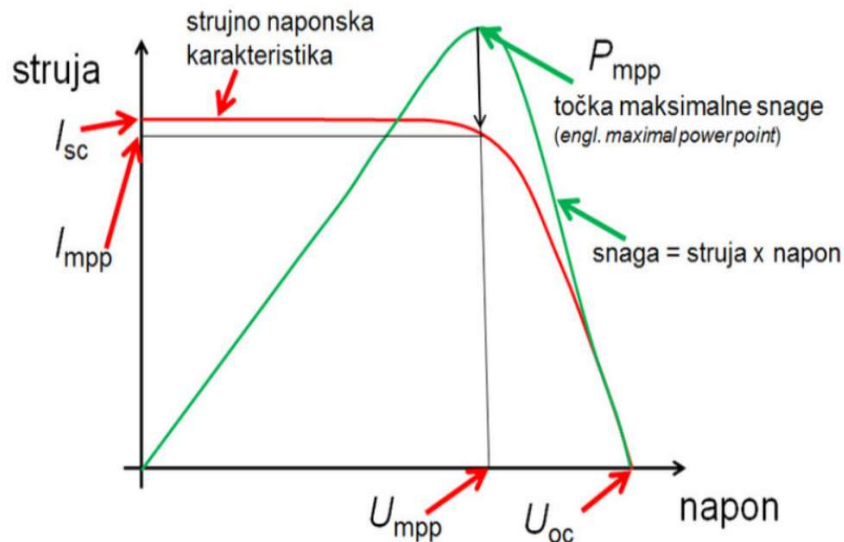
- Upravljanje sustavom, moderni izmjenjivači imaju ugrađene sustave za praćenje i upravljanje. To omogućava vlasnicima da prate performanse svojeg fotonaponskog sustava, uključujući proizvodnju energije i efikasnost, preko mobilnog telefona, računala itd.
- Sigurnost i zaštita, izmjenjivači imaju ugrađene zaštitne mehanizme kako bi se spriječile nepredviđene situacije poput preopterećenja, kratkog spoja ili prekomjernog napona.
- Povrat energije u mrežu (ako je primjenjivo), u mrežnim fotonaponskim sustavima, izmjenjivači omogućavaju povrat viška energije natrag u električnu mrežu.

Na slici 2.13. prikazana je načelna shema izmjenjivača [10]. Izmjenjivač prima jednosmjernu struju (DC) iz solarnih modula na ulaznom kraju. Tranzistori ili MOSFET-ovi (sklopke) se kontroliraju tako da brzo periodično uklapaju i isklapaju. Ovaj proces stvara brze oscilacije napona u ulaznoj struji. Kroz ovaj brzi prekidači proces, izmjenjivač stvara otprilike sinusoidnu izlaznu struju koja ima frekvenciju i oblik sličan izmjeničnoj struji iz električne mreže. Kontrolna elektronika prati parametre izlazne AC struje kako bi ih održavala unutar željenih granica, kao što su napon i frekvencija. Slika 2.14. prikazuje strujno-naponsku U-I karakteristiku i karakteristiku snage izmjenjivača.



Slika 2.9. Načelna shema izmjenjivača [10]





Slika 2.10. U-I karakteristika i karakteristika snage izmjenjivača [5]

Za izbor izmjenjivača, vrlo su nam važni sljedeći tehnički podaci:

- Ulazna nazivna snaga  $P_{DC}$  [W],
- Područje rada na DC strani  $U_{izmj,min} - U_{izmj, maks}$  [V],
- Maksimalni ulazni napon na DC strani  $U_{DC,maks}$  [V],
- Maksimalna ulazna struja na DC strani  $I_{DC,maks}$  [A],
- Izlazna nazivna snaga  $P_{AC}$  [W],
- Nazivni napon na DC strani  $U_{AC}$  [V],
- Nazivna frekvencija  $f$  [Hz],
- Maksimalna učinkovitost  $\eta_{maks}$  [%],
- Europska učinkovitost  $\eta_{eu}$  [%] [7].

## 2.7. Baterije u fotonaponskom sustavu

Baterije u fotonaponskim sustavima omogućuju skladištenje viška energije koja se proizvode iz solarnih panela. Ovaj višak energije može se iskoristiti tijekom noći ili oblačnih dana, osiguravajući kontinuirano napajanje uređaja ili električnih potreba. Koriste se u samostalnom (off-grid) sustavu, ali se mogu koristiti i u mrežnom fotonaponskom sustavu (on-grid) kako bi se još više smanjio trošak električne energije.

Prilikom odabira baterija za fotonaponski sustav, važno je uzeti u obzir faktore poput ciklusa života, kapaciteta, veličine, troškova, upravljanja i specifičnih potreba sustava. Odabir pravih vrsta baterija i pravilno dimenzioniranje su važni za pouzdanost, dugotrajnost i učinkovitost sustava. Vrste baterija koje se koriste u fotonaponskim sustavima su:

- Absorbent Glass Matt baterije (AGM, gel), ove baterije su relativno pristupačne i često se koriste u manjim off-grid sustavima. Međutim, imaju ograničeni ciklus života i zahtijevaju redovito održavanje.
- Litij-ionske baterije, ove baterije imaju veći kapacitet i duži ciklus života u usporedbi s AGM. One su lakše, manje i zahtijevaju manje održavanja. Međutim, skuplje su i zahtijevaju precizno upravljanje napunjenosti i pražnjenja kako bi se produžio njihov vijek trajanja.
- Litij-željezno-fosfatne (LiFePO<sub>4</sub>) baterije, ove baterije su varijanta litij-ionskih baterija s iznimno dugim ciklusom života, visokom pouzdanošću i sigurnošću. Iako su skuplje, imaju najbolji omjer performansi i trajnosti.
- Nikal-željezne baterije (NiFe), baterije koje imaju izuzetno dug ciklus života i mogu trajati desetljećima. Međutim, imaju niži energetska učinak i veću težinu.

Pravilno dimenzioniranje i odabir baterije osigurava pouzdan i učinkovit rada fotonaponskog sustava. Dimenzioniranje ovisi o potrebama za skladištenjem energije i željenoj autonomiji (koliko dugo želimo biti neovisni o solarnim panelima ili vanjskom napajanju). Pri izboru baterije treba voditi računa o uređajima i potrošnji energije koja se planira napajati putem baterije. Zatim odrediti koliko sati dnevno i koliko dana planirati da baterija može podržati tu potrošnju u slučaju nedostatka sunčeve energije. Pripaziti na napon baterije i uskladite ga s izmjenjivačem (inverterom) i solarnim panelima.

Postoje različite vrste baterija dostupne za fotonaponske sustave. Svaka ima svoje prednosti i nedostatke u pogledu kapaciteta, cijene, ciklusa punjenja/pražnjenja i trajanja. Treba izabrati onu bateriju koja najbolje odgovara našim potrebama i budžetu. Ovisno o kapacitetu baterije i naponu, odredite koliko pojedinačnih baterija će biti potrebno za postizanje željenog kapaciteta. Razmisliti o uvjetima okoline, temperaturi, dubini pražnjenja (DOD - Depth of Discharge) i ciklusima punjenja/pražnjenja koji će utjecati na životni vijek baterije. Pripaziti na pravilno održavanje baterije kako bi se osigurala njezinu dugotrajna i pouzdana upotreba.

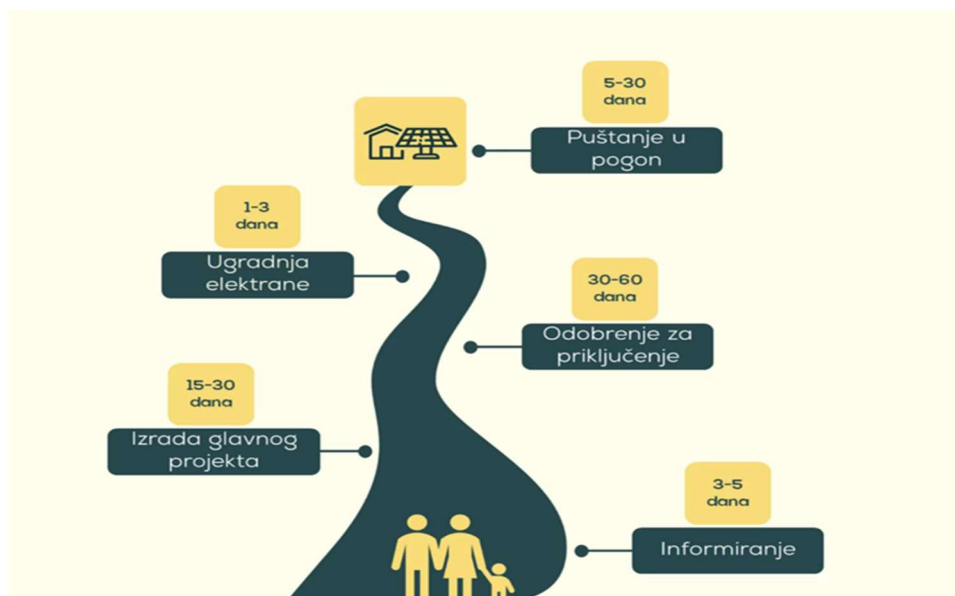


### 3. HODOGRAM AKTIVNOSTI ZA DOBIVANJE DOZVOLA

Proces izrade fotonaponskog sustava sadrži nekoliko koraka i procesa, uključujući i dobivanje potrebnih dozvola. Hodogram aktivnosti za dobivanje dozvola objasnit će se kroz sam proces realizacije solarne elektrane, između investitora tj. vlasnika objekta i izvođača radova, instalatera. Instalater radova je firma koju je angažirao sam vlasnik objekta.

#### 3.1. Proces realizacije solarne elektrane

Ulaganje u fotonaponsku elektranu je ulaganje u održivu i isplativu opciju za proizvodnju čiste električne energije iz sunčeve svjetlosti. Osim što doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova i štedi prirodne resurse, fotonaponske elektrane omogućuju dugoročne financijske koristi putem smanjenja računa za električnu energiju i potencijalnog prihoda od prodaje viška proizvedene električne energije. Uz poticaje, subvencije i pozitivan utjecaj na okoliš, ulaganje u solarnu energiju postaje sve privlačnija opcija za kućanstva i tvrtke. Vrijeme povrata investicije za kućanstva je od 5 do 7 godina ovisno o veličini solarne elektrane, a za tvrtke koje imaju veću potrošnju od kućanstava, a i veću površinu za ugradnju solarnih panela, vrijeme povrata je i manje. Razvojem tehnologije vijek trajanje solarne elektrane je i do 30 godina. Slika 3.1. prikazuje vremenski tijek realizacije solarne elektrane od informiranja do puštanja u pogon solarne elektrane.



Slika 3.1. Tijek realizacije solarne elektrane [11]

### 3.2. Uvjeti gradnje

Gradnja solarne elektrane zahtijeva pažljivo planiranje i provođenje, proces gradnje solarne elektrane može biti veoma složen. Stoga investitor tj. vlasnik objekta treba odabrati firmu s dobrim stručnjacima, inženjerima, pravicima i ekolozima kako bi se osiguralo da projekt bude uspješan i ekološki održiv. Evo nekoliko ključnih uvjeta i koraka u procesu gradnje solarne elektrane:

- Investitor tj. vlasnik objekta koji želi ugraditi fotonaponsku elektranu na svoj krov mora biti vlasnik objekta na kojem se planira sama ugradnja, te vlasnik mjernog mjesta tj. da računi za električnu energiju glase na vlasnika(investitora).
- Nagib i orijentacija krova utječu na količinu sunčeve energije koja se može pretvoriti u električnu energiju, stoga treba pažljivo planirati nagiba i orijentacije panela kako bi se postigla maksimalna učinkovitost fotonaponske elektrane (solarne elektrane). Nagib krova odnosi se na kut pod kojim su postavljeni solarni paneli u odnosu na horizontalnu površinu. Optimalni nagib panela ovisi o geografskoj lokaciji. U regijama bliže ekvatoru, nagib bi trebao biti manji kako bi paneli bili bliže vertikalni prema suncu. Na sjevernim širinama, veći nagib može poboljšati proizvodnju energije, posebno tijekom zimskih mjeseci. Orijehtacija krova se odnosi na smjer u kojem su postavljeni solarni paneli u odnosu na svjetlosni izvor, tj. sunce. Najčešće se koristi orijentacija prema jugu, ali može se koristiti i orijentacija prema jugoistoku ili jugozapadu, ovisno o geografskoj lokaciji. Orijehtacija prema jugu često se smatra najučinkovitijom u većem dijelu svijeta, jer omogućuje panelima da uhvate najviše sunčeve svjetlosti tijekom dana. Važno je uzeti u obzir bilo kakve prepreke ili sjene koje bi mogle utjecati na orijentaciju panela i optimizirati ih kako bi se izbjegao gubitak energije.
- Nakon što se odredila najučinkovitija orijentacija tj. strana krova za ugradnju solarne elektrane treba obratiti pozornost na vrstu krova na koji se planira ugradnja. Kosi krovovi su najpogodniji za solarnu instalaciju. Paneli se postavljaju na montažne nosače koji su pričvršćeni za krovnu konstrukciju. Ravni krovovi su također prikladni za solarnu instalaciju, ali zahtijevaju montažne sustave koji podižu panele iznad krova pod odgovarajućim kutom kako bi se postigla optimalna sunčeva izloženost. Ovo su najprikladnije i najčešće vrste krova na koje se može postaviti fotonaponska elektrana, te se mogu instalirati i na druge vrste krova(metalni krov, betonske ili keramičke krovne ploče itd.).

- Odabir količine fotonaponskih modula, jakost fotonaponske elektrane ovisi o više čimbenika. Prilikom projektiranja, važno je uskladiti površinu krova sa određenim brojem fotonaponskih modula (solarnih panela) da bi se zadovoljila potrošnja samog kućanstva, ako je to moguće. Treba uzeti u obzir dimenzije jednog fotonaponskog modula. U nastavku rada koristio se fotonaponski modulu JA Solar Holdings Co., Ltd., model JAM72S20-445/MR snage 455 W, dimenzija 2,1m\*1m. Znači za sustav od otprilike 1 kW potrebna su 2 fotonaponske modula, te je minimalan potrebna površina krova 4,2 m<sup>2</sup>. Naravno na tržištu ima i jačih i slabijih fotonaponskih modula.
- Dostupna površina krova, vrsta priključka i zakupljena snaga priključka određuju veličinu i jakost fotonaponske elektrane. Tijekom gradnje objekta podnosi se zahtjev za priključenje objekta na elektroenergetsku mrežu gdje se navodi vrsta i snaga željenog priključka. Vrsta priključka može biti jednofazna ili trofazna. Za objekte s jednofaznim priključkom ograničena je AC snaga elektrane (snaga invertera) prema mreži na 3,68 kW. Za trofazni priključak nije limitirana, odnosno moguće je ugraditi solarnu elektranu sukladno zakupljenoj snazi priključka [12].

### **3.3. Izrada projekta**

Fotonaponski sustavi trebaju biti odobreni od strane HEP ODS-a kako bi se mogli spojiti na elektroenergetsku mrežu. Da bi sustav bio odobren od strane HEP ODS-a (što znači dobila dozvola za ugradnju i puštanje u pogon) potrebno je napraviti glavni elektrotehnički projekt. Glavni elektrotehnički projekt za solarnu elektranu predstavlja temeljni dokument koji detaljno opisuje tehničke aspekte i planiranje solarne elektrane. Namjena ovog projekta je osigurati precizne specifikacije, smjernice i upute za projektiranje, instalaciju, i održavanje solarnog sustava. Sadrži informacije o električkim komponentama, sklopovima, sustavima zaštite, komunikaciji, proračun ušteda, izračun smanjenja emisije CO<sub>2</sub>, te sve potrebne detalje kako bi se osigurala sigurna i učinkovita proizvodnja električne energije iz solarnih panela.

Izrada glavnog elektrotehničkog projekta za solarnu elektranu zahtijeva prikupljenu cjelokupnu dokumentaciju:

- Zadnji važeći dokaz zakonitosti objekta
- Dokaz vlasništva/suvlasništva (ZK izvadak)
- Potvrda/Uvjerenje/Identifikacija o istovjetnosti katastarskih čestica (po potrebi)
- Odobrenje/Potvrda/Rješenje konzervatora (po potrebi)
- Potrošnja u objektu (u kWh za proteklih 12 mjeseci) (+ planirana buduća potrošnja\* )
- Vrsta priključka i snaga priključka
- Tlocrt i skica krova
- Fotodokumentacija postojećeg stanja objekta i krova (2-3 fotografije)
- Obostrana preslika važeće osobne iskaznice (vlasnika/suvlasnika, kontakt osobe) [10 11].

### **3.4. Priključenje elektrane i zamjena brojila**

Investitori integriranih fotonaponskih sustava koje su spojene na elektroenergetsku mrežu dužni su nakon izrađenog glavnog elektrotehničkog projekta za solarnu elektranu isti predati u lokalni HEP ODS zajedno s Zahtjevom za provjeru mogućnosti priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom. Prilikom predaje koriste se kopije dokumenata (originali ostaju kod investitora) [11].

Na predati zahtjev, HEP ODS je dužan poslati odgovor kroz 15 dana od dana zaprimanja zahtjeva. Njihov odgovor sastoji se od nekoliko dokumenata:

- Obavijest o mogućnosti priključenja – ovim dokumentom prihvaćaju ili odbijaju predani zahtjev
- Ponudu za opremanje obračunskog mjernog mjesta kućanstva s vlastitom proizvodnjom
- Ugovor o korištenju mreže [13].

Nakon zaprimanja ove dokumentacije, investitor je spreman za ugradnju solarne elektrane na krov obiteljske kuće (ili prijavu na subvencije za solarne elektrane).

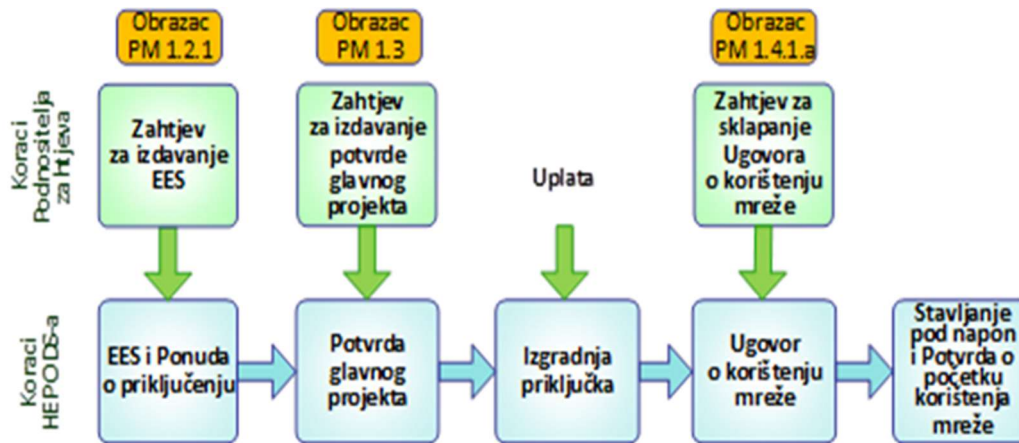
Ponuda za opremanje obračunskog mjernog mjesta uplaćuje se na račun HEP ODS-a nakon završenih radova ugradnje elektrane i predanog Zahtjeva za promjenu statusa kod kućanstva s vlastitom proizvodnjom (+ obavezni prilozi). Po primitku uplate HEP ODS vrši zamjenu brojila i šalje dozvolu za trajni pogon [13].

### 3.5. Priključenje kupca (kućanstva) s vlastitom proizvodnjom

Kupac(kućanstvo) s vlastitom proizvodnjom(engl. prosumer) je osoba, tvrtka ili organizacija koja proizvodi određene proizvode ili usluge za svoje vlastite potrebe ili za prodaju drugima. U kontekstu obnovljivih izvora energije, kao što su fotonaponski sustavi, "kupac s vlastitom proizvodnjom" često se odnosi na osobu ili tvrtka koji proizvodi vlastitu električnu energiju putem solarnih panela ili drugih obnovljivih izvora energije, a definicija HEP-a glasi : „Kupac s vlastitom proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu koju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu. Kupac s vlastitom proizvodnjom može sklopiti ugovor o opskrbi i ugovor o otkupu električne energije s različitim tržišnim sudionicima“ [14].

Iznimno od koraka pri jednostavnom priključenju (jednostavno priključenje se provodi u slučaju priključenja građevine jednostavnim priključkom, tj. u slučaju priključenja građevine na mrežu niskog napona (0,4 kV) za koje nije potrebno stvaranje tehničkih uvjeta u mreži) u slučaju da postojeći krajnji kupac kategorije kućanstvo traži priključenje proizvodnog postrojenja na svoju postojeću instalaciju, instalirane snage proizvodnog postrojenja do iznosa priključne snage obračunskog mjernog mjesta na kojeg se priključuje proizvodno postrojenje (navedene u postojećoj EES). Postupak se provodi prema sljedećim osnovnim koracima:

- Podnošenje zahtjeva za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja
- Izdavanja obavijesti o mogućnosti priključenja, ponude za opremanje obračunskog mjernog mjesta i prijedloga novog ugovora o korištenju mreže
- Uplate troškova za opremanje obračunskog mjernog mjesta
- Izvođenje radova na opremanju obračunskog mjernog mjesta
- Sklapanje ugovora o korištenju mreže i podnošenje zahtjeva za promjenu statusa korisnika mreže
- Izdavanje potvrde za trajni pogon [15].



Slika 3.2. Koraci HEP ODS-a i podnositelja zahtjeva [15]

Važno je napomenuti da vlasnik objekta ne smije puštati u rad elektranu prije nego se odobre svi zahtjevi od strane HEP-a i dobije potvrda za trajni pogon. Također radnici HEP-a vrše zamjenu brojila, novim dvosmjernim brojilom.

### 3.6. Poticaji za solarne elektrane

Na ugradnju solarnih panela na krov obiteljske kuće se lakše se odlučiti uz poticaje. Poticaje za solarne elektrane uglavnom omogućuju nacionalne i lokalne javne ustanove i institucije, poput gradova, županija te Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU). Za sada jedine nacionalne poticaje omogućuje FZOEU koji javni poziv objavljuje jednom godišnje [16].

Primjer poticaja Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost:

Fond objavljuje Javni poziv za poticanje obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama za 2023. Na javni poziv Fonda za sufinanciranje ugradnje sustava za korištenje obnovljivih izvora energije mogli su se javiti vlasnici obiteljskih kuća u kojima je više od 50% bruto podne površine namijenjeno za stanovanje te koje imaju najviše 3 stambene jedinice ili građevinsku bruto površinu manju ili jednaku 600 m<sup>2</sup>. Uz pravomoćnu građevinsku dozvolu ili drugi odgovarajući akt kojim se dokazuje zakonitost, jedan od uvjeta za dodjelu sredstava je bio da kuća ima energetske razred (prema godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje, QH,nd) C ili bolji u kontinentalnoj, odnosno B ili bolji u primorskoj Hrvatskoj. Ukupno raspoloživ iznos sredstava Fonda za 2023 iznosi 95.000.000,00 kuna (12.608.666,80 eura), a za fotonaponsku elektranu za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju, u samostalnom (off-grid) ili mrežnom radu ,najviši iznos opravdanog troška 80.000,00 kn ili 10.617,82 e [17].

2015.g Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost dodjeljuje, sufinancira sredstva za postavljanje sustava za korištenje obnovljivih izvora energije u iznosu od 13 mil. kuna za proizvodnju električne, toplinske, rashladne, kao i toplinske i rashladne energije na postojećim građevinama(samo za projekte u turističkom sektoru).

2019.g Fond sufinancira nabavu i ugradnju kotlova na biomasu i dizalice topline. U program poticaja dodani su i sunčani toplinski kolektori za zagrijavanje vode. Dostupno je 11 milijuna kuna, a građani će, ovisno o lokaciji kuće, moći dobiti 40, 60 ili 80 posto sufinanciranja, odnosno maksimalno do 75.000 kuna.

Primjer županijskog poticaja:

Splitsko-dalmatinska županija, Upravni odjel za gospodarstvo, EU fondove i poljoprivredu 05.09.2022. je objavio JAVNI POZIV za podnošenje zahtjeva o iskazu interesa za dobivanje potpora sukladno Programu sustavnog gospodarenja energijom na području Splitsko dalmatinske županije 2022.-2025. Poticaji se daju za korištenja obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama do 10 kW poviše je izvan sustava poticaja. Subvencija će se odrediti na temelju snage elektrane (do 5 kW – 12.000 kn, do 8 kW – 15.000 kn, do 10 kW – 20.000 kn), Stupanj korisnog djelovanja fotonaponskog modula mora biti najmanje 18%.

## 4. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE

PV SOL Premium je napredan softverski paket za projektiranje i simulaciju fotonaponskih sustava. Namijenjen je inženjerima, arhitektima i svima koji se bave planiranjem solarnih instalacija. Ovaj program omogućava detaljno modeliranje od samo nekoliko modula pa do velikih solarnih elektrane snage do nekoliko MW. PV Sol Premium je razvijen i vlasništvo tvrtke Valentin Software. Modeli solarnih sustava koji se projektiraju, mogu se dijeliti i izvoziti u različite formate kako bi se olakšala suradnja i komunikacija s drugima. Detaljniji opis, a i rad samog programa opisati će se u nastavku rada u primjeru obiteljske kuće Antičević.

### 4.1. Projektiranje obiteljske kuće Antičević

Na samom početku kreiramo novi projekt(Project Data) slika 4.1. u kojem unosimo osnovne informacije o samom projektu, naziv projekta, dizajner projekta, broj projekta itd.

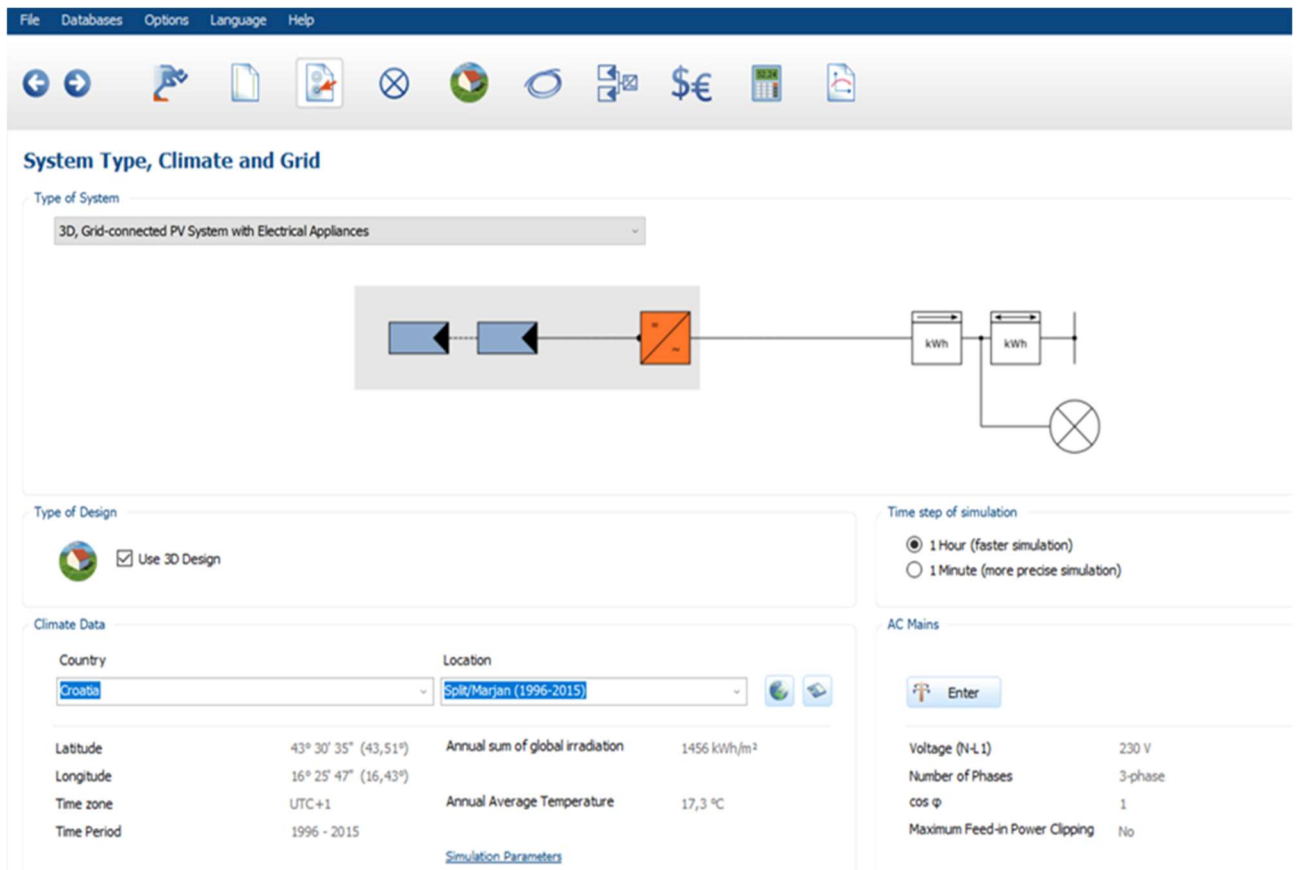
The screenshot shows the 'Project Data' form in the PV SOL Premium software. The interface includes a menu bar (File, Databases, Options, Language, Help) and a toolbar with various icons. The form is divided into several sections:

- Project Data:**
  - Offer Number:
  - Project Designer:
  - Start of Operation:
  - Project Name:
  - Project Image:
  - Buttons:
- Customer Details:**
  - Customer Number:
  - Contact Person:
  - Company:
  - Phone:
  - Fax:
  - E-Mail:
  - Address:
- Project Description:**
  - Project Description:
  - Address of Installation:

Slika 4.1. Sučelje Project dana za obiteljsku kuću Antičević



Nakon unesenih podataka o projektu, u sučelju „System Type, Climate and Grid“ odabire se tip solarnog generatora kojeg projektiramo slika 4.2. U ovom slučaju to je mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima „Grid connected PV System with Electrical Appliances“, jer se radi o kućanstvu koje je spojeno na mrežu. Ostali tipovi koje nudi program su: mrežni fotonaponski sustav (eng. On-Grid), mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima i pohranom energije, mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima i električnim vozilima, mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima, električnim vozilima i baterijama, samostojeći fotonaponski sustav i samostojeći fotonaponski sustav s generatorom [15]. Za klimatske podatke „climate date“ odabrana je Hrvatska, a lokacija je Split/Marjan, jer je to najbliža lokacija obiteljskoj kući koja se može odabrati u programu, a podaci su dovoljno točni.



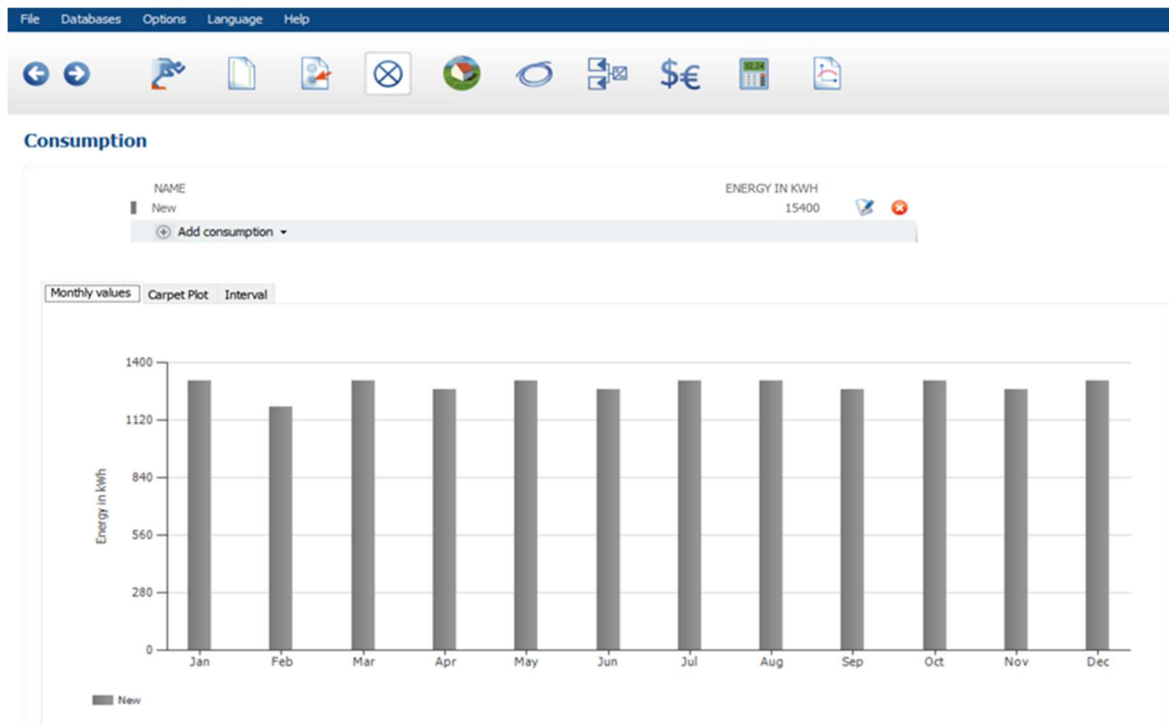
Slika 4.2. Sučelje tipa solarnog generatora i klimatskih podataka

Sustav bi koristio proizvedenu energiju za vlastite potrebe, za napajanje kućanskih uređaja, rasvjete i ostalih električnih uređaja u kući. Sve što se troši direktno iz fotonaponskog sustava smanjuje potrebu za kupovinom električne energije iz mreže. Ako fotonaponski sustav proizvede više električne energije nego što trenutno koristi kućanstvo, taj višak se može preusmjeriti natrag u elektroenergetsku mrežu. To se postiže pomoću dvosmjernog brojila koje mjeri količinu energije koja se isporučuje mreži i količinu energije koja se uzima iz mreže. Znači kada solarna elektrana ne proizvodi dovoljno energije (npr. noću ili tijekom oblačnih dana), tada uzima energiju s mreže za vlastito napajanje.

Kada korisnik ima veću proizvodnju od potrošnje, električnu energiju predaje u mrežu i taj predani višak koristi u nekom drugom trenutku kada mu je potrošnja veća od vlastite proizvodnje. Odabrani opskrbljivač preko dvosmjernog brojila bilježi preuzetu i predanu električnu energiju te je na razini mjeseca bilancira, odnosno umanjuje račun za električnu energiju korisniku za iznos predane električne energije u mrežu. Ovisno o vrsti instalacije solarnih panela, višak proizvedene energije se ili pohranjuje u baterije ako je takva infrastruktura potrebna (za kasniju potrošnju) ili se stavlja u električnu mrežu (prodaje se kupcima električne energije) kao što je u ovom slučaju. U Hrvatskoj su najveći kupci viška proizvodnje električne energije veliki domaći i međunarodni dobavljači električne energije (HEP, E.ON i GEN-I). Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) i HEP dužni su preuzeti svoju ukupno proizvedenu električnu energiju od bilo kojeg povlaštenog proizvođača iz obnovljivih izvora energije (OIE), za što imate pravo na poticajnu cijenu iz tarifnog sustava na temeljem sklopljenog ugovora o otkupu električne energije s HROTE-om.

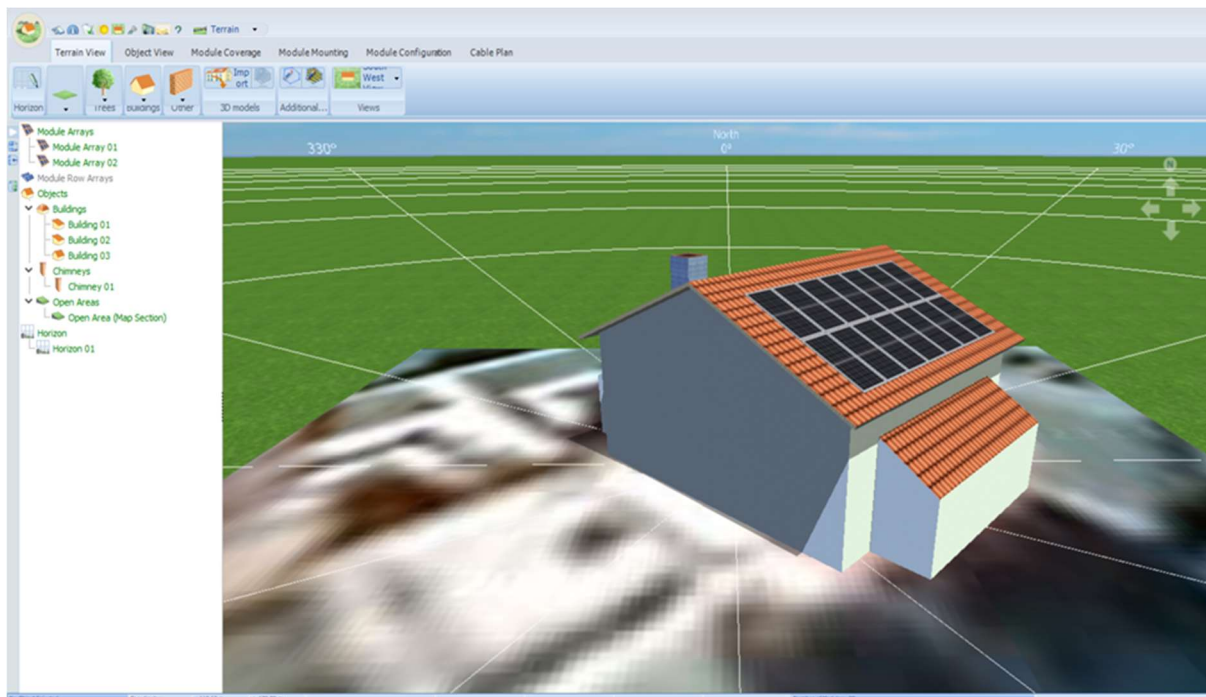
Stoga prilikom projektiranja snage fotonaponskog sustava treba voditi računa da na godišnjoj razini proizvedena energija iz solarnih panela ne bude veća od godišnje potrošnje kućanstva jer onda kućanstvo ulazi u drugu tarifu, vlasnik više nije kupac korisnik za samoopskrbu nego kupac s vlastitom proizvodnjom. Za krajnjeg kupca s vlastitim proizvodnjom postoje nove obaveze kao što su upis u registar poreznih obveznika, promjena statusa u proizvođača električne energije, ulazak u sustav PDV-a itd.

Sljedeći korak je definiranje potrošnje „Consumption“ kućanstva. Obiteljska kuća Antičević ima skoro duplo veću godišnju potrošnju nego prosječno kućanstvo u Hrvatskoj od oko 15400 kWh. To je zato što su na obračunsko mjerno mjesto spojena dva stana, jedno u kojem stanuje šesteročlana obitelj i drugo koje se ljeti iznajmljuje za turiste. Kućanski aparati sa većom potrošnjom su: rashladni aparati(frižideri i zamrzivač), kuhinjski uređaji(ploče za kuhanje, pećnice, perilice za pranje suđa, itd.), mašina za pranje i sušenje odjeće, bojleri, klima uređaji za hlađenje i grijanje, te strojarnica u kojoj se nalazi oprema za bazensku tehniku(filtracijski uređaji, bazenska pumpa, grijač bazena). Programski paket nam daje i mogućnost definiranje potrošnje po mjesecima u godini, na slici 4.3. je automatski određena godišnja potrošnja kućanstva po mjesecima.



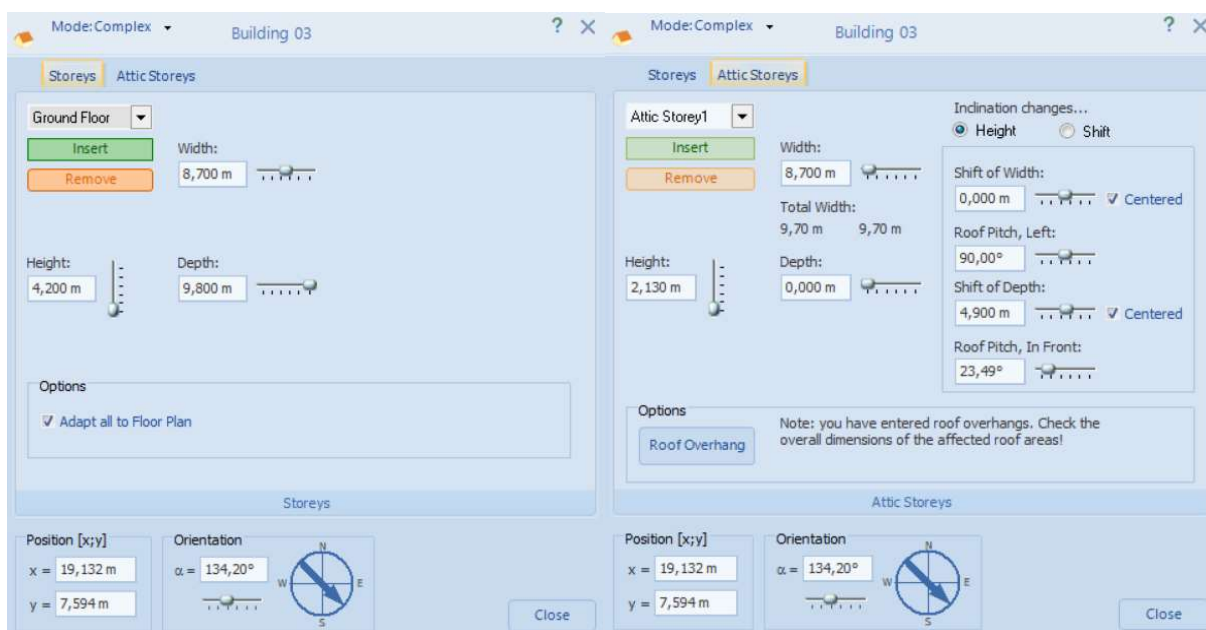
Slika 4.3. Prikaz godišnje potrošnje kućanstva po mjesecima

Nakon potrošnje slijedi 3D modeliranje kuće i krova slika 4.4. Sučelje „3D Design“ sastoji se od 6 kartica: pogled na teren, pogled na objekt, pokrivenost modula, montaža modula, konfiguraciju modula i plan kabela [17].



Slika 4.4. 3D model obiteljske kuće Antičević

Nakon što je kuća modelirana po nacrtima i stvarnim vrijednostima, slijedi točno određivanje površine i nagiba krova (slika 4.5.), postaviti dimnjake ili krovne prozore na krov. U ovom slučaju nije bilo potrebno nadodati obližnje objekte (stablo, druge kuće itd.), jer nema niti jednog objekta da bi utjecao na zasjenjenje, jedino na krovu postoji dimnjak koji je i ucrtan stvarnih dimenzija.



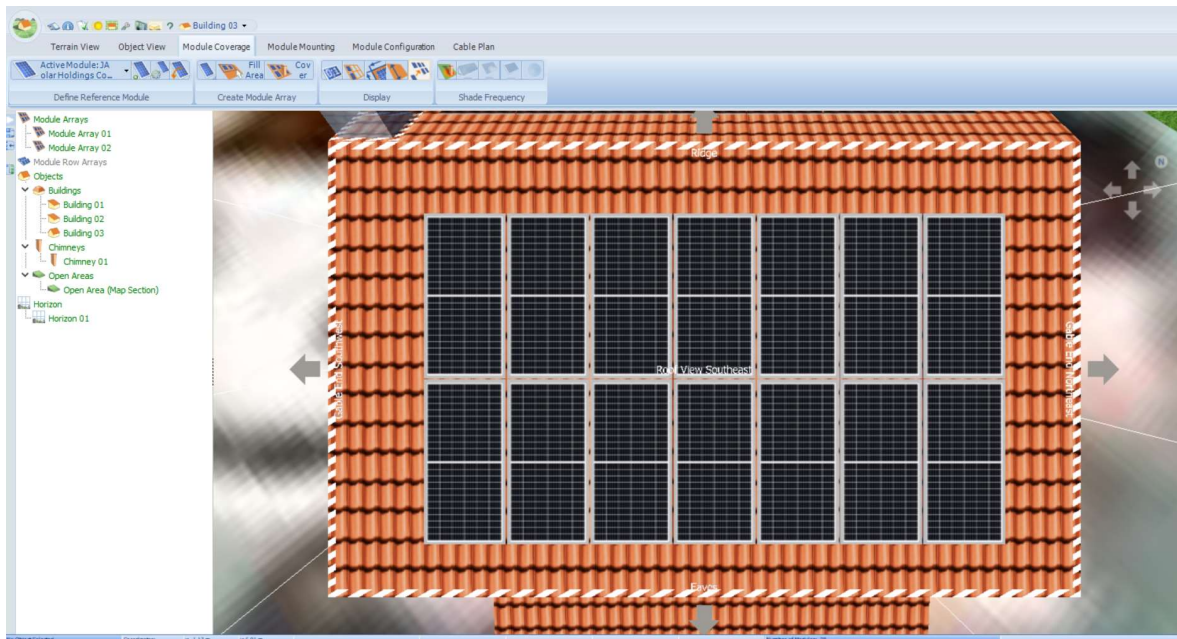
Slika 4.5. Definiranje dimenzija kuće i definiranje dimenzija krovista

Nagib krova se određuje pomoću Pitagorinog poučka, jedna strana krova predstavlja hipotenuzu a druge dvije stranice katete s tim da se spusti okomica sa vrha krovista. Tada znamo duljinu hipotenuze tj. jedne strane krova i nasuprotne katete, što nam je dovoljno da izračunamo nagib krova, kut krova kao kosinus kuta (nasuprotna stranica kroz hipotenuzu). Nagib krova obiteljske kuće Antičević je  $23,49^\circ$ , a površina obje strane krova iznosi  $85,26 \text{ m}^2$ .

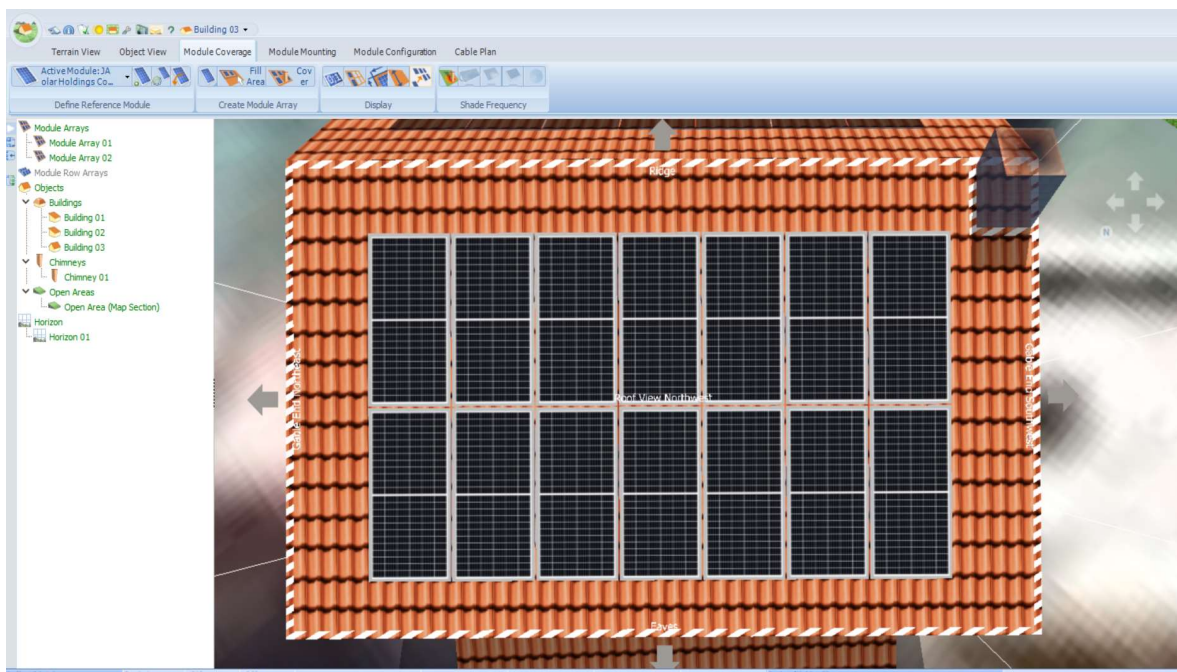
Obiteljska kuća Antičević je sada modelirana, definirane su i ucrtane stvarne vrijednosti i dimenzije kuće i krovista, nagib krova također. Kada smo to sve odredili, slijedi nam odabrati i postaviti fotonaponske module. Za fotonaponski modul odabran je poznati svjetski proizvođač panela tvrtke JA Solar Holdings Co., Ltd., model JAM72S20-445/MR. Ovaj model je snage  $455 \text{ W}$  i postavljanjem 28 ovakvih fotonaponskih modela (raspoređenih na obje strane krova) moglo bi se u potpunosti zadovoljiti i pokriti godišnja potrošnja samog kućanstva.

Nakon što je odabran modul, sada treba postaviti i rasporediti te module na krov obiteljske kuće. U kartici pokrivenost modula „Module Coverage“ odabran je modul kojeg smo već naveli. Programski paket nam daje mogućnost automatskog popunjavanja krovista fotonaponskim modulima vodeći računa o razmacima između modula, zabranjenim zonama, položaju dimnjaka, prozora, itd. Također moduli se mogu postavljati i proizvoljno jedan po jedan.

Efikasnost postavljanja fotonaponskih modula na različite strane krova ovisi o geografskom položaju lokacije, solarnim uvjetima, potrebama za proizvodnjom energije i drugim faktorima. Postavljanje modula prema jugu obično je najefikasnije jer omogućava maksimalno iskorištavanje sunčeve svjetlosti tijekom cijelog dana i cijele godine, a sjeverna strana je najmanje efikasna, proizvodnja energije bit će znatno manja u usporedbi s drugim orijentacijama. Obiteljska kuća Antičević ima orijentaciju krova prema sjeverozapadu i jugoistoku, te će fotonaponski moduli biti postavljeni na obje strane krova kao na slici 4.6. i 4.7. Krov ima i dimnjak na sjeverozapadnoj strani koji ne bih trebao predstavljati problem zasjenjenja modula tijekom dana (iako program i to računa). Moduli su postavljeni vertikalno, kako bi se iskoristio što veći dio krova, te nam takvo postavljanje omogućuje lakše slaganje panela u kontinuirani niz, a dimenzije panela prikladne su za takvu ugradnju na gotovo svakom krovu.



Slika 4.6. Postavljanje fotonaponskih modula JI strana



Slika 4.7. Postavljanje fotonaponskih modula SZ strana

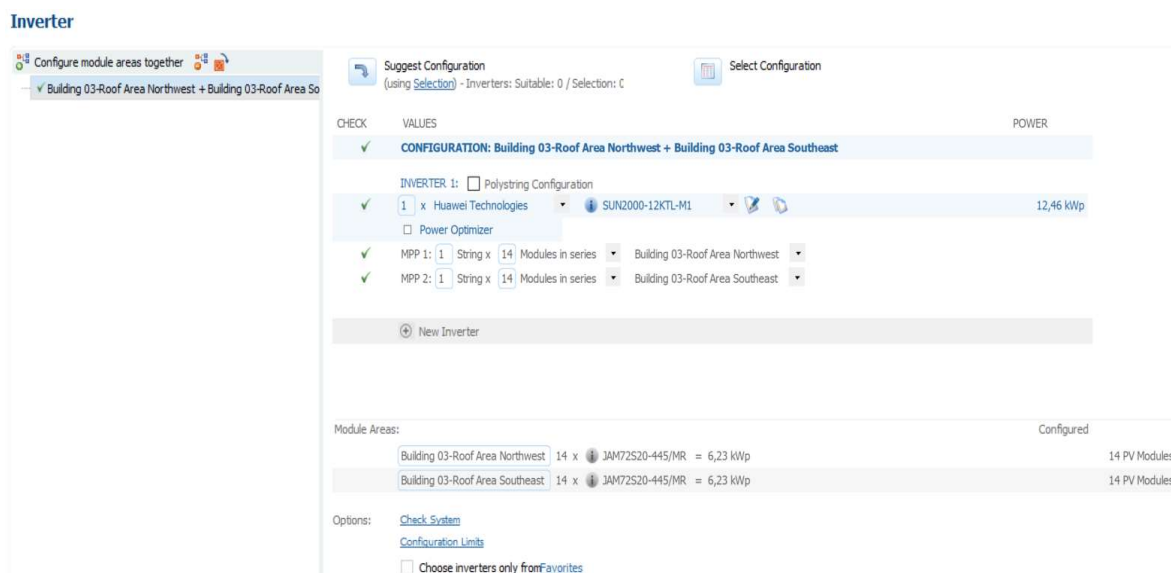
Postavljanje fotonaponskih modula u programskom paketu PV\*SOL Premium i odabir izmjenjivača ključni su koraci u projektiranju fotonaponske elektrane. Nakon što su se postavili moduli na krov obiteljske kuće sada treba odabrati izmjenjivač.



Solarni moduli proizvode istosmjernu DC struju, a većina naših trošila radi na izmjeničnom AC napajanju, stoga je potrebno nadodati izmjenjivači u fotonaponski sustav kako bi pretvorili istosmjernu struju u izmjeničnu. Detaljan rad izmjenjivača je objašnjen u poglavlju 2.6. Izmjenjivač. Njegova sposobnost praćenja i kontrole omogućuje optimizaciju proizvodnje energije i siguran rad cijelog sustava.

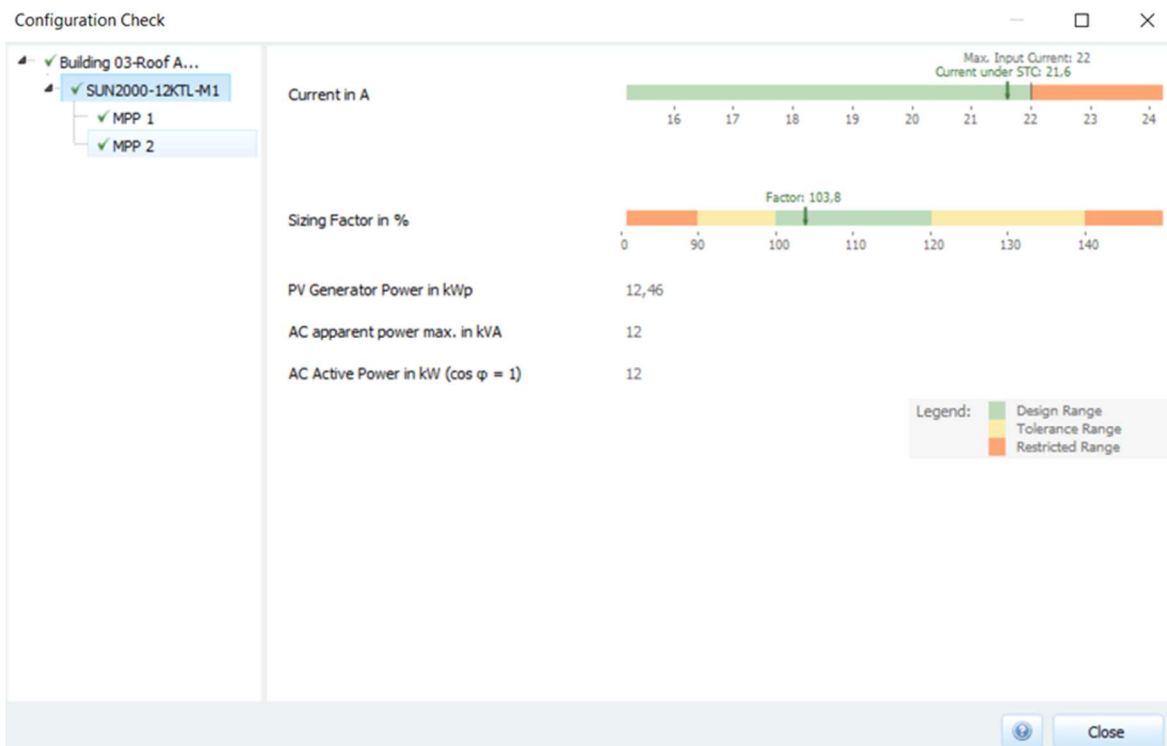
Za naš fotonaponski sustav odabrali smo model HUAWEI SUN2000-12KTL-M1. Karakteristike fotonaponskog modula prikazane su na slici 4.8.

U programskom paketu se ne može pogriješiti pri izboru snage izmjenjivača jer su neprihvatljivi izmjenjivači označeni crvenom oznakom 'X', dok su prihvatljivi izmjenjivači označeni zelenom potvrdnom kvačicom [17].



Slika 4.8. Prikaz odabira izmjenjivača HUAWEI SUN2000-12KTL-M1.

Na slici 4.8. se vidi da je na ulaz MPP 1 spojen 1 string, 1 niz od 14 modula spojenih u seriju, sjeverozapadna strana krova, dok je na MPP 2 spojen također 1 string, 1 niz od 14 modula spojenih u seriju, jugoistočna strana krova. Također programski paket nam daje mogućnost da provjerimo jesmo li dobro odabrali izmjenjivač, da li je dobro konfiguriran. Klikom na „Check System“ otvara se novi prozor „Configuration Check“ koji nam daje prikaz parametara izmjenjivača (slika 4.9.).



Slika 4.9. Parametri izmjenjivača HUAWEI SUN2000-12KTL-M1 sa spojenih 28 modula

Klikom na MPP 1 i MPP 2 moguće je provjeriti važne parametre za svaki ulaz posebno, kao što su napona u točki maksimalne snage, napona otvorenog kruga, struje i snage, slika 4.10. [16].



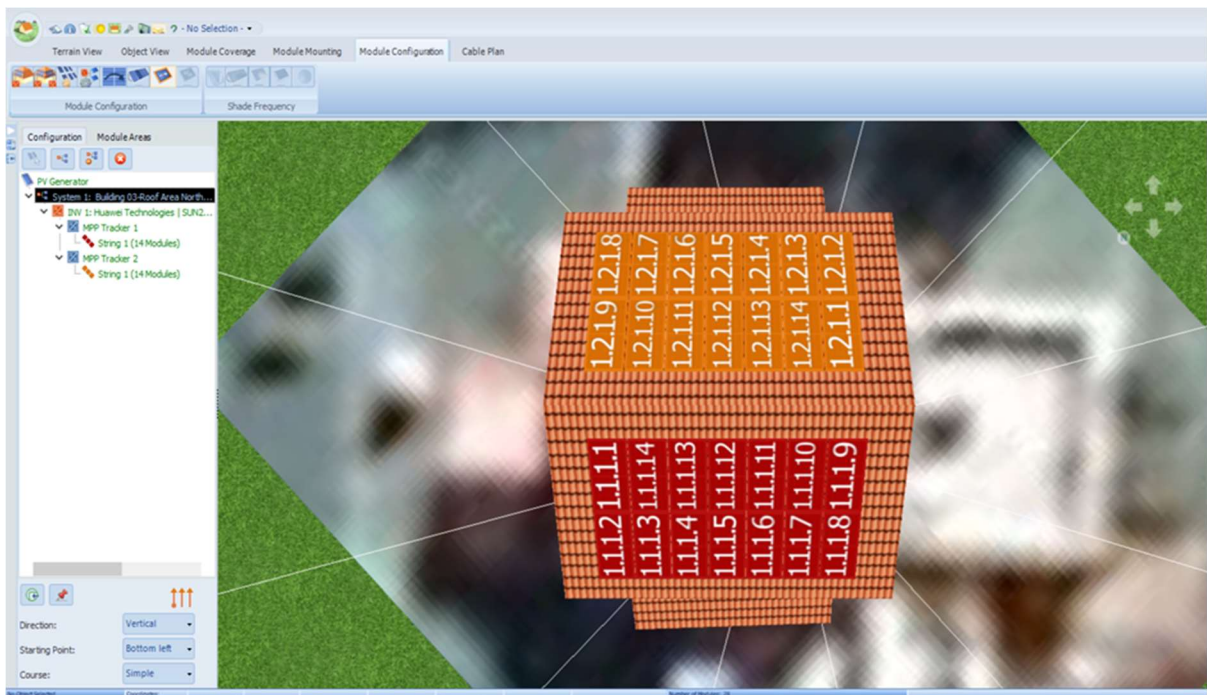
Slika 4.10. Prikaz parametara za MPP1 ulaz u izmjenjivač



### SUN2000-5/6/8/10/12KTL-M1 Technical Parameter

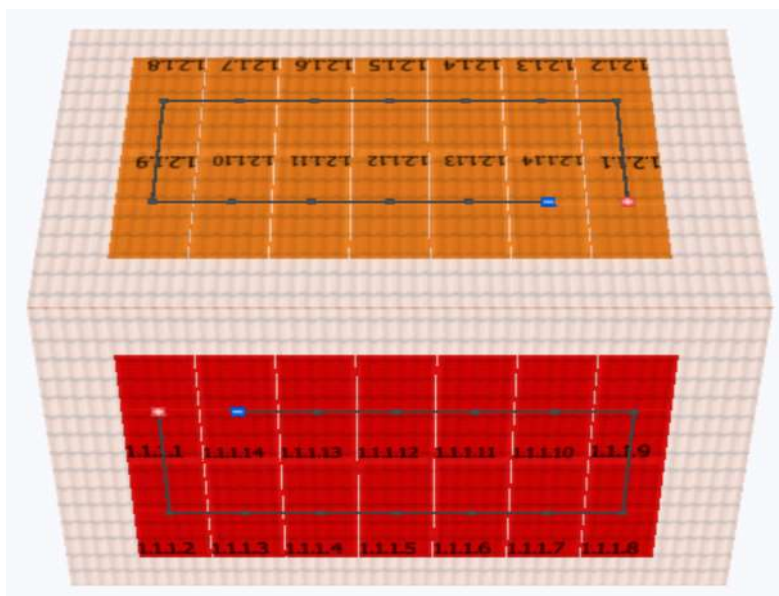
| Technical Parameter                              | SUN2000-5KTL-M1                                      | SUN2000-6KTL-M1 | SUN2000-8KTL-M1 | SUN2000-10KTL-M1 | SUN2000-12KTL-M1 |
|--|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| <b>Effectiveness</b>                             |  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum efficiency                               | 98.40%   | 98.60%          | 98.60%          | 98.60%           | 98.60%           |
| European efficiency                              | 97.50%   | 97.70%          | 98.00%          | 98.10%           | 98.20%           |
| <b>Input (inverter)</b>                          |  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum recommended component power <sup>1</sup> | 7500 Wp  | 9000 Wp         | 12000 Wp        | 15000 Wp         | 18000 Wp         |
| Maximum DC input voltage <sup>2</sup>            | 1100 V   |                 |                 |                  |                  |
| MPPT voltage range <sup>3</sup>                  | 140 V ~ 980 V  |                 |                 |                  |                  |
| Starting voltage                                 | 200 V  |                 |                 |                  |                  |
| Rated input voltage                              | 600 V  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum input current of each MPPT               | 11 A   |                 |                 |                  |                  |
| Maximum short circuit current                    | 15 A   |                 |                 |                  |                  |
| Number of MPPT                                   | 2  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum number of input channels                 | 2  |                 |                 |                  |                  |
| <b>Input (energy storage battery)</b>            |  |                 |                 |                  |                  |
| Adapted energy storage system                    | Huawei Smart String Energy Storage System 5kWh-30kWh |                 |                 |                  |                  |
| Operating voltage range                          | 600 V ~ 980 V  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum working current                          | 16A  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum charging power                           | 10000 W  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum discharge power                          | 5500 W   | 6600 W          | 8800 W          | 10000 W          | 10000 W          |
| <b>Output</b>                                    |  |                 |                 |                  |                  |
| Adapter grid                                     | Three phase  |                 |                 |                  |                  |
| Rated output power                               | 5000 W   | 6000 W          | 8000 W          | 10000 W          | 12000 W          |
| Maximum output apparent power                    | 5500 VA  | 6600 VA         | 8800 VA         | 11000 VA         | 12000 VA         |
| Rated output voltage                             | 220 Vac/ 380 Vac, 230 Vac/ 400 Vac, 3W / N+PE        |                 |                 |                  |                  |
| Output voltage frequency                         | 50 Hz / 60 Hz  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum output current                           | 8.5A   | 10.1A           | 13.5A           | 16.9A            | 18.4A            |
| Power factor                                     | 0.8 leading... 0.8 lagging                           |                 |                 |                  |                  |
| Maximum total harmonic distortion                | ≤3 %   |                 |                 |                  |                  |
| Off-grid power output                            | Yes (via Backup Box-B1 4)                            |                 |                 |                  |                  |
| <b>Output (Off-grid box Backup Box-B1)</b>       |  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum output apparent power                    | 3300 VA  |                 |                 |                  |                  |
| Rated output voltage                             | 220 V / 230 V  |                 |                 |                  |                  |
| Maximum output current                           | 15 A   |                 |                 |                  |                  |
| Power factor                                     | 0.8 leading... 0.8 lagging                           |                 |                 |                  |                  |

Slika 4.11. Karakteristike izmjenjivača HUAWEI SUN2000-12KTL-M1



Slika 4.12. Prikaz načina spoja FN modula oba niza

Posljednji korak modeliranja fotonaponske elektrane je povezivanje fotonaponskih modula kabelima, treba voditi računa da modul ide jedan za drugim da nema puno petljanja kabela i da početak i kraj jednog niza budu jedan kraj drugog, ako je to moguće. Također i sam program nudi mogućnost automatskog povezivanja kabela. Plan kabela za obiteljsku kuću Antičević postavljen je prema slici 4.13.



Slika 4.13. Prikaz kabelskog povezivanja FN modula

## 4.2. Analiza fotonaponske elektrane Antičević

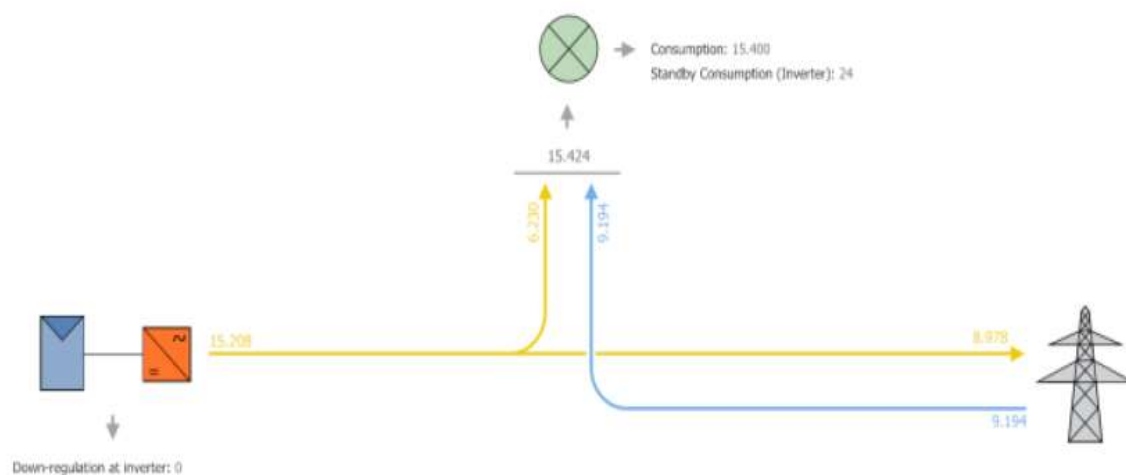
### OSNOVNI PODACI O FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI ANTIČEVIĆ:

- Instalirana snaga FN generatora: 28x455 Wp
- Nazivna snaga izmjenjivača: 12 kW
- Prikjučna snaga elektrane: 12 kWp
- Očekivana godišnja proizvodnja: 15.208 kWh
- Očekivana godišnji povrat u mrežu: 8.978 kWh
- Očekivana godišnja potrošnja iz mreže: 9.194 kWh
- Ukupna godišnja potrošnja: 15.424 kWh
- Napon priključka (Un): 0,4 kV, 50 Hz
- Vrsta priključka: trofazni

Procjena očekivane proizvodnje prema programskom paketu PV SOL iznosi 15.208 kWh godišnje, kao što se vidi na grafu tokova energije slika 4.14. Procjena je približna i informativna tj. godišnja proizvodnja ovisi o vremenskim i meteorološkim prilikama, broju sunčanih dana u godini, jakosti sunčevog zračenja itd. Program uzima godišnji prosjek na danoj lokaciju koju smo prije naveli.

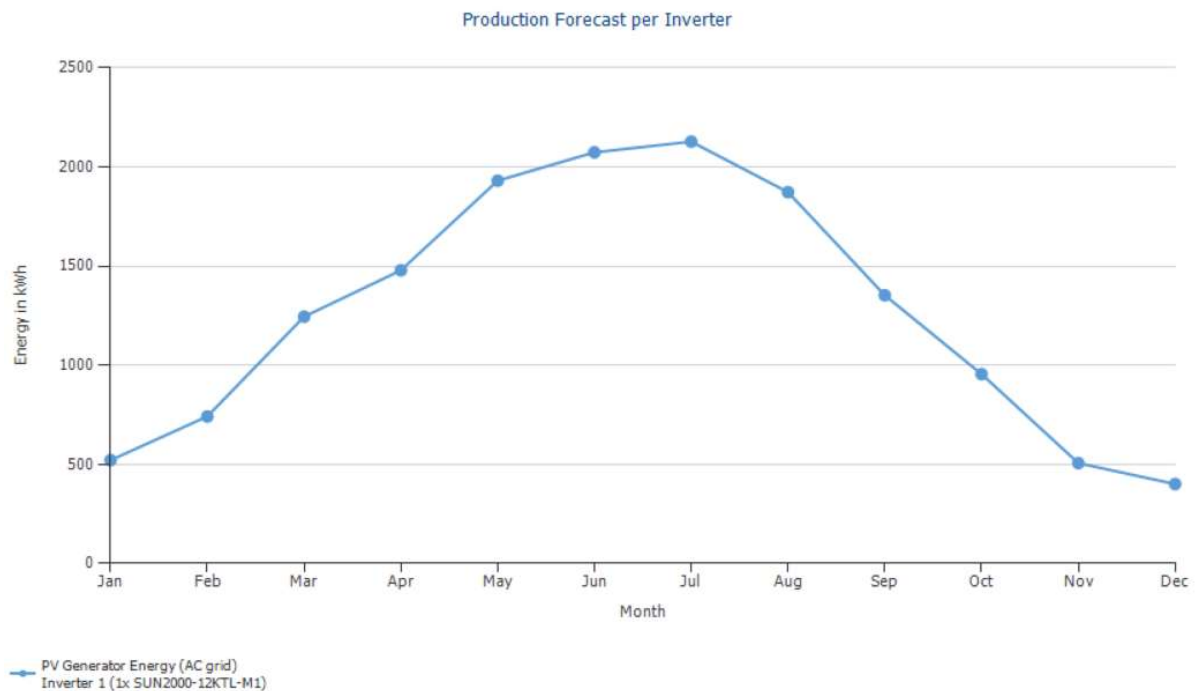
#### Energy Flow Graph

Project: Obiteljska kuća Antičević



Slika 4.14. Graf tokova energije

Na grafu slika 4.15. i tablici 4.1. prikazana je distribucija proizvodnje prema pojedinim mjesecima u godini.



Slika 4.15. Graf godišnje proizvodnje fotonaponske elektrane Antičević po mjesecima

Tablica 4.1. Tablica godišnje proizvodnje fotonaponske elektrane Antičević po mjesecima:

| Mjesec   | Proizvodnja [W/h] |
|----------|-------------------|
| Siječanj | 521,7             |
| Veljača  | 742,3             |
| Ožujak   | 1245,1            |
| Travanj  | 1478,9            |
| Svibanj  | 1930,3            |
| Lipanj   | 2073,3            |
| Srpanj   | 2127,1            |
| Kolovoz  | 1872,3            |
| Rujan    | 1353,1            |
| Listopad | 955,5             |
| Studen   | 506,9             |
| Prosinac | 401,5             |
| UKUPNO:  | 15208             |

### 4.3. Zaštita fotonaponske elektrane

Zaštita od indirektnog dodira u fotonaponskom sustavu (solarnoj elektrani Antičević) iznimno je važna kako bi se osigurala sigurnost ljudi, električne opreme, a i samog sustava. Zaštita od indirektnog dodira se postiže automatskim isklapanjem napajanja primjenom uređaja kao što su zaštitna diferencijalna sklopka- FID sklopka i nadstrujni zaštitni uređaji.

Zaštita od direktnog dodira u fotonaponskom sustavu odnosi se na sprječavanje fizičkog dodira s dijelovima pod naponom električnog sustava. Direktni dodir može nastati kada osoba fizički dodirne strujne vodiče ili komponente pod naponom. Za sprječavanje direktnog dodira, predviđena je izolacija, postavljanje opreme u odgovarajuća kućišta (razvodne ormare) izvan dohvata ruku, kako bi se osigurala sigurnost i smanjio rizik od električnih ozljeda.

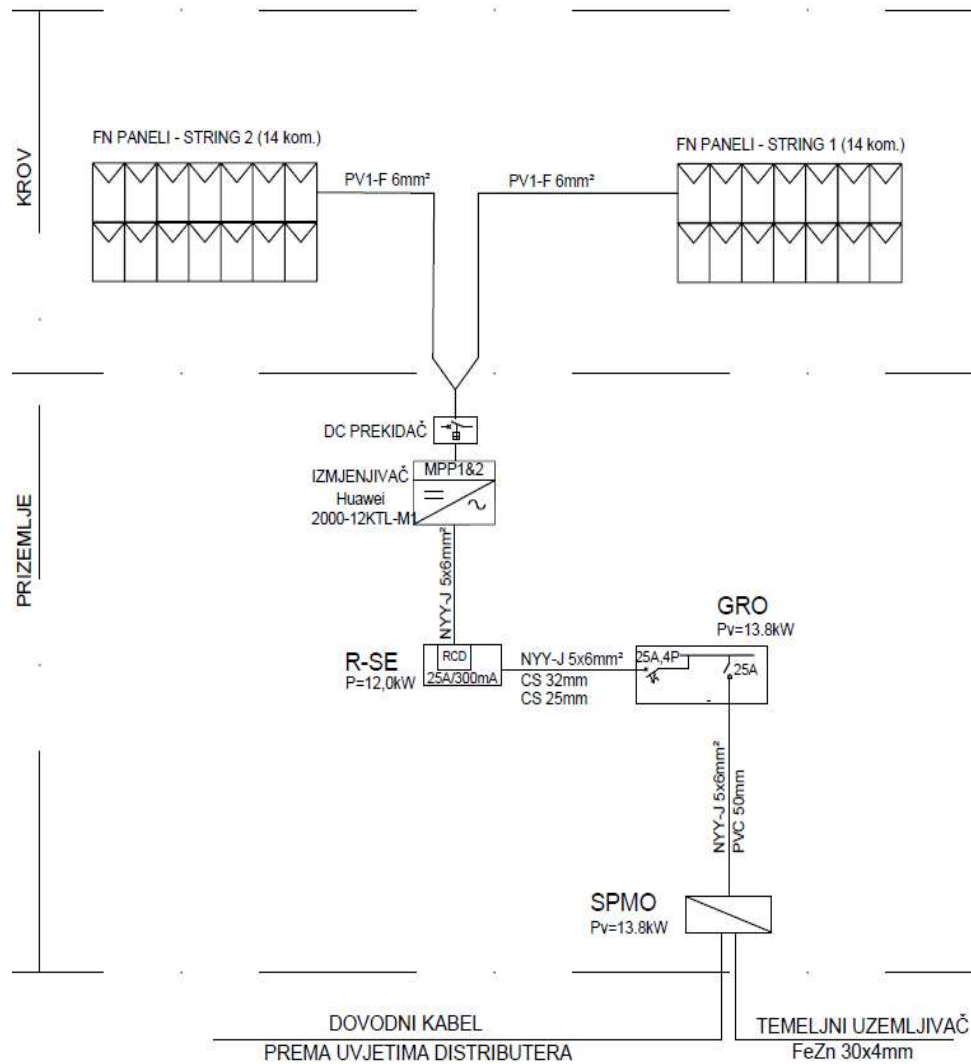
Predviđena je zaštita električnih vodova od mehaničkog oštećenja uvlačenjem u PVC cijevi. Zaštita glavnih napojnih vodova od struje kratkog spoja izvedena je visokoučinskim niskonaponskim osiguračima, a zaštita ostalih vodova izvedena je rastalnim odnosno automatskim osiguračima i zaštitnim prekidačima. Zaštita el. instalacije od prenapona izvest će se na istosmjernoj i izmjeničnoj strani elektrane na nivou cijelog objekta odvodnicima prenapona [16]. Jednopolna shema slika 4.16. prikazuje dijelove fotonaponskog sustava.

Zaštita od prenapona. Kao uzemljivač iskoristit će se postojeći temeljni uzemljivač. Okvire FN modula i nosivu konstrukciju kao i sve izložene vodljive dijelove potrebno je povezati sa sabirnicom za izjednačenje potencijala, odnosno uzemljivačem objekta [16].

Fotonaponski moduli se spajaju serijski u nizove tzv. stringove. Predviđena su dva stringa. Za spajanje FN modula-nizova se koristi kabel tipa PV1-F 1x6 mm<sup>2</sup>, koji je prilagođen za vanjsku montažu.

Sam NN razvod i priključenje izmjenjivača na RO-SE(R-SE) će se izvesti kabelom NYY-J 5x6mm<sup>2</sup>, kako je to prikazano na priloženoj jednopolnoj shemi slika 4.16. Energetski kabeli dimenzionirani su prema snazi izmjenjivača uz uvjet maksimalnog pada napona <1%. Razvodni ormar oznake RO-SE(R-SE) preko kojeg će se izvesti spoj DC/AC izmjenjivača na NN električni razvod GRO-a biti će smješten u stubištu. Razdjelnik je nadžbukne izvedbe i biti će opremljen sa svim potrebnim aparatima, zaštitnim i upravljačkim elementima.

Na dovodu sa izmjenjivača predviđena je odgovarajuća 4. polna strujna zaštitna sklopka nazivne struje 25 A i diferencijalne struje 300mA, te četveropolni prekidač nazivne struje 25A.



Slika 4.16. Jednopolna shema FN elektrane obiteljske kuće Antičević

## 5. ZAKLJUČAK

Korištenje obnovljivih izvora energije, posebno energije sunca i njezino pretvaranje u električnu energiju, ima iznimnu važnost za održivu energetska budućnost. Sunčeva energija je praktički neiscrpan i stabilan izvor energije za električne sustave, dostupan svugdje na planeti. Korištenje sunčeve energije ne proizvodi štetne emisije stakleničkih plinova, smanjuje potrebu za fosilnim gorivima, što pridonosi smanjenju klimatskih promjena i poboljšava kvalitetu zraka. Također smanjuje ovisnost o nesigurnim izvorima energije i potiče energetska neovisnost.

Ovaj rad naglašava ključne koristi i značaj korištenja solarne energije na primjeru obiteljske kuće. Solarni sustavi mogu se instalirati na kućama, poslovnim zgradama i industrijskim objektima, što potiče lokalnu proizvodnju energije i smanjuje gubitke tijekom prijenosa. Razvoj solarnih tehnologija potiče inovacije i tehničke napretke u području obnovljive energije, otvarajući put ka još efikasnijim i ekonomičnijim rješenjima. Tehnološki napredak i masovna proizvodnja solarnih komponenata su doveli do značajnog smanjenja troškova solarnih sustava tijekom proteklih godina, čime solarna energija postaje sve konkurentnija s tradicionalnim izvorima energije.

U konačnici, korištenje sunčeve energije za proizvodnju električne energije ima ključnu ulogu u smanjenju negativnog utjecaja na okoliš, smanjenju ovisnosti o ograničenim resursima te stvaranju održive energetske budućnosti za naraštaje koji dolaze.

## LITERATURA

- [1] <http://eko-sustav.hr/strucni-clanci/sunceva-solarna-energija/> [pristup 22.8.2023.].
- [2] <https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/unin%3A2297/datastream/PDF/view> [pristup 22.8.2023.].
- [3] Šljivac, D.; Topić, D.: *Obnovljivi izvori električne energije*, završni rad, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, fakultet elektrotehnike, računarstava i informacijskih tehnologija Osijek 2018.
- [4] <https://meteo.hr/index.php> [pristup 23.8.2023.].
- [5] <https://www.solarne-elektrane.hr/strujno-naponske-osnove-fotonaponskih-elektrana/> [pristup 25.8.2023.].
- [6] Kucelj, M.: *Projektiranje i ugradnja fotonaponske elektrane FERIT 1 u okviru RESCUE projekta*, diplomski rad, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2021.
- [7] <https://www.jasolar.com/uploadfile/2021/0602/20210602105327260.pdf>. [pristup 28.8.2023.].
- [8] Lipovac, M.; Zorica, S.; Cvjetković, S. J.; Papučić, I.; Đukić, P.: *Spajanje fotonaponskih sustava na mrežu*, druga međunarodna konferencija COAST 2023, Herceg Novi, Crna Gora
- [9] Lovrić, I.; Cvjetković, S. J.; Jenčić, S.; Papučić, I.: *Wind Turbine Concept for Educational Purposes*, Journal of Higher Education Theory and Practice 2021.
- [10] ABB, "Photovoltaic plants", ABB, Technical Application Papers, No. 10, 2014.
- [11] <https://nasuncanojstrani.hr/proces-realizacije-solarne-elektrane/> [pristup 24.8.2023.].
- [12] <https://nasuncanojstrani.hr/proces-realizacije-solarne-elektrane/uvjeti-ugradnje-solarne-elektrane/> [pristup 24.8.2023.].
- [13] <https://nasuncanojstrani.hr/proces-realizacije-solarne-elektrane/projekt-solarne-elektrane/>. [pristup 24.8.2023.].



- [14] <https://nasuncanojstrani.hr/proces-realizacije-solarne-elektrane/prikljucenje-elektrane-i-zamjena-brojila/>. [pristup 24.8.2023.].
- [15] <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom-kategorija-kucanstvo/1545> [pristup 24.8.2023.].
- [16] <https://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/proizvodjaci-185/185> . [pristup 24.8.2023.].
- [17] <https://nasuncanojstrani.hr/proces-realizacije-solarne-elektrane/poticaji-solarne-elektrane/> [pristup 24.8.2023.].
- [18] Mikulic, M.: *Modeliranje fotonaponskog sustava prema potrošnji kućanstva*, diplomski rad, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2020.
- [19] "Elektroenergetski projekt obiteljske kuće.docx" [pristup 28.8.2023.]
- [20] <https://www.fzoeu.hr/hr/završena-obrađena-svih-prijava-na-javni-poziv-za-poticanje-oie-u-obicajskim-kucama/9486> . [pristup 30.8.2023.].

## POPIS SLIKA

|  |  |
|--|--|
| Slika 2.1. Godišnje sunčevo zračenje.....  | 5  |
| Slika 2.2. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe ukupnim Sunčevim zračenjem na području Republike Hrvatske.....    | 6  |
| Slika 2.3. Nadomjesna shema FN ćelije.....   | 8  |
| Slika 2.4. Fotonaponska ćelija .....   | 8  |
| Slika 2.5. Podjela fotonaponskog sustava .....   | 9  |
| Slika 2.6. Mrežni (on-grid) fotonaponski sustav.....   | 12   |
| Slika 2.7. Samostalni (off-grid) fotonaponski sustav .....   | 13   |
| Slika 2.8. Hibridni fotonaponski sustav .....  | 13   |
| Slika 2.9. Grafički prikaz serijskog i paralelnog spajanja unutar strujnoga kruga .....                                  | 14   |
| Slika 2.10. Primjer tehničkih podataka fotonaponskog modula JA Solar Holdings Co., Ltd., model JAM72S20 445-470/MR ..... | 15   |
| Slika 2.11. Utjecaj sunčevog zračenja i temperature na rad modula  | <b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b> |
| Slika 2.12. Izmjenjivač za NN mrežu .....  | 17   |
| Slika 2.13. Načelna shema izmjenjivača .....   | 18   |
| Slika 2.14. U-I karakteristika i karakteristika snage izmjenjivača.....  | 19   |
| Slika 3.1. Tijek realizacije solarne elektrane .....   | 21   |
| Slika 3.2. Koraci HEP ODS-a i podnositelja zahtjeva .....  | 26   |
| Slika 4.1. Sučelje Project dana za obiteljsku kuću Antičević .....   | 28   |
| Slika 4.2. Sučelje tipa solarnog generatora i klimatskih podataka.....   | 29   |
| Slika 4.3. Prikaz godišnje potrošnje kućanstva po mjesecima.....   | 31   |
| Slika 4.4. 3D model obiteljske kuće Antičević .....  | 32   |
| Slika 4.5. Definiranje dimenzija kuće i definiranje dimenzija krovništva.....  | 32   |
| Slika 4.6. Postavljanje fotonaponskih modula JI strana.....  | 34   |
| Slika 4.7. Postavljanje fotonaponskih modula SZ strana.....  | 34   |
| Slika 4.8. Prikaz odabira izmjenjivača HUAWEI SUN2000-12KTL-M1.....  | 35   |
| Slika 4.9. Parametri izmjenjivača HUAWEI SUN2000-12KTL-M1 sa spojenih 28 modula..  | 36   |
| Slika 4.10. Prikaz parametara za MPP1 ulaz u izmjenjivač.....  | 36   |
| Slika 4.11. Karakteristike izmjenjivača HUAWEI SUN2000-12KTL-M1 .....  | 37   |
| Slika 4.12. Prikaz načina spoja FN modula oba niza .....   | 38   |

|  |    |
|--|----|
| Slika 4.13. Prikaz kablenskog povezivanja FN modula.....                                 | 38 |
| Slika 4.14. Graf tokova energije.....  | 39 |
| Slika 4.15. Graf godišnje proizvodnje fotonaponske elektrane Antičević po mjesecima..... | 40 |
| Slika 4.16. Jednopolna shema FN elektrane obiteljske kuće Antičević.....                 | 42 |

## POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Tablica godišnje proizvodnje fotonaponske elektrane Antičević po mjesecima . 40