Utjecaj solarne elektrane na mrežu u točki priključenja

Pajan, Dražen

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:892409

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište Sjever

Završni rad br. 369/EL/2015

Utjecaj solarne elektrane na mrežu u točki priključenja

Dražen Pajan, 1607/601

Varaždin, ožujak 2016. godine

Sveučilište Sjever

Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 369/EL/2015

Utjecaj solarne elektrane na mrežu u točki priključenja

Student

Dražen Pajan, 1607/601

Mentor

Dunja Srpak, dipl.inž.el.

Varaždin, ožujak 2016. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Dražen Pajan	MATIČNI BROJ	1607/601
DATUM	28.12.2015.		
KOLEGIJ	Uređaji energetske elektronike		
NASLOV RADA	Utjecaj solarne elektrane na mrežu u točki priključenja		
MENTOR	Dunja Srpak, dipl. inž. el.	ZVANJE	predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Miroslav Horvatić, dipl. inž. el. - predsjednik povjerenstva
2. mr. sc. Ivan Šumiga - Ian
3. Dunja Srpak, dipl. inž. el.

Zadatak završnog rada

BROJ 369/EL/2015

OPIS

U radu je potrebno opisati predmetnu elektranu na kojoj se bazira završni rad od projekta, montaže i puštanja u pogon, te izvršiti analizu utjecaja na mrežu u točki priključenja. Radom obuhvatiti:

- kratki opis o solarnim elektranama i obnovljivim izvorima
- detaljniji opis pojedinih sastavnica solarnih elektrana
- kratki opis predmetne solarne elektrane
- proračun solarne elektrane u programu PVSOL
- utjecaji zasjenjenja SE na proizvodnju
- utjecaj kabliranja elektrane na proizvodnju
- utjecaji SE na mrežu
- padovi napona od trafostanice do elektrane
- pregled izvšenih mjerenja elektrane u radu
- ispitivanja i analiza utjecaja na mrežu prema stvarnim mjerenjima.

ZADATAK UKUČEN 19.01.2016. POTPIS MENTORA

Sažetak

Dobar geografski položaj Hrvatske i sustav poticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, donio je sve veću potražnju za izgradnjama i korištenjem fotonaponskih sustava, te njihovih priključenja na elektroenergetsku mrežu. [11]

U prvom djelu rada obrađeno je općenito o obnovljivim izvorima energije, te o solarnim elektranama, kao i iskoristivost u Hrvatskoj. U nastavku je detaljnije opisana solarna elektrana, te njezini glavni dijelovi. Prema predmetnoj elektrani vide se utjecaji pojedinih elemenata na proizvodnju električne energije, od godišnjeg sunčevog zračenja na plohu, preko utjecaja zasjenjenja zbog susjednih objekata pa sve do horizonta. Na kraju su opisani i objašnjeni svi utjecaji solarne elektrane na mrežu preko stvarnih mjerenja i ispitivanja. Prikazana je i razlika između dobivenih rezultata iz proračuna predmetne solarne elektrane prema njezinim stvarnim mjerenjima proizvodnje električne energije.

Popis korištenih kratica

AC-DC	Izmjenična struja - istosmjerna struja
CO2	Ugljikov dioksid
EEM	Elektroenergetska mreža
EES	Elektroenergetska suglasnost
Engl.	Engleski
EU	Europska unija
FN	Fotonaponski
HEP	Hrvatska elektroprivreda
HROTE	Hrvatski operator tržišta energije
MPPT	Sustav za praćenje optimalne radne točke (engl. Maximum power point tracker)
NN	Niskonaponski
NO_X	Dušikovi oksidi
ODS	Operator distribucijskog sustava
OIE	Obnovljivi izvori energije
PE	Sabirnica za uzemljenje
PEES	Prethodna elektroenergetska suglasnost
PMO	Priključno mjerni ormarić
SE	Solarna elektrana
SO_2	Sumporni dioksid
THD	Harmoničko izobličenje napona
TN-C-S	Sustav uzemljenja mreže i uređaja

Sadržaj

1. Uvod 4
2. Obnovljivi izvori energije 5

2.1. Sunčeva energija 7
2.2. Solarne elektrane 8

2.2.1. Samostalni fotonaponski sustavi 9
2.2.2. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije 10

3. Osnovne sastavnice solarnih elektrana 12

3.1. Fotonaponski moduli 12
3.2. Izmjenjivači 15
3.3. Konstrukcija 15
3.4. Ostala oprema 17

4. Tehnički opis predmetne solarne elektrane 18

4.1. Fotonaponski moduli Solvis SV60-240 20
4.2. Izmjenjivači Danfoss TLX Pro 20
4.3. Zaštita postrojenja 21

5. Proračun solarne elektrane 23

5.1. Proračun predmetne solarne elektrane u programu PV*Sol 26
5.2. Razlika između rezultata iz proračuna i stvarnih mjerenja proizvodnje električne energije predmetne solarne elektrane 30

6. Vanjski utjecaji na količinu proizvedene električne energije 31

6.1. Utjecaji zasjenjenja na proizvodnju električne energije SE 31
6.2. Utjecaj azimuta i godišnjih doba na proizvodnju električne energije 33

7. Priključenje i utjecaji solarne elektrane na mrežu 39

7.1. Potrebna dokumentacija za priključak solarne elektrane na mrežu 40
7.2. Ispitivanja i analiza utjecaja predmetne solarne elektrane na mrežu 42

8. [illegible] 44
9. [illegible] 45

1. Uvod

Posljednjih nekoliko godina postoji sve veća potražnja za električnom energijom. Europska unija je definirala zahtjevne ciljeve za 2020. godinu u energetici i sprječavanju klimatskih promjena i poznate su kao ciljevi 20-20-20, koje je i Hrvatska prihvatila, koji uključuju [1]: smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20% u odnosu na 1990. godinu; 20% potrošnje električne energije proizvedeno iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (OIE); smanjenje do 20% u korištenju primarne energije.

Donesenom odlukom o obaveznom smanjenju CO_2 te povećanjem proizvodnje iz obnovljivih izvora energije države raznim mjerama potiču investitore u ulaganje u OIE od kojih se najviše ističu Sunce i vjetar. Priključenjem tih proizvodnih sustava na elektroenergetski sustav (EES), pogotovo na distribucijsku mrežu, dolazi do promjena karakteristika mreže. Nekada pasivna distribucijska mreža postaje aktivna.

Zbog sve većih potreba za električnom energijom te smanjivanja udjela konvencionalnih izvora u proizvodnji električne energije, raste broj proizvodnih jedinica priključenih na elektroenergetsku mrežu (EEM) koje proizvode električnu energiju iz obnovljivih izvora, pogotovo Sunca.

Kako bi se smanjili gubici u prijenosu električne energije, a time i smanjili troškovi, električna energija se počinje proizvoditi na mjestu ili blizu mjesta njezine potrošnje. To se zove distribuirana proizvodnja električne energije. [2]

U radu će biti prikazana problematika utjecaja priključenja solarnih elektrana na mrežu te analiza utjecaja zasjenjenja na proizvodnju električne energije, kao i problematika rješavanja projekta i proračuna za solarne elektrane da bi se dobila što bolja proizvodnja električne energije, te da se smanje negativne posljedice u točki priključenja na elektroenergetsku mrežu. Sve bazirano na stvarnim podacima i mjerenjima na predmetnoj solarnoj elektrani snage do 30 kW i priključenja na niskonaponski vod.

2. Obnovljivi izvori energije

U zadnjih nekoliko godina obnovljivi izvori energije kao što su: energija vode, vjetra, biomase, Sunčevo zračenje i geotermalna energija, imaju veću važnost u elektroenergetskom sustavu, zbog cijena fosilnih goriva, kao i velikog onečišćenja okoliša koje utječe na klimatske promjene, pa neke razvijene zemlje u velikoj mjeri i potiču njihovu upotrebu.

Sunčeva energija se može koristiti na različite načine, ali je to najčešće pretvorba u toplinsku energiju i električnu energiju. Za iskorištavanje Sunčeve energije, geografski položaj Hrvatske se smatra povoljnim.

Najjednostavniji način pretvorbe Sunčeve energije u električnu je izravna pretvorba pomoću fotonaponskih ćelija. Princip rada sunčane ćelije je na temelju fotoelektričnog efekta.

Prednosti fotonaponskih sustava u proizvodnji električne energije su: Sunčeva energija je besplatna i neiscrpna, čista pretvorba energije, moguće je napajanje potrošača na mjestima gdje nema izgrađenog elektroenergetskog sustava, visoka pouzdanost i mali pogonski troškovi, kao i dugogodišnji vijek trajanja fotonaponskih modula. Nedostatci fotonaponskog sustava su velike površine potrebne za veće elektrane, ovisnost proizvodnje o osunčanosti, te još uvijek dosta skupa tehnologija pretvorbe Sunčeve energije u električnu energiju uz malu efikasnost. Zbog toga su ulaganja u solarne elektrane rijetko isplativa bez dodatnih poticaja. [3] [11]

Na slici 2.1. prikazano je godišnje sunčevo zračenje na površini Zemlje u usporedbi s godišnjom potrošnjom energije u svijetu, te zalihama fosilnih (ugljen, nafta, plin) i nuklearnih goriva (uran).

SLIKA 2.1. Godišnje sunčevo zračenje na površini zemlje u usporedbi sa zalihama fosilnih i nuklearnih goriva te godišnjom potrošnjom energije u svijetu [4]

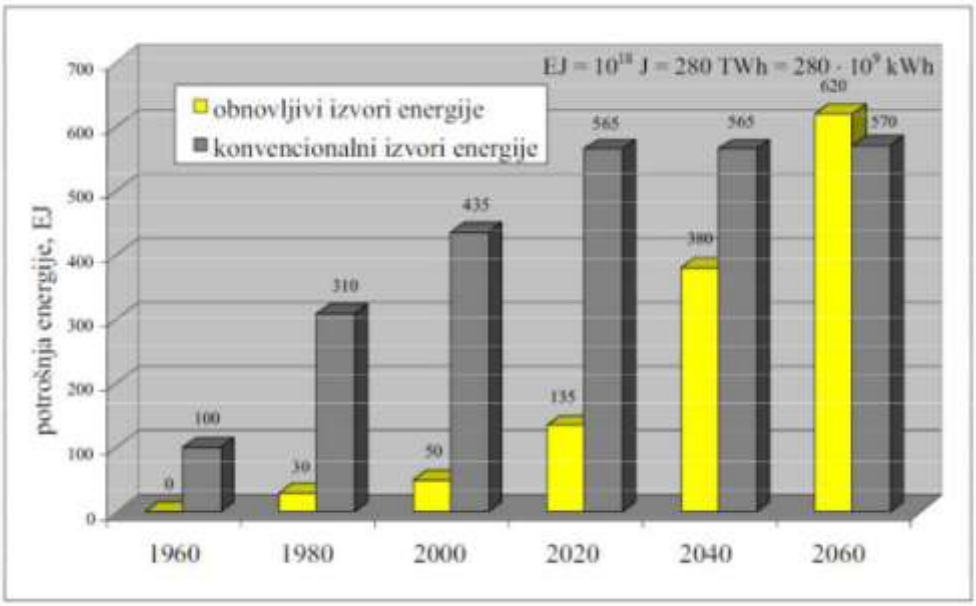
Slika 2.1. zorno pokazuje prirodni potencijal energije sunčeva zračenja, (žuta kocka), koja je 50 puta veća od zbroja svih zaliha fosilnih i nuklearnih goriva. Trenutno je tehnički potencijal

energije sunčeva zračenja još uvijek veći od svjetske potrošnje energije, koja je prikazana malom plavom kockom.

Zbog toga se kaže da su mnogi izvori energije, osobito obnovljivi, samo različite pretvorbe i oblici energije sunčeva zračenja. (Slika 2.2.)

SLIKA 2.2. Različite pretvorbe i oblici energije sunčeva zračenja [4]

Činjenica je da su konvencionalni izvori energije (ugljen, nafta, plin, nuklearna goriva) ograničeni i iscrpljivi, a energetski sektor većim je dijelom uzrok emisije mnogih plinova poput SO_2, NO_x, te osobito stakleničkog plina ugljikova dioksida CO_2, a jedan je od najvećih razloga globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Zbog toga je potrebno osigurati sklad suvremenog načina čovjekova života i stupnja tehnološkog napretka, s prirodom i održivim razvojem, za dobrobit sadašnjih i budućih generacija. [4]



SLIKA 2.3. Plan rasta proizvodnje iz obnovljivih izvora energije i udio u ukupnoj potrošnji energije do 2060.godine [4]

2.1. Sunčeva energija

Kod izrade proračuna i projektiranju solarnih elektrana potrebno je poznavati Sunčeva zračenja koje upada na plohu fotonaponskih modula. [11]

Zemlja od Sunca godišnje dobiva oko $4 \cdot 10^{21}$ kJ energije što je nekoliko tisuća puta više nego što iznosi ukupna godišnja potrošnja energije iz svih primarnih izvora. To znači da Zemlja u jednom satu od Sunca primi dovoljno energije za zadovoljenje svih svojih godišnjih energetskih potreba. [5]

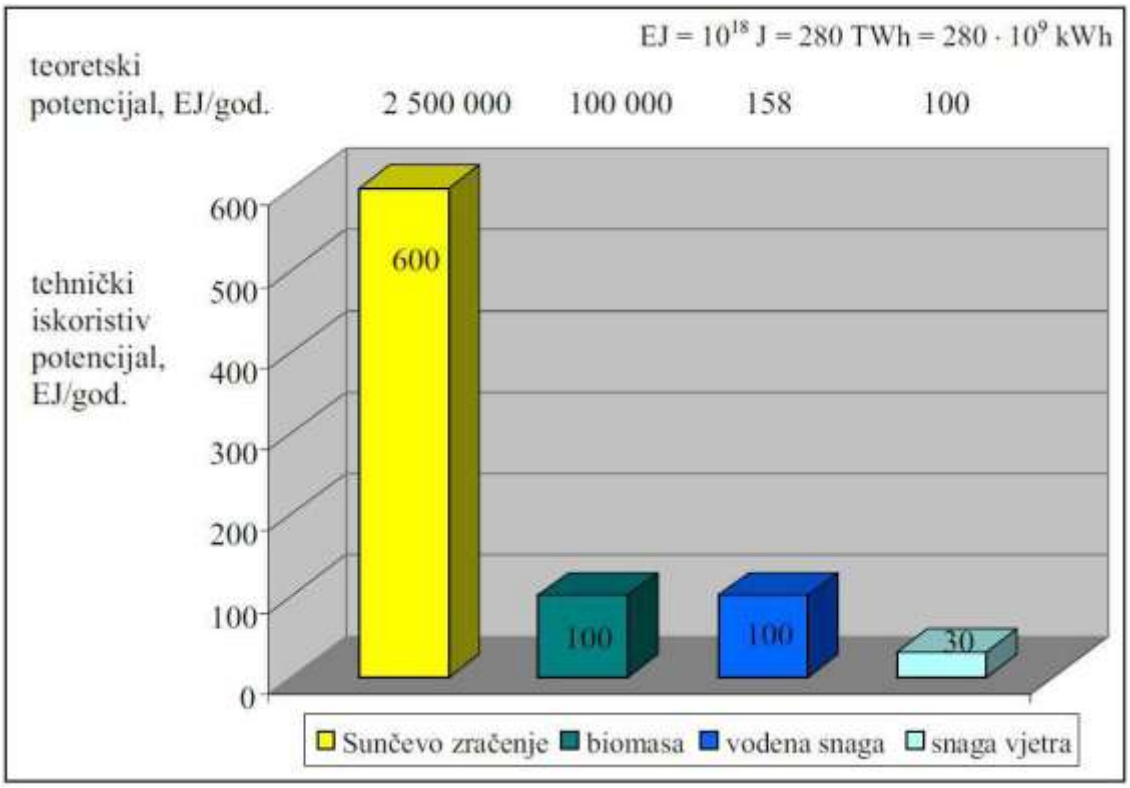
Sunčeva energija kao izrazito prihvatljiv obnovljivi izvor energije, bi mogla u bliskoj budućnosti postati glavni nositelj ekološki održivoga energetskog razvoja, radi toga se intenzivno istražuju novi postupci i procesi pretvorbe sunčeve energije u električnu, te i ostale oblike pretvorbe.

Tehnički potencijal energije sunčeva zračenja koji padne na neku građevinu ili zgradu, slika 2.4., nekoliko je puta veći od potreba takve zgrade za energijom. Trenutno na tržištu postoje tehnički uređaji i opreme kvalitetne tehničke razine, za pretvorbu energije sunčeva zračenja u električnu ili neku drugu energiju. Time je postignuta udobnost boravka u takvoj zgradi, smanjen je uvoz energenata, osigurana je sigurna opskrba i znatno je smanjen negativan utjecaj na okoliš iz energetskog sektora.

SLIKA 2.4. Ogroman potencijal energije sunčeva zračenja pada na svaku građevinu [4]

Teoretski potencijal energije sunčeva zračenja daleko je veći od ostalih obnovljivih izvora energije, kao na primjer biomase, snage vode i snage vjetra, koji su također samo posljedica ili oblik neke pretvorbe sunčeve energije.

Tehnički iskoristiv potencijal sunčeve energije, onaj koji se danas tehnički i tehnološki može iskoristiti za pretvorbu energije sunčeva zračenja u električnu ili neku drugu pretvorbu, još je uvijek veći od ukupne svjetske potrošnje energije. (Slika 2.5.) [4]



SLIKA 2.5. Teoretski i tehnički potencijal obnovljivih izvora energije [4]

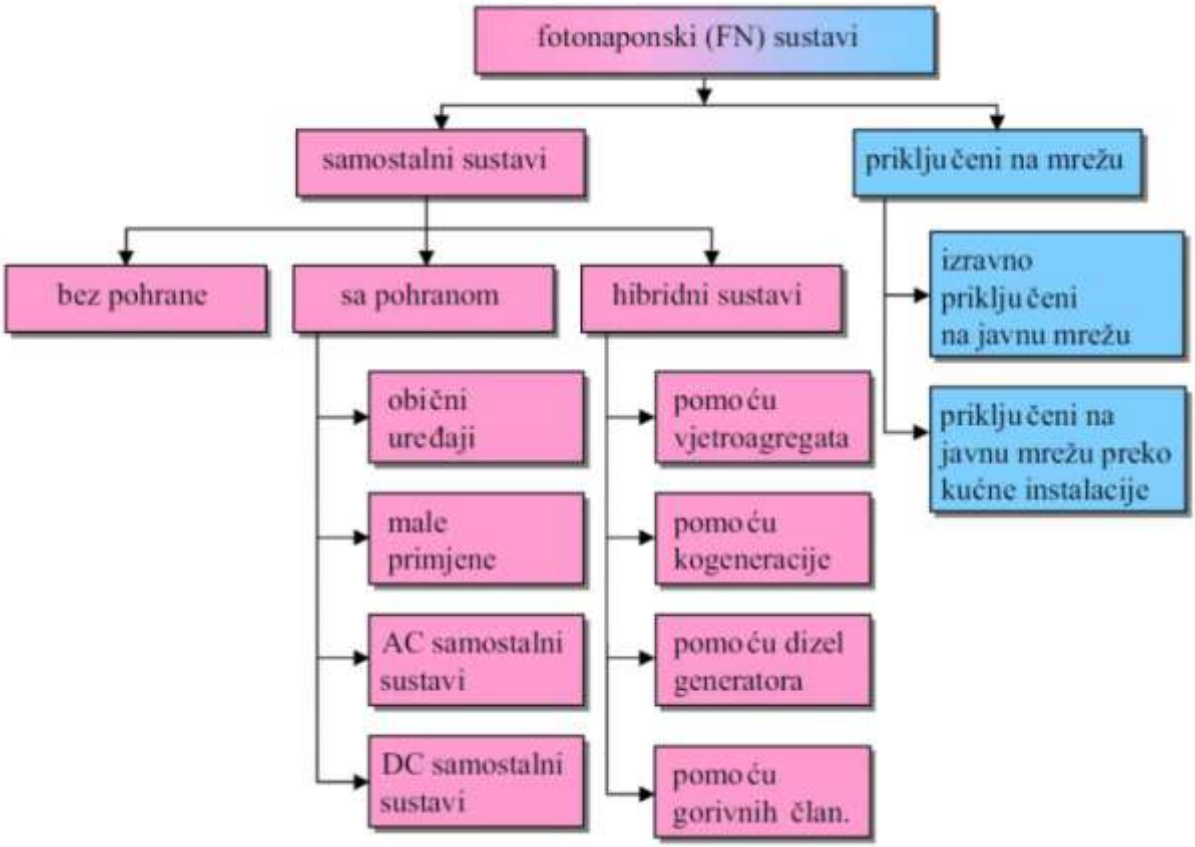
2.2. Solarne elektrane

U zadnje vrijeme sve više su se počele koristiti solarne elektrane, elektrane korištene na bazi sunčeva zračenja. Koliko se vidi iz potencijala, sunčevo zračenje je puno iskoristivije od ostalih obnovljivih izvora energije.

Solarni fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine: fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. off-grid), a često se nazivaju i samostalnim sustavima (engl. stand-alone systems), i fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (engl. on-grid), (slika 2.6.).

Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu, odnosno samostalni sustavi, mogu biti sa ili bez pohrane energije, što će ovisiti o vrsti primjene i načinu potrošnje energije, i hibridni sustavi koji mogu biti s vjetroagregatom, kogeneracijom, dizelskim generatorom ili gorivnim člancima.

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu mogu biti izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije. [4]

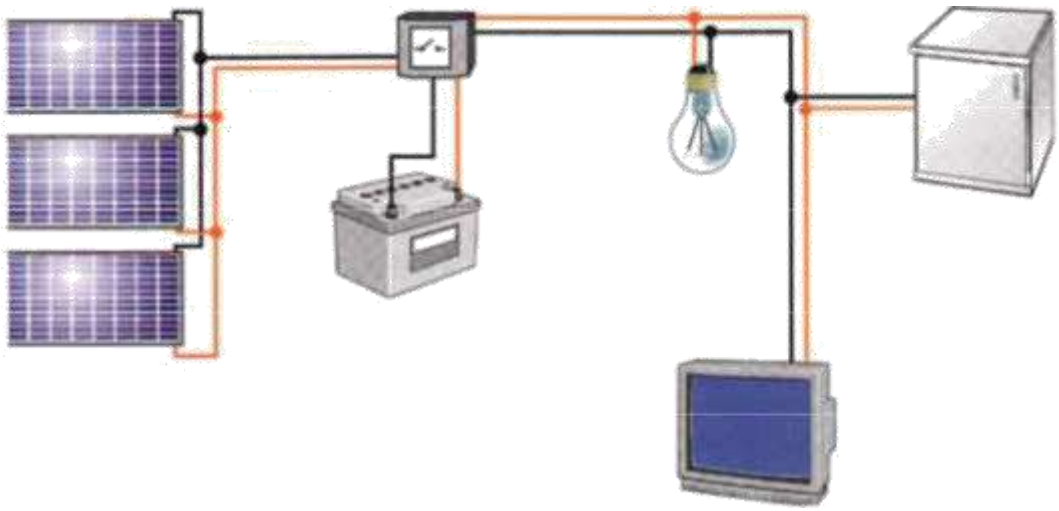


SLIKA 2.6. Osnovna podjela fotonaponskih sustava [4]

2.2.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Temeljne komponente samostalnoga fotonaponskog sustava, slika 2.7.:

1. fotonaponski moduli
2. regulator punjenja
3. akumulator
4. trošila
5. izmjenjivač (ako trošila rade na izmjeničnu struju)



SLIKA 2.7. Samostalni fotonaponski sustav za trošila na istosmjernu struju [4]

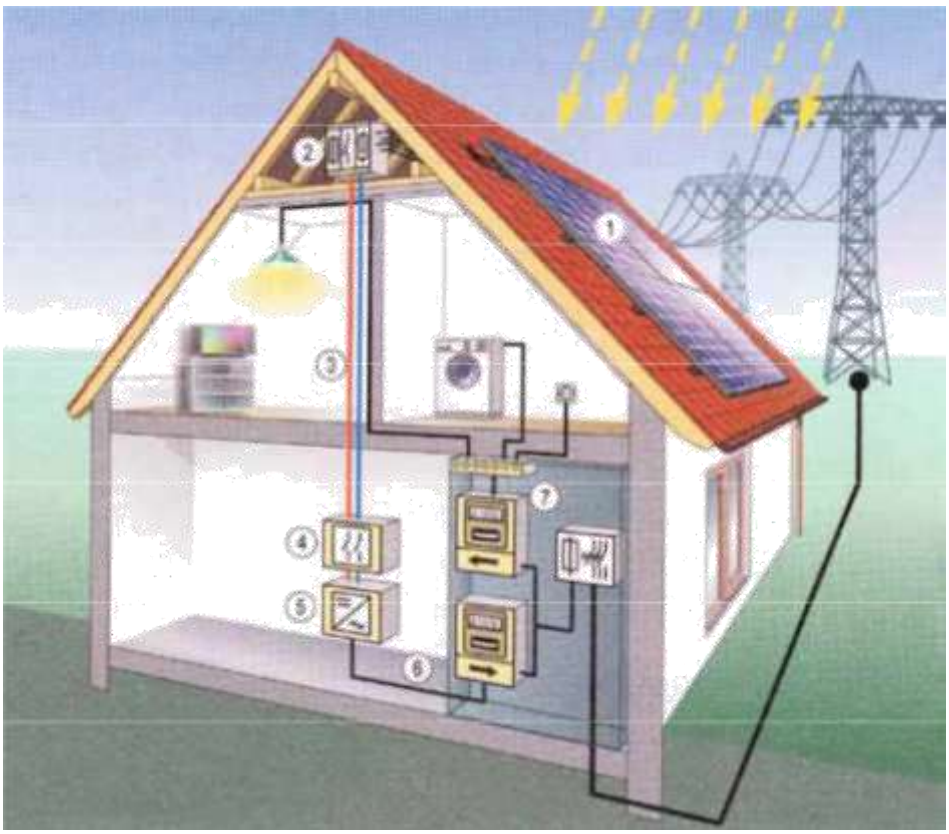
2.2.2. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije. Oni omogućuju povezivanje distribuiranih sustava na centralizirane sustave, odnosno sustave priključene uglavnom na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava.

Temeljne komponente fotonaponskog sustava, priključenog na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije prikazane su na slici 2.8. To su:

1. fotonaponski moduli
2. spojna kutija sa zaštitnom opremom
3. kablovi istosmjernog razvoda
4. glavna sklopka za odvajanje
5. izmjenjivač AC/DC
6. kablovi izmjeničnog razvoda
7. brojila predane i preuzete električne energije

FN sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije je u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom, a namijenjen je za napajanje trošila u obiteljskoj kući, a višak električne energije odlazi u elektrodistribucijsku mrežu. Postoji i varijanta predaje kompletne proizvedene električne energije u mrežu, pa u tom slučaju se iz FN sustava ne napajaju trošila u obiteljskoj kući. [4]



SLIKA 2.8. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [4]

S obzirom na instaliranu snagu, fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu mogu se podijeliti na sustave do 30 kW, od 30 kW do 100 kW i preko 100 kW.

Postoje još i fotonaponski sustavi koji su priključeni direktno na javnu distribucijsku mrežu. Za te je sustave karakteristična i veća snaga i uglavnom se instaliraju na većim površinama, a dijele se na sustave do 10 MW, od 10 MW do 30MW i preko 30MW.

Jedno je od važnijih područja primjene fotonaponskih modula i suvremena, energetski učinkovita arhitektura povezana s dizajnom u arhitekturi. Tako su se počeli fotonaponski moduli postavljati na pročeljima građevina, na staklene krovove građevina, na nadstrešnice za vozila, na autoceste uz ili umjesto ograda, na spomenike kulture.

U Hrvatskoj je trenutno najraširenija izvedba postavljanja modula na krovove obiteljskih kuća, te na krovove zgrada ili škola uz priključak fotonaponskog sustava na javnu elektroenergetsku mrežu.

3. Osnovne sastavnice solarnih elektrana

Najbitniji osnovni dijelovi od kojih se sastoji solarna elektrana su:

1. Fotonaponski moduli
2. Izmjenjivači
3. Kabeli istosmjerne strane
4. Konstrukcija
5. Razvodni ormar
6. Brojila električne energije

Fotonaponski sustavi se dijele na samostalne sustave za čiji rad nije potrebna mreža, te one koji su priključeni na mrežu. Svaka solarna elektrana se tako, nebitno u kojoj se vrsti fotonaponskog sustava koristi, može podijeliti u neke osnovne dijelove od kojih se sastoji. Svi ti dijelovi čine jednu cijelinu i potrebni su da bi na kraju dobili rezultat proizvodnje električne energije. Prema načinu montaže mogu biti integrirane i neintegrirane solarne elektrane.

Najbitniji dio solarne elektrane je fotonaponski modul u kojem se odvija direktna pretvorba sunčevog zračenja u električnu energiju. Točnije, to se odvija u solarnim ćelijama koje se nalaze u fotonaponskom modulu i glavna su sastavnica cijelog fotonaponskog sustava, nebitno u kojoj se vrsti FN sustava nalaze.

Uz fotonaponski modul, solarne elektrane se još sastoje i od izmjenjivača ili invertera, koji je potreban za pretvorbu istosmjerne u izmjeničnu struju, od konstrukcije na kojima se nalaze fotonaponski moduli, te do glavnog razvodnog ormara u kojem je potrebna zaštita sustava, te na kraju i od brojila, potrebnih za mjerenje proizvedene energije.

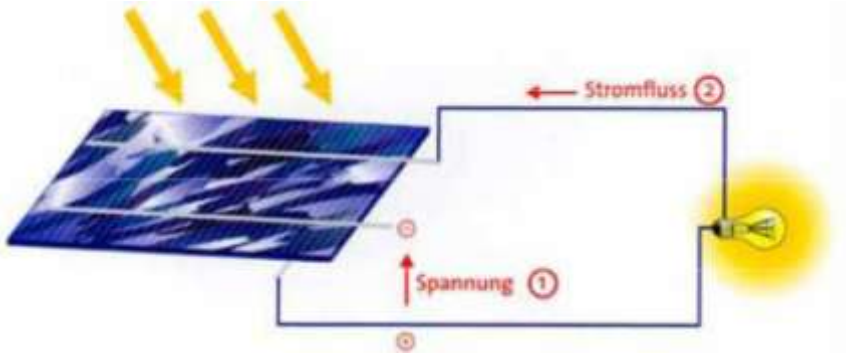
Od ostalih sitnih dijelova koji su još potrebni za rad solarne elektrane su kabeli za spajanje modula, kabeli za istosmjernu stranu te za izmjeničnu stranu, konektori, te sitni potrošni materijali.

3.1. Fotonaponski moduli

Središnji dio solarne elektrane su fotonaponski moduli. Moduli se sastoje od velikog broja fotonaponskih ćelija koji su povezani u kombinaciju (serijski i paralelno) da bi se dobio odgovarajući napon, odnosno snaga. U solarnim ćelijama se dešava direktna pretvorba sunčeva zračenja u električnu energiju.

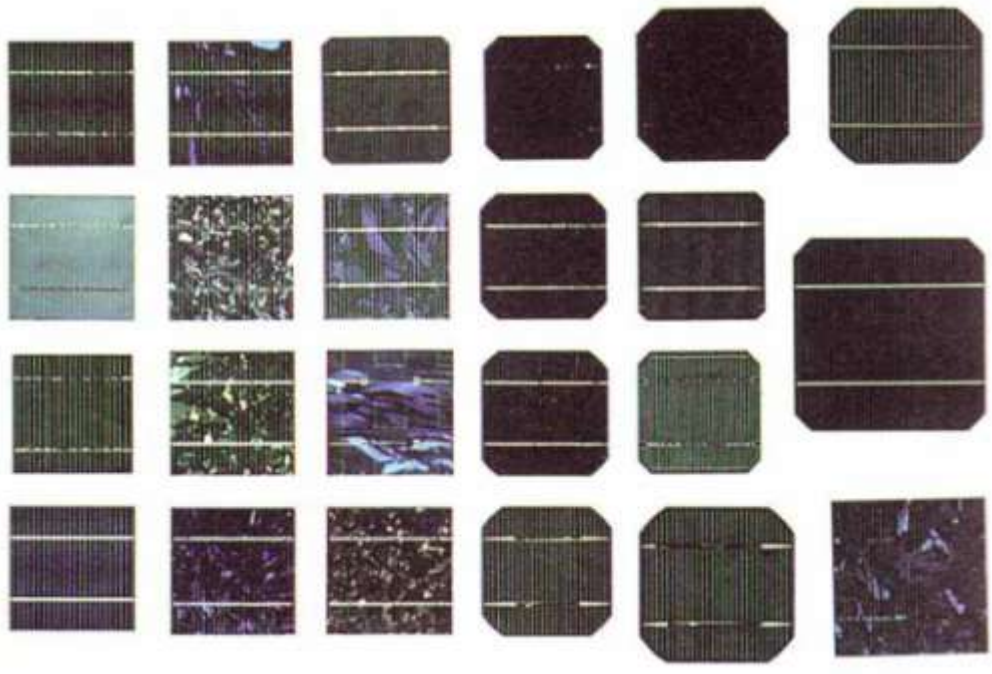
Kada se solarna (sunčana) ćelija osvijetli, odnosno kada apsorbira sunčevo zračenje, fotonaponskim se efektom na njezinim krajevima stvara elektromotorna sila (napon) i tako solarna ćelija postaje izvorom električne energije. S time solarna ćelija postaje poluvodička dioda,

tj. PN-spoj, i ponaša se kao ispravljački uređaj koji propušta struju samo u jednom smjeru (slika 3.1.).



SLIKA 3.1. Solarna ćelija kao izvor električne energije [4]

Danas postoji ubrzan tehnološki napredak u istraživanju materijala za izradu solarnih ćelija i pronalasku novih koncepata i procesa njihove proizvodnje. Silicij, kao osnovni materijal za izradu solarnih ćelija, apsolutno dominira, s udjelom od oko 98 %, i to pretežno u tehnologiji kristalnog silicija. Uglavnom prevladava tehnologija proizvodnje monokristalnog silicija dobivenog tzv. Czochralskim postupkom ili tehnologijom lebdeće zone (engl. float zone). Proizvodnja je monokristalnog silicija skuplja, no učinkovitost ćelija je veća. [4]



SLIKA 3.2. Kristalne ćelije različitih boja i dimenzija [4]

Danas se na tržištu mogu naći različite silicijeve solarne ćelije, različitih boja i dimenzija. Uobičajene su dimenzije 10 cm × 10 cm, 12,5 cm × 12,5 cm, 15 cm × 15 cm, 21 cm × 21 cm, (slika 3.2.).

Na slici 3.3. prikazan je (u važnijim fazama) postupak proizvodnje solarnih ćelija. Također je dan postupak montaže solarnih ćelija u fotonaponski modul i na kraju primjena fotonaponskih modula, npr. postavljanjem na krov građevine, kao dio fotonaponskog sustava za dobivanje električne energije. [4]

SLIKA 3.3. Postupak proizvodnje solarnih ćelija i FN modula [4]

3.2. Izmjenjivači

Solarni izmjenjivači pretvaraju istosmjerni napon FN modula u izmjenični napon reguliranog iznosa i frekvencije, sinkroniziran s naponom mreže. [6]

Prema načinu povezivanja na izmjeničnu mrežu mogu se podijeliti u dvije skupine:

a) Izmjenjivači za sustave neovisne o električnoj mreži (stand-alone)
b) Izmjenjivači za sustave povezane s javnom električnom mrežom (mrežom vođeni)

Izmjenjivači koji se koriste za povezivanje FN sustava s mrežom dijele se na naponske izmjenjivače i strujne izmjenjivače, dok se obzirom na regulaciju dijele na strujno upravljane i naponski regulirane izmjenjivače. U praksi se koristi više tipova izmjenjivača za mrežno povezivanje FN sustava, kao što su: [7]

- Linijski komutirani izmjenjivač
- Samokomutirani izmjenjivač
- FN izmjenjivač sa visokofrekventnim transformatorom

Karakteristike mrežnih izmjenjivača su:

- Vrijeme odziva
- Faktor snage
- Frekvencijska regulacija
- Harmonične karakteristike
- Sinkronizacija
- Doprinos struji kratkog spoja
- Injekcija DC snage
- Zaštita.

Zahtjevi za ostvarivanje paralelnog rada solarne elektrane i mreže je taj da zaštita izmjenjivača proradi i da izolira FN sustav od mreže ako se pojavi odstupanje od napona (prenapon ili podnapon) ili frekvencije (nadfrekvencija ili podfrekvencija). [11]

3.3. Konstrukcija

Jedan od bitnih dijelova solarne elektrane jest konstrukcija. Prema montaži solarne elektrane mogu biti integrirane i neitegrirane. Kako god bi ih se montiralo, svaka elektrana mora imati i konstrukciju. Na konstrukciju se montiraju fotonaponski moduli, bilo da se gradi solarna elektrana na kućama, zgradama, pročeljima ili na zemlji.

Konstrukcija se uglavnom izrađuje od aluminija, te je bitno da bude izdržljiva radi sigurnosti fotonaponskih modula. Ovisno o proizvođaču, različiti su načini montaže pojedinih konstrukcija, te je stoga nužno poštivati pravila montaže pojedinih izvođača prema danim pravilima. Kod montaže uvijek je potrebno pridržavati se uvjeta montaže danim od proizvođača, jer u suprotnome se može desiti da će se fotonaponski moduli svinuti ili popucati zbog loše izrađene konstrukcije, može se smanjiti vijek trajanja modula ili se mogu i oštetiti kabeli.

Metalnu konstrukciju modula potrebno je međusobno povezati P/F vodičima spojenim na sabirnicu za izjednačenje potencijala u razvodu.

SLIKA 3.4. Elementi konstrukcije za montažu na krov [8]

3.4. Ostala oprema

Od ostale opreme treba spomenuti kabele i to PV kabele koji su potrebni za spajanje fotonaposnkim modula međusobno u seriju, kabelei između razvodnih ormara i izmjenjivača, te kabele za spajanje na mrežu elektroenergetskog sustava.

Razvodni ormari su elementi u kojima se nalaze glavni dijelovi za osiguranje i zaštitu solarne elektrane, odnosno osigurači za AC i DC stranu, FID sklopke. Za zaštitu postrojenja potrebna je još i ugradnja odvodnika prenapona, te spajanje metalne konstrukcije solarne elektrane na sabirnicu za izjednačenje potencijala.

S obzirom na to da su fotonaponski sustavi obično instalirani na krovovima kuća ili na velikim slobodnim površinama, to u začetku povećava vjerojatnost od udara groma (atmosferskih prenapona). Da bi se tijekom životnog vijeka osigurao siguran i neprekidan rad fotonaponskog sustava, potrebno je predvidjeti cjelokupnu zaštitu od atmosferskih i induciranih prenapona već prilikom projektiranja fotonaponskog sustava, a mjere zaštite sustavno provoditi tijekom montaže. Posljedice udara groma na fotonaponske module osjetit će se i na ostaloj električnoj opremi i uređajima zbog električne povezanost između fotonaponskog sustava i električne instalacije u građevini.

Svi dijelovi solarne elektrane zaštićeni su od meteoroloških utjecaja i mehaničkih opterećenja izborom uređaja, opreme, kabela i ostalih elemenata koji su otporni na meteorološke utjecaje i mehanička opterećenja.

Ako se solarne elektrane grade na krovovima kuća, u nekim situacijama radi zaštite ljudi ili materijalnih stvari, potrebna je i ugradnja snjegobrana, za potrebe zaštite od klizanja snijega sa krova. Ako već postoje, onda se snjegobrani prilagode prilikom postavljanja solarnih modula. Od donjeg ruba krova moraju biti odmaknuti minimalno 30 cm.

Isto tako se neki dijelovi koji su pod naponom, npr. razvodni ormari ili izmjenjivači moraju ograditi i zaštititi od dodira ljudi ili životinja.

Na kraju još je od ostale opreme bitno spomenuti i brojilo. Ovisno o vrsti fotonaponskog sustava, može biti više brojila. Za svaku solarnu elektranu najbitnije je brojilo koje mjeri isporučenu električnu energiju u mrežu, točnije proizvedenu električnu energiju solarne elektrane.

4. Tehnički opis predmetne solarne elektrane

Nakon što se u Republici Hrvatskoj uveo poticaj u sklopu donesene zakonske regulative u 2007. godini, te zbog stalnog pada cijene opreme, interes za izgradnjom mrežnih FN sustava stalno raste. Integracija FN sustava na električnu mrežu, sigurnost osoblja i zaštita opreme najvažnija su pitanja FN sustava.

Fotonaponski sustavi se spajaju preko izmjenjivača na distribucijsku mrežu jer sami proizvode istosmjerni napon koji treba naknadno pretvoriti u izmjenični napon mrežne frekvencije kako bi napajali trošila ili radili paralelno s elektroenergetskom mrežom. FN sustavi mrežno povezani rade tako da ih mreža „vodi“, odnosno održava frekvenciju i napon, te se u slučaju nestanka mrežnog napona prekida rad izmjenjivača.

Kod predmetne solarne elektrane, konstrukcija je postavljena na krov javne građevine. Fotonaponski moduli su montirani na južnu stranu i na istočnu stranu. Na južnoj strani je postavljena veća snaga, na istočnoj strani manja. Snaga fotonaponskog sustava iznosi 25 kW, podijeljena je na dva izmjenjivača.

Solarna elektrana priključuje se na niskonaponsku mrežu u priključno mjernom ormaru (PMO) prema prethodnoj elektroenergetskoj suglasnost dobivenoj od HEP-a. PMO opremljen je prema uvjetima iz prethodne elektroenergetske suglasnosti (PEES). Osnovnu opremu čine mjerna garnitura, te četveropolna i tropolna osigurač-sklopka.

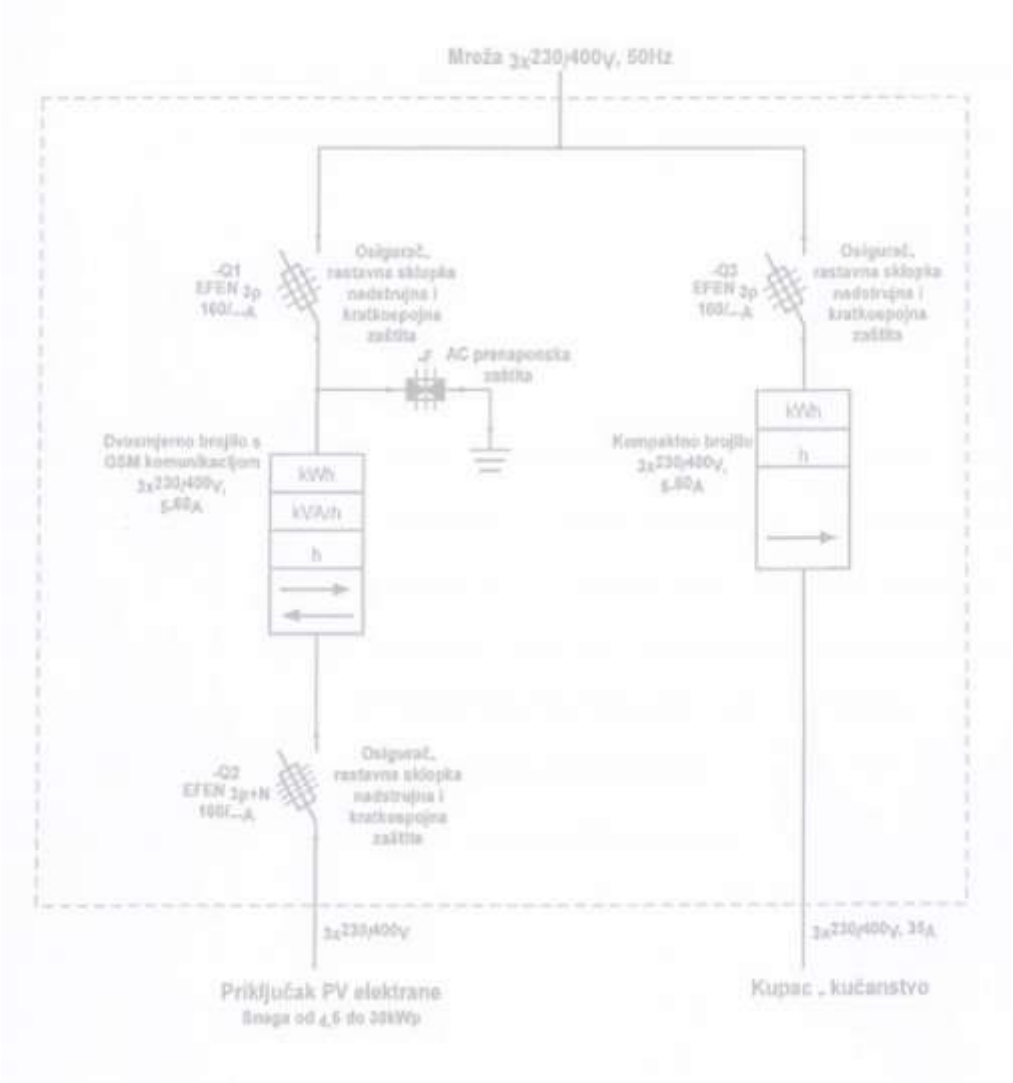
Fotonaponski moduli snage 240 Wp se postavljaju na južnu i istočnu stranu krova pod kutem od 30 stupnjeva, azimuta od 17 stupnjeva (južna strana) i -73 stupnja (istočna strana). Spojeni su na dva izmjenjivača. Južna strana spojena je na izmjenjivač od 15 kW, a fotonaponski moduli podijeljeni u 3 stringa (niza), po 22 modula u svakom stringu. Istočna strana se spaja na izmjenjivač snage 10 kW, a fotonaponski moduli su podijeljeni u 2 stringa, 23 komada u jednom stringu, a 24 komada u drugom stringu. Ukupna snaga fotonaponskih modula iznosi 27,12 kWp.

SLIKA 4.1. Prikaz predmetne solarne elektrane (desna strana - južni krov, lijeva strana - istočni krov)

Tip postrojenja je solarna elektrana spojena na javnu mrežu do uključivo 30 kW. Instalirana snaga predmetne solarne elek trane je 25 kW. Elektrana se priključivala na mrežu prema zahtjevima dobivenim od HEP -a. Prije toga prema tehničkom proračunu u programu PV*Sol je procijenjena isplativost FN sus tava, te je izračunata godišnja proizvodnja i određen je najbolji raspored fotonaponskih mod ula za što bolju iskoristivost elektrane, odnosno što veća proizvodnja električne energije.

Zbog utjecaja sjena, horizon ta, padova napona, te zbog iskoristivosti krovne plohe kod izrade proračuna treba obraćati pažnju na svaku sitnicu, da bi se olakšala montaža, te da bi se na kraju isplativije izgradila solarna elek trana.

Sustav je spojen direktno n a javnu mrežu, te sva proizvodnja se predaje u mrežu. Zbog toga su u PMO-u stavljena dva brojila, jedno za potrošnju električne energije iz m reže, a drugo brojilo za predanu električnu energiju u mrežu.



SLIKA 4.2. Jednopolna she ma PMO ormarića dobivenog od HEP-a prema suglasnosti [15]

4.1. Fotonaponski moduli Solvis SV60-240

Za realizaciju FN sustava ugrađeni fotonaponski moduli na predmetnoj solarnoj elektrani su od proizvođača Solvis, tip SV 60-240, snage 240 Wp. To su standardni polikristalni 60-ćelijski fotonaponski moduli nazivne snage 240 W. Dimenzije modula su 1663mm x 998mm x 42mm, a težina 21,5 kg. Temperatura djelovanja je od -40ºC do +85ºC. Moduli zadovoljavaju sve europske norme i imaju sve potrebne certifikate. [8] Na krovu okrenutom prema jugu je postavljeno 66 komada, a na krov okrenut prema istoku postavljeno je 47 komada. Ukupan broj modula postavljenih na predmetnu elektranu je 113 komada.

MODEL		SV60-240	
Vršna snaga	P_{MPP}	240	W
Dozvoljeno odstupanje		-0 / +4,9	W
Struja kratkog spoja	I_{SC}	8,50	A
Napon praznog hoda	U_{OC}	37,4	V
Nazivna struja	I_{MPP}	7,93	A
Nazivni napon	U_{MPP}	30,3	V
Dozvoljeno odstupanje napona i struje		±10	%
Dimenzije (V x Šx D)		1663 x 998 x 42	mm
Masa		21,5	kg

TABLICA 1. Karakteristike ugrađenog modula [9]

Fotonaponski moduli zbog atmosferskih utjecaja, kiše, sunčevog zračenja i visoke temperature, međusobno se spajaju kabelima koji su certificirani i testirani za takve uvjete. Drugi razlog je i da se ne desi kakvo oštećenje ili pregrijavanje kabela, zbog zaštite cijelog postrojenja.

Konstrukcija za solarnu elektranu je izrađena od proizvođača SIKO Solar. Fotonaponski moduli se oslanjaju na aluminijsku konstrukciju koja se sastoji od tipskih aluminijskih profila (nosača), spojnica za međusobno povezivanje nosača i kuka za prihvat konstrukcije na krov. Elementi konstrukcije međusobno se spajaju vijčanim spojevima. [8]

4.2. Izmjenjivači Danfoss TLX Pro

Ugrađeni izmjenjivači za predmetnu solarnu elektranu su izrađeni od proizvođača Danfoss, jedan je tipa TLX Pro 10K snage 10 kW, a drugi je tipa TLX Pro 15K snage 15 kW. Na TLX izmjenjivač se može spojiti do 1000V istosmjernog (DC) napona na 2 ili 3 ulaza, od kojih svaki ima MPPT sustav.

TLX solarni izmjenjivač snage 10 kW posjeduje 2 istosmjerna ulaza s MPPT sustavom, dok izmjenjivač od 15 kW posjeduje 3 istosmjerna ulaza s MPPT sustavom. [10] Što znači da se maksimalno može na izmjenjivač spojiti dva ili tri stringa (niza) FN modula, ovisno o kojem se

izmjenjivaču radi. U svakom stringu (nizu) su pojedini moduli spojeni u seriju. Ulazni istosmjerni napon ulazi u sustav za praćenje optimalne radne točke (MPPT, engl. Maximum Power Point Tracking), kojim se osigurava da FN moduli u bilo kojim uvjetima rada, bez obzira na intenzitet Sunčevog zračenja ili njegovu radnu temperaturu, uvijek rade na istom maksimalnom naponu. Karakteristike izmjenjivača dane su u tablici 2.

MODEL		TLX Pro 10K	TLX Pro 15K	
AC strana				
Nazivna snaga AC	P_{AC}	10000	15000	W
Raspon jalove snage	Q	0 - 6	0 - 9	kVAr
Nazivni izlazni napon	U_{AC}	3 x 230	3x 230	V
Raspon izlaznog napona	$U_{ACMINMAX}$	± 20	± 20	%
Nazivna/najveća struja AC	I_{AC}	3 x 15	3 x 22	A
Faktor snage	cos φ	>0,99	>0,99	
Nazivna frekvencija i raspon	f	50 ± 5	50 ± 5	Hz
DC strana				
Nazivna snaga DC	P_{DC}	10300	15500	W
Max preporučena snaga		11800	17700	Wp
Nazivni napon DC	U_{DC}	700	700	V
MPP raspon napona	$U_{DCMINMAX}$	430 - 800	430 - 800	V
Najveći DC napon	U_{DCMAX}	1000	1000	V
Najveća struja DC	I_{DC}	2 x 12	3 x 12	A
Minimalna snaga na mreži	P	20	20	W
Ostalo				
Najveća učinkovitost		98	98	%
Dimenzije (V x Š x D)		700 x 525 x 250		mm
Masa		35		kg
MPPT sustav		2	3	
Zaštita		Zaštita od pada napona, od kratkog spoja, FID sklopka tip B, od napona dodira, od propada frekvencije		

TABLICA 2. Karakteristike ugrađenih izmjenjivača [10]

4.3. Zaštita postrojenja

Da bi se osigurao siguran i neprekidani rad FN sustava kroz njegov životni vijek potrebno je već u fazi projektiranja FN sustava i provedbi projekta predvidjeti cjelokupnu zaštitu od atmosferskih i induciranih prenapona. Zaštita mora biti osigurana ne samo na izlaznoj strani izmjenjivača, već i na izlaznoj strani fotonaponskih modula.

Na predmetnoj solarnoj elektrani zaštita postrojenja je provedena kroz zaštitu od previsokog napona. Izvedena je instalacija u TN-C-S sustavu sa zaštitnim uređajem diferencijalne struje (FID sklopka) tipa B koja je sastavni dio odabranog pretvarača. PE sabirnica razdjelnika se spaja na uzemljivač.

Fotonaponska polja i izmjenjivači štite se od pojave atmosferskog prenapona odvodnicima prenapona. Zaštita odvodnicima prenapona je predviđena na izlaznoj strani fotonaponskih modula, na AC i DC strani izmjenjivača i NN bloku trafostanice.

Glavno izjednačenje potencijala obuhvaća cijeli objekt, a izvodi se zbog sprječavanja unošenja opasnih vanjskih potencijala u objekt, zbog sprječavanja pojave razlike potencijala u objektu u kojem uvijek postoji velik broj instalacija s vodljivim dijelovima koje nije moguće međusobno izolirati. Okvir fotonaponskog modula kao i cijela nosiva konstrukcija modula je uzemljena, odnosno spojena na uzemljenje objekta (sabirnica za izjednačenje potencijala u glavnom razvodu).

SLIKA 4.3. Postavljen snjegobran na predmetnoj solarnoj elektrani

Svi dijelovi na predmetnoj SE su zaštićeni od meteoroloških utjecaja i mehaničkih opterećenja izborom uređaja, opreme, kabela i ostalih elemenata koji su otporni na meteorološke utjecaje i mehanička opterećenja.

Za potrebe zaštite od klizanja snijega sa krova postavljeni su snjegobrani. Od donjeg ruba krova odmaknuti su minimalno 30 cm (slika 4.3.). [8]

5. Proračun solarne elektrane

Proračun solarnih elektrana je jedan od najbitnijih dijelova u procesu izrade projakata SE. Prije početne analize i proračuna, treba za svaki objekt, na koji se odluči stavljati i graditi solarna elektrana, provjeriti da li krov građevina odgovara statički te kako je krov građevina ili ploha na koju će se postavljati fotonaponski moduli okrenuta prema Suncu. Razlog tome je da se dobije što bolja ili maksimalna ozračenost. Time će se dobiti bolji rezultate u proračunu, a u konačnici će ta solarna elektrana raditi bolje i proizvoditi više električne energije.

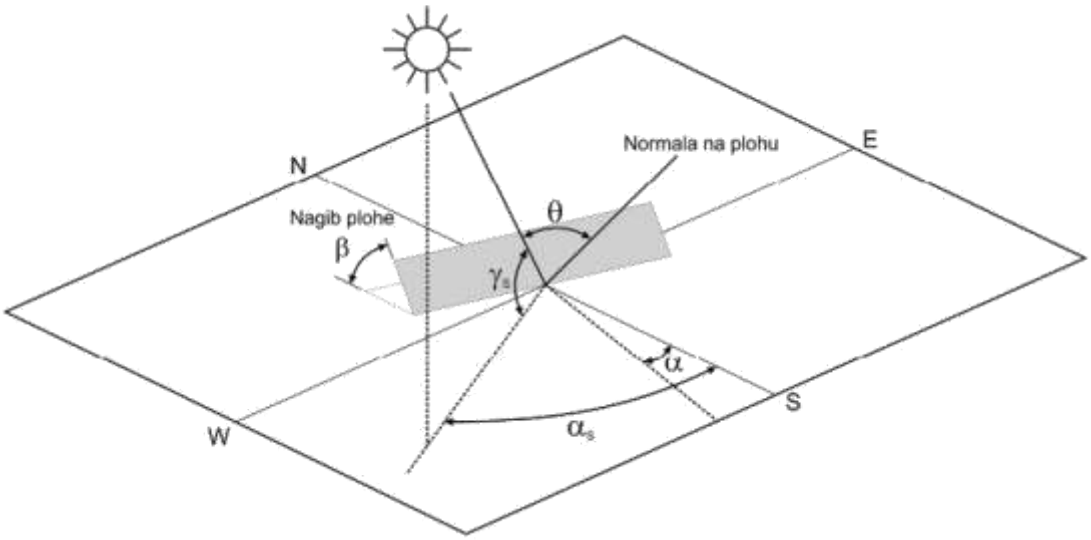
Kada svi parametri za izradu idejnog projekta odgovaraju, rade se proračuni za solarne elektrane. Proračuni se općenito rade u programima za izradu proračuna solarnih elektrana. Postoji više programa u kojima se može simulirati rad fotonaponskih sustava kao što su PVcad, PV Design Pro, PVS, PVSYST, Soldim, PV*Sol, Sunny Design SMA i mnogi drugi. Većina programa su vrlo slični jer se temelje na sličnim ili istim ulaznim parametrima. Pri simulaciji se mogu mijenjati ulazni parametri te tako istraživati i procjenjivati različite konfiguracije fotonaponskih sustava.

Jedan od najpoznatijih i najraširenijih programa za izradu proračuna solarnih elektrana jest PV*Sol, koji je razvila tvrtka Valentin Energie Software GmbH iz Berlina. U njemu se mogu raditi simulacije u 3D varijanti, kao i u 2D. Kod simulacije bitno je da se stave točne vrijednosti geografskog položaja građevine na kojoj se radi simulacija SE, te isto tako točan azimut građevine.

U većini slučajeva u praksi, ploha fotonaponskog modula je orijentirana prema jugu (na sjevernoj Zemljinoj polutci) i nagnuta pod nekim određenim kutom u odnosu na horizontalu, pa je potrebno znati koliki iznos Sunčevog zračenja upada na tako nagnutu plohu.

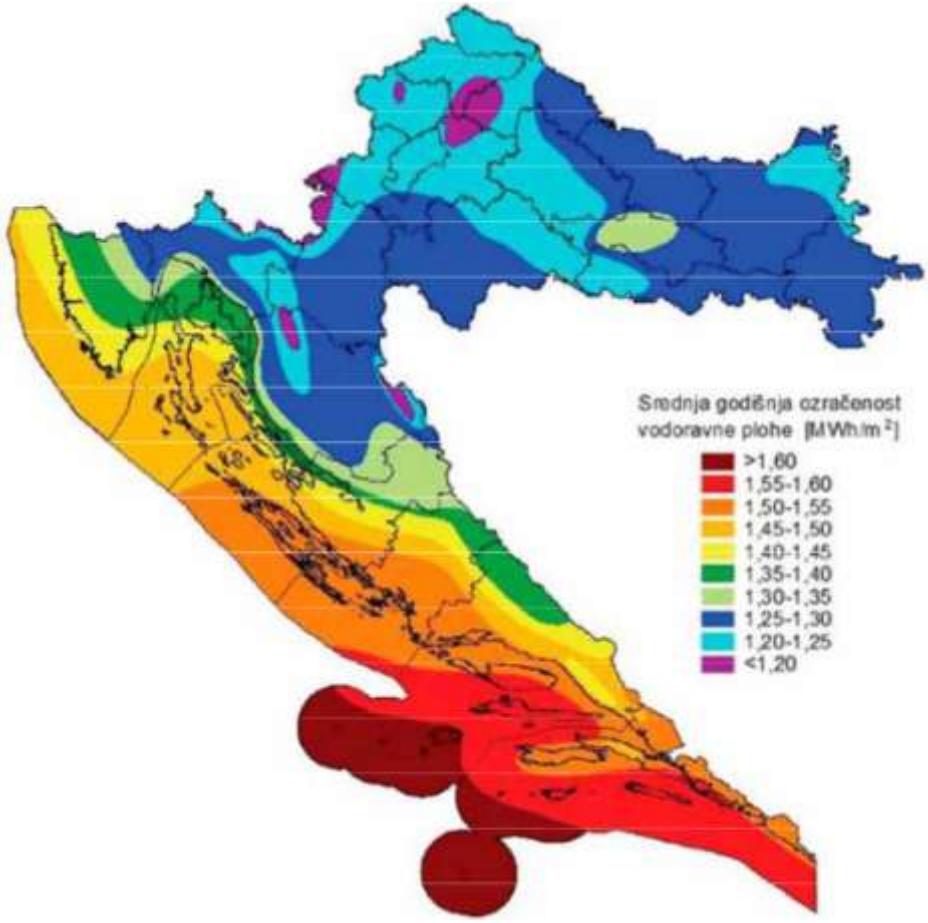
Za proračun sunčeve energije koja upada na plohu pod kutom, najvažniji podatak je upadni kut direktnog sunčevog zračenja. Sunčev azimut je kut α_S između vertikalne ravnine koja sadrži smjer Sunca i vertikalne ravnine koja prolazi smjerom sjever-jug. Sunčev azimut se mjeri od juga na sjevernoj, odnosno od sjevera na južnoj polutci. Azimut ima pozitivan predznak poslijepodne u sunčanom vremenu, dok prije sunčanog podneva poprima negativne vrijednosti. Visina Sunca, zenitni kut Sunca, Sunčev azimut i kut upada Sunca prikazani su na slici 5.1. [11]

Kada bi prenjeli azimut u program za simulaciju, trebali bi postaviti pod kojim je kutom. Ako je krov ili ploha, na kojoj se simuliraju postavljeni fotonaponski moduli, više orijentirana na istok predznak će biti negativan, u rasponu stupnjeva od -1° do -90°, a ako je krov ili ploha okrenuta više prema zapadu onda će biti predznak pozitivan, u raspon stupnjeva od 1° do 90°. U slučaju da je čisti jug onda se stavlja azimut 0°.



SLIKA 5.1. Visina Sunca, zenitni kut Sunca, Sunčev azimut i kut upada [11]

U programu se treba postaviti i geografski položaj SE. Najbitniji su klimatski podaci radi ozračenosti plohe na koju se stavljaju fotonaponski moduli. Ti podaci su u programu uzeti sa meteoroloških mjernih postaja diljem svijeta, te tako daju klimatske podatke točne za određenu lokaciju. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe ukupnim sunčevim zračenjem za Hrvatsku je prikazana na slici 5.2.



SLIKA 5.2. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe u Hrvatskoj [4]

Kada je određen geografski položaj lokacije solarne elektrane te azimut, dalje slijedi izrada glavnog dijela simulacije, a to su ulazni parametri sustava, kao što su odabir fotonaponskih modula, kut nagiba krova, postavljanjem susjednih objekata ili drveća, te na kraju odabir izmjenjivača prema snazi.

U programu PV*Sol se sve može raditi u 3D varijanti (slika 5.3.), pa se tako može lako složiti simulacija i izrada objekta. Nakon izrade krova, za koji su potrebne mjere dužina i širina, te nagib krova, odabire se tip fotonaponskih modula koji se postavljaju na horizontalu krova. Iz broja postavljenih modula se može vidjeti kolika je instalirana snaga fotonsponskih modula. Kada je taj dio riješen, dolazi najvažniji dio, a to je odabir izmjenjivača te izrada konfiguracije sustava. Zbog mnogih utjecaja na sustav, može se raditi više kombinacija i tražiti najbolja varijanta za proračun i na kraju izradu solarne elektrane.

SLIKA 5.3. Prikaz 3D modela izrade objekta i SE u programu PV*Sol

Kod izbora izmjenjivača može se u konfiguraciji i birati koliko će fotonaponskih modula biti raspoređeno u stringove. Kao što je već prije rečeno svaki izmjenjivač može imati nekoliko ulaznih stringova. Uglavnom su to 2 ili 3 stringa, te prema tome se slažu rasporedi fotonaponskih modula. Zbog mnogih utjecaja na fotonaponske module poput sjena, klimatskih uvjeta, kabliranja i mnogih drugih parametara, fotonaponski moduli se slažu i kombiniraju prema što boljoj varijanti za određenu konfiguraciju sustava. Detaljnije o tome je prikazano u poglavlju 6. Utjecaj zasjenjenja SE na proizvodnju.

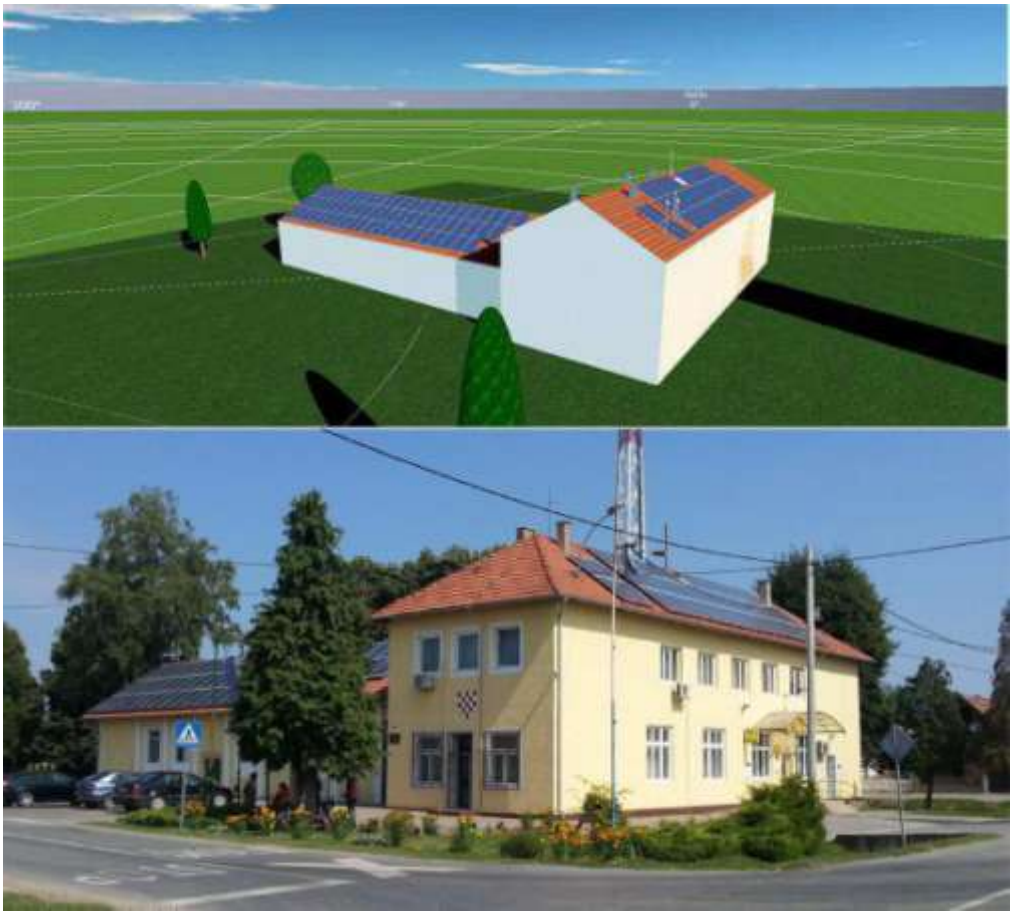
Nakon što su određeni svi parametri i kada je složena konfiguracija prema najboljoj varijanti, provodi se simulacija te se na kraju dobiva završno izvješće s rezultatima simulacije.

5.1. Proračun predmetne solarne elektrane u programu PV*Sol

Da bi se izradio idejni projekt solarne elektrane, koji je potreban za zahtjev PEES-i (prethodne elektroenergetske suglasnosti), radi se proračun solarne elektrane. To se radi preko programa za simulaciju i izradu proračuna solarnih elektrana. Preko proračuna i simulacije mogu se pobliže i što točnije odrediti potrebni parametri za izračun proizvodnje električne energije solarne elektrane i prema tim podacima se traži zahtjev za suglasnost od HEP-a. U programu se rade konfiguracije FN sustava, te se dobije točan broj fotonaponskih modula koji bi se postavljali na krov i prema ukupnoj snazi fotonaponskih modula koja se dobiva, određuje se snaga izmjenjivača. Snaga izmjenjivača je uglavnom i priključna snaga solarne elektrane.

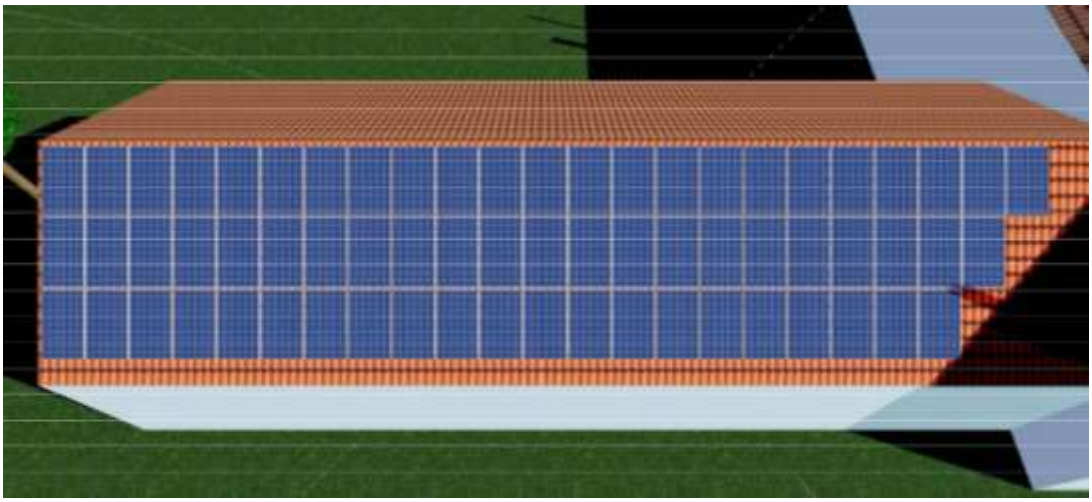
Za predmetnu solarnu elektranu proračun se radio u programu PV*Sol. Simulacija se radi u 3D varijanti, gdje se može izraditi maketa građevine prema stvarnim mjerama građevine, te ostale detalje poput dimnjaka na krovu, susjednih građevina te drveća, koji su potrebni za određivanje i proračun sjena koje utječu na proizvodnju električne energije.

Glavni i bitni podaci koji su potrebni kod predmetne solarne elektrane su azimut od 17° za prvi krov, te za drugi krov -73°. Nagib oba krova jest 30°. Za geografski položaj predmetne solarne elektrane je stavljen Daruvar. S time su određeni potrebni parametri za izračun točne ozračenosti ploha sunčevim zračenjem kroz godinu za predmetnu solarnu elektranu.

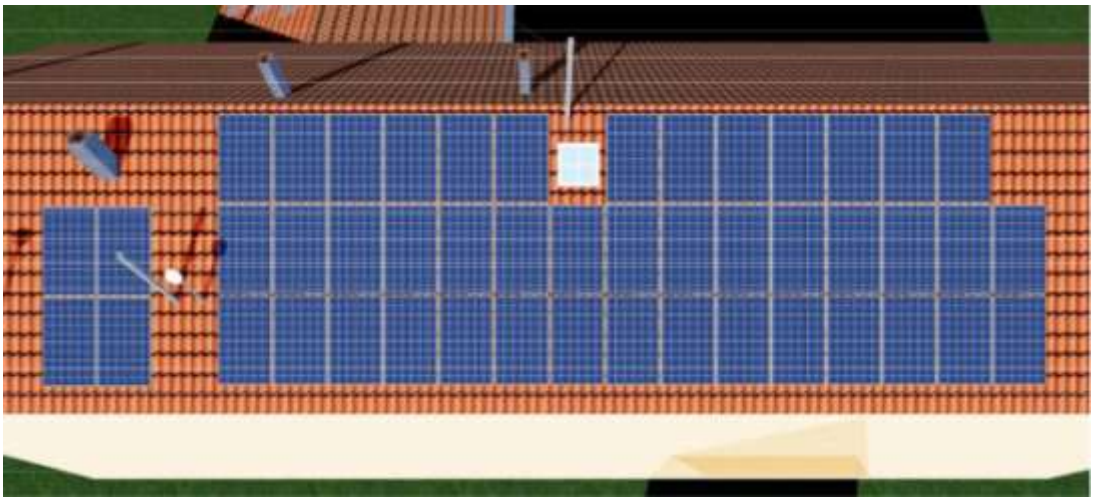


SLIKA 5.4. Prikaz predmetne SE u 3D modelu programa (gore) i stvarnom obliku (dolje)

Nakon postavljanja ovih parametara, dalje i najbitnije jest odrediti fotonaponske module koji će se staviti na krovnu plohu građevine. Kod predmetne solarne elektrane odabrani fotonaponski moduli su od proizvođača Solvis, tipa SV60-240 snage 240 Wp. Budući da predmetna SE ima dva krova na koje su postavljeni moduli, ukupan broj modula je 113 komada. Instalirana snaga fotonaponskih modula iznosi 27,12 kWp. Na slikama 5.5. i 5.6. se može vidjeti raspored fotonaponskih modula na krovovima predmetne solarne elektrane, prema 3D modelu programa PV*Sol.



SLIKA 5.5. Postavljeni fotonaponski moduli na južnom krovu predmetne SE



SLIKA 5.6. Postavljeni fotonaponski moduli na istočnom krovu predmetne SE

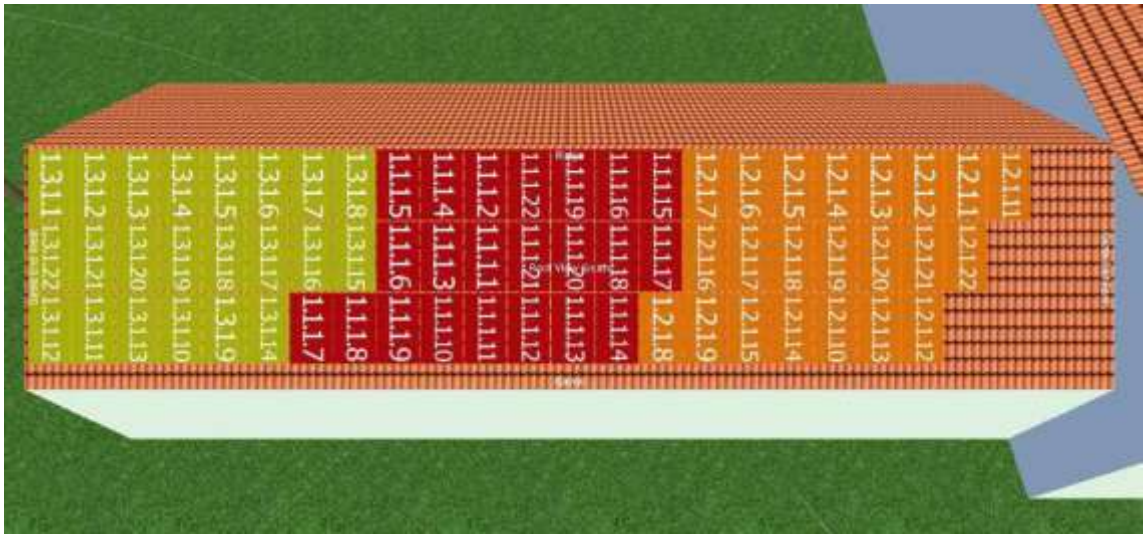
Iz priloženih slika se može vidjeti da su položaji fotonaponskih modula korigirani tako kako će se i postaviti. Razlog tome jest da postoji puno prepreka na krovu koje utječu na to. Tamo gdje su velike sjene uglavnom se pokušava staviti što manje modula, ako unaprijed postoji već dovoljna instalirana snaga FN modula, te isto tako oko dimnjaka i nekih krovnih prepreka, u ovom slučaju su to krovni prozori, te stupovi od javne distributivne mreže ili antena. Na južnom krovu su prema tome postavljena 66 fotonaponska modula sa ukupnom snagom od 15,84 kWp, a na istočnom krovu 47 komada fotonaponskih modula sa ukupnom snagom od 11,28 kWp.

Nakon što su postavljeni fotonaponski moduli za simulaciju, daljnji postupak u programu jest konfiguracija FN sustava. Tu se bira koji će se izmjenjivač koristiti, te se u tom dijelu mogu slagati i postavljati varijante. Prema tome se određuje najbolja varijanta za što bolju konfiguraciju, a na kraju rezultat će biti veća proizvodnja električne energije.

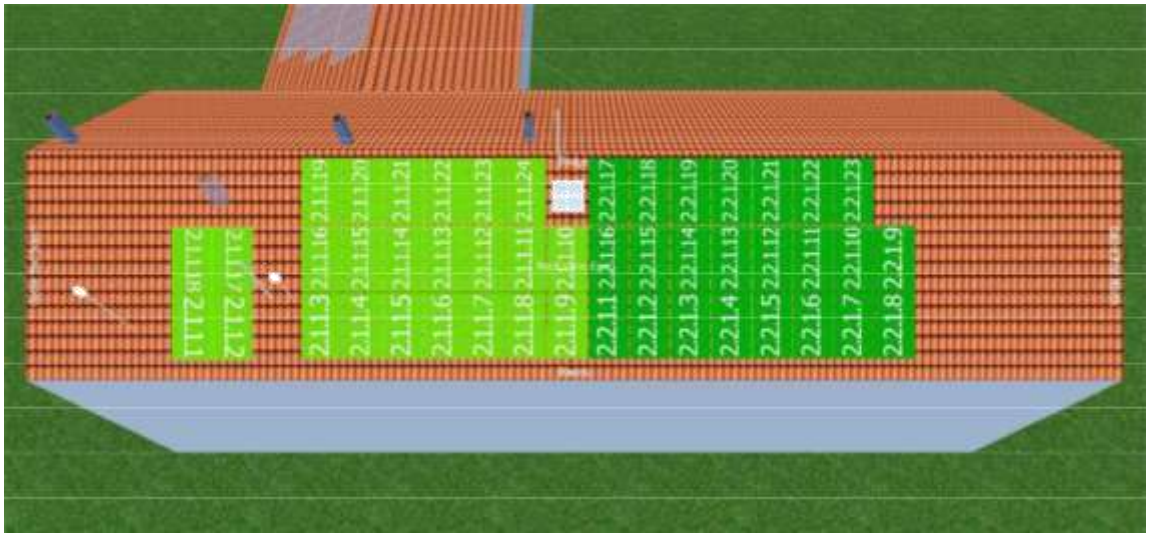
Za predmetnu solarnu elektranu je odabrano da će se koristiti dva izmjenjivača proizvođača Danfoss. Razlog je tome što su fotonaponski moduli postavljeni na dva krova različitih orijentacija, pa je poželjno da se stave na različite izmjenjivače kako bi se izbjegli dodatni gubici u FN sustavu. Na južnom krovu instalirana snaga fotonaponskih modula iznosi 15,84 kWp pa su ti fotonaponski moduli spojeni na izmjenjivač snage 15 kW, tipa TLX Pro 15K. Na istočnom krovu instalirana snaga fotonaponskih modula iznosi 11,28 kWp pa su ti fotonaponski moduli spojeni na izmjenjivač snage 10 kW, tipa TLX Pro 10K.

Kada se radi konfiguracija FN sustava, svaki izmjenjivač ima određen broj MPPT-a. Pa se fotonaponski moduli dijele u stringove. Jedan od bitnih odabira rasporeda fotonaponskih modula po stringovima jest utjecaj sjena. Pa je najbolje da se fotonaponski moduli koji su više u sjeni stave na jedan string, a fotonaponski moduli koji su manje ili možda nezasjenjeni stave u drugi string. Time će se dobiti da se jedan string "žrtvuje", a drugi iskoristi za što bolju ili maksimalnu proizvodnju. Razlog zašto se to radi je opisan detaljnije u poglavlju 6. Utjecaj zasjenjenja SE na proizvodnju.

Na predmetnoj solarnoj elektrani je tako postavljeno na izmjenjivač snage 15 kW, 66 fotonaponskih modula u 3 stringa, po 22 fotonaponska modula po stringu, budući da taj izmjenjivač ima 3 MPPT-a. Na izmjenjivač snage 10 kW je stavljeno 47 fotonaponskih modula u 2 stringa, na prvi string 23 fotonaponskih modula, a na drugi string 24 fotonaponskih modula. Kako to izgleda u programu PV*Sol prikazano je na slikama 5.7. i 5.8. Svaka boja prikazuje jedan string, te odabrane varijante stringova za predmetnu solarnu elektranu.



SLIKA 5.7. Raspored fotonaponskih modula po stringova za izmjenjivač snage 15 kW



SLIKA 5.8. Raspored fotonaponskih modula po stringova za izmjenjivač snage 10 kW

Nakon odabrane konfiguracije vrši se analiziranje i izvršenje simulacije. Kad program izračuna sve parametre i ulazne vrijednosti dobiva se na kraju izvješće sa završnim rezultatima u kojima se može vidjeti koliko SE proizvodi godišnje električne energije, kolike su dopuštene vrijednosti struja i napona na izmjenjivačima, podjela proizvodnje po izmjenjivačima kao i po mjesecima kroz godinu.

Za predmetnu solarnu elektranu rezultati simulacije proračuna su dani u tablici 3.

OSNOVNI PODACI	
Klimatološki podaci	Daruvar
Površina iskorištena za FN sustav	187,5 m^2
Broj FN modula	113
Broj izmjenjivača	2
Vrsta sustava	Fiksni / integrirana SE
Broj faza	trofazni
REZULTATI SIMULACIJE	
Izlazna snaga FN modula	27,12 kWp
Ukupna snaga izmjenjivača	25 kW
Godišnja proizvodnja električne energije	28,043 MWh
Specifična godišnja proizvodnja	1.034,04 kWh/kWp
Godišnje smanjenje CO_2 emisije	16810 kg

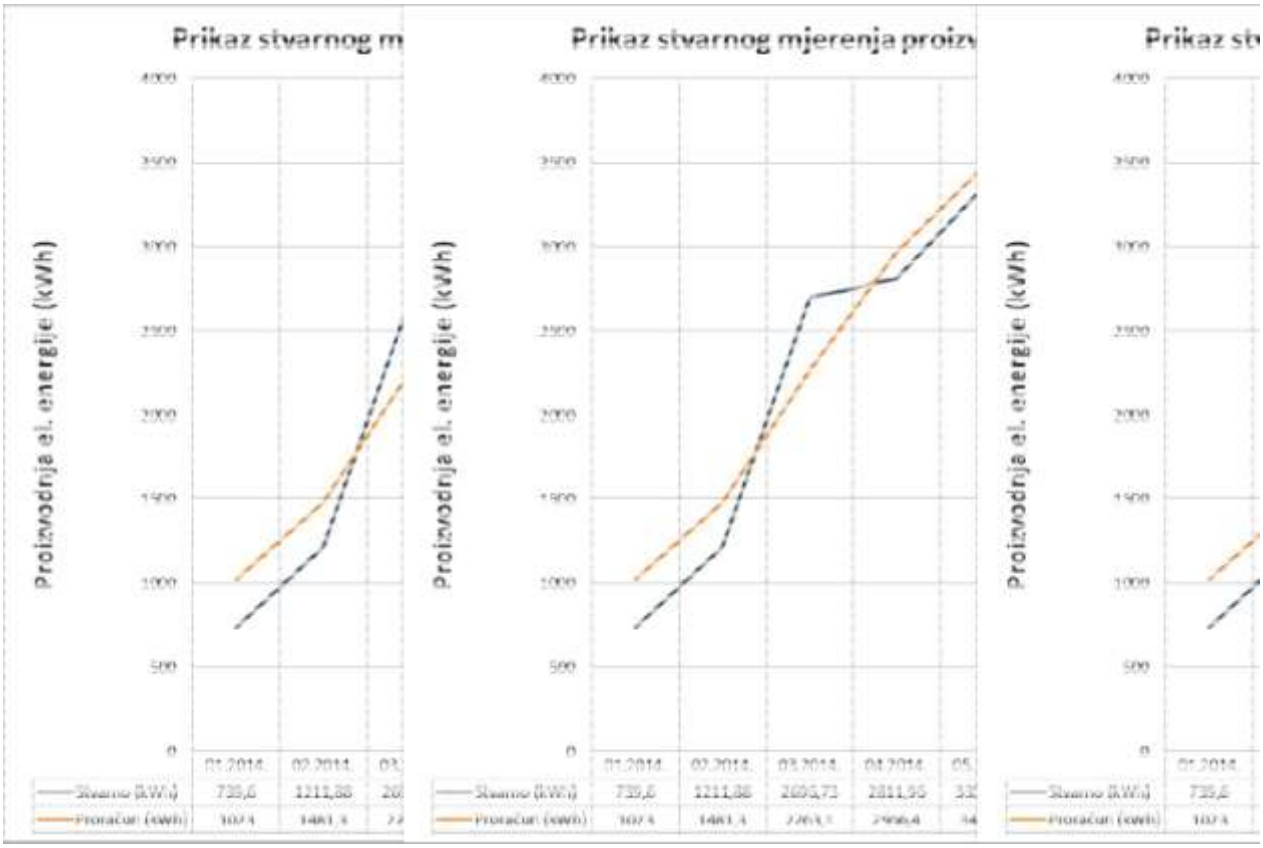
TABLICA 3. Rezultati simulacije za predmetnu solarnu elektranu

Prema rezultatima koji su dobiveni iz simulacije u programu PV*Sol, radi se izvješće za idejni projekt. U idejnom projektu se sastavi osnovni dio i podaci o solarnoj elektrani, te se na temelju tih podataka ispunjava zahtjev za PEES prema kojoj se od HEP-a traži suglasnost da bi se solarna elektrana mogla graditi i priključiti na javnu elektroenergetsku mrežu prema uvjetima koje izda HEP u suglasnosti.

5.2. Razlika između rezultata iz proračuna i stvarnih mjerenja proizvodnje električne energije predmetne solarne elektrane

Kada se naprave proračuni solarnih elektrana dobiju se prema rezulta tima simulacije neke vrijednosti godišnje proizvodnje električne energije solarne elektrane. Ak o su postavljeni što točniji parametri i ulazni podaci, rezultati bi trebali biti na kraju što bliži stvarnim podacima proizvodnje električne energije.

Kod predmetne solarne ele ktrane prema simulaciji i proračunu u programu PV*Sol rezultat godišnje proizvodnje električ ne energije iznosi 28,043 MWh. Prema dobivenim stvarnim podacima za proizvodnju električne energije za 2014. godinu predmetne sol arne elektrane, iznosi 27,164 MWh godišnje. Na slici 5.9. se može se vidjeti proizvodnja električne energije za predmetnu solarnu elektranu kroz cijelu godinu, te razlika između re zultata iz proračuna predmetne solarne elektrane pre ma stvarnom mjerenju proizvodnje električne energije.



SLIKA 5.9. Razlika između proračunskog i stvarnog mjerenja el. en ergije [16]

Iz priloženog grafa se može vidjeti da razlike postoje. Da bi razlike bile što manje i da bi rezultati simulacija i proračuna bili što precizniji jako je bitno da se detalji, koji stvaraju sjene (dimnjaci, stupovi antena, susjedne građevina, drveće...), što točnije u crtaju na modelu i preciziraju, te da se stavi toč na geografska lokacija SE zbog točnih klimatoloških podataka sunčeve ozračenosti područja. Detalji su najbitniji jer oni najviše utječu općenito na proizvodnju električne energije solarnih elek trana.

6. Vanjski utjecaji na količinu proizvedene električne energije

Utjecaji sjena na fotonaponske module jako utječu na proizvodnju električne energije. Pa se kod projektiranja i izrade proračuna FN sustava mora osobito obraćati pažnja na objekte koji rade sjene na fotonaponske module. Tako da susjedne građevine, dimnjaci, stupovi, drveća i slične stvari nekad u toku dana rade sjene na plohu krova gdje se nalaze fotonaponski moduli. Dešava se da se i tokom dana mijenja vrijeme, pa za vrijeme oblačnog dana proizvodnja je jako smanjena.

To su sve utjecaji koji doprinose smanjenju proizvodnje električne energije, na neke od njih se ne može utjecati, npr. na vremenske utjecaje, a utjecaje sjena koje se stvaraju od susjednih objekata ili objekata koji se nalaze uz građevinu se može ponekad utjecati tako da ih se eliminira ili da se složi što bolja konfiguraciju FN modula da se ne smanji previše proizvodnja električne energije.

Jedan od utjecaja na proizvodnju je i azimut. Što su FN moduli okrenuti točnije prema jugu, to će sunčeva ozračenost biti veća te će i proizvodnja električne energije biti veća. Na primjerima u nastavku će se vidjeti razlika u proizvodnji između fotonaponskih modula koji su postavljeni na jug naprema fotonaponskim modulima koji su postavljeni na istok. Isto tako će biti i prikazani primjeri kako utjecaji zasjenjenja utječu na proizvodnju električne energije tokom dana.

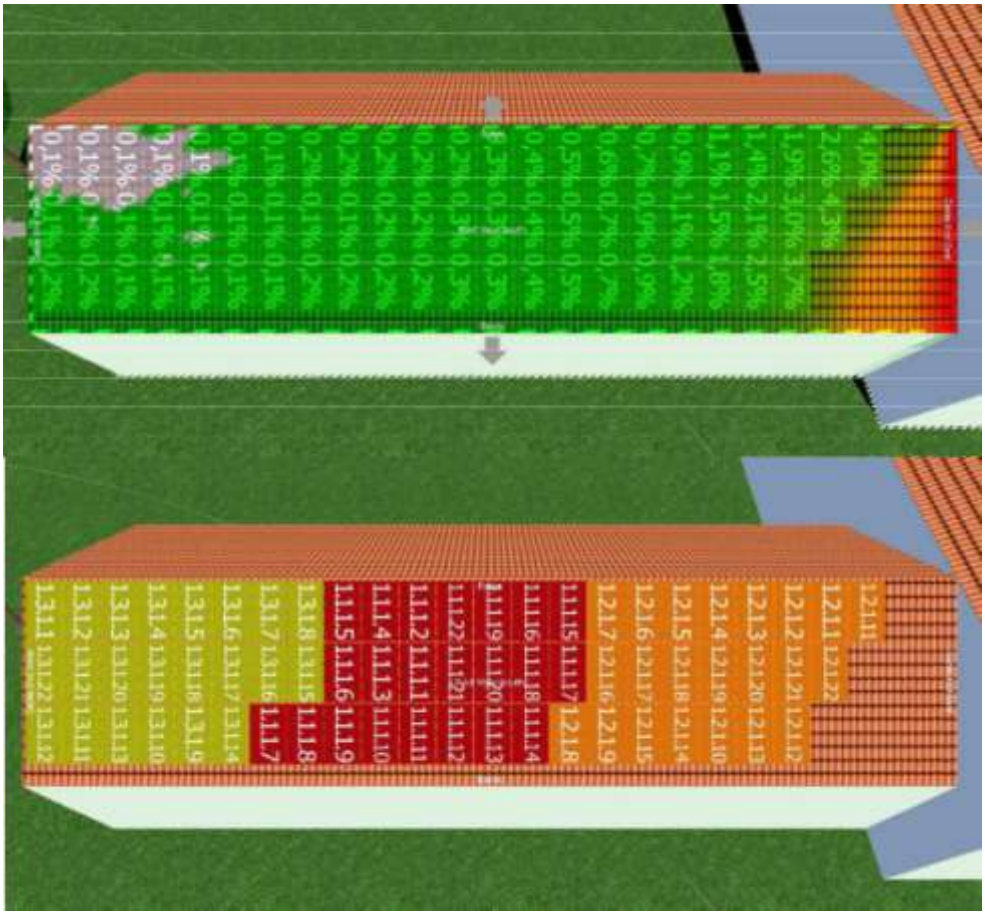
6.1. Utjecaji zasjenjenja na proizvodnju električne energije SE

U programu PV*Sol kad se ucrtaju svi objekti koji bi mogli raditi sjene na fotonaponske module, prema simulaciji i programskoj kalkulaciji, program kao rezultat daje prikaz godišnje prosječne zasjenjenosti na površninu fotonaponskih modula. Pa se prema tom prikazu u programu može lakše odrediti raspored fotonaponskih modula, te na kraju i konfiguracija stringova prema sjenama.

Svaki izmjenjivač ima određen broj MPPT-a. Na svaki MPPT se može staviti u seriju određen broj fotonaponskih modula. Svaki string je zaseban te onda svaki string proizvodi električnu energiju zasebno. Problemi mogu nastati radi sjena, jer ako samo jedan fotonaponski modul bude u sjeni iz određenog stringa, svim ostalim modulima će se proizvodnja smanjiti na razinu onoga koji je u sjeni u tom stringu.

Zbog tog problema utjecaja sjena, kod izrade proračuna gleda se na kojem dijelu krova se pojavljuje najviše sjena, te se pokuša iz tog dijela izmjestiti što više fotonaponskih modula. Ako ih nije moguće previše maknuti, da se ne smanji snaga FN sustava, onda se kod konfiguracije gleda da se stavi određen broj fotonaponskih modula koji su više u sjeni na jedan string, a oni

koji su manje u sjeni ili uopće nisu u sjeni da se stave na drugi ili treći string. S time će se smanjiti pad ukupne proizvodnje električne energije.



SLIKA 6.1. Godišnja prosječna zasjenjenost FN modula i raspored FN modula po stringovima [16]

Na slici 6.1. se vidi primjer kako se radi raspored fotonaponskih modula prema sjenama, te konfiguracija stringova. Primjer je dan iz predmetne solarne elektrane i vidi se godišnja prosječna zasjenjenost prema simulaciji programa PV*Sol, te konfiguracija stringova prema sjenama za južni dio krova. Na slici 6.1. je prikazan južni krov, vidi se da na desnoj strani krova pada velika sjena od građevine koja se nalazi odmah do tog krova. Budući da je građevina veća od vrha krova na kojoj su FN moduli, u jutarnjim satima radi velike sjene na FN module koji se nalaze odmah do ruba te građevine. Može se primijetiti da su svi FN moduli pomaknuti što više u lijevu stranu, te da su neki FN moduli i maknuti s desne strane pa cijela konstrukcija nije pravokutna.

Razlog tome je prevelika zasjenjenost desne strane i pad proizvodnje električne energije. Konfiguracija stringova se onda korigirala prema sjenama. Pa je tako slagan vertikalan raspored, da se string koji se nalazi desno (narančaste boje) svi fotonaponski moduli koji su više u sjeni "žrtvuju" i stave u jedan string pa će tako taj string proizvoditi u jutarnjim satima jako malo električne energije, a u podnevnim ili poslije podnevnim satima maksimalnu proizvodnju el. energije.

Ostali FN moduli su se podijelili u ostale stringove prema sjenama, budući da je zasjenjenost dalje prema lijevoj strani sve manja ti će stringovi tokom cijelog dana proizvoditi električnu energiju maksimalno što mogu.

Da je postavljen horizontalan raspored FN modula po stringovima, svi stringovi bi u jutarnjim satima proizvodili električnu energiju na razini onog FN modula koji se nalazi na desnoj strani u sjeni, znači smanjeno. S time bi se smanjila kompletna proizvodnja električne energije na svim stringovima te bi samo u podnevnim satima mogli proizvoditi maksimalno.

Razlika je očigledna, u konfiguraciji kad su stringovi vertikalno raspoređeni, prva dva stringa u jutarnjim satima proizvode puno više električne energije nego onaj koji je u sjeni, a kad bi bili stringovi raspoređeni u horizontali onda bi svi stringovi u jutarnjim satima proizvodili isto, točnije proizvodili bi manje, kao vrijednost onoga fotonaponskog modula koji se nalazi najviše u sjeni.

6.2. Utjecaj azimuta i godišnjih doba na proizvodnju električne energije

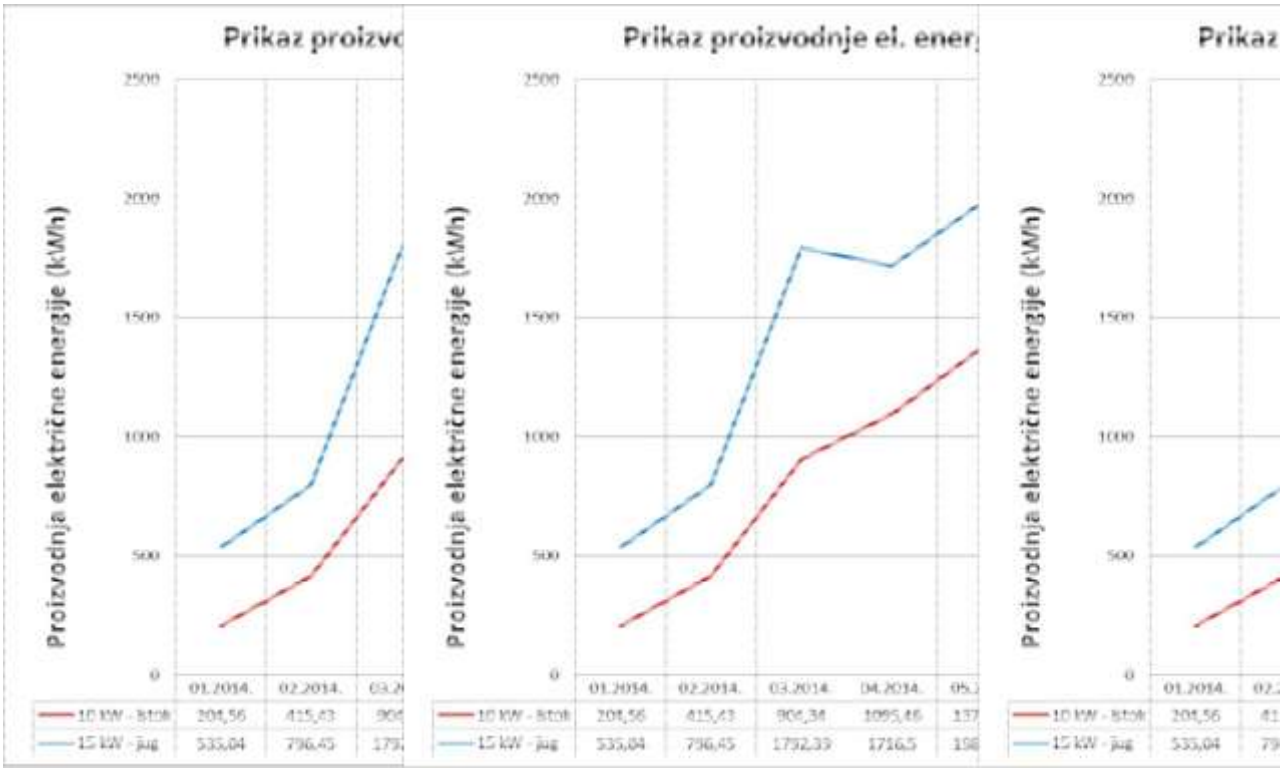
Za proizvodnju električne energije kod solarnih elektrana potrebna je što veća sunčeva ozračenost na plohu fotonaponskih modula. Kroz cijelu godinu, ovisno o godišnjem dobu, izmjenjuju se različite sunčeve ozračenosti na plohe, pa s time se zna da u ljetnim danima je proizvodnja najveća, a u zimskim najmanja. Što su više FN moduli okrenuti prema jugu, točnije prema Suncu, to će proizvodnja biti veća.

Na predmetnoj solarnoj elektrani se vidi razlika u proizvodnji električne energije između FN modula koji su okrenuti prema jugu, azimut 17°, te onih FN modula koji su okrenuti prema istoku, azimut -73°. Detaljnije prikazano u nastavku.

SLIKA 6.2. Fotonaponski moduli predmetne SE postavljeni na krovu okrenuti prema jugu [16]

SLIKA 6.3. Fotonaponski m oduli predmetne SE postavljeni na krovu okrenuti prema istoku [16]

Na slici 6.2. su prikazani F N moduli predmetne solarne elektrane postavljene na krov koji gleda prema jugu, a na slici 6.3. FN moduli predmetne solarne elektrane pos tavljene na krov koji gleda prema istoku. Izlazna snaga FN modula južne strane je veća nego istočne strane, kako se vidi iz slike 6.4., južna strana proizvodi više električne energije kroz godinu od istočne strane. Prikazane vrijednosti u grafu s u prema stvarnim mjerenjima predmetne so larne elektrane kroz 2014. godinu.

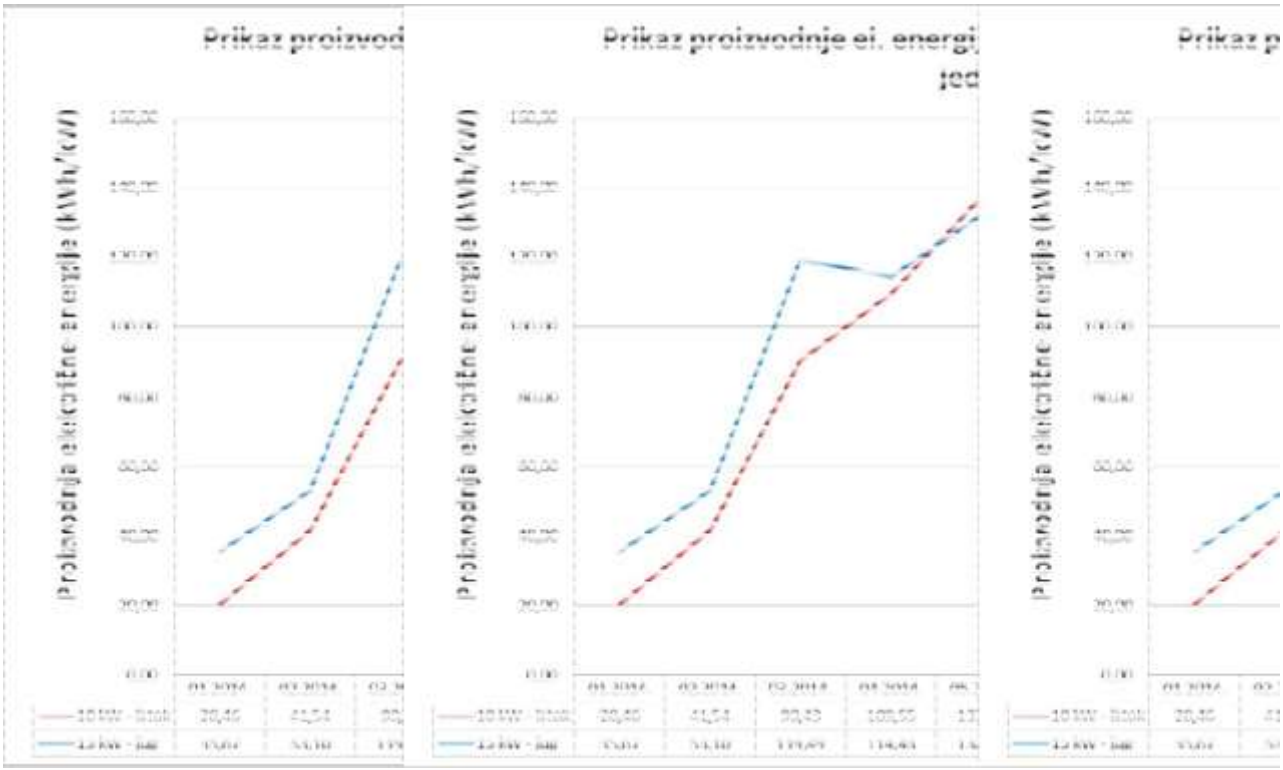


SLIKA 6.4. Razlika u proizvodnji el. energije između južne i istočne strane FN modula [16]

Kao što je iz slike 6.4. vidljivo, graf pokazuje razliku u proizvodnji el. energije između južne i istočne strane FN sustava. T ako da plava linija prikazuje istočnu stran u krova na koju su postavljeni FN moduli i spojeni na izmjenjivač snage 10 kW, te crvene linije koja prikazuje južnu stranu krova na koju su postavljeni FN moduli i spojeni na izmjenjiva č snage 15kW.

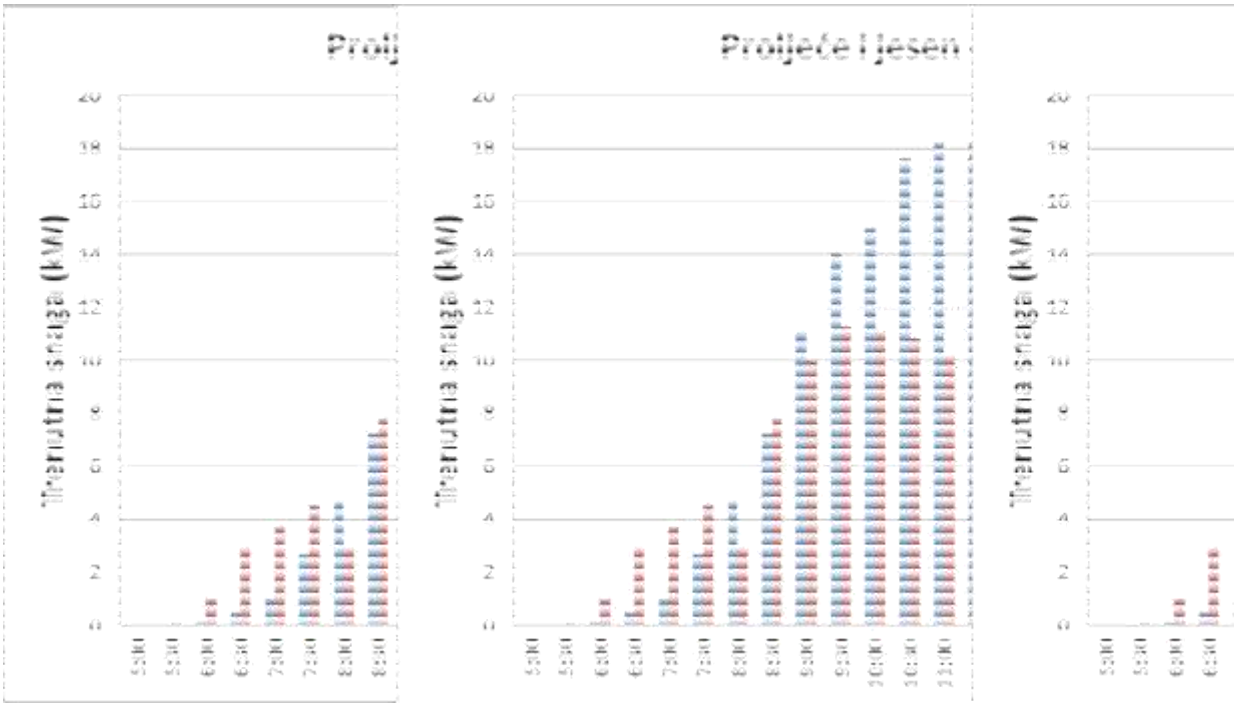
Iz grafa se može uočiti da istočna strana FN sustava proizvodi el. ener giju najviše u lipnju kada je sunčeva ozračenost na plohu najveća. Razlog tome je što ta istočna strana nije ozračena sunčevom energijom cijeli dan pa samo proizvodi električnu energiju najviš e u jutarnjim satima. Južna strana proizvodi električ nu energiju najviše u ljetnim danima, od s vibnja do kolovoza. Razlika je i u zimskim danima očigledna gdje je najmanja sunčeva ozračenost na plohu, pa se vidi da istočna strana vrlo malo proizvodi električnu energiju kroz zimski period.

Ako se usporede iznosi proizvedene energije po pojedinačnoj snazi (p.u.), vidljivo je da razlike nisu prevelike, čak je i p roizvodnja u ljeto na istočnoj strani i veća, vidljivo na slici 6.5.

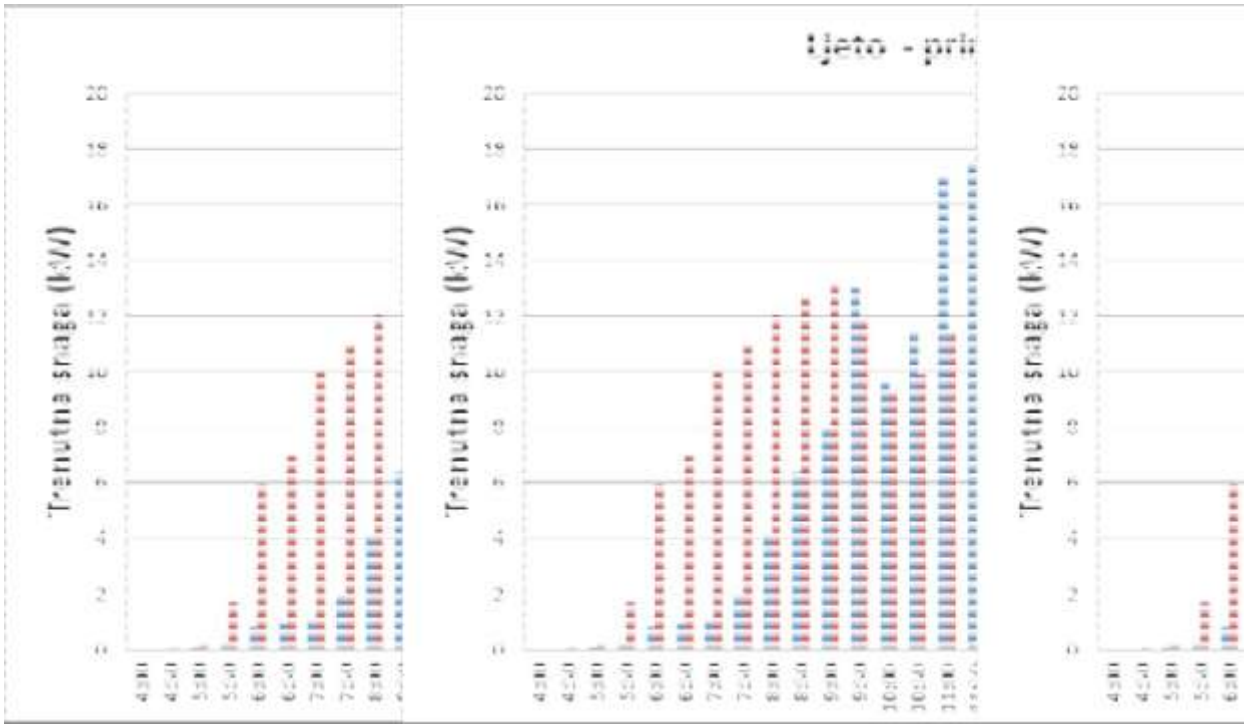


SLIKA 6.5. Razlika u proizvodnji e l. energije između južne i istočne strane po jediničnoj snazi (p.u.) [16]

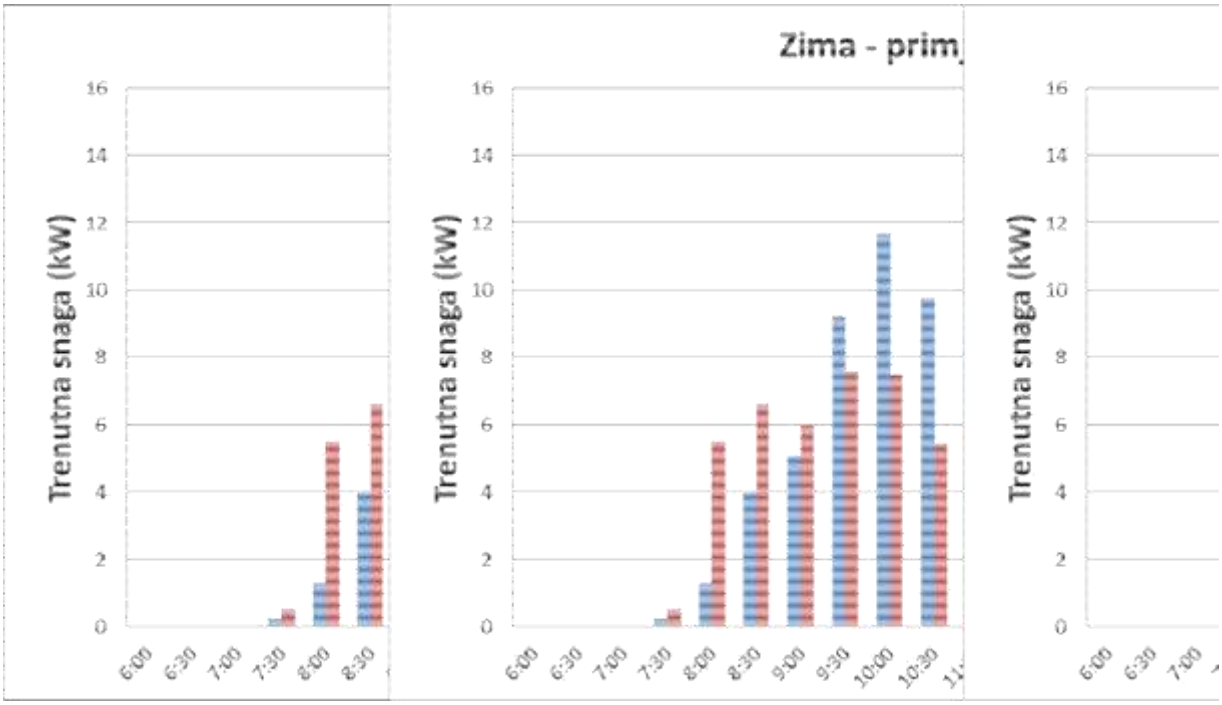
Da bi se što lakše i bolje prikazao primjer kako to izgleda, u nastavku su dani grafovi kroz jedan cijeli dan praćen stvarnim mjerenjima predmetne solarne elektrane kroz godišnja doba. Vide se primjeri za proljeće, je sen, ljeto i zimu, k tome da proljeće i jesen imaju približno istu sunčevu ozračenost kroz cijeli dan pa su prikazani na istom grafu, u pri mjerima je 21. dan u mjesecima 2014. godine.



SLIKA 6.6. Dnevna proizvod nja el. energije za proljetno i jesensko doba, 21. ožujak i rujan [16]



SLIKA 6.7. Dnev na proizvodnja el. energije za ljetno doba,. 21. li panj[16]

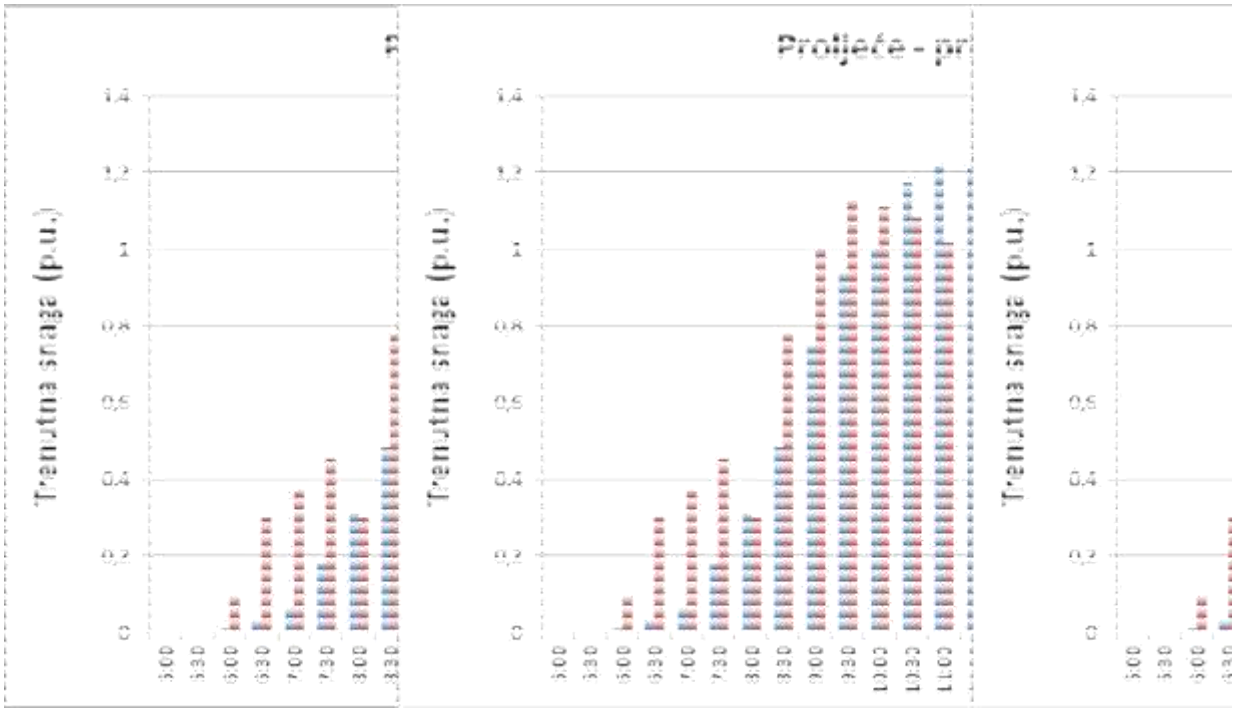


SLIKA 6.8. Dnevna proizvodnja el. energije za zimsko doba, 21. Prosinac [16]

Na slikama 6.6., 6.7. i 6. 8. su prikazani grafovi dnevne proizvodnj e električne energije predmetne SE kroz godišnja doba, uzeta mjerenja iz 2014. godine. Već na prvi pogled se da uočiti da FN moduli koji su po stavljeni na istočnu stranu krova, označeno na grafovima crvenim stupcima, proizvode najviše električne energije u jutarnjim satima do podneva, kasnije proizvodnja pada. FN modul i postavljeni na južnu stranu, označeni na grafovima plavim stupcima, proizvode električnu energiju najviše u podnevnim satima, a opć enito i kroz cijeli dan više od istočne strane.

Još se iz grafova može primijetiti da period proizvodnje po godišnjim dobima varira. U proljeće i jesen SE proizvodi e lektričnu energiju od 6 do 18 sati. Kroz ljeto je taj period čak i duži te SE počne već u 4:30 sati proizvoditi električnu energiju pa sve do 2 0:30 sati. U zimskom razdoblju taj period je kraći, pa proizvodnja električne energije počne u 7 sati, a prestaje u 16 sati.

Na grafovima se još da i primijetiti odstupanja i nagla smanjenja stup aca. Jasan primjer se vidi na slici 6.7., gdje za podnevno vrijeme kad je Sunce najviše i daje najve ću energiju dešavaju nekakva odstupanja u proizvodnji električne energije. Malo proizvodi više, malo manje. Razlog tome je oblačno vrijeme. Mogu ćnost postoji da je baš taj dan bilo oblačno pa kako se kroz dan vrijeme mijenjalo tako su i sunč eve ozračenosti bile različite.



SLIKA 6.9. Dnevna proizvodnja el. energije po pojedinačnoj snazi [16]

Ako se usporede iznosi pro izvedene energije na dnevnoj bazi po poje dinačnoj snazi (p.u.), vidljivo je da su razlike u proizvodnji vrlo male, a u jutarnjim satima istok više proizvodi električnu energiju od južne str ane, vidljivo na slici 6.9.

Iz svega ovoga se može z aključiti da utjecaji zasjenjenja uvelike utječu na proizvodnju električne energije. Da bi se d obila što bolja proizvodnja i iskorištenost fotonaponskih modula, bilo bi poželjno graditi FN s ustave okrenute prema jugu, sa što manjim kutom azimuta, te pokušati eliminirati sjene ako je moguće.

Drveće, susjedne građevine, dimnjaci na krovu, stupovi na krovu, sve to radi sjene na FN module i s time smanjuju proizvodnju električne energije. Nekih od ti h utjecaja se mogu eliminirati, poput drveća ili stu pova. Rušenjem drveća ili rezanjem grana se može smanjiti ili čak eliminirati zasjenjenje koje pada na FN module. Slična situacija je i sa stupovima na krovu, mogu se pomaknuti ili jednostavno maknuti sa krova pa se time riješi problem zasjenjenja.

Ipak, radi povećanja ukupne snage FN sustava, ako je u mogućnosti, mo žda je ponekad dobro i kombinirati jug, istok i zapad. Budući da je iz danog primjera vidljivo da ponekad i istočna ili zapadna strana mogu proizvoditi isto kao i južna, pa u kombinaciji sa južno m stranom se dobije isplativ FN sustav.

7. Priključenje i utjecaji solarne elektrane na mrežu

Kod rješavanja situacije o priključenju jedinica distribuirane proizvodnje (manjih elektrana) na elektroenergetsku mrežu, dolazi do izražaja potrebna regulativa u obliku definiranih zakona, pod-zakonskih akata, normi i propisa. Javljaju se pitanja za rješenjima tehničkih, pravnih i ekonomskih aspekata priključenja takvih objekata. Norme su potrebne da bi se proizvod mogao tehnički definirati kroz zahtijevane karakteristike i određene mjerne veličine. [11]

Svaka manja elektrana za priključak na mrežu mora zadovoljiti neke osnovne tehničke uvjete:

- odstupanje frekvencije
- odstupanje napona
- valni oblik napona
- nesimetriju napona
- pogonsko i zaštitno uzemljenje
- razinu kratkog spoja
- razinu izolacije
- zaštitu od kvarova i smetnji
- faktor snage.

Mjesto priključka distribuiranog izvora ovisi o vršnoj snazi elektrane. Fotonaponski sustavi do uključivo 30 kW se priključuju na niskonaponski vod. Kod priključenja fotonaponskog sustava na mrežu se mora promatrati u položaju proizvođača koji isporučuje električnu energiju u mrežu i u položaju kupca koji iz mreže preuzima električnu energiju za vlastite potrebe. Zbog toga treba vidjeti kakvi će biti tokovi radne i jalove električne energije u promatranom trenutku. To ovisi o tehničkim značajkama proizvodnog postrojenja (npr. kod fotonaponskog sustava ima li izmjenjivač ulazni transformator), od pogonskog stanja proizvodnog postrojenja i nacrta sučelja prema mreži. [11]

Kada se solarne elektrane priključi na distribucijsku mrežu, dolazi do promjene smjerova tokova snaga i može se reći da distributivni vodovi postaju dvostrano napajani. Ako je solarna elektrana priključena blizu mjesta dovoljno velike potrošnje, onda će se proizvedena snaga potrošiti i praktično će se smanjiti potreban put koji energija treba proći do potrošača, a time se smanjuju i gubitci u mreži, te popravljaju naponske prilike. Ako je izvor električne energije priključen na kraju radijalnog voda distributivne mreže koja je slabo opterećena (najčešći slučaj u praksi), tada je moguće da izvor električne energije proizvede više energije, nego što je potrošači oko izvora mogu potrošiti, tako da dolazi do pojave predaje snage na višu naponsku

razinu (što nije uobičajeni tok snaga). S obzirom da je distribuiranom proizvodnjom teško upravljati i kontrolirati ju, taj problem itekako dobiva na značaju. [2]

Da bi se izbjegli ovakvi problemi rade se proračuni tokova snaga za taj dio mreže. Proračun se provodi na način da se izvor električne energije, u ovom slučaju solarna elektrana, priključi na mrežu te se promatraju promjene tokova snaga u vodovima oko čvorišta na kojeg je priključena elektrana. Ti proračuni se mogu raditi ručno preko formula ili preko računalnih programa.

Pojavom posljedica nesimetričnih opterećenja, kod priključenja solarne elektrane na mrežu, je nesimetrija napona i struje, a to ima za posljedicu i nepoželjne pojave kao što su povećanje gubitaka snage, gubitak energije i grijanje namota transformatora, preopterećenje pojedinih faza itd. [2] Paralelni pogon fotonaponskog sustava s distribucijskom mrežom može uzrokovati određene promjene na mjestu priključka s distribucijskom mrežom koje su neznatne.

Mjerenja kvalitete električne energije iz literature [12], [13] su potvrdila pretpostavke da rad manje solarne elektrane veličine do 30 kW ne utječe na tokove radne i jalove električne energije. Može se reći da strujno-naponske prilike ostaju zadovoljavajuće i nakon priključenja, a snaga tropolnog kratkog spoja neznatno se povećava. Vrijednosti harmonijskog izobličenja napona (THD), uzrokovanog priključenjem fotonaponskog sustava na mjestu priključenja iznose najviše 2.5%. [11]

Kvaliteta električne energije obavljaju se prema normi EN 50160, koja mjerenjem daje kvantitativne odlike kvalitete napona. Smatra se da rad malog fotonaponskog sustava reda veličine do 10 kW ne utječe negativno na kvalitetu električne energije i napon distribucijske mreže. Može se sa sigurnošću reći da zadovoljavaju sve zahtjeve u skladu s EU. [11] [12]

7.1. Potrebna dokumentacija za priključak solarne elektrane na mrežu

Da bi se neka solarna elektrana priključila na mrežu, potrebno je ishoditi zahtjeve i zadovoljiti sve potrebne uvjete za priključak na elektroenergetsku mrežu. Prema predmetnoj solarnoj elektrani su prikazani potrebni dokumenti, od samog početka odabira elektrane i projektiranja pa sve do samog završetka i priključka na mrežu.

Na samom početku potrebno je uvijek utvrditi isplativost solarne elektrane. To se radi pomoću računalnih programa i proračuna solarnih elektrana. Kao što je već opisano u radu oko izrade proračuna i projekata, u nastavku je nabrojana sva potrebna dokumentacija prema redoslijedu:

- Elektrotehnički projekt: Idejni projekt sunčane elektrane
- PEES – Prethodna elektroenergetska suglasnost dobivena od HEP-a prema uvjetima danim iz idejnog projekta

- Elektrotehnički projekt, glavni projekt sunčane elektrane
- EES – elektroenergetska suglasnost dobivena od HEP-a za priključak na elektroenergetsku mrežu
- Ugovor o odobrenju za instaliranje fotonaponskog postrojenja
- Ugovor o priključenju
- Ugovor o otkupu električne energije iz postrojenja Sunčane elektrane
- Potvrda o uporabljivosti izvedene električne instalacije
- Izjava o preuzimanju odgovornosti tijekom pokusnog rada elektrane
- Izjava o završnom pregledu i ispitivanju električne instalacije elektrane
- Izvještaj o provedenom ispitivanju električne instalacije (beznaponsko ispitivanje)
- Izjava o sukladnosti
- Protokol mjerenja stringova
- HEP – zahtjev za trajni pogon sa prilozima
- Konačno izvješće o ispitivanju paralelnog pogona elektrane
- Izvještaj o provedenom ispitivanju mjerenje kvalitete električne energije prema HRN EN 50160:2012
- Izvješće o provedenim ispitivanjima po tipskom programu ispitivanja paralelnog pogona sunčane elektrane priključne snage do 30 kW s mrežom u pokusnom radu
- Ugovor o korištenju javne usluge na mreži niskog napona
- HEP – dozvola za trajni pogon
- Izjava izvođača elektroinstalaterskih radova o izvedenim radovima i uvjetima održavanja građevine
- Građevni dnevnik
- Zapisnik o izgradnji sunčane elektrane
- Izvješće nadzornog inženjera

Prije je još bio i potreban ugovor o poticajnim cijenama za proizvedenu električnu energiju od HROTE-a, ali u 2014. godini su obustavljeni svi zahtjevi za novim sklapanjem ugovora za solarne elektrane. Također treba napomenuti da HROTE do daljnjega nije u mogućnosti sklapati nove ugovore o otkupu električne energije proizvedene iz postrojenja koja koriste sunčanu energiju, budući da važeći Tarifni sustav, kao ni najnovije izmjene istog, ne predviđaju povećanje već utvrđenih snaga takvih vrsta postrojenja tj. „kvota“ (5 MW – integrirane sunčane elektrane, 5 MW – neintegrirane sunčane elektrane i 2 MW – integrirane sunčane elektrane na objektima u vlasništvu tijela državne uprave, jedinica lokalne samouprave i područne (regionalne) samouprave). [14]

7.2. Ispitivanja i analiza utjecaja predmetne solarne elektrane na mrežu

Osnovni podaci o priključku FN sustava do 30kW su:

- nazivni napon mreže: 0,4 kV
- frekvencija: 50 Hz
- mjesto priključka: niskonaponski vod
- vrste priključka: jednofazni (do 5kW), trofazni (od 5kW do 30kW).

Vrsta sklopnog aparata za odvajanje je osigurač sklopka, ostvarena zaštitna funkcija na mjestu sklopnog aparata je nadstrujna kratkospojna (osigurač). Povlašteni proizvođač je dužan omogućiti ODS u svako vrijeme pristup priključku proizvodnog postrojenja, te je i dužan osigurati pristup obračunskom mjernom mjestu zbog uvida u stanje opreme, vođenja pogona i očitanja stanja brojila. [11]

Svaka mala elektrana mora ispuniti tehničke uvjete za spajanje na mrežu, tako postoje i tehnički zahtjevi koje mora zadovoljiti fotonaponski sustav.

Predmetna solarna elektrana se priključuje na mrežu preko priključno mjernog ormarića (PMO), a napaja se iz trafostanice TS 10/0,4 kV. Mjesto predaje električne energije je preko obračunskog mjesta, a priključni kabel je položen do PMO koji je dostupan s javne površine. Uređaj za odvajanje elektrane od distribucijske mreže je četveropolna osigurač-sklopka opremljena s kratkospojnicima u svim polovima. Upravljanjem uređaja za odvajanje elektrane od mreže je u ovlasti HEP-ODS-a. Postavljena su dva brojila za obračunsko mjerenje proizvodnja/potrošnja koja je isto u ovlasti HEP-ODS-a.

Neki od uvjeta koje mora ispunjavati elektrana dobivana od HEP-a prema uvjetima iz EES:

- otočni rad elektrane nije dopušten
- faktor snage (cos φ): 0,95 ind do 1
- element za osiguravanje primjerenog paralelnog pogona elektrane s mrežom i za sinkronizaciju je izmjenjivač
- Izmjenjivač je opremljen:
  - prekidačem
  - potrebnim zaštitama
  - sustavom za praćenje mrežnog napona
- uvjetima danim za sinkronizaciju na mrežu
- sustav zaštite elektrane od kvarova i poremećaja
- zaštita od previsokog napona dodira
- utjecaj proizvođača na mrežu prema pravilniku
- elektroinstalacija korisnika odvojena od bilo koje druge elektroinstalacije na lokaciji

Protokol mjerenja stringova predmetne solarne elektrane dan je u tablici 4.

Izmjenjivač	String	Broj modula	Napon praznog hoda (V)	Vrijeme i temperatura
Danfoss TLX 15K	S1	22	731	Sunčano, 27°C
	S2	22	730	Sunčano, 27°C
	S3	22	733	Sunčano, 27°C
Danfoss TLX 10K	S1	24	794	Sunčano, 27°C
	S2	23	789	Sunčano, 27°C

TABLICA 4. Mjerenje stringova predmetne SE

Iz tablice 4. se vidi da su naponi na izmjenjivaču po stringovima u granicama normale. Izmjenjivači zadovoljavaju prema uvjetima rada.

Izvršena su i potrebna mjerenja za priključak predmetne solarne elektrane na mrežu koje je radio VIZOR d.o.o., a iz elaborata utjecaja na mrežu te danog izvješća prema mjerenjima, elektrana zadovoljava u svim mjerenim parametrima, a mjereno je:

- odstupanje napona
- odstupanje frekvencije
- THD napon
- nesimetrija
- flikeri
- faktor snage

Potrebna mjerenja i ispitivanja su se radila u periodima po 7 dana, uz to da se prvo radilo prije priključenja na mrežu, a onda nakon toga kada se elektrana priključila na mrežu.

Temeljem provedenih ispitivanja i analize izmjerenih vrijednosti zaključuje se da je povratni utjecaj elektrane na mrežu i kvalitetu električne energije u granicama dopuštenih vrijednosti, te je elektrana sposobna za primjereni paralelni pogon s distribucijskom elektroenergetskom mrežom.

8. Zaključak

Obnovljivi izvori energije u današnje vrijeme su sve važniji izvori energije u elektroenergetskom sustavu. Razlog tome je besplatan izvor energije, kao i čistoća u proizvodnji. Smanjuje se onečišćenje, a ne troše se Zemljini resursi. Od obnovljivih izvora najiskoristiviji izvor energije bi bilo Sunce, s najviše potencijala energije od ostalih izvora.

Da bi se ta sunčeva energija dala iskoristiti potrebne su solarne elektrane koje pretvaraju sunčevu energiju u električnu.

Utjecaji na solarnu elektranu ujedno i utječu na proizvodnju električne energije. S time da se neki utjecaji mogu eliminirati ili pokušati smanjiti, da se ne dogode preveliki padovi u proizvodnji električne energije. Jedan od tih utjecaja je zasjenjenje od susjednih objekata, drveća ili određenih objekata na krovu na kojem su postavljeni fotonaponski moduli.

Da bi se ti utjecaji smanjili, rade se proračuni i simulacije solarnih elektranu u računalnim programima, te se prema njima određuje snaga priključka FN sustava na mrežu.

Na temelju proračunatih podataka i danog primjera u radu, vidi se da Hrvatska ima povoljan položaj za izgradnje solarnih elektrana. Uz to je vidljivo da se nekad i isplati kombinirati istočne ili zapadne strane sa južnima, te da nije samo potrebno da FN moduli ili krovovi građevina na koje bi se postavljali FN moduli, su okrenuti prema jugu.

Sustav do 30kW u paralelnom pogonu sa elektroenergetskom mrežom na mjestu priključka uzrokuje neznatne promjene. Odnosno ne utječe negativno na kvalitetu električne energije i napon mreže. Prije priključka na mrežu se rade potrebna ispitivanja i analize da se provjeri da li sustav zadovoljava potrebne uvjete priključka.

Proizvodnjom električne energije iz fotonaponskih sustava smanjuje se utjecaj na okoliš, a posebno se smanjuje emisija CO_2. Što je još jedan od glavnih razloga za korištenje fotonaponskih sustava.

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, DRAŽEN PAJAN *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom UTJECAJ SE NA MREŽU U TOČKI PREKLU. *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

DRAŽEN PAJAN

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, DRAŽEN PAJAN *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~na~~ s javnom objavom završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom UTJECAJ SE NA MREŽU U TOČKI PREKLU. *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

DRAŽEN PAJAN

(vlastoručni potpis)

9. Literatura

[1] http://prvikorak.eu/obnovljivi-izvori-energije

[2] Vedran Radošević: Utjecaj solarnih elektrana na tokove snage u nesimetričnoj distribucijskoj mreži, HEP, Elektra Zgreb

[3] dr.sc.Ljubomir Majdandžic, dipl.ing: Solarna tehnologija, časopis broj 8

[4] dr.sc.Ljubomir Majdandžic, dipl.ing: Fotonaponski sustavi, priručnik

[5] Kulišic, P.: „Sunčane čelije“, Školska knjiga, Zagreb 1994

[6] N. Dizdarević, M. Majstorović, S. Žutobradić: „Distribuirana proizvodnja električne energije“, Energija, 52, str. 321-339, listopad 2003.

[7] Luka Lugarić: „Mrežni fotonaponski sustavi za kućanstva“ ,diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2007.

[8] Glavni projekt sunčane elektrane, Sunčana elektrana „Općina Crnac“, izrađenog od Elving Projektiranje d.o.o., Novi Marof, svibanj 2013.

[9] http://www.solvis.hr/wp-content/uploads/2013/01/LQSOLVIS-DS-HR-SV60-20121118.pdf

[10] Danfoss katalog, datasheet

[11] Tihomir Pehar: Smjernice za izradu projektne dokumentacije fotonaponskog sustava spojenog na elektroenergetsku mrežu, diplomski rad br. 2295, FER, Zagreb, 2013.

[12] J. Grašo, M. Cvitanović, A. Cović: „Utjecaj sunčane elektrane „Solarni krov Španso-Zagreb“ na distribucijsku mrežu“, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijska konferencija, HO CIRED, Šibenik, svibanj 2008.

[13] D. Škrlec i suradnici: „Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja na elektroenergetsku mrežu – fotonaponska elektrana Benkovačko Selo (950 kW)“, kolovoz 2009.

[14] http://www.hrote.hr/default.aspx?id=281

[15] Prethodna elektroenergetska suglasnost za sunčanu elektranu „Općina Crnac“, izdana od HEP Osijek, 21.02.2013.

[16] D. Srpak, D. Pajan: UTJECAJ ZASJENJENJA I AZIMUTA NA PROIZVODNJU SOLARNE ELEKTRANE, Maribor, 2016

Popis slika

Slika 2.1. Godišnje sunčevo zračenje na površini zemlje u usporedbi sa zalihama fosilnih i nuklearnih goriva te godišnjom potrošnjom energije u svijetu [4] 5
Slika 2.2. Različite pretvorbe i oblici energije sunčeva zračenja [4] 6
Slika 2.3. Plan rasta proizvodnje iz obnovljivih izvora energije i udio u ukupnoj potrošnji energije do 2060.godine [4] 6
Slika 2.4. Ogroman potencijal energije sunčeva zračenja pada na svaku građevinu [4] 7
Slika 2.5. Teoretski i tehnički potencijal obnovljivih izvora energije [4] 8
Slika 2.6. Osnovna podjela fotonaponskih sustava [4] 9
Slika 2.7. Samostalni fotonaponski sustav za trošila na istosmjernu struju [4] 10
Slika 2.8. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [4] 11
Slika 3.1. Solarna ćelija kao izvor električne energije [4] 13
Slika 3.2. Kristalne ćelije različitih boja i dimenzija [4] 13
Slika 3.3. Postupak proizvodnje solarnih ćelija i FN modula [4] 14
Slika 3.4. Elementi konstrukcije za montažu na krov [8] 16
Slika 4.1. Prikaz predmetne solarne elektrane (desna strana - južni krov, lijeva strana - istočni krov) 18
Slika 4.2. Jednopolna shema PMO ormarića dobivenog od HEP-a prema suglasnosti [15] 19
Slika 4.3. Postavljen snjegobran na predmetnoj solarnoj elektrani 22
Slika 5.1. Visina Sunca, zenitni kut Sunca, Sunčev azimut i kut upada [11] 24
Slika 5.2. Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe u Hrvatskoj [4] 24
Slika 5.3. Prikaz 3D modela izrade objekta i SE u programu PV*Sol 25
Slika 5.4. Prikaz predmetne SE u 3D modelu programa (gore) i stvarnom obliku (dolje) 26
Slika 5.5. Postavljeni fotonaponski moduli na južnom krovu predmetne SE 27
Slika 5.6. Postavljeni fotonaponski moduli na istočnom krovu predmetne SE 27
Slika 5.7. Raspored fotonaponskih modula po stringova za izmjenjivač snage 15 kW 28
Slika 5.8. Raspored fotonaponskih modula po stringova za izmjenjivač snage 10 kW 29
Slika 5.9. Razlika između proračunskog i stvarnog mjerenja el. energije [16] 30
Slika 6.1. Godišnja prosječna zasjenjenost FN modula i raspored FN modula po stringovima [16] 32
Slika 6.2. Fotonaponski moduli predmetne SE postavljeni na krovu okrenuti prema jugu [16] .. 33
Slika 6.3. Fotonaponski moduli predmetne SE postavljeni na krovu okrenuti prema istoku [16] 34
Slika 6.4. Razlika u proizvodnji el. energije između južne i istočne strane FN modula [16] 34

Slika 6.5. Razlika u proizvodnji el. energije između južne i istočne strane po jediničnoj snazi (p.u.) [16] 35
Slika 6.6. Dnevna proizvodnja el. energije za proljetno i jesensko doba, 21. ožujak i rujan [16] 36
Slika 6.7. Dnevna proizvodnja el. energije za ljetno doba,. 21. lipanj[16] 36
Slika 6.8. Dnevna proizvodnja el. energije za zimsko doba, 21. Prosinac [16] 37
Slika 6.9. Dnevna proizvodnja el. energije po pojedinačnoj snazi [16] 38

Popis tablica

Tablica 1. Karakteristike ugrađenog modula [9] 20
Tablica 2. Karakteristike ugrađenih izmjenjivača [10] 21
Tablica 3. Rezultati simulacije za predmetnu solarnu elektranu 29
Tablica 4. Mjerenje stringova predmetne SE 43