

# Projektiranje fotonaponskog sustava sportske dvorane

---

**Antunović, Mario**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:183813>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA  
SPORTSKE DVORANE**

**Diplomski rad**

**Mario Antunović**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 30.08.2023.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Mario Antunović
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1302, 12.10.2020.
<b>OIB studenta:</b>	21625693417
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Damir Šljivac
<b>Sumentor:</b>	dr. sc. Matej Žnidarec
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Damir Šljivac
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Heidi Adrić, mag. ing. el.
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Projektiranje fotonaponskog sustava sportske dvorane
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	U teorijskom dijelu opisati važeću zakonsku i tehničku regulativu (norme, standarde i dr.) u Hrvatskoj te opisati postupak projektiranja fotonaponski postrojenja. U praktičnom dijelu projektirati jedan fotonaponski sustav integriran u zgradu (sportsku dvoranu) pomoću programskog paketa PVSol. Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	30.08.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 11.09.2023.

Ime i prezime studenta:

Mario Antunović

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1302, 12.10.2020.

Turnitin podudaranje [%]:

10

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje fotonaponskog sustava sportske dvorane**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Damir Šljivac

i sumentora dr. sc. Matej Žnidarec

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak diplomskog rada .....</b>	<b>2</b>
<b>2. OPĆA NAČELA RADA FOTONAPONSKIH ELEKTRANA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Princip rada .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Energija Sunca .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Osnovne komponente fotonaponske elektrane .....</b>	<b>6</b>
2.3.1. Fotonaponski modul .....	6
2.3.2. Izmjenjivač .....	9
<b>2.4. Tipovi fotonaponskih modula .....</b>	<b>10</b>
2.4.1. Moduli od silicija.....	11
2.4.2. Tankoslojni moduli.....	13
<b>2.5. Tipovi fotonaponskih sustava .....</b>	<b>16</b>
2.5.1. Otočni sustavi .....	16
2.5.2. Umreženi sustavi .....	18
<b>2.6. Isprekidanost proizvodnje i potreba za pohranom energije .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7. Varijacije u proizvodnji električne energije .....</b>	<b>20</b>
<b>3. METODE MONTIRANJA I KONFIGURACIJE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Arhitektonska integracija.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. Vrste izvedbe .....</b>	<b>24</b>
3.2.1. Fotonaponski sustavi s jednim izmjenjivačem .....	25
3.2.2. Fotonaponski sustav sa izmjenjivačem za svaki string.....	26
3.2.3. Fotoponski sustav sa jednim izmjenjivačem za više stringova.....	26
<b>3.3. Postupak dimenzioniranja i proračuni .....</b>	<b>27</b>
3.3.1. Određivanje snage elektrane, fotonaponskih modula i izmjenjivača .....	27
3.3.2. Odabir kabela.....	30
3.3.3. Proračun prilika na DC razvodu .....	31
3.3.4. Proračun prilika na AC razvodu .....	32
3.3.5. Očekivana godišnja proizvodnja električne energije .....	33
3.3.6. Ekološki utjecaj elektrane.....	34
<b>4. RAZVOJ PROJEKTA SOLARNE ELEKTRANE .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1. Etape razvoja projekta .....</b>	<b>35</b>

<b>4.2. Postupak jednostavnog priključka .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. Sadržaj glavnog projekta .....</b>	<b>38</b>
4.3.1. Dokumentacija.....	38
4.3.2. Uvodni dio .....	39
4.3.3. Projektni zadatak .....	40
4.3.4. Prikaz tehničkih mjera zaštite .....	41
4.3.5. Tehnički opis .....	42
4.3.6. Elektroenergetske instalacije .....	44
4.3.7. Proračuni.....	44
<b>5. IZRADA GLAVNOG PROJEKTA FOTONAPONSKE ELEKTRANE .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1. Projektni zadatak.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2. Tehničke mjere zaštite .....</b>	<b>49</b>
<b>5.3. Tehnički opis.....</b>	<b>49</b>
<b>5.4. Izrada projekta u programskom paketu PV*SOL .....</b>	<b>52</b>
<b>5.5. Proračuni .....</b>	<b>62</b>
<b>5.6. Analiza dobivenih rezultata .....</b>	<b>68</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>73</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>74</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>78</b>

## 1. UVOD

Smanjenje emisija stakleničkih plinova i drugih zagađujućih čestica je prema trenutnoj globalnoj energetske i ekološkoj slici postalo jedan od glavnih ciljeva (što se navodi u Kyoto protokolu). Da bi se to postiglo potrebno je sve više iskorištavati alternativne i obnovljive izvore energije koji bi zamijenili i smanjili upotrebu fosilnih goriva kojima prijete nestanak uslijed izrazito velike potrošnje od strane nekoliko zemalja. Sunce svakako ima visok potencijal kao obnovljivi izvor energije i moguće ga je iskoristiti bez velike štete za okoliš.

Snaga koju dobiva površina zemaljske hemisfere izložena Suncu iz trenutka u trenutak premašuje i 50000 TW. To znači da je količina energije koja doprije na kopno 10000 puta veća od energije koja se potroši diljem svijeta.[8]

Fotonapon je, pored ostalih sustava na obnovljive izvore energije, tehnologija koja obećava obzirom na smanjene troškove proizvodnje energije (gorivo je besplatno) i održavanja, sustavi su pouzdani, bešumni i poprilično jednostavni za instalirati. Štoviše, kada se planira neki otočni sustav fotonapon je poprilično prikladan izbor u usporedbi s drugim izvorima energije i to posebno na mjestima koja su teška za dohvatiti sa tradicionalnim električnim vodovima ili se to ne isplati na taj način, u Hrvatskoj se to posebno odnosi na otočna područja.

Ovaj diplomski rad usmjeren je na analizu problema i osnovnim konceptima s kojima se treba suočiti pri realizaciji fotonaponskog sustava. Početno će se opisati način iskorištavanja sunčeve energije putem fotonaponskog postrojenja, biti će dan kratak opis metoda zaštite od prekomjernih struja, prenapona i indirektnih dodira, kao i vodič za pravilan odabir pogonskih i zaštitnih uređaja za različite komponente sustava. Pored principa rada i topologija postrojenja, glavnih komponenata, metoda instalacije i sustava zaštite, biti će prikazana i analiza proizvodnje energije postrojenja te kako ona varira ovisno o različitim faktorima. U praktičnom dijelu će biti prikazan postupak izrade projektne dokumentacije elektrane koja se nalazi na krovu sportske dvorane.

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Opisati princip rada fotonaponske elektrane i dijelova od kojih se ona sastoji te opis izrade glavnog projekta jedne elektrane zajedno sa izračunom u PVSOL-u kao i potrebnih izračuna prema kojim se odabiru odgovarajuće komponente elektrane.



## 2. OPĆA NAČELA RADA FOTONAPONSKIH ELEKTRANA

### 2.1. Princip rada

U fotonaponskoj elektrani se sunčeva energija izravno i trenutačno pretvara u električnu energiju bez upotrebe bilo kakve vrste goriva. Fotonaponska tehnologija iskorištava efekt koji nastaje kod pravilno dopiranih poluvodiča, odnosno pojavu da se na kraju jednog takvog elementa pri izloženosti sunčevom zračenju javlja elektromotorna sila (napon) pa on postaje istosmjerni izvor električne energije.

Osnovne prednosti fotonaponskih elektrana mogu se opisati kroz par točaka:

- Proizvodnja energije gdje je potrebna (distribuirani izvor)
- Nema emisija štetnih plinova i polutanata
- Ušteda fosilnih goriva
- Pouzdanost i vijek trajanja (obično preko 20 godina)
- Smanjeni troškovi proizvodnje i održavanja
- Modularnost (za veću snagu moguće je dodati više modula)

Početna investicija za ovakav tip postrojenja je prilično velika, osobito ako se radi o elektrani veće snage, međutim danas je tržište dosta razvijeno ako gledamo sa tehničke i ekonomske strane pa su cijene dosta manje nego što su bile u počecima masovnije upotrebe ove tehnologije. Osim toga nedostatak su i česte varijacije sunčevog zračenja koje izravno utječu na proizvodnju električne energije.

Godišnja energija koju fotonaponska elektrana proizvede ovisi o različitim faktorima: količini sunčevog zračenja na mjestu postavljanja, nagibu i usmjerenju modula, zasjenjenosti, kao i o tehničkim karakteristikama komponenata (uglavnom modula i izmjenjivača).

Osnovna područja gdje se primjenjuju ova postrojenja su:

- za otočne sustave, često u kombinaciji sa sustavima pohrane
- za korisnike koji su priključeni na niskonaponsku mrežu
- fotonaponske elektrane većih snaga koje su obično priključene na srednjenaponsku mrežu

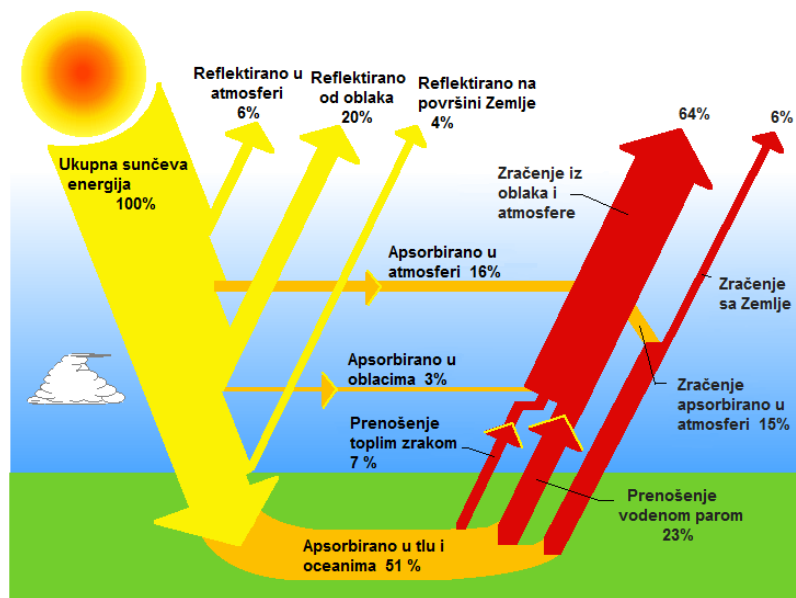
Neki osnovni dijelovi od kojih se sastoji fotonaponsko postrojenje su: fotonaponski moduli, nosiva konstrukcija koja služi za montiranje modula na tlu, zgradi ili slično, sustav za upravljanje, sustav pohrane, izmjenjivači i zaštitna oprema te priključni kablovi.

## 2.2. Energija Sunca

Termonuklearna reakcija (fuzija) se odvija u samoj jezgri Sunca pri temperaturi od nekoliko milijuna stupnjeva. Ovom reakcijom se oslobađa velika količina energije u obliku elektromagnetskog zračenja koja odlazi u svemir.

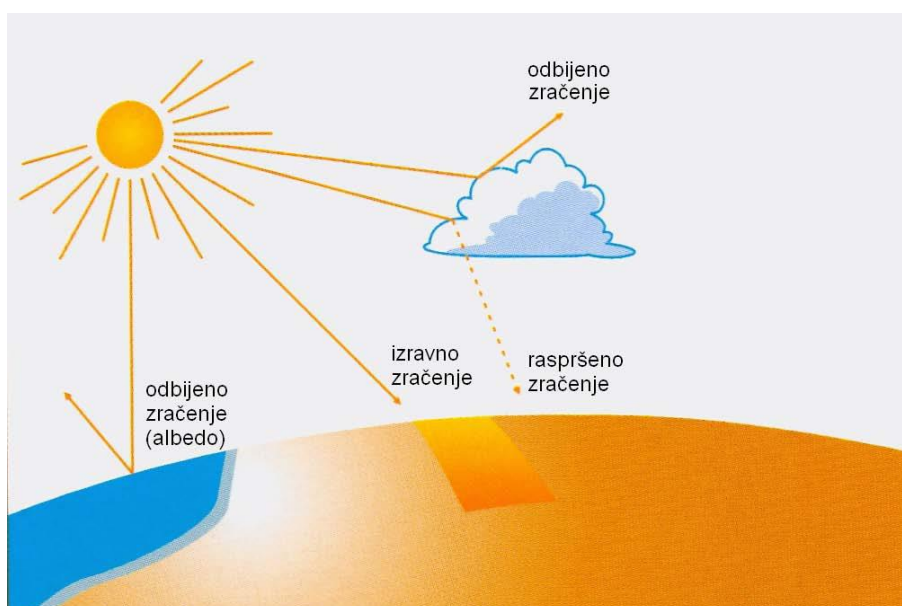
Snaga tog zračenja iznosi  $3,8 \cdot 10^{26}$  W, od čega na Zemlju pristiže oko  $1,7 \cdot 10^{17}$  W. Na površinu Zemlje od strane Sunca pristiže oko  $4 \cdot 10^{24}$  J energije godišnje što je 7500 puta veći broj od ukupne potrošnje energije iz svih primarnih izvora.[1] na str.30.knjige

Prolaskom kroz atmosferu, sunčevo zračenje se djelomično reflektira i apsorbira (između ostalog od strane vodene pare i drugih atmosferskih plinova), a dio pronalazi put kroz atmosferu. Ovo zračenje koje prođe kroz atmosferu biva djelomično raspršeno zrakom i krutim česticama koje se u njemu nalaze (slika 2.1.).



Sl.2.1. Zemljina energetska bilanca [2]

Zračenje koje pada na vodoravnu površinu sastoji se od izravnog zračenja na površinu, raspršeno zračenje koje s cjelokupne površine neba dopire do površine Zemlje, dakle ne sa nekog njegovog specifičnog dijela i zračenje koje se reflektira na zemljinu površinu od tla i okoline koja ga okružuje (slika 2.2.). Za zimu je specifično da je ta raspršena komponenta zračenja veća od izravne zbog velike naoblake.



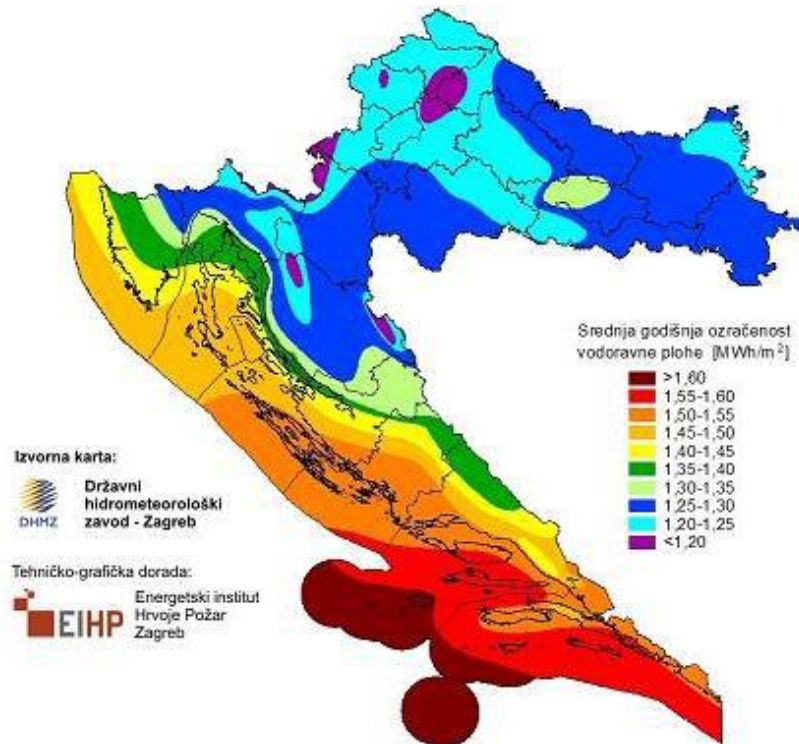
**Sl.2.2. Vrste Sunčevog zračenja [3]**

Reflektirano ili odbijeno zračenje uvelike ovisi o vrsti površine i mjeri se albedo koeficijentom koji se izračunava za svaki materijal (tablica 2.1.)

**Tablica 2.1. Reflektirano zračenje**

<b>Tip površine</b>	<b>Koeficijent</b>
Prljave ceste	0,04
Vodene površine	0,07
Crnogorične šume tijekom zime	0,07
Istrošeni asfalt	0,10
Krovovi i terase od bitumena	0,13
Tlo (glina, lapor)	0,14
Suha trava	0,20
Krš	0,20
Istrošeni beton	0,22
Šume i polja u jesen	0,26
Zelena trava	0,26
Tamne površine zgrada	0,27
Suho lišće	0,30
Svijetle površine zgrada	0,60
Svježi snijeg	0,75

Slika 2.3. prikazuje srednju ukupnu ozračenost vodoravne plohe u Hrvatskoj. Ozračenost ili iradijacija je omjer dozračene Sunčeve energije u nekom vremenu po jedinici površine plohe okomite na smjer zračenja.



Sl.2.3. Karta Hrvatske sa srednjim godišnjim vrijednostima ozračenosti [4]

## 2.3. Osnovne komponente fotonaponske elektrane

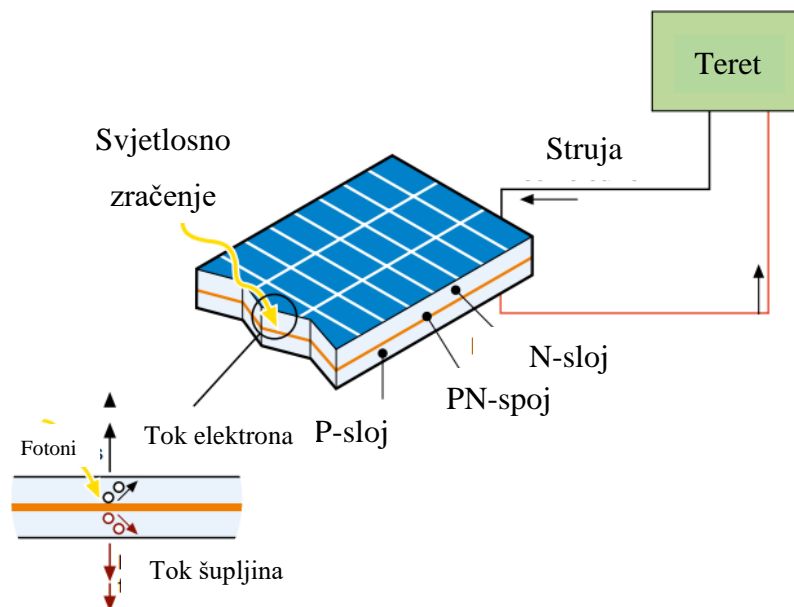
### 2.3.1. Fotonaponski modul

Jedan ili više povezanih fotonaponskih elemenata (ćelija ili modula) koji služe kao izvor električne struje unutar strujnog kruga, možemo nazvati solarnim generatorom. [5] Njegova osnovna komponenta je fotonaponska ćelija u kojoj se odvija pretvorba sunčevog zračenja u električnu energiju. Ona se sastoji od tankih slojeva prikladno tretiranog poluvodičkog materijala (najčešće silicija), obično debljine oko 0,3 mm i površine od 100 do 225 cm<sup>2</sup>. U ćeliji je omogućena izravna pretvorba energije sunčevog zračenja u električnu energiju, odnosno pri izloženosti sunčevom zračenju na njenim krajevima se stvara elektromotorna sila (napon) i ona postaje izvor električne struje. Tu pojavu nazivamo još i fotonaponskim efektom.

Da bi se fotonaponski efekt mogao iskoristiti potrebna je određena struktura, odnosno PN spoj koji se javlja na granici p-sloja i n-sloja poluvodičkog elementa. Kada je ćelija izložena svjetlosti dolazi

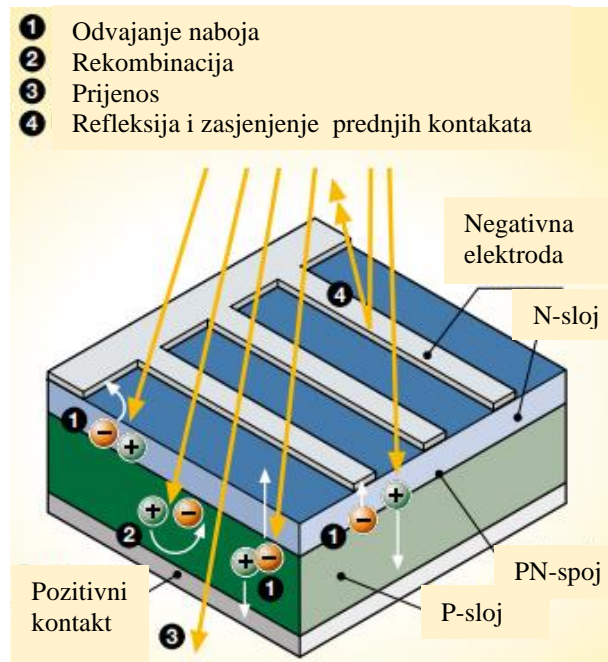
do nastanka električnog polja u PN spoju pri čemu u p-sloju i n-sloju dolazi do izbijanja elektrona iz strukture atoma čime automatski nastaje odgovarajući broj šupljina. Da bi se ponovno uspostavila ravnoteža naboja, dolazi do difuzije nastalih slobodnih elektrona iz p-sloja prema n-sloju i istodobno do difuzije šupljina iz n-sloja prema p-sloju. Rezultat je višak negativno nabijenih elektrona u n-sloju, odnosno šupljina u p-sloju na krajevima poluvodičkog elementa, tj. Nastaje napon na njegovim metalnim kontaktima.[5]

Kada elektroni jednom pređu osiromašeno područje (PN spoj), električno polje onemogućava njihov povratak u obrnutom smjeru. Ako na krajeve metalnih kontakata spojimo vanjsko trošilo, osiguran je zatvoreni strujni krug u kojem (istosmjerna) struja teče od p-sloja s većim potencijalom, prema n-sloju nižeg potencijala, sve dok je ćelija osunčana. Princip rada fotonaponske ćelije prikazan je na slici 2.4.



**Sl.2.4.** Princip rada fotonaponske ćelije [5]

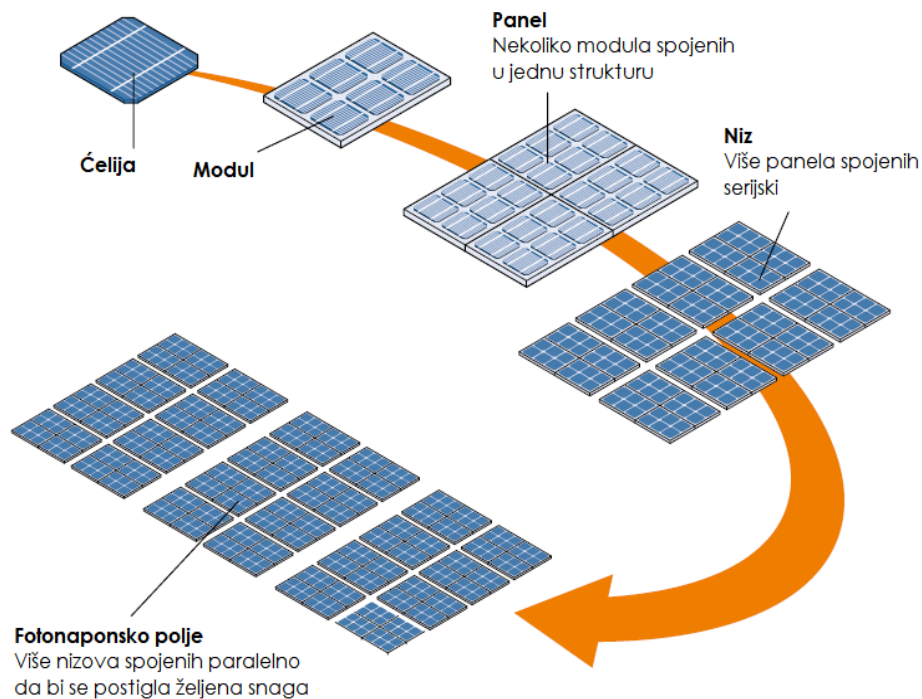
Slika 2.5. prikazuje fotonaponski efekt, odnosno što se događa kada sunčevo zračenje dođe do fotonaponske ćelije.



SI.2.5. Fotonaponski efekt [5]

Pri standardnim testnim uvjetima (ozračenost  $1 \text{ kW/m}^2$  pri temperaturi  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) FN ćelija proizvodi struju jakosti od otprilike  $3 \text{ A}$  pri naponu od oko  $0,5 \text{ V}$ , a vršna snaga je u rasponu od  $1,5 - 1,7 \text{ W}$ .

Na tržištu pronalazimo fotonaponske module, elemente koji nastaju međusobnim električnim povezivanjem određenog broja fotonaponskih ćelija. Najčešće se sastoje od 36 ćelija u 4 paralelna niza u kojem su ćelije spojene serijski. Nekoliko modula mehanički i električki čine panel koji se onda može postaviti na tlo ili na zgradu, ovisno o mogućnostima, a kako to izgleda prikazano je na slici 2.7. U praksi se često koristi termin modul umjesto panela. Više tako povezanih modula u seriji nazivamo nizom ili stringom, a onda se stringovi paralelno spajaju kako bi se postigla tražena električna snaga (slika 2.6.). Svi ti paneli zajedno sa ostalom opremom čine fotonaponski sustav.



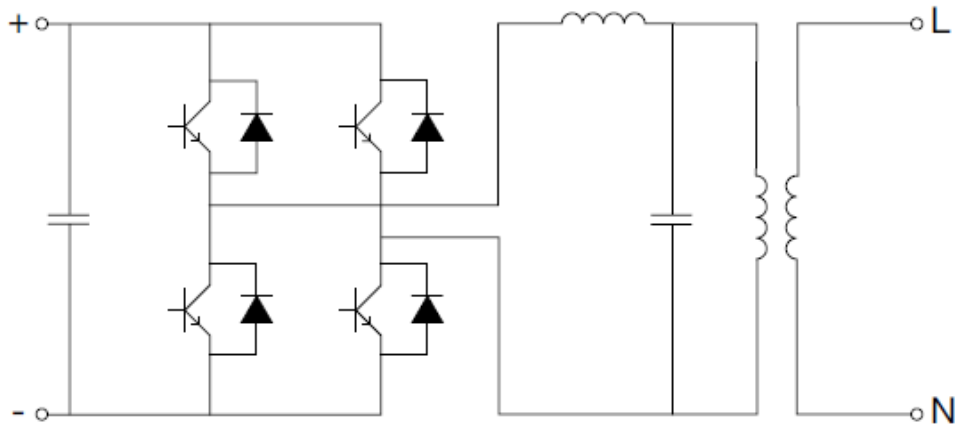
**Sl.2.6.** Terminologija naziva od ćelije do fotonaponskog polja [5]



**Sl.2.7.** Fotonaponski moduli montirani na tlu (lijevo) i na zgradi (desno) [6,7]

### 2.3.2. Izmjenjivač

Napajanje i sustav upravljanja koristi izmjenjivač koji pretvara istosmjernu struju u izmjeničnu i kontrolira kvalitetu izlazne snage koja će se isporučiti u mrežu za što se koristi induktivno kapacitivni filter (L-C filter) unutar samog pretvarača. Na slici 2.8. prikazana je principijelna shema izmjenjivača. Tranzistori se koriste kao statičke preklopke kojima upravlja upravljački signal koji u najjednostavnijem slučaju na izlazu može dati pravokutni valni oblik.



**Sl.2.8.** Principijelna shema jednofaznog izmjenjivača [8]

Snaga koju daje fotonaponski sustav uvelike ovisi o području ili točki u kojem radi. Kako bi izlazna snaga bila najveća moguća FN sustav bi se trebao prilagoditi teretu kako bi radna točka uvijek odgovarala točki maksimalne snage (eng.maximum power point). U tu svrhu se koristi tragač maksimalne snage (eng.Maximum Power Point Tracker - MPPT) unutar izmjenjivača. On zapravo u svakom trenutku izračunava vrijednosti napona i struje koje daje FN polje pri kojima se proizvodi maksimalna snaga.

Ovisno da li se radi o otočnom ili umreženom sustavu, izmjenjivači bi trebali imati različite karakteristike:

- Za otočne sustave izmjenjivač treba omogućiti što stabilnije napajanje na izmjeničnoj strani uslijed promjena u proizvodnji iz fotonapona ili promjeni potrošnje
- Za umrežene sustave cilj izmjenjivača je da što bliže reproducira mrežni napon, a u isto vrijeme da optimizira i maksimizira izlaznu snagu FN modula.

## 2.4. Tipovi fotonaponskih modula

Ovisno o strukturi i načinu proizvodnje razlikujemo:

1. Module od silicija
2. Tankoslojne module

Današnjim tržištem prevladava tehnologija koja koristi kristal silicija i ona predstavlja oko 90% tržišta. Obzirom na učinkovitost koja se može postići, kao i na troškove proizvodnje, pretpostavka je da će i u budućnosti dominirati tržištem. Očekuju se manja poboljšanja u pogledu učinkovitosti i mogućeg smanjenja cijene sa uvođenjem većih i tanjih slojeva kao i usred ekonomije razmjera.



Zahvaljujući tehnologiji selektivnog emitera moguće je povećati učinkovitost do 0.8% na način da se poveća koncentracija elementa za dopiranje (fosfora) u području ispod metalnih kontakata kako bi se smanjio otpor u tom području, a bez povećanja dimenzija metalnog kontakta. Prema tome, ova tehnika omogućava smanjenje otpora metalnih kontakata iznad ćelija bez smanjenja korisne površine za hvatanje sunčevog zračenja i bez negativnog utjecaja na optičke performanse. Osim toga, fotonaponska industrija koje se zasniva na takvoj tehnologiji koristi višak silicija koji je namijenjen elektroničkoj industriji, ali konstantnim razvojem, kao i eksponencijalnim rastom proizvodnje u fotonaponskoj industriji u prethodnim godinama, čest je slučaj da su sirovine koje se koriste u sektoru fotonapona na tržištu je teško dostupne.

#### **2.4.1. Moduli od silicija**

Danas su u svijetu najrasprostranjeniji i najviše se koriste moduli od silicija koji, nakon kisika, predstavlja najrasprostranjeniji element na Zemlji pa je ujedno i pristupačan cijenom, ali i gotovo neiscrpan resurs. Međutim, kako bi se mogao iskoristiti za proizvodnju fotonaponskih ćelija, potrebno je proći kroz složeni proces kako bi se od kvarcnog pijeska na kraju dobio čisti silicij. Te module dijelimo u 3 kategorije: monokristalne, polikristalne i gotovo monokristalne module.

Monokristalni moduli su građeni od kristala silicija visoke čistoće. Jedan komad ili ingot silicija ima oblik cilindra promjera 13-20 cm i 2 m dužine, a dobiva se rastom filiformnog (vlaknastog) kristala u sporoj rotaciji. Nakon toga cilindar se sijeće na slojeve debljine 200-250  $\mu\text{m}$ , a gornja površina se tretira na način da se stvore mikro "utori" kako bi se umanjila refleksija sunčevog zračenja. Glavna prednost ovih modula je učinkovitost (16-16.5%, a kod visoko učinkovitih tehnologija i od 20 do 22%) zajedno sa vijekom trajanja (preko 20 godina) i očuvanjem karakteristika tijekom vremena. Cijena im je oko 0,7 €/W i karakterizira ih jednobojna tamna površina i ćelije oblika četverokuta. Izgled panela od monokristalnog silicija prikazan je na slici 2.9.



**Sl.2.9.** *Izgled panela od monokristalnog silicija*

Kod polikristalnih modula, kristali unutar ćelije su prisutni u različitim oblicima i smjerovima pa tako imaju i drukčije ponašanje u dodiru sa svjetlom. Ingot polikristalnog silicija nastaje taljenjem i lijevanjem silicija u oblik paralelopipeda. Slojevi koji se dobiju od takvog komada silicija su pravokutnog oblika i imaju tipične pruge debljine 180-300  $\mu\text{m}$ . Učinkovitost je niža u usporedbi sa monokristalnim modulima, radi se o 15-16% (18-20% za visoko učinkovite module), ali i cijena koja iznosi otprilike 0.67 €/W budući da je proizvodnja manje zahtjevna u odnosu na monokristalne. A to je ujedno i glavni razlog zašto se ovi moduli najviše koriste u fotonaponskoj industriji. Unatoč manjoj učinkovitosti, vijek trajanja je približno jednak monokristalnim modulima, a to se također odnosi i na očuvanje performansi tijekom vremena (85% početne učinkovitosti nakon 20 godina). Ćelije koje su izrađene pomoću ove tehnologije mogu se prepoznati po površini budući da su zrna kristala prilično vidljiva. Izgled panela koji se sastoji od modula od polikristalnog silicija prikazan je na slici 2.10.

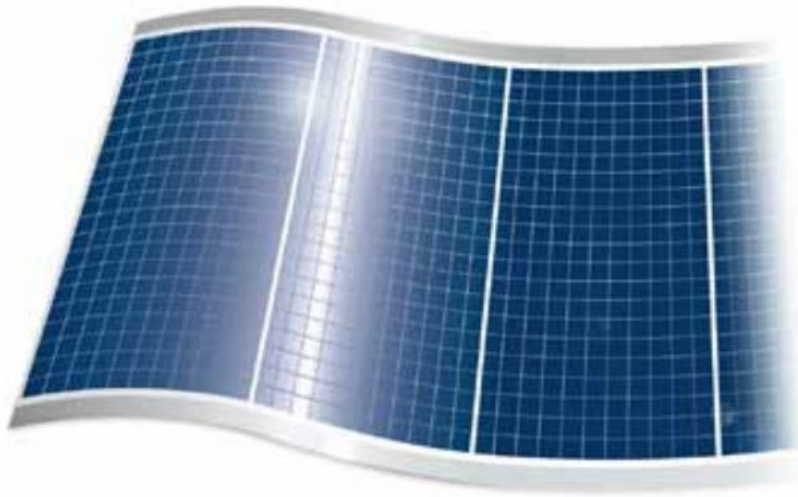


**Sl.2.10.** *Izgled panela od polikristalnog silicija*

Gotovo-monokristalni moduli imaju strukturu koja je između monokristalnih i polikristalnih. Metoda za stvaranje takvog silicija je slična onoj za proizvodnju polikristalnih modula, kristal silicija visoke čistoće se postavlja na dno kalupa i ponaša se kao “jezgra“ iz koje se formiraju veći kristali. Hlađenje tako nastalog komada silicija trebalo bi biti sporo kako bi se dozvolilo kristalima da rastu bez razlijevanja i trebalo bi se odvijati u smjeru od jezgre prema vrhu kalupa.

#### **2.4.2. Tankoslojni moduli**

Tankoslojne ćelije sastoje se od nataloženog poluvodljivog materijala, obično smjese plinova, na podlogu kao što je staklo, polimeri ili aluminij koji daju fizičku izdržljivost toj smjesi. Debljina poluvodljivog sloja je nekoliko  $\mu\text{m}$  za razliku od ćelija napravljenih od kristala silicija gdje ta debljina iznosi nekoliko stotina  $\mu\text{m}$ . Posljedica toga je znatna ušteda materijala kao i mogućnost postavljanja podloge koja je fleksibilna čime se proširuje područje primjene tankoslojnih ćelija. Prikaz modula od tankoslojnih ćelija prikazan je na slici 2.11.



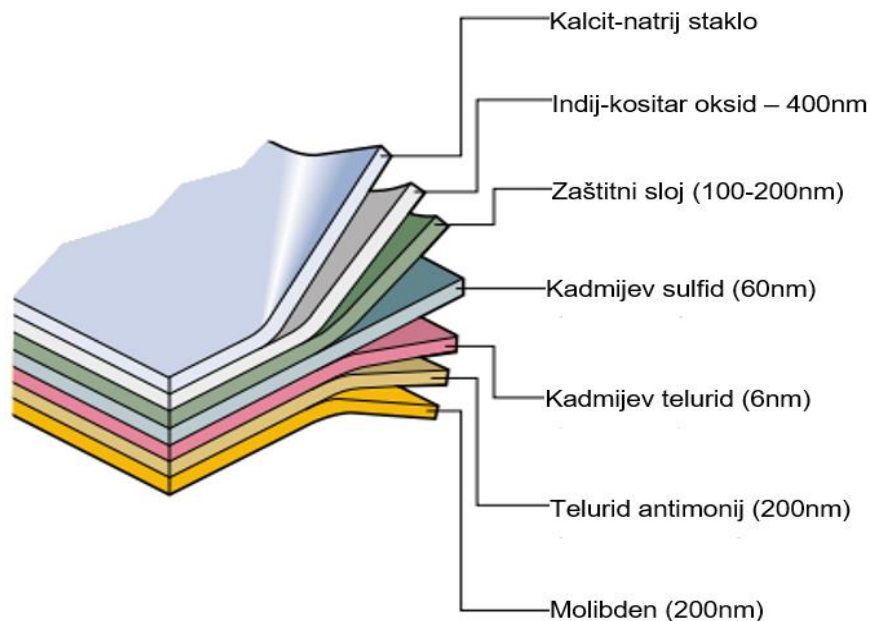
**Sl.2.11.** *Izgled panela od tankoslojnih modula*

Najčešće korišteni materijali su:

1. Amorfni silicij (a-Si)
2. Kadmij telurid (CdTe)
3. Indijev diselenid i legure bakra (CIS, CIGS, CIGSS)
4. Galijev arsenid (GaAs)

Sloj amornog silicija nataloženog na podlogu od npr.aluminija pruža mogućnost korištenja fotonaponske tehnologije uz snižene troškove u usporedbi sa kristalnim silicijem, ali karakteristično za njih je da učinkovitost takvih ćelija opada tijekom vremena. Također je moguće „raspršiti“ sloj amornog silicija na tanki sloj plastike ili savitljivog materijala te se, pored ostalog, koristi kada postoji potreba za maksimalnim smanjenjem težine panela ili pak prilagodba panela nekim zakrivljenim površinama. Učinkovitost je prilično niska (7 do 8%, za visoko učinkovite module 10-11%), ali i cijena je niža u odnosu na module od kristalnog silicija (0.52 do 0.56 €/W). Jedna zanimljiva izvedba ove tehnologije je kod mikromorfni ćelija koja se zapravo sastoji od dvije solarne ćelije koje se nalaze jedna na drugoj. Gornja koja je sačinjena od sloja amornog silicija apsorbira plavu svjetlost, dok donja, ujedno i deblja ćelija od mikrokrystalnog silicija apsorbira crvenu i gotovo infracrvenu svjetlost što dozvoljava ovakvoj „tandem“ ćeliji da pokrije široki spektar sunčevog zračenja. Učinkovitost ovakvih ćelija je zanimljiva: oko 11,6% u laboratorijskim mjerenjima i oko 9% u svakodnevnoj primjeni.[9]

Proizvodnja kadmij telurid modula u velikim količinama nailazi na ekološki problem zbog svojstva kadmij telurida da se ne otapa u vodi i stabilniji je u odnosu na druge spojeve koji sadržavaju kadmij stoga ga je potrebno propisno reciklirati i koristiti. Ovakve ćelije imaju veću učinkovitost nego ćelije od amornog silicija (12.4 do 13.4% i 12,7 do 14,2% za visokoučinkovite module), a također i nešto veću cijenu (0,58-0,60 €/W). Na slici 2.12. prikazana je struktura ćelije na bazi kadmij telurida.



**Sl.2.12.** Struktura *CdTe* modula [8]

Kod CIS/CIGS/CIGSS modula se umjesto silicija koriste druge specijalne legure poput:

1. Bakar, indij i selenit (CIS)
2. Bakar, indij, galij i selenit (CIGS)
3. Bakar, indij, galij, selenit i sumpor (CIGSS)

Učinkovitost je oko 14,1 do 14,6% (15% za visokoučinkovite module) i performanse ovih modula ostaju očuvane tijekom vremena, kao i kod kristalnog silicija, a cijena je nešto viša (0,65 €/W) iako se predviđa njen pad.

Trenutno je tehnologija koja koristi galijev arsenid najzanimljivija u pogledu ostvarene učinkovitosti koja iznosi 25 do 30%, ali proizvodnja takvih ćelija je ograničena zbog visoke cijene i oskudice materijala koji se dominantno koristi kod elemenata u poluvodičkoj industriji koji se koriste na visokim frekvencijama i u optoelektroničkoj industriji. Zapravo GaAs tehnologija se poglavito koristi za primjene u svemiru gdje smanjene dimenzije i težina imaju ključnu ulogu.

Na tablici 2.2. prikazane su učinkovitosti, prednosti i nedostaci tehnologija fotonaponskih modula koje su najviše u primjeni od svih nabrojanih.

**Tablica 2.2.** Prednosti i nedostaci različitih tehnologija modula

	Monokristalni silicij	Polikristalni silicij	Amorfni silicij
Učinkovitost ćelije	16% do 17%	14% do 16%	7% do 8%
Prednosti	Visoka učinkovitost, očuvanje karakteristika kroz vijek trajanja i pouzdanost	Niža cijena, jednostavnija proizvodnja, optimalne dimenzije	Niža cijena, smanjen utjecaj temperature na učinkovitost ćelije, veća proizvodnja kod difuznog zračenja
Nedostaci	Veća količina energije potrebna za proizvodnju	Osjetljivost na nečistoće u procesu proizvodnje	Veće dimenzije i cijena, kao i dulje vrijeme montaže

## 2.5. Tipovi fotonaponskih sustava

### 2.5.1. Otočni sustavi

Otočni fotonaponski sustavi su postrojenja koja nisu spojena na elektroenergetsku mrežu i sastoje se od FN modula i sustava za pohranu električne energije koji osigurava napajanje električnom energijom u trenucima kada je osunčanost mala ili kada je mrak. Budući da je proizvedena struja iz fotonaponske elektrane istosmjerna, ukoliko potrošač ima potrebu za izmjeničnom strujom nužna je upotreba izmjenjivača.

Gledano s ekonomske i tehničke strane ovakvi sustavi imaju prednost naspram agregata koji se koriste u područjima gdje nije razvijena električna mreža ili se pak nalaze na teško pristupačnim terenima. Često se ove konfiguracije predimenzioniraju iz razloga jer se tijekom sunčanog vremena želi osigurati u isto vrijeme napajanje potrošača, ali i punjenje baterija koje najčešće služe za pohranu. Naravno postoji određena sigurnosna granica do koje to može ići, uzimajući u obzir i dane slabe osunčanosti.

Najčešće se ovakvi sustavi upotrebljavaju za napajanje:

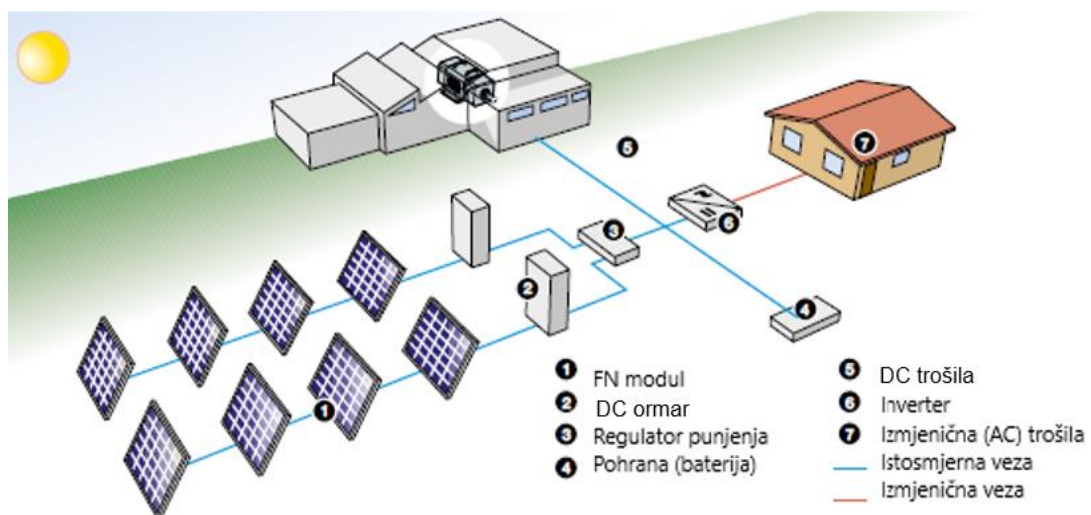
- Crpki za vodu
- Radio repetitora
- Stanica za vremenska i seizmička praćenja i prijenos podataka
- Sustava rasvjete
- Znakova na cestama, lukama...

- Opskrba električnom energijom u kamperima
- Reklamne rasvjete
- Skloništa na velikim nadmorskim visinama

Neki od ovih primjera prikazani su na slici 2.13., a slika 2.14. prikazuje principijelni dijagram otočnog fotonaponskog sustava.



**Sl.2.13.** LED lampa na FN pogon (lijevo) i solarno navodnjavanje (desno) [10]



**Sl.2.14.** Otočni fotonaponski sustav [8]

### 2.5.2. Umreženi sustavi

Ovakvi sustavi izvlače električnu energiju iz mreže u slučaju kada FN polje ne može proizvesti dovoljno energije da zadovolji potrebe potrošača.

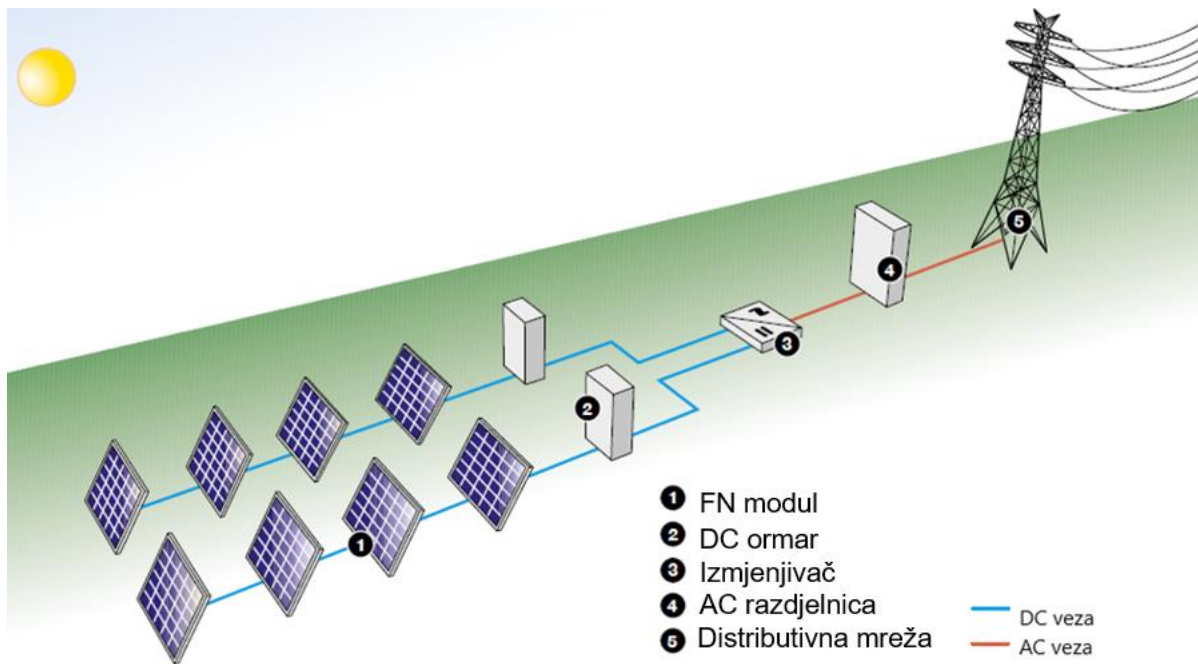
U suprotnom slučaju može se dogoditi da se proizvede više energije nego što je to potrebno, a u tom slučaju se višak predaje u mrežu, koja se može ponašati kao veliki sustav pohrane, osim što u tom slučaju nema potrebe za stvarnim sustavima pohrane kao što su baterije. Slika 2.15. prikazuje kako izgleda izvedba jednog takvog umreženog sustava.



**Sl.2.15.** Izvedba umreženog fotonaponskog sustava [11]

Velika prednost ovakvih sustava je što omogućavaju distribuiranu proizvodnju električne energije, umjesto centraliziranu. Razlog tomu je što energija proizvedena bliže potrošaču ima veću vrijednost nego ona koja se proizvede u konvencionalnim elektranama budući da su smanjeni gubici prijenosa, kao i troškovi prijenosa i razvoda električne energije. Principijelni dijagram umreženog fotonaponskog sustava prikazan je na slici 2.16.





Sl.2.16. Izvedba umreženog fotonaponskog sustava [8]

## 2.6. Isprekidanost proizvodnje i potreba za pohranom energije

Isporuka električne energije generirane putem fotonaponskih elektrana uvelike ovisi o tehničkim limitima zbog isprekidanosti proizvodnje. Distributivna mreža određene države može prihvatiti samo određeni iznos energije koja dolazi od ovakvih isprekidanih izvora, nakon kojeg se javljaju ozbiljni problemi za stabilnost te mreže.

Taj limit ovisi o konfiguraciji mreže i stupnju povezivosti s mrežom koja je stabilna. Na primjer taj limit u Italiji bi iznosio 10% - 20% ukupne energije koja dolazi iz konvencionalnih izvora.

Posljedica toga je da isprekidanost isporuke električne energije ograničava mogućnost ove tehnologije da pruži značajan doprinos proizvodnji unutar elektroenergetske mreže određene države, a to se odnosi i na ostale izvore koji imaju ovo svojstvo isprekidanosti.

Kako bi se ovaj negativan utjecaj umanjio potrebno je energiju koja dolazi iz takvih izvora pohraniti na određeno dulje razdoblje kako bi se mogla u stabilnijem i konstantnom obliku isporučiti u mrežu.

Električna energija može biti pohranjena ili u supravodljivim zavojnicama ili pretvaranjem u druge oblike energije: kinetička energija pohranjuje se u zamašnjacima ili komprimiranim plinovima,

gravitacijska energije pomoću bazena vode, kemijska energija u sintezi goriva i elektrokemijska energija u električnim akumulatorima ili baterijama.

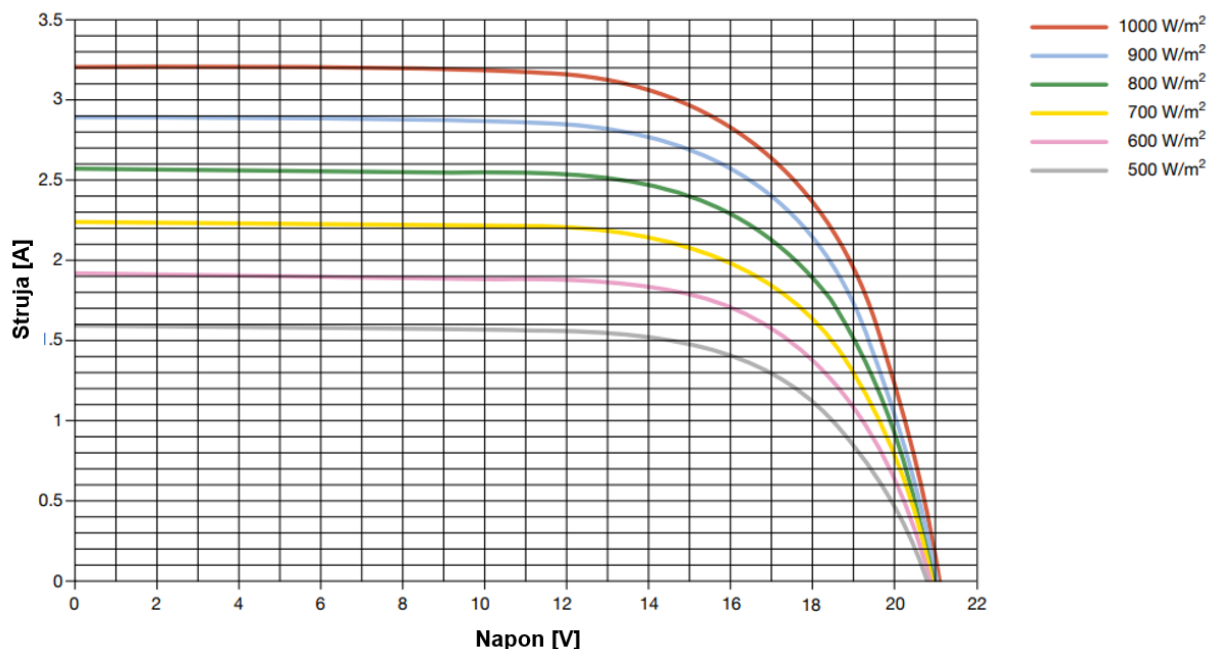
Gledajući na potrebu pohrane električne energije na dulje razdoblje (nekoliko dana/mjeseci) moguće je računati na: sustave pohrane pomoću baterija i vodik.

## 2.7. Varijacije u proizvodnji električne energije

Glavni faktori koji utječu na proizvedenu električnu energiju fotonaponske elektrane su:

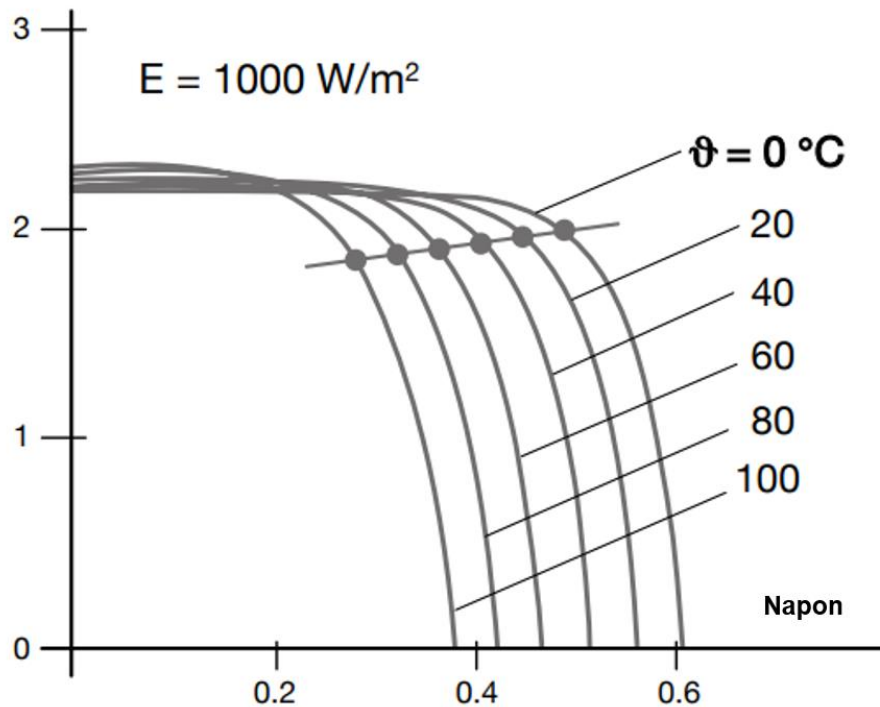
- Ozračenost
- Temperatura modula
- Zasjenjenje

Na slici 2.17. vidljiva je strujno naponska karakteristika modula pri različitim iznosima sunčevog zračenja. Kako se ozračenost smanjuje, proporcionalno se smanjuje i struja fotonaponske ćelije, ali napon praznog hoda se gotovo ne mijenja. Zapravo ovo smanjenje ozračenosti ne utječe na učinkovitost pretvorbe, tj. ona je ista i kada je oblačno i kada je sunčano vrijeme. Prema tome, smanjena proizvodnja nije rezultat smanjene učinkovitosti proizvodnje nego smanjenja struje na izlazu ćelija usred manje ozračenosti.



Sl.2.17. Strujno naponska karakteristika modula pri različitim iznosima sunčevog zračenja [8]

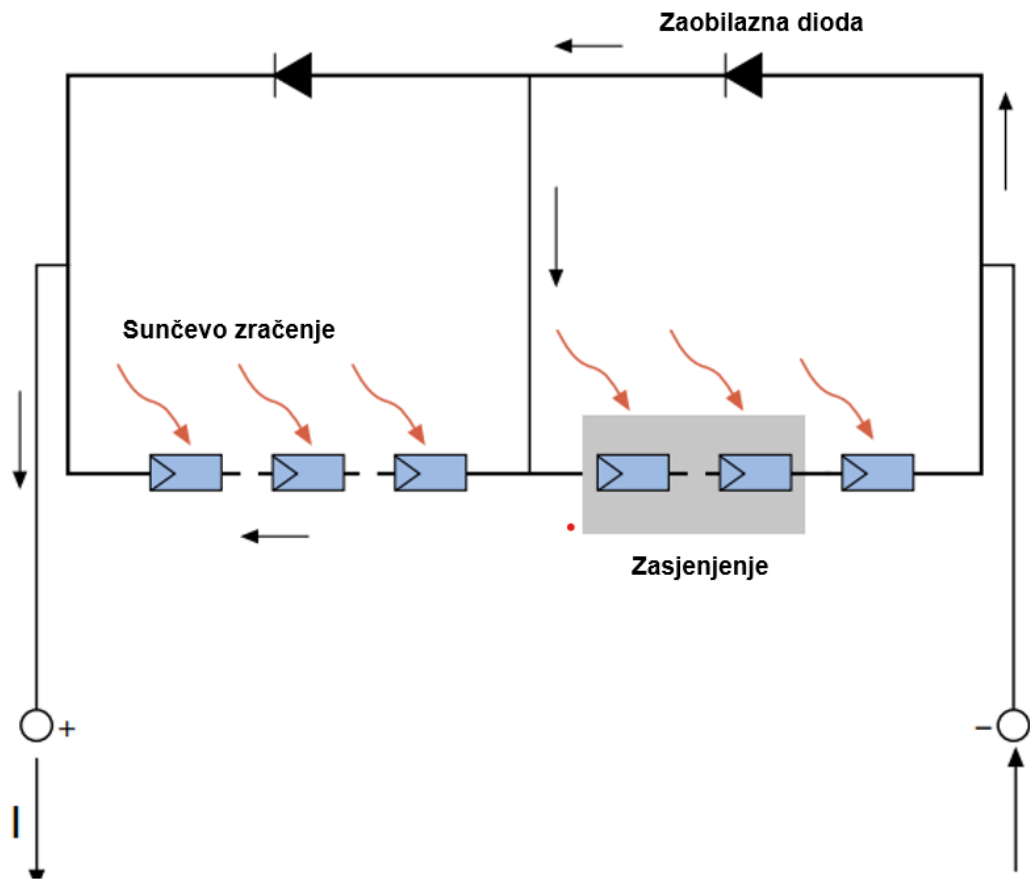
Nasuprot ovome, kada se poveća temperatura fotonaponskih modula, proizvedena struja se gotovo ne mijenja, ali dolazi do smanjenja izlaznog napona zbog čega dolazi do smanjenja performansi modula u pogledu proizvedene električne energije. Ova ovisnost prikazana je na slici 2.18.



**Sl.2.18.** Strujno naponska karakteristika modula pri različitim temperaturama[8]

Kako bi se izbjegla dodatna smanjenja performansi modula, potrebno je držati njihovu temperaturu pod kontrolom osiguravajući dobru ventilaciju. Na taj način moguće je smanjiti gubitak proizvedene električne energije uslijed zagrijavanja.

Uzimajući u obzir područje na kojem se postavljaju moduli, dio njih (jedna ili više ćelija) može biti zasjenjena drvećem, lišćem koje opada sa grana, dimnjacijama, oblacima ili susjednim modulima. U tom slučaju ćelija prestaje s proizvodnjom električne energije i postaje pasivni teret, odnosno ponaša se kao dioda koja blokira struju proizvedenu od strane ostalih ćelija spojenih u seriju s njom i na taj način ugrožava ukupnu proizvodnju modula. Kako bi se to riješilo ugrađuju se zaobilazne diode kojima se izbjegava zasjenjeni ili oštećeni dio modula. Time se osigurava funkcionalnost modula sa smanjenom učinkovitosti, ali u svakom slučaju bolje nego da takva dioda ne postoji. U teoriji bi se ona trebala postaviti paralelno sa svakom ćelijom pojedinog modula, ali u praksi se ugrožava omjer cijene i onoga što za istu dobijemo, tj. benefita. Zbog toga se obično ugrađuju dvije do četiri zaobilazne diode po modulu (slika 2.19.).



Sl.2.19. Zaobilazna dioda u krugu modula [8]

### 3. METODE MONTIRANJA I KONFIGURACIJE

#### 3.1. Arhitektonska integracija

Posljednjih godina vidljiv je značajan napredak što se tiče integracije samih modula u arhitekturu postojećih građevina, velikim dijelom zahvaljujući samim modulima koji prema dimenzijama i svojim karakteristikama mogu u potpunosti zamijeniti određene elemente arhitekture. Mogu se definirati 3 glavne topologije fotonaponskih sustava ovisno o integraciji u arhitekturu zgrade, a to su:

1. Ne-integrirane elektrane
2. Djelomično integrirane elektrane
3. Integrirane elektrane

Pod ne integrirane elektrane spadaju one čiji se moduli postavljaju na podu, elementima uličnog namještaja, na vanjskim površinama ovojnica zgrada, na zgradama i ostalim strukturama s

raličitim funkcijama, a na način koji se razlikuje od onog kod tipova 2. i 3. Na slici 3.1. prikazan je jedan primjer neintegrirane sunčane elektrane.



**Sl.3.1.** *Sunčana elektrana BT Solar 1 [12]*

Djelomično integrirane elektrane (slika 3.2.) kod kojih su moduli smješteni na elementima uličnog namještaja, vanjskim površinama ovojnica zgrada, na zgrade i strukture bilo koje funkcije, ali bez zamjene građevinskog materijala konstrukcija. Moduli se postavljaju tako da budu ili u istoj ravnini kao i ravnina krova ili odignute do neke ograničene visine, za razliku od ne-integriranih gdje moduli ne moraju biti u ravnini sa površinom na koju se postavljaju.



**Sl.3.2.** *Primjer djelomično integrirane sunčane elektrane na krovu obiteljske kuće[13]*

Kod elektrana koje su integrane u arhitekturu zgrade moduli zamjenjuju, u potpunosti ili djelomično, elemente tih zgrada poput obloga, okomitih neprozirnih površina, prozirne ili poluprozirne površine obloga, površine koje se mogu otvarati i slično (vrata, prozori, čak i ako se ne mogu otvarati, poput nekakvih okvira). Iz tog razloga paneli su dizajnirani i proizvedeni na način da osim funkcije proizvodnje električne energije imaju i funkcije kao dio konstrukcije, poput zaštite, regulacije topline unutar zgrade (moduli moraju osigurati energetske potrebe zgrade i imati svojstva prijenosa topline usporediva sa elementom konstrukcije kojeg zamjenjuju), vodootpornost i zaštita strukture ispod panela od vode te mehanička svojstva slična elementu kojeg zamjenjuju. Na slici 3.3. prikazana je montaža integrirane sunčane elektrane čiji paneli u potpunosti zamjenjuju crijep koji se inače koristi za pokrivanje krova.



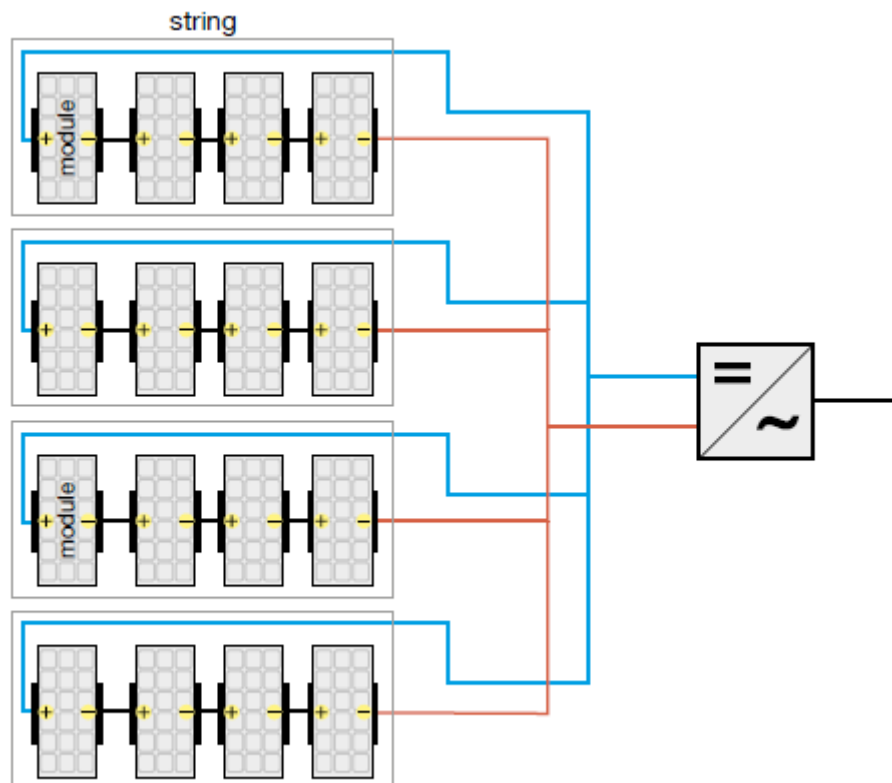
**Sl.3.3.** *Montaža integrirane sunčane elektrane na krovu*[14]

### **3.2. Vrste izvedbe**

Postoji više načina na koji se mogu stringovi ili nizovi fotonaponskih panela povezati u polje fotonaponskih panela koje onda čini fotonaponsku elektranu. Moguće je koristiti samo jedan izmjenjivač za cijelo fotonaponsko polje (slika 3.4.), jedan izmjenjivač za svaki string (slika 3.5.) ili jedan izmjenjivač za više stringova (slika 3.6.).

### 3.2.1. Fotonaponski sustavi s jednim izmjenjivačem

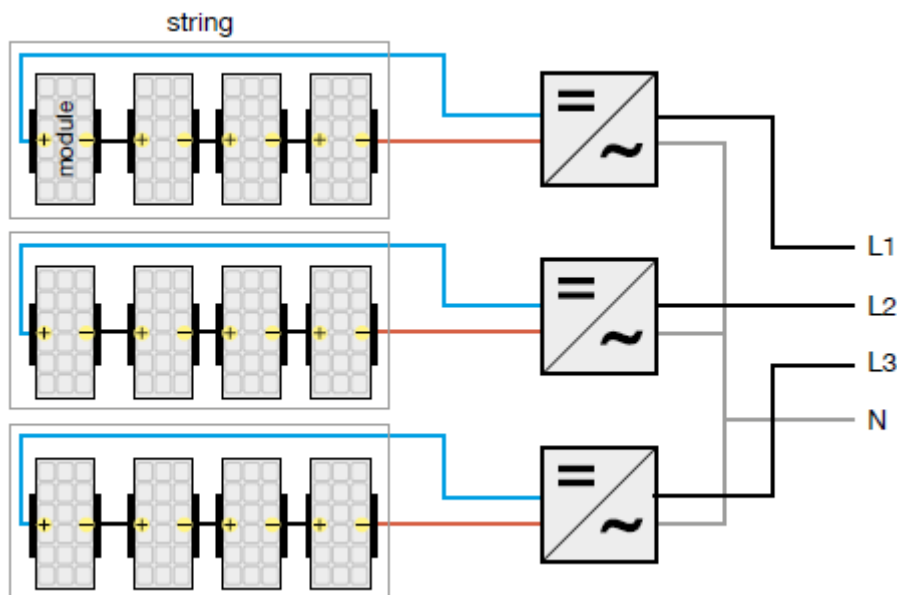
Ovakav raspored koristi se kod manjih elektrana sa modulima istog tipa koji su jednako izloženi sunčevom zračenju. Postoje ekonomske prednosti kada se koristi samo jedan izmjenjivač u pogledu na smanjenje početnih investicijskih troškova i troškova održavanja. Međutim, kvar izmjenjivača u takvoj elektrani uzrokuje prekid rada te elektrane u cijelosti. Također nije pogodna opcija u slučaju da se postojeća elektrana odluči povećati (a time i nazivna snaga) budući da se tu javljaju problemi sa zaštitom od prevelike struje kao i problemi uslijed zasjenjenja zbog kojega nisu svi paneli elektrane jednako izloženi sunčevom zračenju. Izmjenjivač mijenja svoj način rada ovisno o točki maksimalne snage ili MPPT, uzimajući u obzir prosječne vrijednosti parametara stringova koji su na njega spojeni. Obzirom na to, ako su svi stringovi spojeni na isti izmjenjivač, zasjenjenje ili kvar jednog stringa ili njegovog dijela za posljedicu ima značajno smanjenje performansi elektrane, za razliku od drugih rasporeda gdje to nije slučaj.



Sl.3.4. Polje fotonaponskih modula sa jednim izmjenjivačem [8]

### 3.2.2. Fotonaponski sustav sa izmjenjivačem za svaki string

Kod srednje velikih elektrana, svaki string fotonaponskih panela može biti izravno spojen na vlastiti izmjenjivač i na taj se način osigurava da on radi u svojoj točki maksimalne snage. Izmjenjivači ovakvih sustava uglavnom već u sebi sadrže blokirajuću diodu koja sprječava reverzni tok struje, vrši analizu proizvodnje i također služi kao zaštita u slučaju prevelikih struja i napona uslijed nekih atmosferskih utjecaja na istosmjernoj strani. Osim toga jednostavnije je i povezivanje samo jednog stringa sa izmjenjivačem, a i smanjen je utjecaj zasjenjenja modula ili nejednake izloženosti sunčevom zračenju na smanjenje performansi cijele elektrane. Dodatna prednost je i ta što je moguće korištenje različitih tipova modula čime se povećava učinkovitost i pouzdanost elektrane.



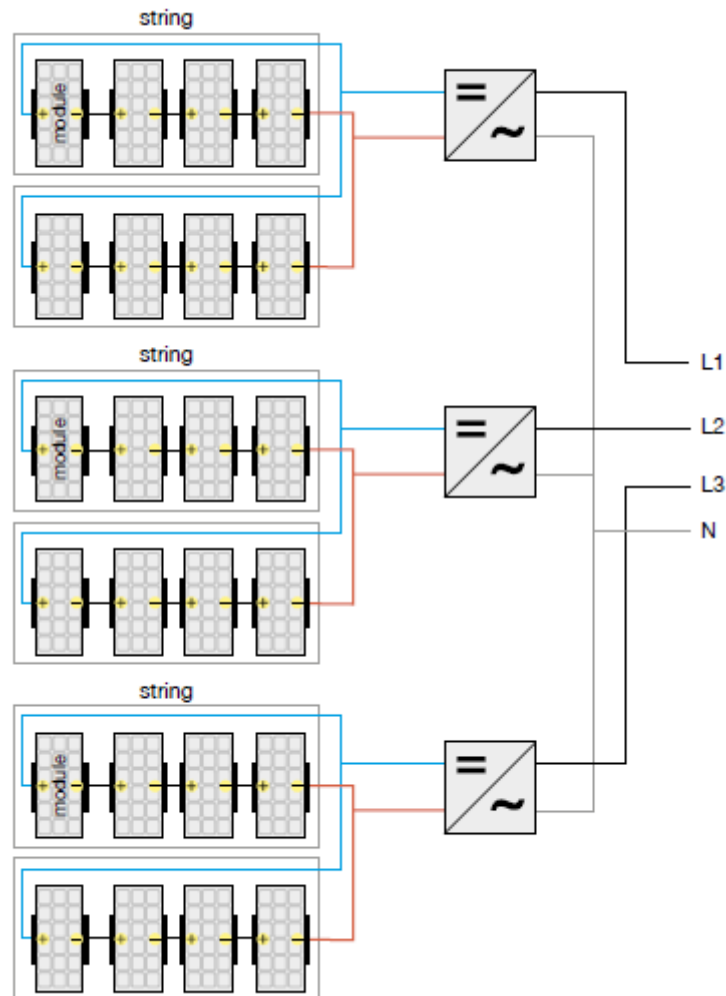
SI.3.5. Polje fotonaponskih modula sa jednim izmjenjivačem za svaki string [8]

### 3.2.3. Fotoponski sustav sa jednim izmjenjivačem za više stringova

Kod elektrana velike snage tipična je podjela elektrane na podpolja gdje svako od njih posjeduje svoj zasebni izmjenjivač na koji se spaja više paralelnih stringova unutar toga polja. U usporedbi sa prethodnim načinom izvedbe ovdje je moguće smanjenje troškova investicije budući da nije potreban izmjenjivač za svaki string pojedinačno, nego za svako polje stringova, a to podrazumijeva i manje troškove održavanja. I kod ove izvedbe je smanjen utjecaj zasjenjenja i različite izloženosti stringova sunčevom zračenju na proizvodnju elektrane (u odnosu na sustav s jednim izmjenjivačem) i zadržana je prednost mogućnosti korištenja različitih tipova modula u različitim podpoljima. U slučaju kvara jednog izmjenjivača ne dolazi do prekida proizvodnje cijele



elektrane, kao u slučaju s jednim izmjenjivačem, nego samo toga podpolja. Preporučljivo je da se ostavi mogućnost odvajanja svakog stringa pojedinačno kako uslijed održavanja i sličnih stvari ne bi bilo potrebe za prekidom rada tog podpolja. U tom slučaju paralelnog upravljanja na istosmjernoj strani nužno je osigurati zaštitu od nadstruje i reverznih struja kako bi se izbjeglo napajanje zasjenjenih ili oštećenih stringova od ostalih u paraleli. Kod ove konfiguracije dijagnozu proizvodnje elektrane vrši sustav nadzora koji provjerava proizvodnju stringova.



**Sl.3.6.** Polje fotonaponskih modula sa jednim izmjenjivačem za svako podpolje [8]

### 3.3. Postupak dimenzioniranja i proračuni

#### 3.3.1. Određivanje snage elektrane, fotonaponskih modula i izmjenjivača

Prilikom određivanja snage elektrane potrebno je poznavati potrošnju električne energije za odgovarajuće obračunsko mjerno mjesto, vrstu priključka, odobrenu priključnu snagu i površinu krova na koju će se postavljati moduli.

Prema Zakonu o tržištu električne energije (NN 111/2021) za energetske zajednice građana, ukupna snaga priključenja u smjeru predaje u mrežu ne smije biti veća od 80% ukupne priključne snage u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže na tom obračunskom mjernom mjestu.[20]

Poznavajući lokaciju, nagib i orijentaciju na koju se postavljaju moduli moguće je pomoću PVGIS sustava dobiti podatke o prosječnoj godišnjoj ozračenosti te okvirni izračun električne energije koju ta elektrana može proizvesti u razdoblju od godinu dana. Modul odabiremo na način da ostvarimo željenu snagu elektrane na površini koja nam je dostupna za izgradnju elektrane.

Za ispravno dimenzioniranje i odabir izmjenjivača potrebno je uzeti više faktora u obzir, a možemo ih podijeliti na one koji se odnose na:

- DC stranu: nazivna i maksimalna snaga, nazivni i maksimalni dozvoljeni napon, raspon napona u točki maksimalne snage pri standardnim uvjetima rada
- AC stranu: nazivna i maksimalna snaga koju može isporučiti, kao i raspon temperatura unutar kojeg se ta snaga može proizvesti; nazivna struja; najveće dozvoljeno odstupanje napona i faktora snage; učinkovitost pri djelomičnom opterećenju i pri 100% opterećenja

Prije svega potrebno je utvrditi da napon praznog hoda na kraju stringa ( $U_{ph,max,string}$ ), pri najnižoj očekivanoj temperaturi, bude manji od maksimalno dozvoljenog napona na ulazu u izmjenjivač ( $U_{max,inverter}$ ), odnosno treba biti ispunjen uvjet (3-1):

$$U_{ph,max,string} \leq U_{max,inverter} \quad (3-1)$$

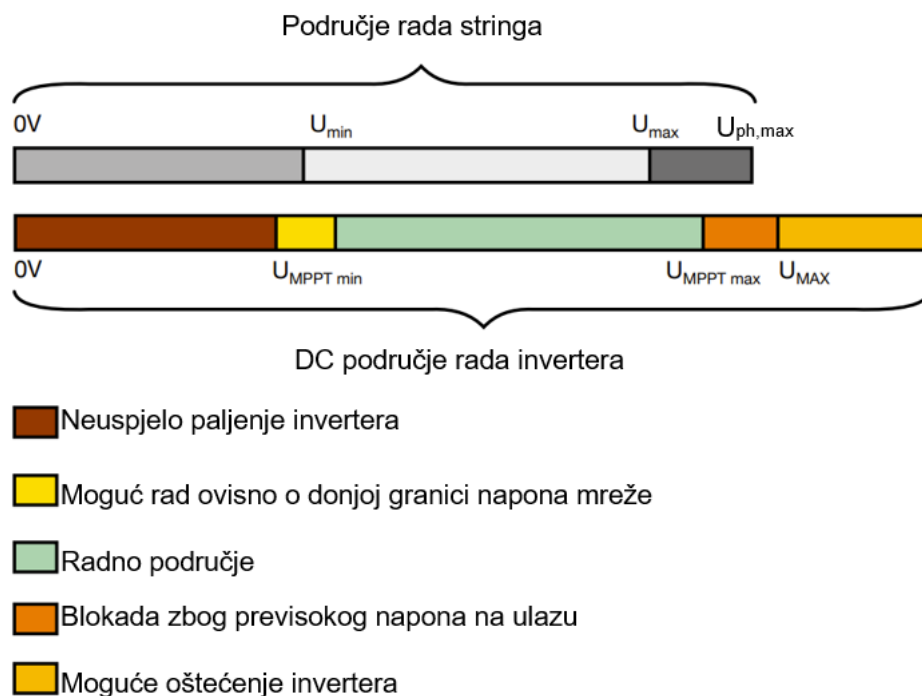
Svaki izmjenjivač karakterizira određeni raspon napona na njegovom ulazu pri normalnim pogonskim uvjetima. Budući da je napon na izlazu fotonaponskih modula funkcija temperature, nužno je utvrditi da uslijed predvidivih uvjeta izmjenjivač radi u području koje je definirao proizvođač. Iz tog razloga mora biti zadovoljen uvjet (3-2) koji osigurava da napon stringa pri standardnoj ozračenosti i maksimalnoj temperaturi rada očekivanoj za fotonaponske module na tom području ( $U_{min}$ ) mora biti veći od minimalnog napona potrebnog za rad sustava za praćenje točke maksimalne snage ( $U_{MPPT,min}$ ) unutar izmjenjivača:

$$U_{min} \geq U_{MPPT,min} \quad (3-2)$$

Uvjet (3-3) osigurava da napon stringa pri standardnoj ozračenosti i minimalnoj temperaturi rada očekivanoj za fotonaponske module na tom području ( $U_{max}$ ) mora biti manji od maksimalno dozvoljenog napona sustava za praćenje točke maksimalne snage ( $U_{MPPT,max}$ ) unutar izmjenjivača.

$$U_{max} \leq U_{MPPT,max} \quad (3-3)$$

Na idućoj slici grafički su prikazani uvjeti koji se trebaju ostvariti za povezivanje fotonaponskog stringa/polja i izmjenjivača. Osim toga, nužno je osigurati da je maksimalna struja pri radu u točki maksimalne snage manja od maksimalne struje koju izmjenjivač može primiti na ulazu.



### Sl.3.7. Raspon nazivnih napona izmjenjivača i fotonaponskog polja[8]

Maksimalan broj modula koji se mogu spojiti u seriju i na izmjenjivač ( $N_{max,modul}$ ) određuje se prema pretpostavki da napon stringa mora biti ispod maksimalnog ulaznog napona izmjenjivača ( $U_{max,inverter}$ ). U slučaju da se ta vrijednost premaši, može doći do oštećenja izmjenjivača uslijed prenapona. Ovaj uvjet se može iskazati formulom (3-4):

$$N_{max,modul} \leq \frac{U_{max,inverter}}{U_{ph,max,modul}} \quad (3-4)$$

Ukoliko napon stringa padne ispod minimalnog napona sustava za praćenje točke maksimalne snage ( $U_{MPPT,min}$ ), taj sustav ili neće raditi ili će raditi s gubitcima, stoga se određuje i minimalni broj modula po stringu ( $N_{min,modul}$ ) prema formuli (3-5) kako bi njegov napon uvijek bio iznad te granice:

$$N_{min,modul} \leq \frac{U_{MPPT,min}}{U_{MPP,min,modul}} \quad (3-5)$$

Kod izmjenjivača sa više MPPT-ova broj paralelno spojenih stringova koji se mogu spojiti na jedan ulaz izmjenjivača ( $N_{max,string}$ ) definira se prema (3-6) u odnosu na maksimalnu struju kratkog spoja stringa ( $I_{KS,string}$ ) koja uvijek mora biti manja od ulazne struje jednog istosmjernog ulaza izmjenjivača ( $I_{max,ulaz}$ ):

$$N_{max,string} \leq \frac{I_{max,ulaz}}{I_{KS,string}} \quad (3-6)$$

Kada se moduli spajaju serijski struja stringa odgovara struji modula, odnosno maksimalna struja kratkog spoja stringa jednaka je maksimalnoj struji kratkog spoja modula ( $I_{KS,modul}$ ) prema (3-7):

$$I_{KS,string} = I_{KS,modul} \quad (3-7)$$

### 3.3.2. Odabir kabela

Kabeli koji se koriste kod fotonaponske elektrane trebaju, tokom cijelog vijeka trajanja iste, izdržati različite uvjete okoline u pogledu visokih temperatura, atmosferskih oborina i ultraljubičastih zračenja.

Prije svega nazivni napon kabela treba odgovarati naponu elektrane. Na istosmjernoj strani napon elektrane ne bi trebao premašiti 50% nazivnog napona kabela u odnosu na izmjeničnu stranu gdje napon ne smije prelaziti nazivni napon kabela.

Kabeli na istosmjernoj strani elektrane trebali bi imati dvostruku ili pojačanu izolaciju kako bi se minimizirao rizik od zemljospoja i kratkih spojeva (IEC 60364-712). [8]

Panely se spajaju međusobno kabelima koji se nalaze ispod samih panela gdje temperature dosežu i do 80°C. Iz tog razloga kada budu namontirani oni moraju biti u mogućnosti podnijeti te visoke temperature i ultraljubičasto zračenje. Koriste se posebni kabeli, uglavnom jednožilni sa gumenom oblogom i izolacijom, nazivnog napona 0,6/1kV, sa maksimalnom temperaturom rada koja nije niža od 90°C i sa visokom otpornošću na UV zračenje.

Kabeli koji se nalaze na strani tereta (ili nakon prve izmjenjivačke kutije u kojoj se spaja više stringova) su izloženi temperaturama uglavnom ne većim od 40°C budući da se nalaze daleko od modula. Oni nisu otporni na UV zračenje i ako se postavljaju izvana moraju biti zaštićeni od sunčevog zračenja, a to se najčešće postiže upotrebom kanalicama ili drugih obloga za vanjsku upotrebu. Ovo također vrijedi i za kabele koji se koriste na izmjeničnoj strani, odnosno iza izmjenjivača.

### 3.3.3. Proračun prilika na DC razvodu

Ovaj proračun sastoji se od proračuna DC kabela na ulaznoj strani izmjenjivača i proračuna gubitaka na DC strani elektrane. Za proračun je potrebno koristiti koeficijent napona  $\beta$  koji se očitava iz tehničkih specifikacija modula, a dobivene vrijednosti moraju zadovoljavati uvjete iz prethodnih poglavlja.

Maksimalni DC napon na ulazu u izmjenjivač pojavljuje se kada se moduli nalaze u otvorenom krugu, a temperatura ćelija je niska. Ovdje se koristi broj modula u najvećem stringu, a računa se prema formuli:

$$U_{ph,max,string} = N_{modula} \cdot U_{ph,modul} \cdot (1 + \Delta T \cdot \beta) \quad (3-8)$$

$$\Delta T = T_{min} - T_{STC} \quad (3-9)$$

Minimalni DC napon na ulazu u izmjenjivač javlja se kada se moduli nalaze u točki maksimalne snage i temperatura ćelija je visoka, računa se za string s najmanjim brojem modula, pa se koristi formula ispod:

$$U_{min} = N_{modula} \cdot U_{MPP,modul} \cdot (1 + \Delta T \cdot \beta) \quad (3-10)$$

$$\Delta T = T_{max} - T_{STC} \quad (3-11)$$

Dimenzioniranje kabela se određuje prema naponskoj klasi kabela, maksimalnom opterećenju kabela i minimiziranju gubitaka u kabelima koji su određeni propisima. Većinom se kod fotonaponskih sustava primjenjuje PV1-F kabel čija je naponska klasa 1800V pa maksimalni napon stringa mora biti manji od tog iznosa. Kabel dimenzioniramo prema maksimalnoj struji stringa ili se koriste osigurači koji će zaštititi kabel u slučaju preopterećenja. Prema normi kabeli stringa (nazivna struja označava se sa  $I_z$  moraju podnositi struju koja je 1,25 puta veća od struje kratkog spoja fotonaponskog modula:

$$I_z \geq I_{KS,string} \cdot 1.25 \quad (3-12)$$

Polazu se tako da su osigurani od zemljospoja i kratkoga spoja, a presjek vodiča također mora udovoljiti i propis koji ograničava gubitak energije kroz sve DC kabele na najviše 1% pri standardnim testnim uvjetima.

Gubici snage u kabelima istosmjernog razvoda za odabrani presjek kabela računa se kao:

$$P_{DC} = \frac{n \cdot L_{kabela} \cdot P_{modula}^2}{A_{kabela} \cdot U_{mpp}^2 \cdot \kappa} \quad (3-13)$$

Ovdje su  $n$  dopušteni gubici u postocima,  $A$  presjek odabranog vodiča i  $\kappa$  specifična vodljivost kabela ( za bakar  $\kappa = 56 \text{ Sm/mm}^2$ ). U postocima snage stringa formula glasi ovako:

$$P_{\%} = \frac{P_{DC}}{n_{modula} \cdot P_{modula}} \cdot 100 \quad (3-14)$$

### 3.3.4. Proračun prilika na AC razvodu

Proračun prilika na AC razvodu odnosi se na odabir AC kabela od izmjenjivača do priključne točke na razdjelnicu, pri čemu je tom dijelu najveće naponsko nadvišenje iznosi 3% za strujne krugove rasvjete, odnosno 5% za sve ostale strujne krugove ako se električna instalacija napaja iz niskonaponske mreže. Ukupno naponsko nadvišenje izmjenjivača u odnosu na napon mreže računa se kao:

$$u_{\%} = \frac{L \cdot P_{AC,inv}}{U_n^2 \cdot A_{kabela} \cdot \kappa} \quad (3-15)$$

Da bi se odabrao osigurač koji zadovoljava, potrebno je izračunati struju prijenosa koja se računa prema sljedećoj formuli, i provjerava se da li ispunjava uvjet (3-17) u odnosu na nazivnu struju osigurača  $I_o$  i nazivnu struju voda  $I_d$  :

$$I_n = \frac{P_{AC,inv}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\theta} \quad (3-16)$$

$$I_n < I_o < I_d \quad (3-17)$$

Gubitci nastali u AC kabelima računaju se prema formuli:

$$P_{ACKabel} = \frac{3 \cdot L_{kabel} \cdot I_n^2}{A_{kabel} \cdot \kappa} \quad (3-18)$$

Na kraju se izračunavaju ukupni gubici elektrane koji se jednaki sumi gubitaka u DC i AC kabelskom razvodu, te gubitaka u izmjenjivačima. Prema sličnom pricipu se računa i učinkovitost elektrane kada pomnožimo učinkovitosti modula, izmjenjivača, DC i AC razvoda.

### 3.3.5. Očekivana godišnja proizvodnja električne energije

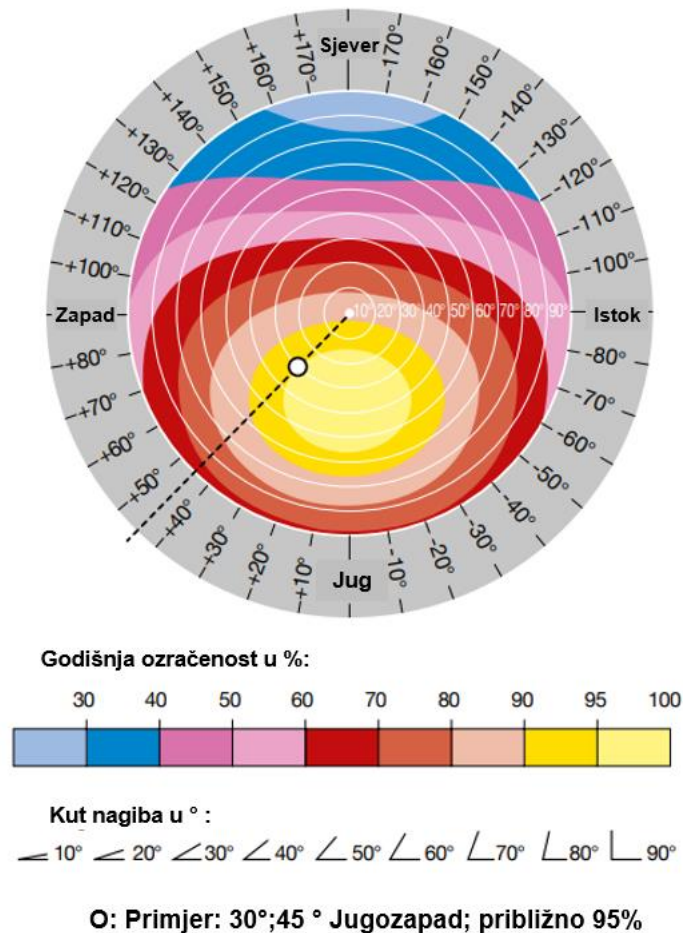
Gledajući sa strane proizvedene električne energije, fotonaponsku elektranu projektiramo na način da tokom godine iskoristi najveći mogući iznos sunčevog zračenja. Kod nekih slučajeva, kao što su otočni sustavi, moguće je projektiranje na način da se optimizira proizvodnja samo tokom određenih perioda. Kako god, električna energija koju elektrana može proizvesti u godini ovisi o:

- Količini sunčevog zračenja
- Orijentaciji i nagibu modula
- Učinkovitosti modula

Budući da se sunčevo zračenje mijenja tokom vremena, a kako bi se odredila očekivana proizvodnja električne energije, potrebno je koristiti dostupne podatke o ozračenosti za područje u kojemu se gradi elektrana.

Kada se moduli instaliraju na krovove zgrada, izloženost je definirana nagibom i orijentacijom površine krova. Dobri rezultati se ostvaruju kada se moduli orijentiraju na jugo-istok ili jugo-zapad

sa nagibom prema sjeveru do 45 stupnjeva, što je i prikazano na slici 3.8. Ovisno u nagibu i orijentaciji modula određuju se korektivni koeficijenti s kojima se množi očekivana godišnja proizvodnja električne energije, idealno bi bilo kada bi taj koeficijent iznosio 1 ili više kako bi maksimalno iskoristili sunčevo zračenje.



**SI.3.8.** Dijagram za određivanje idealnog nagiba i orijentacije panela [8]

Procjenu godišnje proizvodnje moguće je izvršiti u nekom od dostupnih računalnih programa poput PV\*SOL-a gdje se na osnovu lokacije (zemljopisne širine, dužine i nadmorske visine) može dobiti prosječna dnevna ozračenost vodoravne plohe i srednja mjesečna temperatura zraka. Naravno da stvarna proizvodnja nije ista jer ovisi o stvarnim meteorološkim uvjetima i načinu održavanja elektrane.

### 3.3.6. Ekološki utjecaj elektrane

Budući da fotonaponska elektrane u svom radu ne emitira štetne tvari u okoliš, može se reći da sva energija koju ona proizvede zamjenjuje energiju iz konvencionalnih izvora energije koji imaju štetne emisije u okoliš. Postoje dvije različite metodologije, jedna od strane europske unije, a druga



od fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti, koje definiraju specifične referentne vrijednosti ispuštanja različitih tvari u okoliš. Proizvedena energija fotonaponske elektrane se množi s tim vrijednostima prikazanim u tablici 3.1. kako bi se prikazalo smanjenje emisija.

**Tablica 3.1.** Metodologije izračuna ušteda štetnih emisija u okoliš

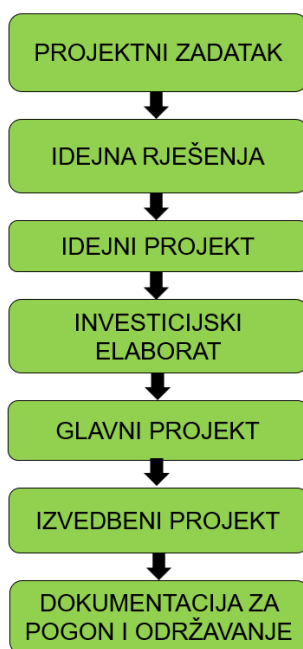
Parametar – ekološki utjecaj solarne elektrane	EU metodologija	Metodologija FZOEU
	Specifična vrijednost	
Godišnje smanjenje CO <sub>2</sub>	886 g/kWh	376 g/kWh
Godišnje smanjenje NO <sub>x</sub>	392 mg/kWh	640 mg/kWh
Godišnje smanjenje SO <sub>2</sub>	435 mg/kWh	1070 mg/kWh
Godišnje smanjenje čestica	55 mg/kWh	-

## 4. RAZVOJ PROJEKTA SOLARNE ELEKTRANE

Ovo poglavlje pruža pregled razvoja projekta od same ideje do puštanja u pogon.

### 4.1. Etape razvoja projekta

Projektiranje je važan postupak koji je potrebno odraditi prije same izrade fotonaponske elektrane, ali općenito nekog objekta. Da bi se od neke ideje došlo do realizacije projekta potrebno je proći niz koraka koji su prikazani na slici ispod.



**Sl.4.1.** Faze razvoja projekta

Projektni zadatak je osnovni dio projekta koji prikazuje potrebe i mogućnosti investitora. Ovdje sudjeluju stručnjaci raznih profila jer je to interdisciplinarna kategorija. Navodi se objekt na kojem se planira graditi, u ovom slučaju fotonaponska elektrana, namjena postrojenja i tehnički opis. Također se uzima u obzir da li se on uklapa u urbanistički plan mjesta, mogućnost priključenja na NN mrežu i slično.

Kod idejnog rješenja već je potrebno napraviti neke grube izračune troškova i odabir opreme kako bi se tehnički moglo izvesti projektirano postrojenje. Ovdje naravno postoji više mogućnosti pa se prema odnosu cijene i kvalitete odabire rješenje koja najviše odgovara investitoru (tehnički i ekonomski). Na osnovu toga se provode daljnje analize.

U idejnom projektu se odabrano rješenje iz prethodnog koraka dodatno razrađuje kako bi se mogao iskoristiti za izradu investicijskog elaborata i kao podloga za glavni projekt. On već sadrži potrebne nacрте, tehnički opis, izvadak iz zemljišne knjige, dokaze o vlasništvu, pokazatelje o ispravnosti tehničkog rješenja, dokaz o mogućnosti priključenja na mrežu, lokacije spajanja elektrane na mrežu, izvadak o mjesečnoj potrošnji i ostalo.

Investicijski elaborat ima sve stavke kao i idejni projekt, ali dodatno je razrađena ekonomska analiza kako bi se jasno prikazala potrebna sredstva za izvedbu investicije. Na temelju njega moguće je izraditi ponudu koja mora sadržavati tehnički opis i karakteristike potrebne opreme, specifikaciju potrebnih radova i nacрте.

Glavni projekt sadrži sve prethodno s dodatkom nacрта poput jednopolnih shema, preglednih nacрта, bloh sheme sustava, elaborate (zaštite na radu, zaštite od požara, osiguranja kvalitete). Ukoliko je odabran isporučitelj opreme onda govorimo o glavnom izvedbenom projektu i tu su točno definirani načini montiranja, smještaj opreme, duljine kabela, način spajanja modula, tip i vrsta opreme i slično. Dokumentacija za izvođenje je također dio ovog projekta i ona je važna izvođaču radova jer prikazuje strujne sheme, plan priključka, listu kabela, nacрте kabelskih puteva kao i pregledne nacрте spojnih ormara.

Dokumentacija za pogon i održavanje dolazi na kraju i definira upravljanje i održavanje projektiranog postrojenja.

Izvedeno stanje može se donekle razlikovati od glavnog projekta stoga se te razlike nastale tijekom proizvodnje i izgradnje unose kod dokumentacije izvedenog stanja i ona se tako predaje investitoru, a također ju zadržava i izvođač radova.

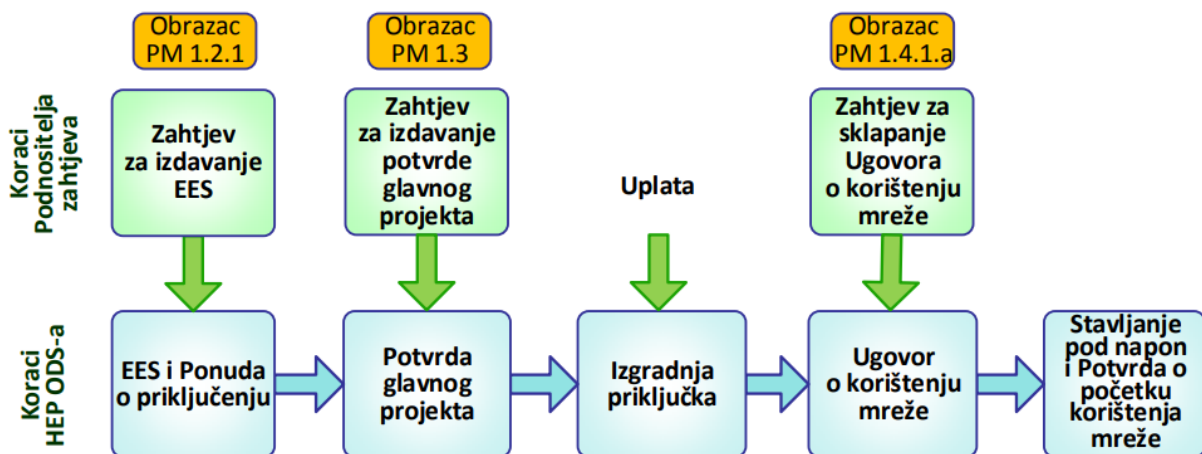
## 4.2. Postupak jednostavnog priključka

Jednostavno priključenje definira se kao priključenje jednostavnim priključkom na NN mrežu (nije potrebno stvaranje tehničkih uvjeta u mreži). Osnovni koraci kod takvog priključenja prikazani su na slici 4.2. i sastoje se od:

- Izdavanja i dostave elektroenergetske suglasnosti s ponudom o priključenju
- Izgradnje priključka, opremanja mjernog mjesta, stavljanja priključka i obračunskog mjernog mjesta pod napon te izdavanja potvrde o početku korištenja mreže za pojedino obračunsko mjerno mjesto

Dodatni koraci su:

- Izdavanje potvrde glavnog projekta
- Pokusni rad i izdavanje potvrde za trajni pogon (ako je u elektroenergetskoj suglasnosti uvjetovan pokusni rad)



SI.4.2. Tijek postupka jednostavnog priključenja bez uvjetovanog pokusnog rada [1]

Dakle ovaj postupak započinje tako da se podnese zahtjev za izdavanje elektroenergetske suglasnosti sa podacima podnositelja zahtjeva i projektanta. Potrebno je navesti svrhu podnošenja zahtjeva (npr. priključenje na instalaciju postojećeg kupca), lokaciju građevine, smještaj modula, podatke o izmjenjivaču, traženu priključnu snagu, planiranu godišnju proizvodnju/potrošnju, namjenu zgrade, vrstu priključka i ostalo.[1]

Prilozi koje je ovdje potrebno dostaviti su:

- Punomoć ako zahtjev ne podnosi investitor nego opunomoćenik

- Tehnički opis građevine
- Izvod iz katastra
- Dokaz vlasništva
- Dokaz o legalnosti građevine i vlasništvu

Ukoliko se utvrdi da je elektranu moguće priključiti jednostavnim priključkom projektantu se izdaje EES zajedno sa ponudom o priključenju. Nakon dobivanja elektroenergetske suglasnosti podnosi se zahtjev za izdavanje potvrde glavnog projekta i ako je on u skladu sa uvjetima iz EES moguće je dobiti potvrdu nakon koje slijedi uplata i izgradnja priključka. Međutim prije priključenja potrebno je sklopiti Ugovor o korištenju mreže koji sadrži podatke za početak korištenja mreže. Nakon što je postrojenje pušteno u pogon, korisnik mreže dobiva potvrdu o početku korištenja mreže s početnim stanjem brojila. Ako je u elektroenergetskoj suglasnosti uvjetovan pokusni rad, on se provodi uz nadzor osobe koja predstavlja operatora distribucijskog sustava. Cilj tog pokusnog rada je ispitati sposobnost postrojenja i instalacije korisnika mreže za paralelni pogon s mrežom i ako je on uspješan korisnik mreže dobiva potvrdu za trajni pogon sa datumom početka pokusnog rada i početka trajnog pogona. [1]

Projektant također treba zatražiti izdavanje posebnih uvjeta i uvjeta priključenja u svrhu izrade projekta fotonaponske elektrane koja se priključuje na mrežu, a to se radi preko sustava eDozvola. Te uvjete određuje operetor distribucijskog sustava i oni su također navedeni u EES.

Dodatno ako se radi o priključenju jednostavne građevine potrebna je izjava projektanta da projektirano postrojenje spada pod tu grupu prema važećim propisima.

### **4.3. Sadržaj glavnog projekta**

Kako bi se integrirana solarna elektrana mogla spojiti na elektroenergetsku mrežu potrebno je dobiti odobrenje od hrvatskog operatora distribucijskog sustava. U tu svrhu se pristupa izradi glavnog elektrotehničkog projekta solarne elektrane u kojemu je točno određena veličina sustava koji odgovara potrebama investitora, a osim toga sadrži i ostale tehničke specifikacije solarne elektrane, izračuni smanjenja utjecaja na okoliš, bilancu energije elektrane, proračun energetske ušteda i ostalo.

#### **4.3.1. Dokumentacija**

Prije same izrade glavnog projekta potrebno je prikupiti cjelokupnu dokumentaciju koja se sastoji od:

- Zadnjeg vežećeg dokaza o zakonitosti objekta
- Dokaza vlasništva/suvlasništva (izvadak iz zemljišne knjige)
- Potrošnja u objektu za proteklih 12 mjeseci (u kWh)
- 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)
- Potvrda o istovjetnosti katastarskih čestica (ako se podaci iz zemljišne knjige i katastra o katastarskoj čestici ne slažu samo po broju katastarske čestice)
- Potvrda konzervatora (npr. u slučaju da se objekt nalazi u kulturno-povijesnoj cjelini koja je zaštićeno kulturno dobro) [15]

Da bi se solarna elektrana koju želimo izgraditi na objektu mogla spojiti na elektroenergetsku mrežu, objekt treba posjedovati važeći dokaz zakonitosti, odnosno treba biti izgrađen temeljem građevinske dozvole ili drugog odgovarajućeg akta sukladno Zakonu o gradnji („Narodne novine“ broj 153/13, 20/17, 39/19, 125/19). Kao zadnji važeći dokaz zakonitosti moguće je ishoditi: akt za građenje (građevinska dozvola, potvrda glavnog projekta itd.), akt za uporabu (uporabna dozvola, potvrda upravnog tijela da mu je dostavljeno završno izvješće nadzornog inženjera...), akt za legalizaciju (rješenje ili potvrda izvedenog stanja) i akt ili dokument kojim se nezakonito izgrađena građevina izjednačava sa zakonito izgrađenom zgradom (potrebno je uvjerenje katastarskog ureda da je zgrada izgrađena do 15. veljače 1968. godine). [15]

#### **4.3.2. Uvodni dio**

U prvom dijelu izrade projekta potrebno je napraviti opći dio koji uključuje naslovnu stranu i sadržaj. Naslovnica treba sadržavati osnovne informacije kao što su:

- Naziv projektantskog ureda,
- Naziv investitora
- Naziv građevine
- Vrsta projekta – glavni
- Broj projekta i datum izrade
- Ime projektanta i odgovorne osobe

Nakon toga slijedi postavljanje potrebnih izjava i rješenja, a to su:

- Izjava o usklađenosti glavnog projekta s prostornim planom i ostalim propisima (zakoni, pravilnici i propisi koji moraju biti zadovoljeni)
- Rješenje o upisu poduzeća u sudski registar (priložiti ovjerenu kopiju)
- Rješenje o imenovanju projektanta
- Rješenje o upisu projektanta u imenik ovlaštenih inženjera elektrotehnike Hrvatske Komore Inženjera elektrotehnike (priložiti ovjerenu kopiju)
- Rješenje o imenovanju odgovorne osobe
- Isprava o zaštiti od požara - njome se potvrđuje usklađenost sa Zakonom o zaštiti od požara (NN RH 92/10) i posebnim uvjetima građenja uobičajenim za ovu vrstu građevine
- Izjavu o tipu postrojenja

### **4.3.3. Projektni zadatak**

Kao početni dio rada na projektu, pored prethodno prikupljene dokumentacije, potrebno je jasno definirati projektni zadatak. On se definira prema postojećoj snimci objekta i zahtjevima investitora te tehnološkim zahtjevima opreme.

Dakle cilj bi bio izraditi projekt sunčane elektrane koji će sadržavati :

- Električno povezivanje solarnih panela, izmjenjivača i sustava zaštite tako da se omogući ispravno funkcioniranje elektrane
- Električnu instalaciju potrebnu za spajanje sunčane elektrane određene snage na glavni razvodni ormar potrošača uz definirano ograničenje snage u smjeru predaje u mrežu.

Potrebno je navesti također i lokaciju gradnje sunčane elektrane i priložiti sljedeće dokumente:

- izvadak iz katastarskog plana
- zemljišnoknjižni izvadak
- izjavu da je postrojenje jednostavna građevina prema zakonu o gradnji

Izvod iz katastarskog plana je isprava koju izdaje katastar, a prikazuje oblik i položaj katastarskih čestica. Na svakom izvatku mogu se vidjeti granice katastarske čestice, broj katastarske čestice i zgrade koje su evidentirane u katastru. Službena isprava također sadrži naziv i pečat katastarskog ureda koji ju izdaje, katastarsku općinu kojoj prikazane čestice pripadaju, broj detaljnog lista i mjerilo.[16]

Dokaz vlasništva ili suvlasništva (zemljknižni izvadak) sastavni je dio knjige u koju se upisuje zemljišnoknjižno tijelo i promjene na njemu, stvarna i druga knjižna prava. Sastoji se od

posjedovnice, vlastovnice i teretovnice. Posjedovnica sadrži sve objekte koji su dio te čestice, a u vlastovnicu se upisuje pravo vlasništva. Za potrebe ugradnje solarne elektrane ovaj dokument se može predati kao neslužbena kopija ne starija od 5 godina i broj katastarske čestice koji se ovdje nalazi treba biti i na svim ostalim dokumentima koji se prilažu. [15]

Prema zakonu o gradnji (članak 5., točka 12.) na postojećoj građevini koja je spojena na elektroenergetsku mrežu je moguće bez građevinske dozvole, u skladu s glavnim projektom, izraditi solarnu elektranu u svrhu proizvodnje električne energije s pripadajućim razdjelnim ormarom i sustavom priključenja na javnu mrežu za predaju energije istu. U tom slučaju prilaže se potpisana izjava da je postrojenje jednostavna građevina prema zakonu o gradnji. (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19). [18]

#### **4.3.4. Prikaz tehničkih mjera zaštite**

Ovaj dio projekta sadrži:

- Prikaz tehničkih rješenja za primjenu propisa i pravila zaštite na radu
- Prikaz tehničkih mjera za primjenu propisa i pravila zaštite od požara
- Program kontrole i osiguranja kvalitete

Dakle u ovom dijelu potrebno je navesti koja su tehnička rješenja primijenjena unutar projekta kako bi se zadovoljili sljedeći uvjeti:

- Vodovi i oprema koja se koristi moraju biti u granicama nazivnih vrijednosti u skladu sa HRN N.B2.752. – osiguranje od električnog udara pri radu
- Sprječavanje nastanka previsokog napona dodira na uređaju u kvaru i pojave razlike potencijala između tog uređaja i nekih drugih metalnih masa koje nisu dio tog uređaja
- Zaštita od slučajnog dodira dijelova pod naponom

Požar kod ovog tipa postrojenja može nastati uslijed preopterećenja vodiča, kabela, kratkih spojeva (kvar uređaja, proboj izolacije), iskrenja kod neispravne instalacije i slično. Stoga je potrebno provesti mjere kako bi se izvela zaštita od takvih opasnosti i one se navode u tom dijelu projekta.

Program kontrole i osiguranja kvalitete je sastavni dio projekta u kojemu se navodi što je sve potrebno utvrditi vezano za proizvode koji se koriste u projektu (nazivne karakteristike, podatke...), potreba nadzora radova, vođenja građevinskog dnevnika, način polaganja kabela. Također sadrži i popis potrebnih mjerenja i ispitivanja koja je potrebno provesti prije puštanja

elektrane u pogon, popis dokumentacije koju se izdaje investitoru kod predaje objekta i učestalost pregleda instalacije nakon puštanja u pogon.

#### **4.3.5. Tehnički opis**

Ovaj dio projekta uglavnom se sastoji od osnovnog dijela, dijela u kojem se navodi potreba za energijom i proizvodnja solarne elektrane te dio koji se odnosi posebno na proračun ušteda ukoliko projekt ide na prijedlog prema nekom od dostupnih natječaja za poticanje obnovljivih izvora energije.

U osnovnom ili općenitom dijelu navode se podatci poput:

- Instalirane snage solarnih panela kao i njihove podjele na podpolja i stringove
- Snaga i broj izmjenjivača i panela koji se koriste
- Mjesto spajanja instalacije elektrane sa mrežom
- Ograničenje snage elektrane u smjeru predaje u mrežu
- Način povezivanja panela i izmjenjivača kao i sadržaj spojnih elemenata u pogledu zaštite
- Mjesto montiranja spojnih ormara i sadržaj istih
- Opis tehnologije te podatci o strujama i naponima koji se dobiju proračunom
- Prednosti tehnologije, uglavnom vezano za okoliš

Kod potreba za energijom uglavnom se stavlja naglasak na potrošnju električne energije na objektu iz prijašnjih razdoblja (uvidom u energetska karticu) i njena usporedba sa predviđenom proizvodnjom projektirane elektrane. Osim toga navodi se način na koji se mjeri proizvedena energija, energija predana u mrežu i energija preuzeta iz mreže.

Proračun ušteda prije samih izračuna navodi koji su preduvjeti da bi se mogla koristiti mjera na koju se projekt prijavljuje zajedno sa opisom zgrade (postojećeg stanja) na koju se planira postaviti elektrana. Što se tiče ušteda i pokazatelja koje je potrebno prikazati i izračunati one su sljedeće:

- a) Količina isporučene električne energije na mjernom mjestu u ( kWh) prije provedbe mjere
- b) Količina dobivene električne energije (u kWh) iz sustava na obnovljive izvore energije nakon provedbe mjera – za ovo se može koristiti podatak dobiven iz računalnih programa
- c) Količina isporučene električne energije na mjernom mjestu u ( kWh) nakon provedbe mjere
- d) Iznos ukupno ostvarenih ušteda isporučene električne energije (apsolutno i relativno), a računa se kao:



$$\frac{\text{Godišnja proizvodnja FN elektrane}}{\text{Godišnja potrošnja objekta}} \cdot (100\%) \quad (4-1)$$

- e) Redukcija stakleničkih plinova izražena u tonama ugljičnog dioksida (tCO<sub>2</sub>) koja se računa po sljedećoj formuli, a koristeći emisijski faktor za električnu energiju iz tablice 4.1.

$$\text{Ukupno ostvarena ušteta} \cdot \text{emisijski faktor} \quad (4-2)$$

**Tablica.4.1. Faktori emisija po kWh [19]**

Gorivo/energija	Emisijski faktori [kgCO <sub>2</sub> /kWh]
Lignit	0,364
Mrki ugljen	0,364
Kameni ugljen	0,341
Teško loživo ulje	0,279
Srednje loživo ulje	
Ekstra lako loživo ulje	0,267
Lako loživo ulje	
Dizel	
Benzin	0,250
Ukapljeni naftni plin (UNP)	0,227
Prirodni plin	0,202
Stlačeni prirodni plin (SPP)	
Biomasa**	0
Električna energija	0,330
Toplinska energija	0,274

- f) Izračun opravdane snage fotonaponskih modula – ona može biti maksimalno 50% veća od odobrene priključne snage u smjeru predaju na mrežu ( $P_{PMR}$ )

$$P_{INST,DC} < P_{PMR} + 50\% \cdot P_{PMR} \quad (4-3)$$

- g) Provjera stupnja korisnosti fotonaponskih modula koji mora biti veći od minimalno propisanog natječajem

#### **4.3.6. Elektroenergetske instalacije**

Ovaj dio projekta opisuje kako su izvedene elektroenergetske instalacije, karakteristike panela i izmjenjivača, korake montaže, ispitivanja i puštanja u probni rad, potrebne postupke održavanja elektrane te njeno projektirano vrijeme uporabe, način izvedbe uzemljivača i gromobrana te ekološke učinke elektrane.

Priključak na mrežu i mjerenje uključuje sadržaj priključno mjernog ormarića (brojilo, sklopke, osigurači) prema elektroenergetskoj suglasnosti koju investitor mora pribaviti. Opisuje se i razvod kabela po panelima, konektori, kako se rade izvodi svake grupe panela, spoj sa izmjenjivačem i spoj izmjenjivača sa mrežom te način izvedbe.

Probni rad se predviđa nakon spajanja elektrane i ispitivanja, a njegovo trajanje ugovaraju investitor i HEP prema ugovoru o priključenju.

Kod opisa uzemljivača i gromobrana izvodi se i procjena rizika udara od munje prema postojećem stanju zgrade kako bi se odabrala razina sustava zaštite. Proračun tog rizika razlikuje se sa zgrade koje imaju postojeći sustav za zaštitu od munje ili LPS (eng. Lighting protection system) i za zgrade bez njega. Ukupan rizik zaštitne zone mora biti manji od vrijednosti prihvatljivog rizika od udara munje za promatranu građevinu kako ne bi bilo potrebe za ugrađivanjem LPS-a.

Budući da solarna elektrana prilikom rada nema otjecaja na okoliš, koriste se određene referentne vrijednosti (u g/kWh) polutanata kojima je moguće procijeniti koliko je manje onečišćenje u odnosu da se umjesto toga koriste najnepovoljniji izvori električne energije za okoliš.

#### **4.3.7. Proračuni**

U ovome dijelu izvodi se svi potrebni proračuni. Kao polazna točka potrebno je imati uvid u potrošnju objekta za prethodni proračunski period. Kao faktor ograničenja snage elektrane je i vrsta i snaga priključka na mrežu, dok se na istosmjernoj strani snaga elektrane može odrediti prema potrošnji. Također je jako bitna i dostupna površina kako bi uopće vidjeli da li imamo mogućnost ostvariti željenu snagu elektrane.[15]

Nakon što se odredi potrebna snaga elektrane, određujemo panel koji želimo koristiti te podjelom snage elektrane i vršne snage jednog panela dobijemo potreban broj modula. Ako površina ukupnog broja tih modula odgovara našoj površini može se odabrati odgovarajući izmjenjivač

prema potrebnoj snazi na ulazu i izlazu, te ostalim karakteristikama koje su opisane u prethodnom poglavlju. Rade se proračuni kabela na istosmjernoj i izmjeničnoj strani izmjenjivača, proračuni gubitaka, procjena godišnje proizvodnje energije, ušteda i slično.

## **5. IZRADA GLAVNOG PROJEKTA FOTONAPONSKE ELEKTRANE**

Kao zadatak ovoga rada bilo je prikazati što sve sadrži i kako se izrađuje glavni projekt fotonaponske elektrane na krovu sportske dvorane u mjestu Đurđevac. Budući da uvodni dio sadrži neke opće podatke o projektu kao i potrebne priloge (izvadak iz sudskog registra, rješenje o upisu projektanta u imenik ovlaštenih inženjera elektrotehnike, rješenje o imenovanju projektanta, izjava o jednostavnoj građevini i ostalo) koji su navedeni u prijašnjem poglavlju, a koji su privatni, taj dio ovdje nije prikazan.

Također je prema glavnom projektu napravljen proračun i simulacija iste elektrane u programskom paketu PV\*SOL.

### **5.1. Projektni zadatak**

Dakle u ovom slučaju cilj je izraditi projekt sunčane elektrane snage 70,52kW koja se spaja na razvodni ormar potrošača, a snaga u smjeru predaje u mrežu ograničena je na 54kW.

Prema zahtjevu investitora potrebno je na danu površinu krova sportske dvorane optimalno rasporediti module, predložiti način montaže modula te način njihovog spajanja, odrediti DC/AC izmjenjivače, njihovu lokaciju i način postavljanja, lokaciju razvodnog ormara i njegov spoj na obračunsko mjerno mjesto. Također procijeniti ukupne troškove izgradnje elektrane te godišnju proizvodnju električne energije.

Lokacija gradnje sunčane elektrane je na krovu sportske dvorane u katastarskoj općini Đurđevac 1. Na internetskim stranicama Državne geodetske uprave moguće je unosom podataka o katastarskoj čestici pristupiti izradi službenih ili neslužbenih javnih isprava (posjedovnog lista, zemljoknjižnog izvatka i kopije katastarskog plana). Unutar glavnog projekta prilažu se službene isprave, ali za potrebe ovoga rada korištene su neslužbene isprave jer u tom slučaju nije potrebna prijava na sustav e-građani. Nakon odabira područnog ureda za katastar Koprivnica i ispostave Đurđevac, unosi se broj katastarske općine i katastarske čestice i nakon toga nam se otvara sučelje (slika 5.1.) gdje možemo izraditi ne/sluzbenu javnu ispravu.

Nakon ovoga je potrebno sastaviti izjavu kojom projektant navodi da se ova solarna elektrana koja se izgrađuje na krovovima zgrada na katastarskoj čestici, prema svim bitnim zahtjevima pravilnika o jednostavnim građevinama, može smatrati jednostavnom građevinom.

**UPISANE OSOBE**

Ime i prezime/Naziv	Adresa	Udio
OSNOVNA ŠKOLA ĐURĐEVAC	ĐURĐEVAC,	1. Vlasnički dio: 1/1

**VRSTA UPORABE**

Vrsta uporabe	Tip zgrade	Površina (m2)
ZGRADA MJEŠOVITE UPORABE	Zgrada	292
SPORTSKA DVORANA	Zgrada	762
ŠKOLA, Đurđevac, ĐURE BASARIČEKA 5D	Zgrada	1171
SPREMIŠTE	Zgrada	22
POMOĆNA ZGRADA	Zgrada	21

Više...

### Sl.5.1. Sučelje za izradu javnih isprava [17]

Klikom na izvadak iz zemljišne knjige dobit ćemo isti u pdf obliku (slika 5.2.) koji sadrži posjedovnicu (koja sadrži i drugi odjeljak sa sadržajem upisa gdje se navodi priložena uporabna dozvola za sportsku dvoranu), vlastovnicu i teretovnicu.

Klikom na neslužbenu javnu ispravu otvara nam se padajući izbornik gdje odabiremo izvod iz katastarskog plana i isti nam se prikaže u pdf formatu (slika 5.3.).

**A**  
**Posjedovnica**  
PRVI ODJELJAK

Rbr.	Broj katastarske čestice	Broj D. L.	Adresa katastarske čestice/Način uporabe katastarske čestice/Način uporabe zgrade, naziv zgrade, kućni broj zgrade	Površina/m2	PPR
------	--------------------------	------------	--	-------------	-----

**B**  
**Vlastovnica**

Rbr.	Sadržaj upisa	Primjedba
1.	Vlasnički dio: 1/1	

**C**  
**Teretovnica**

Rbr.	Sadržaj upisa	Iznos	Primjedba
Tereta nema!			

Potvrđuje se da ovaj izvadak odgovara stanju baze zemljišnih podataka na datum 22.05.2023.

**SI.5.2. Sadržaj izvadka iz zemljišne knjige [17]**



## 5.2. Tehničke mjere zaštite

Kod dimenzioniranja vodova i opreme vodilo se računa o toplinskim i električnim naprezanjima u pogonu i kratkom spoju, kao i o utjecaju okoline. Koriste se instalacijski osigurači za zaštitu vodova i opreme od prevelikih toplinskih naprezanja, a kako bi se spriječila mehanička oštećenja koriste se savitljive PVC cijevi, metalni kabelski kanali ili polaganje kabela u alu profile.

Da bi se ostvarila zaštita od indirektnog dodira koristi se zaštitni uređaj nadstruje i diferencijalne struje smješteni u razdjelni ormar. Međusobno povezivanje metalnih masa na zaštitni vodič koji je spojen u razdjelnici na uzemljivač postojećeg objekta izvodi se kako bi se spriječila pojava razlike potencijala dijelova koji inače nisu pod naponom.

Kako bi se ostvarila zaštita od slučajnog dodira dijelova pod naponom, koriste se sljedeća rješenja:

- Uređaji koji se montiraju vani imaju najmanji stupanj zaštite IP65, vodovi zaštićeni svojom izolacijom i dodatnom mehaničkom zaštitom na spojevima s panelima, prolazima kroz betonski temelj i slično
- Osigurači, priključci, kontakti i slični uređaji smještaju se u razdjelnicu koja na vratima treba imati natpis upozorenja zbog dijelova pod naponom i bravu za zaključavanje
- S unutrašnje strane vrata postaviti će se izolacijska pregrada preko elemenata s otvorenim kontaktima

Dodatno kako bi se ostvarila zaštita od požara u slučaju potrebe za isključenjem elektrane od distribucijske mreže koristi se ručno tipkalo za iskapčanje elektrane prema distributivnoj mreži u slučaju kvara ili nekog popravka.

Izmjenjivači sadrže ugrađenu prenaponsku zaštitu te zaštitu od krivog polariteta na istosmjernom ulazu, nadnaponsku, podnaponsku, nadfrekvencijsku i podfrekvencijsku zaštitu te ograničavanje struje na izlaznom dijelu. Pojava prenapona na izmjeničnim sabirnicama razdjelnog ormara sprječava se upotrebom izmjeničnog odvodnika prenapona ugrađenog u razdjelni ormar solarne elektrane. Zaštitni vod solarne elektrane spaja se na temeljni uzemljivač objekta, kao i razdjelnica elektrane koja se izvodi od nezapaljivih materijala.

## 5.3. Tehnički opis

Za izgradnju ove elektrane odabrani su paneli LG430N2T-E6 nazivne snage 430 W. Osnovni tehnički podaci biti će prikazani tablično u ovom poglavlju kod izrade projekta u PV\*SOL-u. Ukupno elektrana sadrži 164 ovakva modula što daje instaliranu snagu od 70,52 kW na

istosmjernoj strani. Paneli su raspoređeni u osam stringova od 14 modula te 4 stringa od 13 modula. Snaga modula je 430W, a koriste se dva izmjenjivača snage 30kW. Na jedan izmjenjivač spaja se 4 stringa od 13 modula te 2 stringa od 14 modula, a na drugi izmjenjivač spaja se preostalih 6 stringova od 14 modula sa jugozapadne strane.

Solarni moduli postavljaju se na nosivu konstrukciju koje se montira na krovu sportske dvorane, a nagib modula prati nagib krova. Budući da je proizvodnja električne energije najveća tijekom ljeta, a tada traju školski praznici i nema velike potrošnje na objektu, velika većina proizvedene energije u tom razdoblju će biti predana u mrežu. Snaga elektrane u smjeru predaje na mrežu ograničena je na 54kW.

Kod dimenzioniranja izmjenjivača odabran je onaj čija ulazna naponska i strujna ograničenja odgovaraju radnom području fotonaponskog polja u svim uvjetima. Projektiran sustav je proračunat za maksimalni napon od 1100V na istosmjernoj strani uz temperaturu okoline -10°C. Prema tome odabrana su dva izmjenjivača HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 koji imaju 4 nezavisna sustava za praćenje maksimalne snage fotonaponskog polja, a na svaki je moguće spojiti po dva stringa elektrane. Osnovni tehnički podaci nalaze se u tablicama u nastavku poglavlja.

Iduća tablica prikazuje osnovne podatke ove solarne elektrane radi lakšeg pregleda.

**Tablica 5.1.** Osnovne karakteristike projektirane solarne elektrane

Naziv proizvodnog postrojenja	SE Sportska dvorana Đurđevac
Način rada elektrane	Paralelno s NN elektroenergetskom distribucijskom mrežom
Priključna nazivna snaga	54kW
Tip FN modula	LG430N2T-E6
Broj i snaga FN modula	164 x 430 W = 70,52 kW
Tip DC/AC izmjenjivača	HUAWEI SUN2000-30KTL-M3
Broj i snaga DC/AC izmjenjivača	2 x 30 kW = 60 kW
Predviđena godišnja proizvodnja (PVGIS)	

Niskonaponski trofazni priključak elektrane na elektroenergetsku mrežu izvodi se u glavnom razdjelnom ormaru, a prema uvjetima definiranim u elektroenergetskoj suglasnosti HEP-a. Izmjenjivač se spaja na GRO, a GRO na postojeće obračunsko mjerno mjesto (OMM).



Za montažu fotonaponskih modula koriste se aluminijski nosači NS-0004 s predmontiranim srednjim i krajnjim sponama za prihvat fotonaponskih modula (slika). Oni se pričvršćuju za lim krova nehrđajućim vijcima (4 komada po nosaču) s pločicom i gumicom te brtvom.

Glavni razvodni ormar nalazi se u prostoru na ulazu u dvoranu te će biti rekonstruiran zajedno sa projektom solarne elektrane. Izmjenični kabel od izmjenjivača ulazit će s donje strane kroz uvodnice u glavni razvodni ormar, koji zadovoljava uvjete iz tehničkih mjera zaštite. Potrebno je ormar opremiti elementima upravljanja i zaštite prema jednopolnoj shemi, a svaki kabel mora imati oznaku da se jasno vidi odakle dolazi, tip kabela, broj žila i presjek. Pripadajuća jednopolna i trolpolna shema treba se zaštititi omotom i postaviti unutar ormara.

Zaštita istosmjernih strujnih krugova ugrađena je u izmjenjivače (zaštita od prenapona, krivog polariteta i kratkog spoja). Koristi se četveropolni zaštitni uređaj diferencijalne struje (RCD/FID sklopka) za zaštitu od indirektnog dodira na izlazu izmjenjivača, nazivne struje 63A i struje kvara 300 mA. Nadstrujna zaštita na izmjeničnoj strani ostvarena je trolpolnim automatskim prekidačem nazivne struje od 100A, B karakteristike sa ugrađenim naponskim okidačem na koji djeluje isklopno tipkalo.

Za razvod kabela koriste se spojne kutije svakog modula sa pripadajućim izvodima i tipskim konektorima. Krajnji izvodi fotonaponskih nizova smještaju se u utore aluminijskih profila i pričvršćuju vezicama, a na dijelovima gdje su izloženi mehaničkim utjecajima postavljaju se u metalne kablске kanale. Koristit će se dvostruko izolirani istosmjerni solarni kabel PV1-F presjeka 4mm<sup>2</sup> za povezivanje fotonaponskih modula međusobno i sa ulazima na izmjenjivač, a koji je prilagođen za vanjsku montažu i otporan na utjecaje okoline. Na izlazu izmjenjivača koristit će se kabel FG16OR16 10x16mm<sup>2</sup> koji se onda spaja na zaštitne elemente u razvodnom ormaru na mjesto predviđeno za priključak solarne elektrane.

Svi metalni dijelovi konstrukcije za montažu modula, zajedno sa modulima, trebaju se galvanski povezati kabelom na zaštitnu sabirnicu razvodnog ormara. Isto vrijedi i za metalne kanalice, a zaštitne sabirnice glavnog razvodnog ormara moraju biti spojene s temeljnim uzemljivačem objekta. Ako se moduli postavljaju na zasebne noseće elemente, koristit će se podložne pločice za proboj eloksiranog sloja na njihovom okviru. Gromobranska instalacija ne smije biti povezana s metalnim masama solarne elektrane na krovu. Gromobranska instalacija spaja se na postojeći temeljni uzemljivač objekta i treba biti razmaknuta barem 40cm od svih metalnih dijelova solarne elektrane.

## 5.4. Izrada projekta u programskom paketu PV\*SOL

Prvi korak kod izrade projekta je upis projektnih podataka poput naziva projekta, datuma izrade i ostalo. Nakon toga odabiremo vrstu sustava koju projektiramo, a u ovom slučaju to je sustav sa električnim uređajima koji je spojen na mrežu. U ovom koraku odabiru se i područje na kojem se želi izgraditi elektrana što je jako bitno da bi se odredilo prosječno godišnje sunčevo zračenje i temperatura. Odabrana je lokacija Pitomača jer je najbliža Đurđevcu za koji nije bilo moguće dobiti ove podatke. Kako to izgleda nakon unosa podataka vidljivo je na slici 5.4.

### System Type, Climate and Grid

The screenshot displays the 'System Type, Climate and Grid' configuration window in PV\*SOL. It is divided into several sections:

- Type of System:** A dropdown menu is set to '3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances'. Below it is a schematic diagram showing a PV array connected to an inverter, which is then connected to a grid and a load.
- Type of Design:** A radio button for 'Use 3D Design' is selected.
- Time step of simulation:** Two radio buttons are present: '1 Hour (faster simulation)' is selected, and '1 Minute (more precise simulation)' is unselected.
- Climate Data:** A table of climate parameters for Pitomača, Croatia (2005-2020).
- AC Mains:** A table of electrical grid parameters.

Country		Location	
Croatia		Pitomaca (2005-2020, PVGIS-SARA)	
Latitude	45° 56' 55"	Annual sum of global irradiation	1382 kWh/m <sup>2</sup>
Longitude	17° 13' 55"	Annual Average Temperature	11,5 °C
Time zone	UTC+1		
Time Period	2005 - 2020		
Source	PVGIS-SARAH2/ERA5		

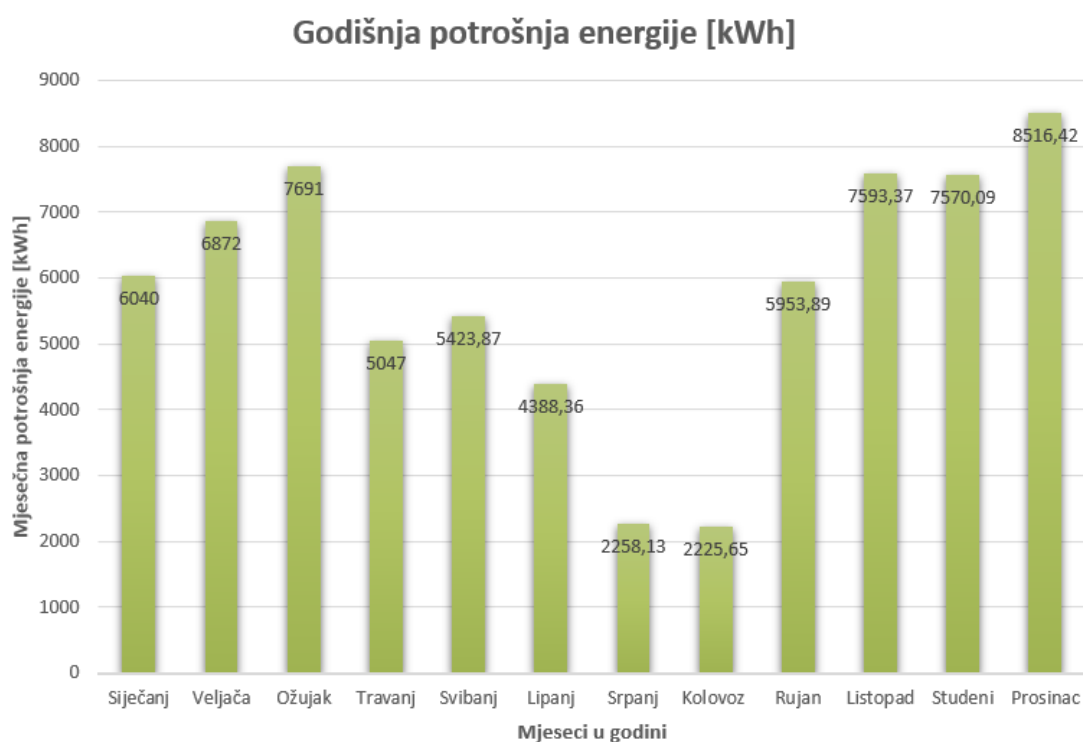
AC Mains	
Voltage (N-L1)	230 V
Number of Phases	3-phase
cos φ	1
Maximum Feed-in Power Clipping	No

**Slika 5.4.** Vrsta sustava i klimatski podatci

Idući korak je unos potrošnje prema energetske kartici HEP-a za prethodnu godinu. Iz kartice očitavamo potrošnju za svaki mjesec i unosimo je u tablicu u PVSOL-u. Potrošnja na mjernom mjestu po mjesecima je prikazana u tablici 5.2., a nakon unosa ovih podataka također program izrađuje i grafički prikaz ove potrošnje koji je prikazan na slici 5.5. Zbrajanjem ovih vrijednosti dobijemo da je ukupna godišnja potrošnja na ovom mjernom mjestu 69580kWh.

**Tablica 5.2.** Potrošnja električne energije po mjesecima u kWh

Mjesec	Potrošnja električne energije u kWh
Siječanj	6040
Veljača	6872
Ožujak	7691
Travanj	5047
Svibanj	5423,87
Lipanj	4388,36
Srpanj	2258,13
Kolovoz	2225,65
Rujan	5953,89
Studeni	7593,37
Listopad	7570,09
Prosinac	8516,42



**Slika 5.5.** Dijagram potrošnje električne energije po mjesecima

Nakon ovoga potrebno je izraditi model građevine na koju se postavljaju fotonaponski moduli, zajedno sa susjednim objektima koji mogu utjecati na zasjenjenje tih modula. U najboljem slučaju

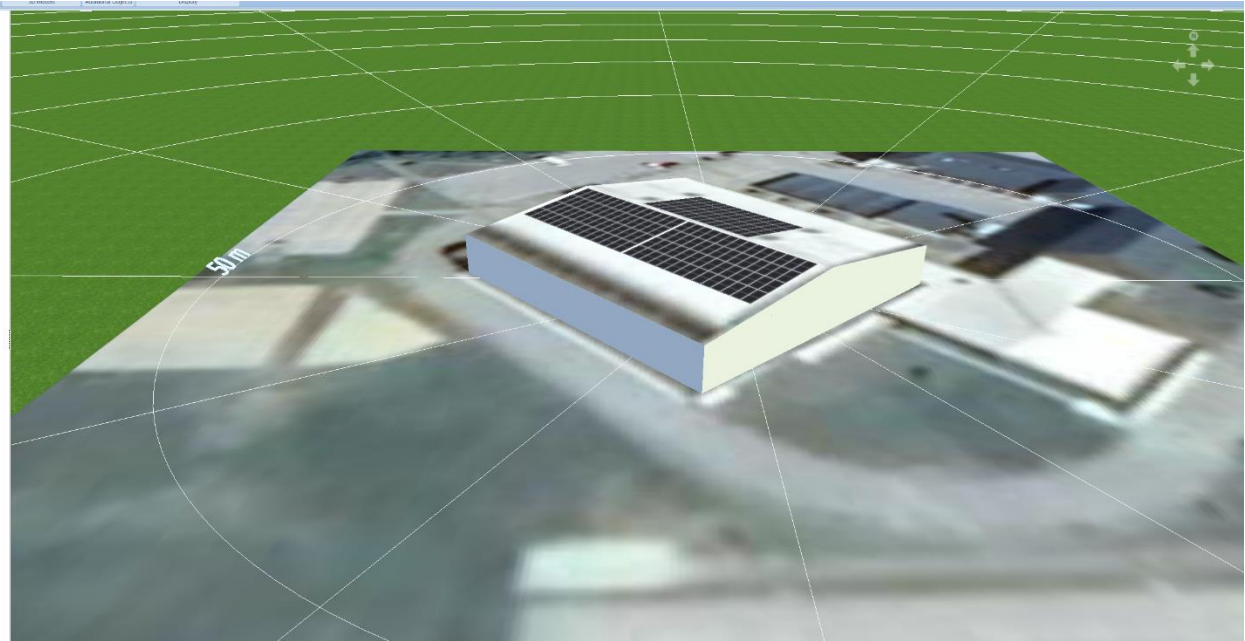
moгуće je imati gotovi model sa svim potrebnim dimenzijama, ali kako to ovdje nije slučaj korišten je drugi pristup. Umetnuta je podloga sa Google Earth Pro i nakon toga kreiran je poligon prema tlocrtu sportske dvorane. Nakon što se kreira poligon desnim klikom se odabire izrada objekta, odnosno krova s nagibom od 7 stupnjeva na dvije strane, i moguće je pristupiti odabiru modula.

Odabrani modul je LG430N2T-E6 vršne snage 430W koji se postavlja na limeni pokrov dvorane pod kutom 7 ° (Slika 5.6.).



**Slika 5.6.** Izgled fotonaponskog modula koji će se postaviti na krov dvorane

Moduli su raspoređeni tako da odgovaraju glavnom projektu ove elektrane gdje je pretpostavljena ugradnja 164 modula. Na jugozapadnoj strani krova postavljeno je 108 modula, a na sjeveroistočnu stranu 56 modula. Pogled na raspored modula sa juga na slici 5.7.



**Slika 5.7.** Pogled na postavljene module s juga

Električne karakteristike odabranog modula pri standardnim testnim uvjetima i pri normalnoj radnoj temperaturi ćelije prikazane su u tablici 5.3., dok su u tablici 5.4. prikazane neke mehaničke karakteristike koje su dostupne u podatkovnom listu.

**Tablica 5.3.** Električne karakteristike fotonaponskog modula LG430N2T-E6

<b>LG430N2T-E6</b>	Mjerne jedinice	STC (1000 W/m <sup>2</sup> , 25°, AM 1,5 g)	NOCT (800W/m <sup>2</sup> , 20°, 1 m/s brzina vjetra, AM 1,5 g)
Vršna snaga P <sub>max</sub>	W	430	323
Nazivni napon U <sub>MPP</sub>	V	40,4	38
Nazivna struja I <sub>MPP</sub>	A	10,65	8,51
Napon praznog hoda U <sub>PH</sub>	V	48,6	45,8
Struja kratkog spoja I <sub>KS</sub>	A	11,12	8,95
Učinkovitost modula	%	19,4	

**Tablica 5.4.** *Mehaničke karakteristike fotonaponskog modula LG430N2T-E6*

Dimenzije (D x Š x V)	2130mm x 1042mm x 40mm
Masa	22kg
Broj i raspored ćelija	144 ćelije (6 x 24)
Staklo(debljina/materijal)	2,8mm/kaljeno staklo s anti-reflektirajućim premazom
Okvir(materijal)	Eloksirani aluminij
Spojna kutija(stupanj zaštite)	IP68 sa 3 zaobilazne diode
Radna temperatura	-40 ~ +90
Maksimalni napon sustava	1000 V
Maksimalno dozvoljena struja osigurača u seriji	20A
Test mehaničkog opterećenja (prednja/zadnja strana)	5400Pa / 3000Pa

Prije nego što se nastavi na idući korak, a to je konfiguracija modula, program zahtjeva da se napravi proračun utjecaja zasjenjenja. Budući da je sportska dvorana viša od ostalih zgrada koje su u sastavu Osnovne škole Đurđevac i nema okolnih drveća ili sličnih objekata koji bi mogli bacati sjenu na module, moguće je nastaviti bez tog proračuna.

Kod odabira izmjenjivača program nudi cijeli niz proizvođača i tipova izmjenjivača, a pored svakog izmjenjivača koji bi mogao odgovarati stoji zelena kvačica. Za ovaj projek odabrana su dva jednaka pretvarača HUAWEI SUN2000-30KTL-M3, a njegove tehničke karakteristike su vidljive u tablicama 5.5. i 5.6.

**Tablica 5.5.** Učinkovitost i opći podatci izmjenjivača HUAWEI SUN2000-30KTL-M3

Učinkovitost	
Maksimalna učinkovitost	98,7%
Opći podatci	
Dimenzije (Š x V x D)	640mm x 530mm x 270mm
Težina	43 kg
Raspon radnih temperatura	-25 do +60 °C
Način hlađenja	Prirodnim strujanjem zraka
Stupanj zaštite	IP66
Topologija	Bez transformatora
Potrošnja snage tijekom noći	≤5,5W

**Tablica 5.6.** Ulazni i izlazni podatci izmjenjivača HUAWEI SUN2000-30KTL-M3

Ulazni podatci		Izlazni podatci	
Maksimalni ulazni napon	1100V	Nazivna AC snaga	30000W
Maksimalna struja po MPPT-u	26A	Nazivna AC prividna snaga	33000VA
Maksimalna struja kratkog spoja po MPPT-u	40A	Nazivni izlazni napon	230/400/480 Vac
Napon paljenja	200V	Nazivna frekvencija AC mreže	50/60 Hz
Radno područje napona MPPT-a	200~1000	Nazivna izlazna struja	43,3 A
Nazivni ulazni napon	600V	Maksimalna izlazna struja	47,9 A
Broj ulaza	8	THD	3%
Broj MPP tragača	4		

Dakle predviđeno je postavljanje dva ovakva izmjenjivača, a broj modula i stringova koji se spaja na svaki od njegova četiri MPPT ulaza vidljiv je na slici 5.8. Dakle konfigurirane su zajedno obje strane krova na način da se na prvi i drugi ulaz (MPP1 i MPP2) spajaju po 2 stringa od 13 serijski spojenih modula sa krova koji je okrenut na sjeveroistočnu stranu čime je pokrivena cijela ta strana, a na ostale ulaze (MPP3 i MPP4) spaja se po jedan string sa 14 modula koji su smješteni na jugozapadnu stranu. Na drugi izmjenjivač spajaju se preostali stringovi sa jugozapadne strane, a svaki string sastoji se od 14 modula. Na prva dva ulaza spajaju se po dva stringa, a na zadnja dva spojen je po jedan string.

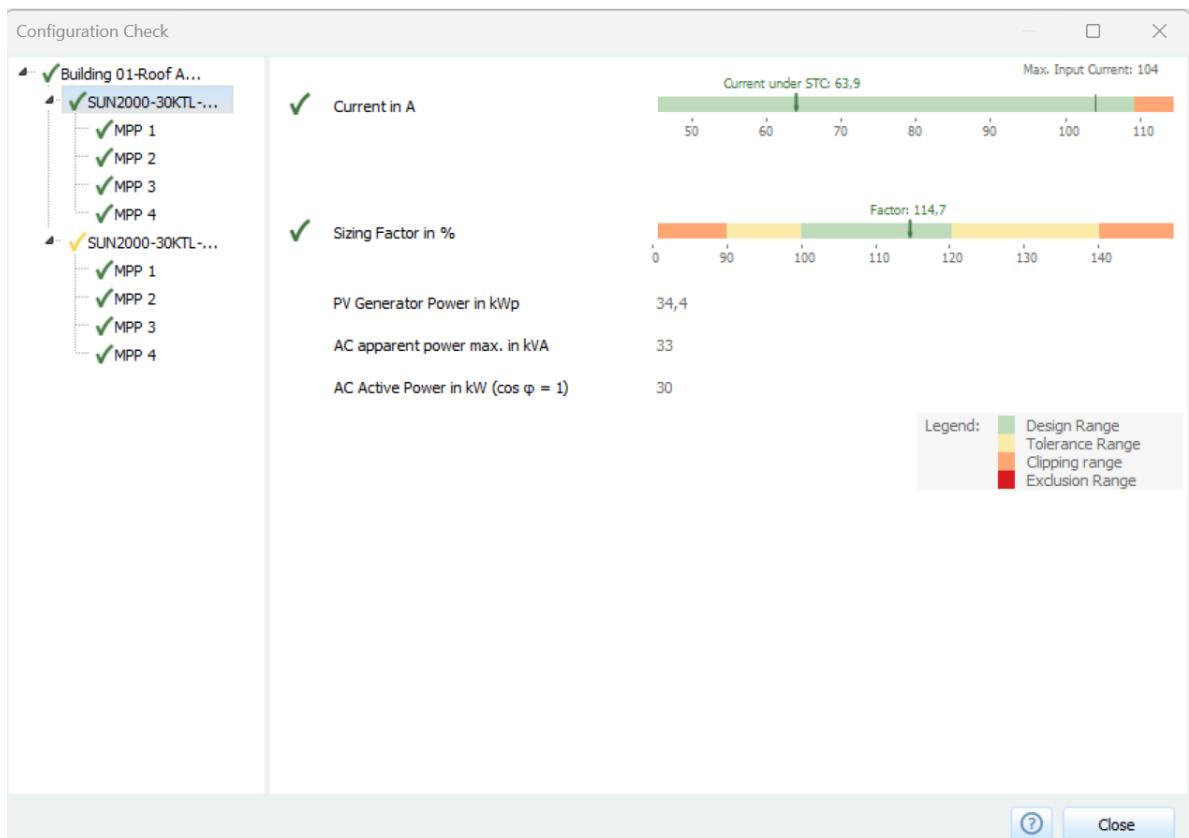
CHECK	VALUES	POWER
✓	<b>CONFIGURATION: Building 01-Roof Area Northeast + Building 01-Roof Area Southwest</b>	
	INVERTER 1: <input checked="" type="checkbox"/> Polystring Configuration	
✓	1 x Huawei Technologies <span style="float: right;">SUN2000-30KTL-M3 (4...</span>	34,4 kWp
	<input type="checkbox"/> Power Optimizer	
✓	MPP 1: 2 Strings x 13 Modules in series Building 01-Roof Area Northeast	
	+ Add Row	
✓	MPP 2: 2 Strings x 13 Modules in series Building 01-Roof Area Northeast	
	+ Add Row	
✓	MPP 3: 1 String x 14 Modules in series Building 01-Roof Area Southwest	
	+ Add Row	
✓	MPP 4: 1 String x 14 Modules in series Building 01-Roof Area Southwest	
	+ Add Row	

**Slika 5.8.** Konfiguracija modula na sportskoj dvorani za prvi izmjenjivač

Kod ove konfiguracije potrebno je paziti da na isti sustav za praćenje maksimalne snage nije preporučeno spajati stringove koji se nalaze na različitim stranama krova, jer će sustav hvatati krivu točku maksimalne snage i učinkovitost proizvodnje će biti značajno smanjena.

Nakon ovoga moguće je provjeriti da li smo dobro konfigurirali izmjenjivač, slika 5.9.

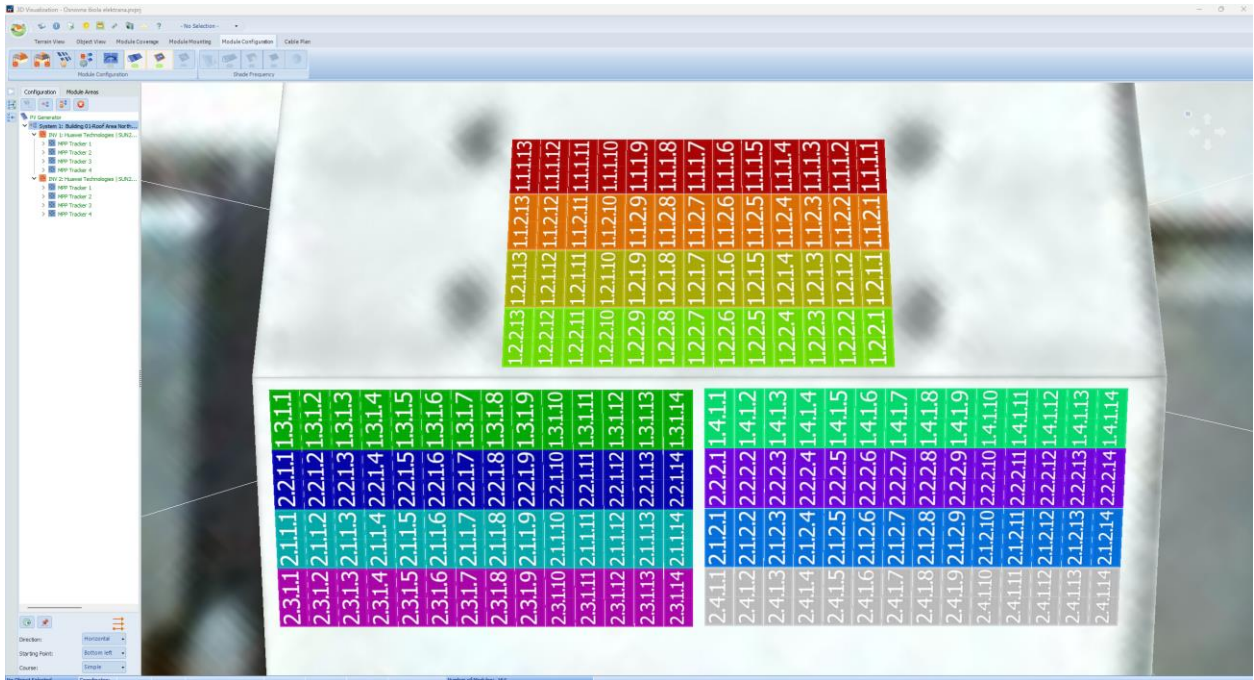




**Slika 5.9.** *Provjera konfiguracije izmjenjivača*

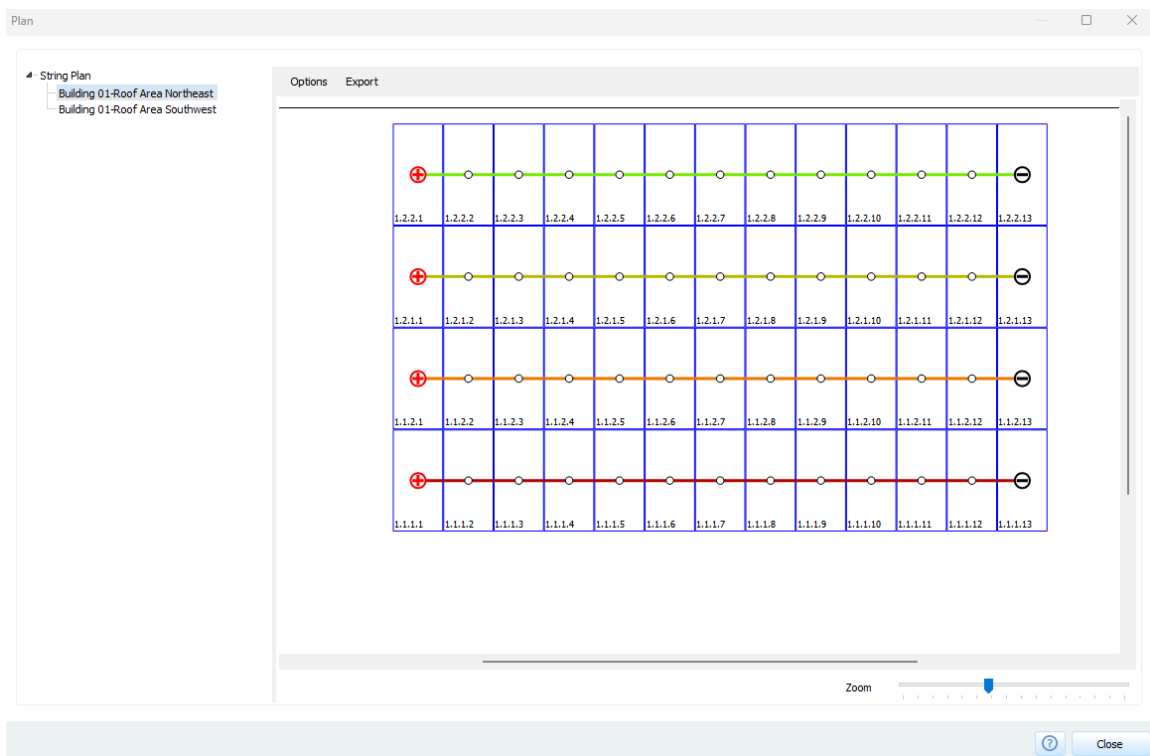
Vidljivo je da su svi ulazni parametri unutar granica za koje je izmjenjivač dizajniran. Za drugi izmjenjivač se nalazi na granici područja tolerancije i dizajniranog područja.

Iduća slika (slika 5.10.) pruža prikaz po bojama koji moduli su uključeni u jedan string. Brojevi redom označavaju broj izmjenjivača na koji je string spojen, broj ulaza, broj stringa i redni broj modula u stringu.

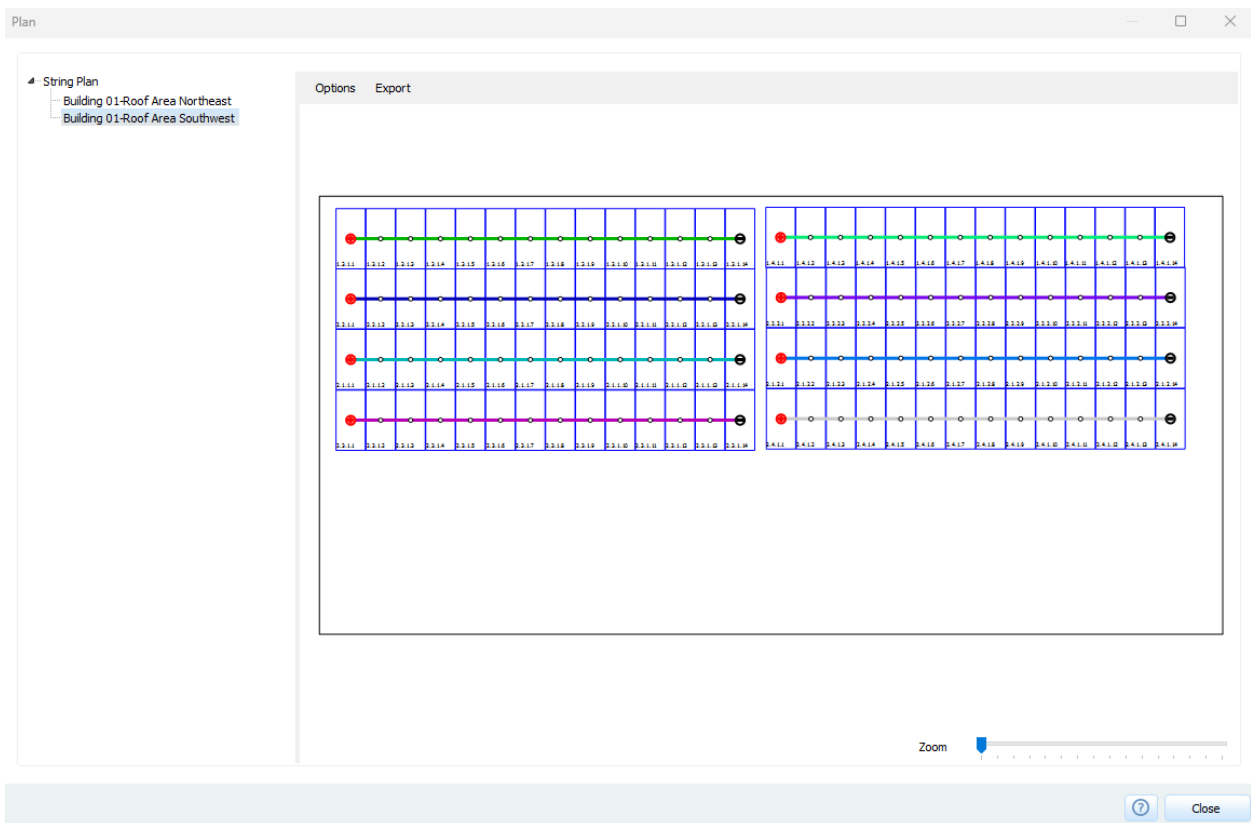


**Slika 5.10.** Konfiguracija modula sa pripadnim oznakama

Posljednje nam se prikazuje plan kako su moduli spojeni u stringove na obje strane krova, slika 5.11. i 5.12.



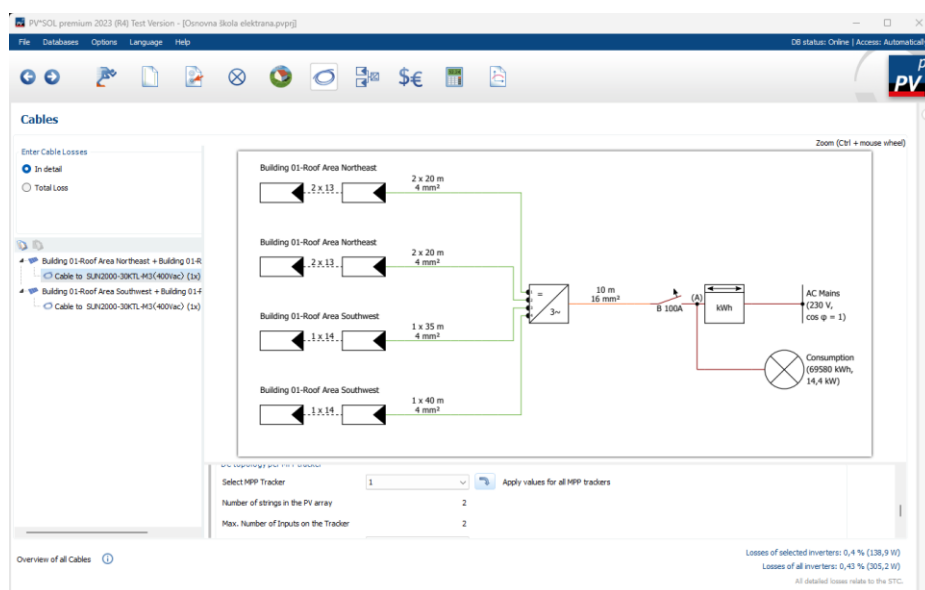
**Slika 5.11.** Prikaz spajanja modula na sjeveroistočnoj strani



Slika 5.12. Prikaz spajanja modula na jugozapadnoj strani

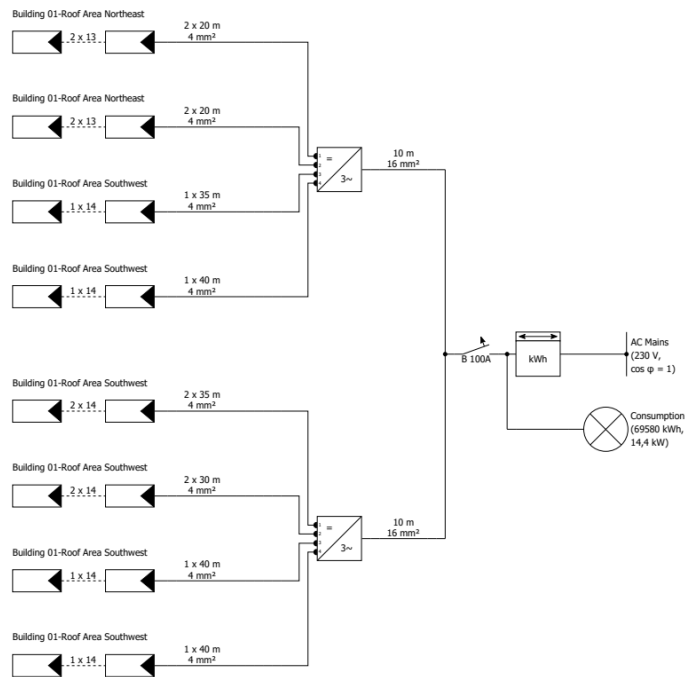
Kada smo izašli iz 3D modela potrebno je povezati izmjenjivače i module te se odabire potreban presjek, duljina i materijal kabela. Prikazuje nam se jednopolna shema na koju je također moguće dodati zaštitne uređaje (osigurače, prekidače...) i mjerne uređaje.

Slika 5.13. prikazuje odabrane podatke i uređaje za elektranu na sportskoj dvorani.



Slika 5.13. Jednopolna shema na jugozapadnoj strani

Moguće je odabrati i prikaz jednopolne sheme sustava (slika 5.14.).



Slika 5.14. Jednopolna shema sustava

## 5.5. Proračuni

Radi se proračun za AC i DC stranu, te izračun ukupnih gubitaka solarne elektrane. Radi boljeg pregleda rezultati i proračun su prikazani tablično, a tablica 5.7. prikazuje proračun maksimalnog i minimalnog napona na ulazu u izmjenjivač koristeći redom formule od (3-8) do (3-11).

Tablica 5.7. Proračun istosmjernih napona na ulazu u izmjenjivač

Proračun maksimalnog DC napona na ulazu u izmjenjivač – kontrola na -10°C	
Izmjenjivač HUAWEI -15 modula po stringu je maksimalno -4 MPPT ulaza -2 stringa po MPPT ulazu	$\Delta T = -10 - 25 = -35^{\circ}\text{C}$ $U_{ph,max,string} = 14 \cdot 48,6 \cdot \left(1 + (-35) \cdot \frac{-0,26}{100}\right)$ $U_{ph,max,string} = 742,32 \text{ V}$
Proračun minimalnog DC napona na ulazu u izmjenjivač – kontrola na 60°C	
Izmjenjivač HUAWEI -13 modula po stringu je minimalno izvedeno -4 MPPT ulaza -2 stringa po MPPT ulazu	$\Delta T = 60 - 25 = 35^{\circ}\text{C}$ $U_{ph,min,string} = 13 \cdot 40,4 \cdot \left(1 + (-35) \cdot \frac{-0,26}{100}\right)$ $U_{ph,min,string} = 572,99 \text{ V}$

Iz tablice je vidljivo da minimalni i maksimalni napon na ulazu u izmjenjivač odgovaraju ulaznim naponskim ograničenjima izmjenjivača (minimalno 200V, maksimalno 1000V), a tablice 5.8. i 5.9. prikazuju proračun gubitaka u kabelima na istosmjernoj strani prvog i drugog izmjenjivača koristeći formule (3-13) i (3-14).

**Tablica 5.8.** Proračun gubitaka u kabelima na istosmjernoj strani za prvi izmjenjivač

Proračun gubitaka u DC kabelima					
-uz projektirane dužine kabela					
-uz bakreni kabel PV1-F, specifične vodljivosti 56 Sm/mm <sup>2</sup> i presjeka 4 mm <sup>2</sup>					
Izmjenjivač	String	Broj modula	Duljina [m]	P <sub>DC</sub> [W]	P <sub>DC</sub> [%]
1.HUAWEI	A.1.	13	20	14,38	0,257
	A.2.	13	20	14,38	0,257
	B.1.	13	20	14,38	0,257
	B.2.	13	20	14,38	0,257
	C.1.	14	35	17,70	0,294
	D.1.	14	40	20,23	0,336
Ukupni gubici na DC razvodu za prvi izmjenjivač				95,45	0,277

**Tablica 5.9.** Proračun gubitaka u kabelima na istosmjernoj strani za drugi izmjenjivač

Proračun gubitaka u DC kabelima					
-uz projektirane dužine kabela					
-uz bakreni kabel PV1-F, specifične vodljivosti 56 Sm/mm <sup>2</sup> i presjeka 4 mm <sup>2</sup>					
Izmjenjivač	String	Broj modula	Duljina	P <sub>DC</sub> [W]	P <sub>DC</sub> [%]
2.HUAWEI	A.1.	14	35	17,70	0,294
	A.2.	14	35	17,70	0,294
	B.1.	14	30	15,17	0,252
	B.2.	14	30	15,17	0,252
	C.1.	14	40	20,23	0,336
	D.1.	14	40	20,23	0,336
Ukupni gubici na DC razvodu za prvi izmjenjivač				106,2	0,294

Kada se računa postotni gubitak snage, dijeli se sa ukupnom snagom koja je jednaka umnošku broja modula i snage jednog modula, a za ukupne gubitke uzet je ukupan broj modula koji su na njega spojeni. Vidljivo je da su svi gubici snage unutar dozvoljene granice od 1% za kabele oba izmjenjivača.

Uvjeti (3-17) i (3-12) zadovoljeni su za kabel na istosmjernoj strani budući da je nazivna struja stringa jednaka struji kratkog spoja modula (11,12A), nazivna struja kabela PV1-F je 50A, a struja osigurača unutar izmjenjivača je 30A.

Odabrani kabel za spoj razdjelnice i izmjenjivača je FG16OR16 5x16mm<sup>2</sup>. Prema formuli (3-16) struja prijenosa iznosi 53,02A. Nazivna struja voda iznosi 85A, a osigurača 70A pa je uvjet (3-17) zadovoljen. Kontrola naponskog nadvišenja između priključne točke na razdjelnicu (GRMO) i izmjenjivača je izračunata koristeći formulu (3-15) i zadovoljava uvjet da iznosi manje od 5% napona mreže. Rezultati su prikazani u tablici 5.10.

**Tablica 5.10.** Kontrola na maksimalno dozvoljeno strujno opterećenje kabela

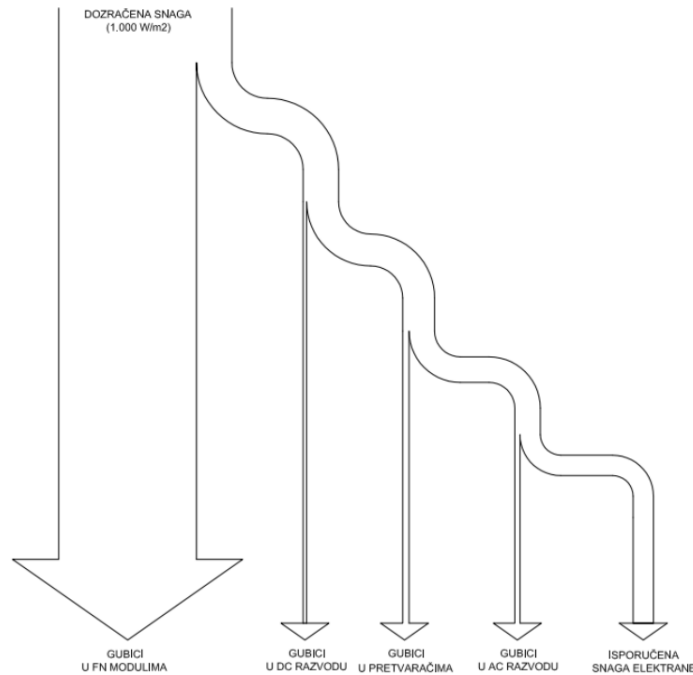
Komponenta	Mjesto spoja komponente	Dozvoljeno strujno opterećenje kabela [A]	Duljina kabela [m]	Presjek kabela	Nazivni napon [V]	Pad napona [%]
Izmjenjivač 1	GRMO	85	10	16mm <sup>2</sup>	400	0,209
Izmjenjivač 2	GRMO	85	10	16mm <sup>2</sup>	400	0,209

Ukupni gubici na AC razvodu, apsolutno i postotno, te ukupni gubici elektrane izračunati su koristeći (3-18). Rezultati su prikazani u tablici 5.11.

**Tablica 5.11.** Proračun gubitaka na AC strani elektrane

Početna točka	Krajnja točka	Očekivana maksimalna struja [A]	Duljina priključnog kabela [m]	P <sub>AC</sub> [W]	P <sub>AC</sub> [%]
Izmjenjivač 1	GRMO	47,9	10	38,41	0,13
Izmjenjivač 2	GRMO	47,9	10	38,41	0,13
Ukupni gubici na AC razvodu za prvi izmjenjivač				76,82	0,13

Ukupni gubici elektrane dobiju se zbrajanjem ukupnih gubitaka na DC i AC razvodu te gubitaka na izmjenjivačima koji iznose 390W za svaki. Kada to sve zbrojimo dobijemo da ukupni gubici iznose 1058,47 W, odnosno u postocima DC snage to je 1,5%. Ako to pretvorimo u učinkovitosti (modula 19,4, izmjenjivača 98,7, DC razvoda 99,42 i AC razvoda 99,87) dobijemo ukupnu učinkovitost sustava od 19%. Slika 5.15. prikazuje gubitke snage sustava.



**Slika 5.15.** Gubitci snage u fotonaponskom sustavu

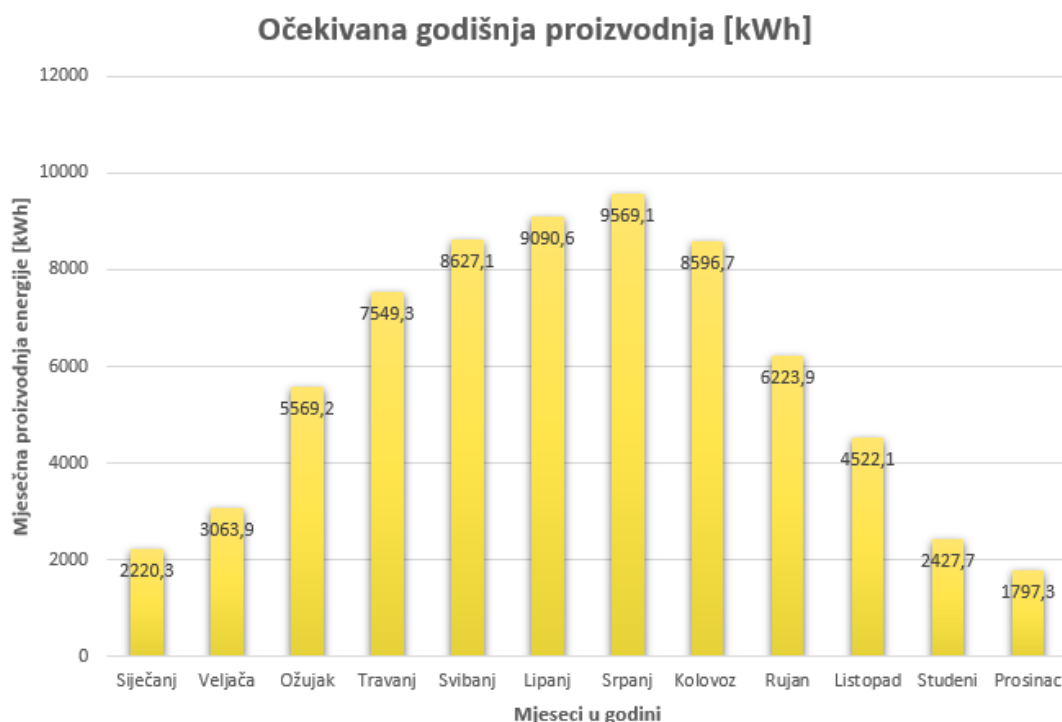
Ukupna mjesečna ozračenost vodoravne plohe sunčevim zračenjem, srednja dnevna temperatura i procijenjena proizvodnja električne energije za svaki mjesec dobiveni su koristeći PVGIS i prikazani su tablicom 5.12. Đurđevac se nalazi na 46°04' zemljopisne širine i 17,07' zemljopisne dužine, te 119m nadmorske visine.

**Tablica 5.12.** Rezultati procjene proizvodnje električne energije prema PVGIS

Mjesec	Ozračenost vodoravne plohe ukupnim sunčevim zračenjem (kWh/m <sup>2</sup> )	Srednja dnevna temperatura zraka [°C]	Procijenjena proizvedena električna energija [kWh]
Siječanj	44,4	1,1	2220,3
Veljača	67,99	6,7	3063,9

Ožujak	114,35	7,3	5569,2
Travanj	187,31	13,1	7549,3
Svibanj	171,94	15,4	8627,1
Lipanj	174,17	20	9090,6
Srpanj	209,01	22	9569,1
Kolovoz	171,32	22,7	8596,7
Rujan	136,84	18,4	6223,9
Listopad	77,58	12,9	4522,1
Studeni	37,22	6,2	2427,7
Prosinac	22,43	4,3	1797,3
Godina	1398,6	12,51 srednja	69257,19

Dobiveni podatci o godišnjoj proizvodnji uneseni su u dijagram koji je prikazan na slici 5.16.



**Slika 5.16.** Grafički prikaz očekivane godišnje proizvodnje

Prema procijenjenoj proizvodnji električne energije možemo koristeći metodologije fonda za zaštitu okoliša i metodologije europske unije izračunati koliko je uštedeno emisija u okoliš proizvodnjom energije iz solarne eletkrane. Procijenjenu godišnju proizvodnju množimo sa definiranim specifičnim vrijednostima, a rezultati su prikazani u tablici 5.13.



**Tablica 5.13.** Ukupne uštede onečišćujućih tvari za okoliš

Parametar – ekološki utjecaj solarne elektrane	EU metodologija		Metodologija FZOEU	
	Specifična vrijednost	Ukupno	Specifična vrijednost	Ukupno
Godišnje smanjenje CO <sub>2</sub>	886 g/kWh	61361,87kg	376 g/kWh	26040,70kg
Godišnje smanjenje NO <sub>x</sub>	392 mg/kWh	27,15kg	640 mg/kWh	44,32
Godišnje smanjenje SO <sub>2</sub>	435 mg/kWh	30,13	1070 mg/kWh	74,11
Godišnje smanjenje čestica	55 mg/kWh	3,81	-	

Proračun ušteda i pokazatelja:

- Količina isporučene električne energije na mjernom mjestu prije provedbe mjere iznosi 69579,78 kWh
- Količina dobivene električne energije nakon provedbe mjera – za ovo se može koristiti podatak iz PVGIS-a prema kojemu je procijenjena godišnja proizvodnja električne energije 69257,19 kWh
- Količina isporučene električne energije na mjernom mjestu nakon provedbe mjere:  
69579,78-69257,19 = 322,59 kWh
- Iznos ukupno ostvarenih ušteda isporučene električne energije dobijemo kada podijelimo vrijednosti pod a) i b), a rezultat je 99,54%
- Redukcija stakleničkih plinova izražena u tonama ugljičnog dioksida (tCO<sub>2</sub>) koristeći emisijski faktor za električnu energiju iz tablice na slici 4.1.:

$$62409 \cdot 0,33 = 22584,87 \text{ kg}$$

- Izračun opravdane snage fotonaponskih modula

$$P_{INST,DC} < P_{PMR} + 50\% \cdot P_{PMR}$$

$$70,5 \text{ kW} < 54 \text{ kW} + 50\% \cdot 54 \text{ kW}$$

$$70,5 \text{ kW} < 81 \text{ kW}$$

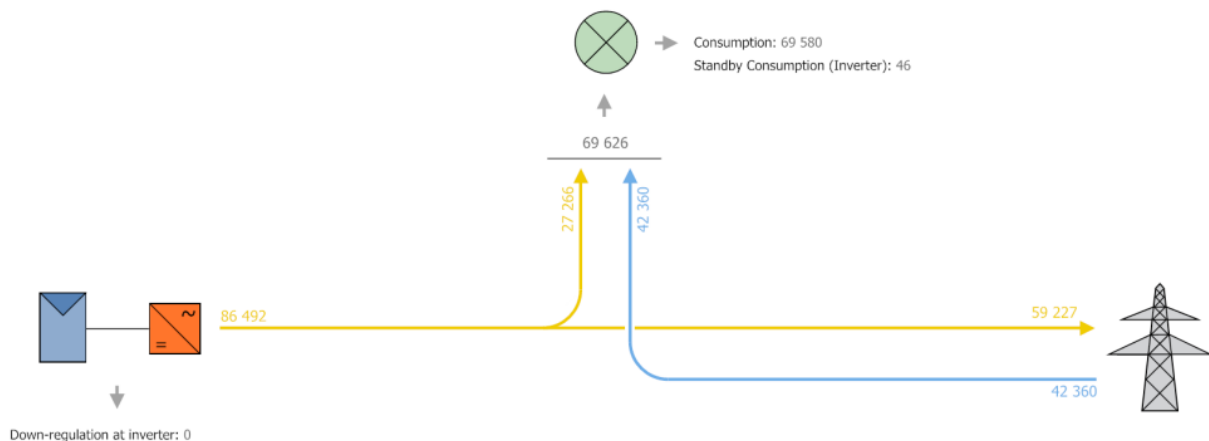
Stoga je iznos opravdan.

- g) Provjera stupnja korisnosti fotonaponskih modula koji mora biti veći od 18%, a korišteni moduli imaju stupanj korisnog djelovanja 19,4 % pa zadovoljavaju

## 5.6. Analiza dobivenih rezultata

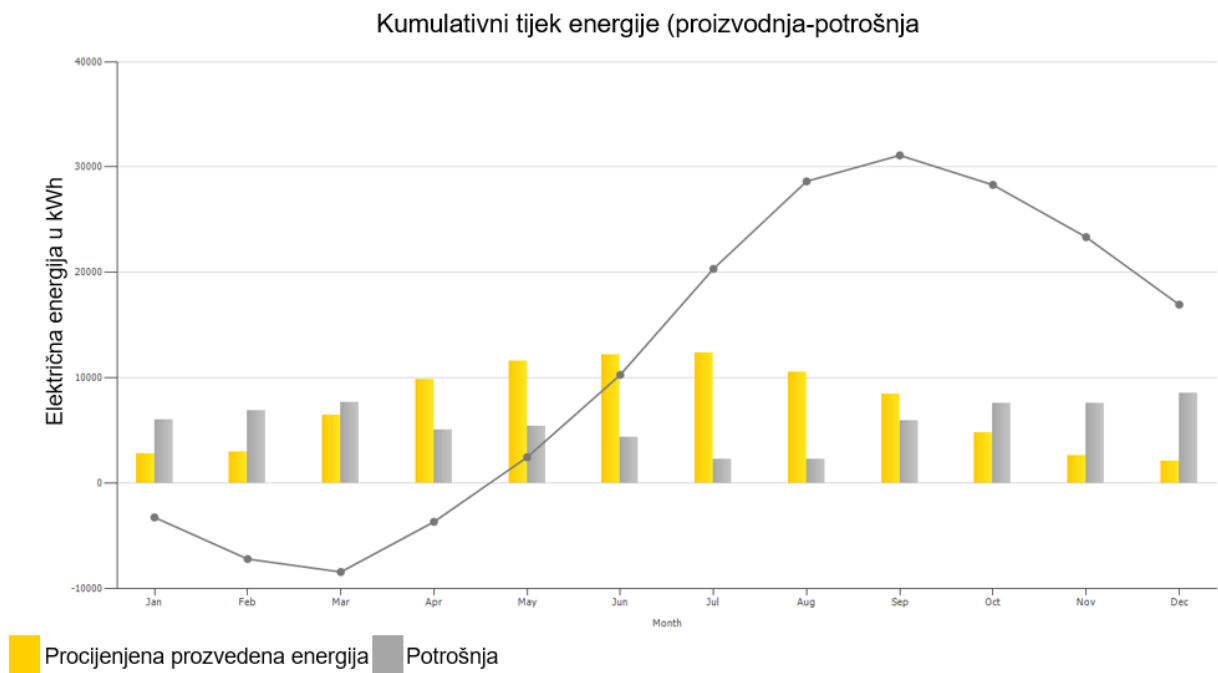
Na kraju je moguće provesti financijsku i tehničku analizu projektiranog sustava na temelju rezultata koji su dobiveni izradom projekta u PV\*SOL-u..

Slika 5.17. prikazuje tokove snaga između projektirane fotonaponske elektrane, potrošača i mreže. Ukupna potrošnja na mjernom mjestu Osnovne škole Đurđevac iznosi 69580kWh, a potrošnja izmjenjivača u stanju pripravnosti 46kWh, što daje ukupno 69625kWh/god. Većina električne energije potrebne za pokrivanje potrošnje preuzima se iz mreže (45770kWh) dok se manje od pola pokriva iz vlastite potrošnje (23855kWh). Razlog tomu je što se radi o školskom objektu i ako uzmemo u obzir da je razdoblje od lipnja do rujna razdoblje školskih praznika kada gotovo nema potrošnje, a upravo u tom razdoblju je proizvodnja najveća, imamo veliki višak proizvedene energije koja se predaje u mrežu.



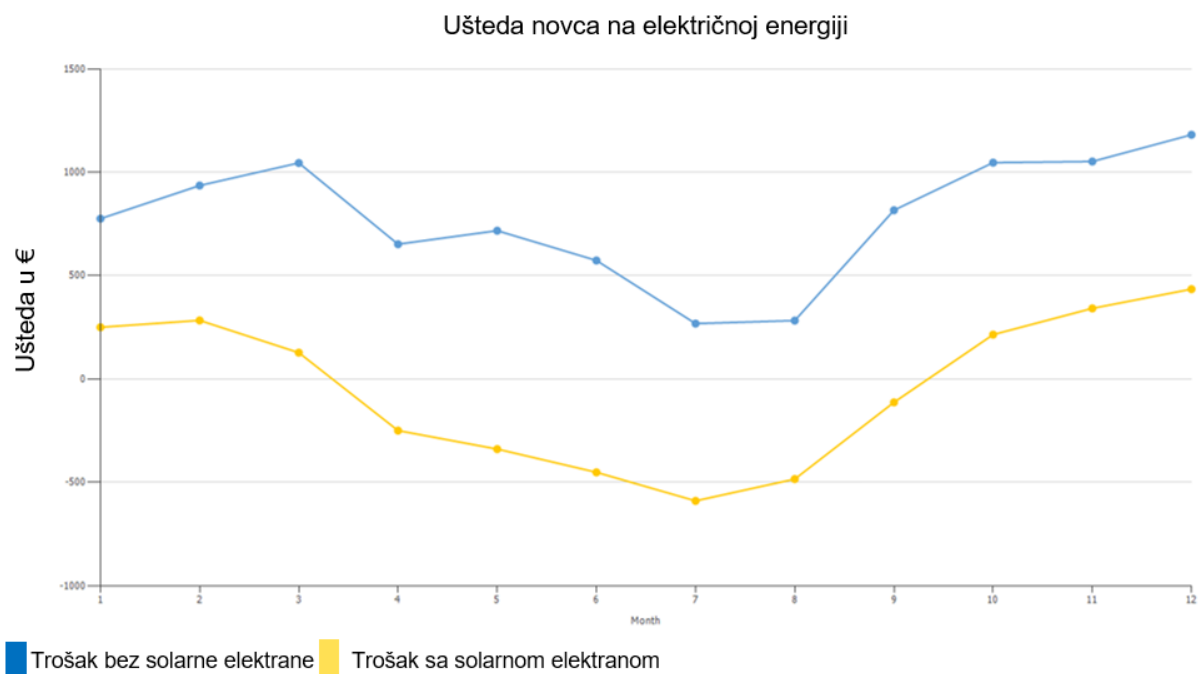
**Slika 5.17.** Tokovi energije

Dijagrami koje PV\*SOL izrađuje idealno nam prikazuju kako se iskorištava proizvedena električna energija (slika 5.18.) prikazana žutim stupcem. Sivi stupac predstavlja potrošnju objekta. Vidljivo je kako krivulja ukupne energije pada tijekom zimskih i jesenskih mjeseci, a raste tokom ljeta i proljeća budući da je tada proizvodnja iz solarne elektrane najveća i premašuje potrebe potrošnje na objektu.



**Slika 5.18.** Dijagram predviđanja proizvodnje zajedno sa potrošnjom objekta

Idući dijagram (slika 5.19.) prikazuje koliko su manji mjesečni troškovi za električnu energiju kada se instalira solarna elektrana (žuta linija) u odnosu na troškove bez elektrane (plava linija).



**Slika 5.19.** Dijagram pokrivenosti potrošnje kroz godinu

Izračun ukupne investicija za izradu ove elektrane zajedno sa cijenama pojedinačnih komponenti prikazan je u tablici 5.14.

**Tablica 5.14.** Troškovnik fotonaponske elektrane na sportskoj dvorani

Naziv	Količina	Jednica mjere	Jedinična cijena	Cijena
<b>Projektiranje</b>				
Glavni projekt sunčane elektrane	1	komplet	550,00	550,00
<b>Osnovna oprema</b>				
Fotonaponski modul	164	komad	270,00	44280,0
Fotonaponski izmjenjivač	2	komad	2860,00	5720,00
Nadzorni komunikacijski uređaj za praćenje rada SE	1	komad	600,00	600,00
Razvodni ormar SE	1	komad	650,00	650,00
Rekonstrukcija GRO u svrhu priključenja SE	1	komad	2700,00	2700,00
Solarni instalacijski kabel	250	m	0,50	125,00
AC kabel između izmjenjivača i GRO	20	m	10,00	200,00
FN konektori	4	set	2,00	8,00
Konstrukcija za montažu modula na lim	1	komplet	2000,00	2000,00
Montažni materijal	1	komplet	700,00	700,00
<b>Dostava i montaža, ispitivanje i puštanje u pogon</b>				
Dostava opreme s pripremnim radnjama	1	komplet	300,00	300,00
Montaža elektrane	1	komplet	3800,00	3800,00
Beznaponsko ispitivanje električnih instalacija elektrane	1	komplet	150,00	150,00
Puštanje u pogon SE	1	komplet	1000,00	1000,00
<b>Troškovi opremanja mjernog mjesta za SE u mrežnom radu</b>				
Troškovi priključenja na FN elektranu HEP ODS-u (procjena)	1	komplet	2000,00	2000,00
<b>Provođenje stručnog nadzora</b>				
Stručni nadzor izvođenja radova izgradnje SE	1	komplet	300,00	300,00
UKUPNO (€)	65083,00 €			
PDV(€)	9630,75 €			
SVEUKUPNO(€)	81353,75 €			

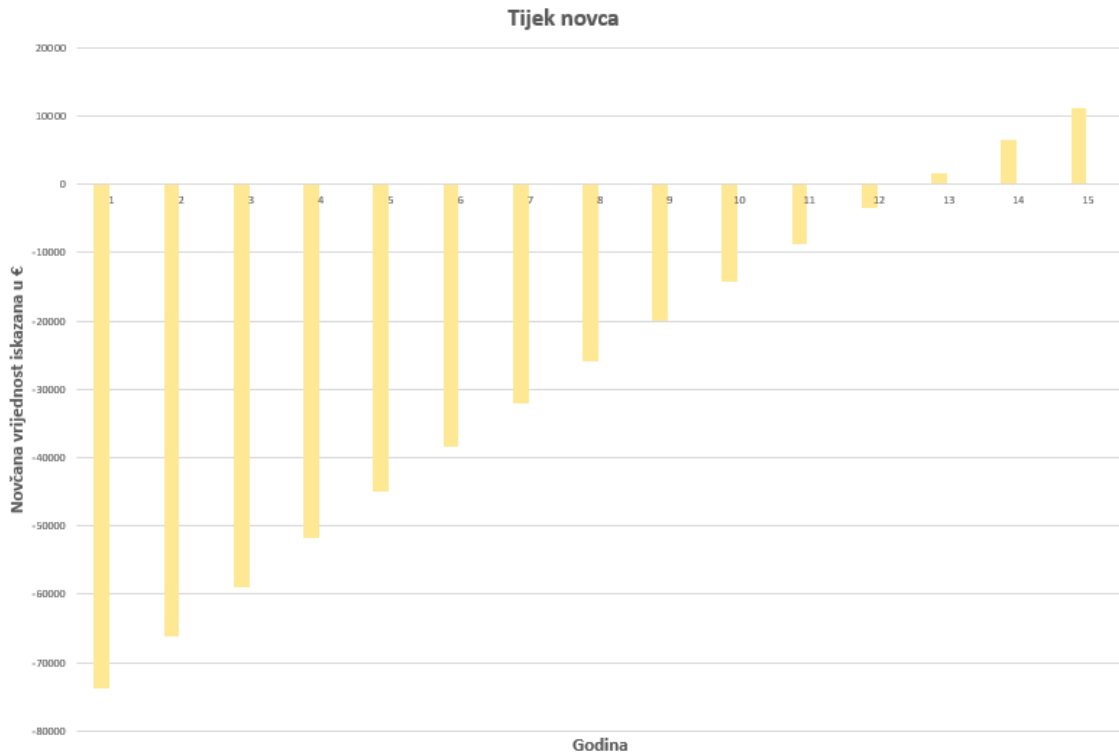
Cijena koju proizvođač dobija za višak energije prodan u mrežu, računa se kao 80% cijene za energiju koju kupuje iz mreže tijekom visoke tarife budući da je proizvodnja iz fotonaponskog sustava tijekom dana kad je na snazi VT. Prema tarifnim stavkama HEP-a ta cijena iznosi 0,074789 €/kWh (ovo je cijena bez mrežarine), a 80% daje 0,0598 €/kWh.

Broj tarifa je 2 pošto imamo višu i nižu tarifu. Cijena energije u višoj tarifi je 0,159 €/kWh, a cijena energije u nižoj tarifi je 0.0827 €/kWh. Godišnje troškove održavanja uzimamo u obzir kao 2% investicije, a isti postotak je uračunat i za inflaciju. Ovi svi podatci su uneseni u PV\*SOL koji nam na kraju daje podatke o zaradi na prodanoj energiji za svaku godinu, kao i o uštedi na troškovima za električnu energiju prema čemu je izrađena tablica 5.15. iz koje možemo jasno vidjeti trenutak kada se investicija isplatila. Ljeti viša tarifa traje od 8:00 do 22:00, a niža od 22:00 do 8:00. Zimi viša tarifa traje od 7:00 do 21:00, a niža od 21:00 do 7:00.

**Tablica 5.15.** Tijek novca od investicije

Godina	Investicija (€)	Troškovi rada i održavanja (€)	Zarada (predajom u mrežu) (€)	Ušteda troškova za električnu energiju (€)	Tijek novca kumulativno (€)
1	-81353,75	-1549,60	2019,59	7057,19	-73826,57
2	0	-1505,32	1915,93	7206,69	-66209,27
3	0	-1462,31	1849,92	6958,38	-58863,28
4	0	-1420,53	1786,13	6718,37	-51779,32
5	0	-1379,94	1724,46	6486,40	-44948,40
6	0	-1340,52	1664,86	6262,21	-38361,85
7	0	-1302,22	1607,26	6045,52	-32011,28
8	0	-1265,01	1551,60	5836,11	-25888,58
9	0	-1228,87	1497,80	5633,73	-19985,93
11	0	-1193,76	1445,81	5438,15	-14295,73
12	0	-1159,65	1395,56	5249,14	-8810,67
13	0	-1126,52	1347,01	5066,50	-3523,68
14	0	-1094,33	1300,09	4890,01	1572,10
15	0	-1063,06	1254,76	4719,47	6483,26
16	0	-1032,69	1210,95	4554,68	11216,21

Iz tablice se jasno vidi da se ova investicija isplati tijekom 14-te godine, a nakon toga moguće je krenuti zarađivati na godišnjoj razini. Također program izrađuje graf tijeka novca, ali radi ljepšeg prikaza on je izrađen u excel-u i prikazan na slici 5.20.



**Slika 5.20.** Tijek novca kroz razdoblje od 15 godina

Nakon troškovnika slijedi grafički dio prikaza situacije i dispozicije fotonaponskih modula, shema spajanja FN modula na izmjenjivače, shema potkonstrukcije, gromobranska instalacija, jednopolna shema spajanja FN nizova na izmjenjivače, te jednopolna i trolpolna shema elektrane. Kao prilog na kraju moguće je staviti specifikacije proizvođača za korištene module i izmjenjivače.

## 6. ZAKLJUČAK

Sve većim razvojem i upotrebom tehnologija fotonaponskih sustava došlo je do smanjenja cijena investicija u ovakve sustave. Kao posljedica toga vidljiv je sve veći broj fotonaponskih elektrana na krovovima kuća, zgrada, industrijskih postrojenja, ali čak i na površinama koje ne koriste postojeće objekte nego se posebno prilagođavaju kako bi iskoristili sunčevo zračenje za proizvodnju električne energije.

Zadatak ovoga rada bio je prikazati postupak s kojim se suočava projektant nakon što investitor zatraži izgradnju fotonaponskog sustava. Korišten je glavni projekt postojećeg fotonaponskog sustava na krovu sportske dvorane osnovne škole u Đurđevcu prema kojemu je napravljena i njegova simulacija u programskom paketu PV\*SOL.

Teorijski dio rada opisuje energiju sunčevog zračenja te njenu pretvorbu u električnu energiju, vrste fotonaponskih modula i sustava te načine montiranja i konfiguracije modula. Također je dan opis postupka dimenzioniranja potrebnih elemenata elektrane te opis izvođenja sustava zaštite i uzemljenja. Nakon toga slijedi opis postupka projektiranja elektrane od same ideje do realizacije projekta i puštanja elektrane u pogon, sa naglaskom na elemente glavnog projekta kojeg izrađuje projektant.

U praktičnom dijelu rada je napravljen glavni projekt fotonaponskog sustava na krovu sportske dvorane osnovne škole u Đurđevcu, zajedno sa svim elementima koje on treba sadržavati. Također je napravljena i simulacija rada te elektrane u programskom paketu PV\*SOL sa jasno prikazanim koracima koje je potrebno proći da bi se došlo do analize rezultata. Kod analize rezultata prikazana je proizvodnja električne energije po mjesecima te koji dio te energije se troši za vlastite potrebe, a koji predaje u mrežu. Nakon toga se na osnovu cijene investicije i godišnje uštede izračuna koliko je godina potrebno da se ona isplati. U ovom slučaju vrijeme povrata investicije je nešto duže zbog lošega faktora istovremenosti, odnosno ne poklapaju se vremena najveće proizvodnje i potrošnje, osobito u ljetnim mjesecima gdje čak imamo razdoblja najmanje potrošnje i najveće proizvodnje što nikako nije dobro za povrat investicije. Najbolji slučaj, odnosno najveća ušteda, bi bila ostvarena kada bi se maksimalno smanjila potreba za preuzimanjem energije iz mreže jer to i je energija koju kupac najviše plaća.

## LITERATURA

[1] Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu, dostupno na:

[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Pristup\\_mrezi/Pravila\\_o\\_priključenju\\_na\\_distribucijsku\\_mrežu\\_%202021\\_final.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Pristup_mrezi/Pravila_o_priključenju_na_distribucijsku_mrežu_%202021_final.pdf) [15.6.2023.]

[2] Izrada aplikacije za periodičko prikupljanje metereoloških podataka, završni rad, Jan Bernašek, dostupno na:

[https://www.bib.irb.hr/687554/download/687554.završni\\_jan\\_bernasek.pdf](https://www.bib.irb.hr/687554/download/687554.završni_jan_bernasek.pdf) [10.5.2023.]

[3] Renewable Energy, dostupno na:

[http://www.kimiagaranenergy.com/Free\\_Download/Renewable\\_Energy/Book\\_PV\\_1.pdf](http://www.kimiagaranenergy.com/Free_Download/Renewable_Energy/Book_PV_1.pdf)  
[15.5.2023.]

[4] Zdeslav Matic: "Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb 2007. [15.5.2023.]

[5] Boris Labudović: "Osnove primjene fotonaponskih sustava", Energetika marketing, Zagreb 2011. [15.5.2023.]

[6] PVGroup, Photovoltaic power plants, dostupno na: <https://pvgroup.pl/en/index.php/product-category/photovoltaic-power-plants/> [15.5.2023.]

[7] <https://www.viessmann.hr/hr/stambene-zgrade/fotonapon.html> [15.5.2023.]

[8] Technical Application Papers No.10, dostupno na:

<https://library.e.abb.com/public/9b867d77d5e0da7fc1257ca60057221b/QT10%20EN%202013.pdf> [21.06.2023.]

[9] Sino Voltaics, mikromorfna ćelija, dostupno na: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/the-micromorph-cell/> [15.04.2023]

[10] Solar Shop, solarno navodnjavanje, dostupno na:

<https://www.solarno.hr/katalog/proizvod/SOL-PUMP/solarno-navodnjavanje-9kw-pedrollo>  
[15.04.2023]

[11] Solar Projekt, mrežni fotonaponski sustavi, dostupno na:

<http://solarprojekt.hr/usluge/fotonaponski-sustavi/mrežni-fn-sustavi-2/> [15.04.2023]



- [12]Solektra, neintegrirane sunčane elektrane, dostupno na: <https://solektra.hr/portfolio-category/neintegrirane-suncane-elektrane/> [24.04.2023]
- [13]<https://solarnipaneli.energy/> [20.04.2023]
- [14]Wind&Sun, PV mounting structures, dostupno na: <http://www.windandsun.co.uk/products/PV-Mounting-Structures/GSE-Integration-Roof-Integrated#.ZFS-8XZBw2w> [29.04.2023]
- [15]Na sunčanoj strani, proces realizacije solarne elektrane, dostupno na: <https://nasuncanojstrani.hr/proces-realizacije-solarne-elektrane/projekt-solarne-elektrane/> [21.05.2023]
- [16] Kopija katastarskog plana i izvadak iz zemljišne knjige, dostupno na: [https://www.lemax.hr/hr/vazno\\_je\\_znati/](https://www.lemax.hr/hr/vazno_je_znati/) [22.05.2023]
- [17]Državna geodetska uprava, dostupno na: <https://oss.uredjenazemlja.hr/public-services/search-cad-parcel> [19.05.2023]
- [18]NN 112/2017, Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_11\\_112\\_2625.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_11_112_2625.html)[23.05.2023]
- [19]Metodologija izračuna i iskazivanja ušteda i ostalih sastavnica projekta, dostupno na: <https://esavjetovanja.gov.hr/Documents/Download?documentId=14088> [24.05.2023.]
- [20] <https://www.zgradonacelnik.hr/> [24.05.2023]

## SAŽETAK

Globalno gledajući, smanjenje emisija stakleničkih plinova i onečišćavajućih supstanci postalo je jedan od ciljeva koji je od iznimne važnosti u pogledu zaštite okoliša. Taj cilj moguće je postići upotrebom obnovljivih izvora energije koji bi zamijenili ili bar smanjili upotrebu sustava na fosilna goriva, koji osim što su veliki zagađivači, također nailaze na problem sa nestašicom resursa obzirom da ih neke države masovno iskorištavaju. Fotonaponski sustavi obećavaju obzirom na kvalitetu sustava, smanjenje investicijskih troškova i relativno male potrebe za održavanjem, pouzdani su, ne proizvode buku i prilično su jednostavni za postavljanje. Cilj rada bio je ukratko objasniti dijelove i vrste fotonaponskih sustava i modula te proći postupak s kojim se suočava svaki projektant tijekom projektiranja jednog takvog postrojenja. Ishođenje potrebnih dozvola, komunikacija sa investitorom, odabir opreme, procjena troškova i slično. Prema dostupnom glavnom projektu u programu PV\*SOL simuliran je rad elektrane na krovu sportske dvorane osnovne škole u Đurđevcu. Instalirana snaga fotonaponskih modula je 70,52 kW, a moduli se raspoređuju u stringove koji se onda spajaju na dva izmjenjivača. Na kraju je na osnovu troškova investicije i predviđenih godišnjih ušteda bilo potrebno izračunati vrijeme povrata investicije.

**Ključne riječi:** fotonaponski sustav, električna energija, projektiranje, glavni projekt

## **ABSTRACT**

Globally, reducing the emission of greenhouse gases and pollutants has become one of the goals that is extremely important in terms of environmental protection. This goal can be achieved by the use of renewable energy sources that would replace or at least reduce the use of fossil fuel systems, which, in addition to being major polluters, also face the problem of resource scarcity, given that some countries exploit them massively. Photovoltaic systems are promising in terms of system quality, reduction of investment costs and relatively low maintenance requirements, they are reliable, do not produce noise and are quite easy to install. The aim of the work was to briefly explain the parts and types of photovoltaic systems and modules and to go through the procedure that every designer faces during the design of such a plant. Obtaining the necessary permits, communication with the investor, selection of equipment, cost estimation and similar things. According to the main project available in the PV\*SOL program, the operation of the power plant on the roof of the sports hall of the elementary school in Đurđevac was simulated. The installed power of the photovoltaic modules is 70.5 kW, and the modules are arranged in strings which are then connected to two izmjenjivačs. In the end, it was necessary to calculate the investment payback time based on investment costs and anticipated annual savings.

**Keywords:** photovoltaic system, electrical energy, designing, main project

## ŽIVOTOPIS

Autor ovog predloška, univ.bacc.ing.el. Mario Antunović, je student završne godine diplomskog studija na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Rođen 27.kolovoza 1998. godine u Vinkovcima, a obrazovanje započinje u Osnovnoj školi Stjepana Antolovića u Privlaci. Nakon toga upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima, smjer elektrotehničar. Po završetku srednje škole upisuje preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku gdje se na drugoj godini opredjeljuje na smjer elektroenergetike. Preddiplomski studij završava izradom rada pod nazivom „Energetske karakteristike različitih tehnologija pohrane električne energije“ nakon čega upisuje diplomski studij Održiva energetika. Stručnu praksu koja je dio diplomskog studija odrađuje u poduzeću Nova Lux d.o.o. koje se bavi projektiranjem električnih instalacija i rasvjete, gdje se zadržao i nakon prakse, a prije toga se bavio izvođenjem radova električnih instalacija. Nakon položenih ispita na posljednjoj godini diplomskog studija, odlučuje upisati apsolventsku godinu kako bi odradio stručnu praksu u okviru ERASMUS+ programa mobilnosti studenata. Stručnu praksu odrađuje u tvrtki Infineon Technologies AT u mjestu Villach gdje radi kao Post Silicon Validation inženjer na Clock/Highspeed sustavima.

---

Potpis autora