

Projektiranje fotonaponskih sustava kupaca s vlastitom proizvodnjom

Knežević, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:200:399608>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**

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 fotonaponskih sustava kupaca s vlastitom
proizvodnjom**

Diplomski rad

Tomislav Knežević

Osijek, 2024

Obrazac D1: Obrazac za ocjenu diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju

Ocjena diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju

Ime i prezime pristupnika:	Tomislav Knežević
Studij, smjer:	Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Elektroenergetika
Mat. br. pristupnika, god.	D-1460, 07.10.2022.
JMBAG:	0165083079
Mentor:	prof. dr. sc. Damir Šljivac
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	Jelena Jelečanin, dipl.ing.
Predsjednik Povjerenstva:	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Član Povjerenstva 1:	prof. dr. sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva 2:	dr. sc. Matej Žnidarec
Naslov diplomskog rada:	Projektiranje fotonaponskih sustava kupaca s vlastitom proizvodnjom
Znanstvena grana diplomskog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Dati pregled postupaka projektiranja i instaliranja dostupnih tehnologija fotonaponskih sustava. Sumentor iz gospodarstva: Jelena Jelečanin, JET d.o.o.
Datum ocjene pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora:	06.09.2024.
Ocjena pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum obrane diplomskog rada:	16.09.2024.
Ocjena usmenog dijela diplomskog rada (obrane):	Izvrstan (5)
Ukupna ocjena diplomskog rada:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije diplomskog rada čime je pristupnik završio sveučilišni diplomski studij:	18.09.2024.



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 18.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Tomislav Knežević
Studij:	Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Elektroenergetika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	D-1460, 07.10.2022.
Turnitin podudaranje [%]:	6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje fotonaponskih sustava kupaca s vlastitom proizvodnjom**

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

i sumentora

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 pristupnika:

Sadržaj

1. UVOD	1
2. ENERGIJA SUNCA I FOTONAPONSKA ČELIJA	2
2.1. Energija Sunca	2
2.2. Fotonaponska ćelija	2
2.2.1. Struktura fotonaponske ćelije	2
2.2.2. Nadomjesna shema fotonaponske ćelije	3
2.2.3. Strujno naponska karakteristika FN ćelije	4
2.2.4. Tehnološki pravci FN ćelije	6
3. FOTONAPONSKI MODULI I FOTONAPONSKI SUSTAVI	7
3.1. Fotonaponski moduli	7
3.2. Fotonaponski sustavi (elektrane)	8
3.2.1. Mrežni (on grid) sustav	9
3.2.2. Otočni (autonomni) sustavi	10
3.2.3. Hibridni FN sustav	11
4. POSTUPAK PROJEKTIRANJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE	12
4.1. Dogovor s investitorom	12
4.2. Istraživanje lokacije	14
4.3. Dokumentacija građevine	16
4.4. Postupak priključenja kupca s vlastitom proizvodnjom	19
4.4.1. Pokretanje postupka priključenja	19
4.4.2. Postupak priključenja kupca s vlastitom proizvodnjom	19
4.4.3. Postupak ishođenja EES	23
4.4.4. Potvrda glavnog projekta	24
4.5. Postavljanje fotonaponskih modula na krov	24
4.6. Nizovi (stringovi)	41
4.7. Zaštita od udara groma	48
4.8. Dimenzioniranje AC niskonaponskog mrežnog kabela i opreme	49
5. ODRŽAVANJE I ISPLATIVOST FOTONAPONSKE ELEKTRANE	52
6. ZAKLJUČAK	54
LITERATURA	55

SAŽETAK.....	57
ABSTRACT	57
ŽIVOTOPIS.....	58

1. UVOD

U ovom diplomskom radu obrađena je tema Projektiranje fotonaponskih sustava kupac s vlastitom proizvodnjom. Ova tema razrađena je unutar sedam poglavlja. Prva četiri poglavlja koja prethode Postupku projektiranja fotonaponske elektrane upoznaju čitatelja s osnovnim informacijama vezanim uz energiju Sunca i fotonaponske sustave. U prvom poglavlju opisano je Sunce kao jedan od najvažnijih izvora energije. Drugo poglavlje odnosi se na fotonaponske ćelije. U ovome poglavlju opisana je struktura fotonaponske ćelije, prikazana je nadomjesna shema fotonaponske ćelije, strujno naponska karakteristika i tehnološki pravci. Nakon poglavlja koje opisuje fotonaponsku ćeliju slijedi poglavlje vezano uz fotonaponske module. U ovom poglavlju opisani su načini spajanja modula, U-I karakteristika modula te tehničke karakteristike modula. Poglavlje koje slijedi nakon fotonaponskih modula odnosi se na fotonaponske sustave. Ovo poglavlje podijeljeno je na tri potpoglavlja u kojima su opisana tri oblika fotonaponskih sustava, a to su: mrežni sustav, otočni sustav i hibridni sustav. Nakon prethodno spomenutih poglavlja koja daju osnovne informacije o fotonaponskom sustavu slijedi poglavlje u kojem je opisan postupak projektiranja fotonaponske elektrane. Ovo poglavlje sastoji se od osam potpoglavlja u kojima je opisan svaki korak koji je potrebno provesti prilikom projektiranja fotonaponske elektrane. U ovom poglavlju naznačena je važnost svakog koraka od samog dogovora s investitorom i poznavanja zakona i potrebne dokumentacije do postavljanja fotonaponskih modula na krov i zaštita od udara groma. Nakon poglavlja vezanog uz projektiranje fotonaponske elektrane slijedi poglavlje o održavanju i isplativosti fotonaponske elektrane. Ovo poglavlje sadrži osnovne aktivnosti vezane uz održavanje i analizu godišnje potrošnje prije izgradnje i nakon izgradnje fotonaponske elektrane. Zadnje poglavlje predstavlja zaključak u kojem je sažet cilj diplomskog rada i doneseni ključni zaključci. Postupak projektiranja fotonaponske elektrane potkrijepljen je primjerom. U ovom radu opisan je postupak projektiranja fotonaponske elektrane kupac s vlastitom proizvodnjom na krovu tvrtke Jet Osijek, snage 49,99 kW. Tijekom izrade ovog rada koristili su se programi AutoCAD i K2 System Base.

1.1 Zadatak diplomskog rada

Zadatak diplomskog rada je opisati fotonaponske tehnologije, opisati postupak projektiranja fotonaponske elektrane, te postupak potkrijepiti primjerom. U radu je opisan postupak projektiranja fotonaponske elektrane koja se nalazi na krovu tvrtke Jet Osijek, snage 49,99 kW. Tijekom izrade diplomskog rada korišteni su programski softveri AutoCAD i K2 System Base.

2. ENERGIJA SUNCA I FOTONAPONSKA ČELIJA

2.1. Energija Sunca

Kada se pogleda kroz povijest, čovječanstvo je oduvijek bilo ovisno o različitim izvorima energije. Dolaskom industrijske revolucije u 18. stoljeću dolazi do značajnih promjena u tehnologiji, društvu, ekonomiji. Tada je potreba za izvorima energije drastično porasla, a najzastupljeniji izvor energije bio je ugljen. Nedostatak takvog oblika energije je njihova ograničenost zaliha, te negativan ekološki utjecaj. Razvojem svijesti o važnosti zdravlja Zemlje, shvatila se važnost i mogućnost obnovljivih izvora energije. Uz energiju vjetra, vode, biomase i geotermalnu energiju najvažniju ulogu i najveći potencijal ima Sunčeva energija. Sunce predstavlja glavni izvor za gotovo sve raspoložive energije na Zemlji. Njegova masa je najvećim dijelom sastavljena od vodika i helija. U unutrašnjosti Sunca, vodik se kroz nuklearne fuzijske reakcije pretvara u helij, pri tome se oslobađaju velike količine energije. Unutar same jezgre Sunca temperatura premašuje 15 000 000 K, dok je na površini temperatura oko 6000 K. Energija Sunca ima najveći potencijal zato što Zemlja primi nekoliko tisuća puta više energije od Sunca nego što je ukupna potrošna na Zemlji. Ovdje je važno naglasiti da ova energija dolazi besplatno, bez potreba transporta i eksploatacije kao što je potrebno kod fosilnih goriva. Nedostatak Sunčeve energije je što nema kontinuirano zračenje na Zemlji, nego ovisi o godišnjem dobu i dobu dana. Pohrana veće količine energije još uvijek predstavlja problem i iziskuje visoke troškove, tako da ovaj izvor energije još uvijek ne može opstati bez drugih oblika.

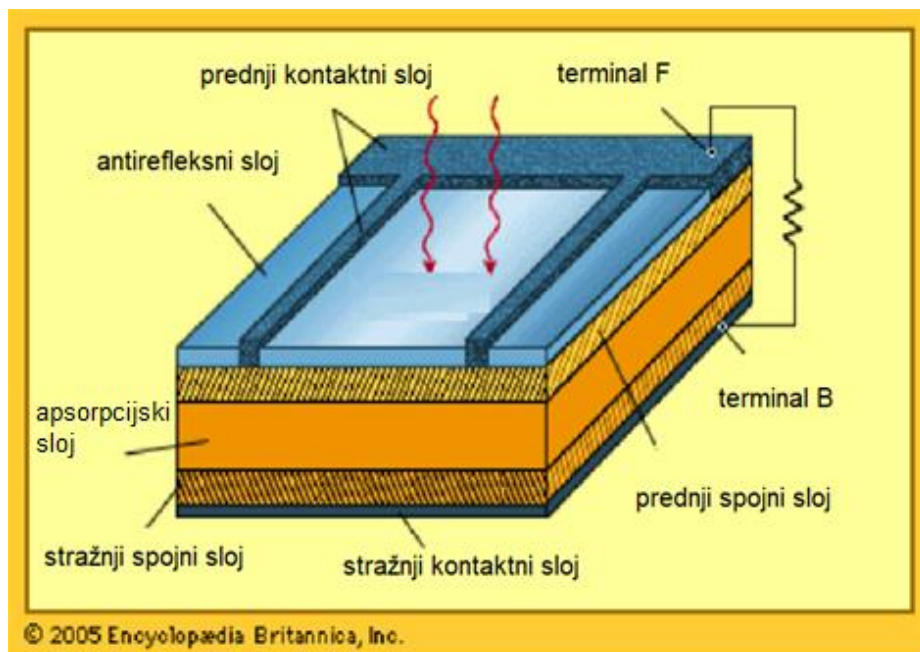
2.2. Fotonaponska ćelija

Fotonaponska ćelija predstavlja uređaj koji izravno pretvara energiju Sunca u električnu energiju kroz fotonaponski efekt.

2.2.1. Struktura fotonaponske ćelije

Na Slici 2.1. možemo vidjeti strukturu fotonaponske ćelije. Svjetlost ulazi kroz antirefleksni sloj koji smanjuje gubitak svjetlosti refleksijom. Energija se kroz antirefleksni sloj prenosi do slojeva za pretvorbu energije, a to su: apsorpcijski sloj, prednji spojni sloj i stražnji spojni sloj. Osim slojeva za pretvorbu energije koji čine jezgru fotonaponske ćelije potrebna su i dva kontaktna sloja koji će omogućiti zatvaranje električnog kruga, tako što odvede električnu struju do vanjskog opterećenja i nazad ponovno do ćelije. Kada svjetlost pada na solarnu ćeliju, atomi u

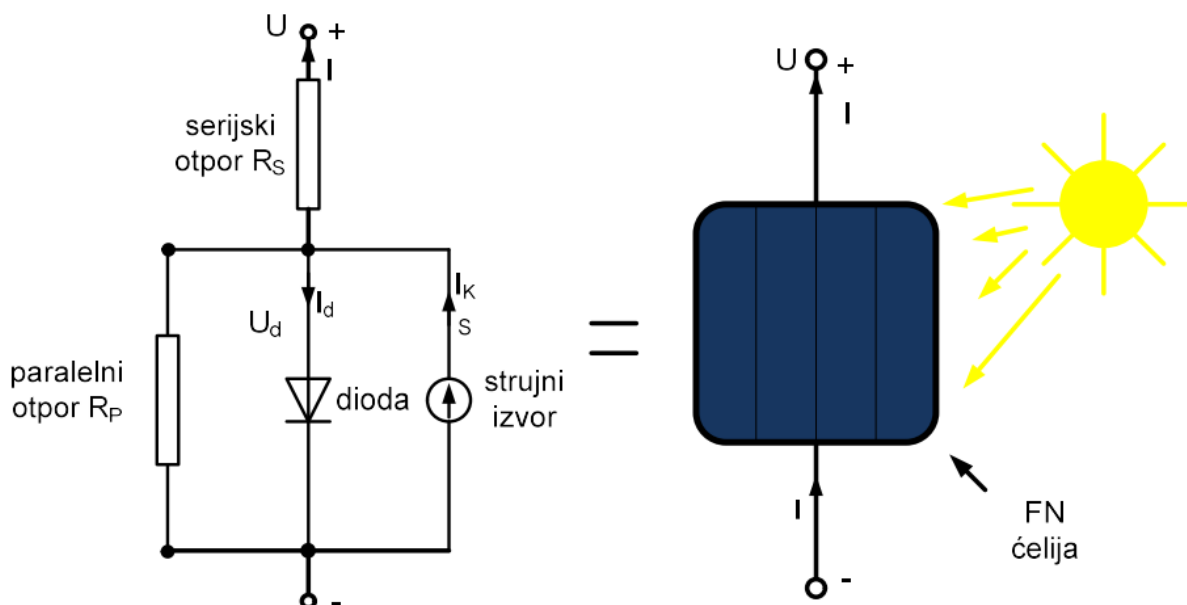
apsorpcijskom sloju se pobuđuju, to jest prelaze iz nižeg energetskog stanja u pobuđeno stanje, u kojem se mogu kretati kroz čvrste materijale. Spojni slojevi su važni jer induciraju električno polje koje stvara fotonaponski učinak. U nedostatku spojnih slojeva javlja se neusmjereno gibanje slobodnih elektrona što rezultira nemogućnosti postojanja usmjerene istosmjerne struje. Kako bi se proizvelo ugrađeno električno polje i omogućio prijenos električne struje spojni slojevi moraju biti različitog materijala u odnosu na apsorpcijski sloj. Najčešće se rade od poluvodički materijala. [1]



Slika 2.1. *Struktura fotonaponske ćelija [1]*

2.2.2. Nadomjesna shema fotonaponske ćelije

Za fotonaponsku ćeliju se može reći da se radi o realnom strujnom izvoru. Slika 2.2. prikazuje nadomjesnu shemu FN ćelije koja se sastoji od: strujnog izvora, diode, paralelnog otpora R_p i serijskog otpora R_s .



Slika 2.2. Nadomjesna shema fotonaponske ćelije [2]

Na osnovu nadomjesne sheme može se napisati formula za izlaznu struju I . Ona je jednaka fotostruji (I_{fs}) umanjenoj za struju kroz diodu i struju koja teče kroz paralelni otpor.

$$I = I_{fs} - I_d - I_p = I_{fs} - I_0 \left[e^{\frac{e(U+IR_S)}{mkT}} - 1 \right] - \frac{U}{R_P} \quad (2-1)$$

Kako je paralelni otpor velik, struja I_p može se zanemariti. Zbog toga vrijedi sljedeće:

$$I = I_{fs} - I_0 \left[e^{\frac{e(U+IR_S)}{mkT}} - 1 \right] \quad (2-2)$$

Serijski otpor predstavlja omski otpor kroz koji struja prolazi unutar ćelije i duž površine ćelije sve do vanjskih priključaka u krugu. Paralelni otpor ćelije proizlazi iz okolnih defekata u PN spoju. Idealna FN ćelija ima beskonačan paralelni otpor i nema serijskog otpora ($R_S = 0$ i $R_{Sh} = \infty$). [3]

2.2.3. Strujno naponska karakteristika FN ćelije

Strujno naponska karakteristika FN ćelije prikazan je na Slici 2.3. FN ćelija može se opisati pomoću:

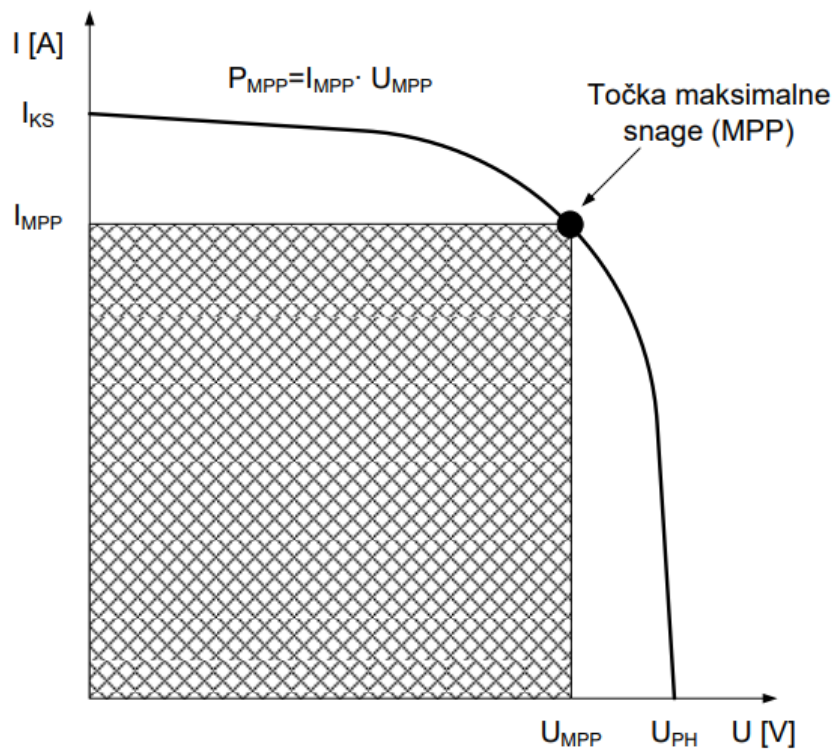
- struje kratkog spoja
- napona praznog hoda

- učinkovitosti
- faktora ispunje

Na karakteristici se mogu primijetiti tri točke, a to su:

1. točka kratkog spoja
2. točka praznog hoda
3. točka maksimalne snage

Na karakteristici postoje lijevo i desno prigušeno područje između kojih se nalazi pregibna točka. Ova točka je nestabilna i predstavlja točku maksimalne snage. Samo se u točki maksimalne snage postiže maksimalna snaga na trošilu. U prigušenim područjima ćelija se ponaša kao konstantan izvor struje ili kao konstantan izvor napona. [2]



Slika 2.3. *I-U karakteristika FN ćelije [2]*

2.2.4. Tehnološki pravci FN ćelije

Različite tehnologije FN ćelije međusobno se razlikuju po učinkovitosti i po troškovima izrade zbog različitih materijala korištenih pri izradi. Razlikuju se četiri tehnološka pravca FN ćelija, a to su:

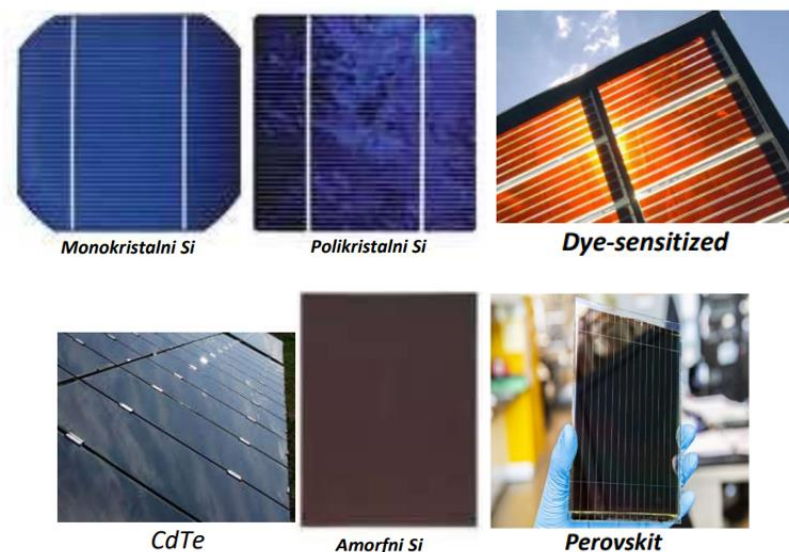
- Monokristalni i polikristalni Silicij
- Tanki filmovi
- Višeslojne ćelije
- Novi koncepti

Monokristalni silicij izrađen je od čistog poluvodičkog materijala. Učinkovitost monokristalnih ćelija doseže čak 21%. Napredovanjem tehnologije visoka cijena ove tehnologije značajno je snižena i postala je najzastupljenija.

Najčešće izvedbe tehnologije tankog filma su: amorfni Silicij, CI(G)S i CdTe. Ova izvedba ima manje troškove proizvodnje, ali i manju učinkovitost (od 4-11%) .

Višeslojne ćelije predstavljaju tehnologiju koja je još uvijek u razvoju. Teorijski trebale bi bit visoko učinkovite (25-45%), ali nedostatak je visoka cijena.

Novi koncepti predstavljaju tehnologije kojim bi dobili veću efikasnost uz niže troškove proizvodnje. Primjeri ovih tehnologija su: organske ćelije, termoelektrični uređaji, quantum dots. Odlikuje ih mala težina, fleksibilnost, sloboda boja itd. [3]



Slika 2.4. Primjeri FN tehnologija [3]

3. FOTONAPONSKI MODULI I FOTONAPONSKI SUSTAVI

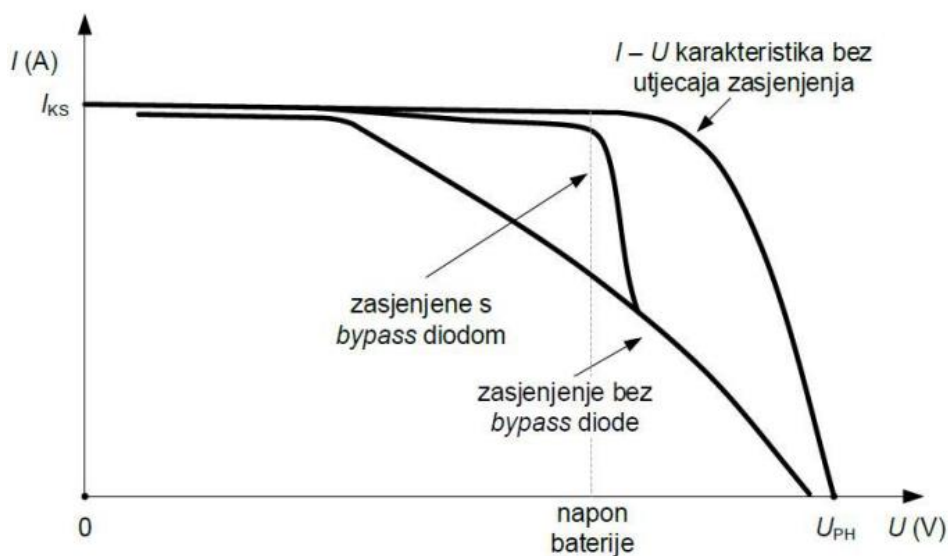
3.1. Fotonaponski moduli

Fotonaponski modul predstavlja komponentu fotonaponskog sustava kojeg čini niz međusobno povezanih fotonaponskih ćelija. Fotonaponski moduli mogu se međusobno povezati i tako čine niz ili string. Moduli se mogu spajati u seriju ili u paralelu. Spajanjem modula u paralelu postiže se veća vrijednost struje, a spajanjem u seriju veća vrijednost izlaznog napona. Karakteristike fotonaponskog modula uglavnom su preslike karakteristika fotonaponskih ćelija od kojih se modul sastoji. Tehničke karakteristike modula definiraju se za standardne testne uvijete (STC).

Standardni testni uvjeti (STC) podrazumijevaju:

- Sunčevo zračenje od 1 kW/m^2
- Temperatura modula od 25°C
- Spektar zračenja AM 1,5

Ukoliko dođe do zasjenjenja jedne od ćelija unutar modula to može rezultirati velikim gubitkom snage. Osim gubitka snage zasjenjenje ćelije može dovesti i do oštećenja modula zbog povećanja temperature. Kako bi se izbjegle ove pojave koriste se bypass diode. Bypass diode omogućuju da nezasjenjene ćelije neometano rade tako što dioda preusmjerava električnu struju preko zasjenjene ćelije i tako je zaobilazi. Slika 3.1. prikazuje I-U karakteristiku FN modula kada je prisutno zasjenjenje s bypass diodom i bez bypass diode. Može se vidjeti da bypass dioda značajno popravlja I-U karakteristiku približavajući je I-U karakteristici bez utjecaja zasjenjenja. [2]



Slika 3.1. U-I karakteristika FN modula [2]

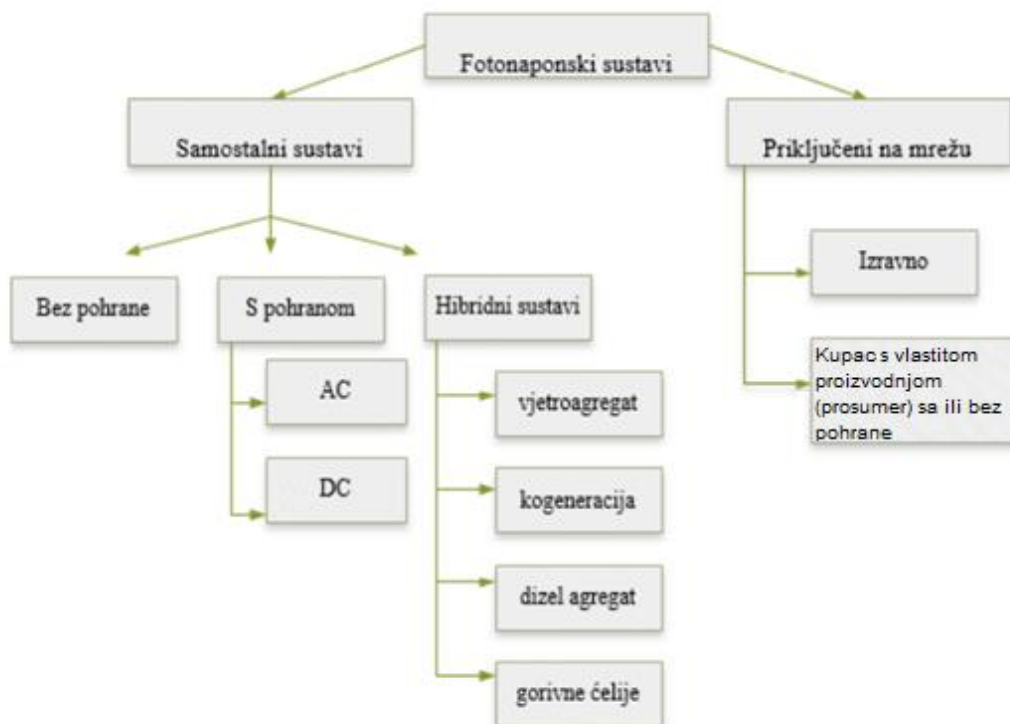
3.2. Fotonaponski sustavi (elektrane)

Fotonaponski sustav čini niz međusobno povezanih fotonaponskih modula zajedno sa dodatnim komponentama. Fotonaponski sustav ne čini sam niz fotonaponskih modula nego mora sadržavati dodatne komponente kao što su:

- Konstrukcija na koju se moduli postavljaju
- Uređaji za regulacije i tragač maksimalne snage
- Komponente za pohranu istosmjernje struje kao što su baterije (nije obavezno)
- Pretvarač

S obzirom na način rada FN sustavi se mogu podijeliti na:

- a) Otočni (samostalni, autonomni) FN sustavi (off grid)
- b) Sustavi koji su priključeni na mrežu – umreženi FN sustavi (on grid) [4]



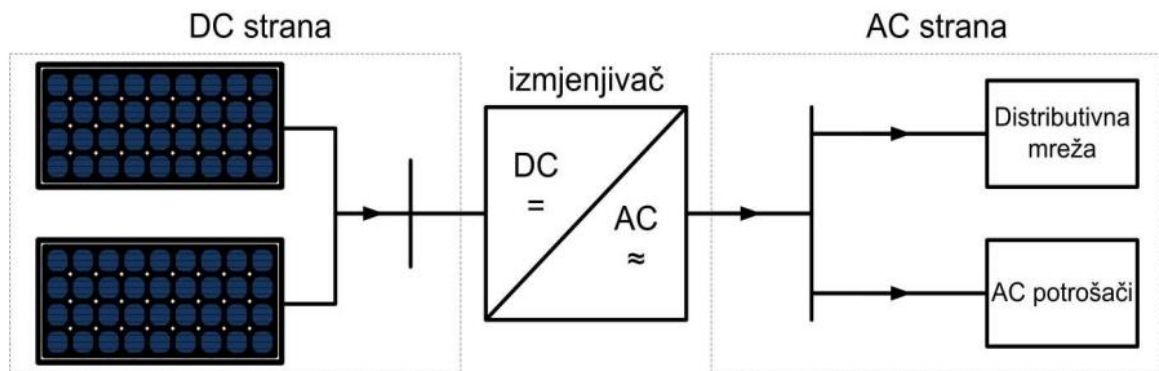
Slika 3.2. Osnovna podjela FN sustava [4]

3.2.1. Mrežni (on grid) sustav

Mrežnim sustavom ili umreženom elektranom smatra se ona elektrana koja je spojena na elektroenergetsku mrežu. U ovom slučaju komponente za pohranu električne energije nisu potrebne jer se sva proizvedena energije predaje u mrežu. U mrežu se predaje izmjenična struja, zbog toga je potreban izmjenjivač koji će istosmjernu struju pretvoriti u izmjeničnu.

S obzirom na broj izmjenjivača možemo razlikovati tri tipa mrežnih sustava:

1. Jedan izmjenjivač na cijeli sustav (centralni izmjenjivač)
2. Svaki FN niz ima po jedan izmjenjivač
3. Sustav s više izmjenjivača



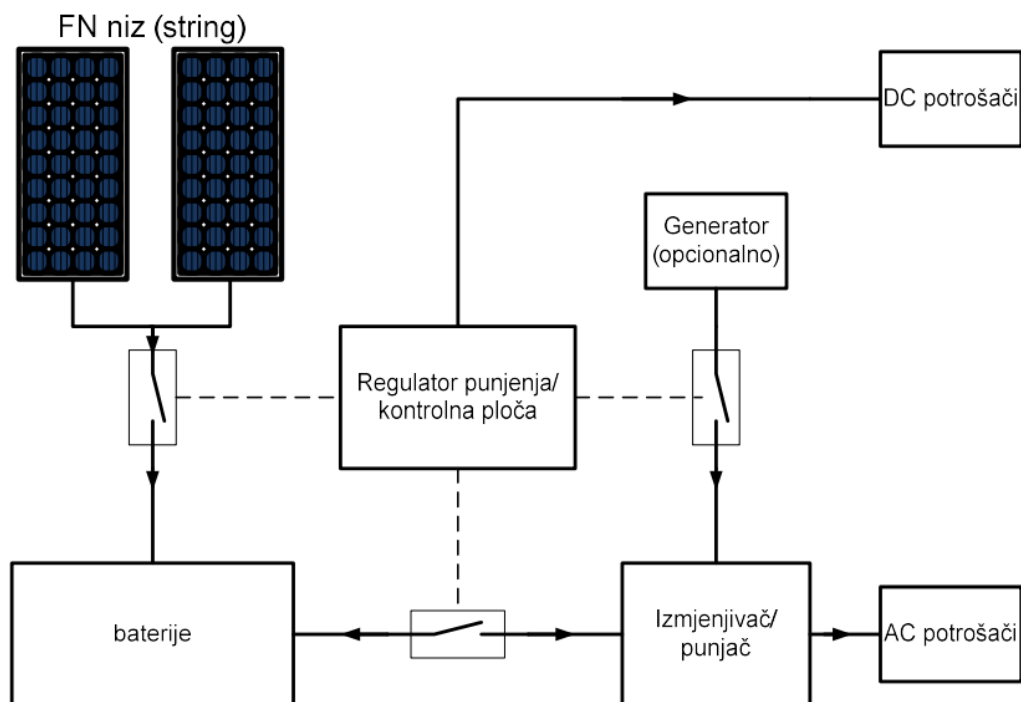
Slika 3.3. Shema umreženog sustava [3]

Ukoliko umreženi sustav posjeduje AC potrošače (vlastitu potrošnju) radi se o kupcu s vlastitom proizvodnjom, a ukoliko ne posjeduje AC potrošače radi se o fotonaponskoj elektrani.

Fotonaponski sustavi manjih snaga imaju najčešće jedan izmjenjivač na cijeli sustav. U ovom slučaju nizovi FN sustava moraju međusobno biti jednaki. Glavna prednost ovog tipa su niži troškovi izgradnje i održavanja. Ukoliko dođe do kvara na izmjenjivaču cijela elektrana je izvan pogona. Ovaj tip elektrane je također osjetljiviji na zasjenjenja. Kod fotonaponskih sustava srednjih snaga svaki FN niz ima vlastiti izmjenjivač. Kod ovog tipa FN sustava nizovi ne moraju biti međusobno jednaki. U ovom slučaju veća je pouzdanost i učinkovitost. Ako dođe do kvara jednog izmjenjivača ostatak elektrane radit će nesmetano. Sustav s više izmjenjivača koristi se kod FN sustava velikih snaga. Ova tip sastoji se od više potpolja i svako potpolje posjeduje jedan izmjenjivač. Prednost je također veća pouzdanost, jer u slučaju kvara na jednom od izmjenjivača neće raditi samo jedno potpolje, a ostatak elektrane radit će nesmetano. [2]

3.2.2. Otočni (autonomni) sustavi

Otočni fotonaponski sustavi su sustavi koji nisu spojeni na elektroenergetsku mrežu, nego samostalno pokrivaju cjelokupnu potrošnju potrošača. Sunčeva energije u potpunosti ovisi o dobu dana i dobu godine, zbog toga je u ovom slučaju neophodno imati komponente za pohranu energije. Tijekom sunčanih sati kada se javlja višak proizvedene električne energije ista se pohranjuje u baterije i troši u razdobljima kada nema proizvodnje. Ukoliko otočna FN elektrana nema komponentu za pohranu električne energije, tada potrošači troše električnu energiju samo onda kada je prisutna proizvodnja, tj. kada je ona dostupna. [2]



Slika 3.4. Shema otočnog FN sustava [3]

Osim komponenti za pohranu energije, otočni FN sustav sadrži:

- regulator punjenja - uređaj koji regulira punjenje i pražnjenje baterije. To je najčešće istosmjerni pretvarač napona. On sprječava prekomjerno punjenje i pražnjenje baterija čime produžava njihov životni vijek.
- MPPT - tragač maksimalne snage- ovaj uređaj (istosmjerni pretvarač napona) služi kako bi se optimizirala proizvodnja u FN sustavima. Nastoji povećati izlaznu snagu tako što vrši promjene napona i struje.

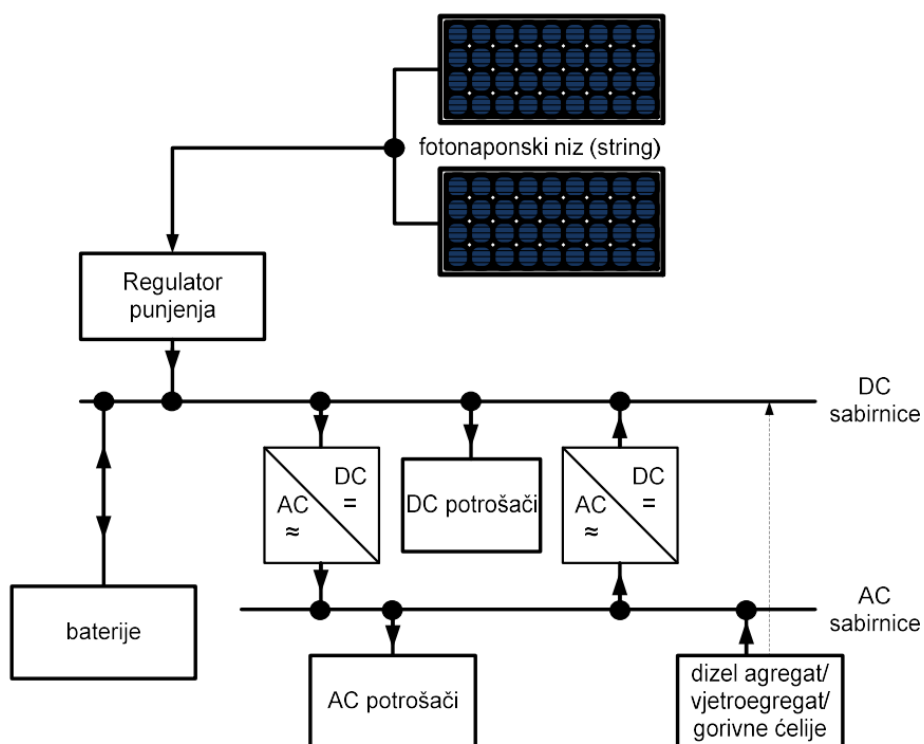
- Kontrolna ploča – služi za nadzor i upravljanje. Prikuplja sve potrebne signale i podatke, te kontrolira rad pojedinih komponenti. [2]

3.2.3. Hibridni FN sustav

Problem visoke cijene komponenti za pohranu energije može se riješiti pomoću hibridnog sustava. Ovaj sustav je otočni fotonaponski sustav s dodatnim izvorom energije. Hibridni sustavi za cilj imaju povećati pouzdanost opskrbe električnom energijom i smanjiti ukupne troškove. [2]

Kao dodatni izvori energije najčešće se koriste:

- vjetroagregati
- biodizel agregati
- gorivne ćelije



Slika 3.5. Shema hibridnog FN sustava [3]

Ukoliko je umjesto agregata sustav priključen na mrežu tada se radi o kupcu s vlastitom proizvodnjom.

4. POSTUPAK PROJEKTIRANJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE

Projektiranje fotonaponske elektrane je složen i zahtjevan proces koji se sastoji od niza koraka i analiza kako bi se što bolje iskoristile mogućnosti i zadovoljile željene potrebe. Ova postupak projektiranja ne zahtijeva samo znanje iz područja elektrotehnike nego i poznavanje i proučavanje zakon i dozvola, te poznavanje određenog dijela građevinskih zakona i dokumentacije. Projektiranjem fotonaponskih elektrana nastoje se što bolje zadovoljiti potrebe investitora, koji najčešće nije obučen u ovome području pa mu je potrebno predstaviti najbolje mogućnosti za njegove potrebe. U ovome radu opisan je postupak projektiranja fotonaponske elektrane na krovu tvrtke Jet Osijek, priključne snage 49,99 kW. U ovome slučaju stavlja se naglasak da se fotonaponska elektrana nalazi na krovu, zato što se postupak projektiranja elektrane koja se nalazi na tlu razlikuje od postupka projektiranja elektrane na krovu. Razlog tome je što se koristi drugačija oprema i drugačije ispitivanje lokacije.

4.1. Dogovor s investitorom

Projektiranje fotonaponske elektrane započinje dolaskom investitora koji želi napraviti fotonaponsku elektranu. Investitor je često osoba koja ne posjeduje znanja o fotonaponskim elektranama. Zbog toga je potrebno da stručne osobe zadužene za projektiranje elektrane predstavite najbolje mogućnosti za investitora. Razgovor s investitorom treba prilagoditi njegovoj razini znanja i prihvatiti ga kao partnera. Investitor najčešće dolazi s nizom pitanja koja podrazumijevaju od samog pojašnjenja fotonaponske elektrane do financijske isplativosti. Na sva pitanja potrebno je odgovoriti, te investitoru predstaviti neke realne vrijednosti i očekivanja. Glavni cilj je da investitor bude zadovoljan i da mu se ispune očekivanja.

Neka od pitanja koja investitori najčešće postavljaju:

- Kako funkcionira fotonaponska elektrana?
- Koliki su investicijski troškovi i za koliko se elektrana može isplatiti?
- Koliki je životni vijek opreme?
- Koje sve dokumente investitor treba pripremiti?
- Koliko dugo traje proces izgradnje elektrane?
- Da li je lokacija investitora zadovoljavajuća?
- Koliko električne energije može proizvesti tijekom jedne godine?
- Mogu li vremenski uvjeti poput tuče ili udara groma oštetiti opremu? [5]

Jedno je od najvažnijih pitanja želi li investitor elektranu koristiti za pokrivanje vlastitih potreba, a višak električne energije predati u mrežu ili želi svu proizvedenu električnu energiju predati u mrežu, odnosno biti proizvođač. Kupac s vlastitom proizvodnjom je korisnik mreže koji ima priključenu elektranu za vlastite potrebe unutar svoje instalacije, a višak proizvedene električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu. [6] Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, ukoliko kupac s vlastitom proizvodnjom ima viškove električne energije te zadovoljava propisane uvjete prema Članku 44. spomenutog Zakona, opskrbljivači su dužni te viškove električne energije preuzimati.

Uvjeti propisani Člankom 44. Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji koje kupac s vlastitom proizvodnjom mora zadovoljavati:

1. Imaju status povlaštenog proizvođača električne energije iz članka 21. ovog Zakona
2. Da su ostvarili pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu
3. Ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW
4. Priključna snaga u smjeru isporuke električne energije u mrežu ne prelazi priključnu snagu u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže.
5. Krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg kupuje električnu energiju od opskrbljivača. [7]

Ukoliko investitor želi napraviti fotonaponsku elektranu koja će pokrivati njegovu potrošnju, potrebno je napraviti analizu potrošnje. Najčešće se pravi analiza za 12 ili 24 mjeseca, tako što se mjeri količina potrošene električne energije za željeno razdoblje. Ovo je jako važno jer se mogu smanjiti investicijski troškovi tako što će se napraviti manja elektrana koja će zadovoljavati vlastite potrebe investitora i neće proizvoditi velike viškove koji se predaju u mrežu. Također možemo imati i suprotan slučaj u kojem ne možemo napraviti dovoljno veliku elektranu da u potpunosti pokriva našu potrošnju. Takav slučaj se najčešće javlja kada nemamo dovoljno prostora za postavljanje solarnih modula. U ovome radu obrađuje se oblik kupca s vlastitom proizvodnjom. Kao što je i prethodno objašnjeno i u slučaju obrađenom u ovome radu provedena je analiza potrošnje električne energije u razdoblju od 12 mjeseci. Slika 4.1. prikazuje energetska karticu za tvrtku JET za koju se planira projektiranje fotonaponske elektrane. Na osnovu dobivenih podataka o potrošnji analiziranih uz druge uvijete (dostupna površina za postavljanje modula, ovisnost o priključku...) priključna snaga naše elektrane iznosi 49,99 kW.

HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o. ELEKTROSLAVONIJA OSIJEK		Energetska kartica OSIJEK VINKOVAČKA CESTA 68 Ugovorni konto: 2,30E+09		Datum: 14.5.2024 Stranica: 1 Report: en_kartica							
JET OSIJEK		JET OSIJEK D.O.O.		OSIJEK, VINKOVAČKA CESTA 68		Snaga EES (kW): 29,9					
Godina	Mjesec	Od	Tarifni model	R1 (kWh)	R2 (kWh)	J1 (kVArh)	J2 (kVArh)	S1 (kW)	S2 (kW)	Omjer R1:R2	
2022	5	1.5.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	237,87	387,00	0,00	364,41	12,86	9,46	0,61	
2022	6	1.6.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	995,94	380,98	0,01	298,06	3,17	3,87	2,61	
2022	7	1.7.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	9.731,04	461,96	4,59	284,28	6,85	4,63	21,06	
2022	8	1.8.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	8.048,23	548,10	2,74	326,31	5,23	4,61	14,68	
2022	9	1.9.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	6.691,66	604,76	4,86	348,60	6,64	6,22	11,06	
2022	10	1.10.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	5.246,12	873,25	5,58	570,58	20,18	14,91	6,01	
2022	11	1.11.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	7.034,35	1.792,24	1,70	776,26	25,80	23,10	3,92	
2022	12	1.12.2022.	Poduzetništvo NN Crveni	1.908,24	2.353,36	0,92	987,42	30,35	23,50	0,81	
2023	1	1.1.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	8.709,74	3.474,84	1,33	1.104,60	41,58	35,46	2,51	
2023	2	1.2.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	6.579,62	2.671,12	12,38	439,60	37,02	36,51	2,46	
2023	3	1.3.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	7.630,13	2.319,70	20,37	329,43	32,89	35,82	3,29	
2023	4	1.4.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	8.848,08	1.187,03	10,03	276,94	27,74	31,62	7,45	
Ukupno mjerno mjesto				71.661,02	17.054,34	64,51	6.106,49	41,58	36,51		

Slika 4.1. Energetska kartica za 2022.-2023. godinu

4.2. Istraživanje lokacije

Lokacija na kojoj se gradi fotonaponska elektrana igra važnu ulogu. Zbog toga u postupku projektiranja fotonaponske elektrane potrebno je provesti različite analize i mjerenja vezana za promatranu lokaciju. Sunčevo zračenje razlikuje se za različita područja, ovisno o zemljopisnom položaju, klimatskim uvjetima, godišnjem dobu i dobu dana.

Pomoću softvera PV GIS mogu se dobiti podaci o Sunčevom zračenju gotovo za svaku geografsku lokaciju. Na osnovu tih podataka možemo izvršiti proračun potencijalne proizvodnje elektrane, te odabir najpovoljnije lokacije za postavljenje elektrane.

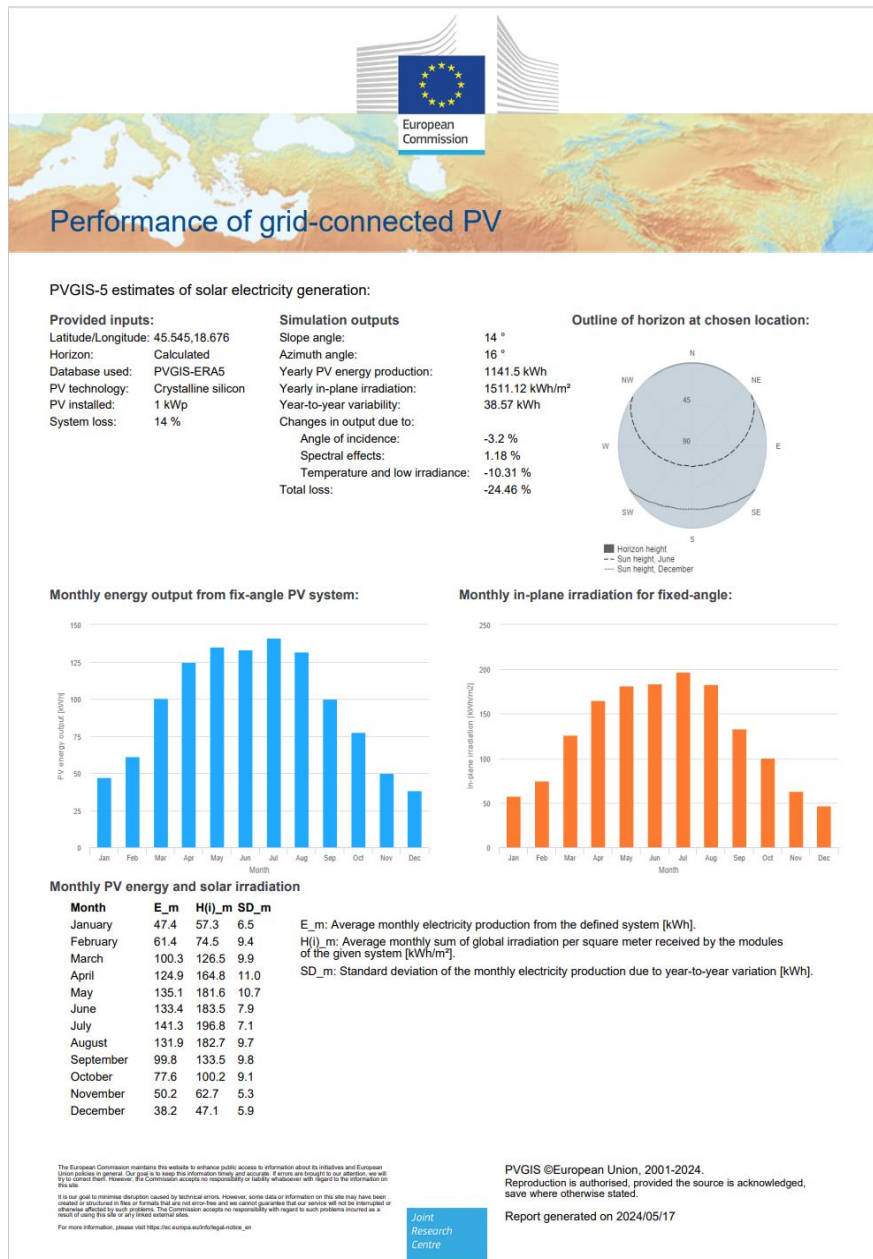
Ukoliko se fotonaponska elektrana radi na krovu građevine ne može se mnogo utjecati na lokaciju. Tada važnu ulogu igra položaj modula na krovu. Potrebno je fotonaponske module postaviti tako da su maksimalno izloženi Sunčevu zračenju tijekom cijelog dana. Ukoliko se građevina nalazi na sjevernoj hemisferi najbolja orijentacija solarnih modula je na jug, u suprotnom ukoliko se nalazi u južnoj hemisferi tada je najbolja orijentacija modula prema sjeveru. Također moguće je postaviti module istok-zapad, gdje u prijepodnevnim satima Sunčevo zračenje iskorištavaju istočno orijentirani moduli, a poslijepodnevno zračenje zapadno orijentirani moduli. Istok-zapad orijentirani fotonaponski moduli bolje iskorištavaju Sunčevo zračenje nego jug-sjever orijentirani moduli.

Kada se fotonaponska elektrana planira postaviti na krov građevine potrebno je poznavati podatke o građevini te okolini građevine. Važno je utvrditi da li neki od objekata stvara sjenu na krov što bi značajno utjecalo na proizvodnju i to je potrebno uzeti u obzir tijekom proračuna. Sjenu mogu stvarati dimnjaci, susjedne građevine, drveće, vodovi itd. Potrebno je uzeti u obzir da ljeti objekti imaju kraću sjenu, tako može postojati slučaj da tijekom ljeta nema zasjenjenja,

ali tijekom zime kada je Sunce niže stvara veću sjenu što može dovesti do zasjenjenja modula. Također fotonaponski moduli se ne smiju postavljati na građevine gdje lako može doći do požara ili eksplozije kao što su benzinske postaje, lakirnice itd. [5]

Kod postavljanja modula na krov važno je provjeriti stanje krova i njegovu nosivost. Treba uzeti u obzir, osim mase modula sa svojom konstrukcijom i masu snijega tijekom zimskog razdoblja koji se zadrži na modulima. Kako bismo bili sigurni poželjno je tražiti provjeru statike od strane inženjera građevine. Ukoliko su krovovi stari i ulegnuti potrebno ih je rekonstruirati. Fotonaponska elektrana čiji se postupak projektiranja opisuje u ovome radu smještena je na krov tvrtke JET Osijek. Na krovu tvrtke ne nalaze se objekti poput dimnjaka koji mogu uzrokovati zasjenjenje, također susjedne građevine ne stvaraju sjenu na krovu na kojem se planira postavljanje modula. Krov je dvostrani konstrukcije orijentiran istok-zapad, tako da će i fotonaponski moduli biti orijentirani istok-zapad.

Pomoću programa PV GIS analizirana je lokacija na kojoj se planira projektiranje fotonaponske elektrane. Kako bi se dobili izlazni podaci o količini Sunčevog zračenja potrebno je poznavati određene ulazne podatke. Lokacija se nalazi na adresi Vinkovačka cesta 68, Osijek. Osim same adrese lokacije važno je poznavati i nagib fotonaponskih modula te azimut. Azimut predstavlja kut između pravca prema kojem su orijentirani fotonaponski moduli i pravca prema jugu. Računa se u smjeru kazaljke na satu. Ukoliko su moduli orijentirani točno prema jugu azimut iznosi 0° , u suprotnom ako su orijentirani prema sjeveru azimut iznosi 180° . U ovom slučaju nagib FN modula određen je nagibom krova i iznosi 14° , a azimut 16° . Na Slici 4.2. mogu se vidjeti rezultati analize pomoću programa PV GIS-a. Rezultati analize su dva grafa, lijevi graf predstavlja mjesečnu proizvodnju energije iz fotonaponskog sustava sa zadanim fiksnim kutom, a desni graf predstavlja mjesečno Sunčevo zračenje u ravnini za zadani kut.



Slika 4.2. Podatci o Sunčevom zračenju dobiveni pomoću programa PV GIS [8]

4.3. Dokumentacija građevine

Nakon što se provela analiza lokacije na kojoj se gradi fotonaponska elektrana i utvrdilo da je na željenoj lokaciji moguće graditi elektranu, investitor je dužan priložiti svu potrebnu dokumentaciju o građevini.

Potrebna dokumentacija je:

- Dokument koji dokazuje legalnost građevine (građevinska dozvola)
- Zemljišnoknjižni (ZK) izvadak – dokazuje vlasništvo

- Tehnički crtež građevine
- Dokument o pravu služnosti (ukoliko je potrebno, kada se koristi tuđe zemljište, ali vlasnik zadržava vlasništvo nad zemljištem)
- Snaga priključka
- Fotografije građevine

Ukoliko investitor ne posjeduje neke od potrebnih dokumenata nije moguće graditi fotonaponsku elektranu.

Važno je provjeriti postojeći elektroenergetski priključak, jer snaga priključka fotonaponske elektrane ograničena je postojećom snagom priključka građevine na kojoj se elektrana gradi. Ukoliko je priključna snaga elektrane veća od priključne snage građevine tada imamo dva rješenja:

1. Povećanje priključne snage postojećeg korisnika mreže.
2. Optimizacija fotonaponske elektrane

Ukoliko nije moguće dobiti veću snagu priključka postojećeg korisnika i nije moguće dobiti novi priključak, tada je potrebno optimizirati fotonaponsku elektranu tako što će se smanjiti snaga elektrane. To se može postići smanjenjem broja instaliranih modula ili korištenjem učinkovitijih modula.

Dokumentaciju koju investitor priloži potrebno je provjeriti. Potrebno je provjeriti da li se građevinska dozvola odnosi na građevinu na kojoj se planira graditi elektrana, može se dogoditi da investitor priloži građevinsku dozvolu za drugu građevinu. Također je važno provjeriti dokumente o vlasništvu, ukoliko postoji više vlasnika potrebno je dostaviti i dokument o suglasnosti ostalih vlasnika o gradnji. Važno je obratiti pozornost da građevina nije objekt na kojem je zabranjeno vršiti dodatne radove poput gradnje fotonaponske elektrane. Ovakvi slučajevi mogu se dogoditi kada se planira graditi elektrana u užim gradskim centrima, zaštićenim građevinama, vjerskim objektima itd. U ovakvim slučajevima poželjno je konzultirati se sa inženjerom građevine. Potrebno je da investitor posjeduje sheme tlocrta građevine, uz to je potrebno dodatno provjeriti dimenzije kako bi se mogla odrediti dostupna površina na koju se postavljaju moduli. [5]

U slučaju elektrane koja se projektira na krovu tvrtke JET Osijek, investitor posjeduje svu potrebnu dokumentaciju o građevini. Građevina je u vlasništvu tvrtke i posjeduje građevinske dozvole. Također uz neophodnu dokumentaciju o građevini priložen je i tlocrt građevine sa prikazanim

potrebnim dimenzijama objekta, izrađen u programskom softveru AutoCAD-u. Na katastarskoj čestici na kojoj se nalazi građevina ne nalaze se druge građevine koje ne posjeduju građevinske dozvole. U suprotnom slučaju, da se na katastarskoj čestici nalaze objekti bez građevinske dozvole bili bismo spriječeni graditi elektranu na krovu građevine koja posjeduje građevinsku dozvolu, ali se nalazi na istoj katastarskoj čestici.

Jedan od najvažnijih dokumenata bez kojeg je nemoguće vršiti radove na građevini predstavlja uporabna dozvola. Prema Zakonu o gradnji, članak 136. (NN 20/17, 39/19): Izgrađena građevina, odnosno rekonstruirana građevina može se početi koristiti odnosno staviti u pogon te se može donijeti rješenje za obavljanje djelatnosti u toj građevini prema posebnom zakonu, nakon što se za tu građevinu izda uporabna dozvola, ako ovim ili posebnim zakonom nije propisano drugačije. [9]

Slika 4.3. prikazuje uporabnu dozvolu za građevinu na kojoj se vrši projektiranje fotonaponske elektrane. Građevinska dozvola je dokument na temelju kojeg može početi gradnja neke građevine, a uporabna dozvola predstavlja dokument na temelju kojeg se građevina može koristiti.



REPUBLIKA HRVATSKA
Osječko-baranjska županija
Grad Osijek
Upravni odjel za urbanizam

KLASA: UP/I-361-05/21-01/000175
URBROJ: 2158/01-12-00/05-22-0005
Osijek, 04.01.2022.

Osječko-baranjska županija, Grad Osijek, Upravni odjel za urbanizam, na temelju članka 99. stavka 1. Zakona o gradnji (Narodne novine, broj 153/13, 20/17, 39/19 i 125/19), rješavajući po zahtjevu koji je podnio investitor JET OSIJEK d.o.o., HR-31000 Osijek, Vinkovačka cesta 68, OIB 59858651270, izdaje

UPORABNU DOZVOLU

Dozvoljava se uporaba za:

- izvedenu rekonstrukciju građevine poslovne namjene, 2.b skupine - skladište

na postojećoj građevnoj čestici 9770/134 k.o. Osijek (Osijek, Vinkovačka 68), za koju je izdan izvršan akt za građenje građevine i to:

- Građevinska dozvola, KLASA: UP/I-361-03/19-01/000276, URBROJ: 2158/01-12-01/04-19-0019, od 18.10.2019. godine, izdana po Upravnom odjelu za urbanizam, izvršna dana 15.11.2019. godine.

Slika 4.3. Prikaz uporabne dozvole

4.4. Postupak priključenja kupca s vlastitom proizvodnjom

Prilikom povezivanja, istražuju se različite mogućnosti i opcije za izgradnju priključka. Definira se tehničko rješenje priključka te se ocjenjuju tehnički, ekonomski i ostali faktori koji utječu na priključenje građevine na mrežu. Također se analiziraju uvjeti izgradnje priključka i formiranja tehničkih parametara u mreži. U procesu priključenja primjenjuju se relativni propisi iz domene urbanističkog planiranja i graditeljstva. [11]

4.4.1. Pokretanje postupka priključenja

Proces priključenja pokreće se podnošenjem zahtjeva operatoru distribucijskog sustava.

Osobe ili subjekti koji mogu pokrenuti zahtjeve za postupak priključenja su:

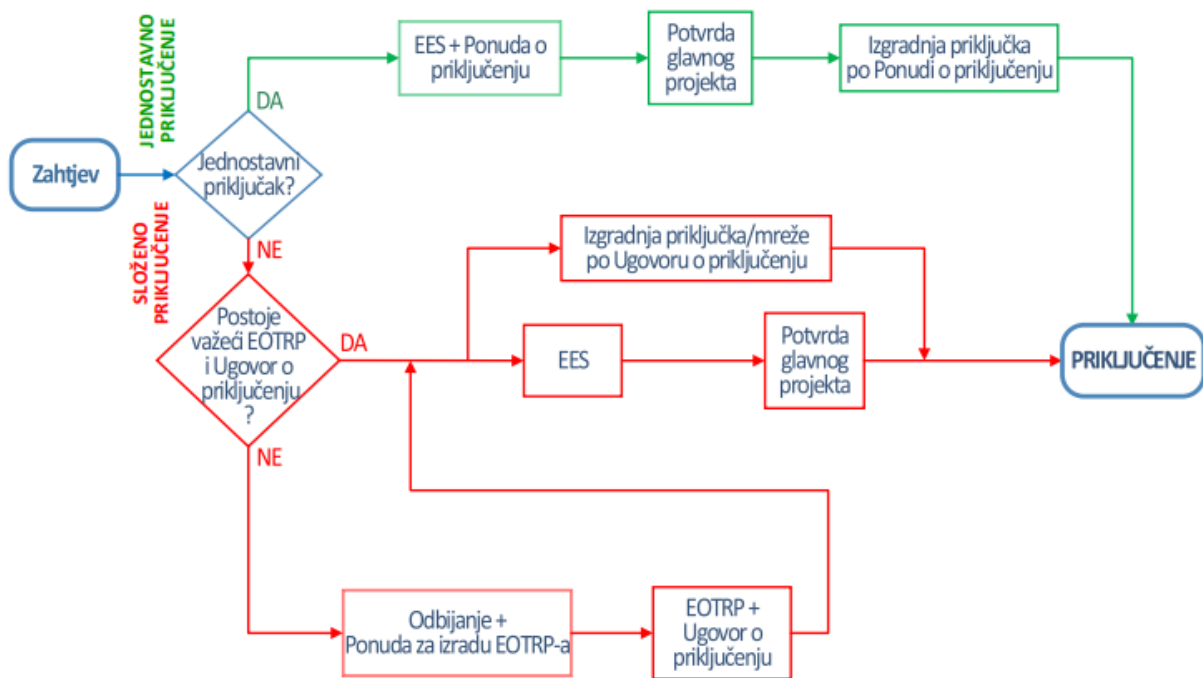
- Osoba koja gradi (investitor), sukladno propisima o urbanističkom planiranju i graditeljstvu, u slučaju kada se nova građevina priključuje.
- Osoba koja posjeduje građevinu ili ima druga stvarna prava, u situacijama kada se postojeća građevina priključuje, kada se povećava snaga priključka ili kada dolazi do promjena u postojećem priključku.

Osoba koja je odgovorna za projektiranje, kada se podnosi zahtjev, vrši određivanje posebnih uvjeta ili uvjeta priključenja s ciljem izrade idejnog ili glavnog projekta, prema propisima koji se odnose na urbanističko planiranje i gradnju. [11]

4.4.2. Postupak priključenja kupca s vlastitom proizvodnjom

Prema Članku 6 Pravilnika o priključenju na distribucijsku mrežu prvo je potrebno utvrditi složenost priključka za kupca s vlastitom proizvodnjom. Ovisno o stupnju složenosti, postupak priključka kupca s vlastitom proizvodnjom podijeljen je na dvije kategorije:

1. jednostavno priključenje
2. složeno priključenje

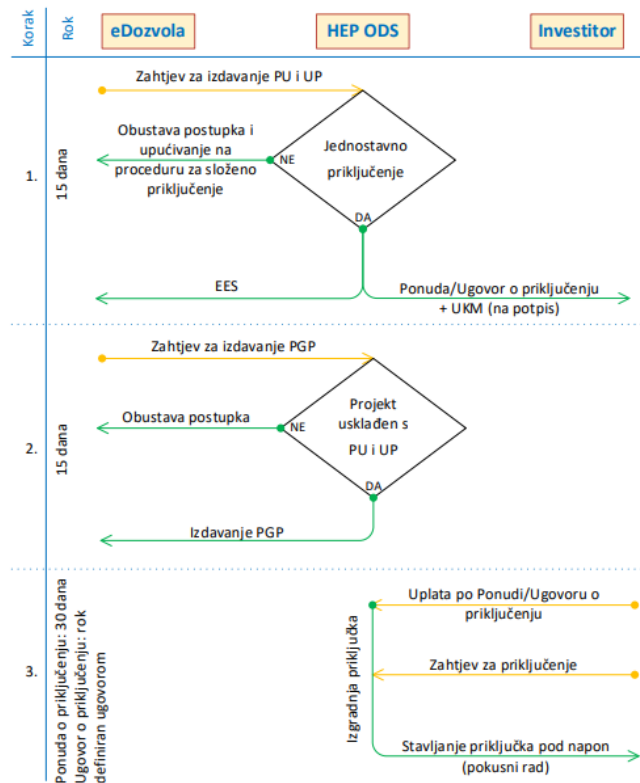


Slika 4.4. Shema vrsta priključaka za kupce s vlastitom proizvodnjom [11]

Nakon što operator distribucijskog sustava zaprimi zahtjev, on vrši procjenu složenosti procesa priključka kupca s vlastitom proizvodnjom. Ukoliko se može provesti jednostavni postupak priključka operator predstavlja ponudu investitoru. U suprotnom, ukoliko nije moguće provesti jednostavni priključak operator obija zahtjev uz prikazane razloge obijanja. Operator ukazuje na potrebu složenog priključka te istovremeno dostavlja i ponudu za izradu EOTRP-a investitoru. Iznimka je ukoliko se potrebni tehnički uvjeti odnose samo na niskonaponsku mrežu ili ovise o izgradnji trafostanici SN/NN koje je u procesu izgradnje, uz propisane uvjete moguće je provesti postupak jednostavnog priključka.

Jednostavni priključak provodi se u sljedećim slučajevima:

- U slučaju kada se kupca s vlastitom proizvodnjom priključuje na niskonaponsku mrežu jednostavnim priključkom.
- Ukoliko se priključna snaga korisnika može povećati na postojećem OMM-u
- Prilikom promjene u kupca s vlastitom proizvodnjom iz krajnjeg korisnika ukoliko mrežni uređaj za odvajanje u susretnom postrojenju udovoljava zahtjevima propisanim Mrežnim pravilima distribucijskog sustava. [11]



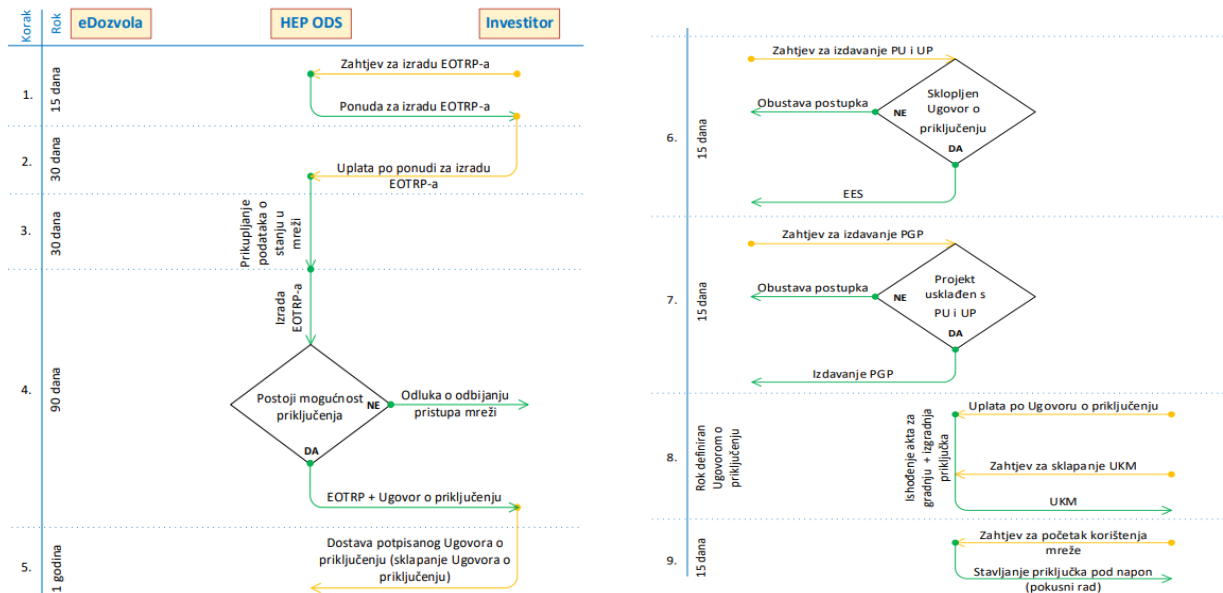
Slika 4.5. Postupak jednostavnog priključka na mrežu [11]

Postupak jednostavnog priključka na mrežu prikazan je na Slici 4.5., gdje se mogu vidjeti postupci koji se provode u tri koraka s naznačenim trajanjem rokova.

U slučaju kada je potrebno stvoriti tehničke uvjete kako bi se omogućio priključak kupca s vlastitom proizvodnjom na mrežu provodi se proces složenog priključka. On se sastoji od:

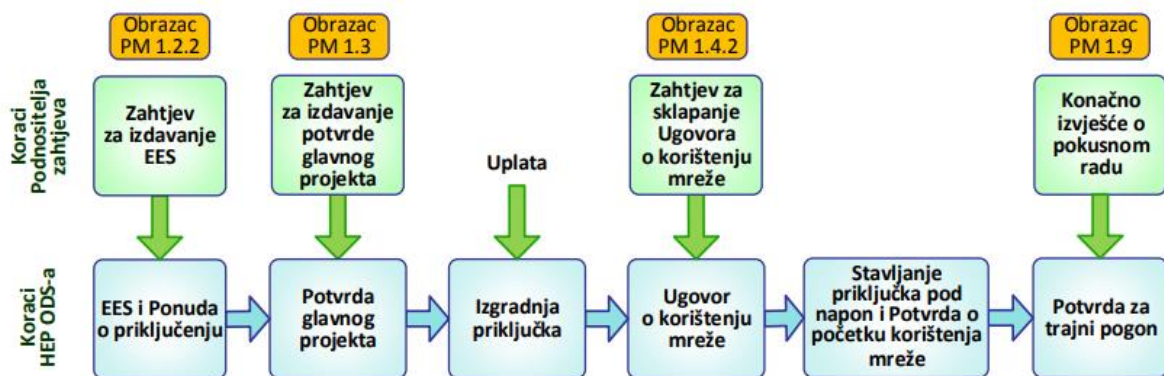
- izrade EOTRP-a
- sklapanja ugovora o priključenju
- izdavanje EES
- potvrde za glavni projekt
- plaćanja pristojbe za priključak
- uspostavljanje tehničkih uvjeta i izgradnja priključka
- potpisivanja ugovora o korištenju mreže
- aktiviranje priključka
- testnog rada i izdavanja potvrde za trajni pogon

Postupak složenog priključka na mrežu prikazan je na Slici 4.6. Postupak se sastoji od 9 koraka u kojim je naznačeno trajanje rokova. Prikazani su postupci koje obavlja investitor i postupci koje obavlja HEP ODS. [11]



Slika 4.6. Postupak složenog priključka na mrežu [11]

U slučaju za fotonaponsku elektranu od 49,99 kW koja se obrađuje u ovome radu, koriste se Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu donesena 2021. godine. Razlog tome je što pravilnik donesen 2023. godine još uvijek je u procesu provođenja. S obzirom na to postupak provođenja jednostavnog priključka za našu fotonaponsku elektranu prikazan je na sljedećoj Slici 4.7.



Slika 4.7. Postupak jednostavnog priključenja na mrežu prema Pravilima o priključenju na distribucijsku mrežu iz 2021. godine [10]

Na Slici 4.7. jasno su naznačeni koraci koje provodi podnositelj zahtjeva, nalaze se u zelenim kvadratićima, a koraci koje provodi HEP ODS prikazani su unutar plavih kvadratića. Podnošenje zahtjeva prikazano je kronološki, kao što možemo vidjeti da ukoliko je zahtjev odobren od strane HEP ODS-a, podnositelj zahtjeva podnosi sljedeći zahtjev. Ukoliko su svi zahtjevi odobreni, priključak se stavlja pod napon i započinje pokusni rad. Ako je konačno izvješće o pokusnom radu pozitivno HEP ODS izdaje potvrdu za trajni pogon. [10]

4.4.3. Postupak ishodenja EES

Zahtjev za izdavanje EES može podnijeti samo jedna pravna ili fizička osoba. Ukoliko postoji više vlasnika građevine ili investitora, osoba koja predaje zahtjev mora posjedovati i predati pisanu suglasnost drugih suvlasnika.

Ukoliko dođe do promjene tehničkih karakteristika građevine, vlasnik je obavezan zatražiti novu EES.

Prilikom priključka nove građevine na mrežu EES se izdaje radi potvrđivanja posebnih uvjeta i uvjeta priključenja. Sukladno propisima o urbanističkom planiranju i gradnji, projektant traži potvrđivanje posebnih uvjeta i uvjeta priključenja kako bi izradio idejni ili glavni projekt. Ovo se obavlja putem upravnog tijela ili nadležnog Ministarstva koristeći elektronički program eDozvole. Zahtjev koji se predaje mora biti potpun i u skladu s propisima, u suprotnom operator neće provesti proces utvrđivanja posebnih uvjeta i uvjeta priključenja.

Kod podnošenja zahtjeva za EES dostavlja se:

- informacije o investitoru, tj. vlasniku
- priključna snaga
- planirani datum priključenja
- razlozi podnošenja zahtjeva
- popis OMM-a
- potvrda projektanta kojom se potvrđuje jednostavna građevina (radovi)
- dokaz o vlasništvu i zakonitosti građevine
- dokaz o suglasnosti suvlasnika u slučaju višestrukog vlasništva nad građevinom [11]

4.4.4. Potvrda glavnog projekta

Prema propisima urbanističkog planiranja i graditeljstva, projektant podnosi zahtjev za potvrdu glavnog projekta putem nadležnog upravnog tijela ili Ministarstva, koristeći eDozvole. Na osnovu zahtjeva za potvrdu glavnog projekta, operator distribucijskog sustava vrši provjeru usklađenosti glavnog projekta s uvjetima iz EES. Ukoliko je rješenje glavnog projekta usklađeno s uvjetima iz EES izdaje se potvrda glavnog projekta, a ukoliko nisu usklađeni potvrda se ne izdaje. U slučaju za građevine za koje je potrebno izraditi EOTRP, projektant je obavezan dostaviti projektnu dokumentaciju operatoru distribucijskog sustava radi pregleda i odobrenja prije pokretanja postupka za dobivanje potvrde glavnog projekta. [11]

4.5. Postavljanje fotonaponskih modula na krov

Postupak montiranja fotonaponskih modula na krov građevine razlikuje se ovisno o tipu krova i materijalu od kojega je krov izrađen. Osnovna podjela krovova je na ravni i kosi krov. Oba tipa krova imaju svoje prednosti i nedostatke. Neke od prednosti ravnog krova su:

- moduli se mogu optimalno orijentirati prema Suncu
- lakši pristup i održavanje
- veća fleksibilnost kod određivanja rasporeda modula

Nedostatci su ravnog krova:

- potrebna dodatna konstrukcija kako bi se postavili moduli
- veća sklonost pregrijavanju

Prednosti kosog krova:

- manja sklonost pregrijavanju
- manje izloženi vjetru
- estetski izgled

Nedostatci kosog krova:

- teži pristup tijekom održavanja
- manja fleksibilnost u području orijentacije

Osim tipa krova važnu ulogu igra i materijal od kojeg je krov izrađen. Najčešći materijali za pokrivanje krova su: crijep, lim i cement. Ovisno koji se od ovih materijala koristi za pokrivanje krova razlikuje se i odabir nosača modula.

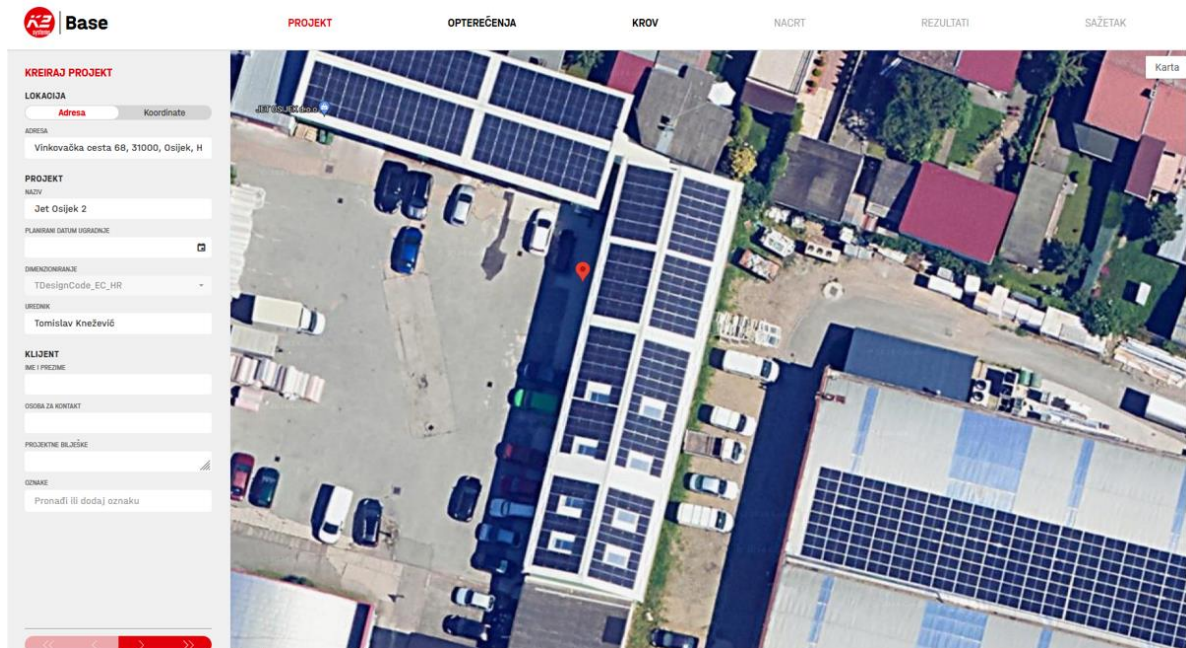
1. Ukoliko je krov pokriven crijepom koriste se nosači prilagođeni ovom tipu krova. Ovi nosači obično imaju mehanizme za pričvršćenje koji se mogu prilagoditi različitim oblicima i veličinama crijepa. Najčešće se montiraju između crijepa i krovnog pokrova.
2. Za krovove od lima nosače je potrebno pričvrstiti na metalnu konstrukciju ispod lima. Važno je odabrati nosače koji su kompatibilni s debljinom i oblikom lima kako bi se osigurala čvrsta montaža.
3. Za krovove pokrivene vlaknastim cementnim pločicama nosači su prilagođeni za montažu na čvrste površine. Važno je da prilikom montaže ne dođe do oštećenja krova i da se postigne potrebna stabilnost. [12]

Prilikom planiranja montaže solarnih modula koriste se različiti softverski programi koji predstavljaju najbolja rješenja. Pomoću ovih programa određuje se i broj fotonaponskih modula koji se mogu smjestiti na krov građevine, te najbolje komponente za montiranje modula ovisno o tipu krova. U ovom radu koristit će se K2 System Base Program. Ovaj program predstavlja sveobuhvatan sustav za montažu fotonaponskih modula na različite vrste krovova. K2 System Base nam pruža sve potrebne komponente i module za stabilno, sigurno i učinkovito postavljanje fotonaponskih modula na krovne površine. Omogućuje pouzdanu, sigurnu i učinkovitu instalaciju fotonaponskih modula na krovove različitih tipova i dimenzija.

Karakteristike K2 System Base Programa:

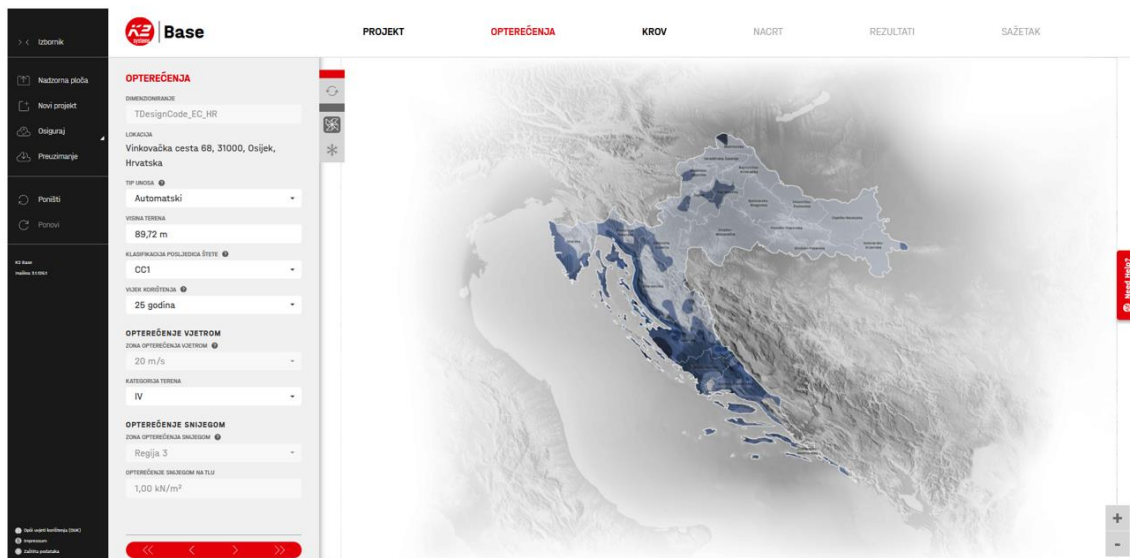
1. Modularan dizajn: pruža modularne komponente koje se mogu prilagoditi različitim dimenzijama i oblicima krova.
2. Visoka čvrstoća i stabilnost: visokom čvrstoćom i stabilnosti pruža pouzdanu potporu solarnim modulima.
3. Jednostavna instalacija: jednostavnost njihovih komponenti omogućuje brzu i jednostavnu instalaciju, što rezultira uštedom u vremenu i radnoj snazi.
4. Prilagodljivost: sustav se može prilagoditi različitim tipovima krova izgrađenog od različitog materijala.
5. Otpornost na vremenske uvjete: Materijali su otporni na koroziju i vremenske uvjete, što omogućuje dug životni vijek komponenti.

6. Certifikati i standardi: K2 System zadovoljava visoke standarde i posjeduje potrebne certifikate. [13]



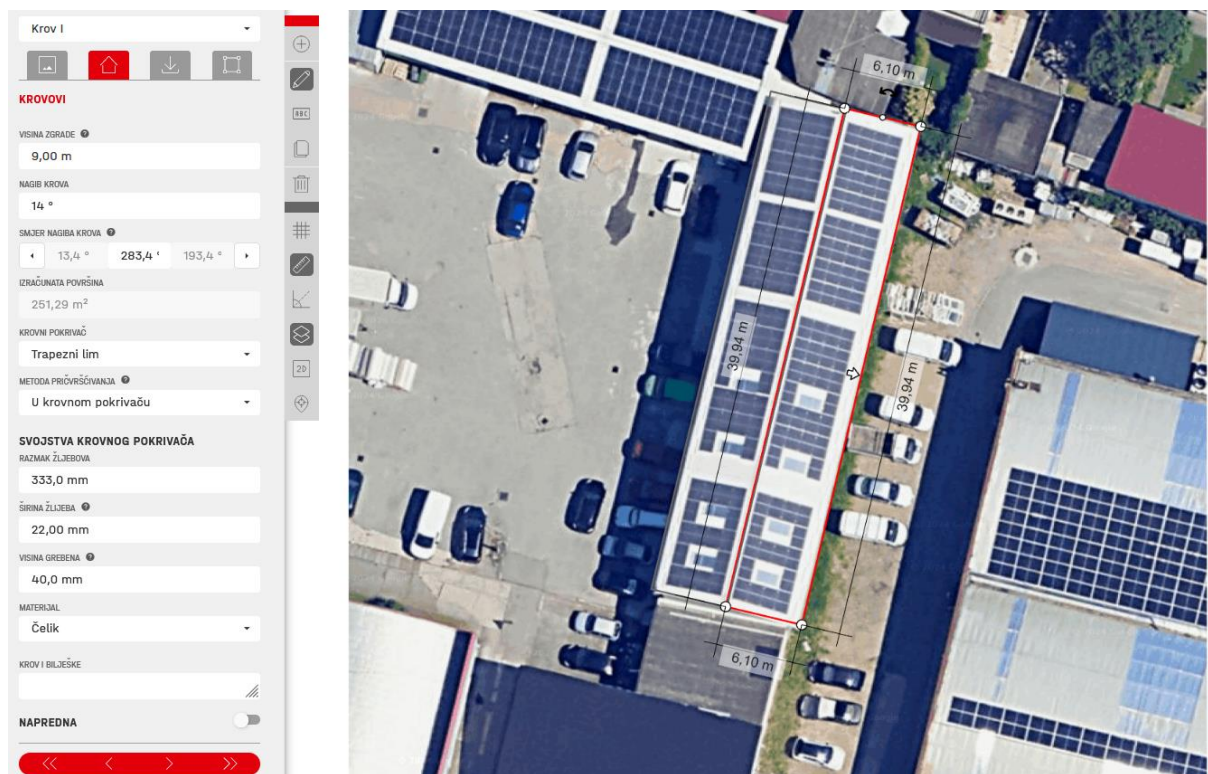
Slika 4.8. K2 base system [13]

Slika 4.8. prikazuje početnu stranicu tijekom izrade projekta u K2 base system programu. Na početnoj se stranici unosi adresa, što je u ovome slučaju Vinkovačka cesta 68, Osijek. Osim adrese unosi se naziv projekta, urednika projekta, te se mogu unijeti podaci o klijentu. Nakon što se unese adresa dobije se satelitski prikaz lokacije.



Slika 4.9. K2 base system [13]

Na Slici 4.9. prikazan je drugi korak. U drugom koraku vrši se analiza opterećenja snijegom i vjetrom. Djelovanje snijega i vjetra na FN elektranu razlikuje se od geografskog položaja. Snijeg se može nakupljati na modulima i tako stvarati dodatno opterećenje na konstrukciju. Kut nagiba modula može utjecati na zadržavanje snijega (ukoliko je nagib veći, snijeg će se teže zadržati). Također snažan vjetar može značajno oštetiti FN elektranu. Zbog toga važno je koristiti čvrste nosače i konstrukciju kako bi se osigurala stabilnost. U ovom koraku unose se podatci o visini terena, klasifikaciji posljedica štete, zona opterećenja vjetrom, zona opterećenja snijegom. Važno je odrediti i kategoriju terena. U ovome slučaju kategorija terena je IV, što predstavlja urbana i izgrađena područja.

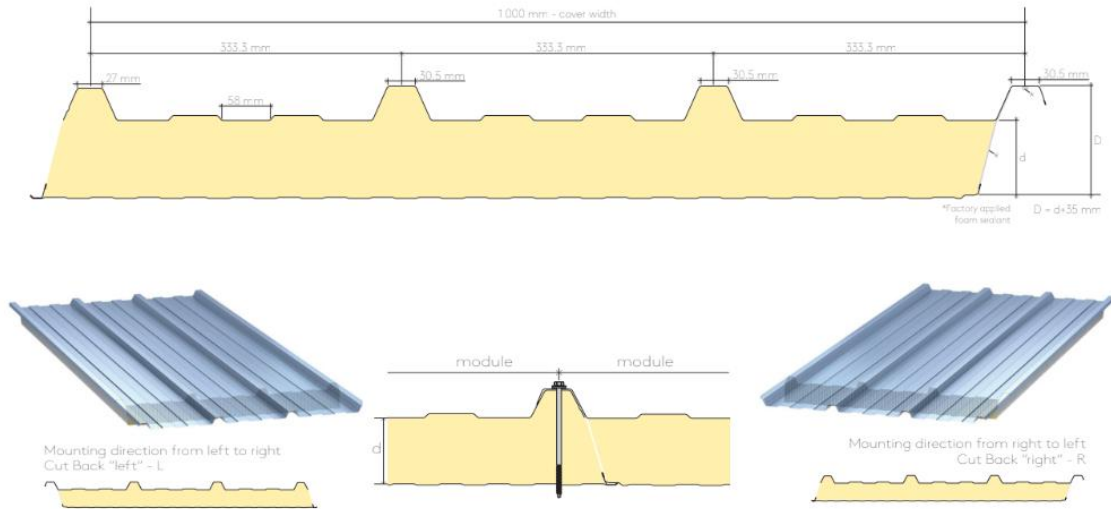


Slika 4.10. Ucertavanje krova u programu K2 base system [13]

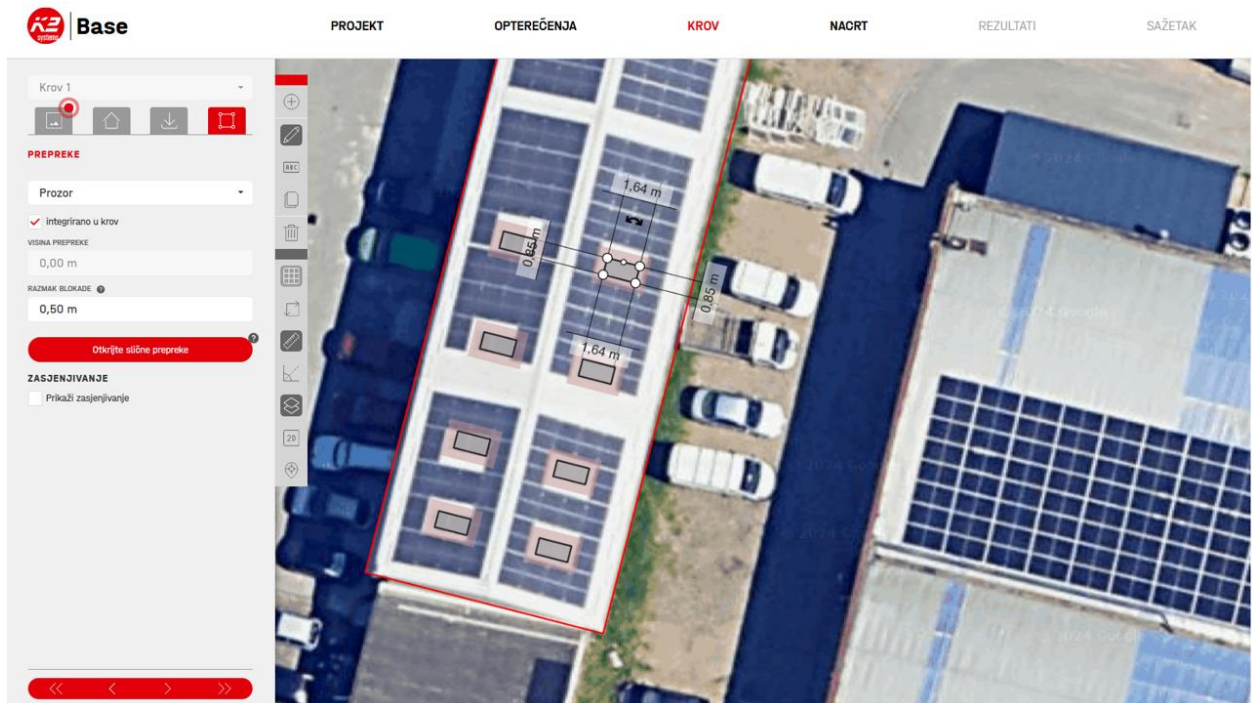
Treći korak u programu K2 base system odnosi se na karakteristike i ucrtavanje krova. Tijekom ovog postupka potrebno je odabrati tip krova, što je u ovome slučaju dvovodni krov. Zatim je potrebno unijeti nagib krova, krovni pokrivač, metodu pričvršćivanja, te svojstva krovnog pokrivača. Na Slici 4.10. može se vidjeti da je nagib krova 14° , krovni pokrivač je trapezni lim, metoda pričvršćivanja je u krovni pokrivač. Materijal krovnog pokrivača je čelik, a potrebne dimenzije prikazane su na Slici 4.10.. Prilikom ucrtavanja dvovodnog krova, može se ucrtavati svaka strana krova zasebno ili cijeli krov zajedno. Svojstva krovnog pokrivača utječu na odabir

nošača. Ova svojstva se nalaze u tehničkom listu krovnog pokrivača. Slika 4.11. prikazuje dimenzije krovnog pokrivača građevine na kojoj se projektira FN elektrana.

Dimensions

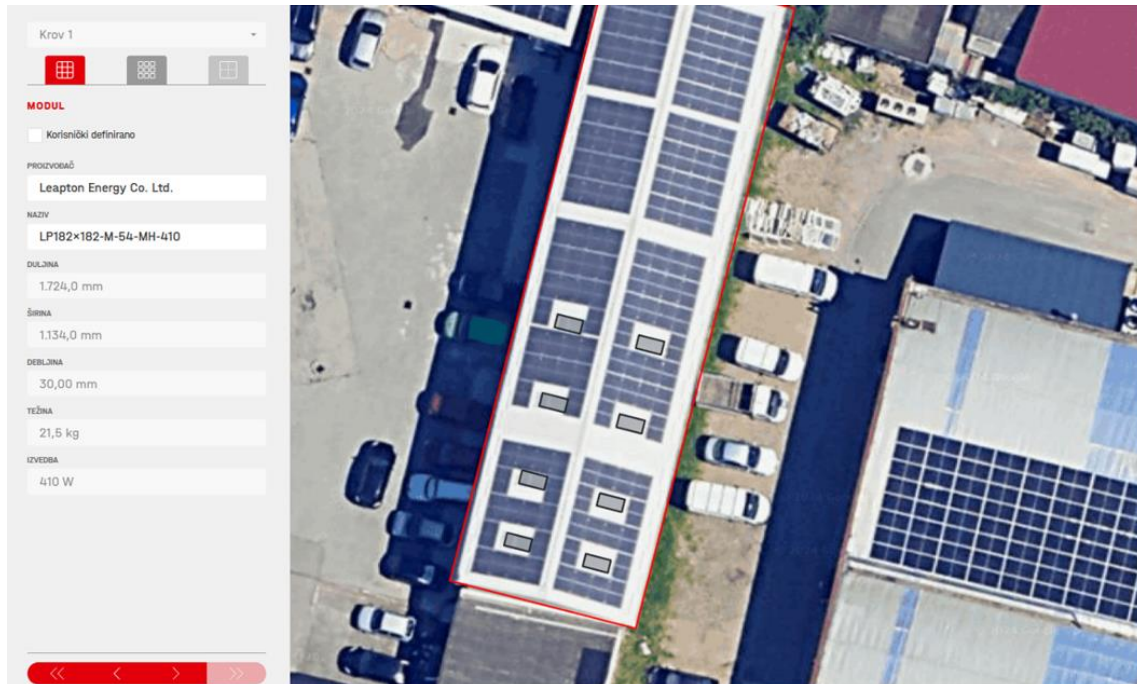


Slika 4.11. Dimenzije krovnog pokrivača [14]



Slika 4.12. Postavljanje krovnih prepreka u programu K2 base system [13]

Tijekom dimenzioniranja krova potrebno je ucrtati prepreke koje se nalaze na krovu. Postupak ucrtavanja krovnih prepreka prikazan je na Slici 4.12. Na krovu građevine na kojoj se projektira FN elektrana nalazi se osam krovnih prozora integriranih u krov. Tijekom postavljanja krovnih prepreka važno je postaviti i razmak blokade. Razmak blokade predstavlja minimalnu dozvoljenu udaljenost između prepreke i postavljenog modula. U ovome slučaju razmak blokade iznosi 0,5 m. Ukoliko se na krovu nalazi neka prepreka koja može stvarati zasjenjenje, kao što je dimnjak, postoji opcija koja prikazuje zasjenjivanje.



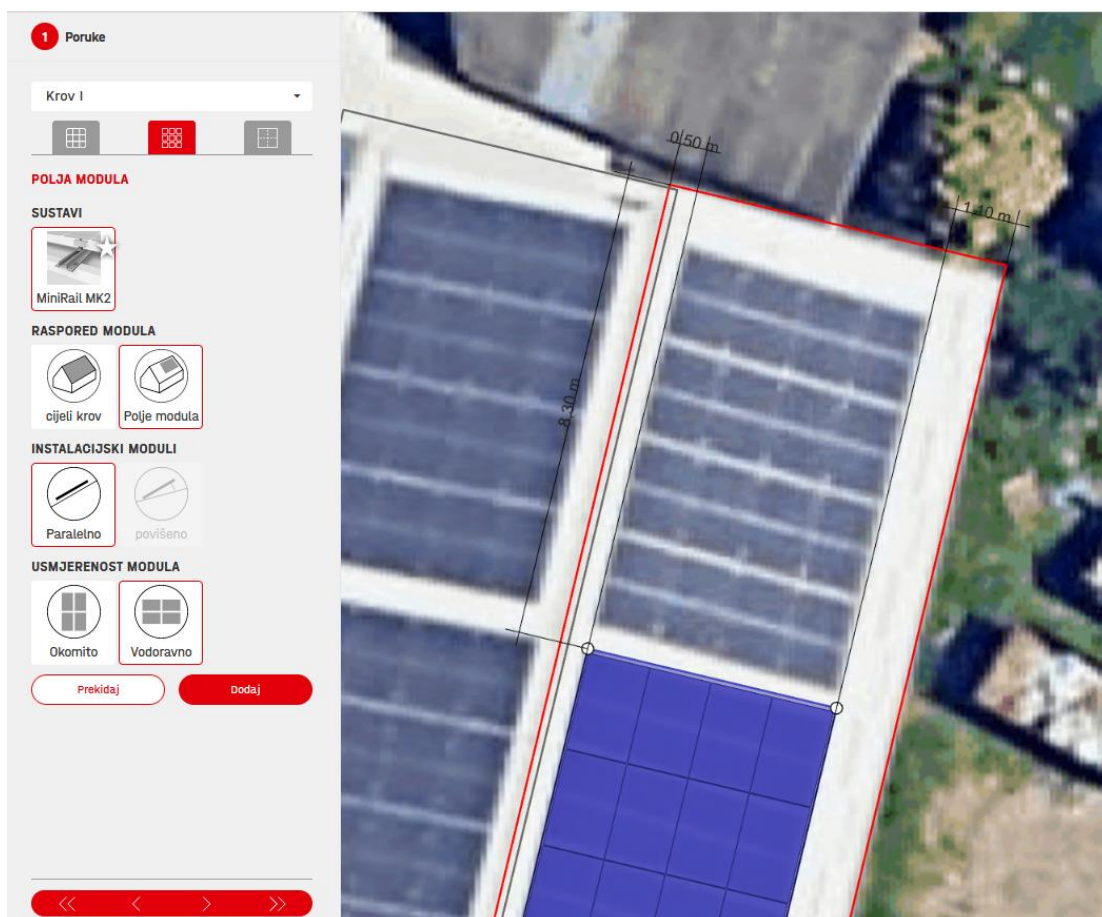
Slika 4.13. Odabir FN modula u programu K2 base system [13]

Nakon što se dimenzionirao krov građevine slijedi odabir FN modula. Za fotonaponsku elektranu koja se projektira odabrani su FN moduli proizvođača Leapton Energy Co. Ltd., naziva LP182×182-M-54-MH-410.

Parametri Leapton 410 Wp modula:

Tablica 4.1. Parametri Leapton 410 Wp modula [17]

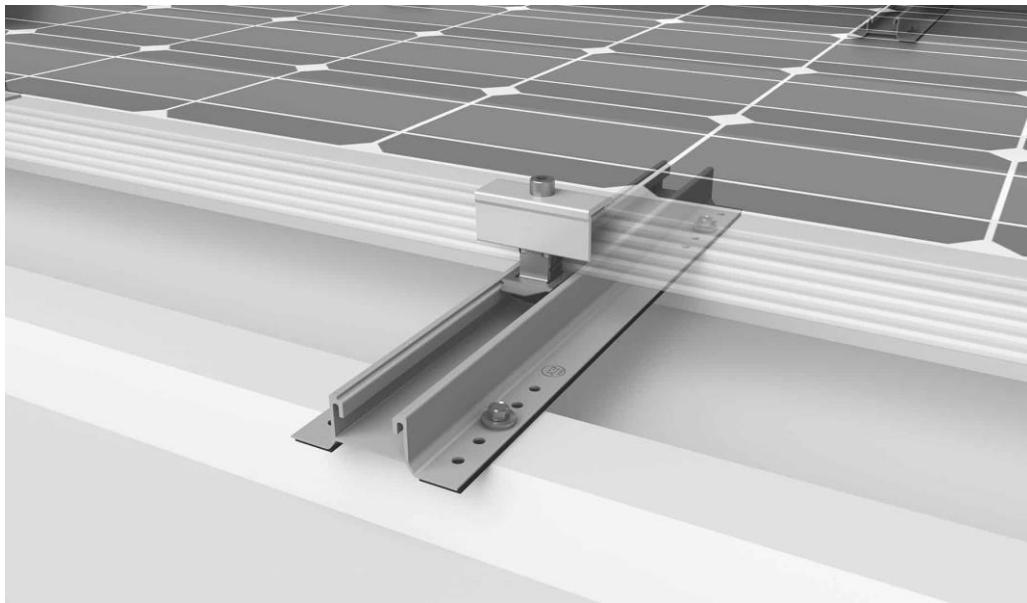
Materijal	Metal; Staklo
Najveća ulazna snaga izvora	410 W
Funkcija	Solarna tehnologija
Visina	1724 mm
Širina	30 mm
Dužina	1134 mm
IP stupanj zaštite	IP68
Napon	31,32
Klasa zaštite od strujnog udara	3



Slika 4.14. Odabir nosača FN modula u programu K2 base system [13]

Slika 4.14. prikazuje korake odabira nosača FN modula. Program nudi sve moguće opcije i predstavlja njihove prednosti i nedostatke. Za ovu elektranu odabrani su MiniRail MK2. Sljedeća opcija je odabir rasporeda modula. Moduli se mogu rasporediti po cijelom krovu automatski ili ručno postavljati polja modula. Nakon odabira rasporeda modula postoji mogućnost postavljanja modula paralelno s krovom ili povišeno s dodatnom konstrukcijom. Posljednja opcija predstavlja usmjerenost modula. Moduli se mogu postaviti u landscape ili portrait položaju. Odluka o tome koji položaj odabrati ovisi o različitim čimbenicima, uključujući dostupnu površinu krova, orijentaciju i nagib krova. Svaki položaj ima svoje prednosti i nedostatke.

1. Landscape položaj – u ovom položaju FN moduli postavljeni su vodoravno. Ovaj položaj često se koristi na većim površinama krova kako bi se maksimalno iskoristila raspoloživa površina.
2. Portrait položaj – u ovom položaju FN moduli su postavljeni uspravno. Ovaj se položaj često koristi u slučaju krova s manje raspoložive površine.

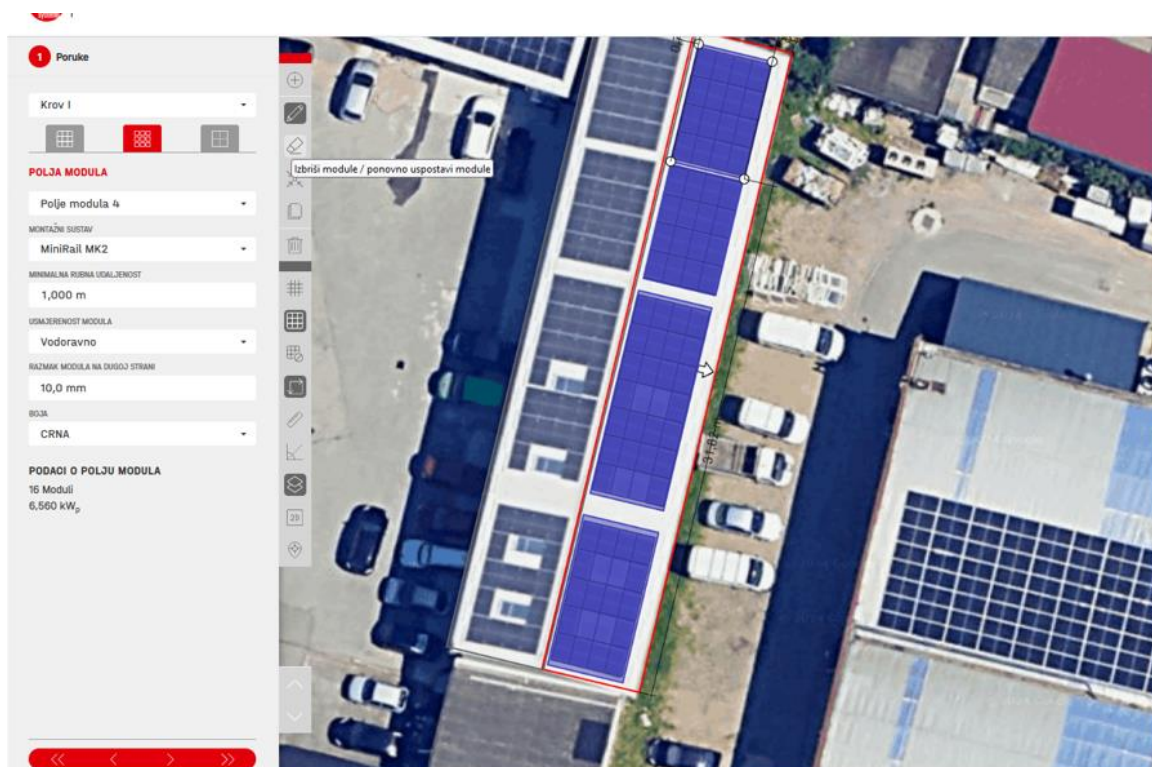


Slika 4.15. *MiniRail MK2 [13]*

MiniRail MK2 je unaprijeđeni sustav za montiranje solarnih modula tvrtke K2 Systems, dizajniran za laku i efikasnu instalaciju na trapezoidnim limenim krovovima. Ova verzija donosi nekoliko poboljšanja u odnosu na svog prethodnika, optimizirajući funkcionalnost i praktičnost.

Karakteristike MiniRail MK2 sustava:

- Univerzalne stezaljke za module – sustav koristi univerzalne OneMid/OneEnd stezaljke, koje pojednostavljaju instalaciju.
- Materijal i dimenzije – napravljen od visokokvalitetnog aluminija sa EPDM komponentama. Dizajniran je za rad s krovovima od lima debljine veće od 0,5 mm i specifičnim širinama žlijeba.
- Kompatibilnost i fleksibilnost – sustav MiniRail MK2 je kompatibilan sa različitim nagibima krovova i orijentacijama modula. Podržava vertikalno i horizontalno postavljanje.
- Poboljšane performanse modula – poboljšana stražnja ventilacija i optimizirani kutovi zračenja. [13]



Slika 4.16. Raspored FN modula po krovu u programu K2 system base [13]

Nakon što se odabere vrsta nosača FN modula, te način orijentacije modula s obzirom na položaj (landscape ili portrait) slijedi raspored FN modula po krovu građevine. U ovom koraku koji je prikazan na Slici 4.16. potrebno je odrediti minimalnu udaljenost FN modula od ruba krova. Ova

minimalna udaljenost modula od ruba krova važna je iz nekoliko razloga. Najvažniji razlog je potreban prostor kako bi se FN moduli mogli sigurno postaviti i održavati. Ukoliko dođe do požara potreban je prostor za kretanje kako bi se požar sanirao i spriječio. Također FN moduli postavljeni uz sami rub krova bili bi više izloženi ekstremnim vremenskim uvjetima poput snažnog vjetrova, što može dovesti do njihovog oštećenja. Udaljenost modula od ruba krova u ovoj elektrani iznosi 1m, što zadovoljava sve potrebne uvjete za sigurnost i stabilnost. Osim udaljenost modula i ruba krova, u ovom koraku prikazana je i međusobna udaljenost FN modula i iznosi 10 mm.

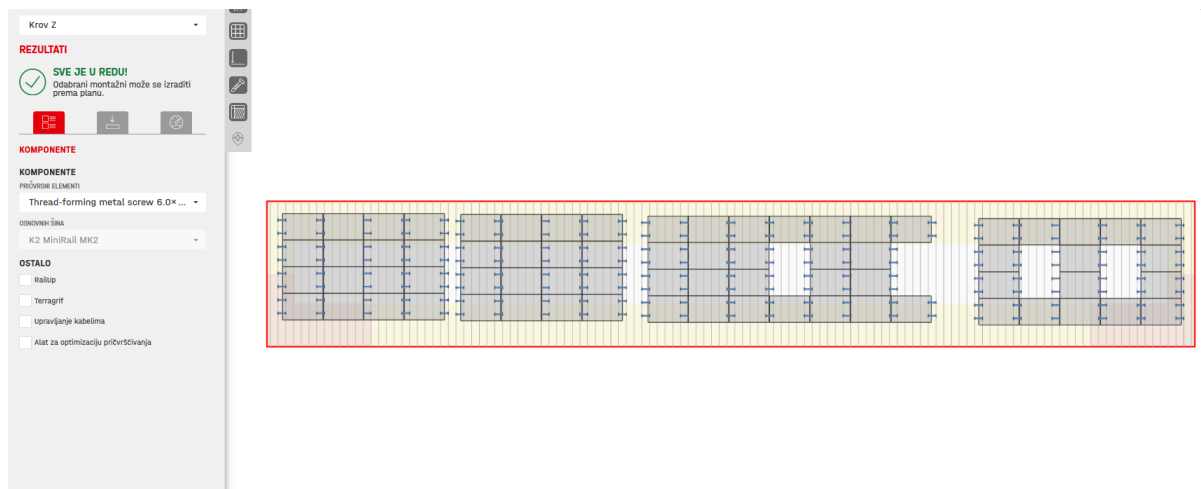
Razmak između fotonaponskih modula igra ključnu ulogu u sprječavanju pregrijavanja. Neki od razloga koji ukazuju na važnost ovog razmaka su:

- Poboljšana ventilacija – razmak između FN modula omogućuje strujanje zraka i omogućuje njihovo hlađenje. Bolja ventilacija između FN modula povećava njihovu učinkovitost zato što ventilacija snižava temperaturu FN modula.
- Dugotrajnost – Visoke temperature mogu ubrzati propadanje materijala unutar FN modula. Održavanje razmak između FN modula omogućit će modulima da zadrže visoke performanse dulji vremenski period.
- Smanjenje termalnog stresa – ukoliko dolazi do nejednakog zagrijavanja FN modula povećava se vjerojatnost termalnog stresa, što dovodi do oštećenja modula. Odgovarajući razmak između modula omogućuje raspodjelu topline.



Slika 4.17. *Uklanjanje FN modula sa sljemena krova u programu K2 system base [13]*

Kao što je prikazano na Slici 4.17. program automatski raspoređi FN module po cijelom krovu s obzirom na zadani razmak u odnosu na rub krova i s obzirom na krovne prepreke. S obzirom da je krov građevine na kojoj se projektira FN elektrana dvovodni, FN module nije moguće postaviti na sljeme krova. Zbog toga je potrebno određeni broj FN modula koji se nalaze na sljemenu krova ukloniti. Nakon što K2 system base program raspoređi FN module po krovu građevine i uklonimo FN module sa sljemena krova dobijemo broj FN modula koji se mogu postaviti na zadanu površinu.



Slika 4.18. 2D prikaz krova s FN modulima [13]

U koraku prikazanom na Slici 4.18. nalazi se 2D prikaz krova s raspoređenim modulima. Osim samih modula prikazani su nosači FN modula i potkonstrukcija krova. Ukoliko je sve ispravno dobijemo i potvrdnu poruku od programa u kojoj nas obavještava da se odabrana montaža može izraditi prema planu.

Na sljedećoj Slici 4.19 možemo vidjeti proračun opterećenja na modulima. Prikazan je ukupan broj modula i ukupni učinak. Također prikazano je opterećenja na modulima (nosivost) i opterećena na modulima (upotrebljivost).





Slika 4.19. Prikaz opterećenja na modulima u programu K2 system base [13]

Krajnji rezultat rada u programu K2 system base predstavlja izvješće. Izvješće sadrži:

- Pregled projekta
- Plan montaže
- Rezultate
- Statičko izvješće
- Popis proizvoda

Stranica koja predstavlja pregled projekta prikazana je na Slici 4.20. Na stranici se nalaze osnovni podaci: vrsta krova, vrsta montažnog sustava, moduli, broj modula, ukupni učinak. Prikazane su i karakteristike terena, tj. kategorija terena i opterećenje snijegom za zadanu lokaciju.

Krovovi

Krov	Sustav	Modul	Visina	Broj komada	Ukupni učinak
Krov Z  Trapezni lim	MiniRail MK2	LP182×182-M-54-MH-410 1.724×1.134×30 mm 410 Wp	9,00 m	72	29.52 kWp
Krov I  Trapezni lim	MiniRail MK2	LP182×182-M-54-MH-410 1.724×1.134×30 mm 410 Wp	9,00 m	72	29.52 kWp
Zbroj				144	59,04 kWp

Informacije o projektu

Adresa	Vinkovačka cesta 68, 31000, Osijek, Hrvatska
Urednik	Tomislav Knežević

Učitaj postavke

Dimenzioniranje	TDesignCode_EC_HR
Klasifikacija posljedica štete	CC1
Vijek korištenja	25 godina
Kategorija terena	IV - Gradska područja
Opterećenje snijegom na tlu	1,00 kN/m ²

Materijalne vrijednosti

Aluminij EM-AW 6063 (EP, ET, ER/B) T66

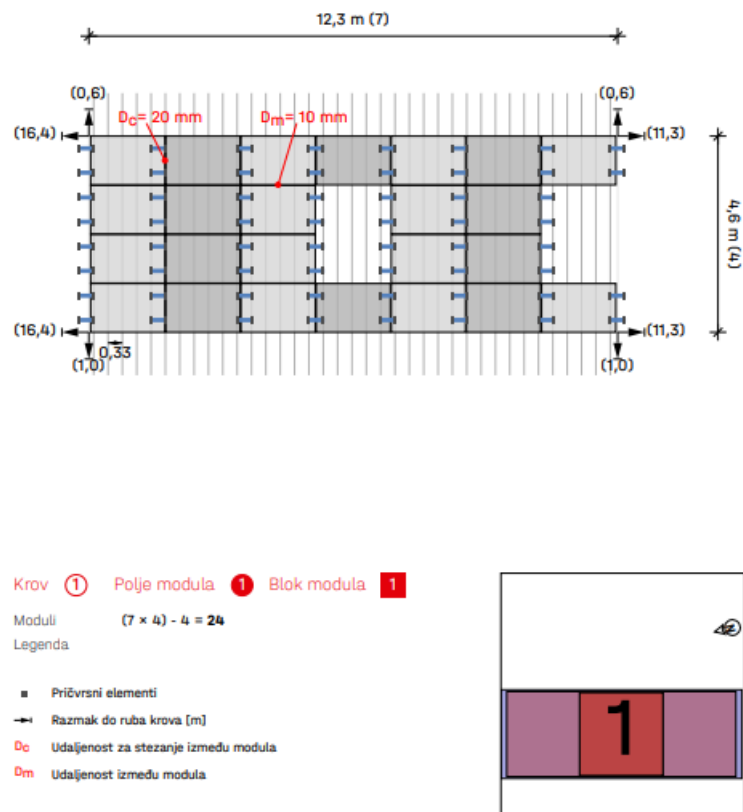
Elastični modul	E = 70.000 N/mm ²
Modul smicanja	G = 26.923 N/mm ²
Gustoća	g = 2.700 kg/m ³
Toplinski koeficijent	$\alpha_T = 2.3e^{-5}$
Snaga popuštanja	$f_{tk} = 200$ N/mm ²
Vrhunska snaga	$f_{tk} = 245$ N/mm ²



PROJEKT JE VERIFICIRAN.
provjerite upozorenje(a)!

Slika 4.20. Pregled projekta iz izvještaja K2 system base [13]

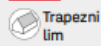
U dijelu izvještaja koji opisuje plan montaže nalazi se 2D prikaz rasporeda fotonaponskih modula na krovu građevine. Prikazane 2D sheme ističu potrebne dimenzije, kao što su dimenzije krova, razmak između redova, razmak između fotonaponskih modula. Na Slici 4.21. prikazan je jedan blok modula. Na ovome prikazu jasno se mogu vidjeti fotonaponski moduli sa pričvrstnim elementima. Crvenom bojom naznačene su udaljenosti za stezanje između modula i udaljenosti između modula. U donjem lijevom kutu nalazi se legenda koja tumači korištene simbole.



Slika 4.21. Prikaz bloka modula u K2 system base-u [13]

Na Slici 4.22. prikazani su rezultati rada u programu K2 system base. U rezultatima prikazani su osnovni podaci o modulu (naziv, proizvođač, izvedba, dimenzije, težina). Navedeni su i pričvrtni elementi (Thread-forming metal screw 6.0*25) i osnovne vodilice (K2 MiniRail MK2). Prva tablica prikazuje opterećenje na modulima za različita područja poput: područje polja, rub sljemena, krovni rub, kutni prostor (krov), rub strehe. Tablica je podijeljena u dva dijela. Prvi dio predstavlja Dokaz sigurnosti konstrukcije, a drugi dio predstavlja Dokaz o upotrebljivosti.

Rezultati | Krov Z

Krov	Sustav	Modul	Visina	Broj komada	Ukupni učinak
Krov Z 	MiniRail MK2	LP182×182-M-54-MH-410 1.724×1.134×30 mm 410 Wp	9,00 m	72	29.52 kWp

Modul

Naziv	LP182×182-M-54-MH-410
Proizvođač	Leapton Energy Co. Ltd.
Izvedba	410 Wp
Dimenzije	1.724×1.134×30 mm
Težina	21,5 kg

Komponente

Pričvrtni elementi	Thread-forming metal screw 6.0×25
Osnovne vodilice	K2 MiniRail MK2

Opterećenja na modulima (dimenzioniranje modula)

Područje	A-TrA [m ²]	Dokaz sigurnosti konstrukcije [Pa]				Dokaz o upotrebljivosti [Pa]			
		Tlak ⊥	Tlak	Podizanje ⊥	Podizanje	Tlak ⊥	Tlak	Podizanje ⊥	Podizanje
Područje polja	1,96	1.077,2	255,6	-385,9	27,3	850,0	201,8	-279,0	27,3
Rub sjemena	1,96	1.077,2	255,6	-506,7	27,3	850,0	201,8	-373,8	27,3
Rub strehe	1,96	1.077,2	255,6	-537,7	27,3	850,0	201,8	-398,1	27,3
Područje polja	1,96	1.077,2	255,6	-385,9	27,3	850,0	201,8	-279,0	27,3
Rub sjemena	1,96	1.077,2	255,6	-506,7	27,3	850,0	201,8	-373,8	27,3
Rub strehe	1,96	1.077,2	255,6	-537,7	27,3	850,0	201,8	-398,1	27,3
Područje polja	1,96	1.077,2	255,6	-385,9	27,3	850,0	201,8	-279,0	27,3
Rub sjemena	1,96	1.077,2	255,6	-506,7	27,3	850,0	201,8	-373,8	27,3
Krovni rub	1,96	1.077,2	255,6	-755,9	27,3	850,0	201,8	-569,2	27,3
Kutni prostor (krov)	1,96	1.077,2	255,6	-766,9	27,3	850,0	201,8	-577,9	27,3
Rub strehe	1,96	1.077,2	255,6	-537,7	27,3	850,0	201,8	-398,1	27,3
Područje polja	1,96	1.077,2	255,6	-385,9	27,3	850,0	201,8	-279,0	27,3
Rub sjemena	1,96	1.077,2	255,6	-506,7	27,3	850,0	201,8	-373,8	27,3
Krovni rub	1,96	1.077,2	255,6	-755,9	27,3	850,0	201,8	-569,2	27,3
Kutni prostor (krov)	1,96	1.077,2	255,6	-766,9	27,3	850,0	201,8	-577,9	27,3

Slika 4.22. Prikaz rezultati u programu K2 system base [13]

Statičko izvješće prikazano na Slici 4.23. sadrži tablicu u kojoj su prikazana opterećenja po različitim područjima krova. Ispod tablice nalaze se podatci o opterećenju snijegom. Opterećenje snijegom određeno je zonom u kojoj se građevina nalazi, postojanje snjegobrana, nagib krova itd. Osim opterećenja uzrokovanog snijegom analizirano je i vlastito opterećenje. Prilikom analize vlastitog opterećenja uzima se u obzir težina i površina modula i težina montažnog sustava.

Statičko izvješće | Krov Istok

Područja krova

Područje	Površina utjecaja opterećenja [m ²]	maxCpe _{NaN}	minCpe _{NaN}	Tlak vjetra [kN/m ²]	Efekt usisa [kN/m ²]
Područje polja	1,96	0,180	-1,028	0,049	-0,278
Rub sljemena	1,96	0,180	-1,279	0,049	-0,346
Krovni rub	1,96	0,180	-1,796	0,049	-0,486
Kutni prostor (krov)	1,96	0,180	-1,819	0,049	-0,493
Rub strehe	1,96	0,180	-1,343	0,049	-0,364

Opterećenje snijegom

Zona opterećenja snijegom	Region 3
Snjegobrani	Ne
Opterećenje snijegom na tlu	$s_k = 1,000 \text{ kN/m}^2$
Koeficijent oblika za snijeg	$\mu_s = 0,800$
Faktor nagiba krova	$d_f = 0,970$
Opterećenje snijegom na krovu, 50	$s_{kg0} = 0,776 \text{ kN/m}^2$
Faktor prilagodbe za uporabno razdoblje	$f_s = 0,929$
Opterećenje snijegom na krovu, 25	$s_{k25} = 0,721 \text{ kN/m}^2$

Vlastito opterećenje

Težina modula	$G_m = 21,5 \text{ kg}$
Težina montažnog sustava po modulu	$= 1,0 \text{ kg}$
Površina modula	$A_m = 1,96 \text{ m}^2$
Vlastita težina modula po m ²	$= 11,00 \text{ kg/m}^2$
Sopstvena težina montažnog sustava po m ²	$= 0,51 \text{ kg/m}^2$
Ukupno mrtvo opterećenje (bez balasta) po m ²	$= 0,11 \text{ kN/m}^2$

Slika 4.23. Statičko izvješće K2 system base [13]

Posljednja stranica izvješća K2 base-a sadrži popis proizvoda. Slika 4.24. prikazuje tablicu u kojoj se nalazi popis proizvoda, za svaki proizvod naveden je potrebna količina i težina proizvoda.

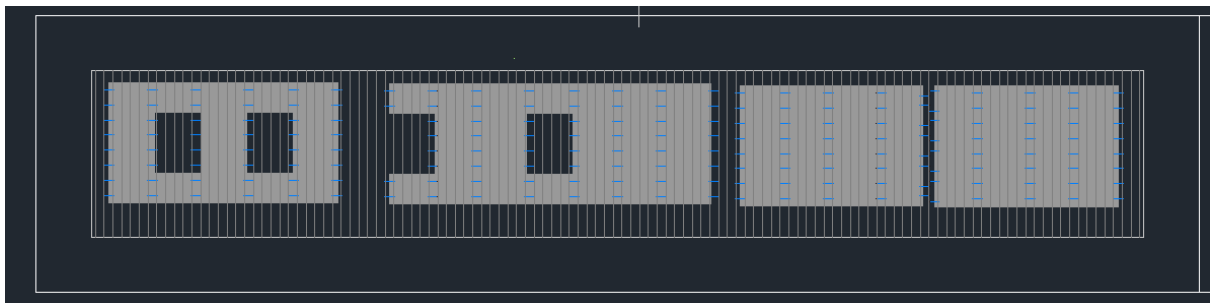
Krovovi | Krov Z | Popis proizvoda

Položaj	Proizvod br.	Proizvod	Broj	Težina
1	2002589	OneEnd Black Set 30-42	88	7,7 kg
2	2003072	OneMid Black Set 30-42	100	7,9 kg
3	2004211	MiniRail MK2 Set	188	60,5 kg
Zbroj				76,1 kg

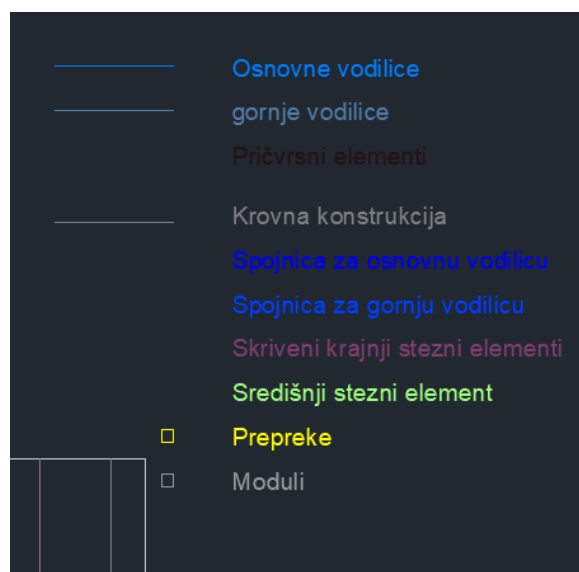
Slika 4.24. Popis proizvoda K2 system base [13]

Osim prethodno analiziranog izvješća, kao rezultat rada u K2 System base programu dobije se i prikaz građevine i fotonaponskih modula u programskom softveru AutoCAD. Slika 4.25. prikazuje prethodno spomenutu shemu, a Slika 4.26. prikazuje legendu simbola korištenih u AutoCAD shemi prikazanoj na Slici 4.25. Na shemi su prikazani sljedeći elementi:

- Osnovne vodilice
- Gornje vodilice
- Krovna konstrukcija
- Pričvrсни elementi
- Spojnice za gornju i osnovnu vodilicu
- Skriveni krajnji stezni elementi
- Prepreke
- Moduli



Slika 4.25. Shema građevine sa FN modulima u AutoCAD-u [15]



Slika 4.26. Legenda simbola korištenih u AutoCAD shemi [15]

4.6. Nizovi (stringovi)

Nizovi (stringovi) u fotonaponskoj elektrani odnose se na međusobno povezivanje fotonaponskih modula kako bi se postigao željeni napon. Nizovi su osnovni građevni blokovi fotonaponskih sustava i njihova pravilna konfiguracija ključna je za optimalan rad elektrane. Nizovi se mogu povezati serijski ili paralelno.

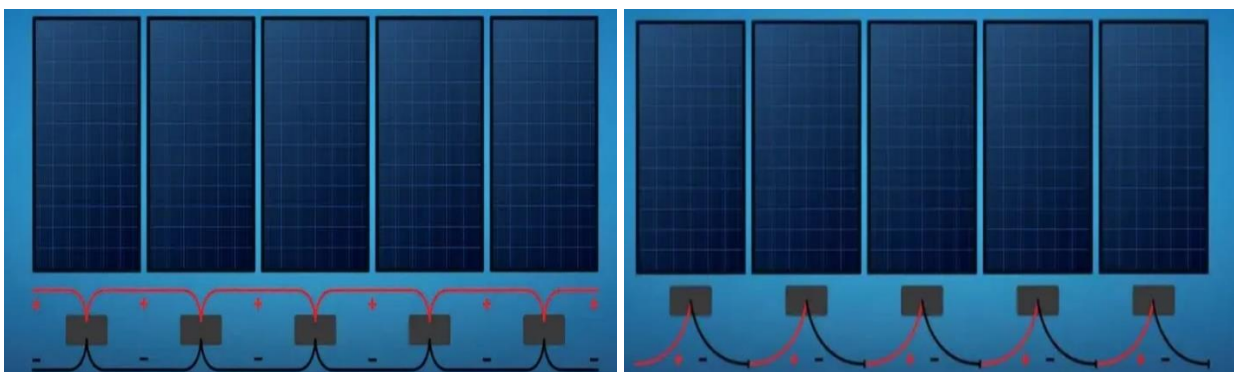
- Serijski povezani moduli povezani su jedan za drugim, čime se zbraja napon svakog pojedinačnog panela, dok struja ostaje jednaka struji pojedinačnog panela.
- Paralelno povezani moduli zbrajaju struju, a napon ostaje jednak naponu pojedinačnog niza. [3]

Tijekom projektiranja važno je odrediti broj modula u nizu i ukupni broj nizova. Tijekom određivanja boja modula u nizu postoje dva ograničenja, a to su:

- Maksimalni napon invertera – ukupni napon niza mora biti manji ili jednak maksimalnom ulaznom naponu invertera
- Temperaturni koeficijent – važno je uzeti u obzir da napon ovisi o temperaturi, niže temperature uzrokuju povećanje napona.

Prilikom odabira broja nizova postoje dva ograničenja, a to su:

- Broj MPPT ulaza invertera – na svaki MPPT ulaz mogu se spojiti dva niza..
- Izjednačavanje opterećenja – kako bi se postigla maksimalna efikasnost, nizovi povezani paralelno trebaju imati što ujednačenija opterećenja.



Slika 4.27. Paralelno i serijsko spajanje FN modula [16]

Za fotonaponsku elektranu koja se projektira odabrani su fotonaponski moduli Lepton 410 W. Na osnovu karakteristika modula vrši se proračun broja modula u nizu. Pomoću formule (4-1) izračunamo koeficijent k_u . Kako bismo izračunali koeficijent k_u potrebno je poznavati temperaturni koeficijent α_k i najnižu temperaturu T_{min} koja se javlja na području na kojem se projektira fotonaponska elektrana. Temperaturni koeficijent α_k nalazi se u kataloškom listu modula i iznosi $-0.28\%/^{\circ}C$. [17]

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41±3°C	Temp Coefficient of ISC	+0.05%/°C
Temp Coefficient of VOC	-0.28%/°C	Temp Coefficient of Pmax	-0.36%/°C

Slika 4.28. Temperaturne karakteristike Lepton 410 W modula [17]

Minimalna temperatura za promatrano područje očita se sa DHMZ stranice za vremenske prognoze. Na DHMZ stranici nalaze se podaci za najniže temperature za svaki grad od kako postoje mjerenja. Za grad Osijek gdje se i nalazi projektirana elektrana najniža temperatura iznosi $-27,1^{\circ}C$. Prikaz DHMZ podataka prikazan je na Slici 4.29. [18]

Meteorološka postaja	Početak mjerenja (ili od kad do kada)	Temperatura (°C)	Datum
Osijek	1899.*	-27,1	31. 1. 1987.

Slika 4.29. DHMZ prikaz najniže temperature za grad Osijek [18]

$$k_u = 1 + \left(-\frac{\alpha_k}{100}\right) * (T_{min} - 25) = 1 + \left(-\frac{0,28}{100}\right) * (-27,1 - 25) = 1,1459 \quad (4-1)$$

Nakon što se izračuna koeficijent k_u , može se izračunati korigirani napon praznog hoda $V_{oc,k}$. Računa se tako što se koeficijent k_u pomnoži sa naponom praznog hoda V_{oc} koji se nalazi u kataloškom listu modula i iznosi $V_{oc} = 37,34 V$

$$V_{oc,k} = k_u * V_{oc} = 1,1459 * 37,34 = 42,788 V \quad (4-2)$$

Zatim je potrebno maksimalni ulazni napon izmjenjivača podijeliti sa korigiranim naponom praznog hoda.

$$n_{max} = \frac{V_{max}}{k_u * V_{oc}} = \frac{1100}{42,788} = 25,71 \quad (4-3)$$

Izračunata vrijednost nam govori koliki je maksimalni broj modula koje niz može sadržavati. Ukoliko izračunata vrijednost nije cijeli broj zaokružuje se na manji cijeli broj, u ovome slučaju to je 25. Kada se izračuna maksimalni broj fotonaponskih modula po nizu može se izračunati i najveća moguća snaga niza tako što se pomnoži dopušteni broj modula sa snagom pojedinačnog modula.

$$P_{str} = n_{max} * P = 25 * 410 = 10250 W \quad (4-4)$$

Sljedeći korak podrazumijeva odabir izmjenjivača (invertera). Izmjenjivači su bitni elementi fotonaponskih elektrana jer obavljaju ključnu ulogu pretvorbe istosmjerne (DC) energije koju generiraju fotonaponski moduli u izmjeničnu (AC) energiju, koja je pogodna za kućne ili industrijske potrebe. Prema arhitekturi instalacije osnovna podjela izmjenjivača je:

- Središnji izmjenjivač (Centralni inverter) – svi paneli spojeni su na jedan inverter.
- Izmjenjivač niza (String inverter) – svaki niz je spojen na pojedinačni inverter.
- Mikroizmjenjivač (Mikroinverter) – svaki fotonaponski modul ima svoj vlastiti mikroizmjenjivač.

Type designation	SG33CX	SG40CX	SG50CX
Input (DC)			
Max. PV input voltage		1100 V **	
Min. PV input voltage / Start-up input voltage		200 V / 250 V	
Nominal PV input voltage		585 V	
MPP voltage range		200 – 1000 V	
No. of independent MPP inputs	3	4	5
No. of PV strings per MPPT		2	
Max. PV input current	3 * 26 A	4 * 26 A	5 * 26 A
Max. DC short-circuit current	3 * 40 A	4 * 40 A	5 * 40 A
Output (AC)			
AC output power	33 kVA @45 °C, 400Vac / 36.3 kVA @ 40 °C,400Vac	40 kVA @ 45 °C, 400Vac / 44 kVA @ 40 °C,400Vac	50 kVA @45 °C, 400Vac / 55kVA @ 40 °C,400Vac
	33 kVA @ 50 °C, 415Vac / 36.3 kVA @ 45 °C, 415Vac	40 kVA @ 50 °C, 415Vac / 44 kVA @ 45 °C, 415Vac	50kVA @ 50 °C, 415Vac / 55kVA @ 45 °C,415Vac
Max. AC output current	55.2 A	66.9 A	83.6 A
Nominal AC voltage		3 / N / PE, 230 / 400 V	
AC voltage range		312 – 528 V	
Nominal grid frequency / Grid frequency range		50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz	
Harmonic (THD)		< 3 % (at nominal power)	
DC current injection		< 0.5 % In	
Power factor at nominal power / Adjustable power factor		> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging	
Feed-in phases / AC connection		3 / 3	
Efficiency			
Max. efficiency / European efficiency	98.6 % / 98.3 %	98.6% / 98.3%	98.7% / 98.4%

Slika 4.30. Tehnički list SG50CX izmjenjivača [19]

Slika 4.30. prikazuje datasheet (tehnički list) SG50CX izmjenjivača, koji će se koristiti u elektrani koja se obrađuje u ovome radu. Na prikazanom tehničkom listu može se vidjeti DC ulaz i AC izlaz te učinkovitost. Kod ulaznih podataka nalaze se podaci koji prikazuju naponska ograničenja po ulazu izmjenjivača. Najveći dozvoljeni napon po ulazu invertera iznosi 1100 V, a najmanji 250 V. Najoptimalnije je da se ne nalazimo preblizu ni jednih od navedenih graničnih vrijednosti. SG50XC izmjenjivač sadrži 5 nezavisnih MPPT ulaza. Na svaki MPPT ulaz moguće je spojiti po 2 niza. Na DC strani nalazi se i ograničenje najveće dopuštene struje po ulazu. Tablica koja prikazuje AC izlaz podatke poput AC izlazne snage, najveće izmjenične izlazne struje, nazivni izmjenični napon itd. Učinkovitost ovog izmjenjivača je izrazito visoka i iznosi 98,7%. [19]



Slika 4.31. SG50CX izmjenjivač [19]

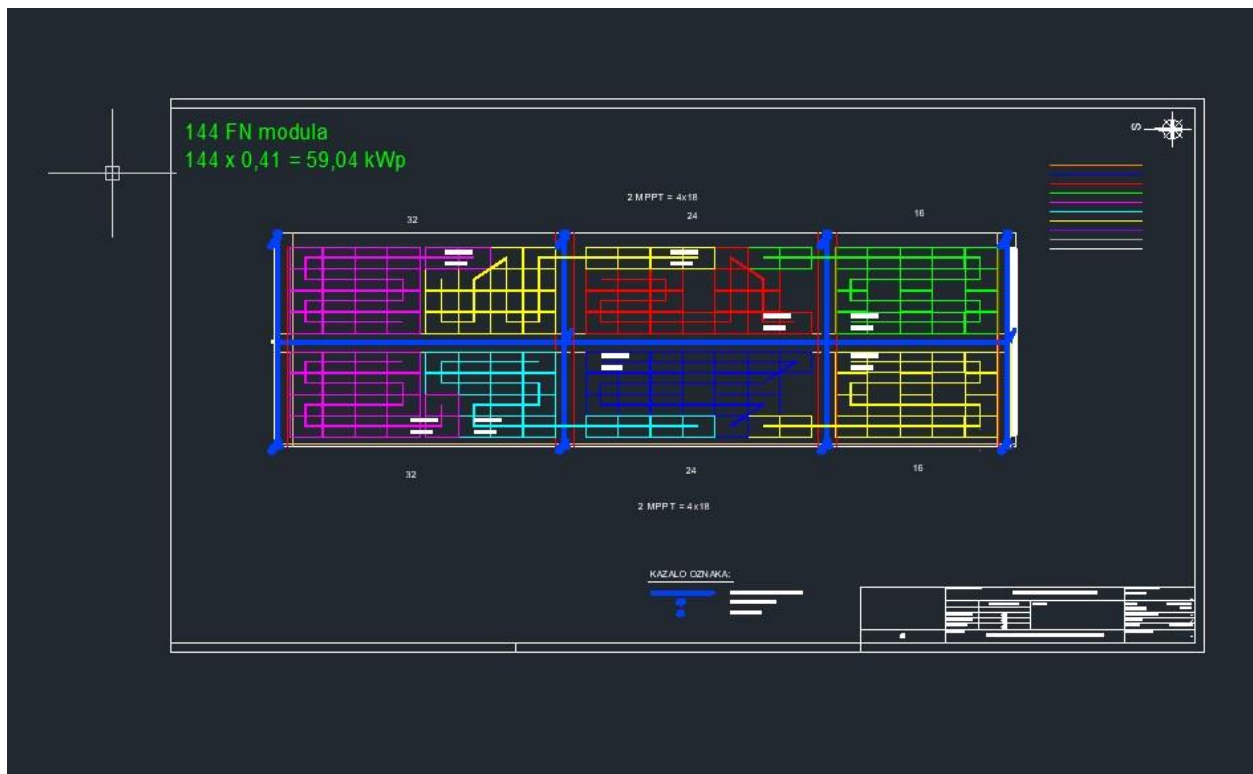
Osim DC ulaza i AC izlaza u tehničkom listu izmjenjivača navedene su i dodatne funkcije i zaštite koje izmjenjivač posjeduje te dimenzije izmjenjivača. SG50CX izmjenjivač posjeduje:

- zaštitu od AC kratkog spoja
- nadzor mreže
- nadzor greške uzemljenja
- DC prekidač
- AC prekidač

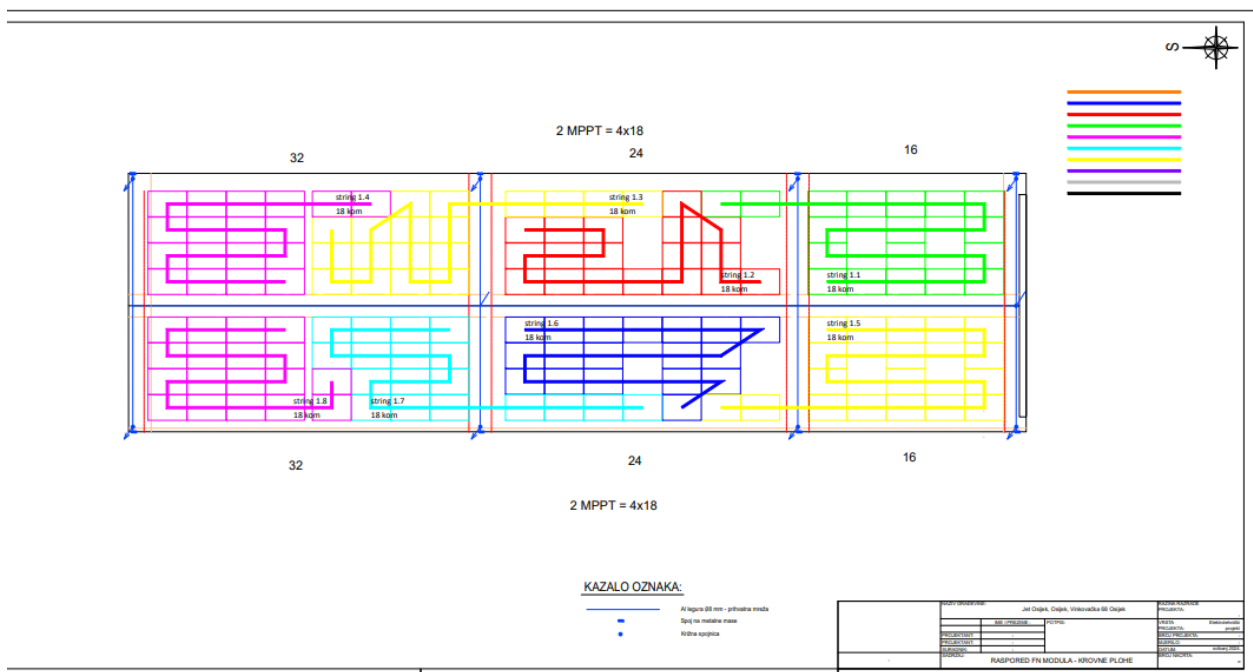
- Nadzor niza FN modula
- Prekidač za zaštitu od luka
- Zaštita od prenapona
- PID funkcija oporavka
- Zaštita od struje curenja [19]

Niz fotonaponskih modula sa izmjenjivačem povezuje se vodičima PV1F 1x4 (6) mm^2 ; 1,8 kV. Vodiči se postavljaju duž sekundarnih nosača ili se montiraju u police pomoću odgovarajućih obujmica. Svi spojevi između fotonaponskih modula i izmjenjivača se izvode putem priključnih konektora prilagođenih za presjek 4 (6) mm^2 . Prije povezivanja kabela na izmjenjivač, nužno je koristiti voltmetar kako bi se provjerio polaritet i izmjerio napon. Naponske vrijednosti bi trebale biti približno jednake za sve grupe, odnosno odgovarati zbroju napona svih modula u seriji. Također je važno provjeriti napone u odnosu na zemlju. Na jedan MPPT ulaz izmjenjivača spajaju se dva niza. U ovom slučaju važno je da su ova dva niza međusobno jednaka i da imaju istu orijentaciju. Također svaki MPPT ulaz ima maksimalni napon od kojeg napon niza ne smije biti veći. [5]

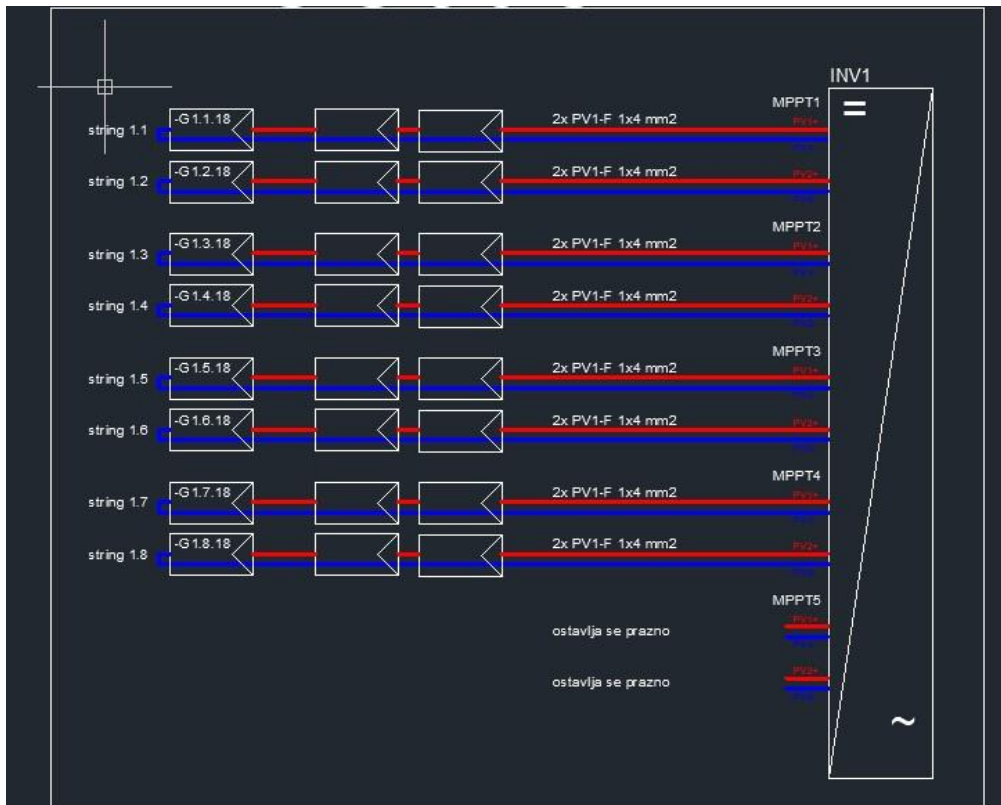
Na Slici 4.32. i 4.33. može se vidjeti tlocrt građevine sa ucrtanim fotonaponskim modulima i gromobranima. Fotonaponski moduli podijeljeni su u nizove, svaki niz obojen je drugom bojom. Nizovi su međusobno jednaki, sadrže 18 fotonaponskih modula. Ukupan broj FN modula iznosi 144. U gornjem desnom kutu nalazi se oznaka sjevera na osnovu čega se može zaključiti orijentaciju građevine, a s time i sama orijentacija fotonaponske elektrane. U gornjem lijevom kutu nalazi se ukupan broj fotonaponskih modula i ukupna snaga na DC strani. Na Slici 4.34. i Slici 4.35. shematski je prikazano spajanje nizova sa izmjenjivačem. Može se vidjeti da izmjenjivač ima 5 MPPT ulaza i na svaki ulaz spojena su dva niza. Zadnji ulaz ostavljen je prazan. Na shemi naznačeni su i vodiči kojim se nizovi povezuju sa izmjenjivačem, a to su PV1-F 1x4 mm^2 .



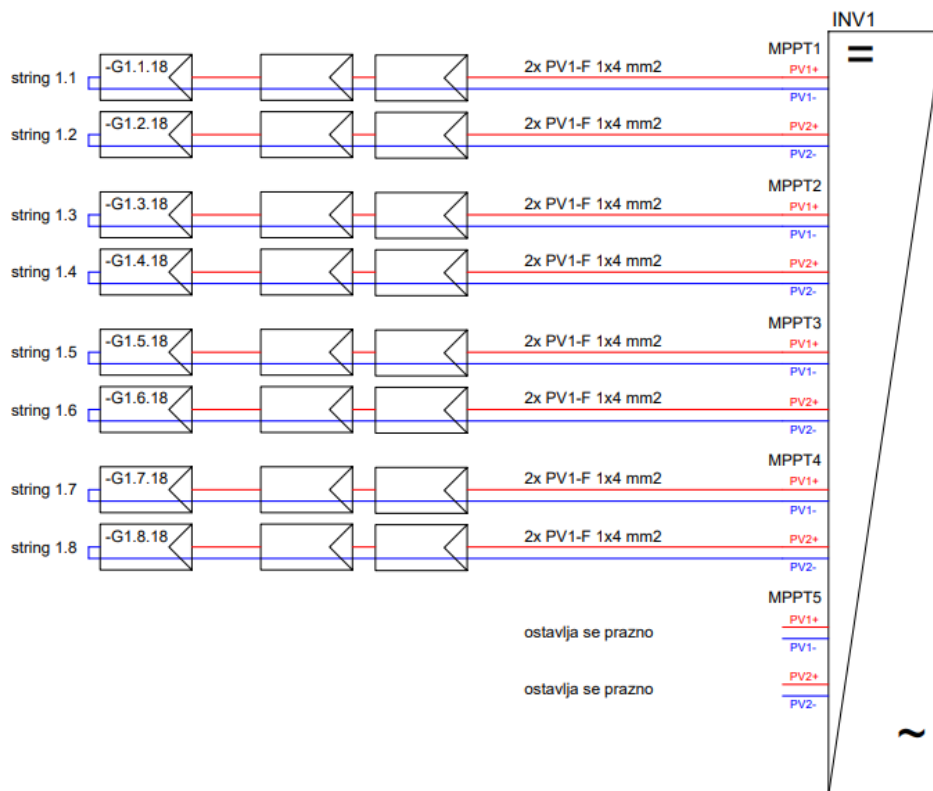
Slika 4.32. Prikaz izrade nizova i gromobrana u programu AutoCAD [15]



Slika 4.33. Rezultat rada u AutoCAD-u koji prikazuje tlocrt građevine sa ucrtanim FN modulima i gromobranima [15]



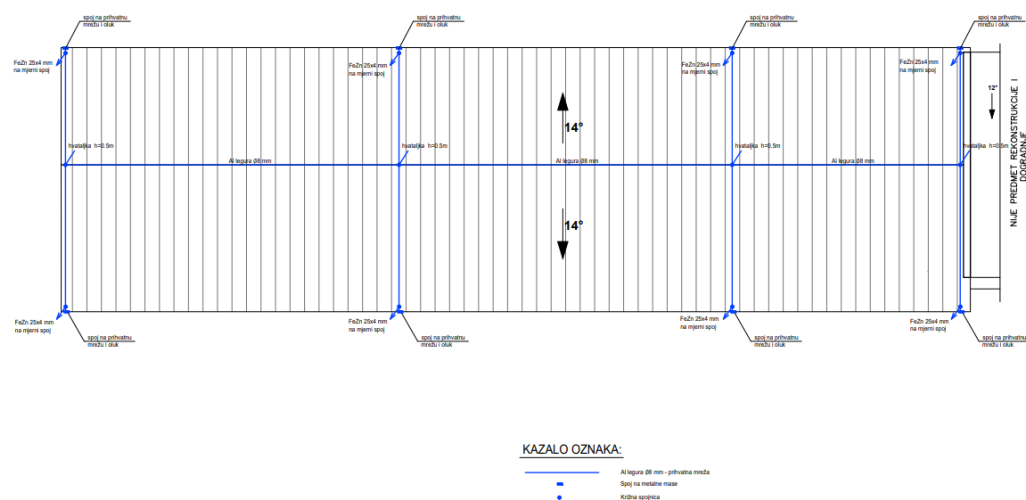
Slika 4.34. Prikaz izrade sheme spoja nizova sa izmjenjivačem u AutoCAD-u [15]



Slika 4.35. Prikaz sheme spoja nizova sa SG50CX izmjenjivačem [15]

4.7. Zaštita od udara groma

Fotonaponska elektrana kao i sve građevine izložena je vremenskim neprilikama što uključuje i atmosfersko pražnjenje odnosno udar groma. Fotonaponska elektrana koja se nalazi na krovu građevine, kao što je slučaj u ovome radu, više je izložena udaru groma zbog svog položaja nego fotonaponske elektrane koje se nalaze na tlu. Zbog toga je važno provesti sigurnosne mjere u skladu s normama. Korištene norme su: EN 62305 (zaštita od munje), EN 61173 (zaštita od prenapona nastalih u FN sustavu), HD 60364-4-41 (NN električne instalacije- sigurnosna zaštita- zaštita od električnog udara). Gromobranska instalacija služi kako bi se provela zaštita od udara groma. Zadaća gromobranske instalacije je da prihvati struju groma i sigurno je odvede u zemlju. Gromobranska instalacija prikazana je na Slici 4.36. Ispod sheme nalazi se legenda korištenih simbola, gdje plava linija predstavlja aluminijsku leguru $\phi 8\text{ mm}$ – prihvatna mreža, plavi pravokutnik – spoj na metalne mase i plavi krug – križna spojnica. Važno je da kod postavljanja fotonaponskih modula oni zadovoljavaju minimalnu dozvoljenu udaljenost od gromobrana pripisanu Normom EN 62305 (zaštita od munje). Ova udaljenost iznosi 0,5 m. Osim gromobranske instalacije česta je primjena odvodnika prenapona i izjednačavanja potencijala. Izjednačavanje potencijala provodi se kako bi se spriječila pojava razlike potencijala na metalnim masama, a izvodi se galvanskim povezivanjem svih metalnih masa (metalna konstrukcija i fotonaponski moduli). Odvodnici prenapona štite inverter od prenapona koji se mogu javiti na DC strani i od prenapona koji se javljaju na AC strani u električnoj mreži. [20]



Slika 4.36. Prikaz gromobranske instalacije u AutoCAD-u [15]

Na Slici 4.36. može se vidjeti oštećenje fotonaponskog modula nastalo udarom groma. Udar groma može uzrokovati:

- Fizičko oštećenje - mehaničko oštećenje kao npr. lomovi i pukotine.
- Termalno oštećenje – visoke temperature mogu rastopiti ili oštetiti materijale unutar modula
- Električno oštećenje – udar groma može dovesti do visokih napona što može oštetiti električne komponente.



Slika 4.37. Oštećenje FN modula udarom groma [21]

4.8. Dimenzioniranje AC niskonaponskog mrežnog kabela i opreme

Za izbor i instalaciju uređaja za odvajanje i sklapanje između FN instalacija i javne mreže, javna mreža mora se smatrati izvorom, a FN instalacija teretom. Dimenzioniranje vodiča izvedeno je prema strujnom opterećenju, uzimajući u obzir faktor snage i vršnu snagu:

$$I = \frac{P_V * 10^3}{\sqrt{3} * 400 * \cos\varphi} - \text{trofazno} \quad I = \frac{P_V * 10^3}{230 * \cos\varphi} - \text{jednofazno} \quad (4-5)$$

Vodovi se odabiru prema sljedećim uvjetima:

1. $I_n < I_0 < I_d$ (4-6)
2. $I_2 < 1,45 * I_d$

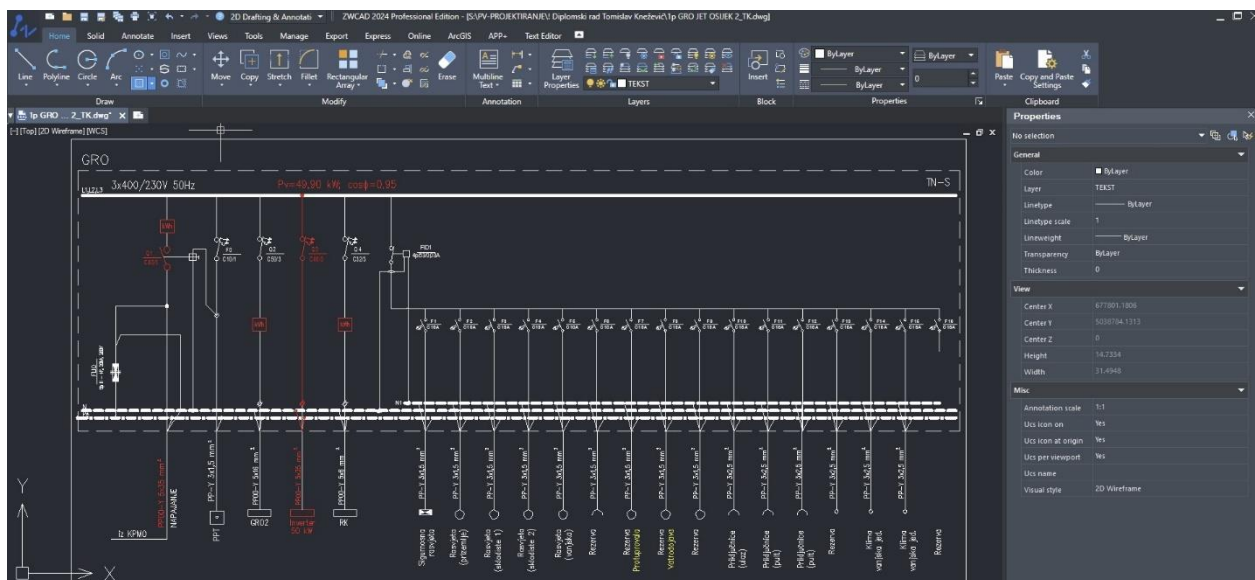
Pad napona treba biti manji od 1% od pretvarača do KPMO. U slučajevima ukoliko je napon mreže visok, veći pad napona na vodu može izazvati ispad elektrane.

Zaštita od indirektnog dodira izračunava se za minimalnu vrijednost struje kvara prema zemlji. U slučaju da zaštita od indirektnog dodira nije adekvatna, nužna je ugradnja RCD uređaja. [5]

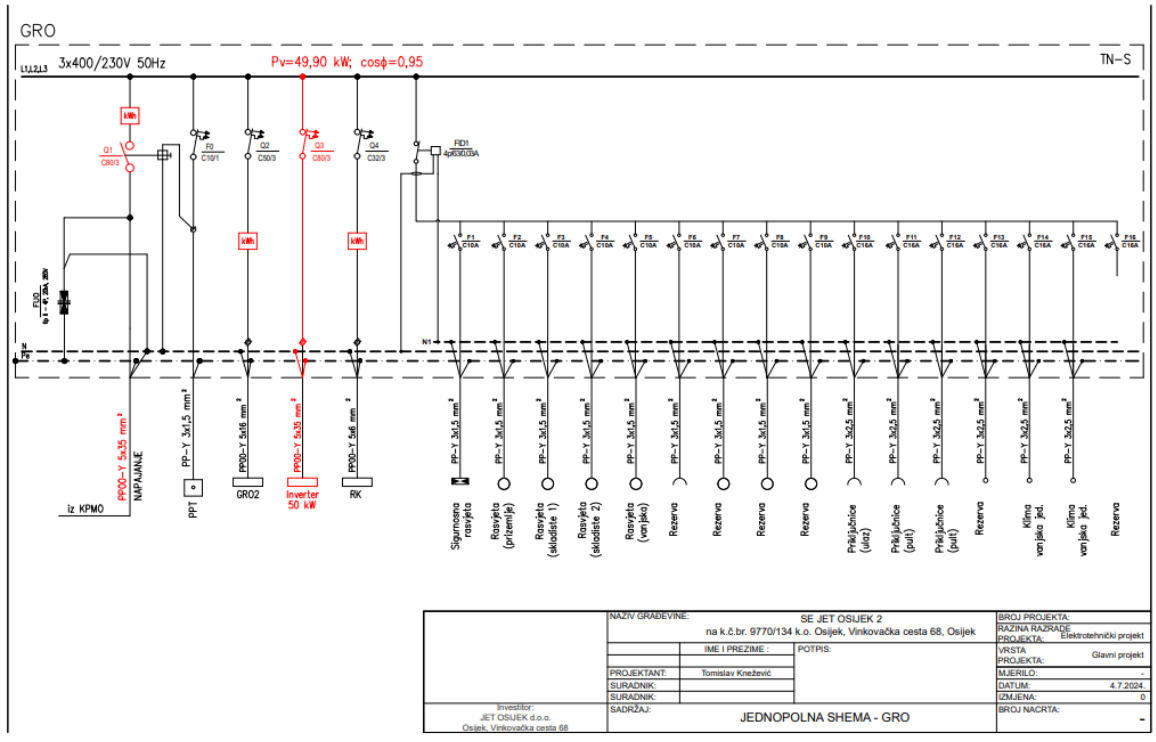
RCD uređaji pružaju zaštitu od direktnog i indirektnog dodira te zaštitu od požara. RCD uređaji stalno mjere struju u faznom i neutralnom vodiču. U normalnim uvjetima, ove struje su jednake. Ako dođe do curenja struje, struja u faznom vodiču će biti veća od struje u neutralnom vodiču. Kada RCD detektira razliku u struji koja prelazi unaprijed određenu vrijednost, aktivira mehanizam za isključenje napona. [22]

Na Slici 4.38. i Slici 4.39. prikazana je shema AC strane. Na shemi je prikazana AC strana od samog napajanja, prikazuje sve sadržane elemente kao što su mjerni ormarići, FID sklopka, inverter, osigurače itd.

Osigurači su zaštitni uređaji u električnim instalacijama koji štite električne krugove od preopterećenja i kratkog spoja. Njihova osnovna funkcija je prekidanje električnog toka kada struja koja prolazi kroz osigurač pređe unaprijed određenu vrijednost, čime se sprječava oštećenje opreme i potencijalni požar. [23]



Slika 4.38. Izrada jednopolne sheme AC strane u AutoCAD-u [15]



Slika 4.39. Jednopolna shema AC strane [15]

5. ODRŽAVANJE I ISPLATIVOST FOTONAPONSKE ELEKTRANE

Moduli fotonaponskih elektrana ne zahtijevaju posebno održavanje. Povremene kiše i oborine obično uklone svu prljavštinu koja bi mogla ometati njihov rad. Po potrebi, površina modula može se oprati toplom vodom. Važno je obratiti pažnju na eventualno pucanje okvira, stakla i defekte na priključnoj kutiji. Češće ispiranje nečistoća preporučuje se za module postavljene na krovove s blagim nagibom. U slučaju kada dođe do kvara pojedine komponente potrebna je intervencija stručnih osoba. Proizvođači u svojim uputama propisuju periodičnost i opseg pregleda, ispitivanja servisiranja i kontrolnih mjerenja.

Održavanje podrazumijeva:

- vizualni pregled FN modula
- pranje modula vodom prema potrebi
- pritezanje vijčanih spojeva
- provjera stanja automatskih osigurača
- provjera stanja RCD uređaja (FID sklopke)
- pregled odvodnika prenapona



Slika 5.1. Održavanje fotonaponskih elektrana [24]

Mjerno mjesto: 0808596271 JET OSIJEK D.O.O.		OSIJEK, VINKOVAČKA CESTA 68		Snaga EES (kW): 29,9						
Godina	Mjesec	Od	Tarifni model	R1 (kWh)	R2 (kWh)	J1 (kVarh)	J2 (kVarh)	S1 (kW)	S2 (kW)	Omjer R1:R2
2023	5	1.5.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	159,87	387,00	0,00	364,41	12,86	9,46	0,41
2023	6	1.6.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	109,94	380,98	0,01	298,06	3,17	3,87	0,29
2023	7	1.7.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	158,04	461,96	4,59	284,28	6,85	4,63	0,34
2023	8	1.8.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	221,23	548,10	2,74	326,31	5,23	4,61	0,40
2023	9	1.9.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	349,66	604,76	4,86	348,60	6,64	6,22	0,58
2023	10	1.10.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	1.142,12	873,25	5,58	570,58	20,18	14,91	1,31
2023	11	1.11.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	3.893,31	1.792,24	1,70	776,26	25,80	23,10	2,17
2023	12	1.12.2023.	Poduzetništvo NN Crveni	5.379,35	2.353,36	0,92	987,42	30,35	23,50	2,29
2024	1	1.1.2024.	Poduzetništvo NN Crveni	7.171,74	3.474,84	1,33	1.104,60	41,58	35,46	2,06
2024	2	1.2.2024.	Poduzetništvo NN Crveni	3.508,62	2.671,12	12,38	439,60	37,02	36,51	1,31
2024	3	1.3.2024.	Poduzetništvo NN Crveni	2.319,13	2.319,70	20,37	329,43	32,89	35,82	1,00
2024	4	1.4.2024.	Poduzetništvo NN Crveni	983,08	1.187,03	10,03	276,94	27,74	31,62	0,83
Ukupno mjerno mjesto				25.396,09	17.054,34	64,51	6.106,49	41,58	36,51	

Slika 5.2. Energetska kartica za 2023.-2024. godinu

Slika 5.2. prikazuje energetska karticu za razdoblje od 01.05.2023. godine do 01.04.2024. godine. Usporedbom podataka energetske kartice prikazane na Slici 5.2. sa energetska karticom prikazanom na Slici 4.1. koja se odnosi na razdoblje od 01.05.2022. godine do 01.04.2023. godine može se vidjeti da se potrošnja značajno smanjila. Ukupna godišnja potrošnja prije izgradnje fotonaponske elektrane iznosila je 71 661,02 kWh, a nakon izgradnje elektrane godišnja potrošnja se smanjila na 25 396,09 kWh.

6. ZAKLJUČAK

U ovome radu obrađena je tema projektiranje fotonaponskih sustava kupac s vlastitom proizvodnjom. Projektiranje fotonaponskih sustava predstavlja ključni korak prema održivom i ekološki prihvatljivom izvoru energije. Zbog sve izraženijih okolišnih problema koji se javljaju, poput globalnog zatopljenja, ozonskih rupa, pojačanog efekta staklenika ovo područje vezano za obnovljive izvore energije postalo je izrazito važno. Sunce kao jedan od oblika obnovljivih izvora energije posjeduje najveći potencijal, zato što Sunce Zemlji predaje količinu energije koja je tisuću puta veća od ukupne potrošnje na Zemlji. Fotonaponskih sustavi imaju svoje nedostatke, ali kroz određeno razdoblje doživjeli su značajan napredak. Danas ova tehnologija postala je dostupna svima i njezin napredak neprestano raste. Tijekom ovog rada opisani su fotonaponski sustavi i njegove komponente, a naglasak se stavlja na korake projektiranja fotonaponskih sustava. U postupku projektiranja svaki korak je izrazito važan i ukoliko se jedan izostavi nije moguće provesti postupak projektiranja. Osim samog znanja vezanog uz područje elektrotehnike koje je najvažnije, potrebno je poznavati različite zakone i pravilnike, te imati jasnu komunikaciju s investitorom. Tijekom postupka projektiranja potrebno je provesti različite analize lokacije, kao što su količina sunčevog zračenja, mogućnost postojanja sjene, orijentacija, kako bi se moglo zaključiti hoće li fotonaponska elektrana zadovoljiti zahtjeve. Izrazitu važnost igra i odabir komponenti kako bi se postigla što veća učinkovitost i ostvario što dulji životni vijek elektrane. Zbog svega navedenog projektiranje fotonaponskih sustava predstavlja složen postupak tijekom kojeg je potrebno provesti mnogo koraka kako bi se što bolje iskoristio potencijal i zadovoljili zahtjevi.

LITERATURA

- [1] R.T. Fonash, S. Ashok, Solar cell, Britannica, 2024., dostupno na: <https://www.britannica.com/technology/solar-cell> (02.05.2024.)
- [2] D. Šljivac, D. Topić, "Obnovljivi izvori električne energije", Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek, 2018.
- [3] M. Žnidarec, Predavanja OIE – Fotonaponski sustavi, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2023./2024.
- [4] N. Zovko, Utjecaj velikog udjela fotonaponskih elektrana na distributivnu mrežu, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2018.
- [5] B. Vidaković, Fotonaponske elektrane upute za projektiranje, Stručni seminar HKIE, 2013.
- [6] Kupac s vlastitom proizvodnjom, HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o., dostupno na: <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (14.05.2024)
- [7] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 83/2023-1298), dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/827/Zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokou%C4%8Dinkovitoj-kogeneraciji>, (14.05.2024.)
- [8] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), EC EU Joint Research Centre (JRC), dostupno na: <https://pvgis.com/> (15.05.2024)
- [9] Zakon o gradnji (NN 39/2019-802), dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/690/Zakon-o-gradnji> (20.05.2024)
- [10] HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu, 2021.
- [11] HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu, 2023.
- [12] J. P. Dunlop, Photovoltaic System, American Tehnical Publishers, 2012.
- [13] Program za montažu fotonaponskih modula na različite vrste krovova K2 System Base, dostupno na: <https://k2-systems.com/en/> (27.05.2024)

- [14] Tehnički list za krovni panel Kingspan KS1000 RW, dostupno na: <https://www.kingspan.com/content/dam/kingspan/kip-ceer/documents/hungary/ks1000-rw-ipn-data-sheet-2023-01-23.pdf> (02.06.2024)
- [15] Program za računalno podržano dizajniranje AutoCAD 2019
- [16] Kako spojiti solarne panele u seriju u odnosu na paralelni spoj, dostupno na: <https://www.energy2store.hr/kako-spojiti-solarne-panele-u-seriju-u-odnosu-na-paralelni-spoj/> (05.06.2024)
- [17] Tehnički list za fotonaponski modul Leapton 410 Wp, dostupno na: <https://beein.pl/wp-content/uploads/2022/04/Karta-katalogowa-Leapton-410.pdf> (05.06.2024)
- [18] Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), dostupno na: https://meteo.hr/objave_najave_natjecaji.php?section=onn¶m=objave&el=priopcenja&daj=najnize_temperature_zraka (07.06.2024)
- [19] Tehnički list za izmjenjivač SG33CX/SG40CX/SG50CX, dostupno na: https://en.sungrowpower.com/upload/documentFile/DS_SG33CX%20SG40CX%20SG50CX%20Datasheet_V14_EN.pdf (07.06.2024)
- [20] L. Stojnović, Sigurnosni aspekti fotonaponskih elektrana, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2017.
- [21] HERMI, Gromobranska i prenaponska zaštita solarnih elektrana, dostupno na: <https://hermi.hr/vijest/gromobranska-i-prenaponska-zastita-solarnih-elektrana> (12.06.2024)
- [22] The Institution of Engineering and Technology, Electrical Installation Design Guide: Calculations for Electricians and Designers, The Institution of Engineering and Technology, London, 2022.
- [23] S. Savić, Osigurači, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2019.
- [24] Čišćenje i održavanje modula, dostupno na: <https://solektra.hr/2016/11/07/ciscenje-i-odrzavanje-modula/> (12.7.2024)

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisan je postupak projektiranja fotonaponskih sustava. U uvodnom dijelu opisana je energija Sunca i prednosti obnovljivih izvora energije. Nakon uvoda objašnjena je struktura fotonaponske ćelije, nadomjesna shema i strujno naponska karakteristika ćelije, opisani su FN moduli i vrste fotonaponskih sustava. Nakon osnovnih informacija o fotonaponskim tehnologijama slijedi detaljan opis postupka projektiranja fotonaponske elektrane kupac s vlastitom proizvodnjom. U ovom poglavlju opisan je svaki korak postupka projektiranja fotonaponske elektrane, a opisani koraci su: dogovor s investitorom, istraživanje lokacije, dokumentacija građevine, postupak priključenja kupca s vlastitom proizvodnjom, postavljanje fotonaponskih modula na krov, stringovi, zaštita od udara groma i dimenzioniranje AC niskonaponskog mrežnog kabela i opreme. Ovaj postupak projektiranja odnosi se na fotonaponsku elektranu snage 49,90 kW postavljenu na krov građevine.

Ključne riječi: projektiranje, fotonaponski sustav, fotonaponski moduli, izmjenjivač, montiranje FN modula.

ABSTRACT

This thesis describes the process of designing photovoltaic system. The introductory part describes the energy of the Sun and the advantages of renewable energy sources. After the introduction, the structure of the photovoltaic cell, the cell scheme and the current-voltage characteristics of the cell are explained. Photovoltaic modules and types of photovoltaic systems are described as well. After the basic information about photovoltaic technologies, a detailed description of the process of designing a photovoltaic power plant for the customer with its own production follows. That chapter describes each step of the photovoltaic power plant design process, including: agreement with the investor, location research, building documentation, the process of connecting a customer with self-production, installation of photovoltaic modules on the roof, strings, lightning protection and sizing of the AC low-voltage grid cable and equipment, This design process pertains to a 49,90 kW photovoltaic power plant installed on a building's roof.

Key words: Designing, Photovoltaic systems, Photovoltaic modules, inverter, mounting PV modules.

ŽIVOTOPIS

Tomislav Knežević rođen je u Žepču 20.03.2000. godine. Nakon završene Osnovne škole Žepče u Žepču, upisuje Opću gimnaziju KŠC Don Bosco u Žepču. Nakon završene srednje škole svoje obrazovanje nastavlja u Republici Hrvatskoj i upisuje preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Uspješno završava preddiplomski studij i stječe zvanje Sveučilišni prvostupnik (baccalaureus) inženjer elektrotehnike i informacijske tehnologije. Nakon preddiplomskog studija upisuje diplomski studij izborni blok Elektroenergetski sustavi. Odlikuje ga govor engleskog jezika i rad u programima PV SOL, MS Office, Easy Power, DigSILENT, K2 system base, Matlab, AutoCAD.