

# Projektiranje fotonaponskih sustava na primjeru SE KBC Osijek 230 kW

---

**Mikić, Andreja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:000466>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**

*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 NA  
PRIMJERU SE KBC OSIJEK 230 KW**

**Diplomski rad**

**Andreja Mikić**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak diplomskog rada .....</b>	<b>2</b>
<b>2. PREGLED PODRUČJA TEME.....</b>	<b>3</b>
<b>3. FOTONAPONSKE ČELIJE, MODULI I SUSTAVI.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Fotonaponski efekt.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Fotonaponske ćelije.....</b>	<b>5</b>
3.2.1. Vrste fotonaponskih ćelija .....	7
<b>3.3. Fotonaponski moduli .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Fotonaponski sustavi.....</b>	<b>11</b>
3.4.1. Podjela fotonaponskih sustava.....	11
3.4.2. Dimenzioniranje fotonaponskog sustava .....	13
<b>4. ZAKONSKA REGULATIVA U REPUBLICI HRVATSKOJ I POSTUPCI</b>	
<b>PROJEKTIRANJA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Zakonski okvir za postrojenja na obnovljive izvore energije .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Poticajni sustavi proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije .....</b>	<b>22</b>
4.2.1. Krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom.....	23
4.2.2. Korisnik postrojenja za samoopskrbu.....	24
<b>4.3. Postupci priključenja fotonaponskog sustava na distribucijsku mrežu .....</b>	<b>25</b>
4.3.1. Postupci priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom .....	27
<b>4.4. Postupci izrade projektne dokumentacije .....</b>	<b>28</b>
4.4.1. Projektni zadatak .....	30
4.4.2. Idejno rješenje .....	30
4.4.3. Idejni projekt .....	30
4.4.4. Investicijski elaborat.....	31
4.4.5. Glavni projekt.....	31
4.4.6. Glavni izvedbeni projekt .....	32
4.4.7. Dokumentacija izvedenog stanja .....	33
4.4.8. Dokumentacija za pogon i održavanje.....	33
<b>5. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE KLINIČKOG BOLNIČKOG</b>	
<b>CENTRA OSIJEK U PV*SOL PREMIUM-U .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. Općenito o projektu .....</b>	<b>34</b>

<b>5.2. Izrada novog projekta u programu PV*SOL Premium-u .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3. Unos potrošnje.....</b>	<b>36</b>
<b>5.4. Postavljanje fotonaponski modula .....</b>	<b>38</b>
5.4.1. Utjecaj zasjenjenja.....	41
<b>5.5. Konfiguracija modula.....</b>	<b>43</b>
5.5.1. Konfiguracija modula na zgradi radiologije .....	44
5.5.2. Konfiguracija modula na zgradi onkologije .....	47
5.5.3. Konfiguracija modula na zgradi prehrane.....	49
<b>5.6. Plan kabela .....</b>	<b>50</b>
<b>5.7. Kabeli .....</b>	<b>51</b>
<b>5.8. Grafički dio.....</b>	<b>52</b>
<b>5.9. Analiza dobivenih rezultata .....</b>	<b>54</b>
<b>6. ANALIZA ISPLATIVOSTI SUNČANE ELEKTRANE KBC OSIJEK .....</b>	<b>56</b>
<b>6.1. Fotonaponski sustav uz 0% subvencije investicije.....</b>	<b>59</b>
<b>6.2. Fotonaponski sustav uz 40% subvencije investicije.....</b>	<b>62</b>
<b>6.3. Fotonaponski sustav uz 100% subvencije investicije.....</b>	<b>64</b>
<b>6.4. Financijska analiza poskupjele električne energije .....</b>	<b>65</b>
6.4.1. Analiza povrata investicije za pet puta veću cijenu električne energije od početne cijene .....	65
6.4.2. Analiza povrata investicije za deset puta veću cijenu električne energije od početne cijene.....	67
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>68</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>70</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>73</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>74</b>

## 1. UVOD

Svima je poznato da od Sunca, izravno ili neizravno, potječe najveći dio svih izvora energije na Zemlji. Sve veće potrebe za električnom energijom kao i ubrzan razvoj tehnologije te rastuća svijest o potrebama za manjim korištenjem fosilnih goriva dovela su do pojave da fotonaponski sustavi postaju iznimno popularni pogotovo u zemljama u kojima postoje razni programi za poticanje njihove primjene.

Hrvatska kao sredozemna zemlja pruža brojne mogućnosti u pogledu iskorištavanja Sunčeve energije. S obzirom na to sve se više povećava interes za izgradnjom fotonaponskih sustava.

Za razliku od fosilnih goriva energija Sunca je za ljudsko poimanje vremena trajno obnovljiv izvor energije te povoljno djeluje na okoliš i doprinosi očuvanju prirodnih resursa.

Sam postupak pretvorbe Sunčeve svjetlosti u električnu energiju je jednostavan, Sunčeva svjetlost izravno obasjava fotonaponske ćelije pri čemu se fotonaponskim efektom generira istosmjerna električna energija. Dobiveno istosmjerno napajanje može se koristiti za pohranu u baterijske spremnike, odnosno za samostalne sustave, ili za predaju proizvedene energije u mrežu. Kod sustava koji su spojeni na mrežu višak proizvedene energije predaje se u mrežu, dok u slučaju proizvodnje koja ne zadovoljava potrebe trošila, energija se preuzima iz elektroenergetske mreže. Samostalni tj. izvanmrežni sustavi koji se uglavnom koriste na mjestima gdje je slab pristup mrežnoj infrastrukturi koriste rezervne baterije u slučaju najnepogodnijeg vremena.

Važno je napomenuti da nas u slučaju projektiranja fotonaponskih sustava ne zabrinjava sadržaj topline Sunčeve svjetlosti, fotonaponski moduli iskorištavaju samo svjetlost, a ne i toplinu.

Brojne su prednosti dobivanja električne energije iz fotonaponskih sustava: čista tehnologija pretvorbe energije koja ne zagađuje okoliš, besplatna Sunčeva energija koja je neograničena (besplatno gorivo), opskrba potrošača na mjestima koja nemaju pristup elektroenergetskoj mreži, životni vijek sustava je dug (više od 25 godina), a tehnologija pouzdana, bešumna i prilično jednostavna za instalirati. S druge strane nedostatak ove tehnologije je što nam Sunčeva energija nije uvijek dostupna, te je zato proizvodnja električne energije promjenjiva, efikasnost pretvorbe u električnu energiju je mala, potrebne su velike površine za izgradnju sustava, a investicije su velike te cjelokupan projekt fotonaponskih elektrana ne bi bio isplativ bez dodatnih poticaja.

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Zadatak ovog diplomskog rada je prikazati cijeli postupak projektiranja, te uz pomoć zakona i svih pravila struke objasniti kako bi cjelokupan projekt fotonaponske elektrane trebao izgledati.

Rad se sastoji od teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu u trećem poglavlju, nakon uvoda i pregleda područja teme, najprije je opisan sam fotonaponski sustav, njegovi sastavni dijelovi i karakteristike. U sljedećem poglavlju definirani su postupci projektiranja kao i zakonodavni okvir za obnovljive izvore energije u Republici Hrvatskoj. U praktičnom dijelu rada, prema glavnom projektu fotonaponske elektrane Kliničkog bolničkog centra Osijek napravljena je simulacija fotonaponske elektrane u programskom paketu PV\*SOL Premium te analiza isplativosti projektirane elektrane.

## 2. PREGLED PODRUČJA TEME

Fotonaponski sustavi predstavljaju obnovljivi izvor energije koji kao gorivo koriste neiscrpan izvor energije tj. Sunčevo zračenje. Osnovna tema u ovom radu bila je opisati samu tehnologiju proizvodnje električne energije fotonaponskim efektom zatim opisati postupke projektiranja i dimenzioniranja fotonaponskog sustava te na osnovi provedenih proračuna u programskom paketu PV\*SOL Premium ustanoviti isplativost ove tehnologije. Postoji nekoliko programa u kojima je moguće provesti simulirani rad fotonaponske elektrane i većinu njih međusobno je moguće uspoređivati.

B. Labudović u [1] opisuje osnovne vrste fotonaponskih ćelija, sustava i modula, dimenzioniranje kako autonomnih tako i umreženih fotonaponskih sustava. Također navodi i propise o poticanju primjene fotonaponskih sustava, te su opisani najveći fotonaponski sustavi u svijetu.

LJ. Majdandžić u svome radu [2] predstavlja programe kojima se može simulirati rad fotonaponski elektrana. Posebno je naglašen PVGIS sustav koji može pretpostaviti koliko se električne energije može dobiti iz fotonaponskog sustava na određenoj lokaciji, a sve to na osnovi brojnih meteoroloških mjernih postaja gdje se izravno mjeri Sunčevo zračenje. Također autor navodi i program PVS u kojemu se može simulirati rad fotonaponskog sustava, te PV\*SOL. Osim navedenih programa proveden je i primjer ekonomske analize i povrata investicije za fotonaponske module postavljene u nekoliko gradova Hrvatske. Pa tako za grad Zagreb instalacija 10 kW postrojenja isplatila bi se nakon 6,1 godinu, u Zadru nakon 5 godina, a u Splitu nakon 4,8 godina itd.

Autori u literaturi [3] detaljno opisuju postupke dimenzioniranja fotonaponske elektrane.

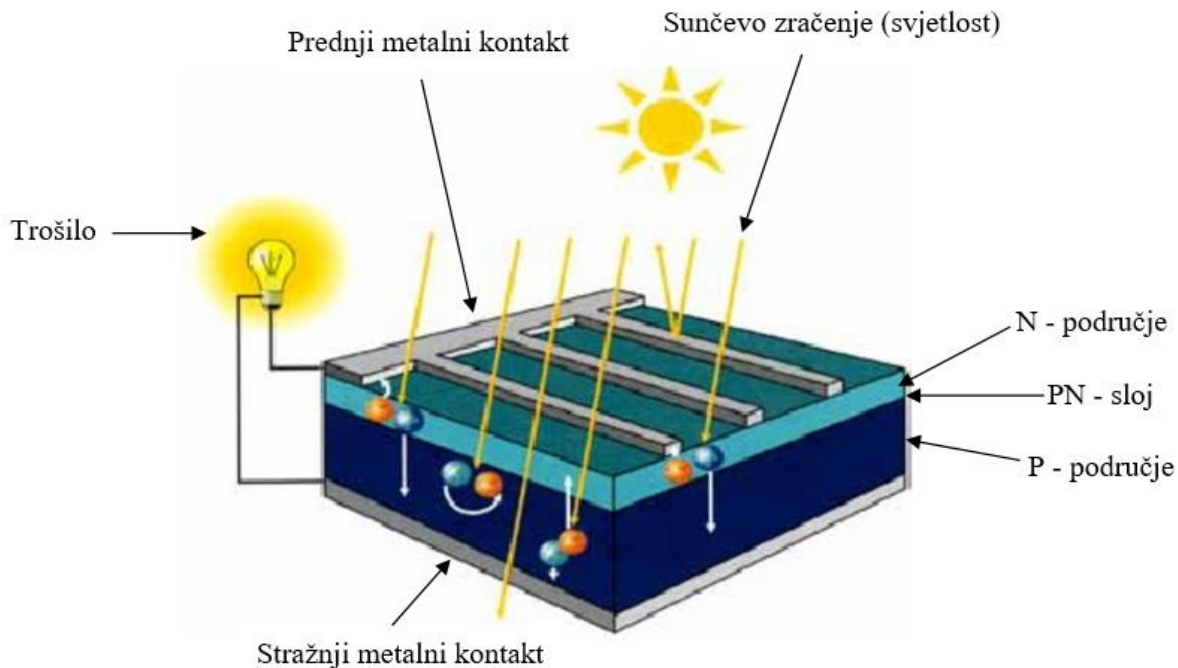
U literaturi [4] autori su dimenzionirali dva umrežena fotonaponska sustava. Prvi sustav je manji i tipičan za obiteljske kuće snage 3 kWp, a drugi dimenzionirani sustav je industrijski i njegova snaga je 60 kWp.

A. Bhatia u svome radu [5] ističe „*BIVP SISETMS – Building Integration Photovoltaic*“ odnosno aplikaciju u kojoj se fotonaponski moduli integriraju u građevinske konstrukcije. Objašnjava dvostruku funkciju ove metode a to je istovremena proizvodnja energije te konstrukcijski materijal za zgradu, odnosno ova metoda uključuje zamjenu tradicionalnog konstrukcijskog elementa materijalima koji se sastoje od solarnih modula

### 3. FOTONAPONSKE ČELIJE, MODULI I SUSTAVI

#### 3.1. Fotonaponski efekt

Fotonaponski efekt omogućava izravnu pretvorbu Sunčeve svjetlosti u električnu energiju, odnosno to je pojava u kojoj se na krajevima adekvatno konstruiranog poluvodičkog elementa (fotonaponska ćelija) pri izloženosti svjetlosti (fotonima) stvara napon koji predstavlja izvor



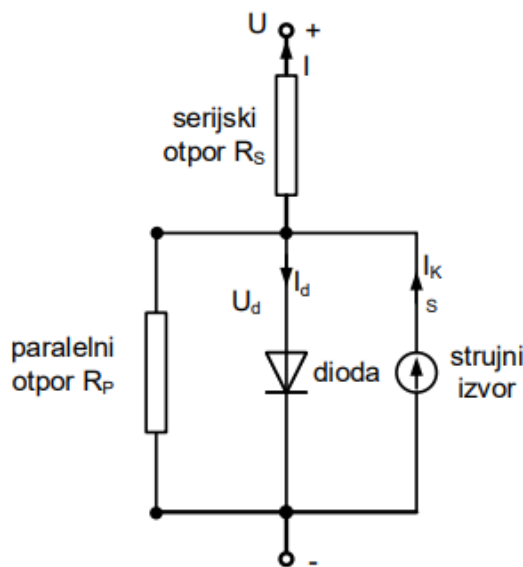
**Slika 3.1.** Pojednostavljena shema djelovanja fotonaponskog efekta [2]

istosmjerne struje. Kako bi uopće došlo do stvaranja napona na krajevima poluvodičkog elementa potrebno je imati pn spoj, odnosno granični sloj između p - područja i n – područja poluvodičkog elementa. Kada je takav element osvijetljen u p i n – području elektroni izlijeću iz atoma materijala i na taj se način istovremeno stvara odgovarajući broj šupljina. Kako bi se ponovno vratili u stanje ravnoteže naboja dolazi do difuzije nastalih slobodnih elektrona iz p – područja u n – područje i šupljina iz n – područja u p – područje. Na taj način nastaje neravnoteža naboja između prednjeg (negativan naboj) i stražnjeg (pozitivan naboj) metalnog kontakta te na krajevima poluvodičkog elementa dolazi do nastajanja naponskog potencijala. Ukoliko se kontakti spoje na strujni krug, uz uvjet da poluvodič bude osvijetljen, dolazi do usmjerenog kretanja elektrona, odnosno nastaje struja (Slika 3.1) [1].



### 3.2. Fotonaponske ćelije

Fotonaponska ćelija je poluvodički element koji na temelju fotonaponskog efekta omogućava izravnu pretvorbu svjetlosti u električnu energiju i osnovna je komponenta svake fotonaponske elektrane. Kao temeljni materijal za izradu fotonaponskih ćelija koristi se silicij te u odnosu na druge materijale prevladava s udjelom od oko 98% [2]. Uloga fotonaponske ćelije u strujnom krugu može se prikazati pomoću nadomjesne sheme koju čine izvor konstantne struje koji predstavlja ekvivalentni sklop za fotonaponsku ćeliju kada je osvijetljena, dioda, paralelni i serijski otpor. Serijski otpor ovisi o načinu izrade ćelije i materijalu, a paralelni otpor o njezinoj kvaliteti (Slika 3.2.) [1].



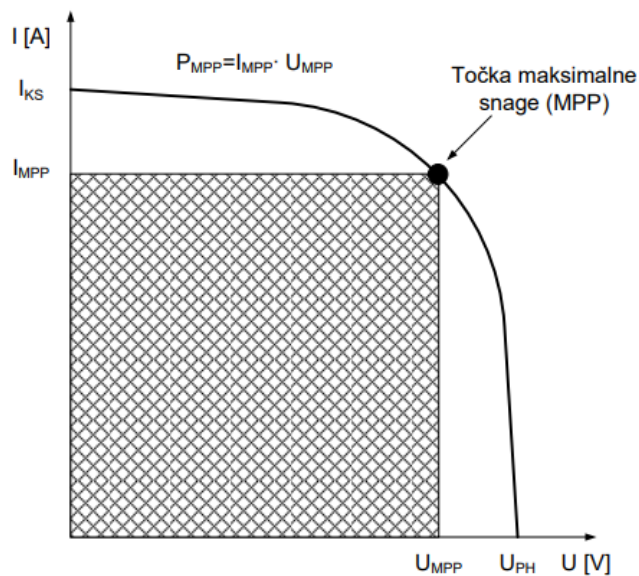
**Slika 3.2.** Ekvivalentni sklop fotonaponske ćelije [3]

Dobivena struja na izlaznim stezaljkama ( $I$ ) jednaka je generiranoj struji preko fotonaponskog efekta ( $I_K$ ) umanjenoj za struju diode ( $I_D$ ) i struju na paralelnom otporniku ( $I_P$ ). Ukoliko zanemarimo serijski i paralelni otpornik struja u takvom strujnom krugu određena je sljedećom formulom:

$$I = I_K - I_0 \cdot \left[ e^{\frac{e \cdot U}{k \cdot T}} \right] \quad (3-1)$$

gdje je:  $I$  – jakost struje u ekvivalentnom sklopu,  $I_K$  – jakost fotostruje,  $I_0$  – jakost struje zasićenja,  $e$  – elementarni naboj ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C),  $U$  – napon,  $k$  – Boltzmanova konstanta ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K),  $T$  – temperatura, K [1].

Strujno-naponska karakteristika najjednostavnije opisuje električna svojstva fotonaponske ćelije (Slika 3.3.)



**Slika 3.3.** Krivulja strujno-naponske karakteristike fotonaponske ćelije [3]

Karakteristični podaci koji opisuju fotonaponsku ćeliju su: jakost struje kratkog spoja ( $I_{KS}$ ), napon otvorenog kruga ( $U_{OK}$ ), faktor punjenja ( $F$ ), stupanj djelovanja ( $\eta_{FNC}$ ), najveća proizvedena snaga ( $P_{MPP}$ ), struja proizvedena u točki maksimalne snage ( $I_{MPP}$ ), napon u točki maksimalne snage ( $U_{MPP}$ )

Iz strujno-naponske karakteristike može se vidjeti da kada nastupe uvjeti kratkog spoja, odnosno kada je napon na stezaljkama na krajevima ćelije jednak 0 ( $U = 0$ ), tada je generirana struja  $I_{KS}$  najveća i jednaka je vrijednosti fotostruje ( $I_{KS} = I_K$ ), dok u slučaju otvorenog kruga (tj. kada je  $I = 0$ ) vrijednost napona na stezaljkama na krajevima ćelije ( $U_{OK}$ ) je najviši. U oba navedena uvjeta proizvedena snaga u ćeliji jednaka je nuli, dok pod svim ostalim uvjetima, kada napon raste, raste i proizvedena snaga. Prvo dostiže vrijednost maksimalne snage (točka MPP), a potom pada blizu vrijednosti napona otvorenog kruga [4].

Faktor punjenja ( $F$ ) je parametar fotonaponske ćelije koji se na strujno-naponskoj karakteristici prikazuje prijelomnom točkom odnosno točkom najveće snage (MPP). Ta točka predstavlja sjecište nazivne vrijednosti struje na ordinati i nazivne struje napona na apcisi. On zapravo pokazuje koliko je stvarna ćelija blizu idealne na što utjecaj ima serijski otpor ćelije tj. vrsta materijala i način izrade. Računa se kao omjer najveće snage fotonaponske ćelije ( $P_{MPP}$ ) i umnoška napona otvorenog kruga ( $U_{OK}$ ) i struje kratkog spoja ( $I_{KS}$ ). Vrijednost faktora punjenja kreće se između 0,7 do 0,9 [1].

$$F = \frac{P_{MPP}}{U_{OK} \cdot I_{KS}} \quad (3-2)$$

Stupanj djelovanja fotonaponske ćelije računa se kao omjer maksimalne snage koju je moguće dobiti ( $P_{MPP}$ ) iz ćelije i snage Sunčevog zračenja ( $G$ ) na površinu ćelije ( $A_{FNC}$ ) [1].

$$\eta_{FNC} = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A_{FNC}} \cdot 100 \quad (3-3)$$

Najveća snaga fotonaponske ćelije jednaka je umnošku najveće struje ( $I_{MPP}$ ) i najvećeg napona ( $U_{MPP}$ ), a grafički se može prikazati kao pravokutnik koji je upisan unutar strujno naponske krivulje [1].

Snaga fotonaponske ćelije ( $P$ ) računa se prema:

$$P = U \cdot \left[ I_K - I_0 \left( e^{\frac{e \cdot U}{k \cdot T}} - 1 \right) \right] \quad (3-4)$$

Neki od faktora koji utječu na snagu fotonaponske ćelije su temperatura, jakost Sunčevog zračenja i dimenzije ćelije. Što je ćelija površinski veća, ona daje veću snagu zato što se struja kratkog spoja povećava dok napon otvorenog kruga ostaje konstantan. Povećanjem intenziteta Sunčevog zračenja povećava se i struja kratkog spoja, dok se napon otvorenog kruga neprimjetno smanjuje, pa se na kraju snaga povećava. Što se tiče temperature, njenim porastom struja kratkog spoja ostaje približno konstantna dok se napon otvorenog kruga smanjuje ( za oko 2mV/K) što rezultira smanjenjem snage [1].

Kako bi se uopće mogle uspoređivati različite ćelije utvrđeni su standardni testni uvjeti (STC):

- Temperatura: 25 °C
- Ukupna jakost Sunčevog zračenja:  $G_{UK} = 1 \text{ kW/m}^2$
- Optička masa zraka:  $AM = 1,5$  [1].

### 3.2.1. Vrste fotonaponskih ćelija

Četiri osnovne vrste fotonaponskih ćelija su: ćelije od kristalnog silicija, tankoslojne ćelije, hibridne ćelije i nanostrukturne ćelije. U primjeni su danas najčešće ćelije od monokristalnog i polikristalnog silicija i na tržištu prevladavaju s oko 98% udjela [1].

**Kristalne fotonaponske ćelije** dijele se na monokristalne i polikristalne ćelije. Fotonaponske ćelije od monokristalnog silicija proizvode se rezanjem iz monokristala silicija. Monokristali su promjera oko 30 cm i duljine nekoliko metara, koji se zatim onda režu u šipke kružnog, kvadratnog ili pseudokvadratičnog presjeka i potom u tanke pločice. Slijedi difuzija fosfora i , ugradnja električnih kontakata te dodavanje antirefleksijskog sloja. Učinkovitost pretvorbe ovakvih fotonaponski ćelija je između 15 i 18,8%. Monokristalne ćelije električni su najučinkovitije što znači da zahtijevaju manju površinu nego druge vrste ćelija za proizvodnju ekvivalentne količine energije. Najčešće dolaze u dimenzijama 10 x 10, 12.5 x 12.5, 15 x 15 cm. Nedostatak je vrlo visok trošak. Na slici 3.4. prikazan je modul od monokristalnih ćelija [1, 5].



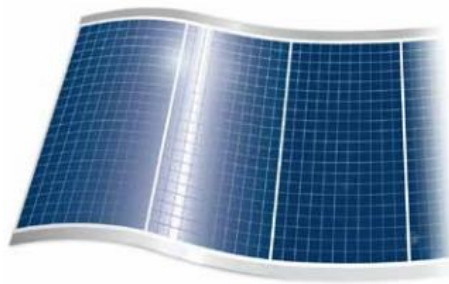
**Slika 3.4.** Modul od monokristalnog silicija [4]

Ćelije od polikristalnog silicija proizvode se rezanjem iz polikristala silicija. Tu se radi o blokovima polikristalnog silicija čiji su kristali različito usmjereni. Potom se ti blokovi režu u šipke pa na pločice, slijedi difuzija fosfora, dodavanje električnih kontakata i antirefleksijskog sloja. Ove ćelije manje su učinkovite (13 – 17,1 %) od monokristalnih, a i njihova cijena je niža, razlika je mala ali ipak vodi do potrebe za većom ćelijom (oko 21 x 21 cm) kako bi se postigla ista razina učinkovitosti. Slika 3.5. prikazuje modul od polikristalnog silicija [1, 5].



**Slika 3.5.** Modul od polikristalnog silicija [4]

**Tankoslojne fotonaponske ćelije** proizvode se nanošenjem tankog fotoosjetljivog sloja poluvodičkog materijala na podlogu od stakla, metala, plastike ili nekog drugog materijala. Za razliku od kristalnih ćelija, proizvodnjom tankoslojnih ćelija dobivaju se već gotovi moduli, a ne pločice koje se povezuju u module. Nanošenjem ovih materijala u tankim slojevima, ukupna debljina ćelije (1 – 6  $\mu\text{m}$ ) manja je od ćelija proizvedenih rezanjem kristala (0,1 – 0,3 mm), od tu naziv „tanki film“. Proizvodni proces je brži i jeftiniji, time je ova tehnologija održivija za korištenje i vrijeme povrata investicije je kraće. Međutim iako tankoslojne ćelije imaju veću apsorpciju svjetla one su manje učinkovite i zahtijevaju veće površine. Poluvodički materijali koji se koriste za tanki film su: kadmijev telurid, bakar i indijev selenid, amorfni silicij, polikristalni silicij. Amorfni silicij je u komercijalnoj proizvodnji, a ostale tri tehnologije su slabije razvijene. Učinkovitost amornog silicija je 5 do 7% iako je njegova apsorpcijska moć 40 puta veća od kristalnog silicija i zato za njih treba gotovo dvostruko više prostora nego za fotonaponsko polje kristalnog silicija. Na slici 3.6. prikazan je modul od tankoslojnih ćelija [1,5].



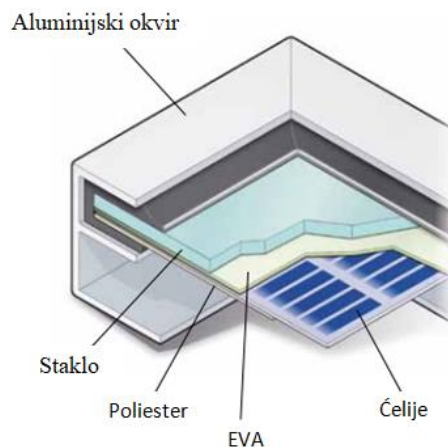
**Slika 3.6.** Modul od tankoslojnih fotonaponskih ćelija [4]

Hibridne fotonaponske ćelije se proizvode kombinacijom tehnoloških postupaka od tankoslojnih fotonaponskih ćelija i ćelija od kristalnog silicija, njihova učinkovitost je oko 20%. Nanostrukturne fotonaponske ćelije proizvode se od anorganskih i organskih tvari pomoću nanotehnologije [1].

### **3.3. Fotonaponski moduli**

Fotonaponski modul je grupa međusobno električni povezanih fotonaponskih ćelija, dok su nizovi mehanički i električni sklopovi fotonaponskih modula. Razlog povezivanja ćelija u module je ostvarivanje veće izlazne snage, također takvim mehaničkim sklopom lakše je rukovati, postavljati ga, održavati, a i njegova otpornost na vanjske uvjete je veća nego da se postavljaju pojedinačne ćelije.

Tipična silicijska fotonaponska ćelija proizvodi samo oko 0,5 V, zato da bi dobili više snage više se fotonaponskih ćelija formira u veće jedinice. Slika 3.7. prikazuje presjek standardnog fotonaponskog modula. Tanki listići etilen-vinil-acetata (EVA) koriste se za međusobno povezivanje ćelija i za zaštitu od vremenskih uvjeta. Moduli su obično zatvoreni između prozirnih poklopaca (obično staklo) i podlogu otpornu na vremenske uvjete (izrađenu od tankog polimera ili stakla). Moduli se mogu uokviriti za dodatnu mehaničku čvrstoću i izdržljivost. Obično se spaja 36 fotonaponskih ćelija koje daju napon od 18 V, ali kako se ti moduli zagrijevaju na suncu napon se smanjuje na otprilike 17 V [5].

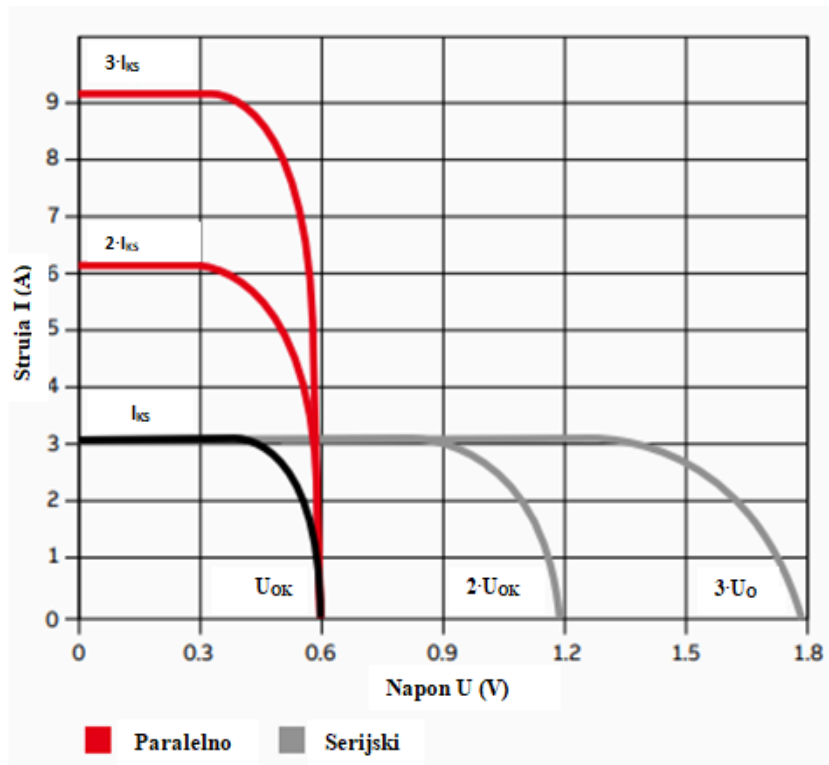


**Slika 3.7.** Presjek fotonaponskog modula [4]

Pojedinačne ćelije unutar modula mogu se spajati serijski, paralelno ili oboje kako bi se povećala izlazna struja ili napon, a s tim i snaga.

U serijskom spoju negativan terminal jedne ćelije spojen je na pozitivan terminal sljedeće ćelije. Kod serijskih povezanih ćelija naponi na svakoj ćeliji se zbrajaju, a ukupna struja jednaka je struji koju stvara jedna ćelija (konstantna). U paralelnoj vezi ćelija napon je isti na svim ćelijama, a struja svake ćelije se zbraja (Slika 3.8.).

Fotonaponski niz je serijski spojen krug fotonaponskih modula. Višestruki fotonaponski nizovi povezuju se paralelno kako bi formirali fotonaponsko polje. Moduli se u fotonaponskom polju obično prvo spajaju u seriju da se dobije željeni napon, a onda se pojedini nizovi spajaju paralelno kako bi sustav proizveo više struje. Važno je obratiti pozornost da svi moduli koji se spajaju serijski budu istog tipa, od istog proizvođača, dok moduli u paralelnom spoju mogu biti različiti.



**Slika 3.8.** Strujno-naponske karakteristike u ovisnosti o paralelno ili serijski spojenim modulima [6]

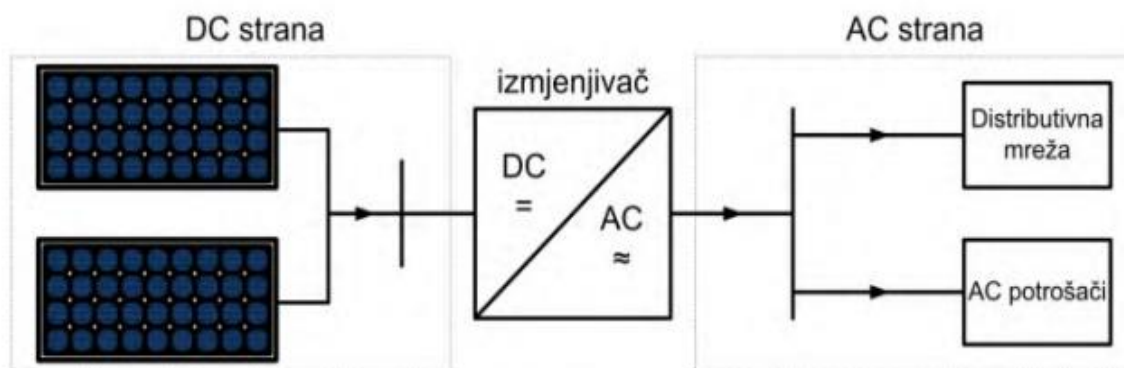
### 3.4. Fotonaponski sustavi

Kao što je već spomenuto ćelije se serijski ili paralelno povezuju u module. Serijski povezani moduli čine fotonaponski niz, a paralelno povezani nizovi čine string. Svi oni zajedno s ostalom opremom čine fotonaponski sustav.

#### 3.4.1. Podjela fotonaponskih sustava

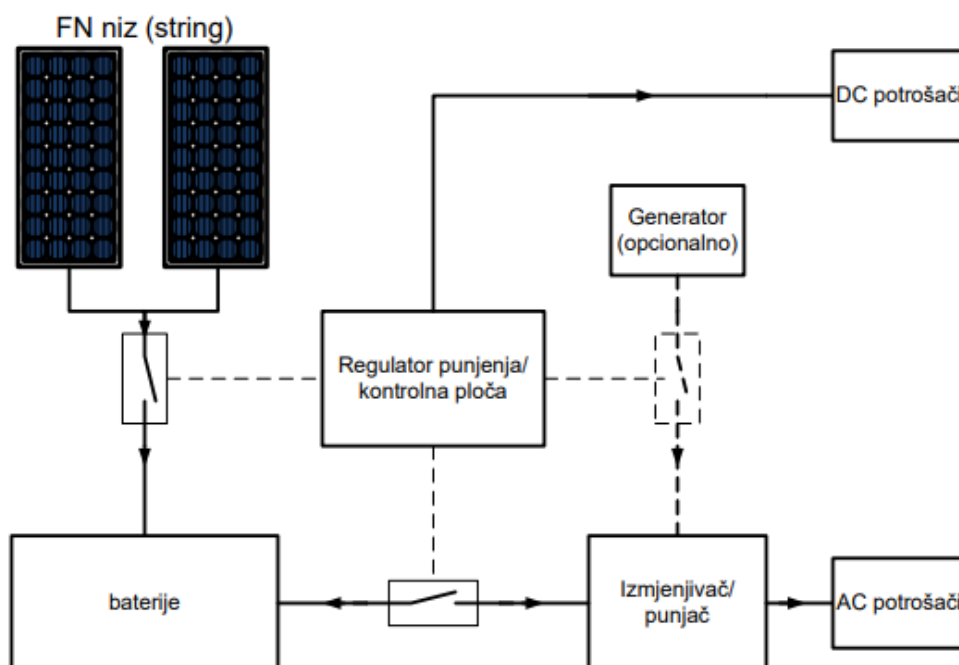
Dvije su osnovne vrste fotonaponskih sustava: autonomni ili otočni fotonaponski sustavi i umreženi fotonaponski sustavi.

Umreženi fotonaponski sustavi (Slika 3.9.) su uvijek spojeni na mrežu, snaga koju proizvodi fotonaponski generator (jedan ili više povezanih fotonaponskih elemenata tj. modula ili ćelija) pretvara se u izmjenjivaču iz istosmjerne u izmjeničnu i nakon tog se energija dovodi u mrežu. U slučaju kada nema Sunčeve svjetlosti, trošila troše električnu energiju iz mreže [5]. Glavni dijelovi takvog sustava su: fotonaponski moduli, razvod istosmjerne struje, glavni prekidač istosmjerne struje, izmjenjivač, razvod izmjenične struje, razvodni ormarić sa zaštitnim elementima i dvosmjernim brojilom, spoj na mrežu i trošila [1].



**Slika 3.9.** Shema mrežnog fotonaponskog sustava [3]

Autonomni fotonaponski sustavi (Slika 3.10.) proizvode električnu energiju i pohranjuju u baterijske spremnike. Ovakvi sustavi postavljaju se u udaljenim područjima koja nemaju pristup elektroenergetskoj mreži kao što su neka ruralna područja ili područja gdje bi bilo preskupo dovesti električne vodove do građevine. Osim toga, u vrijeme kada nema svjetlosti, mogu se koristiti neki dodatni izvori napajanja kao što su gorive ćelije, dizelski generator, vjetroturbine itd., takvi se sustavi nazivaju hibridnim [5]. Glavni dijelovi takvog sustava su: fotonaponski moduli, priključni ormarić, regulator punjenja, akumulatori, spoj na trošilo i izmjenjivač ukoliko se žele napajati trošila na izmjeničnu truju [1].



**Slika 3.10.** Shema autonomnog fotonaponskog sustava [3]



### 3.4.2. Dimenzioniranje fotonaponskog sustava

Pri dimenzioniranju fotonaponskih sustava postoje određene smjernice dimenzioniranja i odabira optimalnih dijelova.

Najprije je potrebno odrediti na osnovi financijskih sredstava i raspoložive površine željenu instaliranu snagu i ukupnu površinu fotonaponskog sustava. Potom se određuje namjena sustava, da li će se njime opskrbljivati samo elektroenergetska mreža (fotonaponska elektrana) ili će se koristiti i za pokrivanje vlastite potrošnje energije. Određivanje vršne snage fotonaponskog sustava mora biti u skladu s elektroenergetskom mrežom, a to se određuje elektroenergetskom suglasnošću, koju je potrebno zatražiti od operatora distribucijskog ili prijenosnog sustava ovisno na koju naponsku razinu mreže se sustav priključuje [1].

Na osnovi poznavanja instalirane snage određuje se preliminirani broj modula ( $n'$ ) tako što se instalirana snaga sustava ( $P_i$ ) podijeli s vršnom snagom modula ( $P_{MPP}$ ). Vršna snaga fotonaponskog modula dostupna je u tehničkim specifikacijama izabranog modula [3].

$$n' = \frac{P_i}{P_{MPP}} \quad (3-5)$$

Površina koju zauzimaju fotonaponski moduli ( $A_{FN}$ ) računa se kao umnožak preliminiranog broja modula ( $n'$ ) i površine jednog modula ( $A_{mod}$ ) koja je također dostupna u tehničkim specifikacijama izabranog modula [3].

$$A_{FN} = n' \cdot A_{mod} \quad (3-6)$$

Usporedbom raspoložive i izračunate površine donosi se zaključak da li je fotonaponski sustav željene instalirane snage moguće izgraditi na dostupnoj površini. Osim toga, ako se moduli postavljaju na krov, treba voditi računa o nosivosti krovne konstrukcije. Moduli se mogu postavljati na krov, pročelje zgrade, tlo ili bilo koju drugu plohu koja je prikladna. Ako se moduli postavljaju na ravni krov pomoću posebnih nosača treba voditi računa o njihovom razmaku kako ne bi došlo do međusobnog zasjenjivanja. Također udaljenost ruba modula od ruba krova treba biti najmanje 100 mm.

Sljedeći korak je izbor izmjenjivača i njegove veličine prema nazivnoj snazi kojom mora upravljati. Određivanje veličine izmjenjivača započinje od vrijednosti omjera snage na ulazu u izmjenjivač i izlazu iz njega. Ova vrijednost predstavlja značajku dimenzije izmjenjivača (*eng. sizing ratio* -  $SR_{AC}$ ) i pokazatelj je njegovog opterećenja [1].

$$SR_{AC} = \frac{P_{i,DC}}{P_{i,AC}} \quad (3-7)$$

Pri čemu je:  $P_{i,DC}$  – snaga električne struje (istosmjjerne) na ulazu u izmjenjivač,  $P_{i,AC}$  -snaga električne struje (izmjenične) na izlazu iz izmjenjivača,  $SR_{AC}$  - značajka dimenzije izmjenjivača (0,83 – 1,25) [1].

Vrijedi sljedeći odnos [1]:

$$0,83 \cdot P_{i,DC} < P_{i,AC} < 1,25 \cdot P_{i,DC} \quad (3-8)$$

Najčešće se preporučuje sljedeća vrijednost za snagu na izlazu iz izmjenjivača:

$$P_{i,AC} = 1,1 \cdot P_{i,DC} \quad (3-9)$$

Slijedi da je  $SR_{AC} = 0,9$  [1]. Ovaj omjer uzima u obzir gubitke snage fotonaponskih modula u stvarnim uvjetima i učinkovitost pretvarača. Svaki izmjenjivač mora biti opremljen automatskim ograničenjem isporučene snage u slučaju da je generirana snaga veća od procijenjene. Potrebno je procijeniti nazivne vrijednosti napon i frekvencije na izlazu izmjenjivača te napona na ulazu u izmjenjivač. Ukoliko se radi o fotonaponskom sustavu koji je priključen na elektroenergetsku mrežu napon i frekvencija su definirani tom mrežom. Što se tiče napona na ulazu procjenjuju se ekstremni radni uvjeti fotonaponskog polja kako bi se osigurao siguran rad izmjenjivača.

Prvi uvjet koji mora biti zadovoljen je da je maksimalan napon otvorenog kruga fotonaponskog polja ( $U_{OK,max}$ ) manji od maksimalnog ulaznog napona na DC strani izmjenjivača ( $U_{MAX}$ ). [3, 4]

$$U_{OK,max} \leq U_{MAX} \quad (3-10)$$

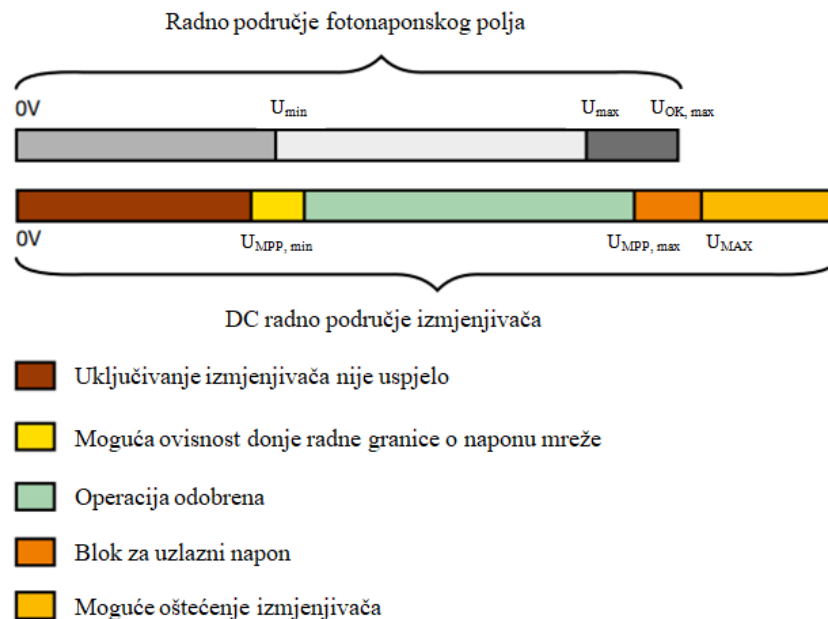
Ako je zadovoljen prvi uvjet provjerava se drugi uvjet, da je minimalan napon vršne snage fotonaponskog polja ( $U_{min}$ ) veći od minimalnog napona vršne snage odabranog izmjenjivača ( $U_{MPP,min}$ ) [3, 4].

$$U_{min} \geq U_{MPP,min} \quad (3-11)$$

Nakon što su ispunjena ova dva uvjeta dalje se provjerava da li je maksimalan napon vršne snage fotonaponskog polja ( $U_{max}$ ) manji od maksimalnog napona vršne snage izmjenjivača ( $U_{MPP,max}$ ) [3, 4].

$$U_{max} \leq U_{MPP,max} \quad (3-12)$$

Ako su svi uvjeti ispunjeni, fotonaponsko polje moguće je priključiti na odabrani izmjenjivač. Slika 3.11. prikazuje dijagram povezivanja fotonaponskog polja i invertera uzimajući u obzir gore navedene nejednakosti.



**Slika 3.11.** Radna područja izmjenjivača i fotonaponskog polja [4]

Osim tri navedene nejednakosti u pogledu napona, potrebno je provjeriti i maksimalnu struju fotonaponskog generatora ( $I_{KS, max}$ ) i ona mora biti manja od najveće dopuštene struje na ulazu u pretvarač ( $I_{MAX}$ ) [3].

$$I_{KS, max} \leq I_{MAX} \quad (3-13)$$

Sljedeći korak je odabir kabela. Kabeli koji se koriste u fotonaponskim postrojenjima moraju ispravno funkcionirati za cijeli životni ciklus postrojenja (oko 25 godina), moraju izdržati visoke temperature, ultraljubičasto zračenje i padaline. Na DC strani kabeli koji povezuju module pričvršćeni su na stražnjoj strani modula gdje temperatura doseže do oko 70 – 80 °C. Zato se uglavnom koriste posebne vrste kabela s gumenom izolacijom i plaštem čija maksimalna radna temperatura nije ispod 90 °C. U normalnim uvjetima radi svaki modul opskrbljuje struja čija je vrijednost blizu vrijednosti struje kratkog spoja, tako da mora vrijediti sljedeći uvjet:

$$I_{z, DC} > 1,25 \cdot I_{KS} \quad (3-14)$$

Gdje je  $I_{z, DC}$  maksimalna vrijednost struje koju kabel može podnositi,  $I_{KS}$  struja kratkog spoja pri standardnim uvjetima ispitivanja, a dodatnih 25% se uzima u obzir ako je zračenje veće od 1 kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{z,DC} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_n \quad (3-15)$$

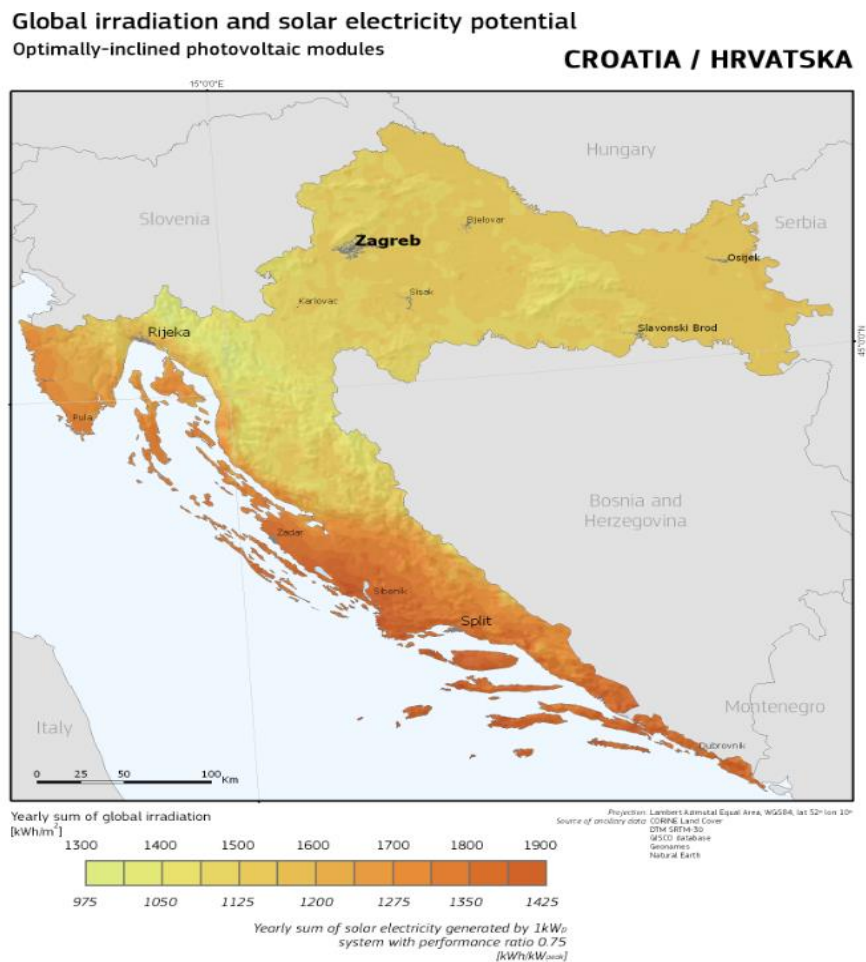
$k_1$  – korekcijski faktor struje koji u obzir uzima instalaciju kabela na stražnjoj strani modula gdje je temperatura oko 70 °C

$k_2$  – korekcijski faktor struje kojim se u obzir uzima postavljanje kabela u cjevovod ili sustav razvodnih kanala [3,4].

Za kabele postavljene na AC strani mora vrijediti uvjet [3]:

$$I_{z,AC} = \frac{P_i}{U_{AC} \cdot \cos \varphi} \quad (3-16)$$

Nakon toga procjenjuje se moguća proizvodnja električne energije od Sunca u fotonaponskom sustavu. Najprije se odredi srednja godišnja ozračenost plohe usmjerene prema jugu za ukupno Sunčevo zračenje na postavljene fotonaponske module pod optimalnim kutom ( za Osijek se često uzima da je to 34 °C). Iz slike 3.12. može se vidjeti da ta vrijednost za Osijek iznosi oko 1500 kWh/m<sup>2</sup>.



**Slika 3.12.** Srednja godišnja ozračenost plohe u Hrvatskoj pod optimalnim kutom modula [7]

Zadnji korak je procjena godišnje proizvodnje energije fotonaponskog sustava. Računa se kao umnožak srednje godišnje ozračenost plohe usmjerene prema jugu za ukupno Sunčevo zračenje na postavljene fotonaponske module pod optimalnim kutom, snage solarnog generatora i učinkovitosti fotonaponskog sustava.

Ovi postupci dimenzioniranja odnose se na umrežene sustave, međutim postupak dimenzioniranja autonomnih sustava dosta je sličan. U tom slučaju prvo je potrebno odrediti prosječnu godišnju dozračenost, zatim procijeniti dnevnu potrošnju trošila. Zatim je potrebno odabrati napon u sustavu, što ovisi o vrsti trošila. Ovisno o naponskoj razini izabire se sustav s istosmjernom ili izmjeničnom strujom i donosi se odluka o ugradnji izmjenjivača. U većini slučajeva izabire se ugradnja izmjenjivača zato što uobičajena trošila na tržištu koriste izmjeničnu struju s naponom 230 V. Sljedeći korak je odabir fotonaponskih modula i odabir načina spajanja modula u solarni generator kako bi se dobila željena struja i napon. Potom slijedi dimenzioniranje ostalih dijelova kao što su akumulator, regulator punjenja, izmjenjivač ako je potreban, vodovi) [1].

## **4. ZAKONSKA REGULATIVA U REPUBLICI HRVATSKOJ I POSTUPCI PROJEKTIRANJA**

### **4.1. Zakonski okvir za postrojenja na obnovljive izvore energije**

U Republici Hrvatskoj pravna regulativa u području obnovljivih izvora energije uređena je brojnim zakonima i propisima, te nizom pravilnika i uredbi, a većina njih temelji se na sljedećim zakonima:

- Zakon o energiji (NN 120/12, 14/14, 95/15, 102/15, 68/18)
- Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/15, 123/16, 131/17, 111/2018, 138/21)
- Zakon o tržištu električne energije (NN 22/13, 95/15, 102/15, 68/18, 52/19, 111/21)
- Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19 i 125/19)
- Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19 i 98/19)

Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji promiče se proizvodnja toplinske i električne energije iz obnovljivih izvora i visokoučinkovite kogeneracije te se nastoji ispuniti cilj Europske unije da se poveća udio potrošene električne energije iz OIE u ukupnoj potrošnji energije. Prema Integriranom nacionalnom energetske i klimatskom planu za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. u konačnoj bruto potrošnji energije do 2030. godine u Republici Hrvatskoj treba biti 36,6% iz obnovljivih izvora energije. U Republici Hrvatskoj promicanje OIE ostvaruje se različitim regulatornim okvirima za korištenje OIE i različitim poticajnim mehanizmima. Tako je ovim zakonom definiran sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIE i visokoučinkovite kogeneracije, program državnih potpora, tržišne premije za proizvodnju iz OIE, sustav poticanja zajamčenom otkupnom cijenom itd. Uz to ovim zakonom propisuje se oblik, sadržaj i način vođenja Registra obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača [8].

Na temelju Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/15, 123/16, 131/17 i 111/18) donesene su sljedeće uredbi:

20. prosinca 2018. godine: „Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (NN 116/2018)“ [9]. Ovom uredbom definirani su uvjeti za provođenje natječaja za poticanje tržišnom premijom i zajamčenom otkupnom cijenom. Bar jednom godišnje operator tržišta električne energije je dužan provesti natječaj za poticanje prema utvrđenim kvotama za poticanje proizvodnje električne energije. Povlaštenom proizvođaču koji stekne uvjete za poticanje tržišnom premijom i otkup zajamčeno otkupnom

cijenom operator tržišta električne energije dužan je jednom mjesečno isplatiti tržišni premiju odnosno zajamčenu otkupnu cijenu koja se obračunava za neto isporučenu električnu energiju. Također u uredbi je definiran postupak izračuna maksimalnih i referentnih vrijednosti zajamčene otkupne cijene, te postupak izračuna referentne tržišne cijene. Svi članovi EKO bilančane grupe uz uvjet da je priključna snaga veća od 50 kW moraju plaćati naknadu za troškove uravnoteženja koja za sunčane elektrane iznosi 0,01 kn/kWh za neto isporučenu električnu energiju [9].

20. prosinca 2018. godine: „Uredba o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (NN 116/2018)“ [10]. Ovom uredbom definirano je da su opskrbljivači električne energije dužni „preuzeti od operatora tržišta električne energije 70% u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača električne energije“ po reguliranoj cijeni [10].

5. prosinca 2019. godine: „Uredba o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (NN 119/2019)“ [11]. Ovom uredbom postotak kojeg su opskrbljivači dužni preuzeti od operatora smanjen je na 40% u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača električne energije [11].

14. svibnja 2020. godine: „Uredba o kriterijima za plaćanje umanjene naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 57/2020)“ [12]. Ovom uredbom poduzetnici s visokom potrošnjom električne energije i visokim električnim intenzitetom mogu steći pravo na plaćanje umanjene visine naknade za OIEiK. Pritom operator električne energije računa električni intenzitet poduzetnika, odnosno trošak poduzetnika za električnu energiju i svrstava ga u razrede električnog intenziteta gdje on ostvaruje umanjene naknade za OIEiK (Tablica 4.1.). Treba uzeti u obzir i da poduzetnik mora ostvariti brojne uvjete, npr. prosječna godišnja potrošnja električne energije poduzetnika ne smije biti manja od 1 GWh/god [12].

**Tablica 4.1.** Iznos umanjene visine naknade po razredima električnog intenziteta [12]

Razred električnog intenziteta	Raspon električnog intenziteta	Umanjenje naknade za OIEiK
R1	Od 5% do uključivo 10%	$UN_{OIEiK1} = 40\%$
R2	Veći od 10% do uključivo 20%	$UN_{OIEiK2} = 60\%$
R3	Veći od 20%	$UN_{OIEiK3} = 80\%$

14. svibnja 2020. godine: „Uredba o kvotama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitim kogeneracija (NN 57/2020)“ [13]. Ovom uredbom određuju se kvote za poticanje proizvodnje iz OIEiK u svrhu provođenja natječaja za dodjelu tržišnih premija i natječaja za poticanje otkupne cijene. Kvote predstavljaju priključnu snagu proizvodnog postrojenja iskazanu u kilovatima (kW) za koje se mogu sklopiti ugovori za dodjelu tržišnih premija i ugovori o otkupu energije zajamčenom otkupnom cijenom. Tablica 4.2. prikazuje grupe proizvodnih postrojenja klasificirane ovisno o instaliranoj snazi i izvoru energije te kvotu za svaku pojedinu grupu proizvodnog postrojenja. Ukupna kvota za sve grupe proizvodnih postrojenja iznosi 2 265 000 kW [13].

**Tablica 4.2.** Ukupna kvota raspodijeljena za pojedine grupe proizvodnih postrojenja [13]

<b>Grupe proizvodnih postrojenja</b>	<b>Klasifikacija proizvodnih postrojenja ovisno o primarnom izvoru energije i instaliranoj snazi</b>	<b>kvota (kW)</b>
<b>a.2</b>	Sunčane elektrane instalirane snage veće od 50 kW do uključivo 500 kW	210.000
<b>a.3</b>	Sunčane elektrane instalirane snage veće od 500 kW do uključivo 10 MW	240.000
<b>a.4</b>	Sunčane elektrane instalirane snage veće od 10 MW	625.000
b.1	Hidroelektrane instalirane snage do uključivo 50 kW	4.000
b.2	Hidroelektrane instalirane snage veće od 50 kW do uključivo 500 kW	10.000
b.3	Hidroelektrane instalirane snage veće od 500 kW do uključivo 10 MW	10.000
c.4	Vjetroelektrane instalirane snage veće od 3 MW	1.050.000
d.2	Elektrane na biomasu instalirane snage veće od 50 kW do uključivo 500 kW	6.000
d.3	Elektrane na biomasu instalirane snage veće od 500 kW do uključivo 2 MW	20.000
d.4	Elektrane na biomasu instalirane snage veće od 2 MW do 5 MW	15.000
e.2	Geotermalne elektrane instalirane snage veće od 500 kW	20.000
f.2	Elektrane na bioplin instalirane snage veće od 50 kW do uključivo 500 kW	15.000
f.3	Elektrane na bioplin instalirane snage veće od 500 kW do uključivo 2 MW	30.000
	Inovativne tehnologije, sukladno klasifikaciji proizvodnih postrojenja iz energetskeg odobrenja, a koje su dobile potporu za razvoj u okviru EU	10.000



30. prosinca 2021. godine na temelju Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21) donesena je „Uredba o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (NN 147/2021)“ [14]. Ovom uredbom postotak kojeg su opskrbljivači dužni preuzeti od operatora povećan je na 60% u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača električne energije [14].

Osim navedeni zakona i uredbi poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora energije definirano je još nekim odlukama i pravilnicima:

Odluka o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 87/2017, NN 57/2020). Ovom odlukom iz 2017. godine određeno je da naknada za obnovljive izvore i visokoučinkovitu kogeneraciju iznosi 0,105 kn/kWh i tu naknadu plaća krajnji kupac električne energije kao dodatak na cijenu električne energije [15]. Izmjenom ove odluke 2020. godine dodana je stavka o umanjenju visine naknade za krajnje kupce koji prema Uredbi o kriterijima za plaćanje umanjene naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 57/2020) imaju pravo smanjenje naknade i ona iznosi [16]:

**Tablica 4.3.** Iznos visine naknade za OIE i visokoučinkovitu kogeneraciju [16]

Razred električnog intenziteta	Raspon električnog intenziteta	Iznos visine naknade
R1	od 5 % do uključivo 10 %	0,063 kn/kWh
R2	veći od 10 % do uključivo 20 %	0,042 kn/kWh
R3	veći od 20 %	0,021 kn/kWh

Pravilnikom o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/2007, NN 88/2012) utvrđuje se sadržaj Registra projekata te uvjeti korištenja OIE. Pravo izgradnje postrojenja na OIE i kogeneraciju na zemljištu koje je u vlasništvu Republike Hrvatske stječe se kroz postupak javnog natječaja, a pravo priključka na mrežu ovisi o tehničkim mogućnostima mreže koje određuje HEP. „Registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača“ [17] (OIEKPP) je evidencija postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije. U njemu su evidentirani podaci o samom projektu, o nositeljima projekata, postrojenju i povlaštenom proizvođaču. Upisivanjem u registar podnositelj zahtjeva dobiva položaj nositelja

projekta, a projekt dobiva registarski broj koji se ne mijenja. Također ovim pravilnikom definirana je sva potrebna dokumentacija koja se mora priložiti kako bi podnositelj zahtjeva dobio Energetsko odobrenje za izgradnju postrojenja. Prema članku 4. ovog pravilnika postrojenja na obnovljive izvore energije koja su priključena na elektroenergetsku mrežu dijele se u dvije grupe. Prva grupa su postrojenja instalirane snage do 1 MW, tu za sunčane elektrane imamo podpodjelu koja je prikazana u tablici 4.4. [17].

**Tablica 4.4.** Podjela sunčanih elektrana instalirane snage do 1 MW [17]

Tip postrojenja	
a. sunčane elektrane	
a.1.	Sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 kW
a.2.	Sunčane elektrane instalirane snage veće od 10 kW do uključivo 30 kW
a.3.	Sunčane elektrane veće od 30 kW

Drugu grupu čine postrojenja čija je instalirana snaga je veća od 1 MW.

#### **4.2. Poticajni sustavi proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije**

Od 2007. godine do kraja 2015. godine u Hrvatskoj se proizvodnja električne energije poticala garantiranim otkupnim cijenama odnosno „*feed in*“ tarifom (FIT). Da bi stekao pravo na takav sustav poticanja nositelj projekta morao je imati status povlaštenog proizvođača i morao je imati potpisan ugovor s HROTE-om o otkupu električne energije. HROTE je povlaštenom proizvođači isplaćivao poticaj u skladu s Tarifnim sustavom. A sredstva za isplaćivanja bila su osigurana iz naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju koju plaća svaki kupac električne energije. . Trenutno, što se može vidjeti na računu za električnu energiju, ta cijena iznosi 0,105 kn/kWh.

Kada je 2016. godine Hrvatska usvojila Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji prestaje vrijediti tarifni sustav poticaja i na snagu stupa novi premijski sustav poticanja. Tarifni sustav iz 2013. godine ostao je važiti samo za one koji su do tog dana 1. siječnja 2016. sklopili ugovor o otkupu električne energije s HROTE-om. Također prema nositeljima projekata koji su imali valjane sklopljene ugovore prema Tarifnim sustavima iz 2007 i 2012 godine primjenjuje se odredbe tih Tarifnih sustava [18].

Ukoliko se radi o poticanju tržišnom premijom, operator tržišta energije dužan je isplatiti povlaštenom proizvođaču novčani iznos za neto isporučenu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu [8].

Tržišna premija ( $TP_i$ ) za svako postrojenje izračunava se na sljedeći način [8]:

$$TP_i = RV - TC_i \quad (4-1)$$

„gdje je:

$TC_i$  – referentna tržišna cijena električne energije u obračunskom razdoblju, iskazana u kn/kWh

$RV$  – referentna vrijednost električne energije utvrđena ugovorom o tržišnoj premiji, iskazana u kn/kWh“ [8].

Referentnu tržišnu cijenu utvrđuje operator tržišta za svaki prethodni mjesec.

Ukoliko se radi o poticanju zajamčenom otkupnom cijenom, operator tržišta električne energije dužan je isplatiti nositelju projekta neto isporučenu električnu energiju po otkupnoj cijeni koju je nositelj projekta ostvario kao najpovoljniji ponuditelj na natječaju [8].

Do kraja 2021. godine 1228 sunčanih elektrana imalo je sklopljen ugovor s HROTE-om o otkupu električne energije na osnovi Tarifnih stavki i njihov ukupna priključna snaga iznosi 53 131 kW, 60 sunčanih elektrana na osnovi Zajamčene otkupne cijene čija ukupna priključna snaga iznosi 14 107 kW i 0 sunčanih elektrana na osnovi Tržišne premije [18].

#### **4.2.1. Krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom**

„Kupac s vlastitom proizvodnjom je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu/e koju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu“ [19].

Od krajnjeg kupca opskrbljivači električne energije dužni su preuzeti viškove električne energije koje on ne koristi za vlastite potrebe. Da bi kupac s vlastitom proizvodnjom imao pravo na to on mora zadovoljiti brojene uvjete, a neki od njih su da mora imati status povlaštenog proizvođača, da priključna snaga svih postrojenja na obračunskom mjestu ne prelazi 500 kW, da ima pravo na trajno priključenje na mreži, da energiju isporučuje preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg je i uzima iz mreže [8].

Vrijednost električne energije ( $C_i$ ) koju krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom isporučuje u mrežu računa se na sljedeći način:

„1.  $C_i = 0,9 * PKC_i$ , ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi:

$$E_{p_i} \geq E_{i_i}$$

2.  $C_i = 0,9 * PKC_i * E_{p_i} / E_{i_i}$ , ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{p_i} < E_{i_i}$

gdje je:

–  $E_{p_i}$  = ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh

–  $E_{i_i}$  = ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh

–  $PKC_i$  = prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kn/kWh“ [8].

#### **4.2.2. Korisnik postrojenja za samoopskrbu**

Danas sve više investitora koji posjeduju fotonaponske elektrane nastoje steći status korisnika postrojenja za samoopskrbu. Razlog za to je veća financijska isplativost.

Korisnik postrojenja za samoopskrbu prema [8] je krajnji kupac koji na svojim instalacijama ima instaliranu elektranu na obnovljive izvore energije i koji tako dobivenu energiju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u mrežu. Za razliku od kupca s vlastitom proizvodnjom, korisnik postrojenja za samoopskrbu ima dozvoljenu priključnu snagu u smjeru proizvodnje i u smjeru potrošnje na istom obračunskom mjernom mjestu. To znači da se na kraju svakog obračunskog razdoblja zbraja energija preuzeta iz mreže i energija predana u mrežu i na osnovi razlike preuzete i isporučene električne energije vrši se isplata (bolje rečeno s ovakvim statusom proizvođač dobiva za kWh predane energije kWh preuzete energije).

Međutim ovaj status krajnjeg kupca uvjetovan je tim da količina isporučene električne energije u mrežu mora biti manja od preuzete energije iz mreže. Ukoliko je ovaj uvjet ispunjen vrijednosti cijena za višu i nižu tarifu korisnika postrojenja za samoopskrbu računaju se na sljedeći način [8]:

$$C_{iVT} = 0,8 * C_{pVT}$$

$$C_{iNT} = 0,8 * C_{pNT}$$

gdje je:

„–  $C_{pVT}$  = cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u kn/kWh

–  $C_{pNT}$  = cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u kn/kWh

–  $C_{iVT}$  = cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u kn/kWh

–  $C_{iNT}$  = cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u kn/kWh“ [8].

Ukoliko uvjet nije ispunjen, da je proizvedena električna energija manja od preuzete energije iz mreže onda korisnik postrojenja za samoopskrbu prelazi iz tog statusa u status kupca s vlastitom proizvodnjom i cijena isporučene energije računa se prema formulama za kupca s vlastitom proizvodnjom.

Općenito u ovaj status spadaju kućanstva dok poduzetnici i obrtnici pripadaju grupi kupaca s vlastitom proizvodnjom.

### **4.3. Postupci priključenja fotonaponskog sustava na distribucijsku mrežu**

Prema članku 128. Zakona o gradnji navedeno je da se jednostavne građevine koje su određene pravilnikom, kojeg donosi ministar graditeljstva i prostornog uređenja, provode bez građevinske dozvole. Takve građevine mogu se graditi na temelju glavnog projekta. U članku 5., prema stavki 11. Pravilnika o jednostavnim i drugim građevinama i radovima navedeno je da se radovi mogu izvoditi bez građevinske dozvole, prema glavnom projektu „na postojećoj građevini priključenoj na elektroenergetsku mrežu kojim se postavlja sustav fotonaponskih modula u svrhu proizvodnje električne energije s pripadajućim razdjelnim ormarom i sustavom priključenja na javnu mrežu za predaju energije u mrežu“ [21]. Navedenim zakonom i pravilnikom definirano je da je fotonaponski sustav jednostavna građevina čija je izvedba moguća bez građevinske dozvole [20, 21].

Energetsko odobrenje je dokument kojeg je potrebno ishoditi za izgradnju postrojenja za iskorištavanje obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj. Izdavanje energetske odobrenja prethodi izdavanju građevinske dozvole, a izdaje ga Ministarstvo nadležno za energetiku na zahtjev

investitora. Prema [22] za postrojenja koja nisu spojena na elektroenergetsku mrežu, a koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije i postrojenja koja se također smatraju jednostavnim građevinama nije potrebno energetske odobrenje.

Prethodno energetske odobrenje je dokument kojeg je potrebno ishoditi prije energetske odobrenja radi upisa u Registar obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (OIEKPP). U slučaju kada se lokacijska dozvola ne izdaje, prethodno energetske odobrenje izdaje se na zahtjev kupca ili proizvođača. Prvi upis provodi operator prijenosnog ili distribucijskog sustava. Uz sam zahtjev potrebno je predati idejni projekt i dokaz o pravu na gradnju [1].

Postupak ishođenja prethodne energetske suglasnosti prvi je korak u postupku stjecanja statusa povlaštenog proizvođača. S obzirom na to da fotonaponski sustavi pripadaju u kategoriju jednostavnih građevina umjesto građevinske dozvole dostavlja se izjava ovlaštenog projektanta da planirana građevina pripada u kategoriju jednostavne građevine. Zatim se provjerava mogućnost sklapanja Ugovora o otkupu te se sklapa Ugovor o priključenju i projekt se uvrštava u Registar OIEKPP. Upisivanjem projekta u Registar nositelj projekta sklapa Ugovor o otkupu električne energije s HROTE-om. Tim ugovorom HROTE se obvezuje da će kupovati električnu energiju po poticajnoj cijeni. Ovaj ugovor na snagu stupa nakon ishođenja Dozvole za trajni pogon s mrežom [23].

Budući da se radi o priključenju građevine jednostavnim priključkom, odnosno da se građevina priključuje na mrežu u kojoj nije potrebno dodatno stvaranje tehničkih uvjeta, provodi se jednostavno priključenje građevine. Na slici 4.1. mogu se vidjeti osnovni koraci za jednostavno priključenje na distribucijsku mrežu.

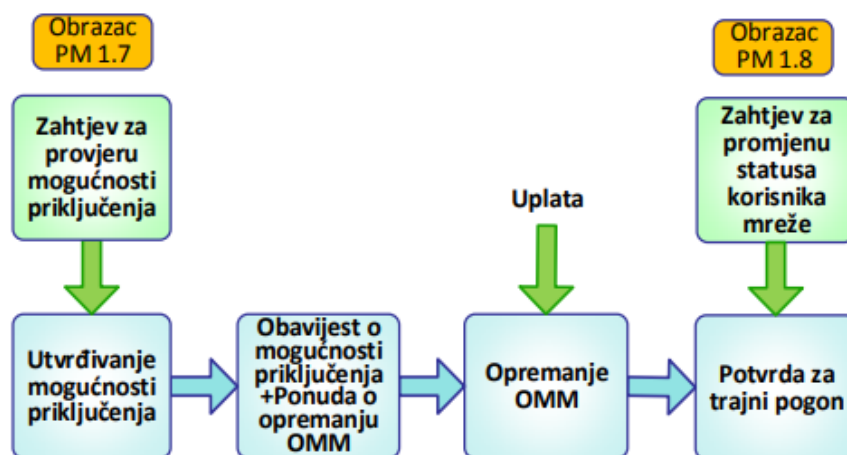


**Slika 4.1.** Osnovni koraci pri jednostavnom priključenju na distribucijsku mrežu [24]

HEP ODS nakon zaprimanja zahtjeva za izdavanje ESS i nakon što ustanovi da se radi o građevini koja se na mrežu priključuje jednostavnim priključkom u roku od 15 dana podnositelju zahtjeva izdaje EES i Ponudu o priključenju. Sljedeći korak je izrada glavnog projekta fotonaponskog sustava u uredu ovlaštenog inženjera, koji se onda dalje prosljeđuje HEP-u. Potvrdom glavnog projekta HEP ODS kontrolira usklađenost uvjeta iz EES i rješenja glavnog projekta. Do 30 dana nakon prve uplate naknade za priključenje HEP ODS mora izgraditi priključak i spojiti građevinu. Paralelno s gradnjom priključka gradi se i postrojenje. Nakon tog podnositelj zahtjeva podnosi zahtjev za sklapanje Ugovora o korištenju mreže, a HEP ODS dostavlja Ugovor o korištenju mreže. Slijedi stavljanje priključka pod napon i ukoliko sve prođe uspješno izdaje se Potvrda o početku korištenja mreže. Sljedeći korak je provođenje pokusnog rada građevine gdje uz nadzor predstavnika HEP ODS-a treba dokazati da građevina zadovoljava sve tražene uvjete u paralelnom spoju s mrežom. Poslije uspješno provedenog pokusnog rada voditelj testiranja sastavlja konačno izvješće o pokusnom radu i dužan ga je dostaviti HEP ODS-u na temelju kojeg HEP ODS izdaje potvrdu za trajni pogon građevine s distribucijskom mrežom. Nakon ovog zadnjeg koraka započinje vrijediti Ugovor o otkupu električne energije kojeg je nositelj projekta sklopio s HROTE-om [24].

#### 4.3.1. Postupci priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom

N slici 4.2. prikazani su postupci priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom. Sa slike se može vidjeti da je to puno jednostavniji slučaj nego prethodni. Dakle tu se radi o priključenju krajnjeg kupca koji želi priključiti svoje proizvodno postrojenje na postojeću instalaciju.



**Slika 4.2.** Osnovni koraci pri priključenju kućanstva s vlastitom proizvodnjom [24]

Investitor u prvom koraku ovog postupka podnosi zahtjev za provjeru o mogućnosti priključenja fotonaponske elektrane na postojeću instalaciju. Pritom mora imati izrađen glavni ili idejni projekt ili idejno rješenje o fotonaponskoj elektrani. Ovim zahtjevom se ujedno zahtjeva i sklapanje Ugovora o korištenju mreže. U roku 15 dana HEP ODS izdaje mogućnost o priključenju, i ako je moguće priključiti elektranu uz to se izdaje i Ugovor o korištenju mreže te Ponudu o opremanju obračunskog mjernog mjesta. Nakon što je investitor uplatio troškove i izgradio fotonaponsko postrojenje uz sve navede uvjete uređene u mogućnostima priključenja, on izdaje zahtjev za promjenu statusa korisnika mreže. U sljedećih 15 dana HEP ODS izdaje potvrdu za trajan pogon i potvrdu o promjeni statusa korisnika mreže [24].

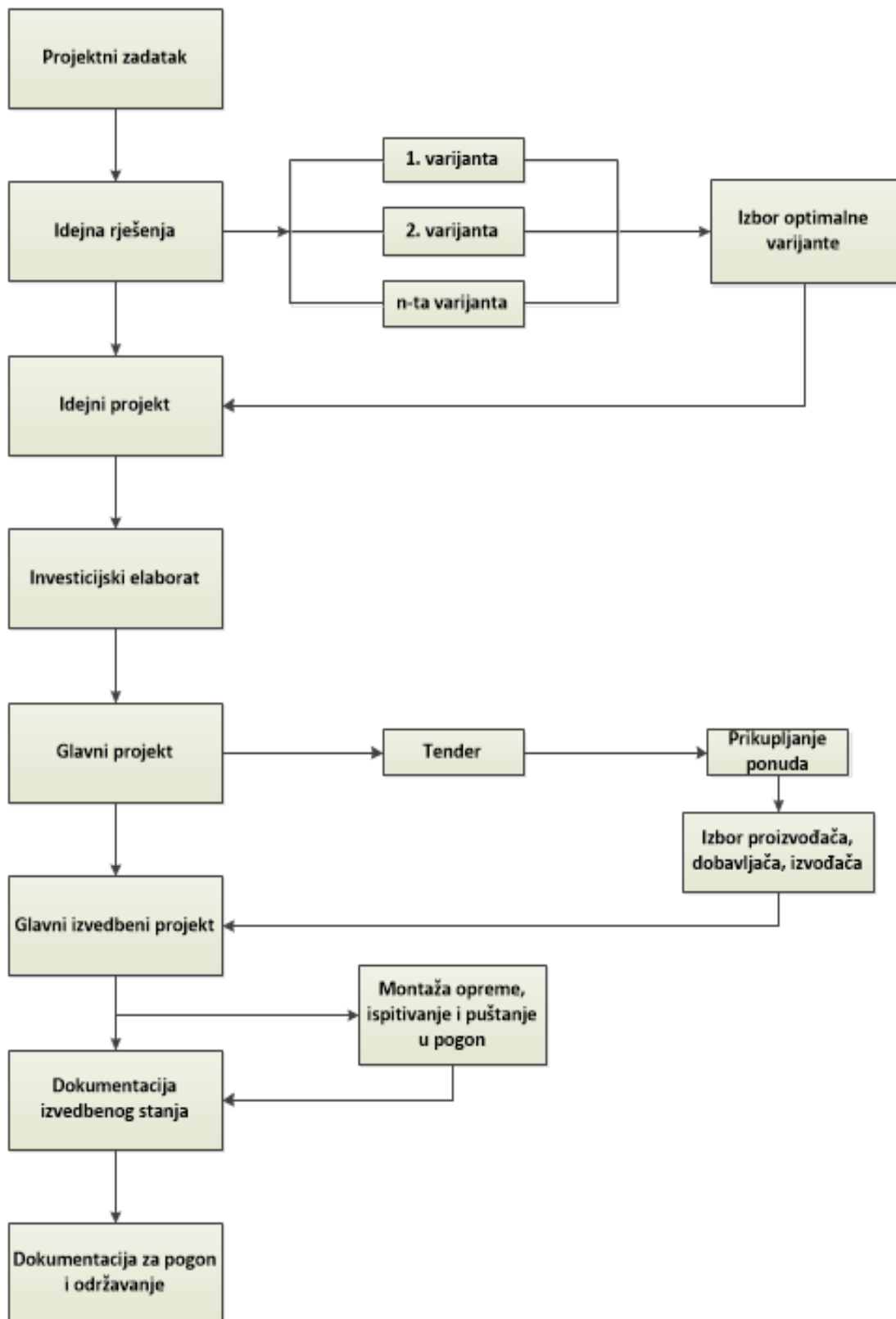
#### **4.4. Postupci izrade projektne dokumentacije**

Projektiranje je izrada tehničke dokumentacije koja uključuje izradu idejnog i glavnom projekta za ishođenje građevinske dozvole, te izvedbenog projekta za izvođenje planirane građevine. Dakle to je skup svih dokumenata koji omogućavaju izradu daljnjih stupnjeva dokumentacije ali i održavanje objekta. Na taj način omogućena je jednostavna i detaljna komunikacija među stručnjacima. Prilikom projektiranja treba uzeti u obzir da je to vremenski i ekonomski ograničena aktivnost. Tehnička dokumentacija sastoji se od tekstualnog i grafičkog dijela koji prikazuje sve nacрте i blok sheme. Ovisno o vrsti projekta, prilikom projektiranja i izrade tehničke dokumentacije u obzir se moraju uzeti svi neophodni zakoni, pravilnici i uredbe [25]. Zadatak ovog rada je prikazati postupke projektiranja fotonaponskog sustava sve od ideje pa do izvedbe. Pri izradi projekata fotonaponskog sustava module treba postaviti da su što više izloženi svjetlosti pri čemu zasjenjenje od ostalih objekata treba biti što manje. Module je moguće postaviti na krov, nadstrešnicu, tlo ili na pročelje zgrade. Ukoliko se moduli postavljaju na krov u obzir treba uzeti nosivost krovne konstrukcije

Tehnička dokumentacija dijeli se na sljedeće faze postupaka projektiranja (Slika 4.3.):

- „projektни zadatak
- idejno rješenje
- idejni projekt
- investicijski elaborat
- glavni projekt
- glavni izvedbeni projekt
- dokumentacija izvedenog stanja
- dokumentacija za pogon i održavanje“ [25].





Slika 4.3. Dokumentacija tijekom izrade projekta [25]

#### **4.4.1. Projektni zadatak**

Projektni zadatak je prva faza izrade tehničke dokumentacije fotonaponske elektrane i temelj cijelog projekta. Služi kao osnova za potrebe izrađivanja daljnje projektne dokumentacije. Investitor ga sastavlja sam ili uz pomoć stručnog projektanta. Sadrži sve potrebne uvjete u pogledu pravne strane projekta, vremenskih rokova, ekonomske i tehničke strane projekta. Projektnim zadatkom definira se cilj projekta i radovi koje je potrebno izvesti te vremenski rok završetka projekta [25]. Navode se neki osnovni podatci, npr. tko je investitor, lokacija gdje se gradi građevina, gdje će se nalaziti razdjelnica opreme, kolika je predviđena snaga fotonaponskog sustava. Definira se i namjena građevine, npr. radi li se o umreženom ili autonomnom fotonaponskom sustavu.

#### **4.4.2. Idejno rješenje**

Idejno rješenje je projekt kojim se razrađuju ideje za projektiranje manje kompleksnih radova. Ovim projektom određuju se osnovni parametri željenog rješenja i grubo se procjenjuje troškovnik i odabire oprema. Prije izrade glavnog projekta kojim se ishodi građevinska dozvola potrebno je razraditi i odabrati optimalno idejno rješenje koje nudi najbolje funkcionalno-tehničke uvjete u skladu s vremenskim, ekonomskim i tehničkim parametrima. Dakle, izrađuje se više varijanti idejnog rješenja i odabire ono koje zadovoljava sve zahtjeve i potrebe investitora. Nakon izrade konačnog idejnog rješenja može se početi s ishodačenjem uvjeta o priključenju i svih ostalih posebnih uvjeta koje je potrebno priložiti u glavnom projektu [25].

#### **4.4.3. Idejni projekt**

Idejni projekt izrađuje se radi provedbe planiranog zahvata na temelju projektnog zadatka i idejnog rješenja. Predstavlja skup dokumenata i nacrtu kojima je definirano tehničko i funkcionalno rješenje građevine te njen smještaj u prostoru. Na osnovi idejnog projekta izdaje se lokacijska dozvola koja u slučaju instalacija fotonaponskih sustava nije potrebna. Idejni projekt sastoji se od općeg i tehničkog dijela. Opći dio čine naslovna stranica, popis svih projekata i suradnika te sadržaj mape. Potom slijedi dokumentacija koja sadrži izvadak iz sudskog registra, rješenje o imenovanju projektanta i rješenje o upisu u HKIE (Hrvatska komora inženjera elektrotehnike). Tehnički dio idejnog projekta sadrži:

- „tehnički opis
- nacрте
- izvadak iz katastarskog plana

- rezultate istražnih radova
- pokazatelje ispravnosti tehničkog rješenja“ [26].

I u tehničkom dijelu idejnog projekta, kao i u projektnom zadatku, razrađeni su radovi koje je potrebno izvesti, ali detaljnije. U općem dijelu tehničkog opisa dostupne su informacije o investitoru, definirana lokacija građevine, namjena građevine, vršna snaga fotonaponskog sustava, optimalna kut pod kojim se postavljaju moduli i raspored fotonaponskih nizova. Zatim slijedi tehnički opis dimenzioniranog postrojenja gdje se predviđaju fotonaponski moduli za formiranje fotonaponskog polja, raspored njihovog postavljanja i spajanja te odabir izmjenjivača. Na kraju idejnog projekta prikazane su blok sheme elektrane te tehnički podatci predviđene opreme.

U idejnom projektu detaljno se razrađuje odabrano idejno rješenje koje služi za izradu investicijskog elaborata i kao podloga za glavni projekt.

#### **4.4.4. Investicijski elaborat**

Investicijski elaborat je zapravo isto što i idejni projekt proširen s ekonomskom analizom, sadrži sljedeće stavke:

- „rentabilnost
- odnose na tržištu
- opravdanost povećanja kapaciteta
- način financiranja“ [25].

#### **4.4.5. Glavni projekt**

Glavni projekt nastavlja se na idejni projekt. U glavnom projektu detaljno je razrađen idejni projekt i određeni su svi potrebni podaci za izvođenje projekta. S obzirom da je zadatak ovog diplomskog rada izrada proračuna fotonaponskog postrojenja na temelju već postojećeg glavnog projekta detaljno je opisana sva dokumentacija koju on sadrži. Glavni projekt sastoji se od općeg, tekstualnog i grafičkog dijela [25].

Opći dio čine sljedeći prilozi: izvadak iz sudskog registra, imenovanje glavnog projektanta, imenovanje projektanta, rješenje o upisu u imenik ovlaštenih inženjera, izjava o jednostavnoj građevine). Tekstualni dio glavnog projekta fotonaponske elektrane čini:

- projektni zadatak
- analiza lokacije
- tehnički opis
- propisi zakoni i norme
- tehnički proračuni

Projektni zadatak je već prethodno objašnjen slijedi analiza lokacije. U analizi lokacije koristi se servis PVGIS koji je javno dostupan, njime se utvrđuje ozračenost i potencijal proizvodnje električne energije na promatranj lokaciji. Sljedeća faza glavnog projekta je tehnički opis u kojemu je definirana maksimalna priključna snaga elektrane, predviđena godišnja proizvodnja, model fotonaponskih modula, njihov broj i način postavljanja i povezivanja, te pretvarač. Slijedi općenit opis sustava u kojem je navedeno čemu je posebno potrebno obratiti pažnju prilikom projektiranja fotonaponske elektrane (npr. zasjenjenje fotonaponskih modula, odabir pretvarača itd.). U tehničkom opisu definirana je i zaštita od munje, prenapona i nadstruje. Zaštita na DC strani fotonaponskog sustava izvodi se ugradnjom odvodnika prenapona kojeg je potrebno ugraditi prije izmjenjivača. Na AC strani zaštita se provodi ugradnjom četveropolnih sklopki te ukoliko odvodnik prenapona nije ugrađen u izmjenjivač postavlja se i na AC strani fotonaponskog sustava. Zadnji dio tehničkog opisa čini zaštita od električno dodira koja se provodi zaštitom od izravnog i neizravnog dodira. Nakon tehničkog opisa slijede propisi, zakoni i norme prema kojima glavni projekt mora biti usklađen. Posljednji tekstualni dio glavnog projekta čine tehnički proračuni. Prvo se računa snaga fotonaponske elektrane, zatim se provjeravaju naponsko strujne prilike na DC razvodu (provjera maksimalnog i minimalnog DC napona, provjera DC kabela i maksimalne struje, provjera gubitaka snage DC kabela i provjera pada napona DC kabela). Slijedi dimenzioniranje zaštitne opreme i AC kabela, provjera struje kratkog spoja i provjera pada napona AC kabela). Grafički dio čine nacrti situacije, dispozicije modula i blok shema elektrane. Glavni projekt osnova je za glavni izvedbeni projekt [27].

#### **4.4.6. Glavni izvedbeni projekt**

Radi se na osnovi idejnog i glavnog projekta, nakon što se odredi tko je dobavljač opreme. Ovim projektom definirana je izvedba postrojenja, odnosno točno je određen tip opreme, narudžbeni podaci, lista materijala, duljine kabela i točni spojevi, način spajanja i polaganja kabela i zaštita,

smještaj opreme i načine učvršćenja. Slijedi izgradnja objekta čiji su sudionici investitor, glavni izvođač s proizvođačima, projektant i nadzorni inženjer [25].

Dokumentacija za izvođenje:

- „Strujne sheme
- Priključni plan
- Kabelska lista
- Nacrti kabelskih trasa
- Pregledni nacrti ormara“ [25].

#### **4.4.7. Dokumentacija izvedenog stanja**

Je dokumentacija glavnog i izvedbenog projekta s unesenim korekcijama izvršenih u tijeku proizvodnje i izgradnje. Dokumentacija izvedenog stanja se pohranjuje kod izvođača ali isporučuje se i investitoru [26].

#### **4.4.8. Dokumentacija za pogon i održavanje**

Obično nije uključena u projektnu dokumentaciju, nego je investitor mora posebno tražiti. Za njenu izradu i ovjerenu uporabu potrebno je dosta vremena zbog analizu postrojenja i stalnih korekcija. Pri pisanju dokumentacije treba zadovoljiti sve propise i mora se prilagoditi razini stručnosti osoblja koje upravlja i održava postrojenje. Osim uputa za održavanje u njoj se mogu naći i manji postupci popravka u pogonu [25].

## 5. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE KLINIČKOG BOLNIČKOG CENTRA OSIJEK U PV\*SOL PREMIUM-U

Jedan od zadataka ovog diplomskog rada bio je napraviti proračun i simulaciju fotonaponske elektrane Kliničkog bolničkog centra (KBC) Osijek prema glavnom projektu u programskom paketu PV\*SOL-u.

### 5.1. Općenito o projektu

Na lokaciji Josipa Huttlera 4, k.č.br. 6686, k.o. Osijek planirana je izgradnja integrirane sunčane elektrane na tri krova postojećih zgrada (Slika 5.1.). Predviđa se sustav izmjenične snage 230 kW, koji će se koristiti za vlastitu opskrbu, a višak proizvedene energije predavat će se u niskonaponsku mrežu operatora – HEP ODS.



**Slika 5.1.** Ulica Josipa Huttlera 4,k.č.br. 6686, k.o. Osijek [28]

U projektu će sustavi biti instalirani kao dva odvojena sustava (dvije odvojene AC razdjelnice), jedan sustav nalazit će se na zgradi Prehrane i njegova snaga treba biti najmanje 110 kW, dok će drugi sustav biti instaliran na zgradi Odjela za onkologiju i Odjelu za dijagnostičku i interventnu

radiologiju i njegova snaga treba biti minimalno 120 kW (Slika 5.2.). Oba fotonaponska sustava bit će povezana na istu transformatorsku stanicu koja se nalazi u podrumu blizu promatranih zgrada [27].



**Slika 5.2.** Zgrade na čije krovove se postavljaju fotonaponski moduli

U glavnom projektu predviđena je godišnja proizvodnja fotonaponskih sustava i ona bi trebala iznositi 271 303,07 kWh/god. Za model fotonaponskih modula izabran je SOLVIS SV60-310 E, čija je vršna snaga svakog modula 310 Wp. Broj modula koje je potrebno instalirati je 767. Od izmjenjivača predviđena je ugradnja četiri izmjenjivača Sunny Tripower CORE 1 (50 kW) i dva izmjenjivača Sunny Tripower 20000TL (20 kW).

Solarni moduli smještaju se na krovove zgrada i spajaju prema uputama dostavljača opreme. Na ravnom krovu postavljaju se na nosivu konstrukciju koja mora zadovoljiti uvjete fizičkog i temperaturnog napreznja.

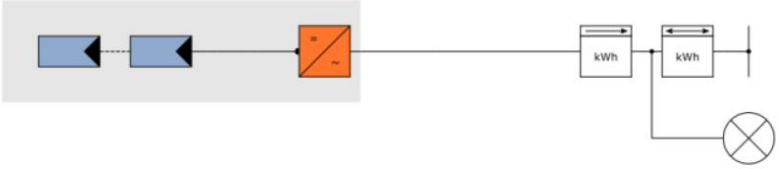
Izlaznu snagu koja se šalje u mrežu potrebno je ograničiti na 99 kW. Iako većinu vremena elektrana neće slati energiju u mrežu, zato što je proizvodnja ove fotonaponske elektrane svega oko 3% ukupne potrošnje investitora, za vrijeme kada promatrani kompleks ne bude radio (npr. zbog remonta) doći će do predaje energije u mrežu. Ovo ograničenje osigurava se mjerenjem snage na izlazu i po potrebi izlazna snaga izmjenjivača smanjuje se na 99 kW [27].

## 5.2. Izrada novog projekta u programu PV\*SOL Premium-u

Izrada novog projekta u programskom paketu PV\*SOL Premium započinje odabirom osnovnih projektnih podataka, o kojem je projektu riječ, tko ga izvodi, datum početka izrade projekta i ostale osnovne informacije.

Sljedeća kartica otvara nam prozor u kojemu je potrebno definirati o kojoj vrsti sustava se radi, da li je to umreženi fotonaponski sustav ili autonomni, sustav s baterijom, sustav s električnim uređajima itd. Za ovaj projekt izabran je sustav spojen na mrežu s električnim uređajima (Slika 5.3.). Također u tom sučelju bira se i klima odnosno lokacija u kojoj se postrojenje projektira. Zato što Osijek nije naveden kao mogućnost u odabiru lokacije, izabiru se klimatski uvjeti za Slavonski Brod. Slavonski Brod je najbliža lokacija koju je moguće odabrati, a podatci su dovoljno točni za simulaciju. Prema softveru tamo je prosječno godišnje Sunčevo zračenje  $1301 \text{ kWh/m}^2$  i prosječna temperatura je  $11,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . (Slika 5.3.)

### System Type, Climate and Grid



The screenshot displays the 'System Type, Climate and Grid' configuration window. It includes a dropdown menu for 'Type of System' set to '3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances', a schematic diagram of a grid-connected PV system, and several configuration panels.

**Type of Design**

- Use 3D Design

**Time step of simulation**

- 1 Hour (faster simulation)
- 1 Minute (more precise simulation)

**Climate Data**

Country	Location
Croatia	SLAVONSKI BROD (1991-2010, Meteonorm 7.2c3)

Latitude	45° 9' 35" (45,16°)	Annual sum of global irradiation	1301 kWh/m <sup>2</sup>
Longitude	18° 0' 0" (18°)	Annual Average Temperature	11,9 °C
Time zone	UTC+1		
Time Period	1991 - 2010		
Source	Meteonorm 7.2c3		

**AC Mains**

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

Slika 5.3. Izbor vrste sustava i klimatskih podataka

## 5.3. Unos potrošnje

Sljedeća kartica je unos potrošnje električne energije promatranog kompleksa. Postoji više opcija unosa potrošnje, ručno unošenje potrošnje za svaki mjesec, za godinu, a postoji i mogućnost učitavanja stvarno mjerenih podataka. Kako je za ovaj projekt dostupna potrošnja po mjesecima,

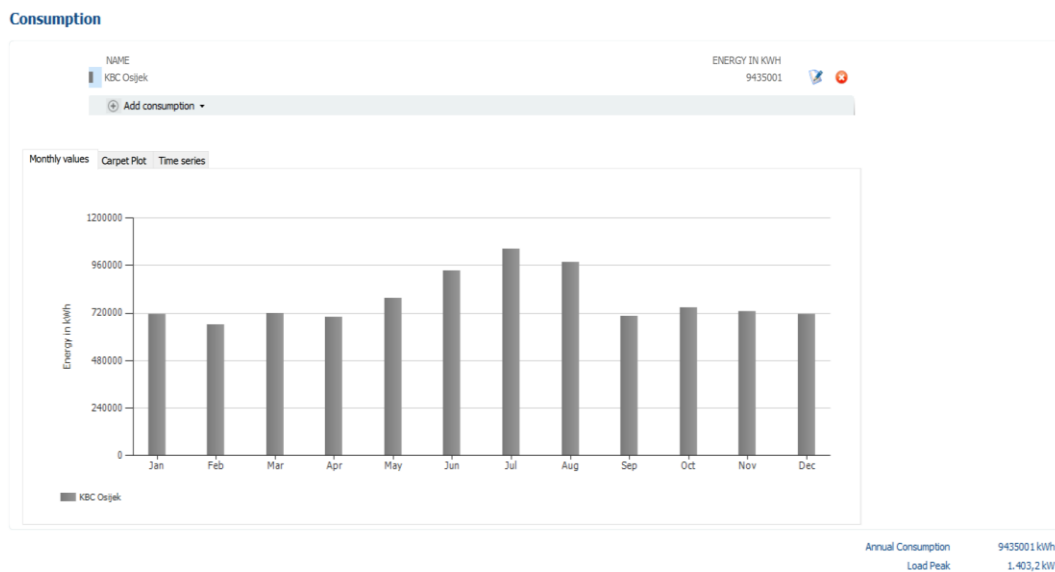


ona se unosila ručno za svaki mjesec. U tablici 5.1. prikazana je mjesečna potrošnja električne energije za primarno postrojenje.

**Tablica 5.1.** Potrošnja električne energije promatranog kompleksa

Mjesec	Potrošnja električne energije [kWh]
1.	715 392
2.	662 873
3.	716018
4.	698288
5.	795 443
6.	933 263
7.	1 043 970
8.	976 590
9.	702 008
10.	747 278
11.	729 128
12.	714 750

Na slici 5.4. prikazan je unos potrošnje u PV\*SOL-u. Ukupna potrošnja električne energije kompleksa za jednu godinu iznosi 9 435 001 kWh.



**Slika 5.4.** Grafički prikaz godipnje potrošnje električne energije

## 5.4. Postavljanje fotonaponski modula

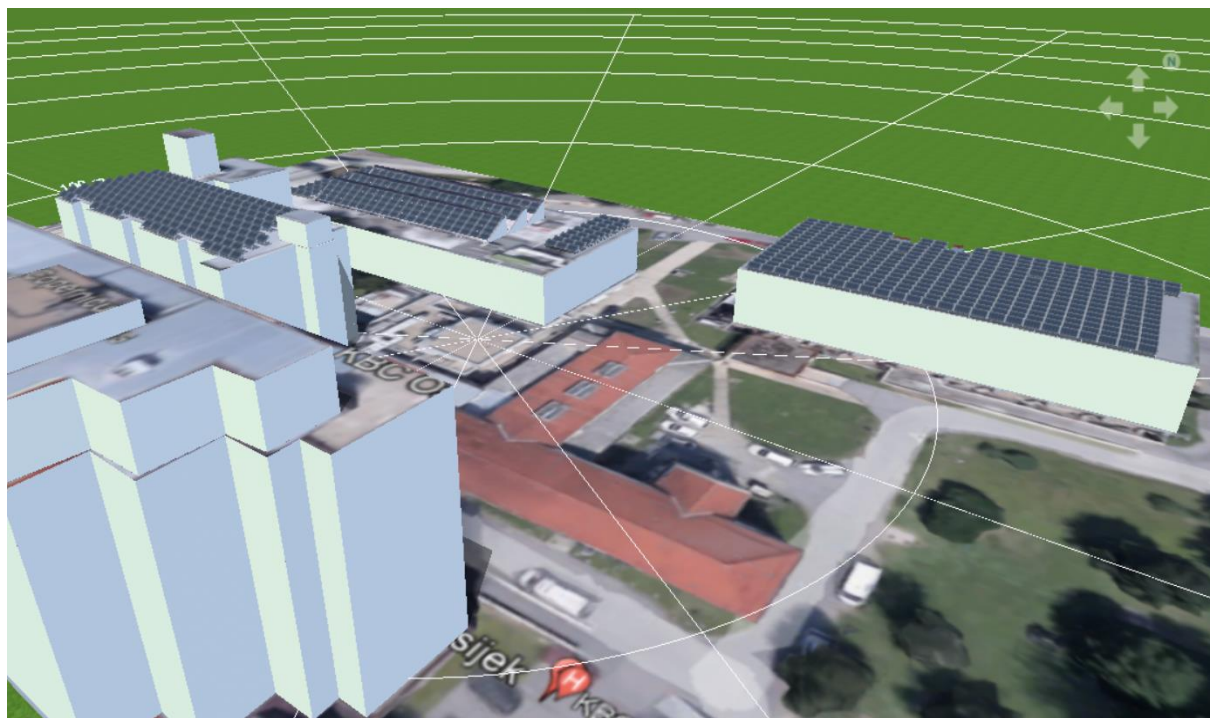
Sljedeći korak nakon unosa potrošnje je izrada modela. Prvo je potrebno u 3D modelu nacrtati građevine na čije krovove se postavljaju fotonaponski moduli i građevine koje bi mogle bacati sjenu na fotonaponske module. Postoji nekoliko opcija crtanja, a u ovom slučaju umetnuta je podloga koja je preuzeta s Google Earth Pro i pomoću dimenzija iz nacрта u Autocadu dimenzionirane su postojeće građevine u 3D modelu. Slijedi postavljanje modula na krovove.

Odabrani su moduli Solvis SV60-310 E, čija je snaga 310 Wp, na ravnim krovovima postavljeni su na aluminijsku konstrukciju pod kutom 34 ° (optimalan kut za tu lokaciju) (Slika 5.5.)

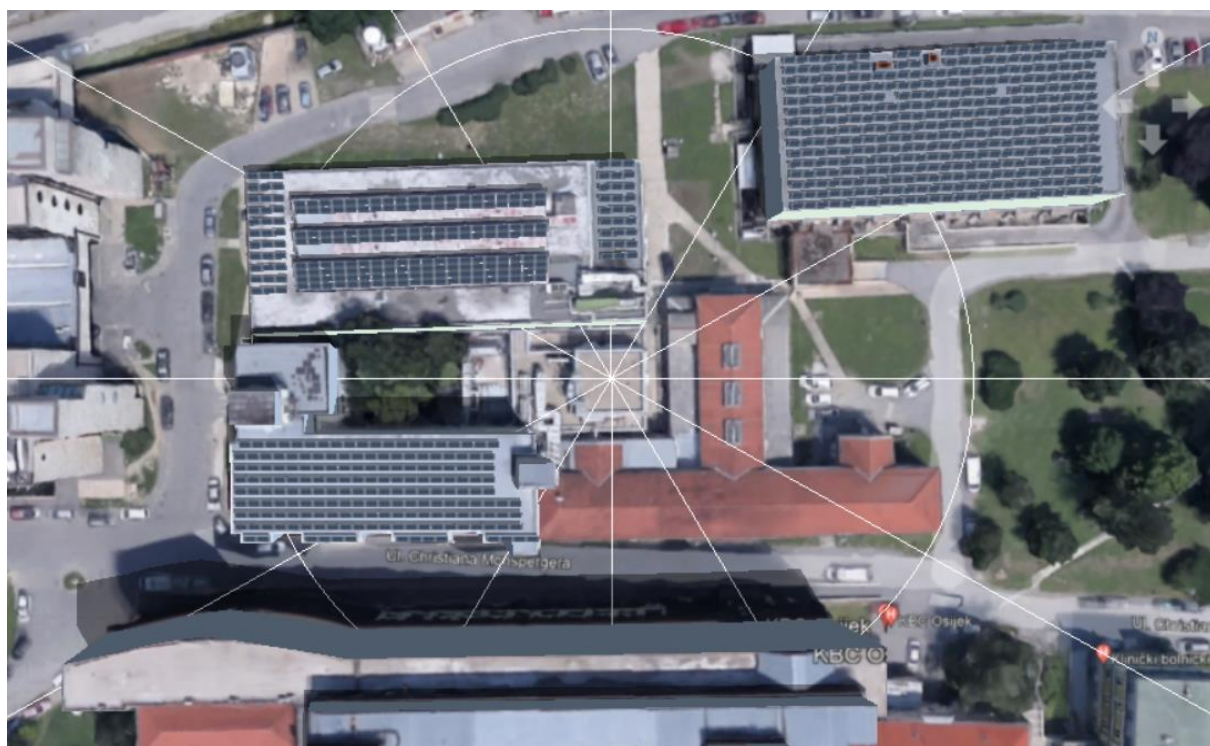


**Slika 5.5.** Postavljanje fotonaponskih modula na nosivu konstrukciju

Moduli su izgrađeni od monokristalnog silicija i pretpostavila se ugradnja 767 takvih modula. Raspored modula preuzet je iz grafičkog dijela glavnog projekta. Na zgradu radiologije postavljeno je ukupno 220 modula, 60 modula postavljeno je na već postojeće kosine na krovu pod 32°, a ostatak je postavljen na nosive konstrukcije od aluminijske pod kutom 34°. Na zgradi onkologije postavljeno je ukupno 180 modula, budući da se radi o ravnom krovu svi moduli su postavljeni na nosive konstrukcije. I na zgradi prehrane ukupno je predviđeno postavljane 367 modula također na aluminijske konstrukcije. Slika 5.6. prikazuje raspored modula napravljen u PV\*SOL-u sa sjeverno-istočne strane, dok slika 5.7. prikazuje raspored modula od gore.



**Slika 5.6.** 3D prikaz postavljenih fotonaponskih modula, pogled jugo-istok



**Slika 5.7.** 3D prikaz postavljenih fotonaponskih modula, pogled od gore

Karakteristike fotonaponskih modula prikazane su u sljedećim tablicama (Tablica 5.2. i Tablica 5.3.). Prikazane su vrijednosti parametara pri standardnim testnim uvjetima i pri normalnoj radnoj temperaturi ćelije, radni uvjeti, temperaturna svojstva i mehanički podaci fotonaponskih modula tipa Solvis SV60-310 E.

**Tablica 5.2.** Vrijednosti parametara fotonaponskih modula Solvis SV60-310 E pri STC i NOCT uvjetima [29]

Parametri		STC (1000 W/m <sup>2</sup> , 25°, AM 1,5 g)	NOCT (800W/m <sup>2</sup> , 20°, 1,5 m/s brzina vjetra)
	Jedinice	SV60-310 E, 310 Wp	SV60-310 E, 310 Wp
Vršna snaga P <sub>MPP</sub>	[W]	310	226,7
Dozvoljeno odstupanje	[W]	-0/+4,9	-0/+4,9
Struja kratkog spoja I <sub>SC</sub>	[A]	9,81	7,88
Napon praznog hoda U <sub>OC</sub>	[V]	40,38	37,1
Nazivna struja I <sub>MPP</sub>	[A]	9,36	7,48
Nazivni napon U <sub>MPP</sub>	[V]	33,28	30,3
Dozvoljeno odstupanje napona i struje	[%]	+/- 3	
Učinkovitost modula	[%]	19,05	

**Tablica 5.3.** Mehanički podaci, radni uvjeti i temperaturna svojstva fotonaponskih modula Solvis SV60-310 E [29]

Dimenzije (V x Š x D)	[mm]	1640 x 992 x 40
Masa	[kg]	18,3
Broj i vrsta ćelija		60 ćelija, monokristalični Si (PERC), 156 x 156 mm +/- 1 mm
Enkapsulacija ćelija		Etilen-vinil acetat (EVA)
Staklo		3,2 mm kaljeno sunčano staklo
Pozadina		Višeslojna poliesterska folija
Okvir		Okvir od anodiziranog aluminija s dvostrukom stijenkom i otvorima za drenažu
Priključna kutija		IP67 ≤ 3 Bypass diode



Priključni kablovi		Kabel 4 mm <sup>2</sup> , dužine 1000 mm
Temperaturno područje	[°C]	-40 do +85
Maksimalni napon sustava	[V]	1000
Najveća dopuštena prekidna struja osigurača po nizu fotonaponskih modula	[A]	15
Najveća dopuštena reverzna struja	[A]	15
Maksimalno opterećenje		Ispitano do 5400 Pa (prednja strana 5400 Pa, stražnja strana (2400 Pa)
Otpornost na udar		Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s
Temperaturni koeficijent snage P <sub>MPP</sub>	[%/K]	-0,42
Temperaturni koeficijent struje I <sub>SC</sub>	[%/K]	0,05
Temperaturni koeficijent napona U <sub>OC</sub>	[%/K]	-0,33

#### 5.4.1. Utjecaj zasjenjenja

Na slici 5.8. i 5.9. prikazana je frekvencija zasjenjenja zgrade onkologije i radiologije. Prikazane su ove dvije zgrade zato što zgrada prehrane nema oko sebe drveće, susjedne zgrade ili nešto drugo što bi je moglo zasjeniti osim modula na nosivim konstrukcijama koji bacaju sjenu na module iza sebe.

Na slici 5.8. gdje je prikazana zgrada onkologije može se vidjeti da moduli koji su bliže zgradi kirurgije (zgrada koja baca sjenu na zgradu onkologije) imaju veći postotak zasjenjenja nego moduli na koje sjena ne pada.

U slučaju zasjenjenja, fotonaponska ćelija koja se sastoji od pn – spoja prestaje proizvoditi energiju i ponaša se kao dioda koja blokira struju koju proizvode ostale spojene ćelije. Ovime se dovodi u pitanje ugroženost cjelokupne proizvodnje modula. Rješenje ovog problema je premosna dioda koja se može ugraditi na svaku ćeliju. Princip je takav da kada su sve ćelije osvjetljene premosna dioda je blokirana, a kada je jedna ili više ćelija zasjenjeno premosnom diodom te ćelije se zaobilaze i kroz diodu teče struja.

S obzirom da se učinci samozasjenjenja ne odražavaju na prvi red fotonaponskih modula, a na slici 5.8. vidimo da je u prvom redu postotak zasjenjenja dosta velik i veći od modula koji su u posljednjim redovima na kojima je čak i prisutno zasjenjenje redom ispred, dolazi se do zaključka da zgrada kirurgije zasjenjuje dio fotonaponskih modula postavljenih na zgradu onkologije.



**Slika 5.8.** Utjecaj zasjenjenja na zgradi onkologije

Na slici 5.9. gdje je prikazana zgrada radiologije može se vidjeti da su moduli na desnoj strani krova više zasjenjeni nego moduli na lijevoj strani. Razlog tom je položaj zgrade radiologije u odnosu na zgradu onkologije kao i nepravilan oblik zgrade onkologije čiji jedan dio je bliže zgradi radiologije. Kao i u prethodnom slučaju imamo situaciju da je frekvencija zasjenjenja prvog reda lijeve strane modula najveća, čime dolazimo do zaključka da zgrada onkologije jednim svojim dijelom zasjenjuje dio modul na zgradi radiologije.



$U_{DC, MIN}$ / startni ulazni napon $U_{DC START}$ )			
Maksimalna struja kratkog spoja ( $I_{SC}$ )	30 A	Raspone frekvencije	44 Hz – 55 Hz/ 54 Hz – 65 Hz
Maksimalna ulazna struja / po MPP-u ( $I_{MPP, MAX}$ )	120 A / 20 A	<b>Opći podatci</b>	
Broj nezavisnih ulaza MPPT / broj stringova po ulazu	6 / 2	Težina	82 kg
		Visina x širina x dubina	733 x 621 x 569 mm
<b>Učinkovitost</b>		Raspon temperatura	-25 °C do + 60 °C
Maksimalna učinkovitost	> 98%		

**Tablica 5.4.** Vrijednosti tehničkih parametara SAM Sunny Tripower 20000TL izmjenjivača [27]

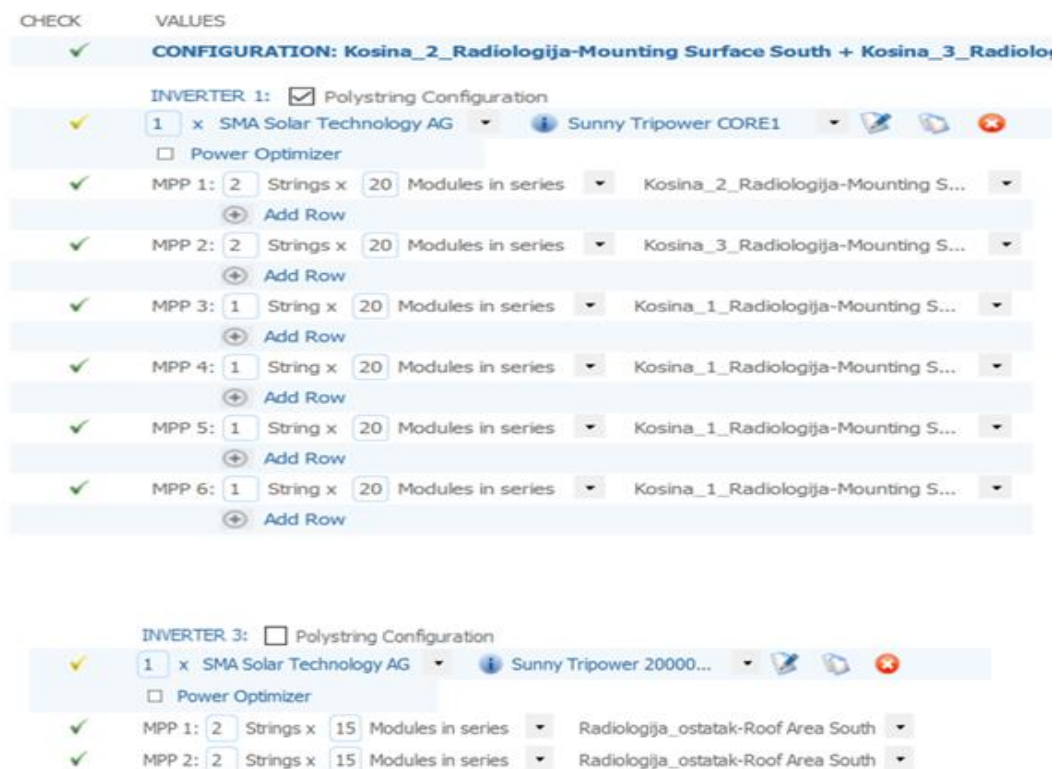
<b>Ulazni podatci</b>		<b>Izlazni podatci</b>	
DC nazivna snaga ( $P_{DC}$ )	20,44 kWp	AC nazivna snaga ( $P_{AC}$ )	20 kWp
Maksimalan ulazni napon ( $U_{DC, MAX}$ )	1000 V	AC izlazna struja ( $I_{AC, NOM}$ )	29 A
MPP raspon napona ( $U_{MPP, MIN} - U_{MPP, MAX}$ )	320 V – 800 V	THD	3%
Nominalni ulazni napon $U_{DC, R}$	600 V	Izlazni raspon napona ( $U_{AC, MIN} - U_{AC, MAX}$ )	180 V – 280 V
Minimalan ulazni napon $U_{DC, MIN}$ / startni ulazni napon $U_{DC START}$ )	150 V / 188 V	Frekvencija	50 Hz/ 60 Hz
Maksimalna ulazna struja ulaz A, ulaz B ( $I_{MPP, MAX}$ )	33 A / 33 A	Raspone frekvencije	44 Hz – 55 Hz/ 54 Hz – 65 Hz
Broj nezavisnih ulaza MPPT / broj stringova po ulazu	2 / A:2, B:3	<b>Opći podatci</b>	
<b>Učinkovitost</b>		Težina	61 kg
		Visina x širina x dubina	682 x 661 x 264 mm
Maksimalna učinkovitost	98,4%	Raspon temperatura	-25 °C do + 60 °C

### 5.5.1. Konfiguracija modula na zgradi radiologije

Na radiologiju se postavljaju dva izmjenjivača, jedan Sunny Tripower 20000TL (20 kW, I1) i jedan SMA Sunny Tripower CORE 1 (50 kW, I3), raspored povezanih nizova i stringova s

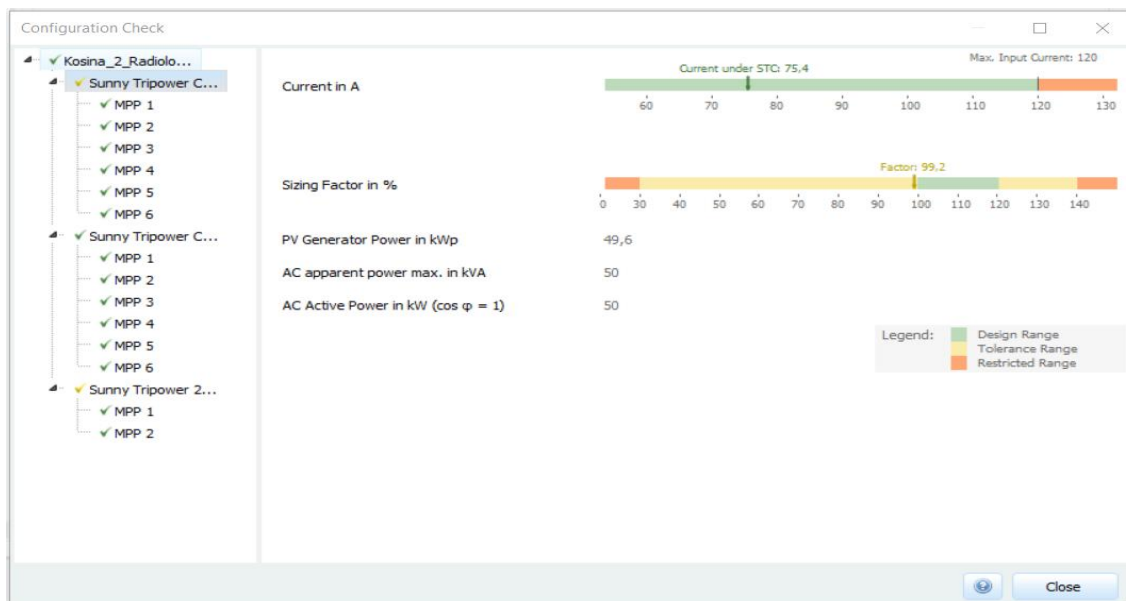


izmjenjivačima prikazan je na slici 5.10. Sa slike se može vidjeti da su moduli koji su postavljeni na već postojeće kosine na zgradi spojeni na izmjenjivač od 50 kW. Izmjenjivač ukupno ima šest MPP ulaza. Na prva dva ulaza (MPP1 i MPP2) spojena su paralelno po dva fotonaponska niza po 20 modula u seriji, dok na ostala četiri ulaza (MPP3, MPP4, MPP5 i MPP6) spojen je jedan fotonaponski niz od 20 modula u seriji. Na drugi izmjenjivač (20 kW) spojeni su ostali moduli na ravnom krovu te zgrade. Sa slike 5.10. također se može vidjeti da izmjenjivač ima dva MPP ulaza, i na oba su paralelno spojena dva niza od po 15 modula u seriji.

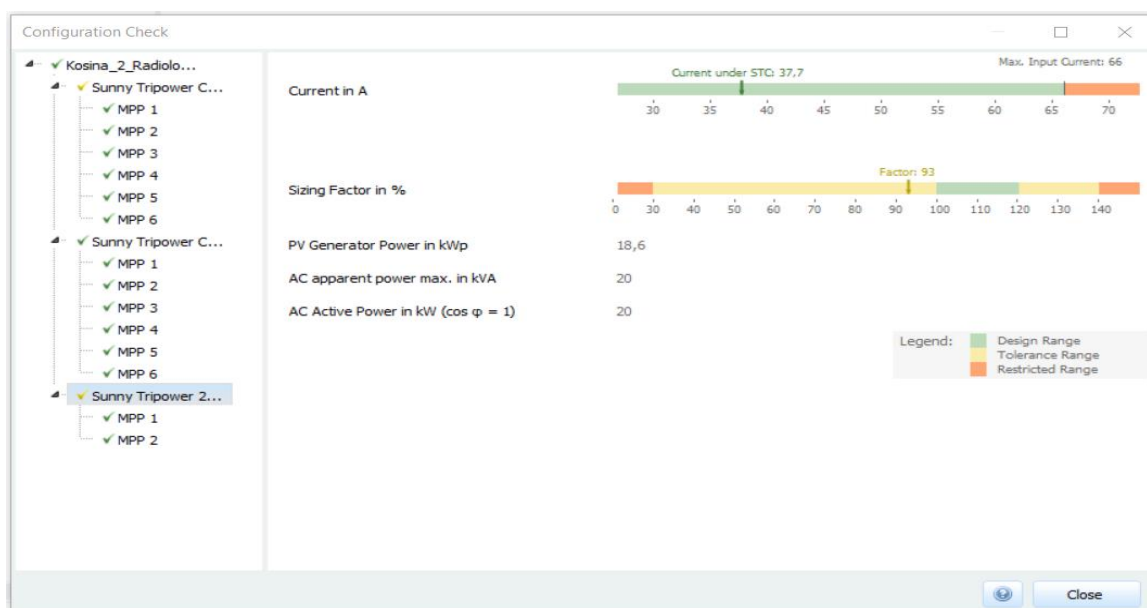


**Slika 5.10.** Konfiguracija modula na zgradi radiologije

U PV\*SOL-u također postoji i opcija provjere da li je svaki izmjenjivač dobro konfiguriran. Slika 5.11. prikazuje provjeru konfiguracije za SMA Sunny Tripower CORE 1 izmjenjivač, a slika 5.12. provjeru za SAM Sunny Tripower 20000TL.



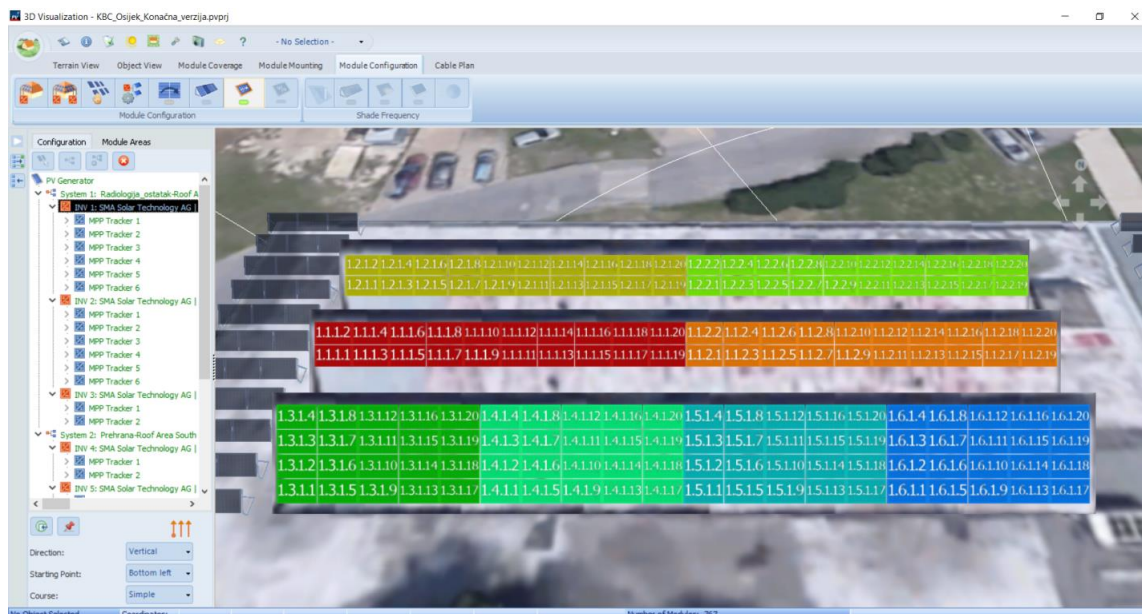
**Slika 5.11.** Provjera konfiguracije izmjenjivača SMA Sunny Tripower CORE 1



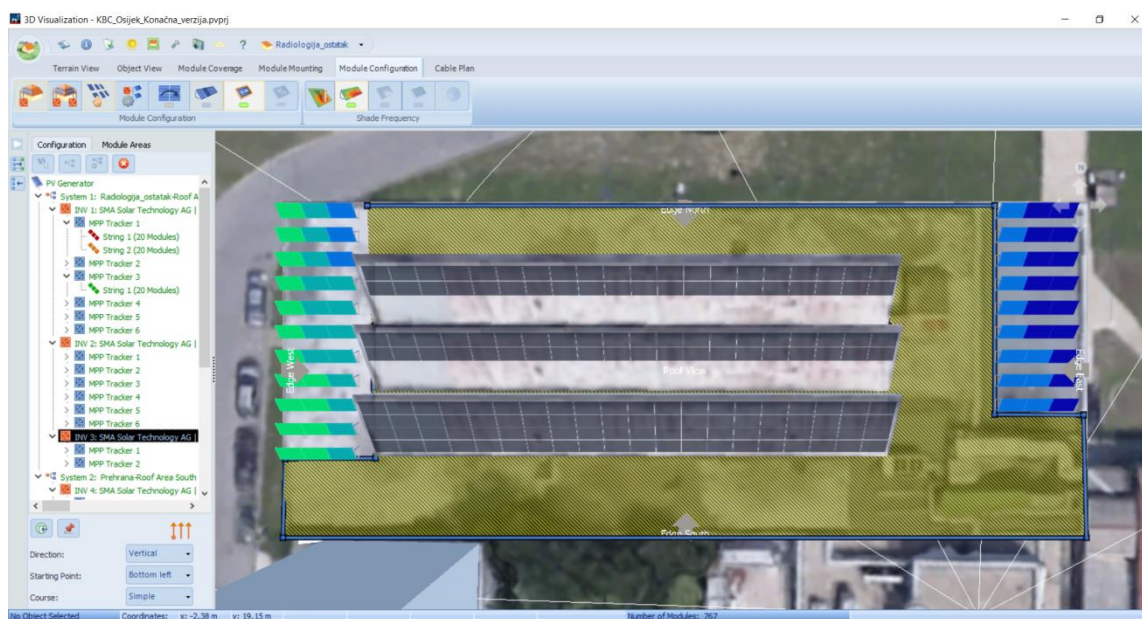
**Slika 5.12.** Provjera konfiguracije izmjenjivača Sunny Tripower 20000TL

S obzirom da se svi provjereni parametri izmjenjivača nalaze unutar dopuštenih granica (zeleno i žuto) to znači da su izmjenjivači dobro konfigurirani.

Na slici 5.13. prikazano je kako su moduli spojeni na ulaze izmjenjivača na kosinama koje se nalaze na zgradi radiologije. Prvi broj na modulu odnosi se na izmjenjivač na koji je spojen, drugi broj predstavlja MPP ulaz, treći broj kojem stringu pripada i četvrti broj je broj modula u fotonaponskom nizu. A slika 5.14. prikazuje ostatak fotonaponskih nizova na ravnom krovu postavljenih na aluminijske konstrukcije.



**Slika 5.13.** Konfiguracija modula na zgradi radiologije - postojeće kosine

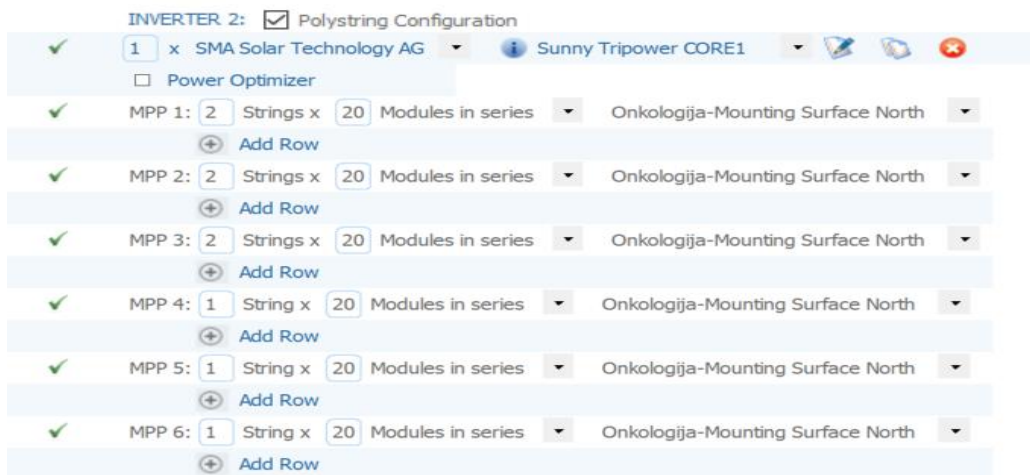


**Slika 5.14.** Konfiguracija modula na zgradi radiologije – ravni krov

### 5.5.2. Konfiguracija modula na zgradi onkologije

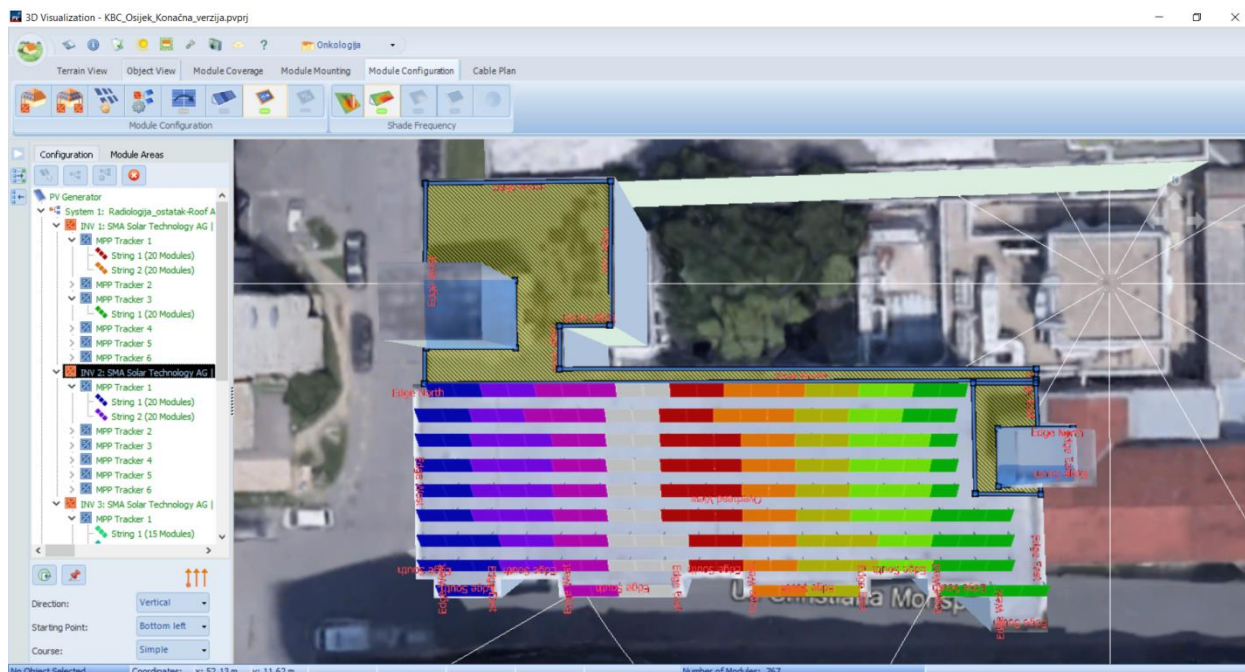
Isti fotonaponski sustav s radiologijom čini i onkologija. Tu je postavljen izmjenjivač SMA Sunny Tripower CORE 1 (I2), a slika 5.15. prikazuje raspored modula i stringova spojenih na izmjenjivač. Sa slike se može vidjeti da izmjenjivač ima šest ulaza. Na prva tri ulaza (MPP1, MPP2, MPP3) paralelno su spojena po dva fotonaponska niza od 20 modula u seriji. Na ostala tri ulaza (MPP4, MPP5 i MPP6) spojen je po jedan fotonaponski niz od 20 modula u seriji.





**Slika 5.15.** Konfiguracija modula na zgradi onkologije

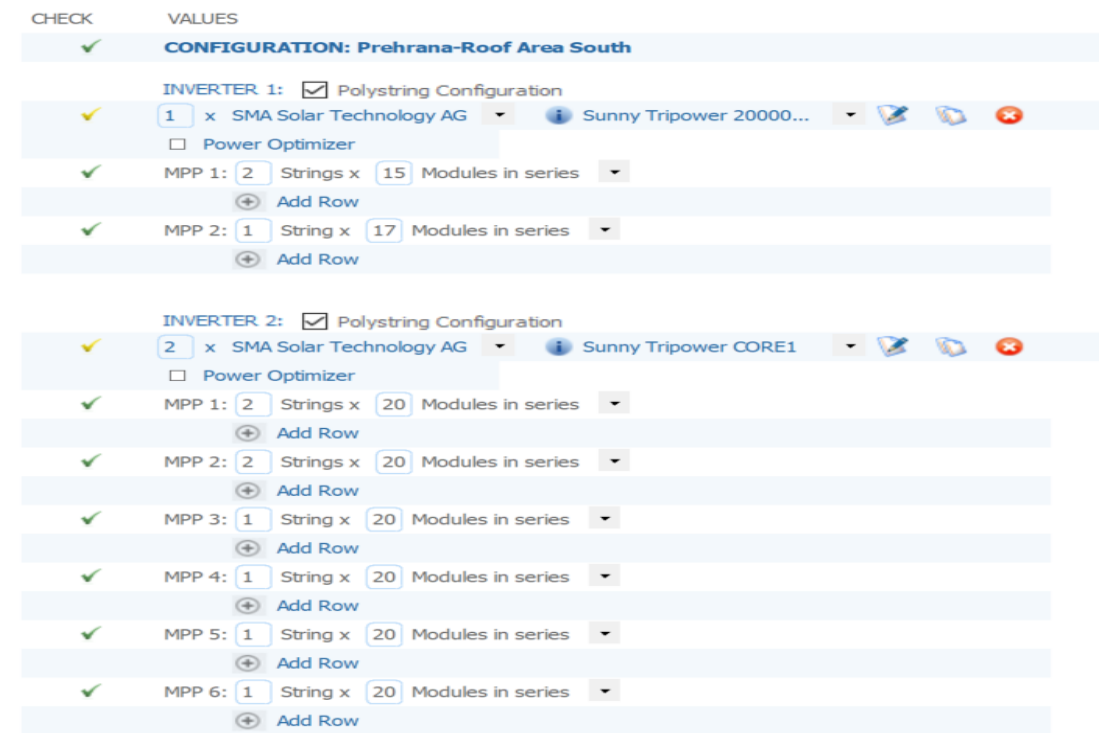
Zelena kvačica pored izmjenjivača na slici 5.15. znači da je izmjenjivač dobro konfiguriran. Uđemo li u provjeru konfiguracije vidjeli bi da se svi promatrani parametri nalaze u zelenom područje koje predstavlja područje optimalnog rada izmjenjivača. Slika 5.16. prikazuje raspored fotonaponskih nizova na zgradi onkologije.



**Slika 5.16.** Konfiguracija modula na zgradi onkologije

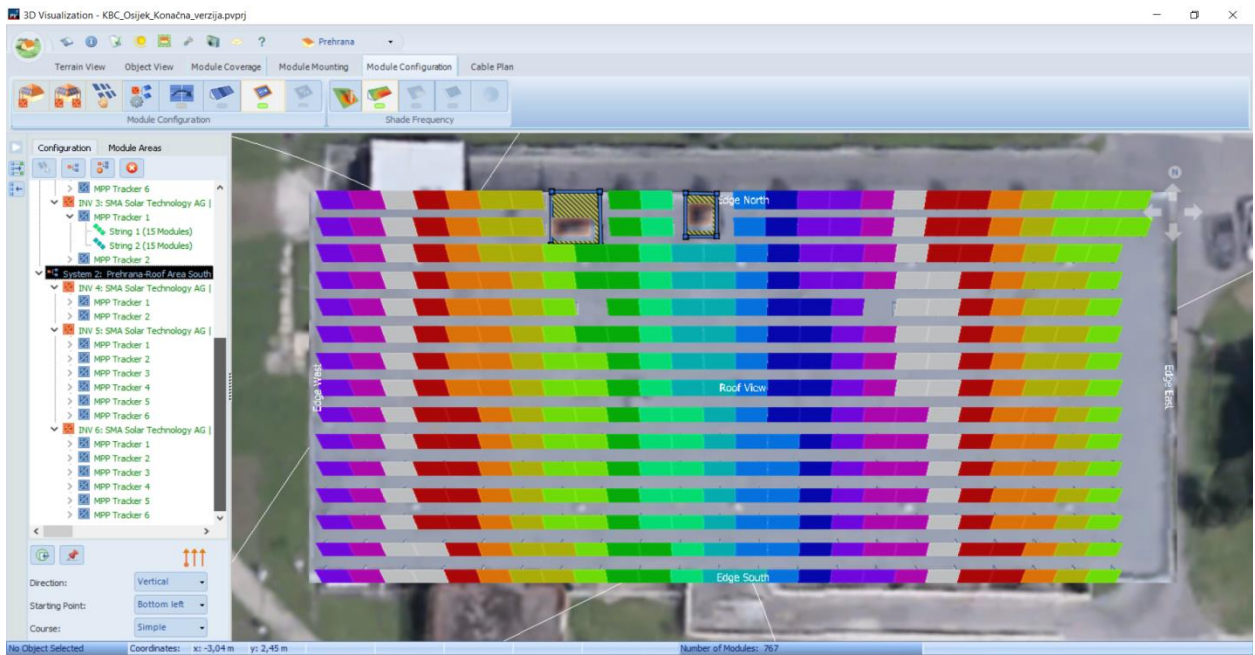
### 5.5.3. Konfiguracija modula na zgradi prehrane

Poseban fotonaponski sustav čini zgrada prehrane. Tu su postavljena dva izmjenjivača SMA Sunny Tripower CORE 1 (I4, I5) i jedan izmjenjivač Sunny Tripower 20000TL (I6). Slika 5.17. prikazuje raspored modula i stringova spojenih na izmjenjivač. Sa slike se može vidjeti da izmjenjivač Sunny Tripower 20000TL ima dva ulaza, na prvi ulaz (MPP1) paralelno su spojena dva niza od 15 serijskih modula, a na drugi ulaz (MPP2) spojen je jedan niz od 17 serijskih spojenih fotonaponskih modula. Druga dva izmjenjivača (SMA Sunny Tripower CORE 1) su ista i raspored povezanih stringova je također isti. Pa tako na prva dva ulaza (MPP1 i MPP2) spojena su paralelno dva fotonaponska niza od po 20 modula, a na ostala četiri ulaza (MPP3, MPP4, MPP5, MPP6) spojen je po jedan fotonaponski nit od 20 serijskih spojenih modula.



Slika 5.17. Konfiguracija modula na zgradi prehrane

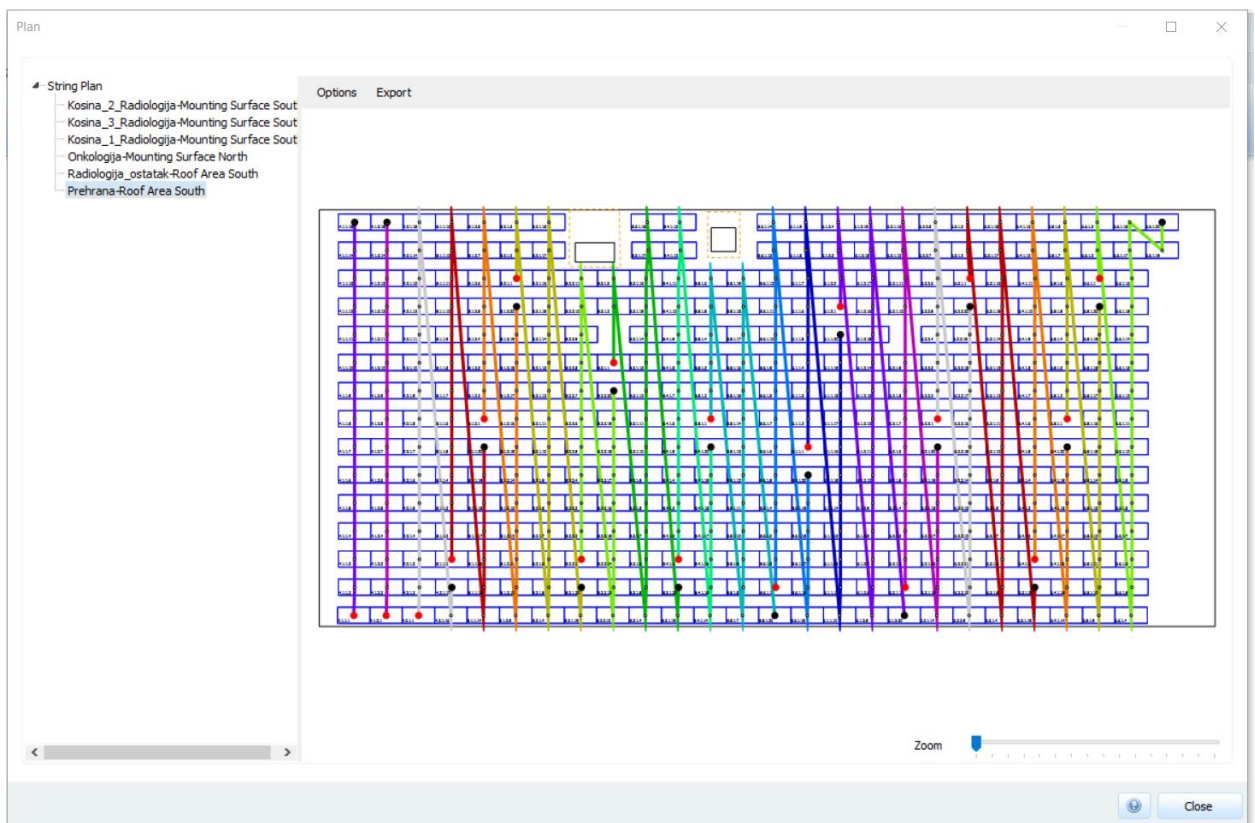
Žute kvačice pored izmjenjivača na slici 5.17. znače da izabrani izmjenjivači zadovoljavaju uvjete i da su dobro konfigurirani. Kada bi odabrali opciju provjere konfiguracije neki od promatranih parametara nalazi bi se u žutom području, to područje je područje tolerancije i izmjenjivač može raditi. Slika 5.18. prikazuje raspored fotonaponskih nizova na zgradi prehrane.



**Slika 5.18.** Konfiguracija modula na zgradi prehrane

## 5.6. Plan kabela

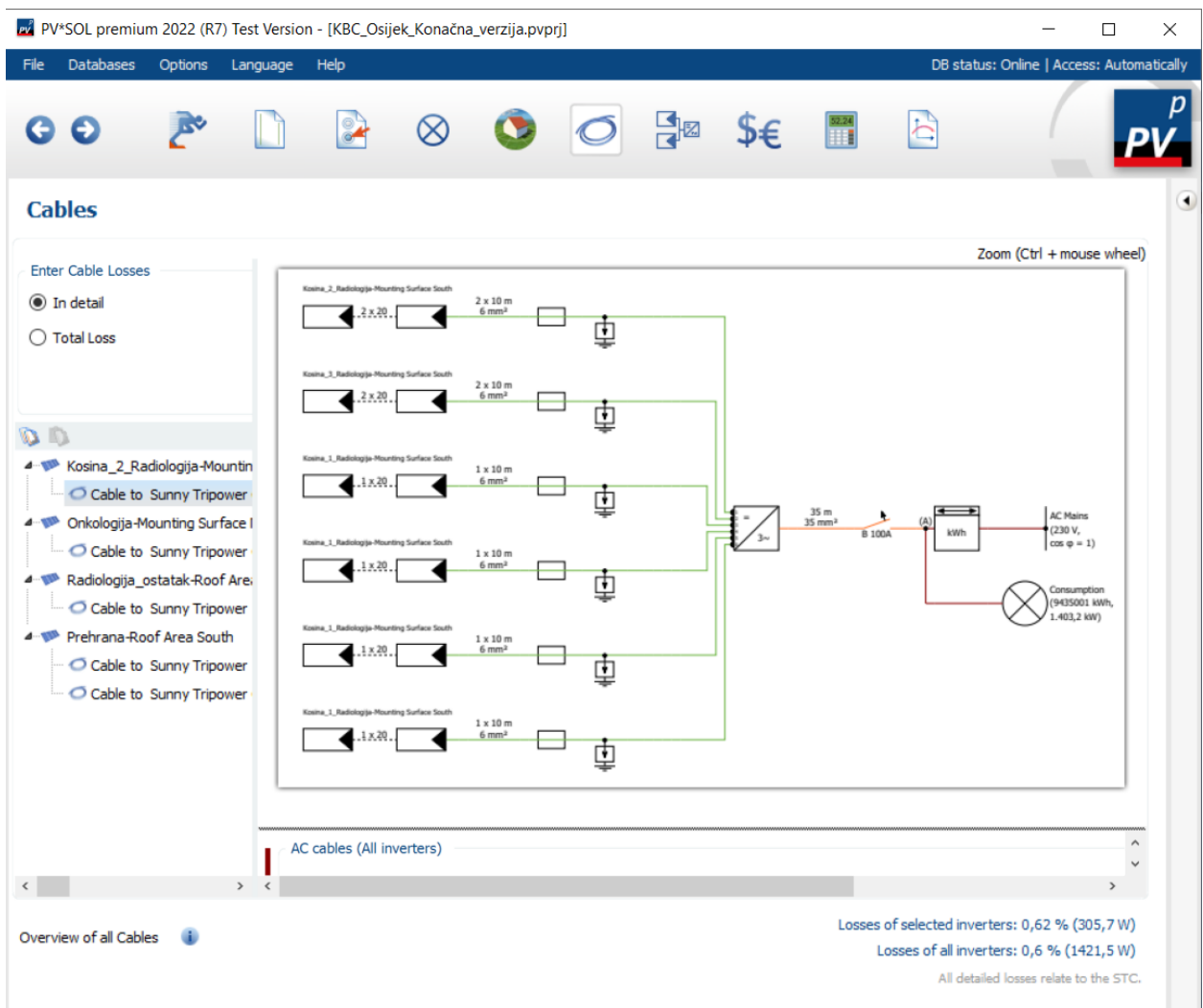
Zadnja kartica u modelu omogućava nam prikaz spajanja fotonaponskih modula kabelima. Na slici 5.19. dan je primjer povezivanja modula na zgradi prehrane.



**Slika 5.19.** Prikaz spajanja modula u nizove kablovima na zgradi prehrane

## 5.7. Kabeli

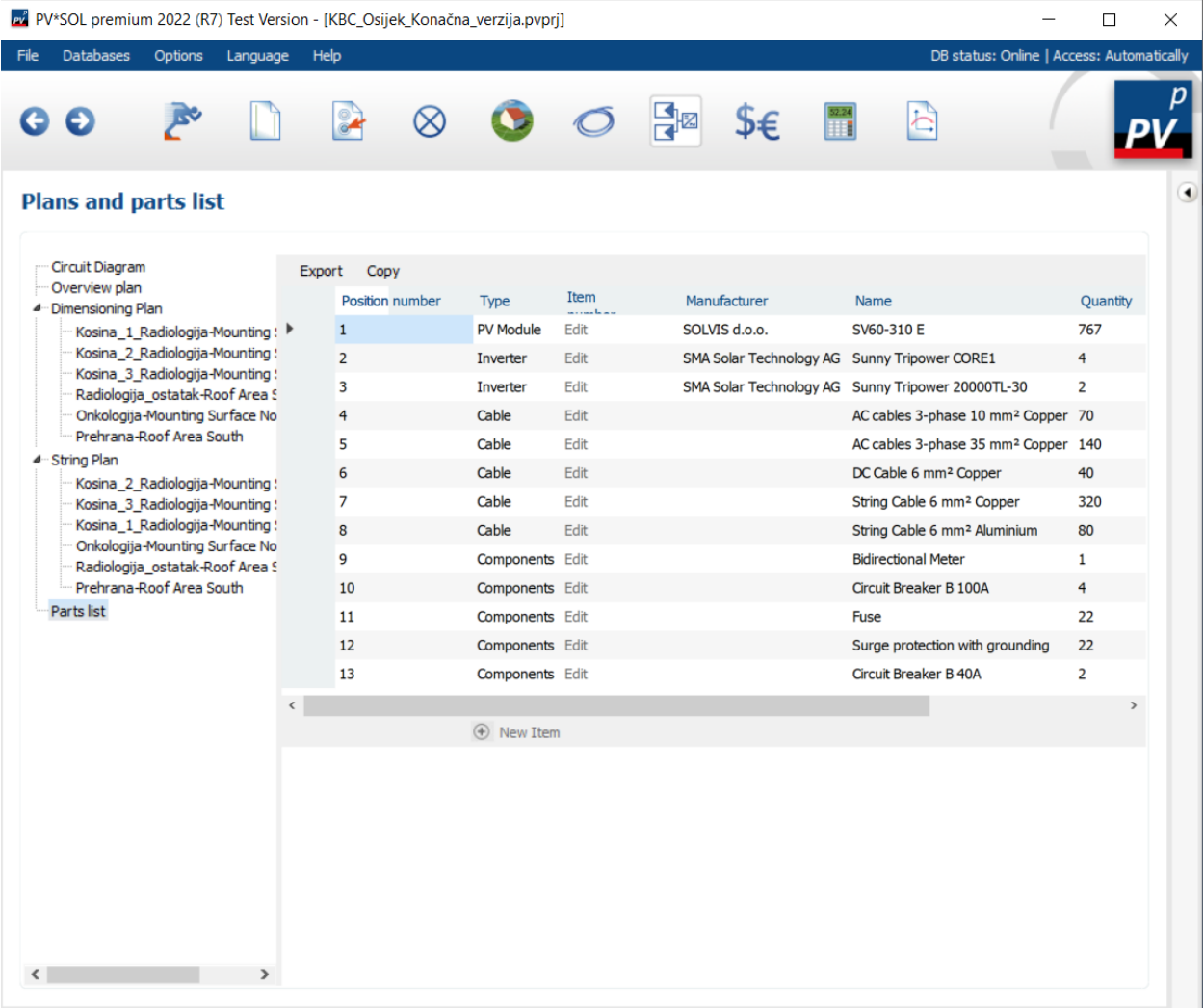
Zadnji korak koji se radi u modelu je kabliranje modula s izmjenjivačima, tu se unose presjeci i duljine kabela. Treba paziti da gubitci kabela na AC strani ne prelaze 1 %. Nakon tog koraka izlazi se iz modela. Sljedeća kartica koju otvaramo su kabeli. Otvara se prozor u kojem je prikazana jednopolna shema svakog izmjenjivača sa modulima koji su na njega povezani. Ovaj prozor pruža mogućnosti dodavanja zaštitnih i mjernih uređaja na shemu, zatim izbor presjeka kabela i izbor duljine kabela. Na slici 5.20. prikazan je primjer odabira zaštitnih uređaja i kabela za zgradu onkologije gdje je postavljen jedan inverter od 50 kW.



Slika 5.20. Primjer dodavanja zaštitnih uređaja i odabir presjeka kabela te njihove duljine

## 5.8. Grafički dio

Program PV\*SOL Premium nudi i prikaz jednopolne sheme cijele elektrane te prikaz potrebne opreme koja je korištena u projektu. Slika 5.21. prikazuje korištenu opremu, dok slika 5.22. prikazuje jednopolnu shemu sustava.



The screenshot shows the PV\*SOL Premium software interface. The title bar reads "PV\*SOL premium 2022 (R7) Test Version - [KBC\_Osijek\_Konačna\_verzija.pvprj]". The menu bar includes "File", "Databases", "Options", "Language", and "Help". The status bar shows "DB status: Online | Access: Automatically". The main window is titled "Plans and parts list". On the left, there is a tree view with the following structure:

- Circuit Diagram
- Overview plan
- Dimensioning Plan
  - Kosina\_1\_Radiologija-Mounting
  - Kosina\_2\_Radiologija-Mounting
  - Kosina\_3\_Radiologija-Mounting
  - Radiologija\_ostatak-Roof Area
  - Onkologija-Mounting Surface No
  - Prehrana-Roof Area South
- String Plan
  - Kosina\_2\_Radiologija-Mounting
  - Kosina\_3\_Radiologija-Mounting
  - Kosina\_1\_Radiologija-Mounting
  - Onkologija-Mounting Surface No
  - Radiologija\_ostatak-Roof Area
  - Prehrana-Roof Area South
- Parts list

The main area displays a table with the following data:

Position number	Type	Item	Manufacturer	Name	Quantity
1	PV Module	Edit	SOLVIS d.o.o.	SV60-310 E	767
2	Inverter	Edit	SMA Solar Technology AG	Sunny Tripower CORE1	4
3	Inverter	Edit	SMA Solar Technology AG	Sunny Tripower 20000TL-30	2
4	Cable	Edit		AC cables 3-phase 10 mm <sup>2</sup> Copper	70
5	Cable	Edit		AC cables 3-phase 35 mm <sup>2</sup> Copper	140
6	Cable	Edit		DC Cable 6 mm <sup>2</sup> Copper	40
7	Cable	Edit		String Cable 6 mm <sup>2</sup> Copper	320
8	Cable	Edit		String Cable 6 mm <sup>2</sup> Aluminium	80
9	Components	Edit		Bidirectional Meter	1
10	Components	Edit		Circuit Breaker B 100A	4
11	Components	Edit		Fuse	22
12	Components	Edit		Surge protection with grounding	22
13	Components	Edit		Circuit Breaker B 40A	2

Slika 5.21. Popis korištene opreme





## 5.9. Analiza dobivenih rezultata

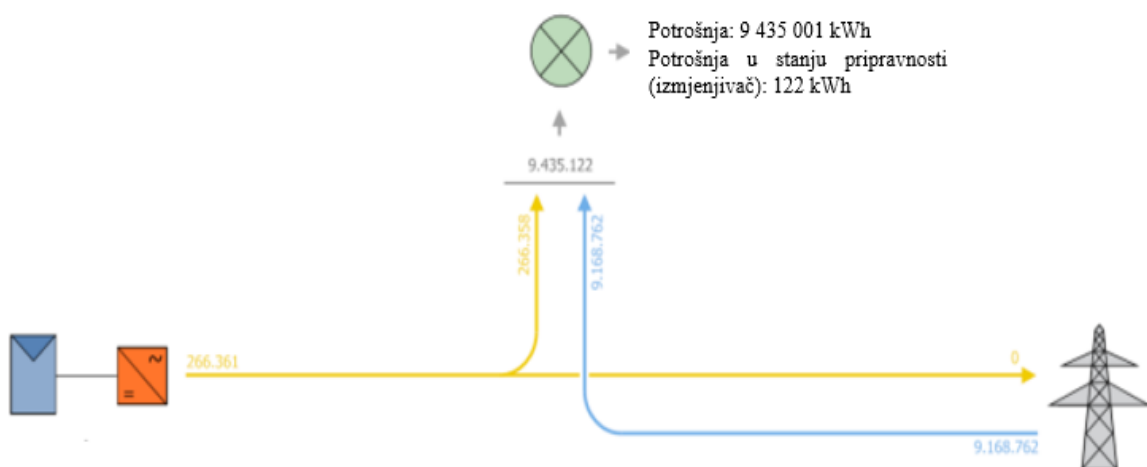
PV\*SOL na kraju projektiranja cijelog sustava daje mogućnost prikaza dobivenih rezultata kako tehničkih tako i financijskih koji će biti obrađeni u sljedećem poglavlju.

Dakle zadatak je bio provesti simulaciju sunčane elektrane prema glavnom projektu koji je izrađen na zahtjev investitora, Klinički bolnički centar Osijek, Josipa Huttlera 4, 31000 Osijek, OIB :89819375646. Planirano je da se elektrana nalazi na krovu tri zgrade, prehrane, onkologije i radiologije na lokaciji Osijek, k.č.br. 6686 k.o. Osijek, te da se sustavi instaliraju kao dva odvojena podsustava. Namjena sunčane elektrane je proizvodnja električne energije za vlastite potrebe, a u slučaju stvaranja viška energije predaja u niskonaponsku mrežu. Očekivana godišnja proizvodnja električne energije sunčane elektrane je oko 271 303,07 kWh/god, a nazivna snaga elektrane koja će se postaviti na krovite postojećih objekata je 230 kW (izlaz na AC strani je softverski ograničen).

Slika 5.22. prikazuje dobiveni tok snaga između proizvođača, mreže i potrošača. Ukupna godišnja potrošnja energije KBC Osijek iznosi 9 435 122 kWh. Iz tokova snaga može se vidjeti da projektirana elektrana u PV\*SOL-u godišnje proizvede 266 361 kWh električne energije. Što znači da za pokrivanje svoje godišnje potrošnje električne energije iz mreže preuzima 9 168 762 kWh. Razlog zašto je u PV\*SOL-u dobivena manja godišnja proizvodnja energije od procjene iz glavnog projekta je zato što je u glavnom projektu procijenjena veća ozračenost plohe Sunčevim svjetlom na lokaciji gdje se izvodio projekt nego u PV\*SOL-u gdje je taj podatak odabirom lokacije automatski postavljen,

Tokovi snaga

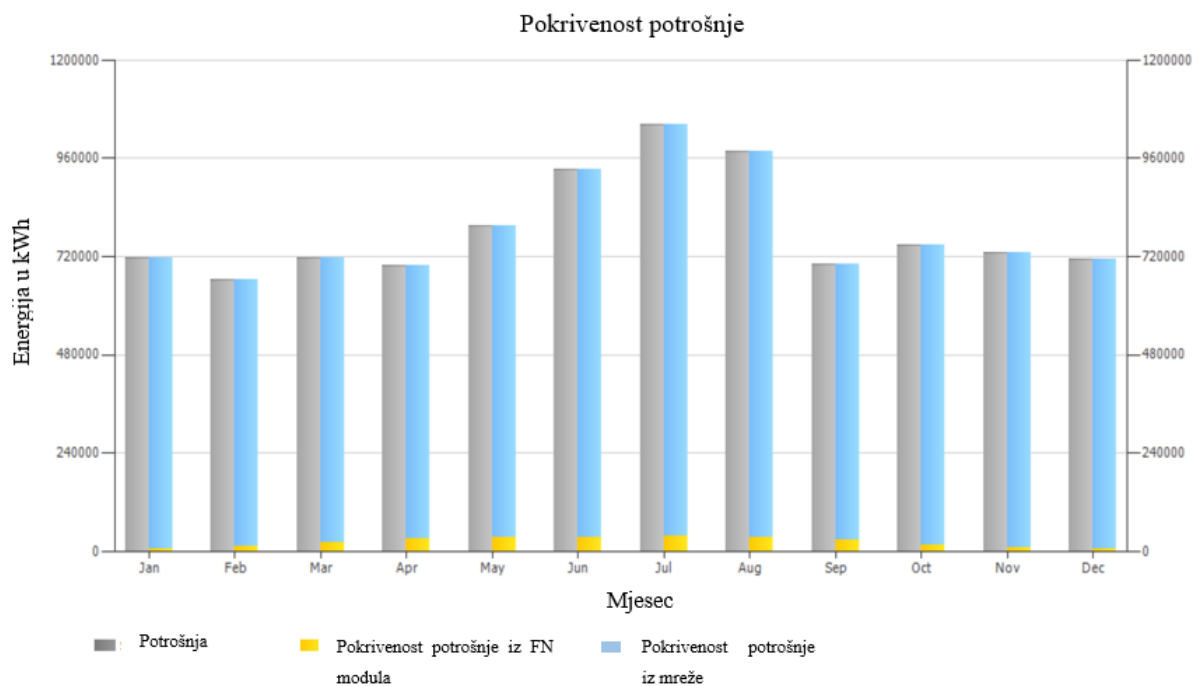
Project: KBC\_Osijek\_Konačna\_verzija



Slika 5.22. Tokovi snaga

Iako se na prvi pogled godišnja proizvodnja energije iz fotonaponske elektrane čini kao djelić sveukupne godišnje potrošnje KBC-a (što zapravo i je, proizvodnja iz fotonaponske elektrane je svega 2,82% ukupne godišnje potrošnje električne energije za bolnicu) ukoliko se taj iznos preračuna u novce primijetit će se značajna ušteda, posebno kroz par godina.

Na slici 5.23. stupčano je prikazano da godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava pokriva samo mali dio godišnje potrošnje energije bolnice, te da se veći dio preuzima iz mreže: Kao rezultat toga da se zaključiti da se niti jedan dio proizvedene energije ne predaje u mrežu.



**Slika 5.23.** Pokrivenost potrošnje godišnje električne energije bolnice proizvedenom energijom iz sunčane elektrane

## 6. ANALIZA ISPLATIVOSTI SUNČANE ELEKTRANE KBC OSIJEK

Jedna od osnovnih metoda procjene isplativosti izgradnje elektrana temelji se na niveliranom trošku kWh (engl. Levelized Costo of Elekctricity – LCOE = c) koji se računa prema sljedećoj formuli [30]:

$$c = \frac{\sum_{k=-j}^n I_K \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^n TP_K \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^n TG_K \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^n TE_K \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^n TD_K \cdot (1+i)^{-k}}{\sum_{k=1}^n W_K \cdot (1+i)^{-k}} \quad (6-1)$$

„gdje je:

c – srednja aktualizirana cijena proizvedenog kWh (n.j.)

$I_k$  – investicija izvršena u k-toj godini (n.j.)

$TP_k$  – troškovi pogona (rada i održavanja) (operation and maintenance O&M), u k-toj godini (n.j.),

$TG_k$  – nabavni troškovi za gorivo u k-toj godini (n.j.),

$TE_k$  – (eksterni) troškovi emisije (CO<sub>2</sub>) u k-toj godini (n.j.),

$TD_k$  – troškovi dekomisije postrojenja u k-toj godini (n.j.),

$W_k$  – energija proizvedena u k-toj godini (kWh), računa se kao umnožak instalirane snage i faktora opterećenja

i – diskontna stopa (ili stopa aktualizacije) konstantna u promatranom razdoblju;

j – vrijeme izgradnje (godine protekle između početka davanja i puštanja postrojenja u pogon);

n – životni vijek.“ [30].

Kako se ovdje radi o fotonaponskoj elektrani neki od ovih parametara neće postojati u formuli za LCOE, kao što je nabavni trošak za gorivo (fotonaponske ćelije kao izvor koriste Sunčevu svjetlost), zatim troškovi emisije (fotonaponski sustavi ne onečišćuju okoliš) i troškovi dekomisije postrojenja. Pa bi formula u tom slučaju izgledala:

$$c = LCOE = \frac{\sum_{k=-j}^n I_K \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^n TP_K \cdot (1+i)^{-k}}{\sum_{k=1}^n W_K \cdot (1+i)^{-k}} \quad (6-2)$$

Za troškove rada i održavanja uzima se 2% investicije, životni vijek fotonaponskog sustava je 25 godina, a za diskontnu stopu uzima se 3%, 7% i 10% ovisno o vrsti postrojenja [31].

Iako se radi o formuli koja je dosta pojednostavljena za slučaj fotonaponske elektrane ipak je to i dalje jako složen postupak proračuna. Zato PV\*SOL nudi mogućnost izračuna isplativosti izgradnje fotonaponske elektrane. Dakle, na kraju projekta nakon unosa svih tehničkih podataka fotonaponske elektrane, ovaj programski paket nudi financijsku analizu. Potrebno je poznavati neke osnovne ekonomske podatke za projekt da bi se analiza mogla provesti. Prvo je potrebno odabrati promatrani period povrata investicije, odabran je period od 21 godinu. Sljedeći podatak kojeg je potrebno poznavati je investicija, taj podatak dostupan je iz troškovnika u tablici 6.1.

**Tablica 6.1.** Troškovnik za fotonaponski sustav prehrane [32]

Naziv artikla	Jed.mjera	Količina	Jedinična cijena (kn)	Cijena stavke (kn)
Sustav aluminijske podkonstrukcije za prihvat panela na krovu i polaganje na krov	kompl.	1	150 000	150 000
Fotonaponski modul	kom	367	850	311 950
Nabava DC/AC pretvarača - 50kW	kom.	2	32 500	65 000
Nabava DC/AC pretvarača-20 kW	Kom.	1	25 000	25 000
Uređaj za daljinski nadzor rada elektrane na portalu	komp	1	5 500	5 500
Dobava string spojnog DC ormarića	Kompl.	3	10 500	31 500
Dobava spojnog AC ormarića	kompl	1	13 500	13 500
Dobava solarnog DC kabela, PV1-F 1x6mm <sup>2</sup>	m	3500	7	24 500
Dobava energetskog kabela NYY 5x16mm <sup>2</sup>	m	20	150	3000
Dobava energetskog kabela NYY-A 4x120mm <sup>2</sup>	m	100	65	6500
Dobava kabela kanalice PK 50 s nosačima i poklopcima	m	200	50	10 000
Dobava kabela kanalce PK 100 s nosačima i poklopcima	m	150	65	9 750
Dobava kabela kanalce PK 200 s nosačima i poklopcima	m	15	95	1 425
Materijal za povezivanje sa LPS instalacijom i izjednačenje potencijala	kompl	1	11 000	11 000
Potrošni materijal, kanalice, tiple, vijci, spojnice itd.	kompl	1	7 000	7 000
Projektna dokumentacija	kompl	1	45 000	45 000
Ispitivanja, mjerenja i elaborati za priključak	kompl	1	45 000	45 000
Troškovi priključka - HEP	kompl	1	40 000	40 000
Elektroinstalaterski radovi (ključ u ruke)	kompl	1	49 500	49 500
Ukupna investicija bez PDV-a	855 125			
Ukupna investicija s PDV-om (25%)	1 068 906,25			

**Tablica 6.2.** Troškovnik za fotonaponski sustav onkologije i radiologije [32]

Naziv artikla	Jed.mjera	Količina	Jedinična cijena (kn)	Cijena stavke (kn)
Sustav aluminijske podkonstrukcije za prihvat panela na krovu i polaganje na krov	kompl.	1	165 000	165 000
Fotonaponski modul	kom	400	850	340 000
Nabava DC/AC pretvarača- 50kW	kom.	2	32 500	65 000
Nabava DC/AC pretvarača- 20kW	Kom.	1	25 000	25 000
Uređaj za daljinski nadzor rada elektrane na portalu	komp	1	5 500	5 500
Dobava string spojnog DC ormarića	Kompl.	3	10 500	31 500
Dobava spojnog AC ormarića	kompl	1	13 500	13 500
Dobava solarnog DC kabela, PV1-F 1x6mm <sup>2</sup>	m	4000	7	28 000
Dobava energetskog kabela NYY 5x16mm <sup>2</sup>	m	20	150	3000
Dobava energetskog kabela NYY-A 4x120mm <sup>2</sup>	m	100	65	6500
Dobava kabelaške kanalice PK 50 s nosačima i poklopcima	m	250	50	12 500
Dobava kabelaške kanalce PK 100 s nosačima i poklopcima	m	200	65	13 000
Dobava kabelaške kanalce PK 200 s nosačima i poklopcima	m	15	95	1 425
Materijal za povezivanje sa LPS instalacijom i izjednačenje potencijala	kompl	1	12 000	12 000
Potrošni materijal, kanalice, tiple, vijci, spojnice itd.	kompl	1	7 500	7 500
Projektna dokumentacija	kompl	1	45 000	45 000
Ispitivanja, mjerenja i elaborati za priključak	kompl	1	45 000	45 000
Troškovi priključka - HEP	kompl	1	40 000	40 000
Elektroinstalaterski radovi (ključ u ruke)	kompl	1	54 000	54 000
Ukupna investicija bez PDV-a				913 425
Ukupna investicija s PDV-om (25%)				1 141 781,25

Ukupna investicija sunčane elektrane je zbroj investicija za fotonaponski sustav prehrane i fotonaponski sustav onkologije i radiologije i ona iznosi 2 210 687,5 kn. Ova dva troškovnika napravljena su na osnovi ponude pod [32], ta ponuda bila je napravljena za idejni projekt pa s obzirom na to došlo je do nekih izmjena u troškovniku.

Potrebno je unijeti i da je vrijednost inflacije 2%, a kako troškovi održavanja nisu uračunati u troškovniku navodi se da oni iznose 2% investicije. Za diskontnu stopu odabrana je vrijednost 7%

zato što se radi o javnoj ustanovi. Sljedeći korak je kreiranje tarifne stavke. Tu je potrebno unijeti vrijednosti električne energije koja se kupuje za višu i nižu tarifu. Za nižu tarifu ta cijena je 0,5078 kn/kWh, a za višu 0,8466 kn/kWh. Pored toga odabire se vrijeme u mjesecima kada nastupa viša, a kada niža tarifa (Slika 6.1.). Također potrebno je unijeti i cijenu za prodaju viška proizvedene električne energije koja iznosi 0,3958 kn/kWh, ali koja se u ovom slučaju neće koristiti zato što se niti jedan dio proizvedene energije ne predaje u mrežu.

**Slika 6.1.** Postavke unosa nove tarife

Analiza isplativosti ove fotonaponske elektrane prema gore navedenim tarifnim stavkama iz 2018. godine bit će ispitana za sljedeće slučajeve:

- ako subvencija iznosi 0% investicije
- ako subvencija iznosi 40% investicije
- ako subvencija iznosi 100% investicije.

Zato što cijene električne energije iz godine u godinu rastu bit će također ispitani i slučajevi kada je cijena električne energije veća 5 i 10 puta u odnosu na primarnu cijenu iz 2018. godine.

### 6.1. Fotonaponski sustav uz 0% subvencije investicije

U prvom slučaju promatra se scenarij kada nema subvencije. Investicija iznosi 2 210 687,50 kn, za troškove rada i održavanja uzima se 2% investicije, inflacija je također 2%, a diskontna stopa 7%. U tablici 6.3. prikazani su rezultati proračuna preuzeti iz PV\*SOL-a. Budući da se radi o

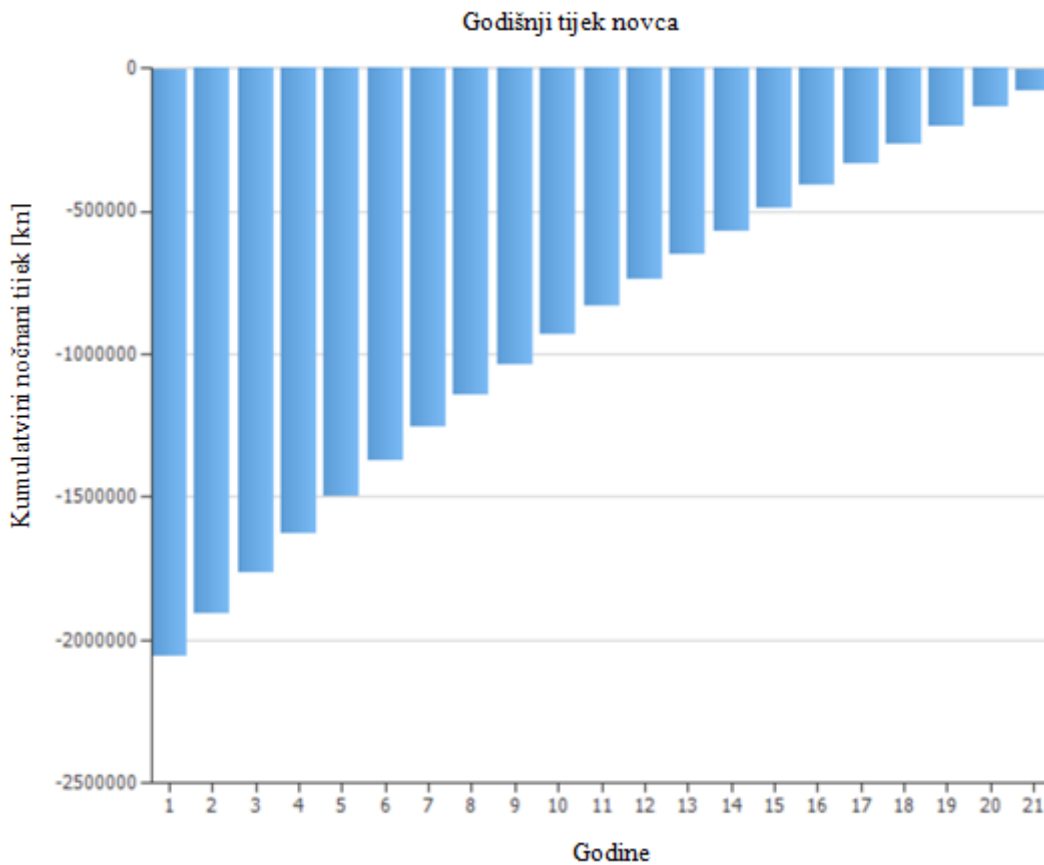
izgradnji fotonaponske elektrane čija je godišnja proizvodnja oko 266 361 kWh godišnje, a KBC Osijek godišnje troši oko 9 435 122 kWh (proizvodi svega 2,82% potrošnje) i s obzirom na to da se promatra slučaj bez subvencije isplativost ove elektrane neće se ostvariti unutar promatranog perioda od 21 godina. Nakon 21 godinu solarna elektrana je u minusu 77 565,89 kn. Ukoliko se simulacija provede za duži vremenski period dobili bi rezultate isplativosti ove elektrane nakon 22,4 godine. Trošak proizvodnje električne energije iznosi 0,9606 kn/kWh. Iz rezultata se može vidjeti da se godišnja proizvodnja električne energije fotonaponske elektrane kroz godine smanjuje, razlog je starenje opreme.

**Tablica 6.3.** Rezultati proračuna za prvi scenarij

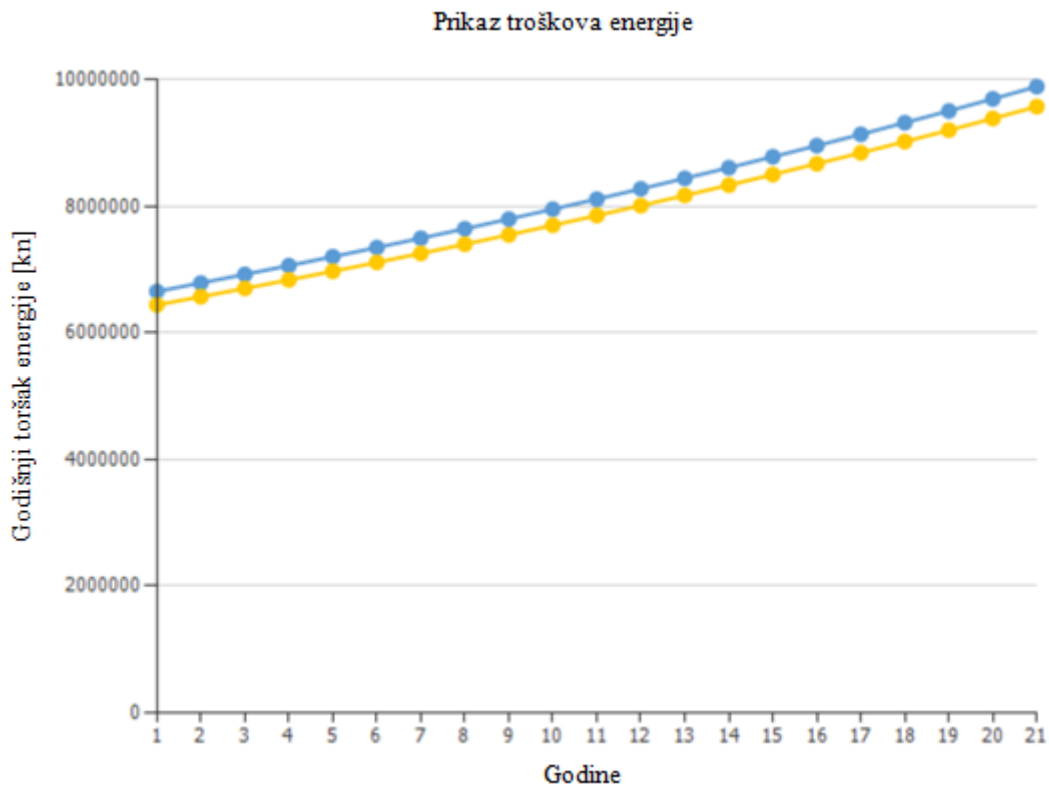
Godina	Investicija	Troškovi rada i održavanja	Ušteda na električnoj energiji	Godišnji tijek novca	Kumulativni tijek novca
1	-2 210 687,50	-41.321,26 kn	193.866,86 kn	-2.058.141,90 kn	-2.058.141,90 kn
2	0	-39.390,36 kn	189.633,61 kn	150.243,25 kn	-1.907.898,66 kn
3	0	-37.549,69 kn	180.772,23 kn	143.222,54 kn	-1.764.676,12 kn
4	0	-35.795,03 kn	172.324,93 kn	136.529,89 kn	-1.628.146,23 kn
5	0	-34.122,37 kn	164.272,34 kn	130.149,97 kn	-1.497.996,26 kn
6	0	-32.527,86 kn	156.596,11 kn	124.068,25 kn	-1.373.928,01 kn
7	0	-31.007,87 kn	149.278,45 kn	118.270,58 kn	-1.255.657,43 kn
8	0	-29.558,90 kn	142.302,92 kn	112.744,01 kn	-1.142.913,42 kn
9	0	-28.177,65 kn	135.653,16 kn	107.475,52 kn	-1.035.437,90 kn
10	0	-26.860,93 kn	129.314,32 kn	102.453,39 kn	-932.984,51 kn
11	0	-25.605,75 kn	123.271,51 kn	97.665,76 kn	-835.318,76 kn
12	0	-24.409,22 kn	117.511,17 kn	93.101,95 kn	-742.216,81 kn
13	0	-23.268,60 kn	112.020,04 kn	88.751,44 kn	-653.465,37 kn
14	0	-22.181,28 kn	106.785,47 kn	84.604,19 kn	-568.861,19 kn
15	0	-21.144,78 kn	101.795,48 kn	80.650,71 kn	-488.210,48 kn
16	0	-20.156,70 kn	97.038,64 kn	76.881,94 kn	-411.328,54 kn
17	0	-19.214,80 kn	92.504,17 kn	73.289,37 kn	-338.039,16 kn
18	0	-18.316,91 kn	88.181,50 kn	69.864,59 kn	-268.174,58 kn
19	0	-17.460,98 kn	84.060,88 kn	66.599,90 kn	-201.574,68 kn
20	0	-16.645,05 kn	80.132,81 kn	63.487,76 kn	-138.086,92 kn
21	0	-15.867,24 kn	76.388,27 kn	60.521,03 kn	-77.565,89 kn



Slika 6.2. preuzeta je iz PV\*SOL-a i grafički prikazuje kumulativni novčani tijekom projektirane elektrane za vremenski period od 21 godinu uz subvenciju 0%. Dok slika 6.3. prikazuje godišnji trošak novca prije izgradnje fotonaponske elektrane (plava crta) i poslije izgradnje fotonaponske elektrane (žuta crta). Ovaj grafički prikaz bit će isti za sve slučajeve zato što je prikazan godišnji tok novca preuzete energije za potrebe potrošnje, koji je svake godine isti i zato neće biti prikazan za ostala dva slučaja.



**Slika 6.2.** Grafički prikaz kumulativnog novčanog tijeka projektirane elektrane za vremenski period od 21 godinu uz subvenciju od 0% investicije



**Slika 6.3.** Grafički prikaz godišnjeg troška novca prije izgradnje fotonaponske elektrane (plava crta) i poslije izgradnje fotonaponske elektrane (žuta crta), za sva tri scenarija

## 6.2. Fotonaponski sustav uz 40% subvencije investicije

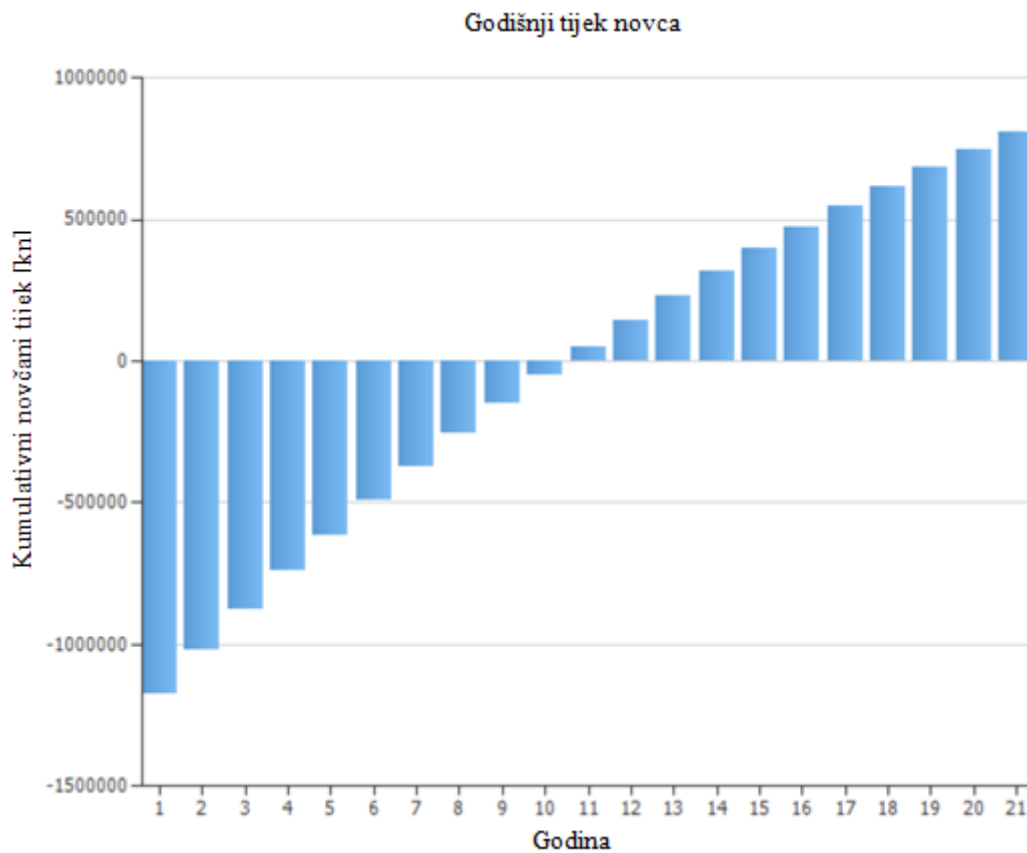
U drugom slučaju promatra se scenarij kada subvencija iznosi 40% investicije. Svi ostali podatci isti su kao za prethodni slučaj. Investicija iznosi 2 210 687,50 kn, a subvencija 884 275 kn. U tablici 6.4. prikazani su rezultati proračuna preuzeti iz PV\*SOL-a. U ovom scenariju isplativost solarne elektrane ostvaruje se nakon 10,5 godina, a ukupna ušteda nakon promatranog vremenskog perioda od 21 godinu iznosi 806 709,11 kn. Cijena proizvedene električne energije je 0,6541 kn/kWh.

**Tablica 6.4.** Rezultati proračuna za drugi scenarij

Godina	Investicija	Troškovi rada i održavanja	Subvencija 40% investicije	Ušteda na električnoj energiji	Godišnji tijek novca	Kumulativni tijek novca
1	-2 210 687,50	-41.321,26 kn	884.275,00 kn	193.866,86 kn	-1.173.866,90 kn	-1.173.866,90 kn
2	0	-39.390,36 kn	0	189.633,61 kn	150.243,25 kn	-1.023.623,66 kn
3	0	-37.549,69 kn	0	180.772,23 kn	143.222,54 kn	-880.401,12 kn
4	0	-35.795,03 kn	0	172.324,93 kn	136.529,89 kn	-743.871,23 kn
5	0	-34.122,37 kn	0	164.272,34 kn	130.149,97 kn	-613.721,26 kn
6	0	-32.527,86 kn	0	156.596,11 kn	124.068,25 kn	-489.653,01 kn

7	0	-31.007,87 kn	0	149.278,45 kn	118.270,58 kn	-371.382,43 kn
8	0	-29.558,90 kn	0	142.302,92 kn	112.744,01 kn	-258.638,42 kn
9	0	-28.177,65 kn	0	135.653,16 kn	107.475,52 kn	-151.162,90 kn
10	0	-26.860,93 kn	0	129.314,32 kn	102.453,39 kn	-48.709,51 kn
11	0	-25.605,75 kn	0	123.271,51 kn	97.665,76 kn	48.956,24 kn
12	0	-24.409,22 kn	0	117.511,17 kn	93.101,Z5 kn	142.058,19 kn
13	0	-23.268,60 kn	0	112.020,04 kn	88.751,44 kn	230.809,63 kn
14	0	-22.181,28 kn	0	106.785,47 kn	84.604,19 kn	315.413,81 kn
15	0	-21.144,78 kn	0	101.795,48 kn	80.650,71 kn	396.064,52 kn
16	0	-20.156,70 kn	0	97.038,64 kn	76.881,94 kn	472.946,46 kn
17	0	-19.214,80 kn	0	92.504,17 kn	73.289,37 kn	546.235,84 kn
18	0	-18.316,91 kn	0	88.181,50 kn	69.864,59 kn	616.100,42 kn
19	0	-17.460,98 kn	0	84.060,88 kn	66.599,90 kn	682.700,32 kn
20	0	-16.645,05 kn	0	80.132,81 kn	63.487,76 kn	746.188,08 kn
21	0	-15.867,24 kn	0	76.388,27 kn	60.521,03 kn	806.709,11 kn

Na slici 6.4. grafički je prikazan kumulativni novčani tijek simulirane fotonaponske elektrane u periodu od 21 godine. Na slici se može vidjeti da je period povrata investicije nakon 10,5 godina.



**Slika 6.4.** Grafički prikaz kumulativnog novčanog tijeka projektirane elektrane za vremenski period od 21 godinu uz subvenciju od 40% investicije

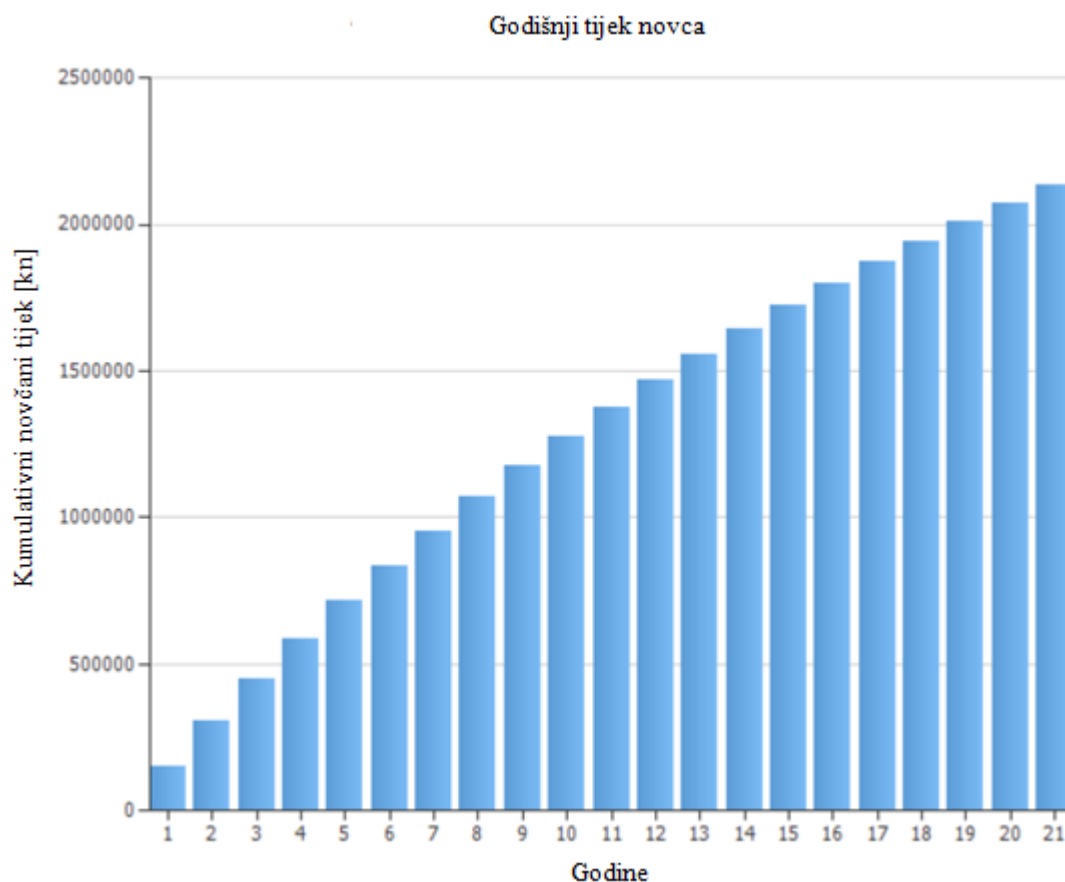
### 6.3. Fotonaponski sustav uz 100% subvencije investicije

U zadnjem slučaju promatra se scenarij kada subvencija pokriva cijelu investiciju. Ova elektrana izgrađena je u sklopu „Rescue“ projekta čiji je cilj pokazati kako inovativna rješenja pridonose smanjenju negativnih utjecaja na klimatske promjene. S obzirom na to ovo je stvaran slučaj i subvencija za ovu elektranu iznosila je 100% investicije. Svi ostali podatci isti su kao za prethodni slučaj. Dakle subvencija iznosi isto koliko i investicija 2 210 687,50 kn. U tablici 6.5. prikazani su rezultati proračuna preuzeti iz PV\*SOL-a. Nakon prve godine ušteda na električnoj energiji iznosi 198 866,86 kn oduzmu li se troškovi rada i održavanja ušteda je 152 545,60 kn. U ovom scenariju ukupna ušteda na kraju promatranog vremenskog perioda od 21 godine iznosi 2 133 121,61 kn. Cijena proizvedene električne energije je 0,1943 kn/kWh.

**Tabela 6.5.** Rezultati proračuna za treći scenarij

Godina	Investicija	Troškovi rada i održavanja	Subvencija 100% investicije	Ušteda na električnoj energiji	Godišnji tijek novca	Kumulativni tijek novca
1	-2 210 687,50 kn	-41.321,26 kn	2.210.687,50 kn	193.866,86 kn	152.545,60 kn	152.545,60 kn
2	0	-39.390,36 kn	0	189.633,61 kn	150.243,25 kn	302.788,84 kn
3	0	-37.549,69 kn	0	180.772,23 kn	143.222,54 kn	446.011,38 kn
4	0	-35.795,03 kn	0	172.324,93 kn	136.529,89 kn	582.541,27 kn
5	0	-34.122,37 kn	0	164.272,34 kn	130.149,97 kn	712.691,24 kn
6	0	-32.527,86 kn	0	156.596,11 kn	124.068,25 kn	836.759,49 kn
7	0	-31.007,87 kn	0	149.278,45 kn	118.270,58 kn	955.030,07 kn
8	0	-29.558,90 kn	0	142.302,92 kn	112.744,01 kn	1.067.774,08 kn
9	0	-28.177,65 kn	0	135.653,16 kn	107.475,52 kn	1.175.249,60 kn
10	0	-26.860,93 kn	0	129.314,32 kn	102.453,39 kn	1.277.702,99 kn
11	0	-25.605,75 kn	0	123.271,51 kn	97.665,76 kn	1.375.368,74 kn
12	0	-24.409,22 kn	0	117.511,17 kn	93.101,95 kn	1.468.470,69 kn
13	0	-23.268,60 kn	0	112.020,04 kn	88.751,44 kn	1.557.222,13 kn
14	0	-22.181,28 kn	0	106.785,47 kn	84.604,19 kn	1.641.826,31 kn
15	0	-21.144,78 kn	0	101.795,48 kn	80.650,71 kn	1.722.477,02 kn
16	0	-20.156,70 kn	0	97.038,64 kn	76.881,94 kn	1.799.358,96 kn
17	0	-19.214,80 kn	0	92.504,17 kn	73.289,37 kn	1.872.648,34 kn
18	0	-18.316,91 kn	0	88.181,50 kn	69.864,59 kn	1.942.512,92 kn
19	0	-17.460,98 kn	0	84.060,88 kn	66.599,90 kn	2.009.112,82 kn
20	0	-16.645,05 kn	0	80.132,81 kn	63.487,76 kn	2.072.600,58 kn
21	0	-15.867,24 kn	0	76.388,27 kn	60.521,03 kn	2.133.121,61 kn

Na Slici 6.5. prikazan je kumulativni novčani tijek za ovaj scenarij gdje se može vidjeti ukupna ušteda kroz godine.



**Slika 6.5.** Grafički prikaz kumulativnog novčanog tijeka projektirane elektrane za vremenski period od 21 godinu uz od subvenciju 100% investicije

## 6.4. Financijska analiza poskupjele električne energije

Cijene električne energije od 2018. godine drastično su poskupjele i predviđa se nastavak takvog trenda ukoliko Vlada Republike Hrvatske ne ograniči cijene električne energije. Za tako drastičan skok cijena glavi razlog su veće cijene energenata. Zato je u ovom dijelu rada zadatak bio provesti proračun isplativosti izgradnje fotonaponske elektrane KBC Osijek uz pet i deset puta veću cijenu električne energije od primarne početne cijene.

### 6.4.1. Analiza povrata investicije za pet puta veću cijenu električne energije od početne cijene

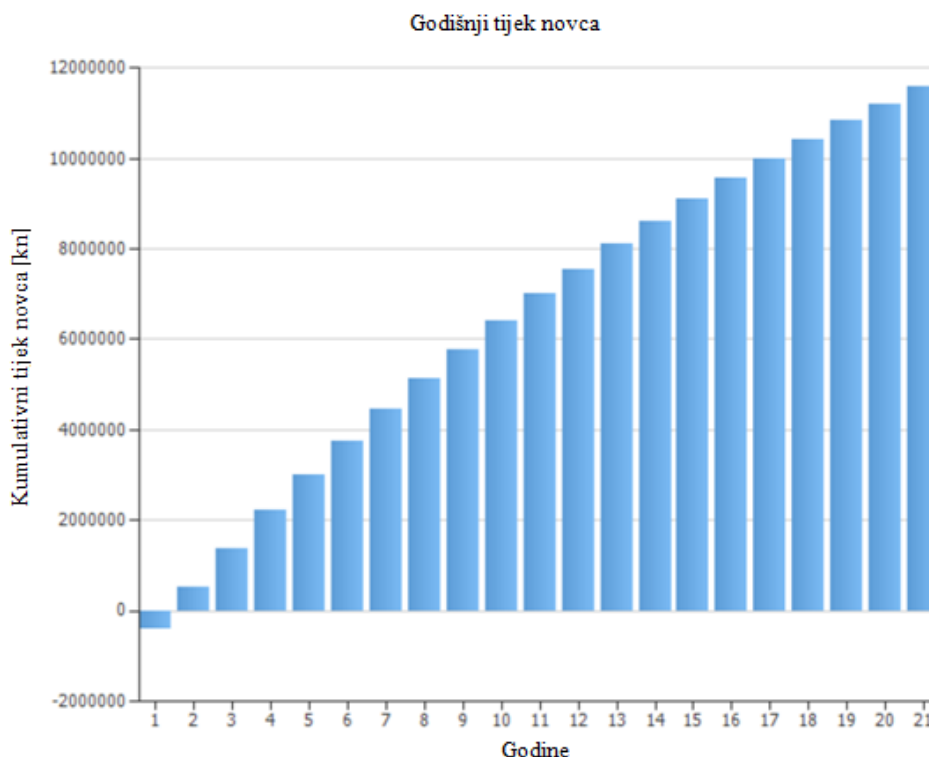
Početna cijena električne energije za višu tarifu 2018. godine iznosila je 0,8466 kn/kWh, a za nižu tarifu 0,5078 kn/kWh. Pet puta veća cijena znači da će za višu tarifu električna energija po kWh iznositi 4,2330 kn, a za nižu 2,5391 kn. Dok otkupna cijena za pet puta veću cijenu električne energije iznosi 3,2947 kn/kWh. Svi ostali podatci su isti kao u prethodnim slučajevima. Opet se razmatra period od 21 godinu.

U tablici 6.6. prikazani su dobiveni rezultati simulacije za cijenu električne energije pet puta veću od početne cijene i za sva tri slučaja subvencije. Iz rezultata se može zaključiti da veća cijena električne energije znači i veću uštedu novčanih tokova za investitora koji posjeduje fotonaponsku elektranu. Također period povrata investicije je znatno manji nego u odnosu na početnu cijenu energije zato što se u ovom slučaju radi o milijunskim uštedama tijekom par godina.

**Tablica 6.6.** Rezultati simulacije za pet puta veću cijenu električne energije od početne

Subvencija	Period povrata investicije	Ukupan iznos uštede	Cijena električne energije
0%	2,4 godine	10 694 692,45 kn	0,9606 kn/kWh
40%	1,4 godine	11 578 967,45 kn	0,6541 kn/kWh
100%	0 godina	12 905 379,95 kn	0,1943 kn/kWh

Na slici 6.6. grafički je prikazan kumulativni tijek novca za scenarij pet puta veće cijene električne energije od početne cijene i za subvenciju od 40% investicije. Iz grafa se može vidjeti da je povrati period investicije nakon 1,4 godine.



**Slika 6.6.** Grafički prikaz kumulativnog novčanog tijeka projektirane elektrane za pet puta veću cijenu električne energije uz subvenciju od 40% investicije

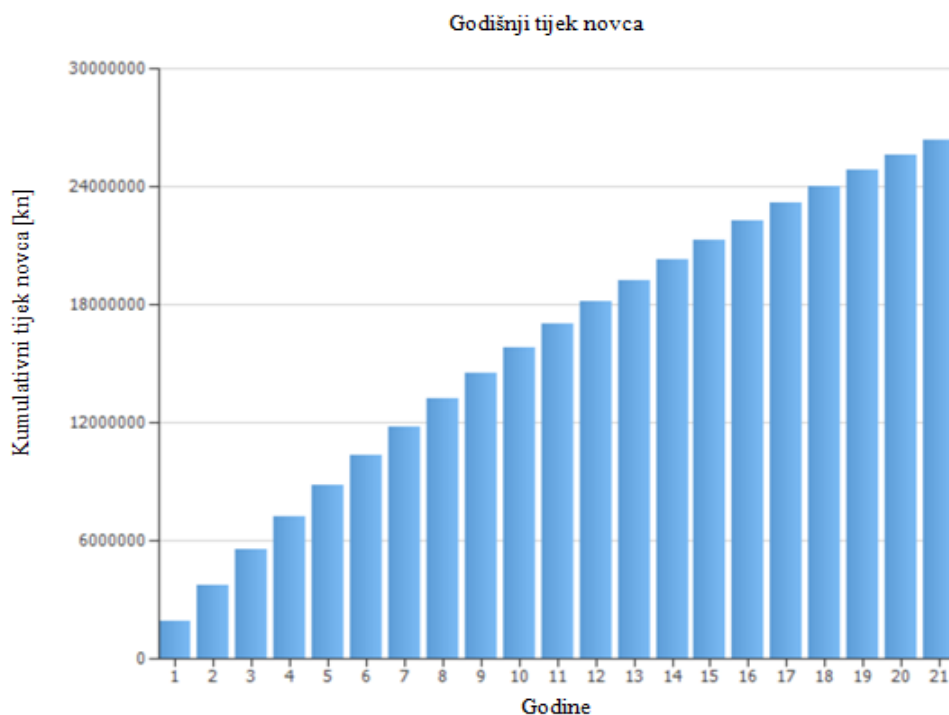
### 6.4.2. Analiza povrata investicije za deset puta veću cijenu električne energije od početne cijene

Deset puta veća cijena električne energije od početne za višu tarifu je 8,4660 kn/kWh, a za nižu tarifu je 5,97822 kn/kWh. Otkupna cijena u tom slučaju iznosi 6,5893 kn/kWh. U tablici 6.7. prikazani su dobiveni rezultati simulacije u PV\*SOL-u. Iz rezultata se može primijetiti da su cijene uštede veće nego u prethodnom slučaju, što potvrđuje zaključak da veća cijena električne energije znači i veću uštedu novčanih tokova. U ovom slučaju investicija za elektranu je otplaćena odmah u prvoj godini.

**Tablica 6.7.** Rezultati simulacije za deset puta veću cijenu električne energije od početne

Subvencija	Period povrata investicije	Ukupan iznos uštede	Cijena električne energije
0%	1,2 godine	24 160 762,17	0,9606 kn/kWh
40%	0 godina	25 045 037,17 kn	0,6541 kn/kWh
100%	0 godina	26 371 449,67 kn	0,1943 kn/kWh

Na slici 6.7. je prikazan kumulativni tijek novca za scenarij deset puta veće cijene električne energije od početne cijene i za subvenciju od 40% investicije. Iz grafa se može vidjeti da je povrati period investicije već u prvoj godini.



**Slika 6.7.** Grafički prikaz kumulativnog novčanog tijeka projektirane elektrane za deset puta veću cijenu električne energije uz subvenciju od 40% investicije

## 7. ZAKLJUČAK

Danas je sve zastupljenija pojava fotonaponskih sustava kako na krovovima obiteljskih kuća tako i na krovovima zgrada i drugi ustanova, pa čak i na ravnim površinama. Brojne su prednosti njihove ugradnje, a najveće prednosti su u vidu novčanih ušteda.

Projekt izgradnje sunčane elektrane na zgradama Kliničkog bolničkog centra Osijek proveden je u sklopu projekta Rescue. Cilj projekta je pokazati kako tehnologija fotonaponskih sustava predstavlja održivo rješenje i rješenje s niskom razinom proizvodnje ugljika. Zadatak ovog diplomskog rada bio je simulirati postojeći fotonaponski sustav na KBC-u Osijek u programskom paketu PV\*SOL Premium te zatim nakon unosa svih tehničkih parametara analizirati isplativost instalacije fotonaponske elektrane za tri scenarija. Prvi scenarij je kada nema subvencije, drugi kada subvencija iznosi 40% investicije i treći slučaj kada je subvencija jednaka ukupnoj investiciji fotonaponske elektrane.

U teorijskom dijelu rada prvo je općenito objašnjena pretvorba Sunčeve svjetlosti u električnu energiju, fotonaponski moduli i sustavi. Prikazan je pojednostavljen postupak dimenzioniranja fotonaponskog sustava. Zatim, u sljedećem poglavlju navedena je zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj za obnovljive izvore energije, te u drugom dijelu tog poglavlja ukratko su opisani postupci izrade projektne dokumentacije.

Nakon teorijskog dijela slijedi praktični dio. Detaljno je objašnjen cijeli postupak projektiranja fotonaponske elektrane na KBC-u Osijek koji je rađen na temelju glavnog projekta. Cilj je bio postaviti sunčanu elektranu od 230 kW, čija se godišnja proizvodnja električne energije procjenjuje na 271 303,07 kWh. Sunčana elektrana podijeljena je u dva fotonaponska sustava. Prvi sustav nalazi se na zgradi Prehrane, a drugi sustav na zgradi Kliničkog zavoda za dijagnostičku i interventnu radiologiju i zgradi Zavoda za onkologiju. Ukupan broj modula koji se postavio u simulaciji prema glavnom projektu je 767. Nakon provedenog postupka proračuna dobiveni su rezultati. Projektirana fotonaponska elektrane u PV\*SOL-u proizvodi 266 361 kWh godišnje dok ostatak potreba za potrošnjom bolnica pokriva iz mreže (9 168 762 kWh). Fotonaponska elektrana godišnje proizvodi 2,82% godišnje potrošnje bolnice .

Slijedi ekonomska analiza isplativosti izgradnje sunčane elektrane na KCB-u Osijek. Analiza je provedena za neke osnovne podatke kao što su diskontna stopa 7%, radovi održavanja 2%, inflacija 2% i investicija koja iznosi 2 210 687,5 kn. U analizi je bilo potrebno odrediti isplativost izgradnje fotonaponske elektrane KBC Osijek za tri slučaja subvencija po tarifnim cijenama iz 2018. godine.



Poslije toga bilo je potrebno u obzir uzeti poskupljenje električne energije, pa su analizirana još dva slučaja, kada je cijena električne energije veća pet i deset puta od početne cijene električne energije. Za prvi scenarij kada je subvencija = 0% investicije povratni period investicije je nakon 22,4 godine. U drugom scenariju svi parametri ostaju isti mijenja se samo vrijednost subvencije, koja za ovaj slučaj iznosi 40% investicije. Analizom je dobiveno da je povratni period investicije za ovaj slučaj 10,5 godina, a ušteda novca nakon 21 godinu iznosi 806 709,11 kn. U zadnjem slučaju subvencija pokriva cijeli iznos investicije. Za ovaj slučaj nakon 21 godinu ostvari se ušteda od 2 133 121,61 kn.

U scenariju pet puta veće cijene električne energije ustanovljeno je da veća cijena električne energije znači kraći period povrata investicije, a time i veće uštede. Za slučaj kada je subvencija 40% investicije povratni period je 1,4 godine, a nakon 21 godini uštedi se 11 578 967,45 kn. U scenariju 10 puta veće cijene električne energije za slučaj kada je subvencija 40% dobiven je povratni period odmah u prvoj godini, a ušteda iznosi 25 045 037,17 kn.

## LITERATURA

- [1] B, Labudović, Osnove primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing., Zagreb 2011., str. 50 – 156.
- [2] Lj, Majdandžić, Fotonaponski sustavi, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu Srednja škola Oroslavlje, str. 12 - 42., dostupno na: <https://dokumen.tips/documents/fotonaponski-sustavi-ljubomir-majdandzic.html> [31.08.2022]
- [3] D, Šljivac, D, Topić, Obnovljivi izvori električne energije, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek 2018., str. 161 - 185.
- [4] Technical Application Papers No. 10 Photovoltaic plants, str. 10 - 19., dostupno na: <https://library.e.abb.com/public/9b867d77d5e0da7fc1257ca60057221b/QT10%20EN%202013.pdf> [01.09.2022.]
- [5] A, Bhatia, Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems, str. 11 – 16., str. 88., dostupno na: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Design%20and%20Sizing%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Systems%20R2.pdf> [02.09.2022.]
- [6] ABB, Photovoltaic plants Cutting edge technology. From sun to socket, str. 10, dostupno na: <https://library.e.abb.com/public/fb75869122d24b408ab985833cd472db/9AKK107492A3277%20Photovoltaic%20plants%20-%20Technical%20Application%20Paper.pdf> [03.09.2022.]
- [7] Photovoltaic geographical information system, dostupno na: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html) [04.09.2022.]
- [8] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, (NN 138/21), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_12\\_138\\_2272.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_138_2272.html) [19.07.2022]
- [9] Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (NN 116/2018), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_12\\_116\\_2300.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_12_116_2300.html) [19.07.2022.]
- [10] Uredba o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (NN 116/2018), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_12\\_116\\_2301.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_12_116_2301.html) [19.07.2022.]

- [11] Uredba o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (NN 119/2019), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_12\\_119\\_2359.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_12_119_2359.html), [19.07.2022.]
- [12] Uredba o kriterijima za plaćanje umanjene naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 57/2020), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_05\\_57\\_1140.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_05_57_1140.html) [19.07.2022.]
- [13] Uredba o kvotama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitim kogeneracija (NN 57/2020), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_05\\_57\\_1141.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_05_57_1141.html) [20.07.2022.]
- [14] Uredba o udjelu u neto isporučenoj električnoj energiji povlaštenih proizvođača kojeg su opskrbljivači električne energije dužni preuzeti od operatora tržišta električne energije (NN 147/2021) dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_12\\_147\\_2534.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_147_2534.html) [20.07.2022.]
- [15] Odluka o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 87/2017), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_08\\_87\\_2075.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_08_87_2075.html) [23.07.2022]
- [16] Odluka o izmjeni Odluke o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 57/2020), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_05\\_57\\_1151.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_05_57_1151.html), [23.07.2022]
- [17] Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/2007, NN 88/2012), dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012\\_08\\_88\\_2015.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_08_88_2015.html) [23.07.2022]
- [18] Hrvatski operator tržišta energije d.o.o., Godišnji izvještaj 2021, dostupno na: [https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI\\_%202021\\_HROTE\\_OIEIK\\_14032022\\_final.pdf](https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI_%202021_HROTE_OIEIK_14032022_final.pdf), [18.07.2022.]
- [19] HEP, Kupac s vlastitom proizvodnjom, dostupno na: <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> [10.09.2022]
- [20] Zakon o gradnji (NN 153/2013, 020/2017, 039/2019, 125/2019)
- [21] Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17), 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) [10.09.2022]

- [22] Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 88/2012-2015)
- [23] HROTE d.o.o, Kratki vodič kroz zakonodavni okvir i administrativnu proceduru za proizvodnju električne energije iz sunčanih elektrana koje se smatraju jednostavnim građevinama
- [24] HEP, Pravilnik o priključenju na distribucijsku mrežu, 2021., str. 4.-6., 9.-10., 29, 30 ., dostupno na:  
[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Pristup\\_mrezi/Pravila\\_o\\_prikljucenju\\_na\\_distribucijsku\\_mrezu\\_%202021\\_final\\_.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Pristup_mrezi/Pravila_o_prikljucenju_na_distribucijsku_mrezu_%202021_final_.pdf) [16.09.2022]
- [25] Z, Klaić, Projektiranje električnih instalacija i postrojenja (power point prezentacija)
- [26] S, Žutobradić, Projektiranje električnih postrojenja – I, dostupno na:  
<https://docplayer.gr/45151571-Projektiranje-elektricnih-postrojenja-i.html> [10.09.2022]
- [27] Epik d.o.o., projektant elektrotehničkog projekta: D, Fridl, mag. ing. el., Glavni projekt sunčane elektrane
- [28] Pregled katastarskog operata, dostupno na:  
<https://oss.uredjenazemlja.hr/public/cadServices.jsp?action=dkpViewerPublic> [10.09.2022]
- [29] Solvis fotonaponski moduli model SV60 E, dostupno na: [https://solvis.hr/wp-content/uploads/2019/05/LQSOLVIS-DS-HR-SV60\\_E\\_5BB-1640x992x40-290-310-20190125.pdf](https://solvis.hr/wp-content/uploads/2019/05/LQSOLVIS-DS-HR-SV60_E_5BB-1640x992x40-290-310-20190125.pdf) [11.09.2022]
- [30] Predavanja: Prof.dr.sc. Damir Šljivac, Elektrane (power point prezentacija)
- [31] International Energy Agency, Projected Costs of Generating Electricity, 2020., str. 36 – 40.
- [32] Euro-instalacije d.o.o. za građenje i građevinsko-instalaterske radove, Ponuda

## SAŽETAK

Cilj uporabe obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije je čistija proizvodnja električne energije te neovisnost o fosilnim gorivima. Zato se sve veći napori ulažu u razvoj tehnologije fotonaponskih sustava. Svrha ovog rada bila je teorijski proći kroz postupke projektiranja i dimenzioniranja fotonaponskog sustava, te u programskog paketu PV\*SOL Premium simulirati fotonaponski sustav Kliničkog bolničkog centra Osijek prema glavnom projektu. Instalirana snaga elektrane je 230 kW i podijeljena je u dva podsustava. Prvi podsustav je zgrada prehrane na čiji krov se predviđa instalacija fotonaponskog sustava od 110 kW, a drugi podsustav čine zgrade radiologije i onkologije na koje se planirala instalacija fotonaponskog sustava 120 kW. Na kraju analize svih tehničkih podataka bilo je potrebno ispitati ekonomsku isplativost instalacije takvog fotonaponskog sustava.

**Ključne riječi:** fotonaponski sustav, fotonaponski moduli, fotonaponske ćelije, električna energija, PV\*SOL Premium, projektiranje, glavni projekt.

## ABSTRACT

The goal of using renewable energy sources for the production of electrical energy is a cleaner production of electrical energy and independence from fossil fuels. That is the reason why more and more efforts are being invested in the development of photovoltaic system technology. The purpose of this thesis was to theoretically go through the procedures of designing and dimensioning the photovoltaic system and to simulate the photovoltaic system of the Osijek Clinical Hospital Center in the program package PV\*SOL Premium according to the main project. The installed power of the power plant is 230 kW and it is divided into two subsystems. The first subsystem is a catering building on which's roof a 110 kW photovoltaic system is planned to be installed, meanwhile a second subsystem consists of radiology and oncology buildings on which a 120 kW photovoltaic system is planned to be installed. At the end of the analysis of all the technical data, it was necessary to examine the economic viability of installing photovoltaic system.

**Keywords:** photovoltaic system, photovoltaic modules, photovoltaic cells, electrical energy, PV\*SOL Premium, designing, main project

## ŽIVOTOPIS

Andreja Mikić rođena je 16. kolovoza 1998. godine u Slavanskom Brodu. Osnovnu školu pohađala je u svom rodnom mjestu Matićima. Nakon osnovne škole upisuje opću gimnaziju u Srednjoj školi fra Martina Nedića u Orašju. Srednju školu završava 2017. godine nakon čega upisuje preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Na drugoj godini studija odlučuje se za smjer elektroenergetike. Nakon završetka preddiplomskog studija 2020. godine s temom završnog rada „Tehnologije zaštite okoliša u elektranama“ upisuje diplomski studij Održiva energetika. Stručnu praksu odradila je u firmi Nova Lux, gdje je od 06.2022. i zaposlena.

---

Potpis autora