

# Projektiranje i ugradnja fotonaponske elektrane FERIT 2 u okviru RESCUE projekta

---

**Sabolović, Emanuel**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*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:200:836309>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-22**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**PROJEKTIRANJE I UGRADNJA FOTONAPONSKE  
ELEKTRANE FERIT 2 U OKVIRU RESCUE PROJEKTA**

**Diplomski rad**

**Emanuel Sabolović**

**Osijek, 2021.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak rada .....</b>	<b>1</b>
<b>2. FOTONAPONSKA PRETVORBA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Povijest .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. PN spoj .....</b>	<b>2</b>
<b>2.3. Vrste fotonaponskih ćelija .....</b>	<b>3</b>
<b>2.4. Vrste fotonaponskih sustava .....</b>	<b>9</b>
2.4.1. S obzirom na spajanje s mrežom .....	9
2.4.2. S obzirom na postavljanje .....	13
<b>3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Mogućnosti i ograničenja PV*SOL Premium programskog paketa .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Kupac s vlastitom proizvodnjom (Prosumer) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Izbor fotonaponskih modula i izmjenjivača .....</b>	<b>21</b>
3.3.1. Parametri modula .....	21
3.3.2. STC uvjeti i strujno-naponske karakteristike .....	23
3.3.3. Parametri izmjenjivača .....	29
3.3.4. Raspored fotonaponskih modula .....	32
<b>3.4. Sigurnosne zaštite fotonaponskog sustava .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5. Unos potrošnje u PV*SOL Premium .....</b>	<b>35</b>
<b>4. ANALIZA ISPLATIVOSTI SUSTAVA .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Analiza isplativosti sustava snage 40 kW .....</b>	<b>37</b>
4.1.1. Analiza isplativosti sustava uz 0% subvencije .....	42
4.1.2. Analiza isplativosti sustava uz 40% subvencije .....	43
4.1.3. Analiza isplativosti sustava uz 100% subvencije .....	44
<b>4.2. Analiza isplativosti skaliranog sustava snage 135 kW .....</b>	<b>46</b>
4.2.1. Analiza isplativosti sustava uz 0% subvencije .....	51
4.2.2. Analiza isplativosti sustava uz 40% subvencije .....	52
4.2.3. Analiza isplativosti sustava uz 100% subvencije .....	53
<b>5. Zaključak .....</b>	<b>55</b>

# 1. UVOD

Smanjenjem troškova proizvodnje i cijene komponenata posljednjih nekoliko godina, obnovljivi izvori energije odnosno fotonaponske elektrane su u sve većoj upotrebi. Razlozi korištenja fotonaponskih sustava mogu biti ekološke naravi, jednostavna integracija, dostupnost i relativno niska cijena sustava. Povrat investicije je relativno kratak stoga se sve više kućanstava i poduzeća odlučuje na instalaciju fotonaponskih sustava. Najvažniji čimbenik fotonaponskog sustava jest njegova isplativost. Ovaj diplomski rad se sastoji od teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu će biti opisane tehnologije izrade fotonaponskih ćelija i vrste fotonaponskih sustava. Praktični dio se sastoji od dva slučaja. U prvom slučaju će biti projektirana fotonaponska elektrana i analizirat će se njena ekonomska isplativost. Projekt i ekonomska analiza će biti izrađeni u programu „PV\*SOL Premium“ koji ima širok spektar mogućnosti kao što su projektiranje fotonaponske elektrane, pohrana i analiza financija i ostalo. Na temelju mjerenja potrošnje električne energije u 15-minutnim intervalima izrađena je ekonomska analiza isplativosti elektrane. U drugom slučaju će biti izrađena analiza fotonaponske snage skalirane po potrošnji zgrade s ciljem postizanja neto 0 zgrade. Za oba slučaja će biti prikazan period amortizacije troškova i zarada novca za različite postotke subvencije troškova izgradnje.

## 1.1. Zadatak rada

Zadatak diplomskog rada je projektirati postojeći fotonaponski sustav elektrane FERIT 2 snage 40kWp na zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Nakon izrade projekta potrebno je napraviti tehno-ekonomsku analizu isplativosti sustava za dva scenarija; analiza postojećeg sustava snage 40 kWp i analiza sustava skaliranog prema potrošnji zgrade s ciljem dobivanja neto 0 zgrade. Potrebno je pokazati povrat investicije i kumulativnu vrijednost elektrane ovisno o subvenciji investicije.

## 2. FOTONAPONSKA PRETVORBA

### 2.1. Povijest

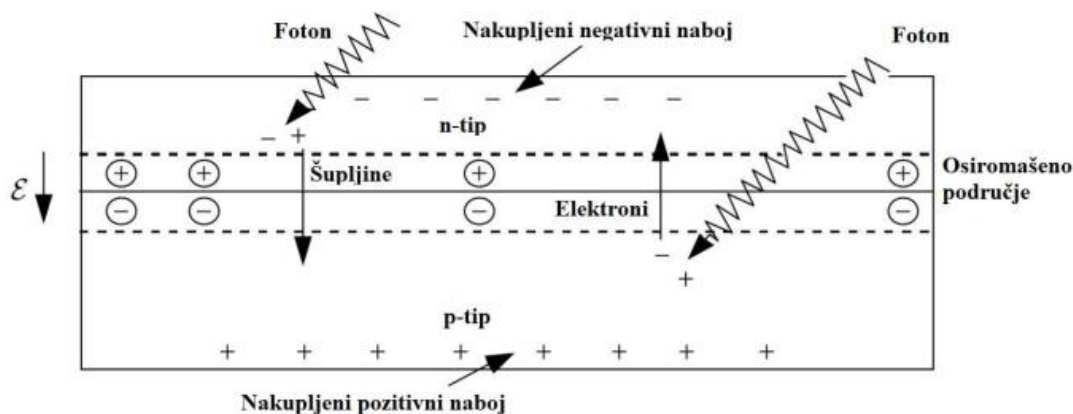
Za otkriće fotonaponskog efekta zaslužan je Henri Becquerel. 1839. godine je eksperimentima stvorio elektrolitičke ćelije koje se sastoje od dvije metalne elektrode spojene vodičem. Dio energije sunčevog zračenja kroz fotonaponsku ćeliju se predaje elektronima koji se oslobađaju i pomiču prema njenoj površini. Zbog izbijanja elektrona iz stabilnog stanja javlja se neravnoteža između dvije strane ćelije. Dolazi do protjecanja istosmjerne struje vodičem spojenih ćelija. Uzrok relativno niskoj učinkovitosti fotonaponskih ćelija je taj što samo zračenje određene valne duljine izbija elektrone iz ravnotežnog položaja. Bitna godina u povijesti razvitka fotonaponskih ćelija je 1954. godina u kojoj je primijenjen silicij kao dobar poluvodički materijal za fotonaponske ćelije. Fotonaponska ćelija sa silicijem kao poluvodičem je prvi fotonaponski članak koji je generirao upotrebljivu količinu električne energije. [1][2]

### 2.2. PN spoj

Fotonaponska pretvorba je proces izravne pretvorba sunčevog svjetla u električnu energiju, odnosno električnu struju. Svjetlo se sastoji od fotona te samo apsorbirani fotoni prenose svoju energiju na elektrone koji se izbijaju iz šupljina, dovode do neravnoteže i proizvode električnu struju.

PN se sastoji od dva poluvodiča P i N tipa. P-tip poluvodiča nastaje kad se kristal silicija dopira trovalentnim borom, a N-tip ima slobodne 'šupljine' odnosno manjak elektrona i dobije se tako što se silicij dopira 5-valentnim fosforom. Na spoju ova dva tip poluvodiča se nalazi neutralno područje s električnim poljem. Za pojavu fotoefekta, odnosno, da bi elektron prešao iz P-tipa u N-tip poluvodiča, potrebna je određena energija koja je jednaka energiji tog polja. Zbog toga, samo fotoni određene energije mogu izbaciti elektron i ostvariti fotoefekt.

Iznos energije praga ili 'zabranjenog pojasa' se razlikuje od materijala do materijala. Napon fotonaponske ćelije se određuje naponom praga pa tako npr. kristalni silicij ima napon praga 1,1 eV, Galij-Arsenid 1,4eV, a amorfni Silicij 1,7 eV.



Sl. 2.1. Prikaz presjeka fotonaponske ćelije [1]

Maksimalan ‘termodinamički’ stupanj djelovanja fotonaponske ćelije ograničen je na oko 35% Gubici energije otpadaju na:

- gubici energija fotona manjih od zabranjenog pojasa 20.2%
- gubici energije fotona većih od zabranjenog pojasa 30.2%
- gubici zbog ograničenja napona na veličinu manju od  $E_g/e$ , gdje je  $E_g$  donja granična energija,  $e$  jedinični naboj elektrona (kod Silicija:  $E_g/e = 0.8V$ , gubici 12%)
- gubici iz dodatnih termodinamičkih razloga vezani uz omjer struje kratkog spoja i napona otvorenog kruga, tj. praznog hoda (za Silicij kod omjera 0.9 gubici su oko 3%)
- ukupni gubici fotonaponske pretvorbe min.: 65 %.

Problemi pri iskorištavanju su mala gustoća energetskog toka, oscilacija intenziteta svjetlosti tijekom dana, ovisnost zračenja o klimatskim uvjetima, intenzitet zračenja ne poklapa se s potrošnjom, nemogućnost skladištenja i relativna neisplativost u odnosu na ostale izvore energije.

### 2.3. Vrste fotonaponskih ćelija

Fotonaponske ćelije se sastoje od više tipova poluvodičkih materijala. Oni mogu biti posloženi u razne strukture kako bi se postigla što veća učinkovitost pretvorbe. Fotonaponske ćelije mogu biti izrađene od silicija, spoja bakar-indij-diselenida, kadmij-telurida, galij-arsenida te ostalih kombinacija. [3]

Važno svojstvo FN ćelije je razmak između poluvodiča koji određuje koje valne duljine svjetlosti ćelija može apsorbirati i pretvoriti u električnu energiju.

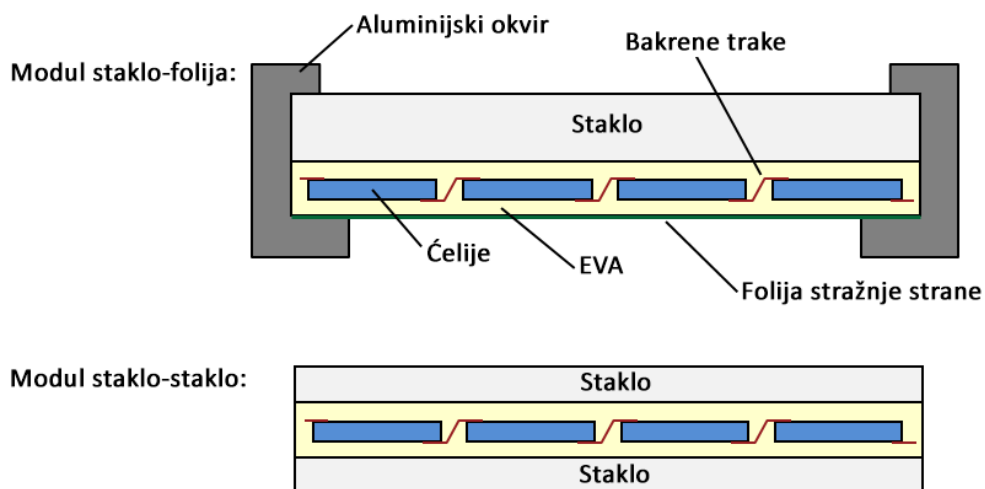
### 2.3.1. Monokristalni silicij

Silicij je najčešći poluvodički materijal korišten u izradi FN ćelija te predstavlja oko 95% današnjih FN modula. On je također najčešće korišten poluvodič u mikročipovima. Kristalne silikonske ćelije se sastoje od atoma silicija međusobno spojenih tako da formiraju kristalnu rešetku. Kristalna rešetka je organizirana struktura koja pretvorbu svjetlosne energije u električnu čini učinkovitijom. FN ćelije od silicija su visoko učinkovite, jeftine i dugotrajne. Moduli od silicija mogu trajati do 25 godina i više. Nakon 25 godina proizvode do 80% nominalne snage.

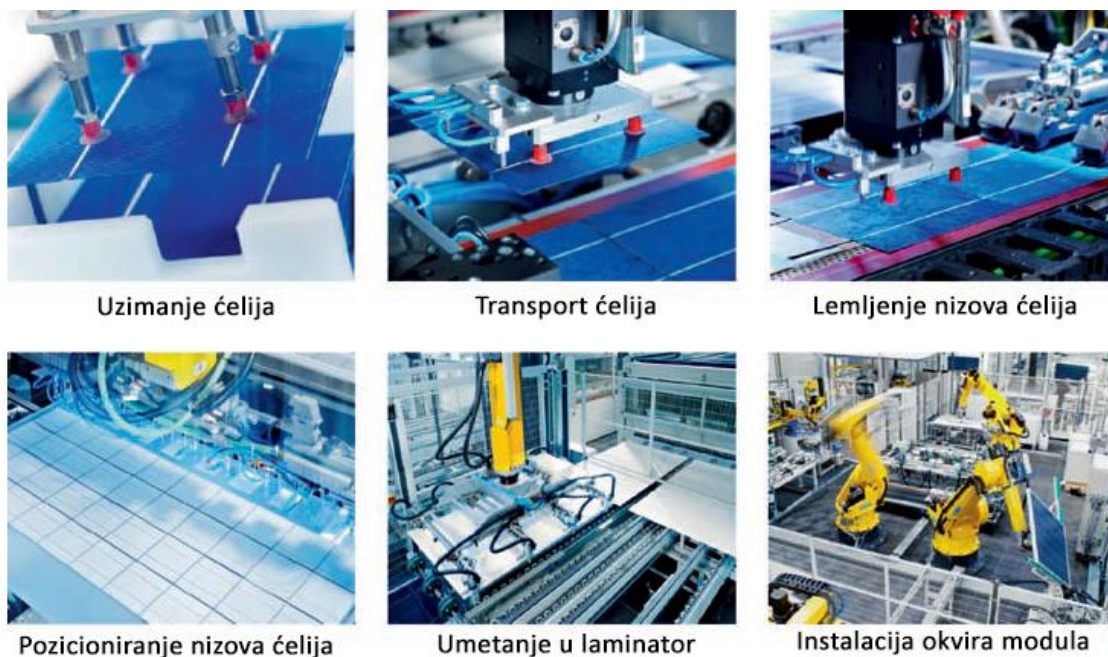
Učinkovitost FN ćelije monokristalnog silicija u laboratorijskim uvjetima iznosi 25%, dok učinkovitost FN modula iznosi oko 20%. Prednosti monokristalnog silicija su visoka učinkovitost, neograničena dostupnost, a nedostatak je relativno visoka cijena proizvodnje, odnosno vrijeme amortizacije.

Da bi FN ćelije proizvodile dovoljnu korisnu snagu integriraju se u FN module. Zasebne ćelije se galvaniziranim bakrenim trakama serijski spajaju u nizove. Oko nizova ćelija se stavljaju dvije plohe prozirne plastike, Etil-vinil-acetata (EVA). Nakon toga se na prednju stranu modula stavlja staklena ploha, dok se na stražnju stranu stavlja folija. Na kraju se nizovi u laminatoru griju na temperaturi od 150°C na kojoj EVA plastika omekša a hlađenjem se stvrdne te tako štiti ćelije od vanjskih utjecaja. Folija na stražnjoj strani štiti od vlage i služi kao električni izolator. Proje stavljanja u aluminijski okvir, rubovi modula moraju biti zapečaćeni. [4]

Umjesto kombinacije staklo-folija, može se koristiti i staklo-staklo. Ta tehnologija se koristi na fasadama ili prilikom integracije u krov. Druga staklena ploha povećava mehaničku stabilnost te se zbog toga ne koristi metalni, aluminijski, okvir.



Sl. 2.2. Presjek monosilicijskog fotonaponskog modula [3]



**Sl. 2.3.** Koraci proizvodnog procesa fotonaponskog modula (izvor: Solar-Fabrik AG) [3]

### 2.3.2. Polikristalni silicij

Proizvodnja polikristalnog ili multikristalnog silicija je puno jednostavnija od proizvodnje monokristalnog silicija. Komadići polisilicija se ulijevaju u grafitni „lončić“ (eng. Crucible) i griju do temperature tališta. Prilikom hlađenja se u „lončiću“ stvaraju mali kristali monosilicija koji horizontalno rastu sve dok se ne dodirnu. Taj proces se dobije vertikalnim grijanjem odnosno hlađenjem lončića.

Ćelije polikristalnog silicija imaju identičnu strukturu monokristalnih ćelija. Glavna razlika je u tome što se polikristalni silicij sastoji od više manjih kristala i zbog toga dolazi do pojave granica koje sprječavaju tok elektronima i rezultiraju manjom izlaznom snagom ćelija od polikristalnog silicija. Proizvodnja je jeftinija međutim realna efikasnost je 10 do 13%, odnosno 2 do 3 % manja u odnosu na monokristalne ćelije.

### 2.3.3. Amorfni silicij (a-Si)

Ukoliko se silicij u plinovitom stanju nanese na nosivi materijal dolazi do nepravilne strukture atoma silicija (amorph; Grčki: bez strukture). U procesu taloženja silicija dodaje se vodik kako bi dobili a-Si:H materijal koji je pogodan za FN ćelije. Ovisno o omjeru vodika kristalna struktura a-Si:H sadrži izravan pojas s iznosom energije praga od 1,7 do 1,8 eV. Na Valnoj duljini od 600 nm penetracija iznosi samo 0,25  $\mu\text{m}$  stoga je ćelija debljine 0,5  $\mu\text{m}$  dovoljna da upije većinu svjetla.

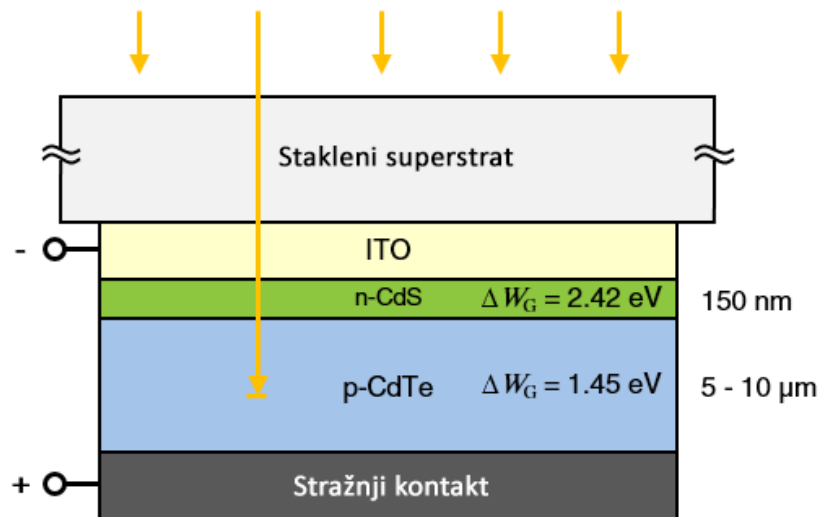


Velika prednost tankoslojne tehnologije jest ta što ćelije mogu biti spojene u module tijekom proizvodnog procesa. Ovakva izvedba dovodi do homogenog izgleda trake te se zbog toga ova vrsta panela primjenjuje u fasadama ili polu prozirnim premazima.

Ćelije amornog silicija upijaju zračenje do 40 puta učinkovitije u odnosu na monokristalni silicij. Amorfni silicij se proizvodi na nižim temperaturama. Veliki nedostatak je nestabilnost jer se nakon prvog izlaganja sunčevom zračenju smanjuje trajnost ćelije što dovodi do gubitka izlazne snage. Stvarna učinkovitost FN modula od amornog silicija iznosi do 7%.

### 2.3.1. Kadmij-Telurij (CdTe)

Fotonaponske ćelije Kadmij-Telurij su druga najzastupljenija tehnologija, nakon fotonaponskih ćelija od kristalnog silicija, te predstavljaju oko 5% tržišta. Ove tankoslojne ćelije se proizvode relativno brzo i jeftino, te pružaju alternativu konvencionalnoj silicijskoj tehnologiji. [5]



Sl. 2.4. Poprečni presjek tankoslojne ćelije Kadmij-Telurij [6]

Velika prednost ovog materijala jest ta što se može nanositi raznim načinima. Najčešći način je isparavanje na malim udaljenostima (eng. CSS – Close-Spaced-Sublimation). Poluvodič se zagrijava na temperaturu od 500° C, isparava i taloži se na podlogu.

Cd-Te FN ćelije se sastoje od PN spoja s 'heterojunkcijom' jer je zabranjeni pojas P i N-dopiranog poluvodiča različit. P-tip sadrži CdTe sloj, dok je N-tip dopiran Kadmij-Sulfidom (CdS) (eng. Window layer) ili Magnezij-Cink-Oksidom (MgZnO) sloj. Cd-Te spoj se tretira spojem  $CdCl_2$  te se tako dobiju bolja svojstva apsorpcije.

Odlikuje ih visoka apsorpcija. Energija praga iznosi između 1,4 i 1,5 eV. Ovaj iznos energije praga dovodi do teoretske učinkovitosti od 29,7% i vrlo je blizu optimuma. Praktična učinkovitost ćelije iznosi do 18,3%, a modula do 13%.

### 2.3.2. CIGS

Posljednja tankoslojna tehnologija je CIGS (eng. Copper-indium-gallium-diselenide). Sastoje se od tri poluvodiča. Bakra, Indija, Galija i Selenija. Istraživanja ove tehnologije su započela 70-ih godina 20. stoljeća. Prvu CIS ćeliju je proizveo ARCO Solar 1978. godine s učinkovitosti ćelije od 14,1%. Ubrzo nakon proizvodnje učinkovitost ćelije je naglo opadala. S boljim znanjem i istraživanjem svojstava materijala, 1990. godine su proizvedeni moduli s učinkovitosti od 10%.

Energija praga najviše ovisi o omjeru indija i galija u  $CuIn_xGa_{1-x}Se_2$ .  $x$  označava odnos između Indija i Galija. Za  $x = 1$  energija praga iznosi 1 eV, dok za  $x = 0$  ( $CuGaSe_2$ ) iznosi 1,7 eV. Promjenom omjera In:Ga mijenja se učinkovitost ćelije i postiže se optimizacija. [3]

Isparavanje je najčešća metoda taloženja pri kojoj se isparavani elementi zagrijavaju na temperaturu oko 500° C i hlađenjem se talože na podlogu. Dodavanjem natrija se poboljšava kristalna struktura i električna svojstva.

Najveća dobivena učinkovitost ćelije u laboratorijskim uvjetima iznosi oko 19,6% što je najveća učinkovitost tankoslojnih ćelija. Očekuje se da će CIGS tehnologija doživjeti značajan napredak u budućnosti. [7]

### 2.3.3. Galij-Arsenid (Ga-As)

Ove ćelije spadaju u monokristalne tankoslojne ćelije. Poluvodič se sastoji od dva elementa, galija i arsena. Energija praga ovog spoja iznosi 1,42 eV što je vrlo blizu teoretskog optimuma. Najbolje ćelije GaAs postižu učinkovitost do 29%. Stvarna učinkovitost ćelije iznosi 17%. 'Multijunction' strukturom se postiže veća učinkovitost pretvorbe jer se upotrebljava veći dio solarnog spektra. Ćelije različitih poluvodičkih elemenata su naslagane jedna na drugu (eng. mechanically stacked multijunction cells) tako da sunčeva svjetlost prvo padne na materijal koji ima najveći energetska prag. To se naziva selektivnim procesom apsorpiranja. Prednost ovakvog slaganja ćelija je ta što materijali mogu imati različite konstante rešetke.

Prednosti Ga-As ćelija su te što se mogu primjenjivati u svemiru te mogu podnijeti visoke temperature. Nedostatak im je visoka cijena te se stoga koriste samo u koncentratorskim sustavima.

#### 2.3.4. Dye-Sensitized

Ova tehnologija spada u nove koncepte. Dye Sensitized Cell (DSC) je otkrivena početkom 1990-ih godina i nazvana je Grätzelova ćelija po profesoru Michaelu Grätzelu. Prednost ovog koncepta je jednostavan proizvodni proces i korištenje jeftinih materijala. U laboratorijskim uvjetima ćelije dostižu preko 12% učinkovitosti, a moduli do 10%. Najveća prepreka komercijalizaciji je manjak stabilnosti ćelije. Visoke temperature dovode do stvaranja plinova i curenja elektrolita.



**Sl. 2.5.** *Stakleni zid prekriven Dye-Sensitized fotonaponskim ćelijama* [8]

#### 2.3.5. Organske ćelije

Organske ćelije koriste polimere umjesto poluvodičkih materijala. U budućnosti bi upotreba ovih ćelija mogla rezultirati jeftinijom električnom energijom u odnosu na korištenje trenutnih tehnologija. Najveća dosegnuta učinkovitost ćelije u laboratorijskim uvjetima je 10,7%, dok mali moduli dostižu učinkovitost oko 7%. Zbog sve većeg istraživanja ove tehnologije očekuje se rast uspjeha i veća primjena. Prednosti ovih ćelija su niska cijena proizvodnje, dostupni materijali i fleksibilne podloge koje dozvoljavaju široku primjenu.

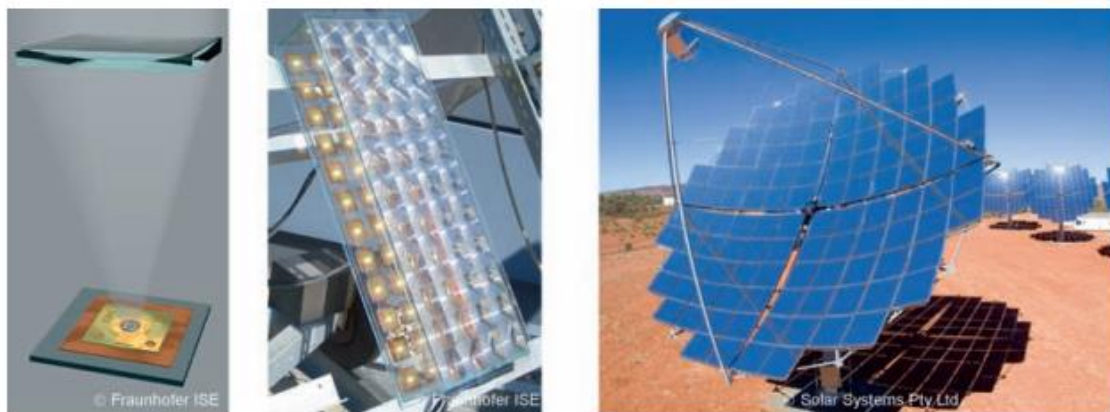
#### 2.3.6. Koncentracija zračenja

Osnovna ideja je da se sunčeva svjetlost zrcalima i lećama usredotoči, koncentrira na fotonaponsku ćeliju. Za koncentraciju zračenja se koriste Fresnelove leće koje su prvenstveno otkrivene za

primjenu u svjetionicima jer postižu malu fokalnu udaljenost s tankim lećama. U drugoj metodi se koriste sustavi zrcala. Zrake svjetla se reflektiraju konkavnim zrcalima i koncentriraju na fotonaponskoj ćeliji. Cilj koncentracije zračenja je smanjenje troškova proizvodnje.

Učinkovitost fotonaponske ćelije raste povećanjem zračenja. Npr. povećanje zračenja za 100 puta rezultira povećanjem napona ćelije za 20%. Rekordna postignuta učinkovitost iznosi 43,5% za koncentraciju zračenja  $X = 418$ . Učinkovitost ne raste beskonačno jer dolazi do zagrijavanja ćelije koje ni aktivno hlađenje ne može spriječiti. [3]

U ovim sustavima se primjenjuju višeslojne ćelije koje dostižu učinkovitost do 41% dok je učinkovitost modula veća od 30%. Na donjoj slici vidimo parabolični zrcalni kolektor. Sastoji se od 112 zakrivljenih zrcala koje koncentriraju sunčevu svjetlost 500 puta. Promjer reflektora je 12 metara. Ovaj sustav postiže snagu od 35 kWp.



**Sl. 2.7.** *Primjer koncentracijskog sustava: Putanja sunčevih zraka, Flatcon koncentratorski modul i parabolično zrcalo [3]*

Isplativost ovih sustava u odnosu na konvencionalne FN module ovisi o cijeni koncentracijskih elemenata. Bitan nedostatak ove metode je taj što koristi samo direktno zračenje. Raspršena zračenja se ne mogu koncentrirati u jednoj točki. Dodatne troškove stvara sustav za praćenje sunca koji se implementira u većini slučajeva.

## 2.4. Vrste fotonaponskih sustava

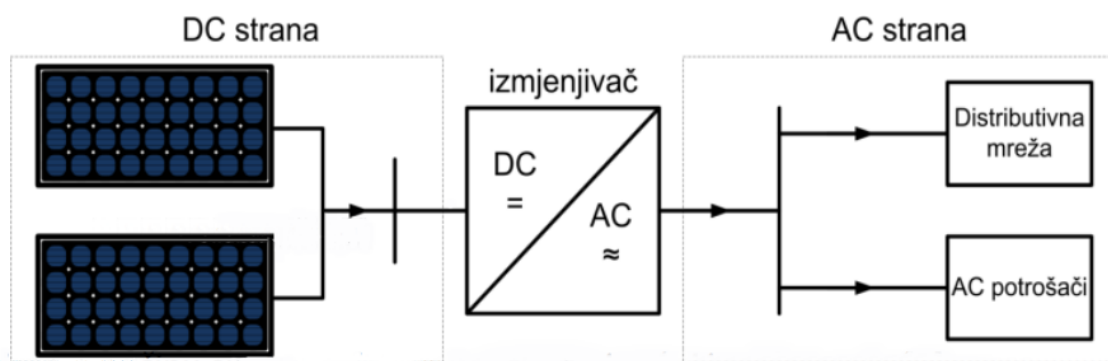
### 2.4.1. S obzirom na spajanje s mrežom

#### Mrežni fotonaponski sustav

Iako su prvi fotonaponski sustavi bili samostalni, danas se u većini slučajeva koriste mrežni fotonaponski sustavi, odnosno elektrane koje su povezane na javnu elektroenergetsku mrežu.

Elektroenergetska mreža kojom je povezana fotonaponska elektrana u neku ruku služi kao baterijska pohrana energije koju proizvođač ne može potrošiti. Tako tijekom dana proizvođač troši vlastitu proizvedenu energiju, a u večernjim satima i po noći troši energiju iz mreže. S obzirom na otkupnu cijenu proizvođaču električne energije je isplativije da troši što više vlastite električne energije, a što manje uzima iz mreže. Za mjerenje električne energije koja dolazi iz mreže i koju proizvođač šalje u mrežu, koriste se dvosmjerna brojila.

Prednost ovog sustava je ta pruža distribuiranu proizvodnju te tako smanjuje prijenosne gubitke. Još jedna značajna prednost je ta što je najveća proizvodnja fotonaponskih sustava je tijekom dana kad je i najveća potražnja za električnom energijom, odnosno potrošnja.



Sl. 2.8. Mrežni fotonaponski sustav [9]

### Samostojeći fotonaponski sustav

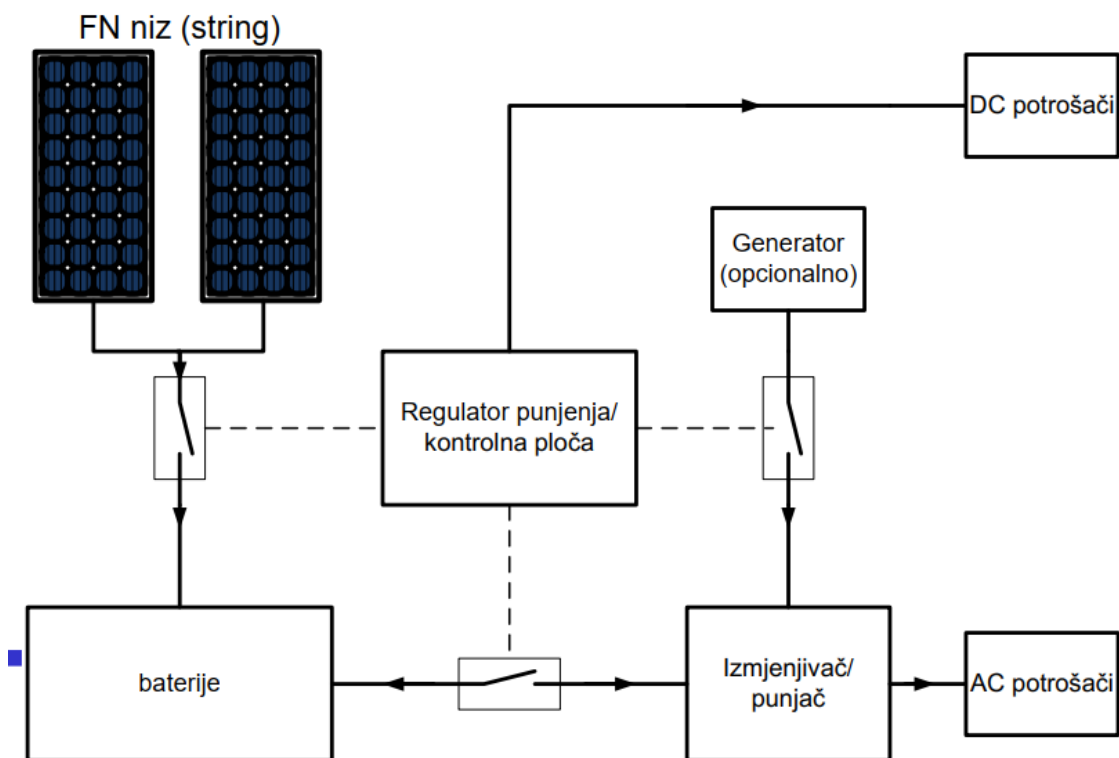
Samostojeći fotonaponski sustavi se najčešće upotrebljavaju u slučajevima i na mjestima na kojima ne postoji elektroenergetska mreža ili je cijena spajanja na mrežu previsoka. Najvažniji faktor kod ovih sustava je pohrana električne energije odnosno baterije koje osiguravaju opskrbu električnom energijom tijekom jutarnjih i večernjih sati, te noću. Za pohranu električne energije se najčešće koriste olovni akumulatori jer su relativno pristupačne cijene. Uz pohranu, sustav se sastoji od regulatora punjenja i izmjenjivača kako bi se mogli koristiti AC aparati. Regulator punjenja sprječava oštećenja baterija koja se mogu dogoditi prevelikim pražnjenjem baterija.

Za pohranu se mogu koristiti razne vrste baterija. Olovni akumulatori, Nikal-metal-hidrid (Ni-MH), litij-ionske, litij-polimerske i tako dalje. Glavni razlog zašto se u samostojećim fotonaponskim sustavima koriste olovni akumulatori jest njihova niska cijena. U odnosu na olovne akumulatore, ostale vrste baterija imaju druge prednosti, kao veća gustoća pohrane energije ili manja stopa samopražnjenja. Prosječan životni vijek baterije je manji od 10 godina i taj podatak također doprinosi odabiru vrsta baterija ako se u obzir uzme odnos cijene i životnog vijeka. Kako bi se

postigao dug životni vijek baterija, većina baterija se ne prazni ispod 30 % kapaciteta. „Pravilo desne ruke“ za izračun kapaciteta i autonomije samostojećeg sustava je 3,5 dana preko ljeta i 5,5 dana preko zime. [3]

Regulatori punjenja (eng. Charge Controllers) su potrebni kako bi se zaštitile baterije i produžio njihov životni vijek. Neke od zadaća regulatora punjenja su zaštita od preopterećenja, zaštita dubokog pražnjenja, nadzor razine napunjenosti. Regulatori u sebi mogu imati MPP tragač i izmjenjivač.

Samostojeći fotonaponski sustavi su idealni za unaprjeđenje kvalitete života na mjestima gdje elektroenergetska mreža nije dostupna. U zadnjih nekoliko godina se samostojeći fotonaponski sustavi sve češće instaliraju po zemljama trećeg svijeta na mjestima na kojima ne postoji elektroenergetska mreža. Također, ovi sustavi se mogu koristiti za napajanje pumpnih sustava, radio prijemnika, sustava rasvjete i prometne signalizacije. [10]



Sl. 2.9. Blok shema samostojećeg fotonaponskog sustava [9]

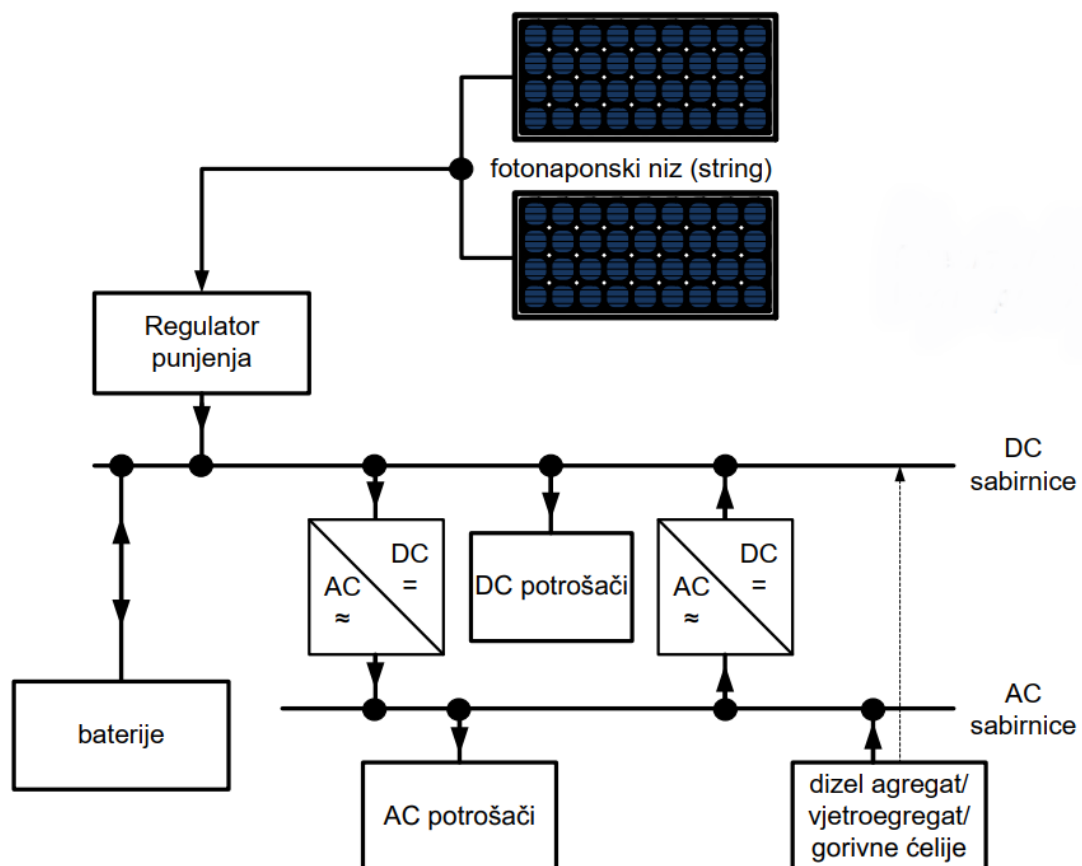


## Hibridni fotonaponski sustavi

Tijekom perioda lošeg vremena i zime proizvodnja samostojećih fotonaponskih sustava opada i više ne može zadovoljiti potrošnju. Rješenje ovog problema je hibridni fotonaponski sustav koji kombinira nekoliko metoda proizvodnje električne energije. Obnovljivi izvori korišteni za dodatnu proizvodnju električne energije mogu biti male hidroelektrane, vjetroelektrane ili generatori na biomasu. Zbog cijene izgradnje i instalacije ovih postrojenja često se u kombinaciji s baterijskim sustavom koristi dizel generator koji je relativno jeftin i pristupačan.

Hibridni sustavi mogu biti samo DC, DC/AC ili čisto AC napona. Za veća postrojenja najčešće se koriste samo AC sustav jer je fleksibilan i lako se nadograđuje.

Dimenzioniranje samostojećih i hibridnih fotonaponskih sustava je ključna stvar kako bi se zadovoljila potrošnja električne energije. Prvi korak u dimenzioniranju je praćenje električne energije kroz cijelu godinu. Nakon toga slijedi određivanje snage fotonaponske elektrane i dimenzioniranje pohrane električne energije.



Sl. 2.10. Blok shema hibridnog fotonaponskog sustava [9]

### 2.4.2. S obzirom na postavljanje

Zbog modularnosti fotonaponskih sustava oni se mogu izgraditi različitih dimenzija na različitim površinama i okolinama.

#### Sustavi otvorenog tipa

Ova vrsta elektrana se najčešće grade kao veliki solarni parkovi snage u MW. Nosiva konstrukcija koja drži fotonaponske module se polaže na aluminijske profile koji su zabijeni u zemlju. Umjesto aluminijskih profila mogu se koristiti šuplji vijci koji se uvrtaju u zemlju. Ukoliko je u tlu veća količina kamenja, može se koristiti i betonski temelj. Ove vrste elektrana ponekad koriste i sustav za praćenje sunca te im tako raste učinkovitost. Prednost ovih elektrana je što se konstrukcija postavlja na optimalan upadni kut sunčevih zraka te se tako povećava učinkovitost elektrane.



**Sl. 2.11.** *Aluminijska konstrukcija koja drži fotonaponske module.* [11]

#### Sustavi na ravnim krovovima

Kod sustava na ravnom krovu se koriste aluminijski profili koji nose fotonaponske module. Također se mogu koristiti sustavi s plastičnim kadama (nalik kalupima) u koje se dodaju kameni koji stabiliziraju FN module. U slučaju ove metode nije potrebno bušiti krov kako bi se instalirali nosači. Ukoliko ova metoda nije pogodna zbog mase, krov treba pregledati statičar. Novija metoda



koja se koristi je niske polimerne kutije zatvorenog tipa dizajnirane tako da ih vjetar pritišće prema dolje. Stabilnost se postiže povezivanjem više elemenata u cjelinu.



*Sl. 2.12. Sustavi na ravnim krovovima; fotonaponski moduli montirani na plastičnu konstrukciju otežanu kamenim blokovima. [12]*

### **Sustavi na kosim krovovima**

Sustavi na kosim krovovima se najčešće primjenjuju. Relativno su jeftini za izgradnju s obzirom da je krov, kao baza, već izgrađen i može izdržati teret. Aluminijski profili koji drže FN module se postavljaju na metalne kuke koje se uvrtaju u drvenu građu ili neki drugi oblik nosive konstrukcije.

Alternativa fotonaponskim modulima su crijepovi ili ploče koje su izrađene od fotonaponskih ćelija i njima se pokriva krov (eng in-roof system, roof-integrated system). Prilikom korištenja ovog sustava potrebno je voditi brigu o pozadinskoj ventilaciji, u suprotnom dolazi do rasta temperature i smanjenja učinkovitosti.

## Fasadni sustav

Fasadni sustavi su najčešće postavljani na industrijskim ili poslovnim građevinama. Južno orijentiran fasadni sustav pruža oko 70% optimalnog kuta za upad svjetla. Limitirajući faktori na godišnju proizvodnju je zasjenjenje drveća, požarnih stepenica, ostalih zgrada i slično.



**Sl. 2.13.** *Primjer fasadnog FN sustava [13]*

### **3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE**

#### **3.1. Mogućnosti i ograničenja PV\*SOL Premium programskog paketa**

Softver „PV\*SOL Premium“ pruža mogućnosti dizajniranja fotonaponskih sustava i 3D vizualizaciju samostojećih ili krovnih fotonaponskih elektrana snage do 3 MW instaliranih.

Korištenje 3D modeliranja sustava je jednostavno, podijeljeno na 6 izbornika. Pogleda na teren, pogleda na građevinu, pokrivenost modula, montažu modula, konfiguraciju i plan kabliranja. Program nudi jednostavan odabir klimatskih podataka koji su ključni za projektiranje fotonaponskog sustava. Klimatski podaci se mogu birati na interaktivnoj karti ili ručno unijeti.

Nakon dimenzioniranja objekta i krova na odgovarajuće pozicije se mogu postaviti krovni prozori, dimnjaci, antene i slično. Nakon završetka projektiranja građevnih dijelova zgrade krovovi ili konstrukcije se mogu prekriti maksimalnim brojem modula ručno ili automatski. Softver omogućuje optimizaciju sustava za svaki korak simulacije kao i dijagram tokova energije uključujući i sustav pohrane. Fotonaponski moduli se mogu izabrati i unijeti automatski u 2D i 3D okruženju.

U programskom paketu se može izvesti nekoliko različitih simulacija, a to su: [14]

- simulacija u satnoj i minutnoj rezoluciji
- simulacija s pohranom energije, odnosno baterijskim sustavima i električnim vozilima
- simulacija samostojećih fotonaponskih sustava izvan mreže (engl. Off Grid)
- planiranje fotonaponskih sustava s vlastitom potrošnjom i baterijama.

Program nudi procjenu i ispis rezultata, ekonomskih analiza profitabilnosti s povratom ulaganja. Moguće je mijenjati razne ekonomske i financijske parametre kako bi izračun bio detaljniji. Također, moguće je ispisati dokumentaciju projekta koja se može konfigurirati.

Prije samog početka potrebno je odabrati klimatske podatke, odnosno lokaciju i vrstu sustava u projektu. U softveru su uneseni podaci za Slavonski Brod koji je najbliži lokaciji fotonaponske elektrane koja se nalazi u Osijeku. Pri izboru sustava mogu se odabrati:

- mrežni fotonaponski sustav (eng. On-Grid)
- mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima i pohranom energije (baterijama)
- mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima i električnim vozilima
- mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima, električnim vozilima i baterijama

- samostojeći fotonaponski sustav
- samostojeći fotonaponski sustav s generatorom (hibridni)

**System Type, Climate and Grid**

Type of System  
3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances

Type of Design  
 Use 3D Design

Climate Data

Country	Croatia	Location	SLAVONSKI BROD (1991-2010)
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		

[Simulation Parameters](#)

Time step of simulation  
 1 Hour (faster simulation)  
 1 Minute (more precise simulation)

AC Mains

Enter

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

**Sl. 3.1.** Konfiguracija tipa sustava i klimatskih uvjeta lokacije elektrane.

### 3.2. Kupac s vlastitom proizvodnjom (Prosumer)

Prema HEP-ovoj definiciji:

„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.“ [15]

Korisnik mreže na istom obračunskom mjernom mjestu ima odobrenu priključnu snagu u smjeru potrošnje i priključnu snagu u smjeru proizvodnje. Preuzimanje električne energije se uređuje ugovorom. Prilikom priključenja na mrežu kupac plaća samo jednu veću naknadu od dvije; Naknada za priključenje kupca i naknada za priključenje proizvođača. Ugovorom o opskrbi se određuju uvjeti preuzimanja električne energije od kupca s vlastitom proizvodnjom.

Ukoliko kupac s vlastitom proizvodnjom zadovoljava određene uvjete, prema „Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji“ opskrbljivači električne energije su dužni preuzeti višak električne energije koju proizvede kupac s vlastitom proizvodnjom. Uvjeti su ostvarenje prava na trajno priključenje, ukupna priključna snaga ne prelazi 500 kW, imaju status povlaštenog proizvođača električne energije, kupac s vlastitom proizvodnjom isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg i kupuje, kupac s vlastitom proizvodnjom vodi podatke o proizvedenoj i isporučenoj električnoj energiji. U slučaju

da uvjeti za sklapanje ugovora nisu zadovoljeni, može se zatražiti sklapanje ugovora o otkupu električne energije s drugim otkupljivačem.

Povlaštenu proizvođača električne energije je elektroenergetski subjekt, odnosno pravna ili fizička osoba čije postrojenje zadovoljava uvjete određene odredbama Zakona te je stekao status povlaštenog proizvođača.

Neto isporučena električna energija je isporučena količina električne energije koja je proizvedena iz obnovljivih izvora energije ili kogeneracijom te je umanjena za vlastitu potrošnju proizvodnog postrojenja, a u slučaju kupaca s vlastitom proizvodnjom umanjena za svu potrošnju krajnjeg kupca.

### **Priključenje kupca s vlastitom proizvodnjom**

Za razliku od jednostavnog priključenja kupca na mrežu kada nije potrebno stvaranje tehničkih uvjeta u mreži, za priključenje kupca s vlastitom proizvodnjom, instalirane snage proizvodnog postrojenja moraju se zadovoljiti određeni uvjeti. [16]

Postupak priključenja se provodi prema sljedećim koracima:

- podnošenje zahtjeva za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja
- izdavanja obavijesti o mogućnosti priključenja, ponude za opremanje obračunskog mjernog mjesta i prijedloga novog ugovora o korištenju mreže
- uplate troškova za opremanje obračunskog mjernog mjesta
- izvođenja radova na opremanju obračunskog mjernog mjesta
- sklapanja ugovora o korištenju mreže i podnošenje zahtjeva za promjenu statusa korisnika mreže
- izdavanja potvrde za trajni pogon.

### **Tarifni modeli Hrvatske elektroprivrede**

HEP nudi nekoliko tarifnih modela. Standardni modeli za kućanstva su plavi i bijeli. Na primjeru plavog tarifnog modela se može vidjeti kako ukupan trošak energije i naknade za korištenje mreže iznosi 0,77 kn/kWh. Navedena cijena je iskazana bez uračunatog PDV-a. Uz ovu cijenu kupac plaća i dodatnu „*Naknadu za obnovljive izvore i visokoučinkovitu kogeneraciju*“ koja iznosi 0,105 kn/kWh. PDV na cijenu električne energije iznosi 13%.

Tablica 3.1. Tarifne stavke za kupce kategorije kućanstvo (jedinствени račun - energija i naknada za korištenje mreže); u primjeni od 1. siječnja 2019. godine. [17]

Kategorija		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjerno mjesto i naknada za opskrbu
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kVArh]	[kn/mj]
Tarifne stavke								
Kućanstvo	Niski napon	Plavi	0,77	-	-	-	-	17,40
			0,87					19,66
		Bijeli	-	0,84	0,41	-	-	17,40
				0,95	0,46			19,66
		Crveni	-	0,70	0,34	38,50	-	48,70
				0,79	0,38	43,51		55,03
		Crni	-	0,37	-	-	-	6,20
				0,42				7,01

S obzirom na navedene podatke može se doći do izračuna:

$$C_p = (0,77 + 0,105) * 1,13 = 0,99 \text{ kn/kWh} \quad (3-1)$$

Tablica 3.2. Iznos tarifnih stavki za opskrbu kupaca kategorije kućanstvo u sustavu javne usluge – bez naknade za korištenje mreže; u primjeni od 1. siječnja 2016. godine [17]

Kategorija		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjerno mjesto i naknada za opskrbu
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kVArh]	[kn/mj]
Tarifne stavke								
Kućanstvo	Niski napon	Plavi	0,46	-	-	-	-	7,40
			0,52					8,36
		Bijeli	-	0,49	0,24	-	-	7,40
				0,55	0,27			8,36
		Crveni	-	0,49	0,24	-	-	7,40
				0,55	0,27			8,36
		Crni	-	0,19	-	-	-	0,40
				0,21				0,45

Za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača električne energije iz stavka utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom  $C_i$  obračunskom razdoblju  $i$  na sljedeći način:

$$C_i = 0,9 * P_{KCi} \quad (3-2)$$

ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} \geq E_{ii}$  i

$$C_i = 0,9 * P_{KCi} * \frac{E_{pi}}{E_{ii}}, \quad (3-3)$$

ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} < E_{ii}$

$E_{pi}$  – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja izražena u kn/kWh;

$E_i$  – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kn/kWh;

$P_{KCi}$  – 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  $i$ , izražena u kn/kWh.

Ukoliko kućanstvo u obračunskom razdoblju proizvede manje električne energije nego prima iz mreže, cijena proizvedene energije  $E_{pi}$  koja je isporučena u mrežu se računa prema formuli 3-2.

$P_{KCi}$  označava iznos troškova korištene električne energije. Prema plavom tarifnom modelu iznosi 0,46 kn/kWh s uključenim PDV-om. Prema formuli 3-2 se može izračunati krajnja cijena koju će HEP isplatiti proizvođaču, a iznosi 0,414 kn/kWh.

Ako kućanstvo proizvodi više električne energije nego preuzima iz mreže, odnosno od strane HEP-a, u prethodni izraz se ubacuje omjer  $E_{pi}/E_{ii}$  koji ima koeficijent manji od 1. To rezultira manjom cijenom isplate električne energije.

Krajnjem kupcu s vlastitom proizvodnjom mogu biti povoljniji uvjeti otkupa u odnosu na minimalno propisane uvjete „Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. [15][18]

### 3.3. Izbor fotonaponskih modula i izmjenjivača

#### 3.3.1. Parametri modula

Odabir fotonaponskih modula se vrši obzirom na željenu snagu elektrane i radne uvjete okoline. U kasnijim izračunima će se vidjeti kako električne veličine kao napon i snaga modula variraju ovisno o temperaturi okoline i samim time temperaturi modula. S obzirom na snagu fotonaponske elektrane, lokaciju instalacije i dostupnost, za izradu projekta izabrani su monokristalni moduli „SUNCECO SEM 320W“. Učinkovitost modula pri standardnim testnim uvjetima iznosi 19,38%. Ostali električni i mehanički parametri su prikazani u tablicama 3.3.– 3.5.

Tablica 3.3. Parametri modula pri STC i NOCT uvjetima [19]

Model		STC	NOCT
		SUNCECO SEM 320W	
Vršna snaga $P_{MPP}$	[Wp]	320	235
Napon praznog hoda $U_{oc}$	[V]	41,30	38,4
Struja kratkog spoja $I_{sc}$	[A]	9,97	7,95
Nazivni napon $U_{MPP}$	[V]	33,87	31,14
Nazivna struja $I_{MPP}$	[A]	9,45	7,55
Učinkovitost modula	[%]	19,67	-
NOCT	[°C]	45 +- 2	
Odstupanje snage	W	0 / +5	
Maksimalan napon sustav	V	1000	

STC označava standardne testne uvjete (engl. Standard Test Conditions) gdje su  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura ćelije  $25 \text{ °C}$ , optička masa zraka prema normi EN 60904-3  $A_m = 1,5 \text{ g}$ .

NOCT označava nominalnu radnu temperaturu ćelije (engl. *Nominal Operating Cell Temperature*) gdje su  $G = 800 \text{ W/m}^2$ ,  $A_m = 1,5 \text{ g}$ , brzina vjetra  $1 \text{ m/s}$  i ambijentalna temperatura  $20 \text{ °}$ .



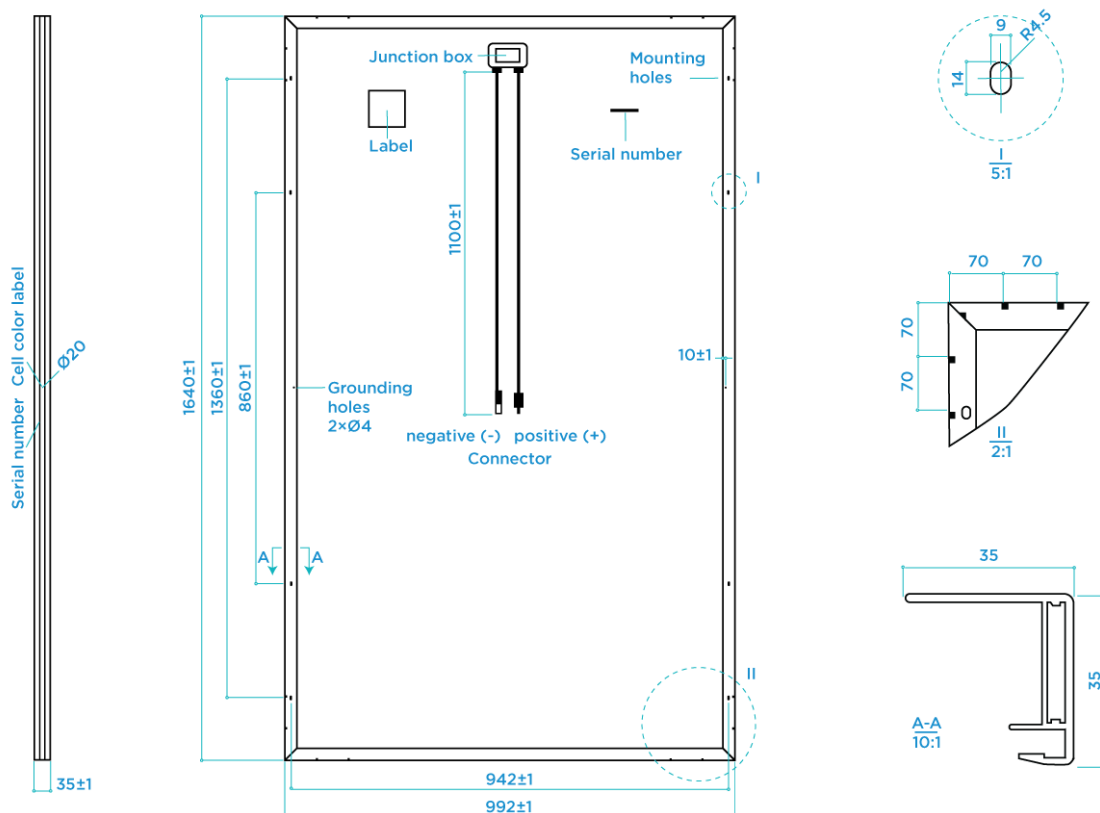
Tablica 3.4. Mehanički parametri modula [19]

<b>Mehanički parametri</b>	
Model	SEM 320W
Dimenzije (V x Š x D)	1640 x 992 x 35 [mm]
Masa	18,5 [kg]
Broj i vrsta ćelija	60 ćelija monokristalni Si (PERC)
Enkapsulacija ćelija	Etilen-vinil acetat (EVA)
Staklo	3,2 mm kaljeno sunčano staklo
Pozadina	Višeslojna poliesterska folija
Okvir	Anodizirani aluminij s dvostrukom stijenkom
Priključna kutija	IP67
Priključni kabeli	4,0 mm <sup>2</sup> , dužine 1000 +-1 mm

Tablica 3.5. Radni uvjeti i temperaturna svojstva modula [19]

<b>Radni uvjeti</b>		
Temperaturno područje	[°C]	-40 do +85
Maksimalni napon sustava	[V]	1000
<b>Temperaturni koeficijent</b>		
Snage $P_{MPP}$	[%/K]	-0,393
Struje $I_{sc}$	[%/K]	-0,041
Napona $U_{oc}$	[%/K]	-0,31

Proizvođač fotonaponskog modula daje sljedeće garancije: 15 godina opće jamstvo u slučaju potrebnih popravaka, 12 godina da će modul raditi sa 90 % nazivne snage, 25 godina garancije da će modul raditi sa 80 % nazivne snage.



Sl. 3.2. Dimenzije fotonaponskog modula [19]

### 3.3.2. STC uvjeti i strujno-naponske karakteristike

STC uvjeti (eng. Standard Test Conditions) tvore jedinstvene uvjete ispitivanja koji omogućuju provođenje usporedbe fotonaponskog modula različitih proizvođača.

Uvjeti ispitivanja definirani su:

- Sunčevo zračenje  $G = 1000 \frac{W}{m^2}$
- Temperatura  $t = 25^\circ C$
- Masa zraka, debljina atmosfere u Europi  $AM = 1,5$

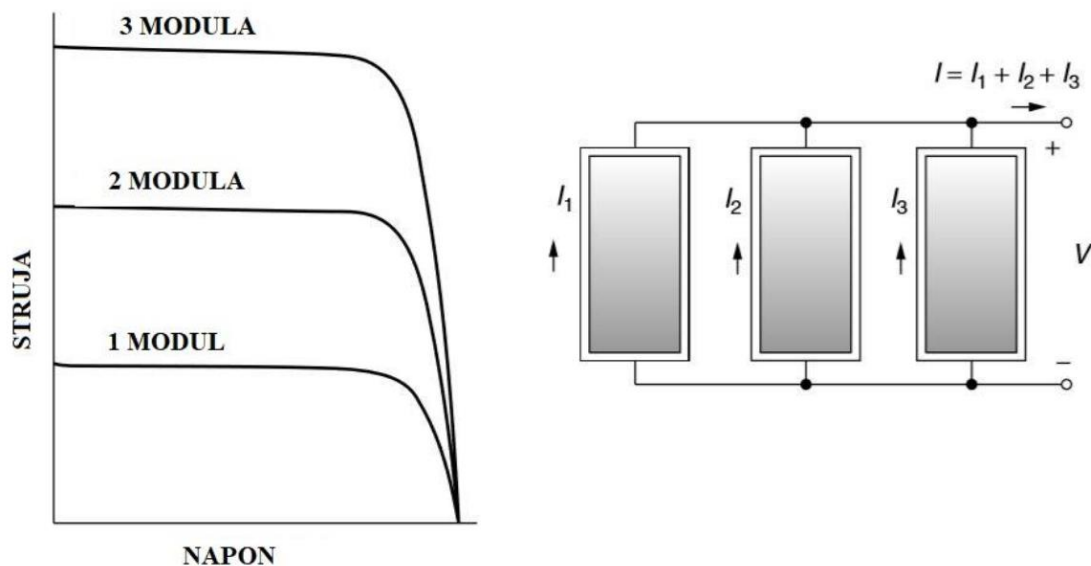
Vršna snaga pri STC uvjetima označava maksimalnu snagu koja se koristi kao snaga fotonaponskog modula. Maksimalna snaga pri NOCT uvjetima je realna snaga fotonaponskog modula. NOCT veličine su dobivene pri realnim uvjetima okoline. Pri NOCT uvjetima sunčevo zračenje je za  $200 W/m^2$  manje od STC uvjeta. Ako u obzir uzmemo vjetar i veću temperaturu okoline, dobiju se realistični uvjeti u kojima fotonaponski moduli i elektrane rade. U slučaju više ponuđenih fotonaponskih panela, pri odabiru bi bilo dobro obratiti pozornost na NOCT

maksimalnu snagu Iz primjera odabranog panela možemo vidjeti kako mu je STC snaga 320 Wp, dok NOCT snaga iznosi 235 Wp što znači 27% manje snage. [20]

### Naponske i strujne karakteristike fotonaponskih modula

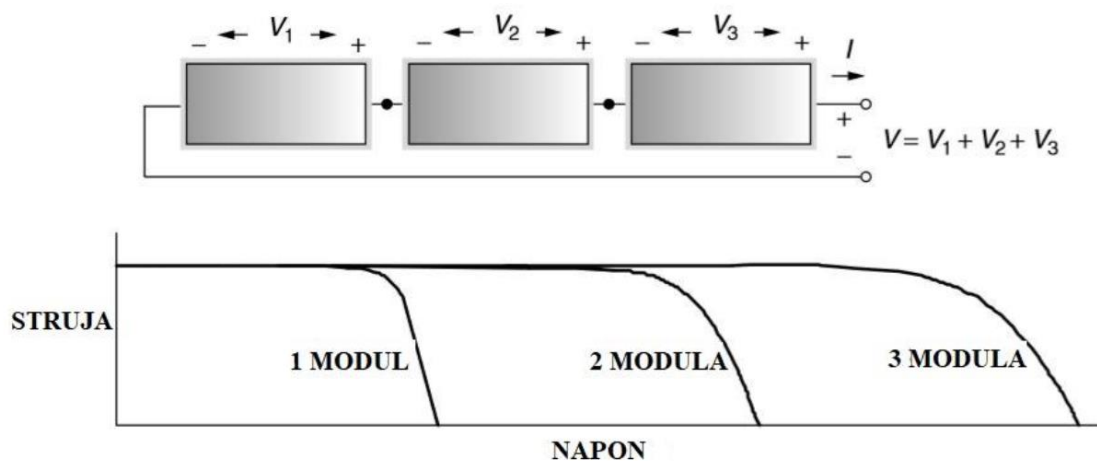
Kako bi se vidjela snaga fotonaponskog modula potrebno je razmotriti I-U karakteristiku modula i tereta. Točka maksimalne snage (engl. MPP, Maximum Power Point) se nalazi blizu pregiba krivulje I-U karakteristike na kojoj je umnožak napona i struje najveći (ti naponi i struje se označavaju kao  $V_m$  i  $I_m$ ). Za dobivanje strujno naponske karakteristike fotonaponski modul je potrebno izložiti suncu, on će tada provesti napon  $V_{oc}$  odnosno napon otvorenog kruga, ali neće poteći struja. Kad se krajevi modula kratko spoje poteći će struja kratkog spoja  $I_{sc}$ . Jedan od načina pronalaska MPP točke jest pronaći pravokutnik najveće moguće površine ispod krivulje. [1]

Fotonaponski moduli se spajaju u seriju kako bi se povećao napon, a u paralelu kako bi se povećala struja. Nizovi određene kombinacije serije i paralele modula povećavaju snagu sustava. Spajanjem fotonaponskih modula u serijski ili paralelni spoj I-U karakteristika će se mijenjati. Za paralelno spojene module ukupna struja će biti zbroj struja pojedinog modula dok će napon biti isti.

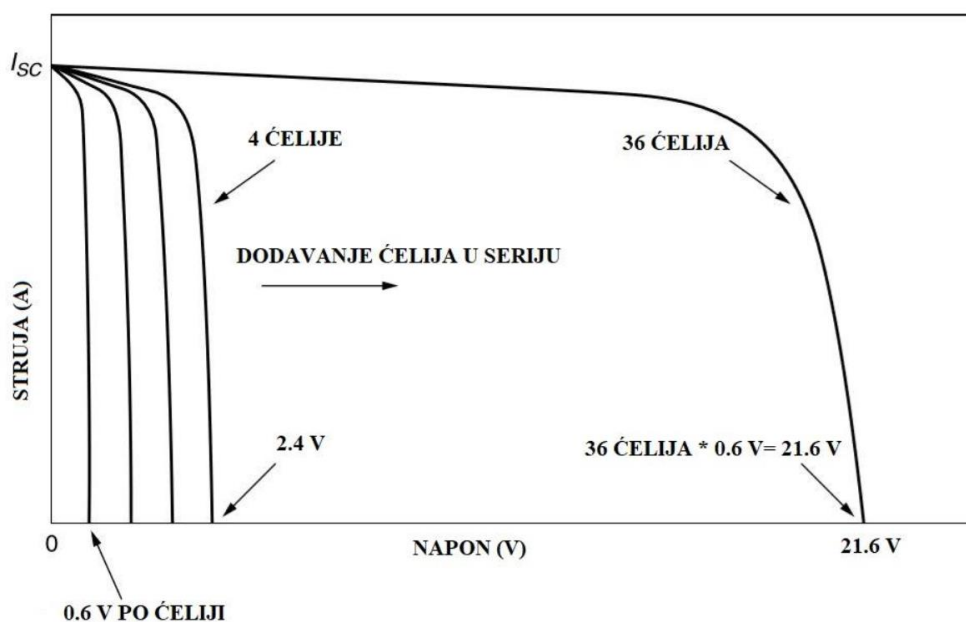


Sl. 3.3. Strujno-naponska karakteristika modula u paralelnom spoju. [1]

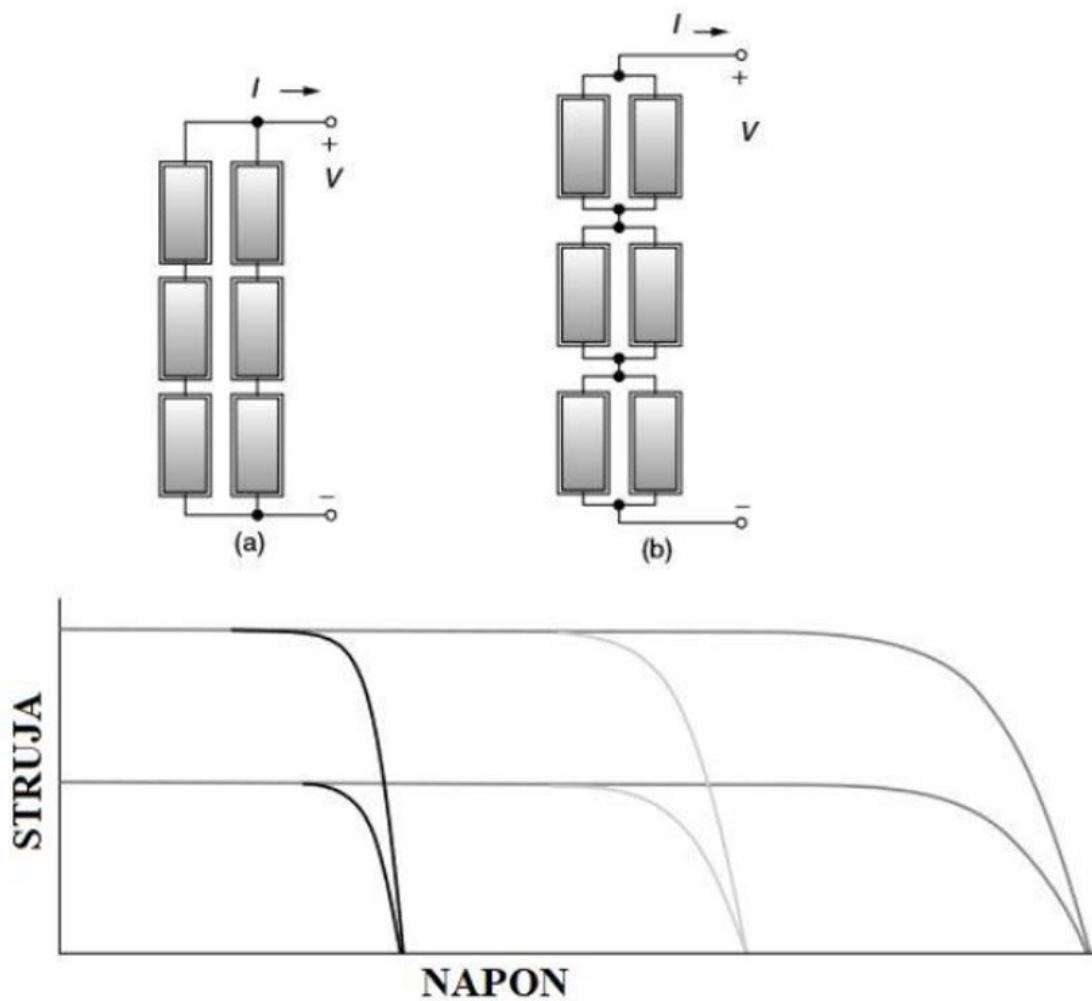
Povezivanjem modula u seriju strujno naponska karakteristika raste po naponskoj, odnosno x osi. U ovom slučaju napon spoja raste dok struja ostaje ista.



Sl. 3.4. Strujno-naponska karakteristika modula u serijskom spoju. [1]

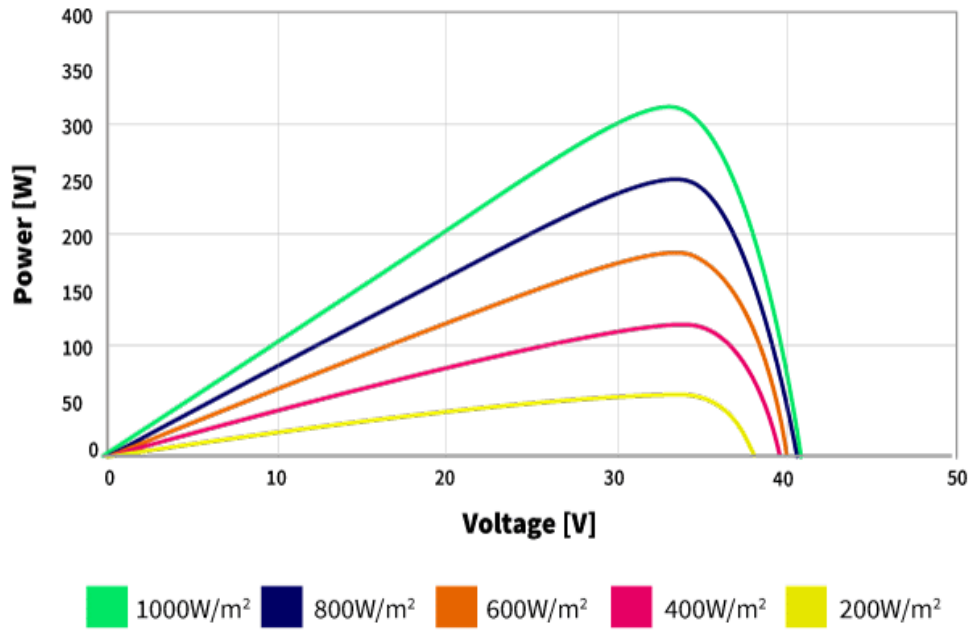


Sl. 3.5. Utjecaj različitih kombinacija spajanja modula na strujno-naponsku karakteristiku. [1]

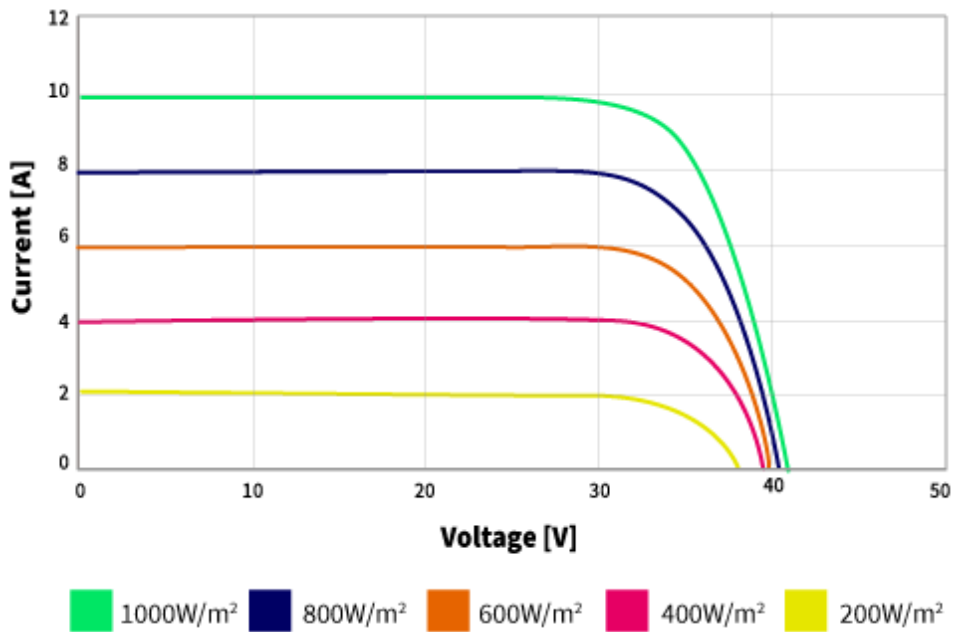


Sl. 3.6. Strujno naponske karakteristike različitih spojeva modula. [1]

Strujno naponske karakteristika fotonaponskih modula su u tehničkim specifikacijama najčešće prikazane uz promjenu temperature i/ili osvjetljenja pa se tako može vidjeti koliko će se izlazna snaga ili struja mijenjati promjenom tih veličina. U priloženim tehničkim specifikacijama fotonaponskog modula „SEM 320W“ su prikazane I-U i P-U karakteristike fotonaponskih modula promjenom osvjetljenja. Na priloženim slikama 3.7 i 3.8 se može vidjeti kako snaga i struja fotonaponskog modula opadaju smanjenjem sunčevog zračenja.



Sl. 3.7. P-V karakteristika fotonaponskog modula SEM 320W [19]



Sl. 3.8. I-U karakteristika fotonaponskog modula SEM 320W [19]

Promjenom temperature mijenjaju se karakteristike. Ako temperatura okoline, a tako i temperatura fotonaponskog modula, poraste napon na modulu će se smanjiti. Snaga fotonaponske ćelije se smanjuje za otprilike 0,5 %/°C.

Karakteristike različitih fotonaponskih modula mogu varirati ovisno o promjeni temperaturi i osvjetljenja. Upravo zbog varijacija ovisnih o temperaturi, proizvođači izdaju podatke o NOCT temperaturi.

Prema podacima iz tablice 3.3. se može izračunati procjena temperature fotonaponske ćelije za temperaturu okoline od 30°C prema sljedećim formulama: [1]

$$T_{cell} = T_{amb} + \left( \frac{NOCT - 20^\circ}{0,8} \right) * S$$

$$T_{cell} = 30 + \left( \frac{45 - 20}{0,8} \right) * 1 = 63,75^\circ C$$
(3-4)

$S$ : koeficijent sunčevog zračenja;  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$

$NOCT = 45^\circ C$

$T_{amb} = 30^\circ C$

$$U_{OK} = U_{OK}[1 - \beta(T_{cell} - T_{mod})]$$

$$U_{OK} = 38,4[1 - 0,0031 * (63,75 - 25)] = 33,78 \text{ V}$$
(3-5)

$U_{OK}$ : napon praznog hoda;  $U_{OK} = 38,4 \text{ V}$

$\beta$ : naponski temperaturni koeficijent;  $\beta = -0,31 \text{ \%}/^\circ C$

Očekuje se kako će maksimalna snaga opadati oko  $0,5 \text{ \%}/^\circ C$ , ovaj modul snage 320W će dati snagu:

$$P_{max} = P * [1 - \alpha * (T_{cell} - T_{mod})]$$

$$P_{max} = 320 \text{ W} * [1 - 0,00393 * (63,75 - 25)] = 271,27 \text{ W}$$
(3-6)

$\alpha$ : temperaturni koeficijent snage;  $\alpha = -0,39\%/^\circ C$

Iz dobivenog rezultata se može vidjeti kako je stvarna snaga modula za 15,3% manja od maksimalne snage.

Ukoliko NOCT podaci nisu dati u tehničkim specifikacijama modula mogu se aproksimirati na temelju temperature ćelije prema formuli:

$$T_{cell} = T_{amb} + \gamma \left( \frac{\text{Insolacija}}{1 \text{ kW}/\text{m}^2} \right)$$
(3-7.)

gdje je  $\lambda$  faktor proporcionalnosti koji ovisi o brzini vjetrova i ventilaciji modula. Tipične vrijednosti  $\lambda$  iznose između 25°C i 35°C. Za vrijednost insolacije  $S = 1$  temperatura ćelije tipično bude za 25°C do 35°C veća od temperature okoline.

### 3.3.3. Parametri izmjenjivača

Izmjenjivač (engl. *Inverter*) koristi komponente energetske elektronike za pretvaranje istosmjerne u izmjeničnu struju. Smjer energije je od istosmjerne prema izmjeničnoj. Tehnički podaci koji su važni za izbor izmjenjivača u sustavu su:

- Ulazna nazivna snaga  $P_{DC}$  [W]
- Područje rada na DC strani [V]
- Maksimalan napon na DC strani (ulazni)  $U_{DC,max}$  [V]
- Maksimalna struja na DC strani  $I_{DC,max}$  [A]
- Izlazna nazivna snaga  $P_{AC}$  [W]
- Nazivna struja na AC strani  $I_{AC}$  [A]
- Nazivni napon na AC strani  $U_{AC}$  [V]
- Nazivna frekvencija rada  $f$  [Hz]
- Faktor snage  $\cos\varphi$
- Maksimalna učinkovitost invertera  $\eta_{max}$  [%]
- Europska učinkovitost  $\eta_{eu}$  [%]

Europska učinkovitost je prosječna učinkovitost na razini godišnjeg perioda koja odgovara klimatskim uvjetima srednje Europe. Europsku učinkovitost je predložio talijanski centar za istraživanja i danas se koristi kao specifikacija većine izmjenjivača. [21]

Ova učinkovitost se računa kao zbroj postotaka djelomičnih opterećenja na kojima izmjenjivač radi; s obzirom koliko često se ona događaju u središnjoj Europi.

$$\eta_{Eu} = 0,03 * \eta_{5\%} + 0,06 * \eta_{10\%} + 0,13 * \eta_{20\%} + 0,1 * \eta_{30\%} + 0,48 * \eta_{50\%} + 0,2 * \eta_{100\%} \quad (3-8)$$

$\eta_{x\%}$  : pretvorba učinkovitosti na djelomičnom opterećenju x%

Neke od važnijih zadaća izmjenjivača (engl. *Inverter*) su:

- Pretvorba istosmjerne struje u izmjeničnu (DC/AC)
- Visoka učinkovitost tijekom djelomičnih i vršnih opterećenja (>95%)
- Sinkrono slanje struje fotonaponske elektrane u elektroenergetsku mrežu



- MPP tragač
- Nadzor električnih veličina mreže, napona i frekvencije.
- Nadzor podataka i električnih veličina elektrane, snaga, struja, napon i greške, te slanje podataka vanjskim uređajima.

U projektu fotonaponske elektrane je korišten izmjenjivač „FRONIUS SYMO 20.0-3-M“.

Tablica 3.6. Tehnički podaci izmjenjivača. [22]

<b>FRONIUS SYMO 20.0-3-M</b>	
Ulazna nazivna snaga $P_{DC}$ [kWp]	30
Područje rada na DC strani [V]	200 - 1000
Maksimalan napon na DC strani (ulazni) $U_{DC,max}$ [V]	1000
Maksimalna struja na DC strani $I_{DC,max}$ [A]	33
Izlazna nazivna snaga $P_{AC}$ [kW]	20
Nazivna struja na AC strani [A]	28,9
Nazivni napon na AC strani $U_{AC}$ [V]	280
Nazivna frekvencija rada $f$ [Hz]	50
Faktor snage $\cos\varphi$	0 - 1 ind/cap
Maksimalna učinkovitost invertera $\eta_{max}$ [%]	98,1
Europska učinkovitost $\eta_{eu}$ [%]	97,9

U idealnom slučaju sva snaga koju proizvodi fotonaponska elektrana bi trebala biti prenesena u mrežu. Gubici izmjenjivača nastaju sklopovima energetske elektronike prilikom pretvorbe istosmjerne struje u izmjeničnu.

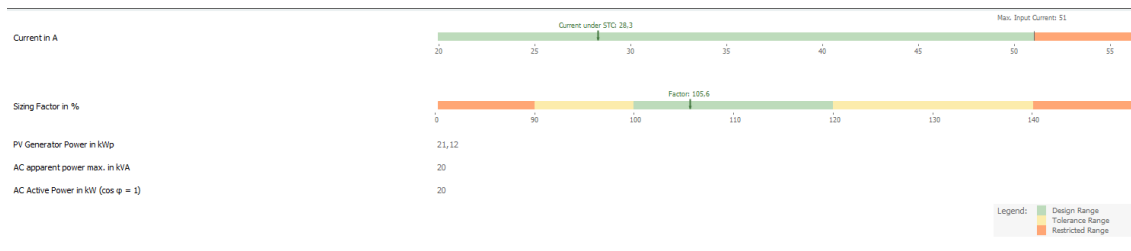
Učinkovitost izmjenjivača je omjer između izmjenične i istosmjerne snage:

$$\eta_{izm} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (3-9)$$

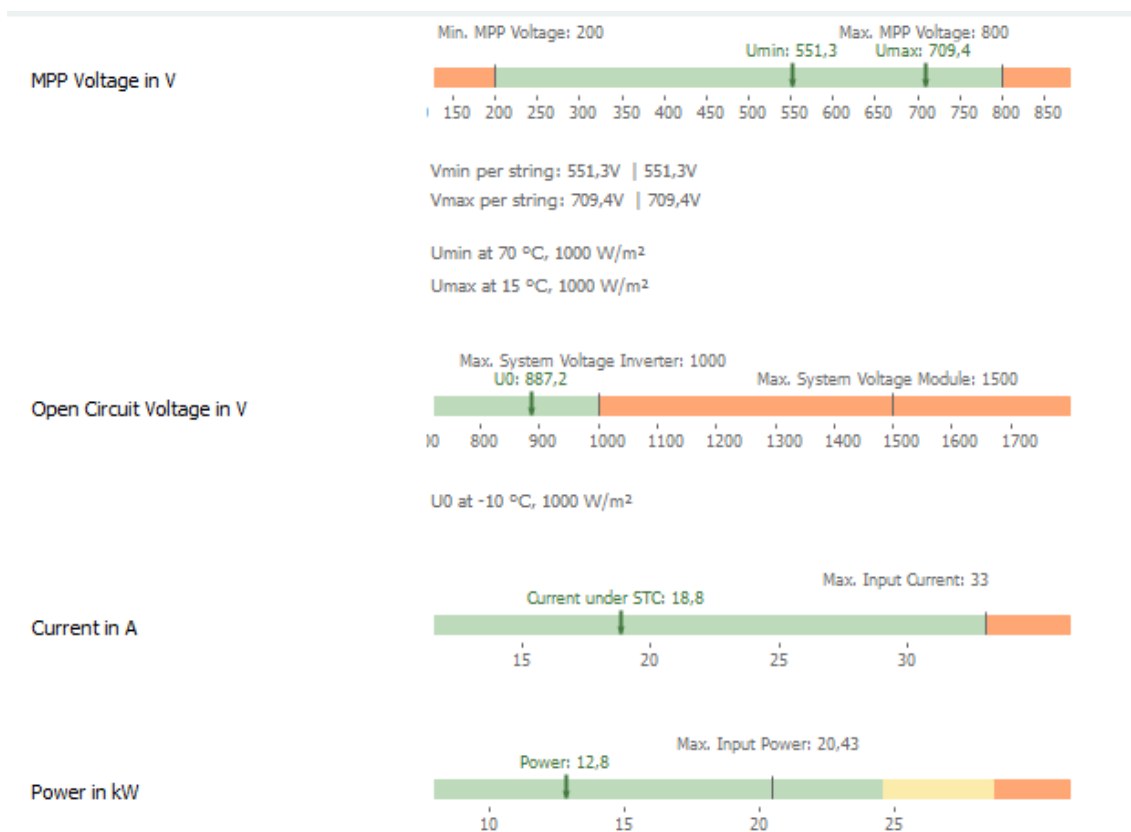
$P_{AC}$ : snaga na izlazu izmjenjivača, snaga predana u mrežu

$P_{DC}$ : snaga na ulazu u izmjenjivač, snaga elektrane.

Učinkovitost izmjenjivača koji se koriste u fotonaponskim sustavima napretkom tehnologije raste.



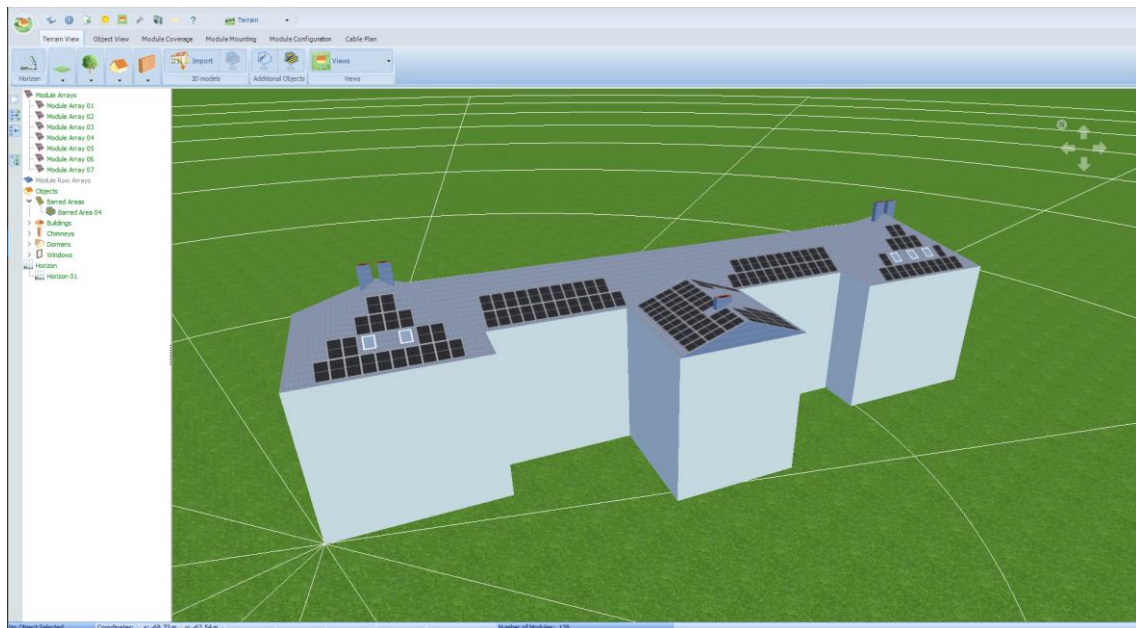
### Sl. 3.9. Provjera konfiguracije izmjenjivača



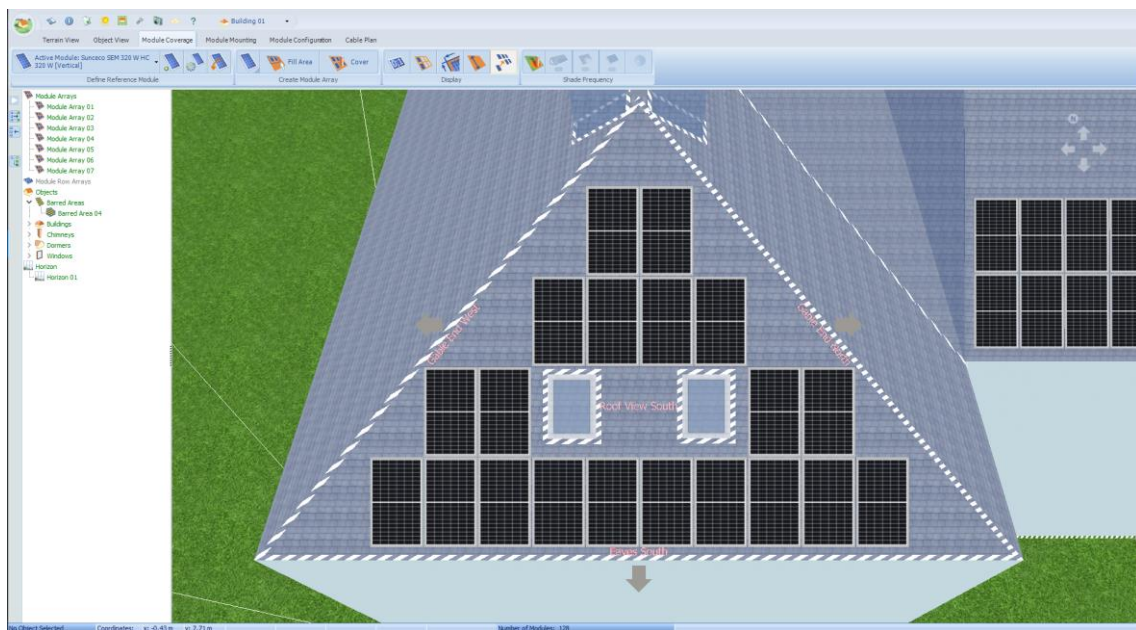
### Sl. 3.10. Provjera konfiguracije MPP tragača

Na slikama 3.9. i 3.10. može se vidjeti kako su električne veličine na izmjenjivaču i MPP tragaču unutar predviđenog raspona.

### 3.3.4. Raspored fotonaponskih modula

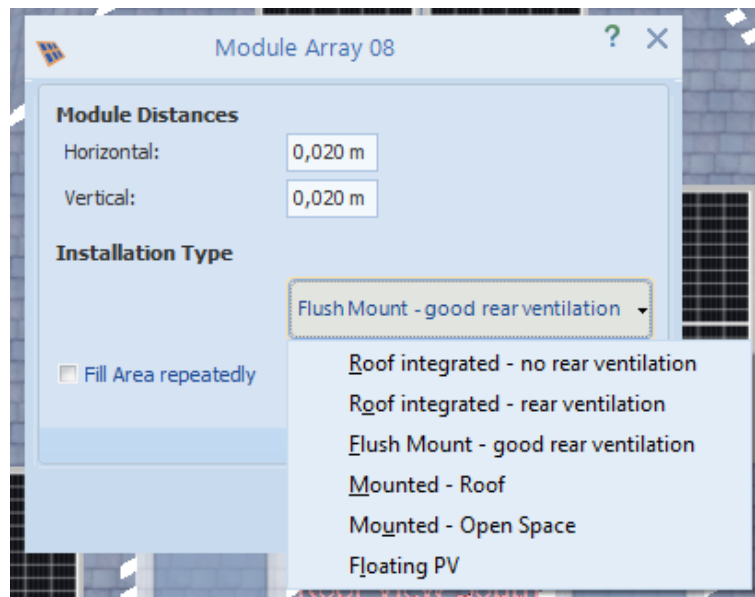


Sl. 3.11. Prikaz zgrade FERIT 2 s instaliranom fotonaponskom elektranom snage 40 kW



Sl. 3.12. Prikaz jednog od fotonaponskih nizova.

Program „PV\*SOL Premium“ prilikom prekrivanja krova nudi mogućnosti ručnog prekrivanja krova, automatsko prekrivanje cijelog krova ili prekrivanje određene površine. Moguće je mijenjati razne parametre kao što su udaljenosti između pojedinačnih modula, razmak između krova i modula.



Sl. 3.13. Izbornik za odabir parametara fotonaponskog niza

### 3.4. Sigurnosne zaštite fotonaponskog sustava

U zaštitu fotonaponskog sustava spada projektiranje i dimenzioniranje zaštitnih uređaja te proračuni DC kabela i strujnih prilika na pretvaraču. Prema maksimalnoj izlaznoj snazi pretvarača iz tablice sa specifikacijama kabela se odabire kabel čiji presjek zadovoljava maksimalno dozvoljeno opterećenje. Mjere zaštite fotonaponskog sustava potrebno je provesti prema normama EN 60364-7-712 (električna instalacija fotonaponskog sustava), EN 61173 (zaštita od prenapona nastalih u fotonaponskom sustavu), EN 62305 (gromobrani) i EN 62305-2 (očekivani rizici oštećenja fotonaponskih sustava). [23]

#### Zaštita od električnog udara

Ostvaruje se zaštitom od izravnog dodira i zaštitom od neizravnog udara. Zaštita od izravnog dodira se ostvaruje izolacijom, pokrovima i zaštitnim pregradama. Izolacijski materijali sprječavaju slučajan ili namjeran pristup dijelovima pod naponom. Kabeli koji se koriste u FN sustavima, prema normi HD 60364-4-b.p. 065/2/2020 (Zaštita od električnog udara) imaju pojačanu izolaciju. Sami fotonaponski paneli ne predstavljaju opasnost od električnog udara s obzirom da je maksimalan napon na panelu oko 35V.

Zaštita od neizravnog dodira se izvodi automatskim isključenjem napajanja. Ono ima zadaću spriječiti nastanak napona dodira vrijednosti i trajanja koje bi moglo uzrokovati posljedice za ljude. Opći principi zaštite od neizravnog dodira su uzemljenje, glavno i dodatno izjednačavanje potencijala i isključenje napona.

## **Uzemljenje**

Uzemljuju se izloženi vodljivi dijelovi konstrukcije fotonaponskog sustava. Sustav se uzemljuje tako što se galvanski odvaja od električne mreže preko transformatora. Vrlo je važno da otpor uzemljivača bude što manji kako bi lakše odveo atmosfersko pražnjenje u zemlju.

## **Gromobranska instalacija**

S obzirom da se FN sustavi najčešće nalaze na povišenim razinama, krovovima kuća i zgrada veća je vjerojatnost udara groma. Gromobranskom instalacijom se struja groma odvodi u zemlju. Na građevini se može postaviti jedan ili više odvoda.

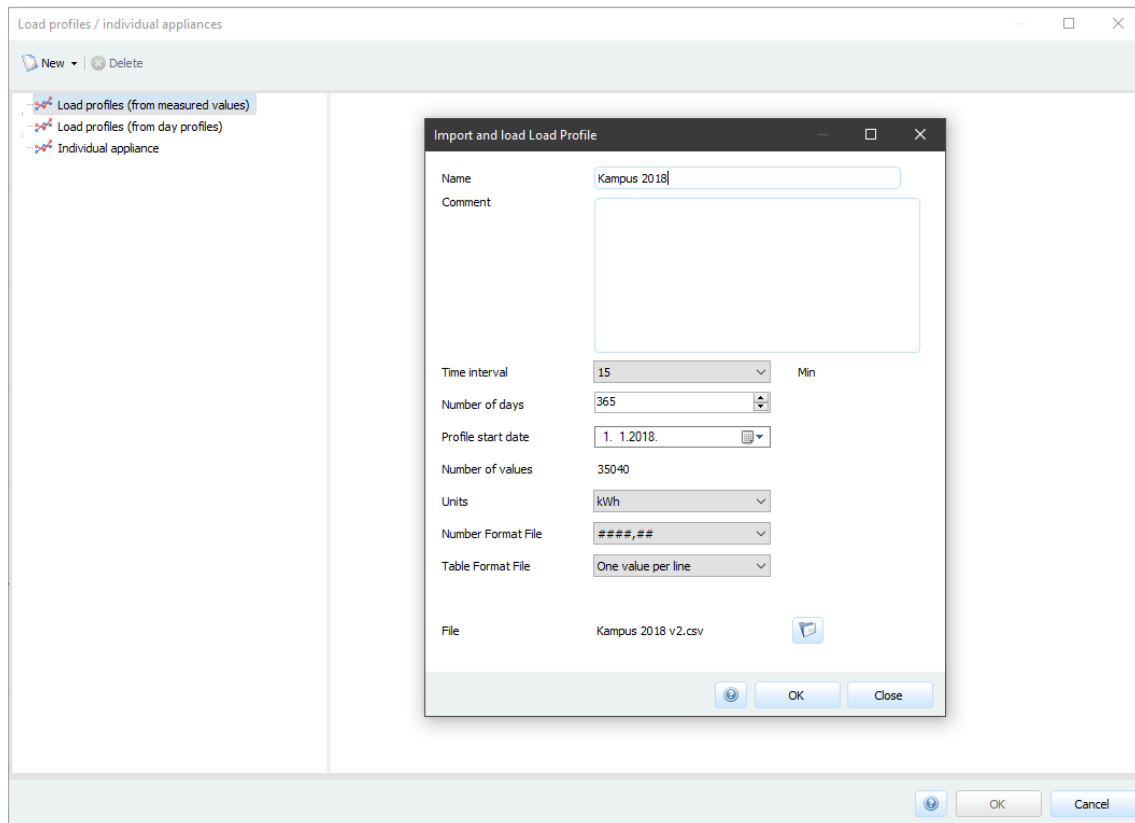
## **Glavno izjednačavanje potencijala**

Mjera izjednačavanja se vrši da bi se spriječili preskoci s odvoda na metalne konstrukcije kao što su na primjer vodovodne i/ili plinske cijevi. Kod izjednačavanja potencijala galvanski se povezuju svi metalni dijelovi i njime se sprječava pojava razlike potencijala na objektu. Svi vodiči koji povezuju metalne mase se dovode na sabirnicu za izjednačavanje potencijala. U svakoj građevini vodič za izjednačavanje potencijala mora povezati glavni zaštitni vodič, glavni zemljovod, cijevi i metalne konstrukcije unutar građevine, metalne dijelove konstrukcije centralnog grijanja, uređaj za instalaciju i instalacije zaštite od munje.

## **Nadstrujna zaštita**

Na početku svakog strujnog kruga se postavlja uređaj za nadstrujnu zaštitu, točnije, na mjestima gdje se smanjuje dozvoljena struja kratkog spoja. Uređaji za zaštitu, automatski i rastalni osigurači, prekidaju struju preopterećenja prije nego ona uzrokuje temperaturna oštećenja vodova i opreme. Trajna dozvoljena struja vodiča se računa u odnosu na naznačenu struju osigurača ili podešenu struju prekidača koji se koriste za zaštitu od preopterećenja.

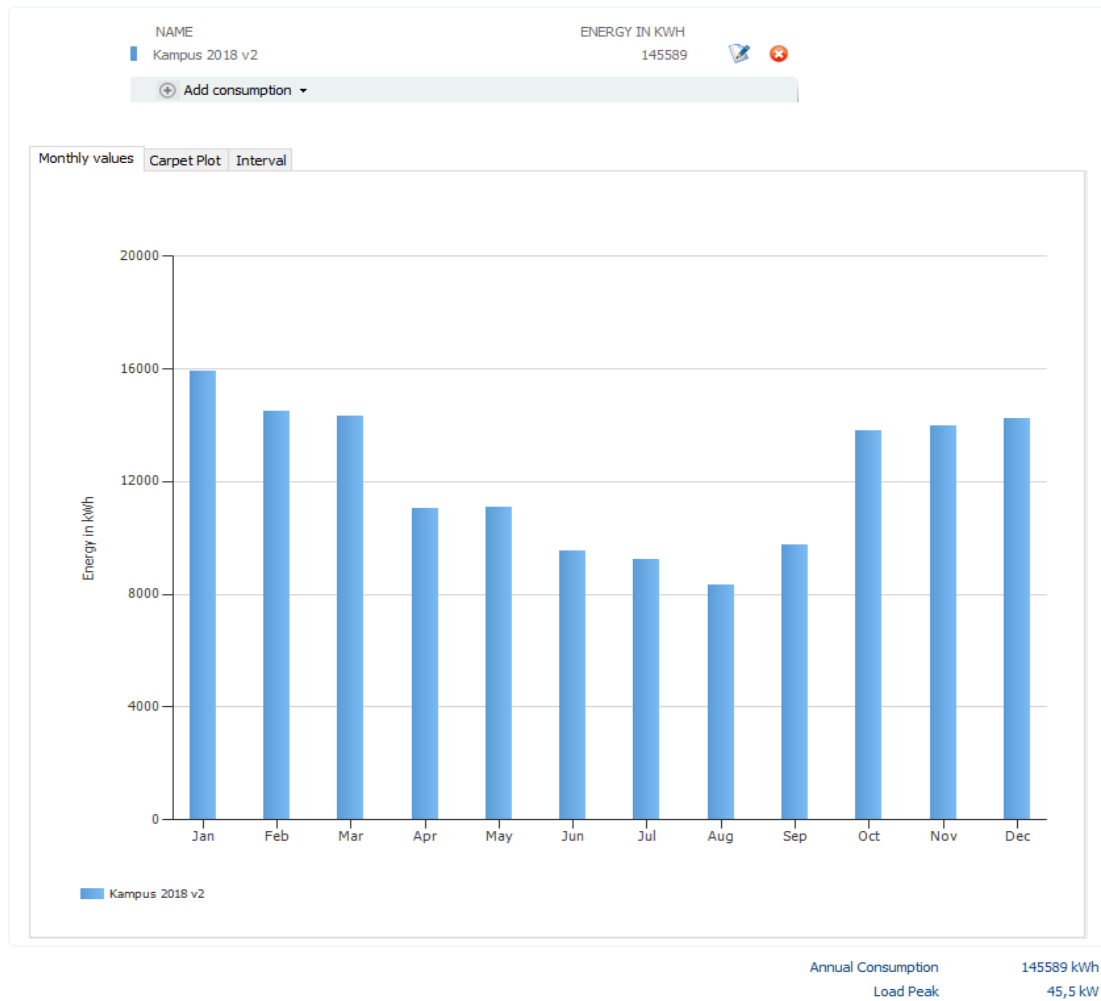
### 3.5. Unos potrošnje u PV\*SOL Premium



Sl. 3.14. Prikaz izbornika za unos potrošnje zgrade.

Prilikom unosa potrošnje može se odabrati nekoliko opcija. Moguće je unijeti potrošnju na razini godine/mjeseca, potrošnju prema mjerenim vrijednostima, dnevnim vrijednostima ili potrošnju pojedinačnih trošila. Prilikom unosa potrošnje moguće je mijenjati parametre kao što su vremenski interval, broj dana, mjerne jedinice i ostale. U ovom primjeru je učitana .csv datoteka s potrošnjom energije u 15-minutnim intervalima.

## Consumption



**Sl. 3.15.** Prikaz potrošnje zgrade FERIT 2 za 2018. godinu.

Nakon unosa potrošnje program „PV\*SOL Premium“ stvori grafički prikaz potrošnje. Na slici 3.15. se može vidjeti prikaz potrošnje za 2018. godinu, ukupna potrošena energija koja iznosi 145589 kWh i najveća snaga od 45,5 kW. Ovaj profil potrošnje se koristi za daljnju analizu isplativosti sustava.

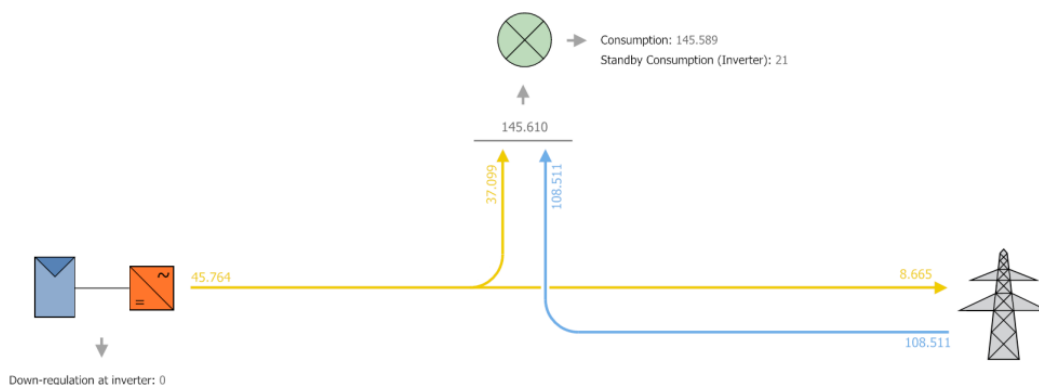
## 4. ANALIZA ISPLATIVOSTI SUSTAVA

1. Fotonaponski sustav snage 40 kW
  - uz 0% subvencije
  - uz 40% subvencije
  - uz 100% subvencije
2. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s ciljem dobivanja neto 0 zgrade
  - uz 0% subvencije
  - uz 40% subvencije
  - uz 100% subvencije

### 4.1. Analiza isplativosti sustava snage 40 kW

Fotonaponski sustav snage 40 kW je raspoređen na 5 krovova zgrade FERIT 2 na studentskom kampusu. Većina fotonaponskih modula je postavljeno na južnu stranu, a nekoliko na istočnu i zapadnu stranu krova. Za ovaj slučaj je odabran izmjenjivač „FRONIUS SYMO 20.0-3-M“ čije su specifikacije navedene u tablici 3.6. S obzirom na snagu elektrane korištena su dva izmjenjivača snage 20 kWp.

Energy Flow Graph  
Project: FERIT2



Sl. 4.1. Tok energije Fotonaponske elektrane FERIT 2

Na slici 4.1. se može vidjeti grafički prikaz toka energije fotonaponske elektrane FERIT 2. Na godišnjoj razini elektrana u mrežu šalje 8665 kWh energije dok se za zadovoljenje potrošnje zgrade iz mreže preuzima 108511 kWh energije.



Cijenu investicije predstavljaju cijene komponenti sustava uključujući radove, montažu i puštanje u rad, te cijenu održavanja na godišnjoj razini. U tablici 4.1. navedene su cijene investicije.

Tablica 4.1. Cijene po komponentama za elektranu snage 40 kW.

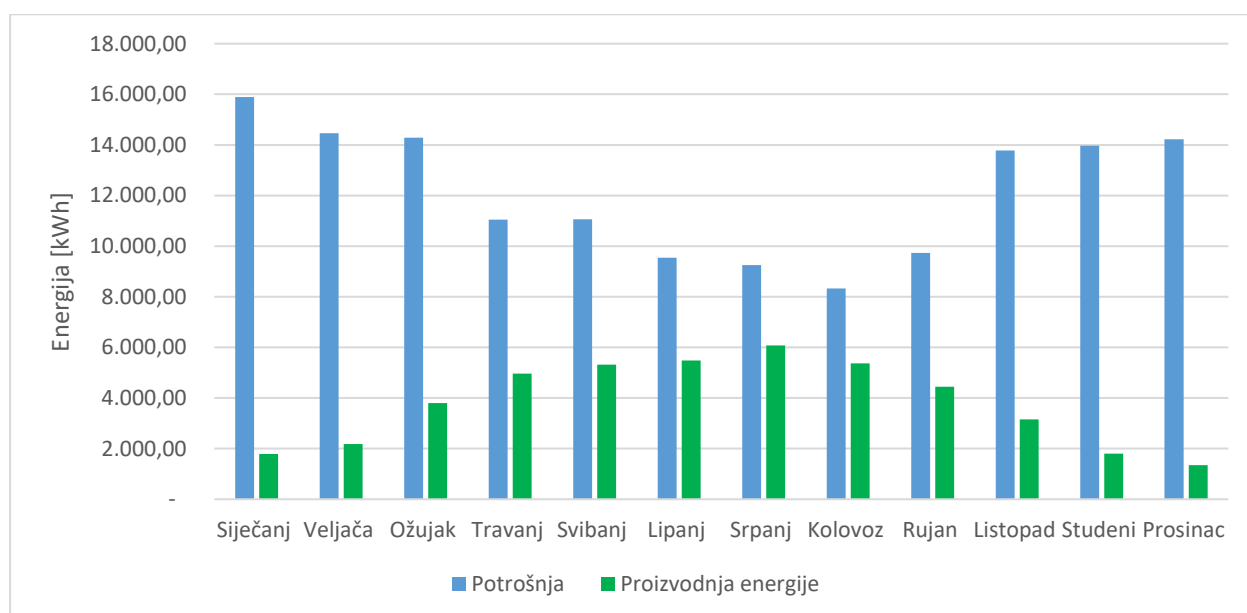
FNE snage 40 kW	
Stavka	Cijena
FN modul	118.400,00 kn
Izmjenjivač 20 kW	30.000,00 kn
Smart logger	5.000,00 kn
Meteorološka postaja	3.500,00 kn
Konstrukcija	15.000,00 kn
DC ormarić	5.000,00 kn
AC ormarić	10.000,00 kn
DC kabele	5.600,00 kn
Konektori za module	1.250,00 kn
AC kabele	7.000,00 kn
kabel za izjednačenje potencijala	4.500,00 kn
mrežni kabel	5.000,00 kn
Instalacijski pribor	5.000,00 kn
Zaštitna oprema i uzemljenje	7.600,00 kn
Montaža i puštanje u rad	7.044,96 kn
<b>Cijena bez poreza</b>	<b>229.894,96 kn</b>
<b>Cijena s PDV-om</b>	<b>287.368,70 kn</b>

Iz tablice 4.1. se može vidjeti kako ukupna cijena investicije fotonaponske elektrane snage 40 kW iznosi 287.368,70 kn. Troškovi održavanja koji nisu navedeni u tablici tipično iznose oko 2% investicije na godišnjoj razini te su uzeti u obzir u simulaciji u programu „PV\*SOL Premium“.

Uz pomoć mogućnosti simulacije raznih scenarija i parametara, u programu „PV\*SOL Premium“ izračunati su mjesečni tokovi energije za sustav snage 40 kW. U tablici 4.2. se može vidjeti mjesečni tok električne energije na mjesečnoj razini. Iz tablice 4.2. i slike 4.2. se lako može vidjeti kako se potrošnja zgrade i proizvodnja energije ne preklapaju. Najmanje električne energije se troši tijekom ljeta odnosno od mjeseca lipnja do rujna. Jedan od razloga takve potrošnje je taj što studenti ne pohađaju nastavu.

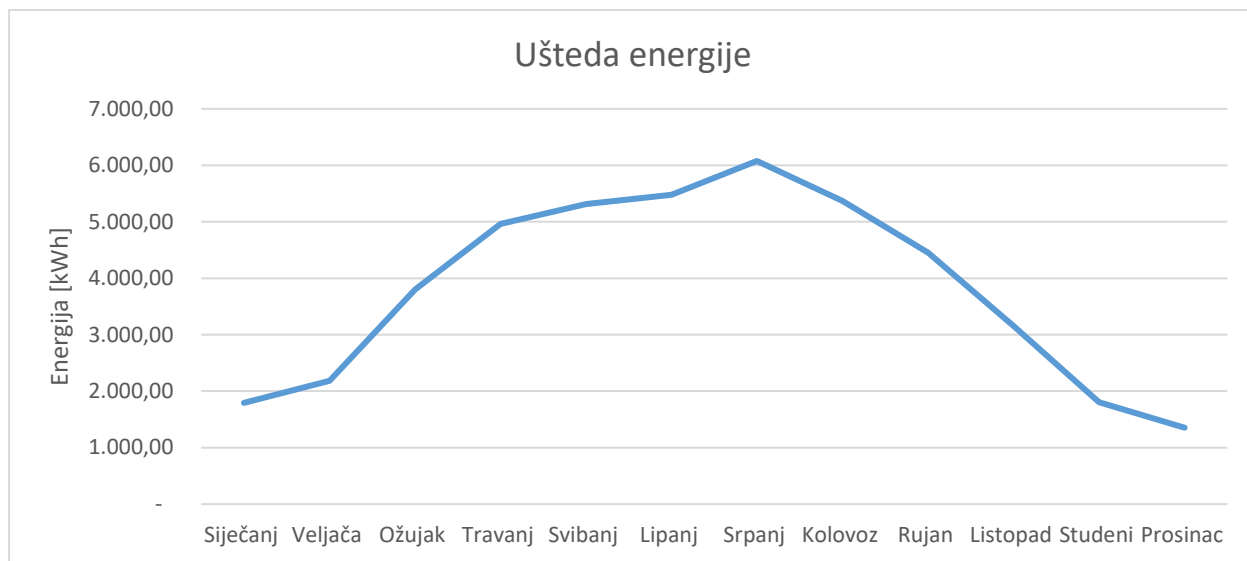
Tablica 4.2. Mjesečni tok energije u elektrani FERIT 2

Mjesec	Potrošnja	Proizvodnja energije	Neto preuzeta energija	Ušteda energije
Jedinica	kWh			
Siječanj	15.886,79	1.793,65	14.093,14	1.793,65
Veljača	14.466,19	2.184,39	12.281,80	2.184,39
Ožujak	14.286,87	3.797,92	10.488,95	3.797,92
Travanj	11.053,05	4.959,95	6.093,10	4.959,95
Svibanj	11.063,26	5.314,58	5.748,68	5.314,58
Lipanj	9.537,74	5.479,27	4.058,47	5.479,27
Srpanj	9.248,03	6.076,96	3.171,07	6.076,96
Kolovoz	8.333,40	5.370,65	2.962,75	5.370,65
Rujan	9.737,62	4.451,02	5.286,60	4.451,02
Listopad	13.781,33	3.156,17	10.625,16	3.156,17
Studeni	13.971,14	1.805,36	12.165,78	1.805,36
Prosinac	14.223,57	1.352,94	12.870,63	1.352,94
<b>Ukupno</b>	<b>145.588,99</b>	<b>45.742,86</b>	<b>99.846,13</b>	<b>45.742,86</b>



Sl. 4.2. Grafički prikaz proizvodnje i potrošnje energije tijekom godine

Sukladno omjeru potrošnje zgrade i proizvodnji električne energije na slici 4.3. se može vidjeti kako su najveće uštede električne energije ostvarene u mjesecima lipnju i srpnju.



**Sl. 4.3.** Prikaz uštete električne energije tijekom godine

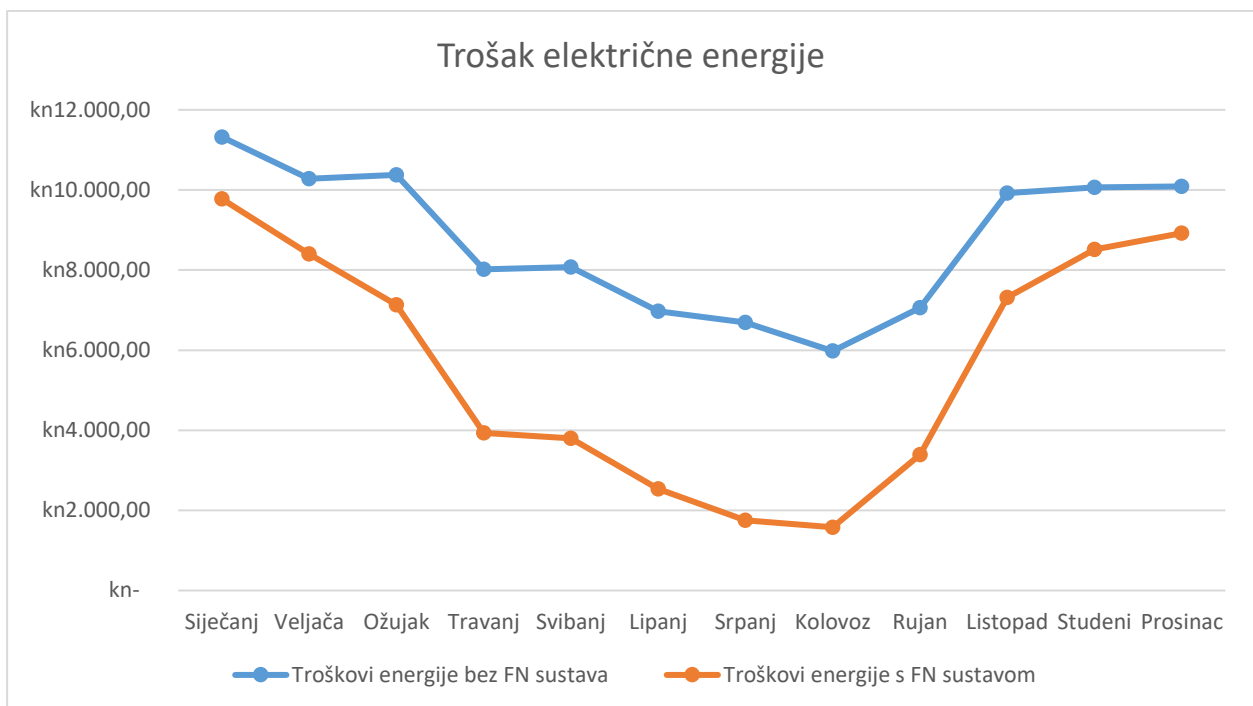
Tablica 4.3. Usporedba troškova energije sa i bez fotonaponske elektrane

Mjesec	Trošak energije bez FN sustava	Trošak energije s FN sustavom	Ušteta na mjesečnom računu
Siječanj	11.321,68 kn	9.774,55 kn	1.547,14 kn
Veljača	10.281,99 kn	8.402,49 kn	1.879,50 kn
Ožujak	10.375,84 kn	7.135,05 kn	3.240,80 kn
Travanj	8.022,22 kn	3.935,88 kn	4.086,34 kn
Svibanj	8.075,64 kn	3.799,63 kn	4.276,02 kn
Lipanj	6.967,70 kn	2.536,80 kn	4.430,90 kn
Srpanj	6.695,10 kn	1.751,02 kn	4.944,07 kn
Kolovoz	5.978,27 kn	1.579,94 kn	4.398,33 kn
Rujan	7.061,37 kn	3.387,74 kn	3.673,63 kn
Listopad	9.920,39 kn	7.312,25 kn	2.608,14 kn
Studeni	10.066,11 kn	8.516,70 kn	1.549,41 kn
Prosinac	10.089,48 kn	8.922,37 kn	1.167,10 kn
<b>Ukupno</b>	<b>104.855,79 kn</b>	<b>67.054,42 kn</b>	<b>37.801,38 kn</b>

Na godišnjoj razini fotonaponska elektrana proizvede 45742,86 kWh za zadovoljenje potreba potrošnje električne energije. Sukladno proizvedenoj energiji, ušteda na godišnjem računu električne energije iznosi 37801,38 kn. Ugradnjom fotonaponske elektrane račun za električnu energiju se na godišnjoj razini smanji za 36%.

Otkupna cijena električne energije je izračunata prema zadnjem mjesečnom računu električne energije zgrade FERIT 1 i iznosi 0,3565 kn/kWh.

Cijene električne energije za višu i nižu tarifu su također izračunate prema zadnjem mjesečnom računu i iznose: za višu tarifu – 0,8623 kn/kWh; za nižu tarifu – 0,51 kn/kWh.



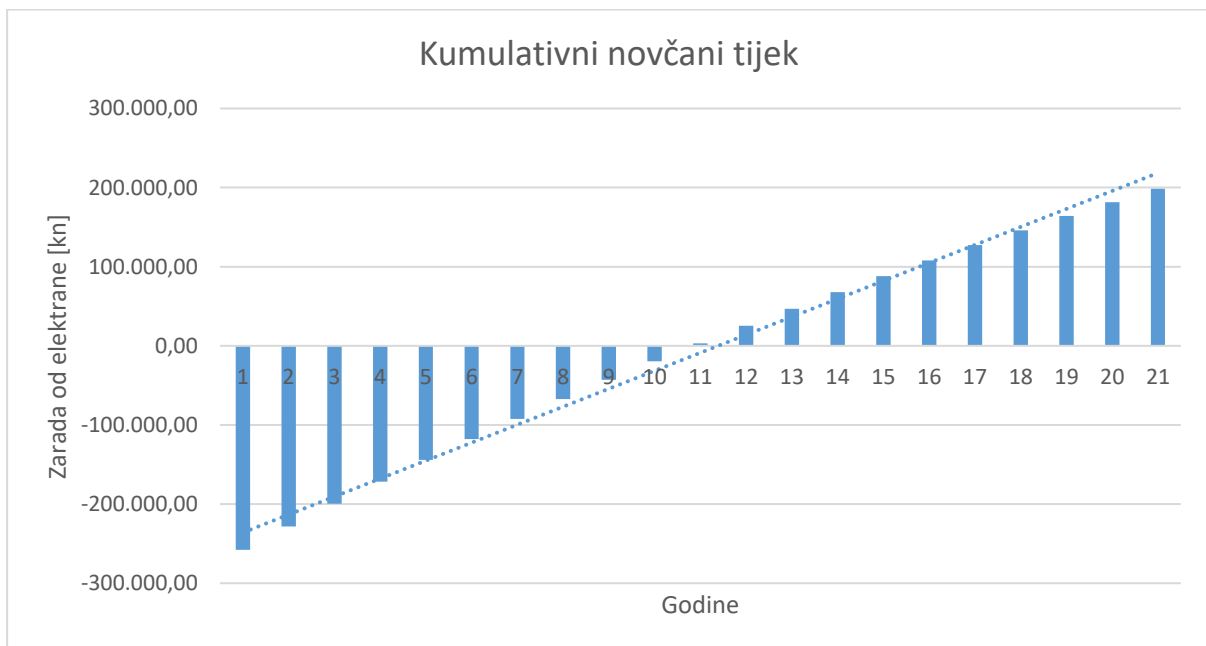
**Sl. 4.4.** Grafički prikaz odnosa troškova električne energije sa i bez FN sustava

Iz grafa na slici 4.4. se može vidjeti da su, sukladno potrošnji zgrade i proizvodnji elektrane, cijene električne energije sa i bez FN sustava proporcionalne.

#### 4.1.1. Analiza isplativosti sustava uz 0% subvencije

Tablica 4.4. Kumulativni novčani tijek bez subvencije

Godina	Investicija	Troškovi rada	Uštede kupnje energije	Godišnji tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-287.368,70 kn	-5.473,69 kn	34.908,10 kn	-257.934,29 kn	-257.934,29 kn
2	0,00 kn	-5.317,30 kn	34.972,70 kn	29.655,40 kn	-228.278,89 kn
3	0,00 kn	-5.165,38 kn	33.973,48 kn	28.808,11 kn	-199.470,78 kn
4	0,00 kn	-5.017,79 kn	33.002,81 kn	27.985,02 kn	-171.485,76 kn
5	0,00 kn	-4.874,43 kn	32.059,87 kn	27.185,44 kn	-144.300,32 kn
6	0,00 kn	-4.735,16 kn	31.143,88 kn	26.408,73 kn	-117.891,59 kn
7	0,00 kn	-4.599,87 kn	30.254,04 kn	25.654,17 kn	-92.237,42 kn
8	0,00 kn	-4.468,44 kn	29.389,66 kn	24.921,22 kn	-67.316,20 kn
9	0,00 kn	-4.340,77 kn	28.549,94 kn	24.209,16 kn	-43.107,04 kn
10	0,00 kn	-4.216,75 kn	27.734,24 kn	23.517,49 kn	-19.589,55 kn
11	0,00 kn	-4.096,27 kn	26.941,82 kn	22.845,55 kn	3.256,00 kn
12	0,00 kn	-3.979,24 kn	26.172,05 kn	22.192,82 kn	25.448,82 kn
13	0,00 kn	-3.865,54 kn	25.424,29 kn	21.558,75 kn	47.007,56 kn
14	0,00 kn	-3.755,10 kn	24.697,89 kn	20.942,79 kn	67.950,35 kn
15	0,00 kn	-3.647,81 kn	23.992,23 kn	20.344,42 kn	88.294,77 kn
16	0,00 kn	-3.543,59 kn	23.306,73 kn	19.763,14 kn	108.057,91 kn
17	0,00 kn	-3.442,34 kn	22.640,83 kn	19.198,49 kn	127.256,40 kn
18	0,00 kn	-3.343,99 kn	21.993,94 kn	18.649,95 kn	145.906,35 kn
19	0,00 kn	-3.248,45 kn	21.365,54 kn	18.117,10 kn	164.023,44 kn
20	0,00 kn	-3.155,63 kn	20.755,10 kn	17.599,47 kn	181.622,91 kn
21	0,00 kn	-3.065,47 kn	20.162,10 kn	17.096,62 kn	198.719,53 kn



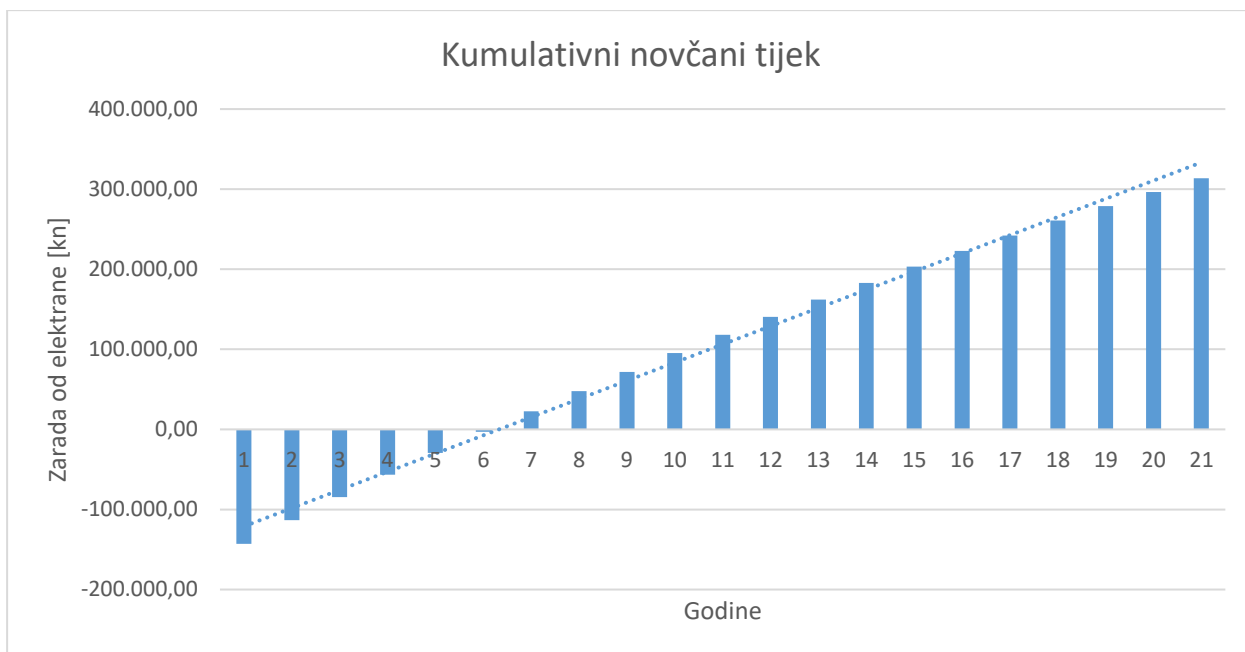
Sl. 4.5. Grafički prikaz povrata investicije za sustav snage 40 kW bez subvencije

Ukupna investicija u sustav snage 40 kW iznosi 287.368,70 kn. Podaci u tablici 4.4. su dobiveni simulacijom scenarija u programu „PV\*SOL Premium“. Povrat investicije uz 0% subvencije iznosi 10,9 godina. Cijena proizvodnje električne energije iznosi 0,64 kn/kWh. Specifični trošak investicije iznosi 7015,84 kn/kWp. Troškovi rada (održavanje i čišćenje) elektrane iznose 2% ukupne investicije. Nakon 20. godine zarada elektrane iznosi 198.719,53 kn

#### 4.1.2. Analiza isplativosti sustava uz 40% subvencije

Tablica 4.5. Kumulativni novčani tijek elektrane snage 40 kW uz subvenciju iznosa 40% ukupne investicije.

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 40% investicije	Uštede kupnje energije	Godišnji tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-287.368,70 kn	-5.473,69 kn	114.947,48 kn	34.908,10 kn	-142.986,81 kn	-142.986,81 kn
2	0,00 kn	-5.317,30 kn	0,00 kn	34.972,70 kn	29.655,40 kn	-113.331,41 kn
3	0,00 kn	-5.165,38 kn	0,00 kn	33.973,48 kn	28.808,10 kn	-84.523,31 kn
4	0,00 kn	-5.017,79 kn	0,00 kn	33.002,81 kn	27.985,02 kn	-56.538,29 kn
5	0,00 kn	-4.874,43 kn	0,00 kn	32.059,87 kn	27.185,44 kn	-29.352,85 kn
6	0,00 kn	-4.735,16 kn	0,00 kn	31.143,88 kn	26.408,72 kn	-2.944,13 kn
7	0,00 kn	-4.599,87 kn	0,00 kn	30.254,04 kn	25.654,17 kn	22.710,04 kn
8	0,00 kn	-4.468,44 kn	0,00 kn	29.389,66 kn	24.921,22 kn	47.631,26 kn
9	0,00 kn	-4.340,77 kn	0,00 kn	28.549,94 kn	24.209,17 kn	71.840,43 kn
10	0,00 kn	-4.216,75 kn	0,00 kn	27.734,24 kn	23.517,49 kn	95.357,92 kn
11	0,00 kn	-4.096,27 kn	0,00 kn	26.941,82 kn	22.845,55 kn	118.203,47 kn
12	0,00 kn	-3.979,24 kn	0,00 kn	26.172,05 kn	22.192,81 kn	140.396,28 kn
13	0,00 kn	-3.865,54 kn	0,00 kn	25.424,29 kn	21.558,75 kn	161.955,03 kn
14	0,00 kn	-3.755,10 kn	0,00 kn	24.697,89 kn	20.942,79 kn	182.897,82 kn
15	0,00 kn	-3.647,81 kn	0,00 kn	23.992,23 kn	20.344,42 kn	203.242,24 kn
16	0,00 kn	-3.543,59 kn	0,00 kn	23.306,73 kn	19.763,14 kn	223.005,38 kn
17	0,00 kn	-3.442,34 kn	0,00 kn	22.640,83 kn	19.198,49 kn	242.203,87 kn
18	0,00 kn	-3.343,99 kn	0,00 kn	21.993,94 kn	18.649,95 kn	260.853,82 kn
19	0,00 kn	-3.248,45 kn	0,00 kn	21.365,54 kn	18.117,09 kn	278.970,91 kn
20	0,00 kn	-3.155,63 kn	0,00 kn	20.755,10 kn	17.599,47 kn	296.570,38 kn
21	0,00 kn	-3.065,47 kn	0,00 kn	20.162,10 kn	17.096,63 kn	313.667,01 kn



**Sl. 4.6.** Grafički prikaz povrata investicije za sustav snage 40 kW uz subvenciju od 40%

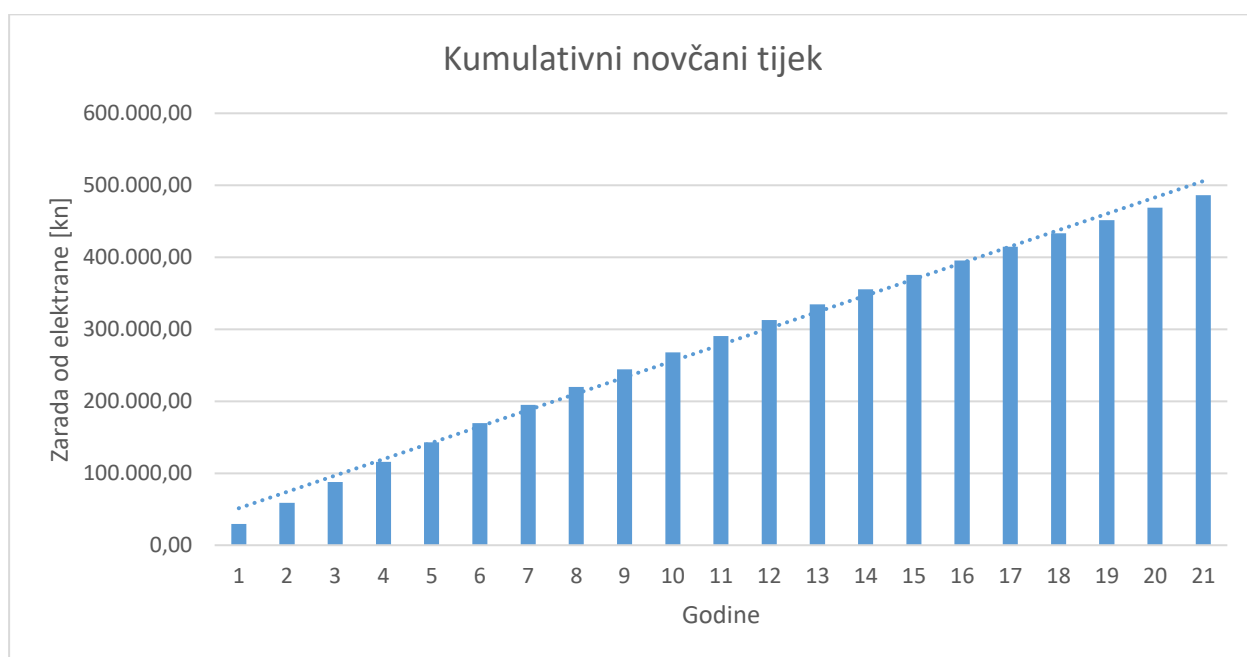
U ovom scenariju je u tablici 4.5. prikazan kumulativni tijek novca u slučaju državne subvencije iznosa 40% investicije. U ovom slučaju subvencija iznosi 113.974,48 kn. Povrat investicije uz subvenciju od 40% iznosi 6,1 godinu, što je vidljivo iz grafa na slici 4.6. Troškovi rada elektrane su isti. Nakon 20. godine zarada elektrane u ovom slučaju iznosi 313.667,01 kn.

#### 4.1.3. Analiza isplativosti sustava uz 100% subvencije

Tablica 4.6. Kumulativni novčani tijek elektrane snage 40 kW uz subvenciju iznosa 100% ukupne investicije.

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 100% investicije	Uštede kupnje energije	Godišnji tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-287.368,70 kn	-5.473,69 kn	287.368,70 kn	34.908,10 kn	29.434,41 kn	29.434,41 kn
2	0,00 kn	-5.317,30 kn	0,00 kn	34.972,70 kn	29.655,40 kn	59.089,81 kn
3	0,00 kn	-5.165,38 kn	0,00 kn	33.973,48 kn	28.808,11 kn	87.897,92 kn
4	0,00 kn	-5.017,79 kn	0,00 kn	33.002,81 kn	27.985,02 kn	115.882,94 kn
5	0,00 kn	-4.874,43 kn	0,00 kn	32.059,87 kn	27.185,44 kn	143.068,38 kn
6	0,00 kn	-4.735,16 kn	0,00 kn	31.143,88 kn	26.408,73 kn	169.477,11 kn
7	0,00 kn	-4.599,87 kn	0,00 kn	30.254,04 kn	25.654,17 kn	195.131,28 kn
8	0,00 kn	-4.468,44 kn	0,00 kn	29.389,66 kn	24.921,22 kn	220.052,50 kn
9	0,00 kn	-4.340,77 kn	0,00 kn	28.549,94 kn	24.209,16 kn	244.261,66 kn
10	0,00 kn	-4.216,75 kn	0,00 kn	27.734,24 kn	23.517,49 kn	267.779,15 kn
11	0,00 kn	-4.096,27 kn	0,00 kn	26.941,82 kn	22.845,55 kn	290.624,70 kn
12	0,00 kn	-3.979,24 kn	0,00 kn	26.172,05 kn	22.192,82 kn	312.817,52 kn

13	0,00 kn	-3.865,54 kn	0,00 kn	25.424,29 kn	21.558,75 kn	334.376,26 kn
14	0,00 kn	-3.755,10 kn	0,00 kn	24.697,89 kn	20.942,79 kn	355.319,05 kn
15	0,00 kn	-3.647,81 kn	0,00 kn	23.992,23 kn	20.344,42 kn	375.663,47 kn
16	0,00 kn	-3.543,59 kn	0,00 kn	23.306,73 kn	19.763,14 kn	395.426,61 kn
17	0,00 kn	-3.442,34 kn	0,00 kn	22.640,83 kn	19.198,49 kn	414.625,10 kn
18	0,00 kn	-3.343,99 kn	0,00 kn	21.993,94 kn	18.649,95 kn	433.275,05 kn
19	0,00 kn	-3.248,45 kn	0,00 kn	21.365,54 kn	18.117,10 kn	451.392,14 kn
20	0,00 kn	-3.155,63 kn	0,00 kn	20.755,10 kn	17.599,47 kn	468.991,61 kn
21	0,00 kn	-3.065,47 kn	0,00 kn	20.162,10 kn	17.096,62 kn	486.088,23 kn



**Sl. 4.7.** Grafčki prikaz povrata investicije za sustav snage 40 kW uz subvenciju iznosa 100%

U ovom slučaju povrat investicije iznosi 0,00 godina s obzirom da je cijela investicija pokrivena subvencijom. Ovaj slučaj je specifičan za fotonaponsku elektranu FERIT 2 s obzirom da su sredstva za izgradnju elektrane dobivena iz „RESCUE projekta: Obnovljivi izvori energije za pametne održive zdravstvene centre i sveučilišne edukacijske javne zgrade“ (engl. IPA Croatia Serbia RESCUE project: Renewable Energy Sources for Smart sustainable Health Centers and University Education and other public buildings project,). Cijena proizvodnje električne energije u ovom slučaju iznosi 0,15 kn/kWh. Nakon 20. godine, zarada elektrane iznosi 486.088,23 kn.



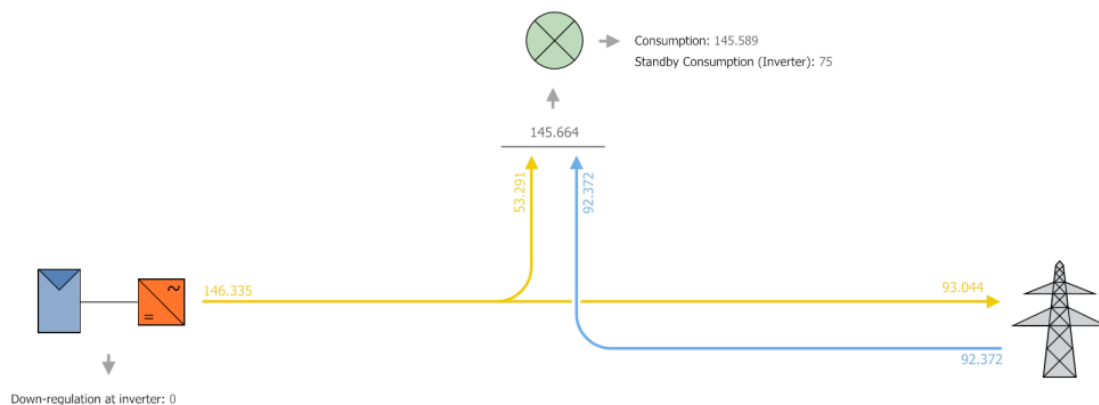
## 4.2. Analiza isplativosti skaliranog sustava snage 135 kW

Fotonaponski sustav snage 135 kW skaliran prema potrošnji zgrade s ciljem dobivanja neto 0 zgrade. Cilj neto 0 zgrade je da razlika između preuzete energije iz mreže i predane energije u mrežu iznosi 0 kWh/godišnje.

Ovaj sustav se sastoji od 424 fotonaponskih panela „SUNCECO SEM 320W“. U konfiguraciji sustava korišteno je 7 izmjenjivača. Šest izmjenjivača „FRONIUS SYMO 20.0--M“ i jedan „FRONIUS SYMO 12,5-3-M“.

### Energy Flow Graph

Project: FERIT2 - 135kW



Sl. 4.8. Tok energije fotonaponske elektrane snage skalirane prema potrošnji

Na slici 4.8. je prikazan tok energije elektrane snage 135 kW. Sa slike 4.8 se može iščitati kako fotonaponska elektrana na godišnjoj razini proizvede 146335 kWh električne energije. Od toga na zadovoljenje potrošnje odlazi 53291 kWh. U mrežu je predano 93044 kWh energije dok je iz mreže preuzeto 92372 kWh energije za zadovoljenje potrošnje zgrade.

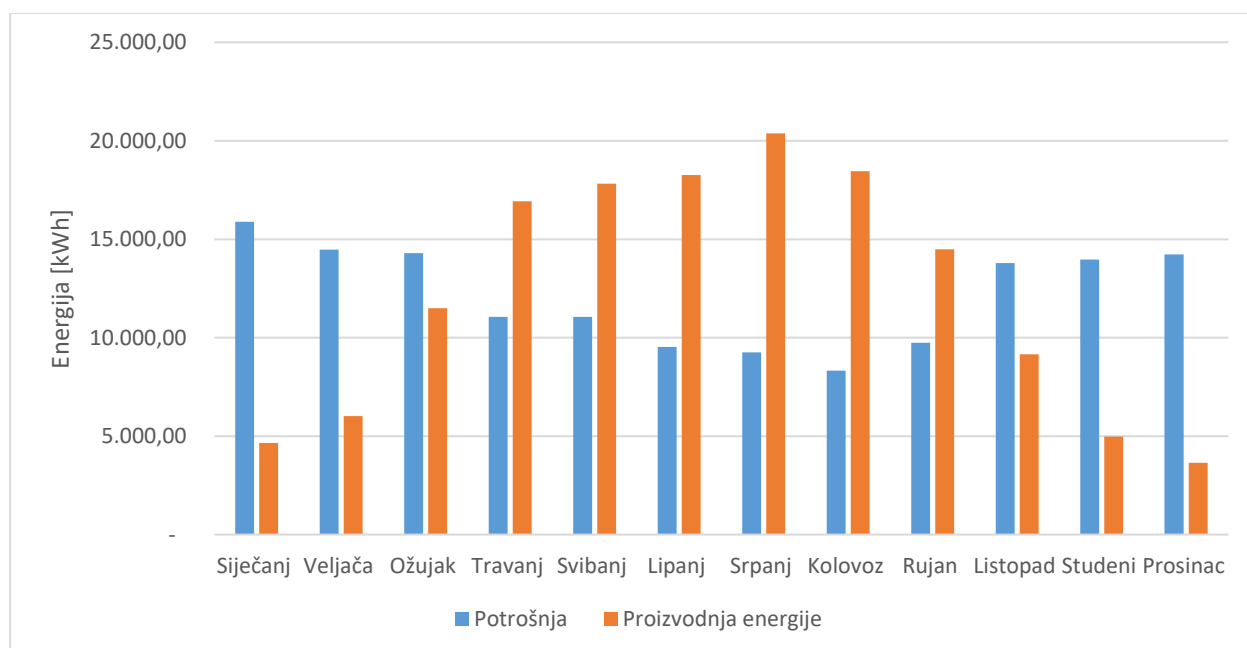
Investicijski troškovi elektrane snage 135 kW su izračunati i/ili skalirani iz troškovnika izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 2. Ukupni troškovi investicije s PDV-om iznose 802.500,00 kn. Troškovi održavanja koji nisu navedeni u tablici tipično iznose oko 2% investicije na godišnjoj razini te su uzeti u obzir u simulaciji u programu „PV\*SOL Premium“.

Tablica 4.7. Cijene po komponentama za elektranu snage 135 kW.

<b>FNE snage 135 kW</b>	
Stavka	Cijena
FN modul	392.200,00 kn
Izmjenjivač 20 kW	75.000,00 kn
Izmjenjivač 12,5 kW	9.000,00 kn
Smart logger	5.000,00 kn
Meteorološka postaja	3.500,00 kn
Konstrukcija	45.000,00 kn
DC ormarić	10.000,00 kn
AC ormarić	20.000,00 kn
DC kabeli	9.800,00 kn
Konektori za module	5.500,00 kn
AC kabeli	14.000,00 kn
kabel za izjednačenje potencijala	6.600,00 kn
Mrežni kabel	5.000,00 kn
Instalacijski pribor	10.000,00 kn
Zaštitna oprema i uzemljenje	16.000,00 kn
Montaža i puštanje u rad	15.400,00 kn
<b>Cijena bez poreza</b>	<b>642.000,00 kn</b>
<b>Cijena s PDV-om</b>	<b>802.500,00 kn</b>

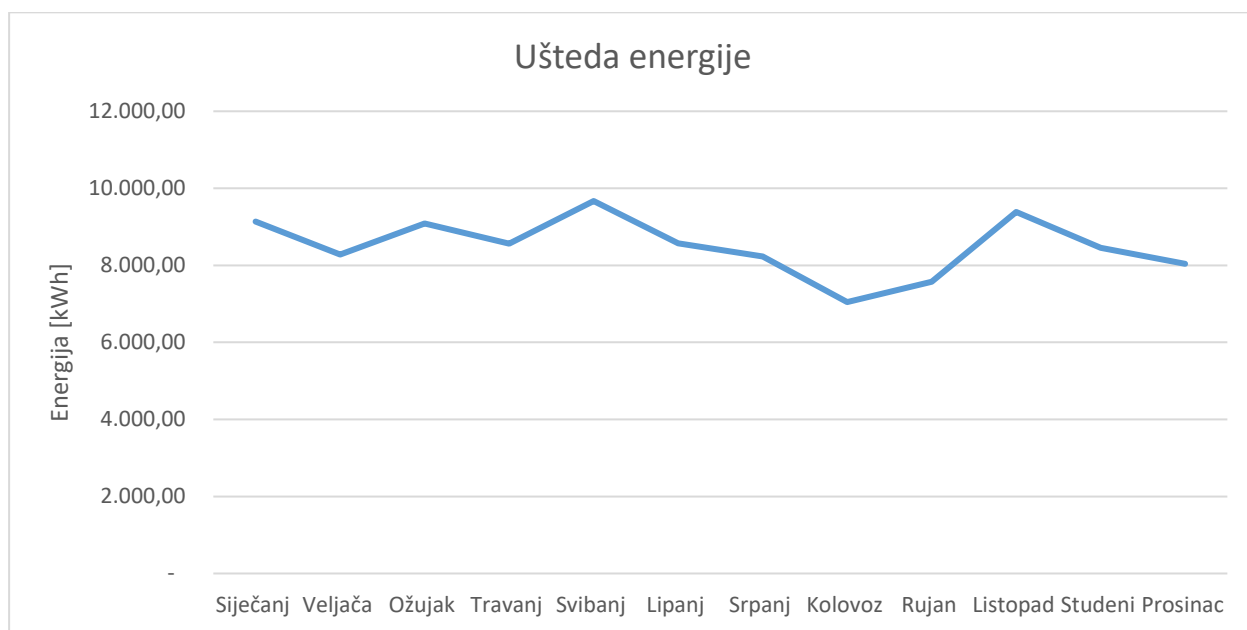
Tablica 4.8. Mjesečni tok energije u elektrani snage 135 kW

Mjesec	Potrošnja	Proizvodnja energije	Neto preuzeta energija	Ušteda energije
Jedinica	kWh			
Siječanj	15.886,79	4.656,83	11.229,96	9.133,55
Veljača	14.466,19	6.015,93	8.450,26	8.280,89
Ožujak	14.286,87	11.491,94	2.794,93	9.089,28
Travanj	11.053,05	16.921,36	- 5.868,31	8.565,42
Svibanj	11.063,26	17.822,77	- 6.759,51	9.670,44
Lipanj	9.537,74	18.264,97	- 8.727,23	8.572,45
Srpanj	9.248,03	20.368,45	- 11.120,42	8.230,47
Kolovoz	8.333,40	18.447,28	- 10.113,88	7.046,52
Rujan	9.737,62	14.496,21	- 4.758,59	7.578,50
Listopad	13.781,33	9.159,64	4.621,69	9.382,42
Studeni	13.971,14	4.975,07	8.996,07	8.452,07
Prosinac	14.223,57	3.640,25	10.583,32	8.043,76
<b>Ukupno</b>	<b>145.588,99</b>	<b>146.260,70</b>	<b>- 671,71</b>	<b>102.045,77</b>



Sl. 4.9. Grafički prikaz proizvodnje i potrošnje energije tijekom godine

Podaci u tablici 4.8 su rezultat simulacije scenarija i prikazuju mjesečni tok energije snage 135kW. Iz rezultata simulacije proizvodnje električne energije se može vidjeti kako na razini godine fotonaponska elektrana proizvede 671,71 kWh viška energije. Ugradnjom fotonaponske elektrane snage 135 kW bi se ostvarila ušteda energije od 102045,77 kWh godišnje.

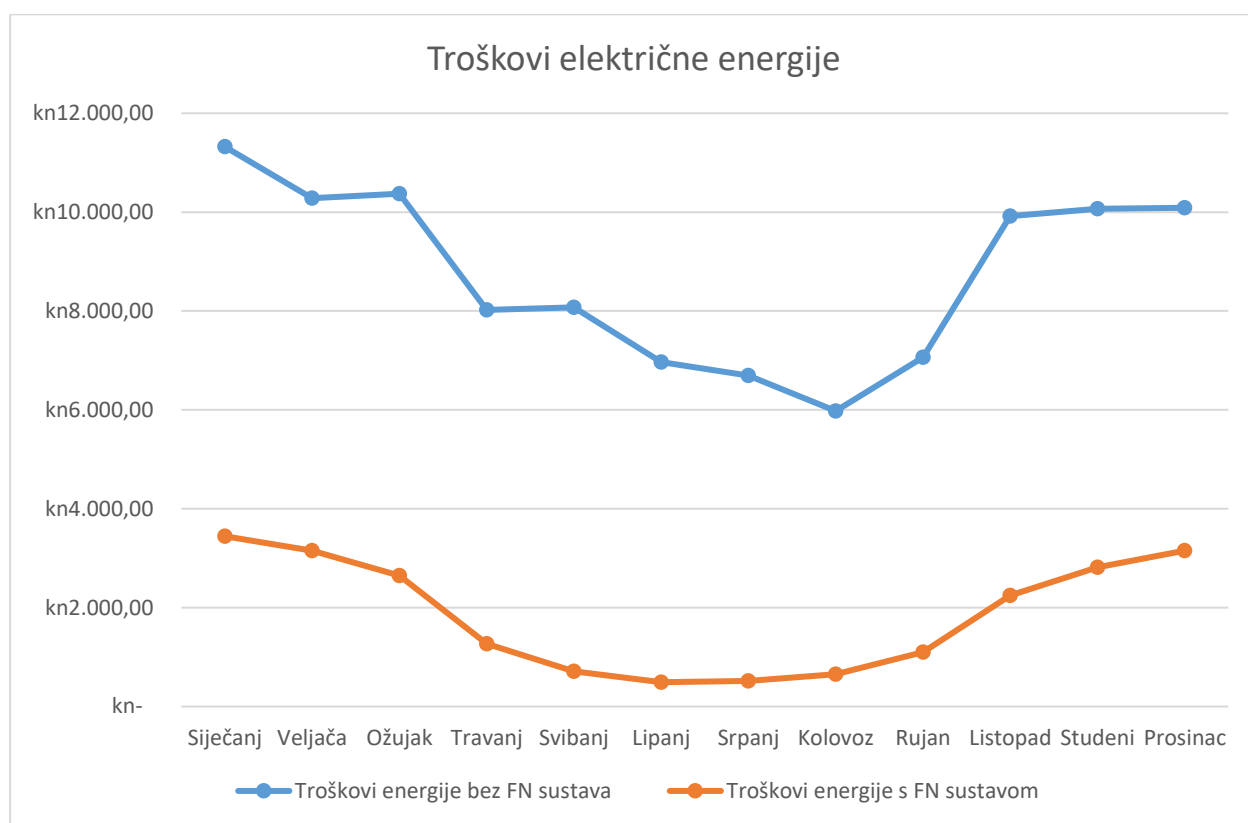


**Sl. 4.10.** Prikaz uštede električne energije tijekom godine

Tablica 4.9. Usporedba cijene energije sa i bez fotonaponske elektrane

Mjesec	Trošak energije bez FN sustava	Trošak energije s FN sustavom	Ušteda na mjesečnom računu
Siječanj	11.321,68 kn	3.444,15 kn	7.877,53 kn
Veljača	10.281,99 kn	3.154,51 kn	7.127,49 kn
Ožujak	10.375,84 kn	2.650,77 kn	7.725,07 kn
Travanj	8.022,22 kn	1.268,69 kn	6.753,52 kn
Svibanj	8.075,64 kn	710,34 kn	7.365,30 kn
Lipanj	6.967,70 kn	492,30 kn	6.475,40 kn
Srpanj	6.695,10 kn	518,95 kn	6.176,14 kn
Kolovoz	5.978,27 kn	656,31 kn	5.321,96 kn
Rujan	7.061,37 kn	1.101,15 kn	5.960,22 kn
Listopad	9.920,39 kn	2.243,45 kn	7.676,94 kn

Studeni	10.066,11 kn	2.814,73 kn	7.251,38 kn
Prosinac	10.089,48 kn	3.151,70 kn	6.937,78 kn
<b>Ukupno</b>	<b>104.855,79 kn</b>	<b>22.207,05 kn</b>	<b>82.648,73 kn</b>



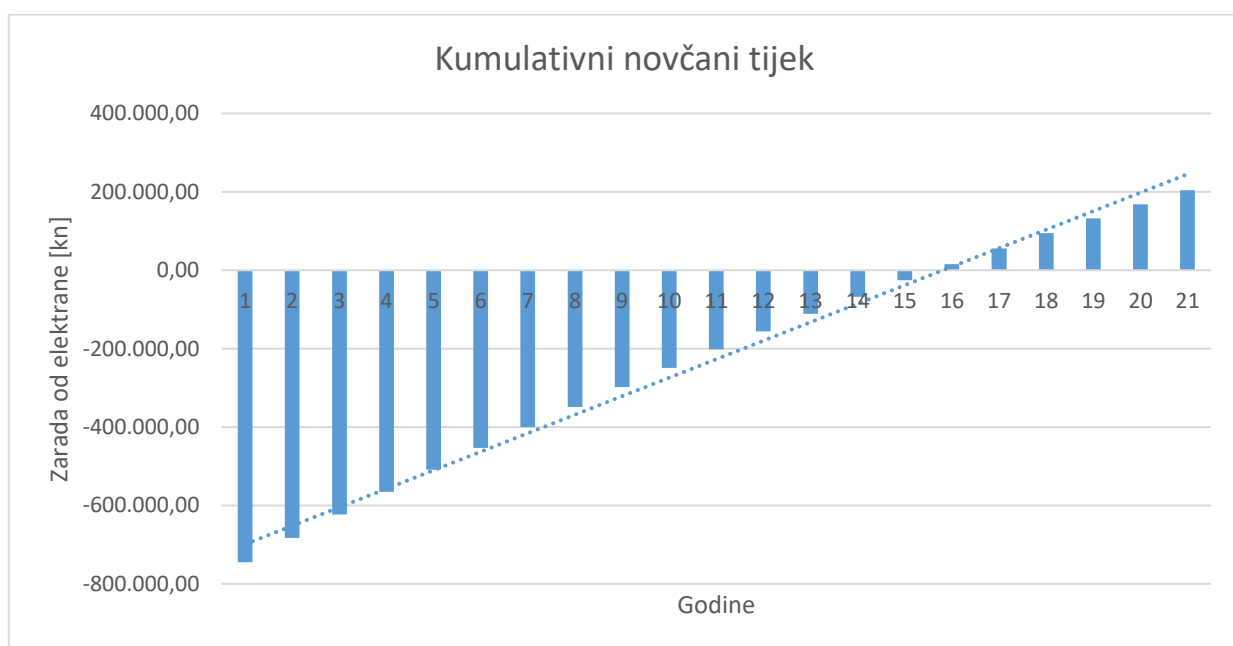
**Sl. 4.11.** *Grafički prikaz odnosa troškova električne energije sa i bez FN sustava*

Na godišnjoj razini fotonaponska elektrana proizvede 146260,70 kWh za zadovoljenje potreba potrošnje električne energije. Simulacijom se dobije podatak kako bi ostvarena ušteda na računu električne energije iznosila 82.648,73 kn odnosno 78,8%. Tijekom ljetnih mjeseci račun za električnu energiju bi bio minimalan, odnosno onoliki za zadovoljenje potrošnje energije noću s obzirom da fotonaponski sustav ne sadrži baterijske spremnike. Otkupna cijena i kupovna cijena električne energije su iste kao u slučaju fotonaponske elektrane snage 40 kW.

#### 4.2.1. Analiza isplativosti sustava uz 0% subvencije

Tablica 4.10. Kumulativni novčani tijek bez subvencije

Godina	Investicija	Troškovi rada	Uštede kupnje energije	Godišnji tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-802.500,00 kn	-15.285,71 kn	73.146,77 kn	-744.638,94 kn	-744.638,94 kn
2	0,00 kn	-14.848,98 kn	76.464,13 kn	61.615,15 kn	-683.023,79 kn
3	0,00 kn	-14.424,72 kn	74.279,44 kn	59.854,72 kn	-623.169,07 kn
4	0,00 kn	-14.012,59 kn	72.157,17 kn	58.144,59 kn	-565.024,48 kn
5	0,00 kn	-13.612,23 kn	70.095,53 kn	56.483,30 kn	-508.541,18 kn
6	0,00 kn	-13.223,31 kn	68.092,82 kn	54.869,51 kn	-453.671,67 kn
7	0,00 kn	-12.845,50 kn	66.147,28 kn	53.301,78 kn	-400.369,89 kn
8	0,00 kn	-12.478,48 kn	64.257,40 kn	51.778,91 kn	-348.590,98 kn
9	0,00 kn	-12.121,96 kn	62.421,43 kn	50.299,48 kn	-298.291,50 kn
10	0,00 kn	-11.775,61 kn	60.638,01 kn	48.862,39 kn	-249.429,11 kn
11	0,00 kn	-11.439,17 kn	58.905,45 kn	47.466,28 kn	-201.962,83 kn
12	0,00 kn	-11.112,34 kn	57.222,44 kn	46.110,11 kn	-155.852,72 kn
13	0,00 kn	-10.794,84 kn	55.587,54 kn	44.792,70 kn	-111.060,02 kn
14	0,00 kn	-10.486,42 kn	53.999,33 kn	43.512,91 kn	-67.547,11 kn
15	0,00 kn	-10.186,80 kn	52.456,49 kn	42.269,68 kn	-25.277,43 kn
16	0,00 kn	-9.895,75 kn	50.957,71 kn	41.061,95 kn	15.784,53 kn
17	0,00 kn	-9.613,02 kn	49.501,80 kn	39.888,78 kn	55.673,30 kn
18	0,00 kn	-9.338,36 kn	48.087,43 kn	38.749,07 kn	94.422,38 kn
19	0,00 kn	-9.071,55 kn	46.713,51 kn	37.641,96 kn	132.064,34 kn
20	0,00 kn	-8.812,36 kn	45.378,84 kn	36.566,48 kn	168.630,83 kn
21	0,00 kn	-8.560,58 kn	44.082,30 kn	35.521,72 kn	204.152,54 kn



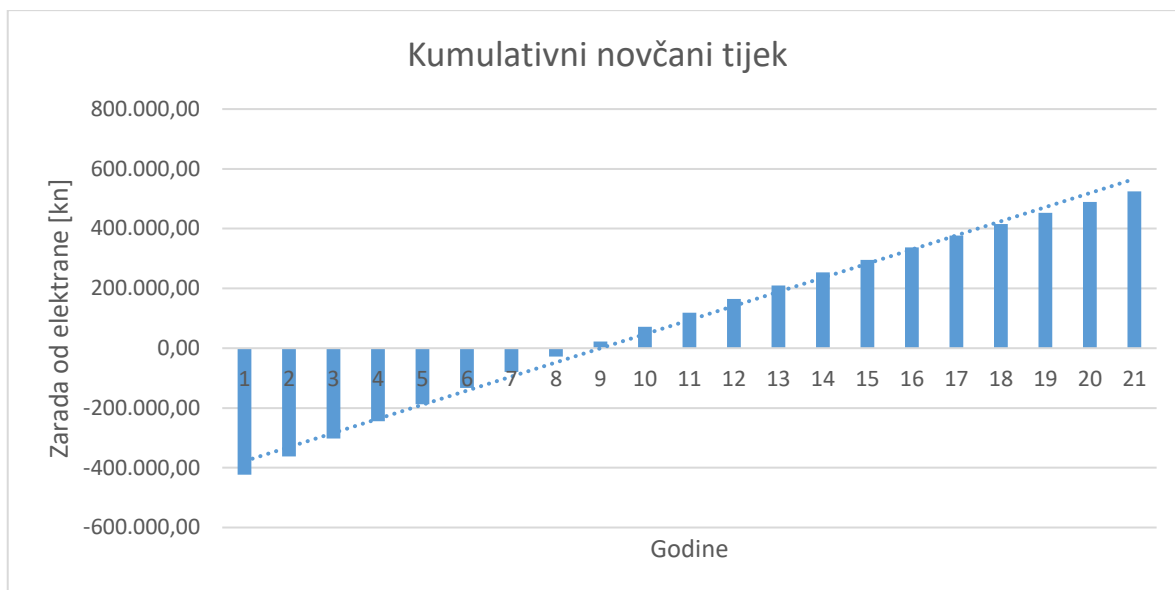
Sl. 4.12. Grafički prikaz povrata investicije za sustav snage 135 kW bez subvencije

Ukupna investicija u sustav snage 135 kW iznosi 802.500,00 kn. Podaci u tablici 4.10. su dobiveni simulacijom scenarija u programu „PV\*SOL Premium“. Povrat investicije uz 0% subvencije bi iznosio 15,6 godina. Cijena proizvodnje električne energije iznosi 0,56 kn/kWh. Specifični trošak investicije iznosi 5.914,65 kn/kWp. Troškovi rada (održavanje i čišćenje) elektrane iznose 2% ukupne investicije. Nakon 20. godine zarada elektrane iznosi 204.152,54 kn

#### 4.2.2. Analiza isplativosti sustava uz 40% subvencije

Tablica 4.11. Kumulativni novčani tijek uz subvenciju iznosa 40% ukupne investicije.

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 40% investicije	Uštede kupnje energije	Godišnji tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-802.500,00 kn	-15.285,71 kn	321.000,00 kn	73.146,77 kn	-423.638,94 kn	-423.638,94 kn
2	0,00 kn	-14.848,98 kn	0,00 kn	76.464,13 kn	61.615,15 kn	-362.023,79 kn
3	0,00 kn	-14.424,72 kn	0,00 kn	74.279,44 kn	59.854,72 kn	-302.169,07 kn
4	0,00 kn	-14.012,59 kn	0,00 kn	72.157,17 kn	58.144,59 kn	-244.024,48 kn
5	0,00 kn	-13.612,23 kn	0,00 kn	70.095,53 kn	56.483,30 kn	-187.541,18 kn
6	0,00 kn	-13.223,31 kn	0,00 kn	68.092,82 kn	54.869,51 kn	-132.671,67 kn
7	0,00 kn	-12.845,50 kn	0,00 kn	66.147,28 kn	53.301,78 kn	-79.369,89 kn
8	0,00 kn	-12.478,48 kn	0,00 kn	64.257,40 kn	51.778,91 kn	-27.590,98 kn
9	0,00 kn	-12.121,96 kn	0,00 kn	62.421,43 kn	50.299,48 kn	22.708,50 kn
10	0,00 kn	-11.775,61 kn	0,00 kn	60.638,01 kn	48.862,39 kn	71.570,89 kn
11	0,00 kn	-11.439,17 kn	0,00 kn	58.905,45 kn	47.466,28 kn	119.037,17 kn
12	0,00 kn	-11.112,34 kn	0,00 kn	57.222,44 kn	46.110,11 kn	165.147,28 kn
13	0,00 kn	-10.794,84 kn	0,00 kn	55.587,54 kn	44.792,70 kn	209.939,98 kn
14	0,00 kn	-10.486,42 kn	0,00 kn	53.999,33 kn	43.512,91 kn	253.452,89 kn
15	0,00 kn	-10.186,80 kn	0,00 kn	52.456,49 kn	42.269,68 kn	295.722,57 kn
16	0,00 kn	-9.895,75 kn	0,00 kn	50.957,71 kn	41.061,95 kn	336.784,53 kn
17	0,00 kn	-9.613,02 kn	0,00 kn	49.501,80 kn	39.888,78 kn	376.673,30 kn
18	0,00 kn	-9.338,36 kn	0,00 kn	48.087,43 kn	38.749,07 kn	415.422,38 kn
19	0,00 kn	-9.071,55 kn	0,00 kn	46.713,51 kn	37.641,96 kn	453.064,34 kn
20	0,00 kn	-8.812,36 kn	0,00 kn	45.378,84 kn	36.566,48 kn	489.630,83 kn
21	0,00 kn	-8.560,58 kn	0,00 kn	44.082,30 kn	35.521,72 kn	525.152,54 kn



Sl. 4.13. Grafički prikaz povrata investicije za sustav snage 135 kW uz subvenciju od 40%

U ovom scenariju je u tablici 4.11. prikazan kumulativni tijek novca u slučaju državne subvencije iznosa 40% investicije. U ovom slučaju subvencija iznosi 321.000,00 kn. Povrat investicije uz subvenciju od 40% iznosi 8,5 godina, što je vidljivo iz grafa na slici 4.6. Troškovi rada elektrane su isti. Cijena proizvodnje električne energije iznosi 0,39 kn/kWh. Nakon 20. godine zarada elektrane u ovom slučaju iznosi 525.152,54 kn.

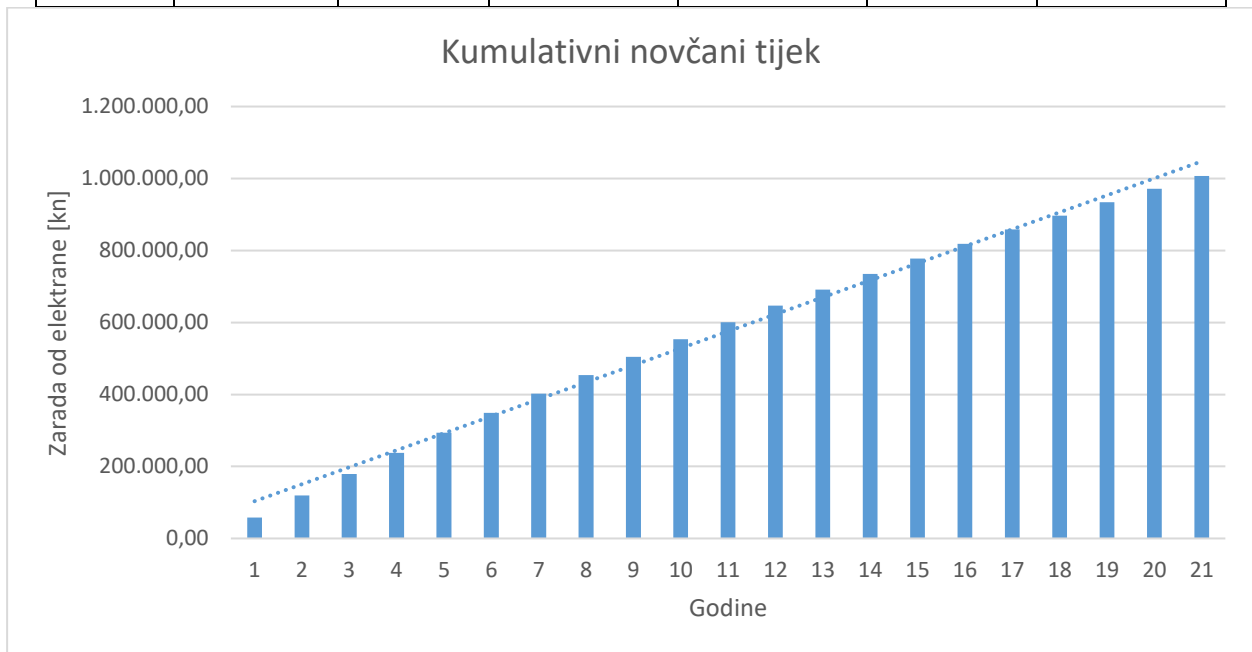
#### 4.2.3. Analiza isplativosti sustava uz 100% subvencije

Tablica 4.12. Kumulativni novčani tijek elektrane snage 135 kW uz subvenciju iznosa 100% ukupne investicije.

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 100% investicije	Uštede kupnje energije	Godišnji tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-802.500,00 kn	-15.285,71 kn	802.500,00 kn	73.146,77 kn	57.861,06 kn	57.861,06 kn
2	0,00 kn	-14.848,98 kn	0,00 kn	76.464,13 kn	61.615,15 kn	119.476,21 kn
3	0,00 kn	-14.424,72 kn	0,00 kn	74.279,44 kn	59.854,72 kn	179.330,93 kn
4	0,00 kn	-14.012,59 kn	0,00 kn	72.157,17 kn	58.144,59 kn	237.475,52 kn
5	0,00 kn	-13.612,23 kn	0,00 kn	70.095,53 kn	56.483,30 kn	293.958,82 kn
6	0,00 kn	-13.223,31 kn	0,00 kn	68.092,82 kn	54.869,51 kn	348.828,33 kn
7	0,00 kn	-12.845,50 kn	0,00 kn	66.147,28 kn	53.301,78 kn	402.130,11 kn
8	0,00 kn	-12.478,48 kn	0,00 kn	64.257,40 kn	51.778,91 kn	453.909,02 kn
9	0,00 kn	-12.121,96 kn	0,00 kn	62.421,43 kn	50.299,48 kn	504.208,50 kn
10	0,00 kn	-11.775,61 kn	0,00 kn	60.638,01 kn	48.862,39 kn	553.070,89 kn
11	0,00 kn	-11.439,17 kn	0,00 kn	58.905,45 kn	47.466,28 kn	600.537,17 kn
12	0,00 kn	-11.112,34 kn	0,00 kn	57.222,44 kn	46.110,11 kn	646.647,28 kn
13	0,00 kn	-10.794,84 kn	0,00 kn	55.587,54 kn	44.792,70 kn	691.439,98 kn
14	0,00 kn	-10.486,42 kn	0,00 kn	53.999,33 kn	43.512,91 kn	734.952,89 kn



15	0,00 kn	-10.186,80 kn	0,00 kn	52.456,49 kn	42.269,68 kn	777.222,57 kn
16	0,00 kn	-9.895,75 kn	0,00 kn	50.957,71 kn	41.061,95 kn	818.284,53 kn
17	0,00 kn	-9.613,02 kn	0,00 kn	49.501,80 kn	39.888,78 kn	858.173,30 kn
18	0,00 kn	-9.338,36 kn	0,00 kn	48.087,43 kn	38.749,07 kn	896.922,38 kn
19	0,00 kn	-9.071,55 kn	0,00 kn	46.713,51 kn	37.641,96 kn	934.564,34 kn
20	0,00 kn	-8.812,36 kn	0,00 kn	45.378,84 kn	36.566,48 kn	971.130,83 kn
21	0,00 kn	-8.560,58 kn	0,00 kn	44.082,30 kn	35.521,72 kn	1.006.652,54 kn



**Sl. 4.14.** Grafički prikaz povrata investicije za sustav snage 135 kW uz subvenciju iznosa 100%

U ovom slučaju subvencija iznosi 100% cijene investicije, odnosno 802.500,00 kn. Elektrana u prvoj godini ostvaruje dobit od 57.861,06 kn. Cijena proizvodnje električne energije iznosi 0,13 kn/kWh. Nakon 20. godine zarada elektrane iznosi 1.006.652,54 kn.

## 5. Zaključak

Do prije desetak godina fotonaponski sustavi su bili relativno skupi i najčešće su se koristili kao samostojeći sustavi na mjestima gdje nije postojala elektroenergetska struktura ili u slučaju potrebe neprekidnog napajanja dijelova mreže. Razvitkom tehnologija i smanjenjem cijene fotonaponski sustavi nude veću konkurentnost na tržištu i danas nalaze sve veću primjenu kao distribuirana proizvodnja. Velika prednost fotonaponskih sustava je ta što će se investicijski troškovi instaliranih fotonaponskih sustava isplatiti relativno brzo s obzirom na geografski položaj Republike Hrvatske.

U teorijskom dijelu diplomskog rada su opisane vrste fotonaponskih ćelija s njihovim karakteristikama, prednostima i manama. Zatim su opisane vrste fotonaponskih sustava s obzirom na spajanje s mrežom i obzirom na način postavljanja i instalacije. Cilj diplomskog rada je bio projektirati postojeći fotonaponski sustav i kroz simulacije u programu „PV\*SOL Premium“ napraviti ekonomsku analizu troškova i isplativost sustava. Na temelju rezultata mjerenja potrošnje zgrade u 15-minutnim intervalima i unosom troškova električne energije, simulacijom su dobiveni periodi amortizacije investicije i neto zarada elektrane nakon 20 godina. Sukladno snazi elektrane od 40 kW, predviđena godišnja proizvodnja iznosi 45.742,86 kWh/godišnje. S obzirom a potrošnju zgrade od 154.588,99 kWh/godišnje potrebno je preuzeti dodatnih 99.846,13 kWh/godišnje za zadovoljenje potrošnje zgrade. Ostvarena ušteda na godišnjem računu iznosi 37.801,38 kn. Period amortizacije elektrane uz 0% subvencije iznosi 10,9 godina, dok uz 40% subvencije iznosi 6,1 godinu. Zarada na kraju perioda od 20 godina iznosi 198.719,53 kn za 0% subvencije, 313.667,01 kn za 40% subvencije i 486.088,23 kn za 100% subvencije. Detaljni rezultati simulacije su vidljivi u tablicama 4.4. – 4.6.

Drugi cilj diplomskog rada je bio prema potrošnji zgrade projektirati elektranu takve snage da proizvodnjom zadovolji potrošnju zgrade koja iznosi 145.588,99 kWh/godišnje. S ciljem dobivanja neto 0 zgrade, koja teži da razlika preuzete energije iz mreže i predane energije u mrežu iznosi 0 kWh/godišnje, projektirana je elektrana snage 135 kW. Iz rezultata simulacije se može vidjeti kako je predviđena proizvodnja ove elektrane 146.260,70 kWh/godišnje, što rezultira zadovoljenjem potrošnje i predajom viška energije od 671,71 kWh/godišnje u mrežu. Ostvarena ušteda godišnjeg troška električne energije iznosi 82.648,73 kn. Period amortizacije ove elektrane uz 0% subvencije iznosi 15,6 godina, dok uz 40% subvencije iznosi 8,5 godina. Neto zarada od ove elektrane bi nakon perioda od 20 godina iznosila 204.152,54 kn uz 0% subvencije, 525.152,54 kn uz 40% subvencije i 1.006.652,54 kn uz 100% subvencije.

Veća snaga elektrane znači i veće investicijske troškove. Investicijski troškovi bi se u oba slučaja mogli smanjiti ugradnjom baterijskih spremnika odgovarajućeg kapaciteta koji bi zadovoljavali potrošnju zgrade u periodu kad elektrana proizvodi manje energije, odnosno u jutarnjim, večernjim i noćnim satima. Na ovaj način bi se smanjio trošak električne energije uz minimalno povećanje investicije. Ugradnja pohrane električne energije je učinkovitiji način postizanja neto 0 zgrade.

## LITERATURA

- [1] G.M Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey, 2004 godine
- [2] S. Magazine, „A Brief History of Solar Panels“, *Smithsonian Magazine*. <https://www.smithsonianmag.com/sponsored/brief-history-solar-panels-180972006/> (pristupljeno ruj. 17, 2021)
- [3] K. Mertens, Photovoltaics fundamentals, technology and practice, Münster University of Applied Sciences, Germany, 2014. godina
- [4] „Crystalline Silicon Photovoltaics Research“, *Energy.gov*. <https://www.energy.gov/eere/solar/crystalline-silicon-photovoltaics-research> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [5] „Cadmium Telluride“, *Energy.gov*. <https://www.energy.gov/eere/solar/cadmium-telluride> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [6] Burgelman, M. (2006) Cadmium telluride thin film solar cells – characterization, fabrication and modeling, in Thin Film Solar Cells – Fabrication, Characterization and Applications (eds J. Poortmans and V. Arkhipov), John Wiley & Sons, Ltd.
- [7] „Copper Indium Gallium Diselenide Solar Cells“. <https://www.nrel.gov/pv/copper-indium-gallium-diselenide-solar-cells.html> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [8] „Dye Sensitized Solar Cells Is the Future of Solar | AltEnergyMag“. <https://www.altenergymag.com/article/2019/12/dye-sensitized-solar-cells-is-the-future-of-solar/32431> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [9] Predavanja OIelen\_2017\_2018\_3poglavlje.pdf prof.dr.sc. D. Šljivac 2018/2019
- [10] „Technical Application Paper - Photovoltaic plants“. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A3277&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [11] „Solar panel Mounting Structures: Racking Matters“. <https://www.saurenergy.com/solar-energy-articles/solar-mounting-structures-racking-matters> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [12] „Kanzo gives plastic props to solar panels | Plastics News“. <https://www.plasticsnews.com/article/20150826/NEWS/150829929/kanzo-gives-plastic-props-to-solar-panels> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [13] „BIPV Demo sites“. <http://www.pvsites.eu/demo-sites/> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [14] „PV\*SOL premium – Valentin Software GmbH“. <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [15] „Kupac s vlastitom proizvodnjom“, *hep.hr*. <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (pristupljeno ruj. 17, 2021).

- [16] „Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom“, *hep.hr*.  
<https://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/prikljucenjekucanstva-s-vlastitom-proizvodnjom/185> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [17] „Tarifne stavke (cijene)“, *hep.hr*. <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [18] „Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji“.  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_09\\_100\\_1937.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_09_100_1937.html) (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [19] „SEM 300-320W | Sunceco“. <https://sunceco.com/sem-300-320w/> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [20] „Max Power At STC & NOCT | Solar Energy Experts | Infinite Energy“.  
<https://www.infiniteenergy.com.au/difference-between-max-power-stc-noct/> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [21] „European Efficiency - wiki.openmod-initiative.org“. [https://wiki.openmod-initiative.org/wiki/European\\_Efficiency](https://wiki.openmod-initiative.org/wiki/European_Efficiency) (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [22] „Fronius Symo 20.0-3-M“. <http://www.fronius.com/en-gb/uk/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m> (pristupljeno ruj. 17, 2021).
- [23] Đ. Mudrinić, „Zaštita fotonaponskih elektrana“, info:eu-repo/semantics/bachelorThesis, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek. Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek. Department of Power Engineering. Chair of Power Plants and Energy Processes, 2016. Pristupljeno: ruj. 17, 2021. [Na internetu]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:585371>

## SAŽETAK

Cilj ovog rada je napraviti projekt fotonaponskog sustava u programu „PV\*SOL Premium“ i napraviti analizu isplativost sustava za dva slučaja. U prvom slučaju je izrađena energetska i ekonomska analiza za postojeću instaliranu fotonaponsku elektranu FERIT 2 snage 40 kW. Ekonomska analiza je izrađena s promjenjivom državnom subvencijom od 0%, 40% i 100% investicijskih troškova. U drugom slučaju je projektirana elektrana koja je skalirana po potrošnji zgrade FERIT kampus s ciljem dobivanja neto 0 zgrade. Snaga elektrane u drugom slučaju iznosi 135 kW. U drugom slučaju je također izrađena ekonomska analiza s promjenjivom državnom subvencijom od 0%, 40% i 100% investicijskih troškova.

**Ključne riječi:** analiza isplativosti, električna energija, fotonaponski sustav, investicija, neto sadašnja vrijednost

## ABSTRACT

The aim of this paper is to design a photovoltaic system in the program „PV \* SOL Premium" and make an analysis of the cost-effectiveness of the system for two cases. In the first case, an energy and economic analysis was made for the existing installed photovoltaic power plant FERIT 2 with a power of 40 kW. The economic analysis was made with a variable state subsidy of 0%, 40% and 100% of investment costs. In the second case, a power plant was designed that is scaled for the consumption of FERIT campus buildings with the aim of obtaining a net 0 building. The power of the photovoltaic system in the second case is 135 kW. In the second case, an economic analysis was also made with variable state subsidies of 0%, 40% and 100% of investment costs.

**Keywords:** cost-effectiveness analysis, electricity, photovoltaic system, investment, net present value.

## **ŽIVOTOPIS**

Emanuel Sabolović je rođen 14.04.1996. godine u Bjelovaru. Pohađao je osnovnu školu Veliko Trojstvo u rodnom mjestu Velikom Trojstvu. Nakon osnovne škole upisuje Tehničku školu Bjelovar, smjer elektrotehničar. Tijekom srednje škole postaje članom Kulturno umjetničkog društva Veliko Trojstvo i bavi se nizom izvan nastavnih aktivnosti. Nakon završene srednje škole i položene državne mature, 2015. godine upisuje željeni fakultet, Elektrotehnički fakultet Osijek koji 2016. godine mijenja naziv u Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Preddiplomski studij završava 2019. godine s temom završnog rada pod nazivom "Geomagnetske oluje" te na istom fakultetu upisuje diplomski studij, smjer održiva elektroenergetika.