

Ekonomska isplativost sustava fotonaponske elektrane s maksimiziranjem proizvodnje električne energije u odnosu na klasični sustav

Kristić, Nikola

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:570685>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**

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

**Ekonomska isplativost sustava fotonaponske elektrane s
maksimiziranjem proizvodnje električne energije u odnosu
na klasični sustav**

Diplomski rad

Nikola Kristić

Osijek, 2022

Sadržaj

1. UVOD	4
1.1. Zadatak diplomskog rada	5
2. ENERGIJA SUNCA U REPUBLICI HRVATSKOJ	6
2.1. Potencijal Republike Hrvatske za primjenu solarne energije	8
2.2. Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatska do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu	10
3. FOTONAPONSKI SUSTAVI	11
3.1. Fotonaponski paneli	12
3.2. Karakteristike fotonaponskih modula	13
3.3. Dijelovi fotonaponskog sustava	15
3.3.1. Izmjenjivači	15
3.3.2. Baterija	16
3.3.3. Regulatori punjenja	17
3.4. Podjela fotonaponskih sustava	18
3.4.1. Mrežni fotonaponski sustavi	18
3.4.2. Otočne fotonaponske elektrane	21
4. Projektiranje klasične i maksimizirane elektrane	23
4.1. Predviđanje proizvodnje električne energije	23
4.2. Projektirana klasična fotonaponska elektrana	25
4.2.1. Tehnički podaci klasične fotonaponske elektrane	25
4.2.2. Grafički prilozi	27
4.2.3. Projektirana maksimizirana fotonaponska elektrana	29
4.2.4. Kontrola i nadzor fotonaponske elektrane	29
5. EKONOMSKA ANALIZA FOTONAPONSKIH SUSTAVA	31
5.1. Troškovi održavanja	31
5.2. Troškovi investiranja	31
5.3. Nivelirani trošak	31

5.4. Isplativost fotonaponske elektrane	32
5.5. Vrijeme povrata investicije	33
5.6. Kućne fotonaponske elektrane u Republici Hrvatskoj	33
6. EKONOMSKA ISPLATIVOST MAKSIMIZIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE U ODNOSU NA KLASIČNU ELEKTRANU	34
6.1. Troškovnik elektrotehničkih instalacija maksimizirane fotonaponske elektrane	34
6.1.2. Analiza i proračun proizvodnje električne energije iz fotonaponske elektrane	39
6.1.3. Troškovnik elektrotehničkih instalacija klasične fotonaponske elektrane	40
6.1.4. Analiza i proračun proizvodnje električne energije iz klasične fotonaponske elektrane	45
6.3. Isplativost maksimizirane fotonaponske elektrane	45
6.4. Isplativost klasične fotonaponske elektrane	52
ZAKLJUČAK	57
SAŽETAK	60
ABSTRACT	60
ŽIVOTOPIS	61

1. UVOD

Posljednjih godina u Republici Hrvatskoj zabilježene su klimatske promjene koje se odnose na porast temperature zraka. Prema dostupnim podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda [1] evidentiran je porast temperature zraka između 0.02°C i 0.07°C tijekom deset godina. Posljedica toga je izostajanje snijega zimi te globalni porast razine mora budući da dolazi do otapanja ledenjaka. Jedan od globalnih zagađivača okoliša su neobnovljivi izvori energije koji svojim radom emitiraju štetne plinove. Podaci Ministarstva zaštite okoliša i energetika [2] ukazuju da je najveći doprinos u emisiji stakleničkih plinova CO_2 tijekom 2018. godine iznosio sektor energetike sa 69,11 %. Među njima najveći dio čine pod-sektori prometa koji čini 27% ukupnih emisija i proizvodnje energije sa 17 %. Za razliku od neobnovljivih izvora energije, obnovljivim izvorima energije se smanjuju emisije štetnih plinova, a time i ukupno zagađenje zraka i okoliša. Republika Hrvatska izdala je 2013. godine uredbu o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i visokoučinkovitih kogeneracija [3] kojom se propisuju naknade za poticanje i korištenje obnovljivih izvora energije. Tijekom razdoblja od 2013. do 2018. godine u Republici Hrvatskoj zabilježen je porast korištenja obnovljivih izvora energije te u 2018. godini imaju udio od 16 % ukupno proizvedene energije. Najveći porast bilježe vjetroeletre čija se proizvodnja utrostručila u promatranom razdoblju. Biomasa zajedno sa bioplinom iznosi 30,4 % u 2018. godini što je gotovo dvostruko više nego u 2013. godini kada su zajedno iznosili 16 %. Najmanji porast bilježi proizvodnja iz energije Sunca sa 1 % na 3 % [2].

Iz navedenih podataka primjećuje se kako energija Sunca u velikoj mjeri nije prepoznata kao obnovljivi izvor energije u Hrvatskoj. U ovom diplomskom radu opisati će se prednosti i važnosti koje nudi proizvodnja iz fotonaponskih sustava. Republika Hrvatska svojim geografskim položajem ostvaruje potencijal za korištenje solarne energije kojom se dobiva „čista energija“ budući da nema štetnog utjecaja na okoliš. Uspoređujući s termoelektrenom koja koristi ugljen snage 1 MW koja svojim radom proizvede 1,100 tona CO_2 , fotonaponska elektrana iste snage nema emisija štetnih plinova [5].

Nakon uvoda u temu dan je pregled dosadašnjih istraživanja koja ukazuju na potrebu za ovakvim tipom istraživanja te će biti opisano sunčevo zračenje i potencijal koji ostvaruje Republika Hrvatska za korištenje solarne energije. Zatim se objašnjava fotonaponski sustavi i elektrane, njihove osnovne karakteristike i dijelove elektrana koje se koriste za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula. Cilj ovog rada je ispitati ekonomsku isplativost fotonaponske

elektrane s maksimiziranjem proizvodnje električne energije u odnosu na klasičnu fotonaponsku elektranu. Tako će u radu biti opisani projektirani fotonaponski sustavi koji su istih parametara. jedan sustav kao klasična fotonaponska elektrana, a drugi sustav koji je u radu naveden kao maksimizirana fotonaponska elektrana te koja se razlikuje od klasične po tome su u takvu elektranu ugrađeni maximizeri koji će biti opisani u radu. Kao i u svim procesima koji se odvijaju na planeti Zemlji nastoji se postići maksimalna učinkovitost procesa pa će tako biti navedene koje su mogućnosti maksimiziranja učinkovitosti u fotonaponskoj elektrani. Završnim poglavljem će biti prezentirane analize troškova te utvrđena isplativost na temelju odnosa fotonaponske elektrane s maksimiziranom proizvodnjom električne energije i klasične fotonaponske elektrane.

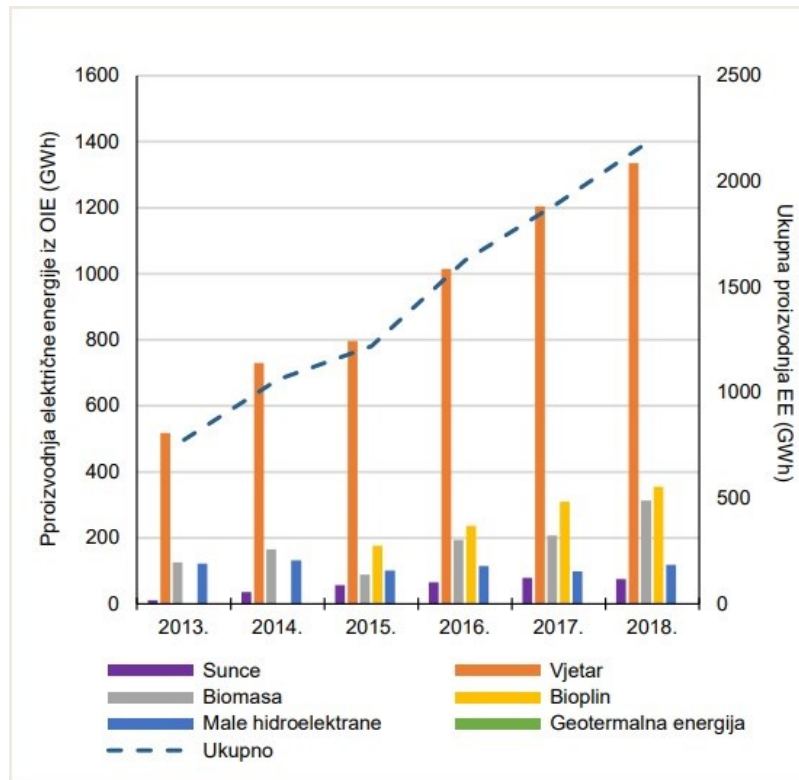
1.1. Zadatak diplomskog rada

Klasični sustav fotonaponske elektrane kroz svoj funkcionalni vijek podložan je raznim kvarovima i zastojima, pri čemu se kod malog kvara događa zastoj cijelog niza panela i nastaju gubici u proizvodnji. Računalnim monitoringom i maksimiziranjem proizvodnje se ti gubici znatno smanjuju pri čemu se isplativost investicije u sustav povećava. Nadzorom rada sustava se kvarovi mogu detektirati pravovremeno. Radom je potrebno projektirati sustav klasične izvedbe i izvedbe s računalnim monitoringom rada te ukazati na moguće gubitke za oba sustava i njihovo smanjenje. Projektiranje potrebnih elektrana će se izvesti s programskim alatima PVsol i AutoCad. Program PVsol će se koristiti za dobivanje potrebnih parametara i informacija o elektranama, dok AutoCad će se koristiti za izradu tlocrta i jednopolne sheme. Uz primjenu programskih alata do spoznaja se dolazi proučavanjem primarnih, sekundarnih i tercijalnih referentnih izvora.

2. ENERGIJA SUNCA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U ovom će poglavlju biti prikazani statistički podaci o korištenju sunčeve energije u Republici Hrvatskoj. Prikazat će se usporedba s ostalim energentima koji sudjeluju u proizvodnji električne energije te potencijali koje RH ostvaruje svojim geografskim položajem. Fotonaponski (FN) sustavi su trenutno najbrže rastući proizvođači električne energije u svijetu s prosječno povećanje instaliranih snaga od preko 58% u zadnjih pet godina u svijetu. Tako je Hrvatska vlada uvela političke ciljeve i tarifne sustave za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u 2007 i ažurirala sustav tarifa 2012. prema najnovijem razvoju posebno što se tiče tržište fotonapona u Hrvatskoj. [20]

U uvodu diplomskog rada navedeni su podaci Ministarstva zaštite okoliša i energetike o udjelima obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji električne energije iz kojih je vidljivo da energija Sunca u Republici Hrvatskoj nije prepoznata kao obnovljivi izvor energije. U 2018. godini energija Sunca iznosi 3% u ukupnoj proizvodnji iz OIE (obnovljivi izvori energije). [2] Na slici 2.1. prikazano je korištenje OIE te usporedba pojedinih energenata tijekom razdoblja od 2013. do 2018. godine. Slikom se može zaključiti da se u Republici Hrvatskoj radi na povećanju primjene obnovljivih izvora te da se najviše investira u energiju vjetra.



Slika 2.1. Korištenje OIE u Republici Hrvatskoj (od 2013. do 2018. godine) [2]

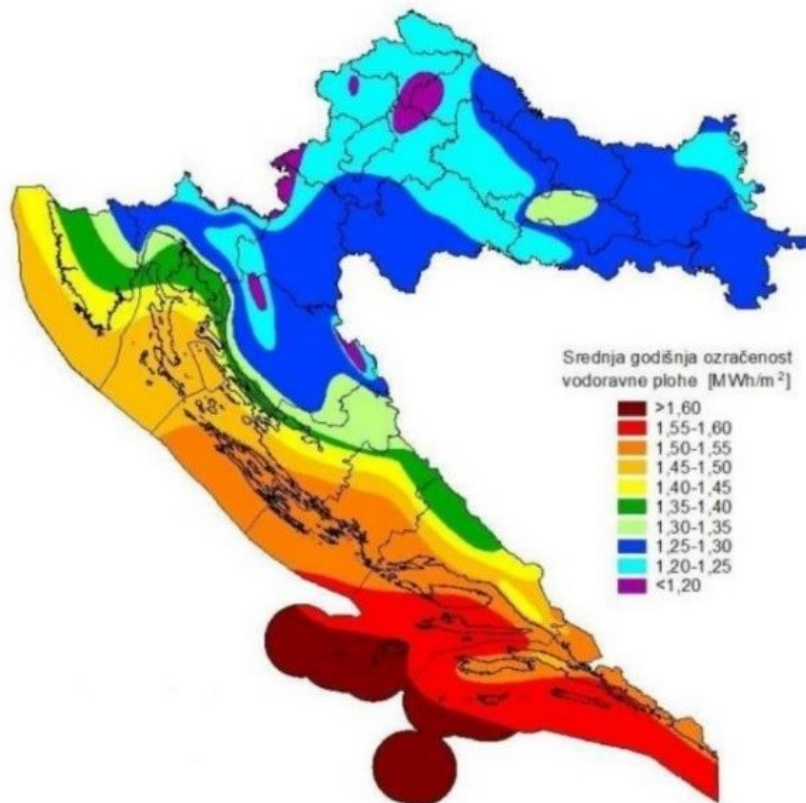
Obnovljivi izvori energije su posljednjih godina doživjeli porast proizvodnje među kojima se najviše ističe energija vjetra. Tablicom 2.1. je prikazano kako su u energetske pregledu Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja prikazani instalirani kapaciteti za proizvodnju električne i toplinske energije iz OIE tijekom 2020. godine. Instalirani kapacitet za proizvodnju električne energije iz vjetra iznosi 801,3 MW što iznosi 73,64 % ukupnog kapaciteta. Energija sunca sa 108,5 MW čini 9,97 % ukupnog kapaciteta. U instalirani kapacitet uključene su i fotonaponske elektrane koje nemaju status povlaštenog proizvođača. Podaci pokazuju kako energija sunca zauzima poprilično mali udio ukupnog instaliranog kapaciteta.

Tablica 2.1. Instalirani kapaciteti OIE za proizvodnju električne i toplinske energije [4]

Vrsta izvora Type of renewable energy source	Instalirana toplinska snaga Installed heat capacity (MW)	Instalirana električna snaga Installed power capacity (MW)
Sunce Solar	201,6	108,5*
Vjetar Wind	-	801,3
Biomasa Biomass	243,1**	80,2
Biplin Biogas	54,9	55,1
Male hidroelektrane Small hydro	-	33
Geotermalna Geothermal	46,5***	10
Ukupno Total	546,1	1 088,1

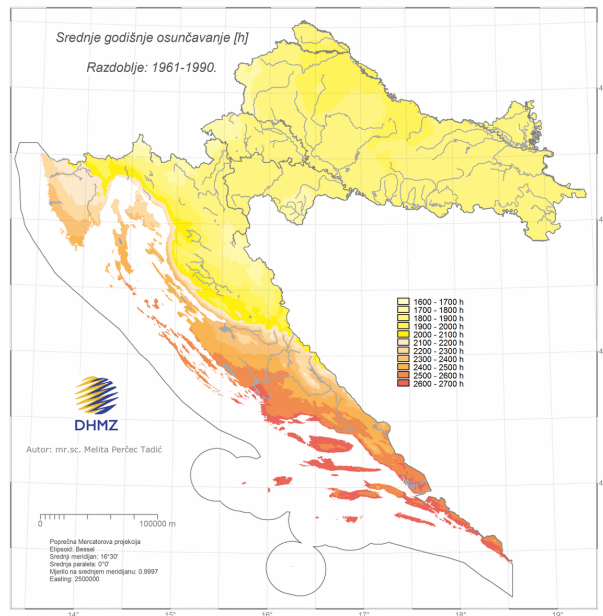
2.1. Potencijal Republike Hrvatske za primjenu solarne energije

Republika Hrvatska svojim geografskim položajem je u Europi jedna od zemalja koja je pogodna za instalaciju i korištenje solarne energije zbog više faktora. Jedan od faktora kojim se utvrđuje potencijal je prosječna godišnja ozračenost izražena u MWh / m² te su na slici 2.2. prikazane godišnje ozračenosti za područje Republike Hrvatske. Može se uočiti da najbolju prosječnu ozračenost imaju prostori uz Jadransko more odnosno Dalmacija. Prosječna ozračenost ondje iznosi od 1,40 do 1,60 MWh / m² dok prostori kopnene Hrvatske imaju nešto manje ozračenost od 1,20 do 1,40 MWh / m². Globalno promatrajući Republika Hrvatska s obzirom na prosječnu godišnju ozračenost posjeduje velik potencijal za primjenu solarne energije koja je i dalje nije prepoznata u usporedbi za većinom zemalja u Europi. [5]



Slika 2.2. Godišnja ozračenost vodoravne plohe na Republiku Hrvatsku energije [5]

Prema dostupnim podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda Republika Hrvatska posjeduje dobar potencijal uzimajući u obzir broj prosječno godišnje osunčavanje. Promatrano je razdoblje od 1961. do 1990. godine. Što kazuje da Hrvatska nema problem sa puno oblačnih dana u godini kao zapadnije zemlje u Europi. Tijekom oblačnih dana, iskorištenje sunčeve energije je smanjeno zbog manjeg osunčanja. [6] Na slici 2.3. prikazani su sunčani dani u Hrvatskoj, a najviše ih posjeduje prostor južne Dalmacija sa oko 2300 do 2700 sati godišnje.

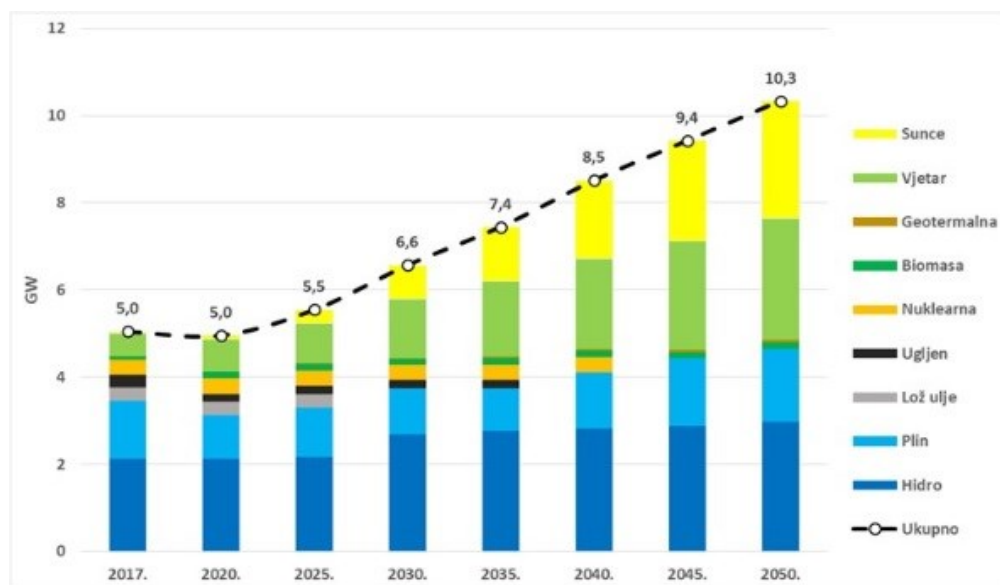


Slika 2.3. Srednje godišnje osunčavanje u Republici Hrvatskoj [6]

2.2. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatska do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu

Povećanje proizvodnje solarne energije u Republici Hrvatskoj nastoji se provesti brojnim poticajima i mjerama. Hrvatski sabor je na prijedlog Vlade Republike Hrvatske donio Strategiju energetskog razvoja Republike Hrvatska do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu. Cilj strategije je postići ublažavanje klimatskih promjena u Republici Hrvatskoj, a time i u svijetu. Strategija uključuje smanjenje emisija CO₂ i ostalih štetnih plinova. Europska unija donijela je direktivu 2009/28/EZ kojom su države članice nastojale povećati svoj udio OIE na 20 % ukupne proizvodnje. [22] Republika Hrvatska ispunila je ciljeve već u 2017.godini kada je udio OIE iznosio 27,3 % i time premašila zadane ciljeve udjela OIE u ukupnoj potrošnji. Strategijom energetskog razvoja nastoji se povećati sigurnost opskrbe, energetska učinkovitost te kvaliteta električne energije. Naglasak je na povećanju udjela OIE u navedenom periodu čime bi došlo do značajne promjene u strukturi proizvodnje električne energije. Porastom udjela OIE istovremeno se smanjuju proizvodnja iz nekonvencionalnih izvora energije.

Prema scenarijima S1 i S2 nastoje se povećati udjeli pojedinih obnovljivih izvora energije do 2050. godine. Prema slici 2.4. koja prikazuje scenarij S2 kojim se planira povećanje udjela solarnih elektrana na 6,1 % do 2030.godine, dok se do 2050. godine očekuje porast na 14,2 %. Scenarijem S1 planira se povećanje udjela solarnih elektrana na 7,8 % do 2030. godine, dok se do 2050.godine očekuje porast na 17,4 %. Strategijom se planira priključenje do 768 MW u fotonaponskim projektima u scenariju S2, dok bi u scenariju S1 iznosilo 1039 MW. Tako bi se 2050. godine postigla ukupna snaga iz fotonaponskih elektrana na oko 2700 MW. Najveće promjene bile bi proizvodnji energije vjetra i sunca. Ovom strategijom Republika Hrvatska iskoristila bi svoj potencijal za solarnu energiju i povećala broj solarnih elektrana. [6]



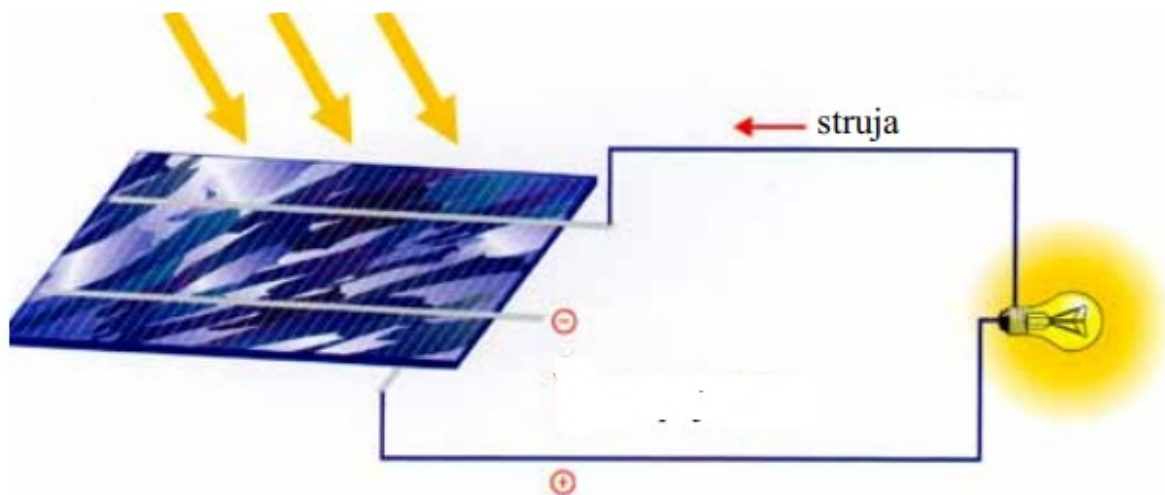
Slika 2.4. Snaga elektrana do 2050. godine prema scenariju S2 [6]

3. FOTONAPONSKI SUSTAVI

U ovom poglavlju rada biti će opisani fotonaponski paneli i sustavi. Nabrojati će se prednosti i nedostaci pojedinih fotonaponskih sustava te navesti najznačajniji investicijski troškovi fotonaponskih elektrana. Obrazložiti će se u kojim slučajevima postoji isplativost investiranja u fotonaponske sustave.

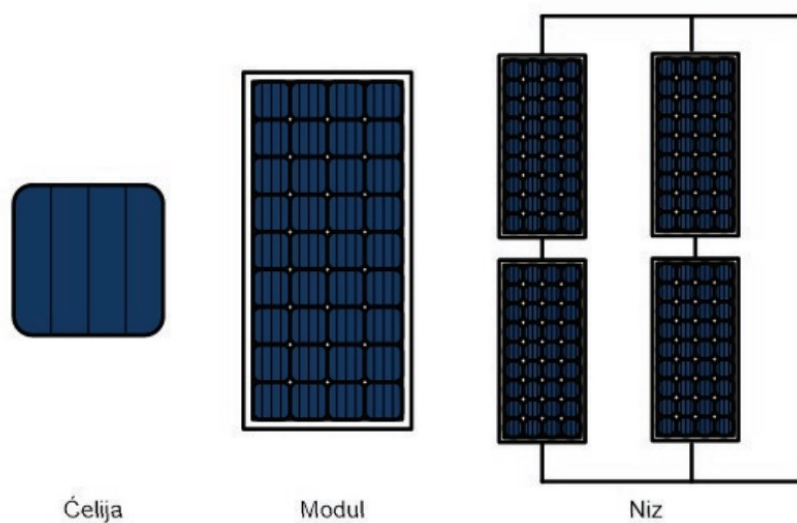
3.1. Fotonaponski paneli

Kako bi se sunčevo zračenje pretvorilo u električnu energiju potreban je fotonaponski efekt. On nastaje kada svjetlosne zrake padaju na fotonaponsku ćeliju koja se sastoji od poluvodičkog materijala. Na metalnim kontaktima fotonaponske ćelije inducira se struja. Slika 3.1. prikazuje kako priključenjem trošila na kontakte fotonaponske ćelije dolazi do razlike potencijala, a time i stvaranja napona. [7]



Slika 3.1. Ilustracija fotonaponskog efekta [7]

S obzirom na to da jedna fotonaponska ćelija daje izlazni napon iznosa 0,5 V, potrebno je međusobno spojiti više fotonaponskih ćelija u seriju kako bi se postigao prihvatljivi napon. Međusobno spojene ćelije u cjelini nazivaju se fotonaponski moduli. Nadalje se fotonaponski moduli mogu povezati u nizove čime se postižu veći naponi. Maksimalni iznosi napona ovise o tehnologijama izrade pa se tako primjerice kod tanko-slojnih modula može postići napon od 60 do 80 V [7]. Slika 3.2. prikazuje ilustraciju fotonaponske ćelije, fotonaponski modul te fotonaponske nizove. Fotonaponska ćelija je element u koje se odvija proces pretvorbe energije sunca u električnu energiju. Modul je element koji je napravljen od grupe fotonaponski ćelija u svrhu postizanja veće snage. Niz se sastoji od spoja fotonaponski panela u seriju ili paralelu ovisno što je potrebno. Spajanjem modula u seriju dobije se veći napon dok spajanjem u paralelu veća struja. [21]



Slika 3.2. Fotonaponska ćelija te njihovo povezivanje u module i nizove [8]

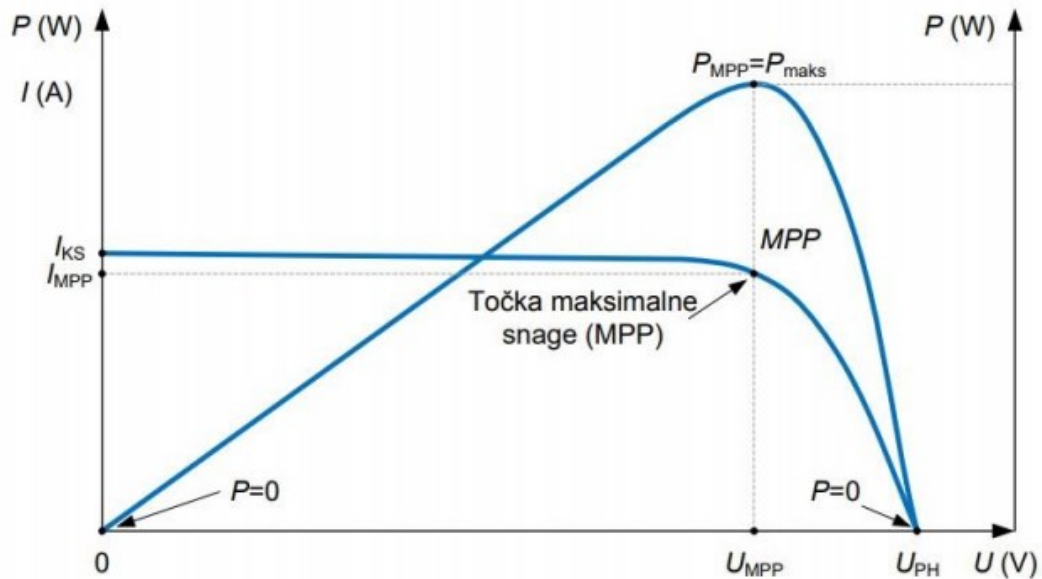
3.2. Karakteristike fotonaponskih modula

Tehničke karakteristike za fotonaponske module su slijedeće [9]:

2. nazivna vršna snaga PMPP (kWp)
3. učinkovitost η (%)
4. napon praznog hoda UPH (V)
5. struja kratkog spoja IKS (A)
6. napon vršne snage UMPP (V)
7. struja vršne snage IMPP (A)
8. smanjenje snage zbog povećanja temperature β (V/ $^{\circ}$ C)
9. smanjenje napona zbog povećanja temperature α (%/ $^{\circ}$ C)
10. duljina x širina x visina (mm x mm x mm)
11. masa m (kg)

Strujno – naponskom karakteristikom fotonaponskog modula mogu se prikazati tri točke: Napon praznog hoda (V), struja kratkog spoja (A) te točka u kojoj modul postiže maksimalnu snagu. Za

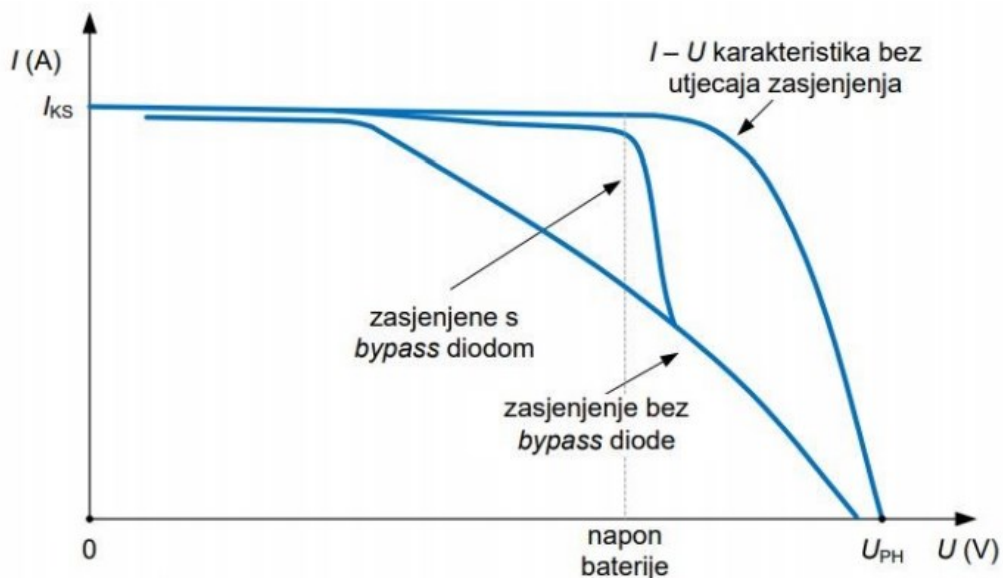
svaki fotonaponski modul moguće je napraviti njegovu strujno-naponsku karakteristiku na temelju poznatih vrijednosti navedenih parametara. Slika 3.3. prikazuje strujno naponsku karakteristiku fotonaponskih modula.



Slika 3.3. Strujno-naponska karakteristika fotonaponskih modula [9]

Ovisno o intenzitetu sunčevog zračenja, mijenja se i strujno naponska karakteristika fotonaponskog modula. Povećanjem intenziteta zračenja rastu izlazna struja i napon stoga o njemu uvelike ovisi i proizvodnja električne energije. [9]

Zasjenjenjem jedne fotonaponske ćelije izlazni napon modula značajno pada. Kako bi se spriječio negativan utjecaj koji može imati zasjena na pojedinom djelu modula, ugrađuju se zaobilazne diode kojima se popravljaju naponske i strujne prilike. Na slici 3.4. prikazana je usporedba slučaja sa i bez premosne diode. Fotonaponska ćelija bez premosne diode imala je puno veći pad napona kod zasjene nego fotonaponska ćelija s premosnom diodom. Premosnom diodom popravljene su naponske prilike. [9]



Slika 3.4. Strujno-naponska karakteristika fotonaponskih modula sa i bez premosne diode prilikom zasjenjenja [9]

3.3. Dijelovi fotonaponskog sustava

Fotonaponski sustav se sastoji od slijedećih uređaja [9]:

- fotonaponski moduli povezani u nizovima koji pretvaraju solarnu energiju u električnu
- izmjenjivač
- kontrolor punjenja
- baterije
- ostali uređaji (brojila, prekidači, kablovi za priključenje, tragač maksimalne snage)

3.3.1. Izmjenjivači

Fotonaponski paneli pretvaraju solarnu u električnu energiju. Nastala električna energija je istosmjerna što zadovoljava potrošače kao što su svjetiljke, ventilatori i ostala oprema. Međutim, većina električnih uređaja za svoj rad zahtijevaju izmjeničnu električnu mrežu. Kako bi se izvršila pretvorba istosmjerne u izmjeničnu električnu energiju koristi se izmjenjivači. Oni su osnovni dio

svakog fotonaponskog sustava osim u slučajevima kada se isključivo želi napajati istosmjerne potrošače. Izmjenjivači se dimenzioniraju sa različita opterećenja i napone [11]. Izmjenjivač koji se koristi u fotonaponskim sustavima prikazan je na slici 3.5..



Slika 3.5. Izmjenjivač u fotonaponskom sustavu [11]

3.3.2. Baterija

Zbog izmjene dana i noći te različitih vremenskih utjecaja proizvodnja iz fotonaponskog sustava nije uvijek moguća, ali moguće je uskladištiti električnu energiju za kasniju upotrebu. U većini sustava koriste se olovne baterije. Ukoliko postoje velike potrebe za skladištenjem električne energije, pojedine baterije međusobno se spajaju kako bi mogle akumulirati potrebnu energiju [12]. Baterija koja se koristi u fotonaponskim sustavima prikazana je na slici 3.6.



Slika 3.6. Baterija u fotonaponskom sustavu [11]

3.3.3. Regulatori punjenja

Kako tijekom punjenja ne bi došlo do prekomjernog punjenja, u fotonaponskim sustavima postoje regulatori punjenja koji prate trenutne razine napunjenosti baterija. Kada postoje uvjeti za proizvodnju iz fotonaponskog sustava tada regulator punjenja omogućuje punjenje baterije koja bi se kasnije mogla koristiti u slučaju prekidanja proizvodnje. Regulatori punjenja se dimenzioniraju prema strujama koje mogu regulirati [12]. Na slici 3.7. se može vidjeti regulator punjenja koji se koristi u fotonaponskim sustavima.



Slika 3.7. Regulator punjenja u fotonaponskom sustavu [11]

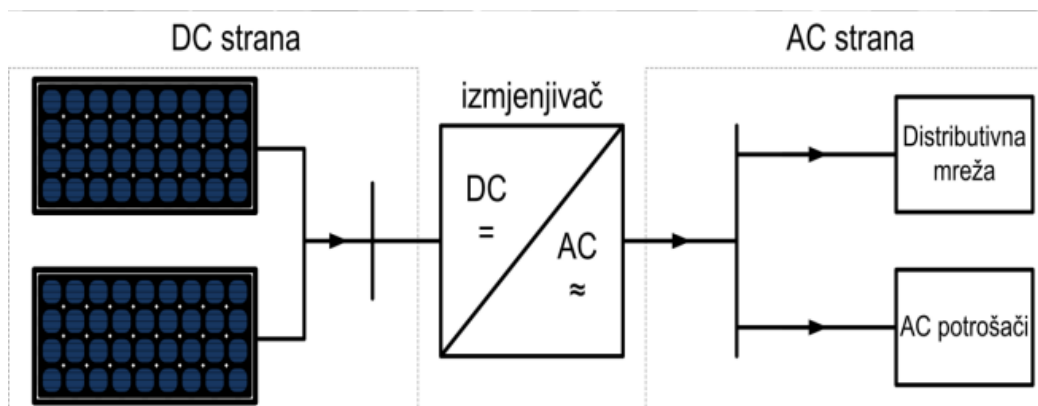
3.4. Podjela fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi se mogu podijeliti u dvije skupine:

- Mrežne fotonaponske elektrane
- Otočne fotonaponske elektrane

3.4.1. Mrežni fotonaponski sustavi

Mrežne fotonaponske elektrane priključene su na javnu elektroenergetsku mrežu i mogu biti priključene izravno na mrežu ili preko kućne instalacije. Prednost ove izvedbe je što omogućeno napajanje potrošača iz javne mreže u slučajevima kada proizvodnja iz fotonaponskog sustava nije moguća. Istosmjerna energija dobivena iz modula pretvara se u izmjeničnu preko izmjenjivača te se ista energija predaje izmjeničnim potrošačima. Istovremeno se energija predaju u distributivnu mrežu ukoliko su trenutne potrebe izmjeničnih potrošača manje [9]. Slikom 3.8. prikazani su dijelovi mrežne fotonaponske elektrane. Elektrana sa slike se sastoji od DC strane u kojoj je prisutna samo istosmjerna struja i AC strane gdje je prisutna samo izmjenična struja.



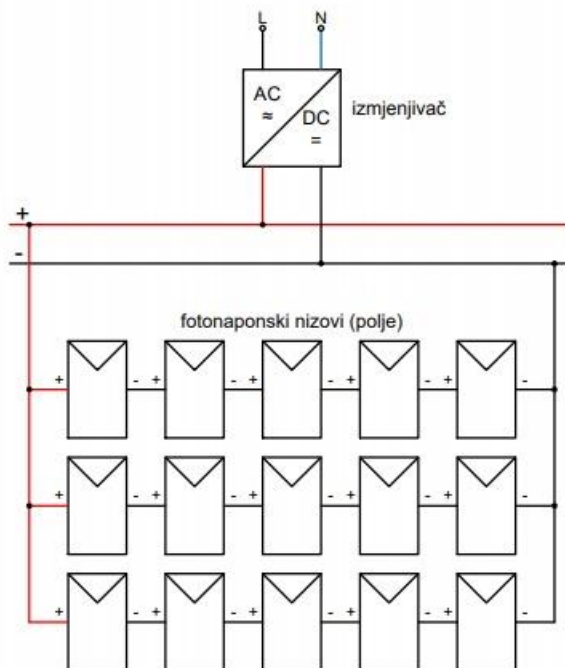
Slika 3.8. Mrežni fotonaponski sustav [9]

Ovisno o načinu spajanja fotonaponskih nizova moguće su tri izvedbe elektrana:

- izvedba s jednim izmjenjivačem
- izvedba s jednim izmjenjivačem za svaki niz

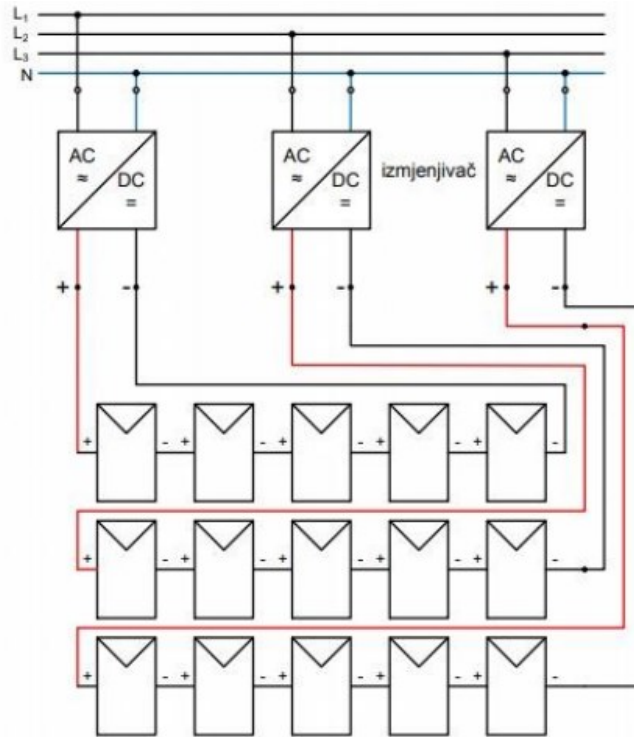
- izvedba s više izmjenjivača

Izvedba s jednim izmjenjivačem sastoji se od jednog izmjenjivača na koji su priključeni svi fotonaponski nizovi što je prikazano na slici 3.9. Pri dimenzioniranju ovakve izvedbe potrebno je u nizove postaviti jednak broj modula istih karakteristika. Ovakva izvedba nudi manje investicijske troškove. Veliki nedostatak je što u slučaju kvara na izmjenjivaču u potpunosti se prekida proizvodnja električne energije što može imati nepovoljan utjecaj na potrošače.



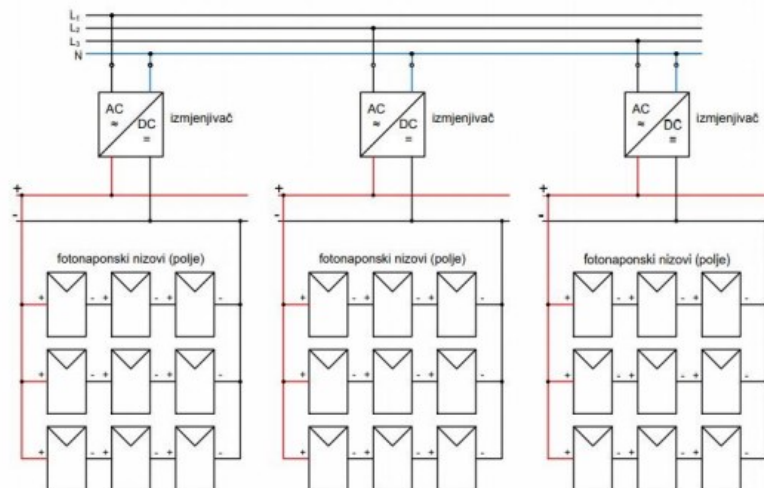
Slika 3.9. Izvedba s jednim izmjenjivačem [9]

Kod izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki niz svi su nizovi zasebno priključeni na vlastite izmjenjivače što je prikazano na slici 3.10. Time je osigurano napajanje u slučaju kvara jednog od izmjenjivača. Prednost je i što pri dimenzioniranju ovakve izvedbe nisu potrebni nizovi jednakih modula i karakteristika. Ovakva izvedba zahtjeva veće investicijske troškove.



Slika 3.10. Izvedba s jednim izmjenjivačem za svaki niz [9]

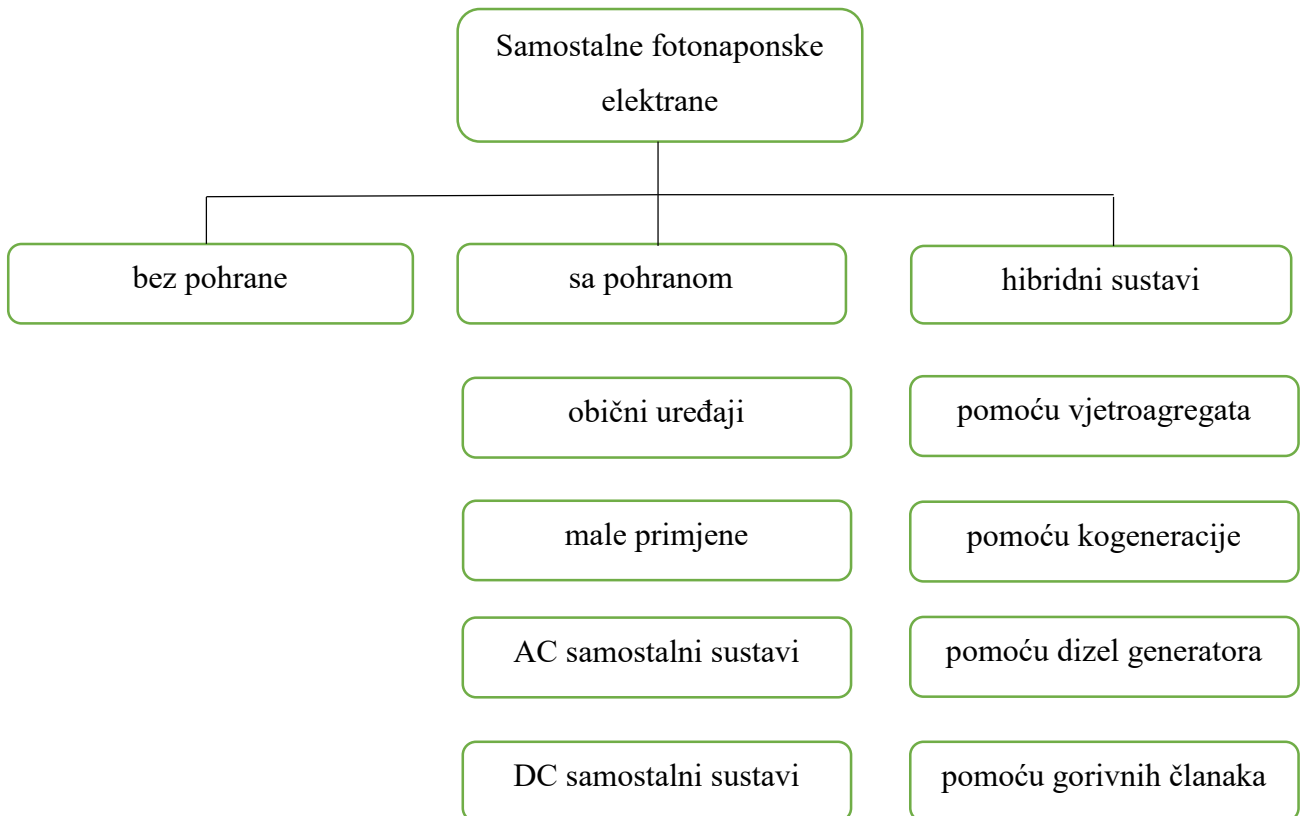
Fotonaponska elektrana s više izmjenjivača sastoji se od više fotonaponskih nizova priključenih na zasebne izmjenjivače što je prikazano na slici 3.11.. Ova izvedba koristi se samo u elektranama velikih snaga i omogućuje rad preostalog dijela elektrane u slučaju kvara na jednom izmjenjivaču. Samim time i izvedba je skuplja. [21]



Slika 3.11. Izvedba s jednim izmjenjivačem za svaki niz [9]

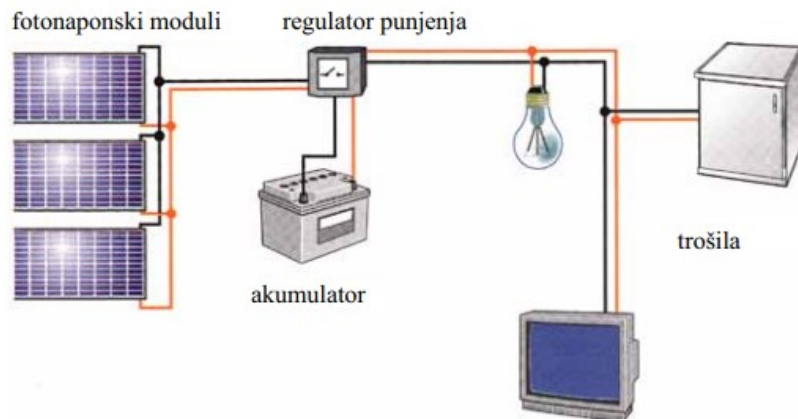
3.4.2. Otočne fotonaponske elektrane

Samostalne fotonaponske elektrane nisu priključene na javnu mrežu već samostalno napajaju korisnike. Pogodne su za instalaciju na lokacijama na kojima nema dostupne javne elektroenergetske mreže. S obzirom na načine pohrane energije i primjene električne energije mogu se prema [4] podijeliti prema slici 3.12..



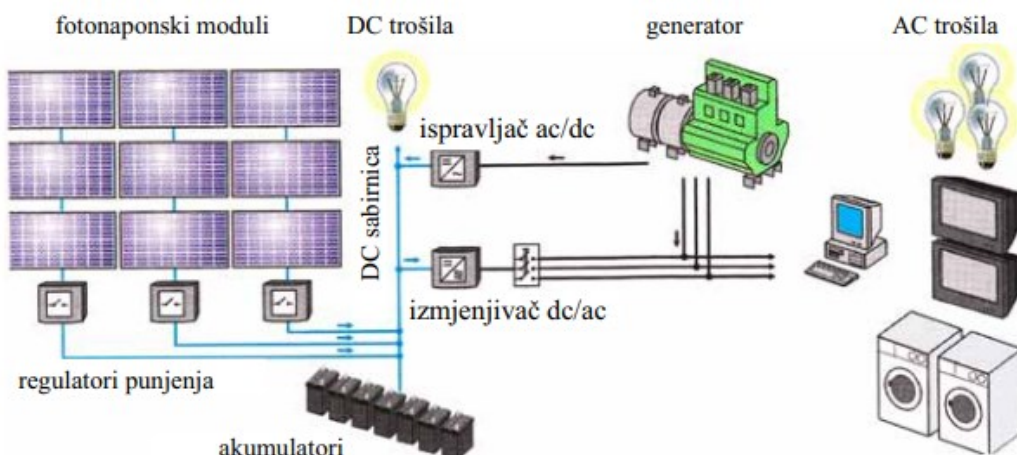
Slika 3.12. Podjela samostalnih fotonaponskih sustava [10]

Samostalni fotonaponski sustavi bez pohrane nemaju mogućnost skladištenja električne energije za kasniju uporabu što predstavlja problem ukoliko proizvodnja nije moguća. Za potrošače koji ipak zahtijevaju veću sigurnost opskrbe postoje baterije koje se koriste za pohranu proizvedene energije. U slučaju da korisnici za svoj rad zahtijevaju istosmjernu energiju tada nema izmjenjivača već se direktno iz fotonaponskih modula i akumulatora [10]. Takva izvedba prikazana je na slici 3.13..



Slika 3.13. Samostalno napajanje istosmjernih korisnika [10]

Hibridni fotonaponski sustavi koriste nizove fotonaponskih modula u kombinaciji sa vjetroagregatima, gorivnim člancima, generator na dizel ili gorivo. Tijekom proizvodnje električne energije iz fotonaponskih modula napajaju se prvobitno trošila te se višak energije koristi za punjenje akumulatora. U slučaju da ni akumulator ne udovoljava zahtjevima korisnika za energijom, pokreće se dizel generator. Ovakvom izvedbom pouzdanost napajanja značajno je povećana. Na slici 3.14. prikazan je primjer jednog hibridnog fotonaponskog sustava.



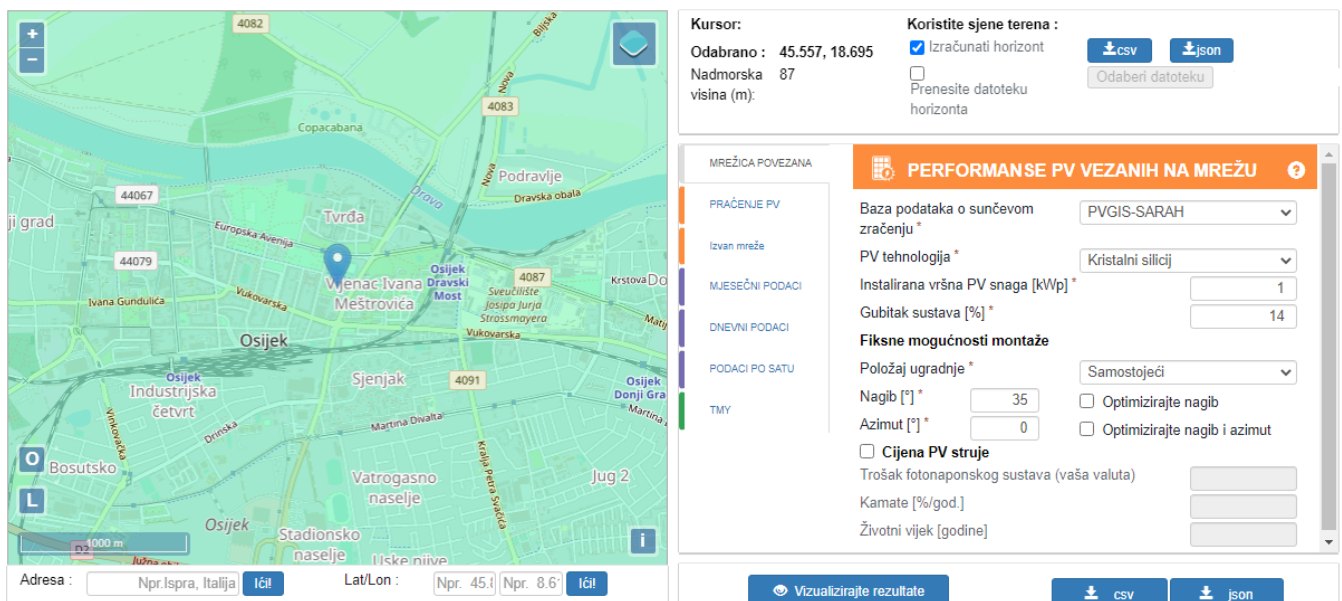
Slika 3.14. Hibridni fotonaponski sustavi [10]

4. Projektiranje klasične i maksimizirane elektrane

Pri dimenzioniranju fotonaponskih elektrana potrebno je provesti proračun kako bi se postigla maksimalna učinkovitost sustava i isplativost u investiciju. Prije svega je potrebno predvidjeti proizvodnju pomoću dostupnih programa. U ovom će se poglavlju nabrojati troškovi fotonaponskih sustava te opisati načine izračuna isplativosti ulaganja u fotonaponske elektrane.

4.1. Predviđanje proizvodnje električne energije

Kako bi se simulirala proizvodnja fotonaponskih sustava mogu se koristiti razne aplikacije. Jedna od najpoznatijih je PV GIS sustav kojim se može na temelju meteoroloških podataka izračunati prosječne vrijednosti sunčevog zračenja tijekom godine. Osim toga, u aplikaciju se unosi lokacija fotonaponskog sustava te njegovi parametri koji su ključni za procjenu proizvodnje. Program nudi primjenu na područjima Europe, Afrike te Azije. Na slici 4.1. prikazani su podaci za grad Osijek.



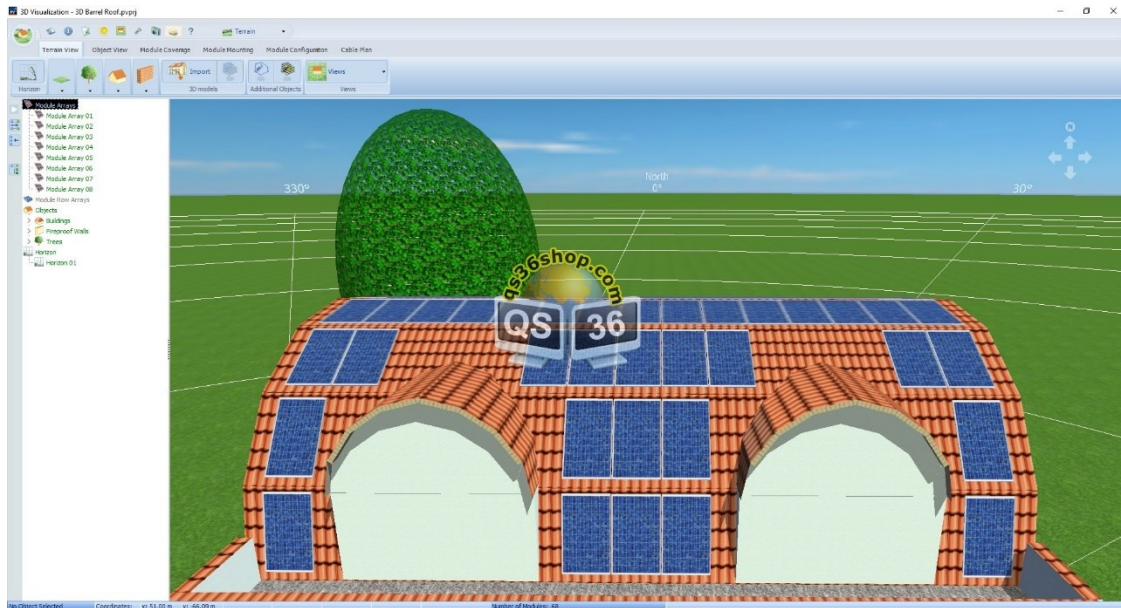
The screenshot displays the PV GIS web application interface. On the left, a map shows the city of Osijek with a blue location pin. The right side features a control panel with the following elements:

- Kursor:** Odabrano : 45.557, 18.695; Nadmorska visina (m): 87.
- Koristite sjene terena :** Izračunati horizont; Prenesite datoteku horizonta.
- PERFORMANSE PV VEZANIH NA MREŽU** (highlighted in orange):
 - Baza podataka o sunčevom zračenju * : PVGIS-SARAH
 - PV tehnologija * : Kristalni silicij
 - Instalirana vršna PV snaga [kWp] * : 1
 - Gubitak sustava [%] * : 14
 - Fiksne mogućnosti montaže**
 - Položaj ugradnje * : Samostojeći
 - Nagib [°] * : 35; Optimizirajte nagib
 - Azimut [°] * : 0; Optimizirajte nagib i azimut
 - Cijena PV struje**
 - Trošak fotonaponskog sustava (vaša valuta) : [input field]
 - Kamate [%/god.] : [input field]
 - Životni vijek [godine] : [input field]
- Buttons: Vizualizirajte rezultate, csv, json.

Slika 4.1. Sustav PV GIS [13]

Simulacijski program PV SOL prikazan na slici 4.2. nudi mnogo više mogućnosti. U programu je moguća vizualizacija od malih do velikih fotonaponskih elektrana. Vizualizacija uključuje objekte u 3D dimenziji čime se dodatno mogu izračunati i moguće zaszjene na panele. Program nudi

detaljne i pregledne izvještaje proizvodnje i potrošnje na temelju dostupnih klimatskih podataka, a osim toga moguće je i dimenzioniranje sustava za skladištenje energije.



Slika 4.2. Dimenzioniranje sustava u PV SOL-u [14]

Osim simulacijskih programa proizvodnju je moguće izračunati pomoću matematičkih izraza. Potrebna snaga fotonaponske elektrane može se prema [15] izračunati prema izrazu (5-1):

$$P_{pv} = A * G * i * \eta \quad (5-1)$$

gdje su:

P_{pv} - snaga elektrane [W]

A- površina promatranog modula [m^2]

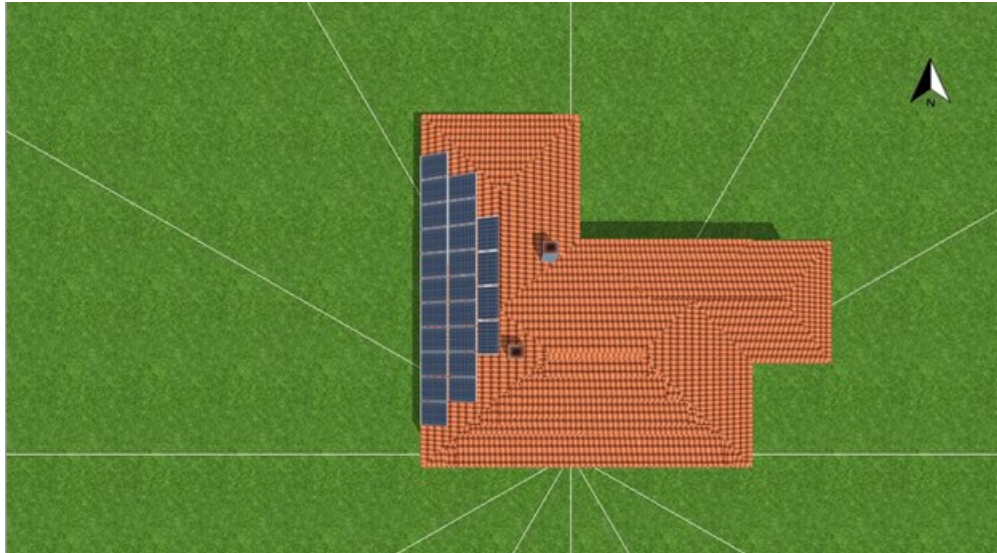
i-broj modula

G- prosječna ozračenost za zadani kut modula [W/m^2]

η - učinkovitost fotonaponskog modula [%]

4.2. Projektirana klasična fotonaponska elektrana

Za potrebe ovog rada klasična fotonaponska elektrana koja je prikazana na slici 4.3. projektirana je u simulacijskom programu PVSOL prema sličnim karakteristikama.



Slika 4.3. Projekt klasične fotonaponske elektrane u PV SOL-u

4.2.1. Tehnički podaci klasične fotonaponske elektrane

Klasična fotonaponska elektrana sastoji se od fotonaponskih panela koji su preporučeni u software PVsol, a to su JUSTSOLAR MONO MODULE JST430-450M čije su osnove karakteristike prikazane tablicama 4.1. i 4.2.. Panel se sastoji od fotonaponskih ćelija izrađenih od kristalnog Silicija (Monokristalni) koji imaju veću iskoristivost i na istoj površini proizvode više električne energije.

Tablica 4.1. Tehnički podaci fotonaponskih panela

P_{max}	Nazivna snaga / tolerancija	450 W _p / -0/+5 W
η	Stupanj korisnosti	20,1 %
I_{mpp}	Nazivna struja	10,88 A
U_{mpp}	Napon pri max. snazi	41,40 V
I_{ks}	Struja pri kratkom spoju	11,47 A
U_{ok}	Napon otvorenog kruga	50 V

Tablica 4.2. Tehnički podaci stringa S1

P_n	Nazivna snaga	10800 W _p
U_n	Nazivni napon 24 x 40,96 V	993,6 V
I_n	Nazivna struja	10,60 A
I_{ks}	Struja kratkog spoja	11,47 A

U prostoru spremišta u podrumu predviđen je smještaj DC/AC pretvarača sa trofaznim AC izlazom tipa kao AURORA PVI-100 OUTD-FS, 3 X 230/400V, 50 Hz, 10 kW. Karakteristike pretvarača su navedene u tablici 4.3. te ih se treba poštivati kako bi izračuni za proizvodnju bili pravovaljani onima u proračunima.

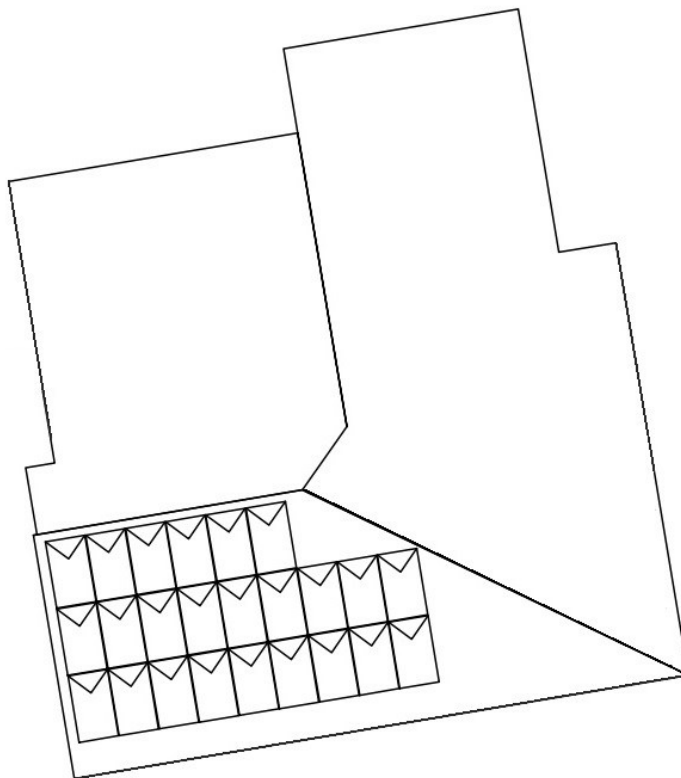
Tablica 4.3. Tehnički podaci izmjenjivača

Ulazni parametri - DC	AURORA PVI-100 OUTD-FS, 3 X 230/400V, 50 Hz,
Nazivna snaga P_{mpp}	10 000 W
Max. snaga P_{max}	10 800 W
Max.ulazni napon	750 V – 850 V DC
Područje napona U_{mpp}	300 V - 750 V DC
Max. ulazna struja	36 A DC (18 A po MPPT-u)
Tehnička zaštita	
Prenaponska zaštita - varistor	2 kom. po MPPT-u
Zaštita zamjene polova	DA
DC sklopka za svaki MPPT	25 A/ 1000 V
DC osigurač	10 A / 1000 V
Izlazni parametri - AC	
Izlazna snaga P_{ac}	10 kW
Max. snaga $P_{ac max}$	11 kW
Izlazna struja I_{ac}	16,6 A
Izlazni napon U_{ac}	3 x 230/400 V AC
Izlazna frekvencija f	50 Hz

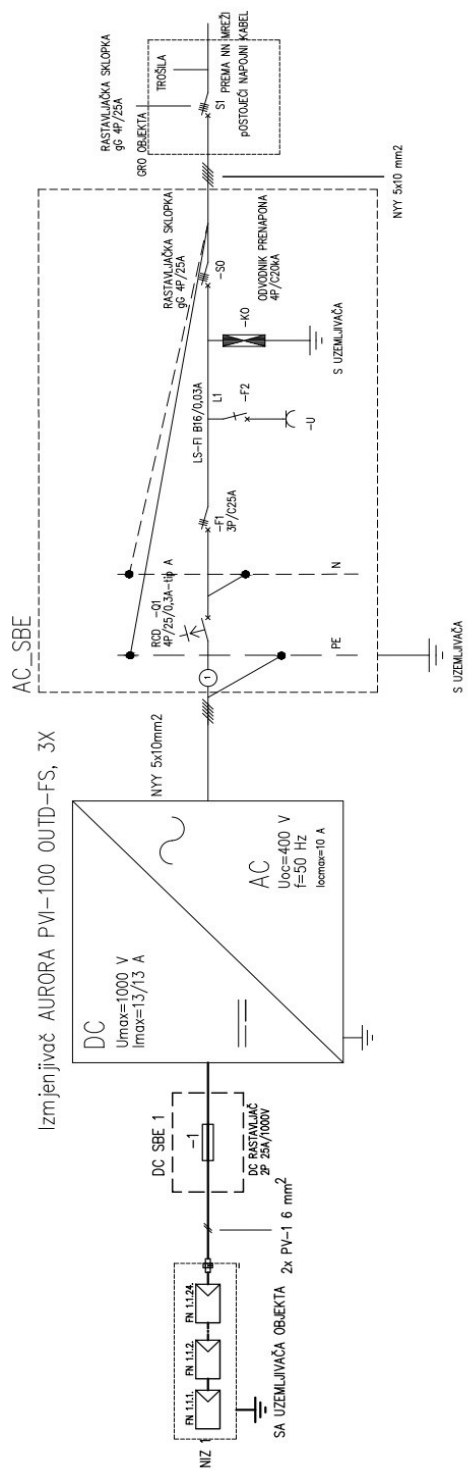
Odstupanje frekvencije	47...53 Hz
Fazni pomak $\cos\phi$	$>0,995 (\pm 0,9)$
Ukupno izobličenje strujnih harmonika	$<2\%$
Mrežni priključak	Trofazni
Zaštita	Otporan na kratki spoj

4.2.2. Grafički prilozi

Za detaljniji uvid u projekt se u računalnom programu AutoCad koji se koristi za kreiranje 2D ili 3D crteža i modela izradili crteži. Izradili su se nacrti tlocrta krova s rasporedom panela i jednopolne sheme. Nacrt na slici 4.4. predstavlja dispoziciju tj. smještaj panela na krovu dok jednopolna shema sa slike 4.5. predstavlja nacrt u kojem se dva ili više vodiča predstavljaju jednom crtom i da se olakša pregled samog sustava.



Slika 4.4. Smještaj panela na krovu



Slika 4.5. Jednopolna shema sustava

4.2.3 Projektirana maksimizirana fotonaponska elektrana

Maksimizirana fotonaponska elektrana sastoji se od računalnog upravljanja i nadzora. Time je omogućeno u svakom trenutku pravovremeno detektirati kvarove i poteškoće. Fotonaponski paneli povezani su preko sustava TIGO Energy Maximizer [19] koji optimizira izlaznu snagu svakog modula čime se maksimizira proizvodnja. Uređaj omogućuje bolju kontrolu i izvještaj o greškama u nizovima.

Naziv postrojenja: Maksimizirana fotonaponska elektrana

Tip postrojenja: sunčana elektrana instalirane snage do uključivo 10 kW

Priključna snaga elektrane:

- za preuzimanje iz distribucijske mreže $P_v = 1$ kW
- za isporuku u distribucijsku mrežu: $P_v = 10$ kW

Nazivni napon na mjestu priključka elektrane na distribucijsku mrežu: $U_n = 0,4$ KV (3 x 230 V AC)

Vrsta generatora (sinkroni/asinkroni): sinkroni

Vrsta izmjenjivača : 1 x AURORA PVI-100 OUTD-FS, 3 X 230/400V, 50 Hz, 10 kW

Fotonaponski paneli povezuju se u stringove (nizove) te svaki od njih tvori jedan fotonaponski generator koji se montiraju na podkonstrukciju na krovu predmetne građevine. U ovom slučaju postoji samo jedan string od 24 panela.

- String - S1 → 24 panela x 250 W_p – ukupne snage 10800 W_p

Zbog mogućih gubitaka u fotonaponskim panelima kao i u vodovima od panela do pretvarača postaviti će se veći broj fotonaponskih panela kako bi se postigla veća ulazna snaga na DC ulazu u pretvarač.

Svi ostali tehnički podaci za maksimiziranu fotonaponsku elektranu su isti kao i za klasičnu elektranu.

fotonaponski generatori priključuju se preko DC razdjelnika na DC/AC pretvarače na način:

- 1 x AURORA PVI-100 OUTD-FS, 3 X 230/400V, 50 Hz, 10 kW
 - MPPT1 → S1

4.2.4. Kontrola i nadzor fotonaponske elektrane

Kako postoji mogućnost zasjenjivanja, tvorničkih grešaka na spojevima ćelija, naslaga prljavštine, snijega i drugih pojava koje mogu ugroziti rad dijela ćelija na panelu, a zbog kojih se stvaraju gubici na cijelom stringu, planira se povezivanje fotonaponskih panela preko sustava TIGO

Energy Maximizer za maksimiziranje proizvodnje, kontrolu i izvješćivanje o greškama u stringovima. Tehnički podaci maximizera prikazani su u tablici 4.4..

Tablica 4.4. Tehnički podaci maximizera

Ulazni podaci (po modulu)	MM-2ES50
Maksimalna snaga	450W
Maksimalni ulazni DC napon (Voc)	45V
Vmp raspon*	16-48V
Maksimalna neprekidna struja (Imp)	9.5A
Maksimalna ulazna struja (Isc)	10A
* Vmp = napon pri max. snazi	
Izlazni podaci (DC)	
Maksimalna izlazna snaga	600W
Maksimalna neprekidna struja	9.5A
Nominalni raspon napona	promjenjiv
Mehanički podaci	
Raspon podnosive temperature	-30°C +70°C
Hlađenje	Prirodnom konvekcijom
Razina zaštite kućišta	IP-65, NEMA3R
Značajke	
Usklađenost	sa UL1741
Priključak panela kompatibilnost	NEC 2008 usklađenost, MC4
Priključak sabirnice	NEC 2008 usklađenost 40AMP

Tigo Energy Gateway (GTWY) osigurava bežičnu komunikaciju sa svakim Tigo Energy Module Maximizer jedinicom. Gateway uređaji se ugrađuju u središte polja fotonaponskih modula s kojima komuniciraju i mogu se ugraditi klasičnim načinom na stražnji dio modula ili na ožičenje.

5. EKONOMSKA ANALIZA FOTONAPONSKIH SUSTAVA

5.1. Troškovi održavanja

Budući da fotonaponska elektrana za svoj rad ne zahtijeva ljude niti gorivo, već je cijeli sustav automatiziran, troškovi održavanja prema [8] iznose od 1,5% do 2% investicijskih troškova godišnje. Pri tome treba uzeti u obzir zamjenu izmjenjivača kojeg je svakih 10 godina potrebno promijeniti, a čini povećani jednokratni trošak.

5.2. Troškovi investiranja

Troškovi koje čine investiranja u fotonaponske sustave se sastoje se od slijedećih stavki [8]:

- Troškovi opreme (fotonaponski moduli, izmjenjivači, baterije, nosači, itd..)
- Troškovi instalacije fotonaponskog sustava (montaža i puštanje u rad)
- Troškovi kapitala
- Ostali troškovi (suglasnosti, usluge projektanta, itd...)

Ukupne investicijske troškove čini zbroj navedenih stavki.

5.3. Nivelirani trošak

Nivelirani trošak koristi se za proračun troškova proizvodnje električne energije u kWh. Isplativost investiranja u fotonaponske sustave može se ocijeniti niveliranim troškom LCOE za fotonaponske sustave se može prema [16] izračunati pomoću slijedećeg izraza:

$$LCOE = \frac{OCS \times CRF \times FO\&MC}{\frac{E_0}{N} \times \sum_{k=1}^N \left(1 - \frac{d_r \times (k-1)}{100}\right)} \quad (5 - 2)$$

pri čemu su:

OCS- trošak investicije

CRF- faktor oporavka kapitala [%]

FO&MC- fiksni troškovi rada i održavanja [€]

E₀- proizvedena električna energija tijekom jedne godine [kWh / kWp / year]

N- broj godina

d_r- degradacijska stopa fotonaponskog modula [% / godini]

Faktor oporavka kapitala CRF se može izračunati pomoću izraza:

$$CRF = \frac{WACC \times (WACC + 1)^N}{(WACC + 1)^N - 1} + k_{inst} \quad (5 - 3)$$

gdje su:

WACC- procijenjen prosječni trošak kapitala [%]

k_{inst} - godišnji trošak osiguranja [%]

5.4. Isplativost fotonaponske elektrane

Kako bi se ispitala postoji li isplativost fotonaponske elektrane koristi se metoda neto sadašnje vrijednosti NPV (eng. net present value). Osim solarne instalacije, može se procijeniti i povrat drugih investicija, uključujući nekretnine i poslovne pothvate. Neto sadašnja vrijednost izračunava se tako što se od zbroja svih diskontiranih budućih novčanih tokova za vrijeme trajanja ulaganja oduzmu troškovi početne investicije. U fotonaponskim sustavima početno ulaganje predstavlja trošak sustava, a novčani tokovi predstavljaju uštedu energije. Neto sadašnja vrijednost se prema [16] izračunava pomoću izraza 5-4 gdje brojnik predstavlja diskontinuirane novčane tokove:

$$NPV = \sum_{i=0}^N \frac{\text{protok novca}_i}{(1 + d)^i} \quad (5 - 4)$$

gdje su:

N- trajanje investicije

i- godina u vijeku trajanja

protok novca- neto novčani tok u godini i

d- diskontna stopa

Kako bi postojala isplativost fotonaponske elektrane, neto sadašnja vrijednost mora biti pozitivna, odnosno $NPV > 0$.

5.5. Vrijeme povrata investicije

Vrijeme povrata investicija je vrijeme koje je potrebno kako bi se vratila početna ulaganja. Pri tome se mora voditi računa o vremenskom trajanju projekta koji za fotonaponske elektrane iznosi oko 25 godina. Vrijeme povrata investicije treba biti manje od vremena trajanja projekta. Vrijeme otplate fotonaponskog sustava se prema [7] može izračunati na slijedeći način:

1. potrebno je izračunati godišnju naknadu G_{el} za isporučenu električnu energiju koja se predaje u distribucijsku mrežu. Proizvedenu električnu energiju E_{pr} [kWh] iz fotonaponske elektrane potrebno je pomnožiti sa cijenom električne energije c [kn/kWh].

$$G_{el} = E_{pr} \times c \quad (5 - 5)$$

2. Vrijeme otplate fotonaponske elektrane t računa se kao omjer početne investicije I i godišnje naknade za isporučenu električnu energiju G_{el} .

$$t = \frac{I}{G_{el}} \quad (5 - 6)$$

5.6. Kućne fotonaponske elektrane u Republici Hrvatskoj

Kupci električne energije u distribucijskoj mreži HEP-a mogu imati vlastite fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije. Pri tome se proizvedena električna energija koristi za potrebe kupca, a višak električne energije se predaje u distribucijsku mrežu. Za kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom se primjenjuje naknada za priključenje prema članku 3. Pravilnika o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage. Predaja električne energije u distribucijsku mrežu Hrvatska Elektro Privreda obavlja se temeljem ugovora o opskrbi krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Ukoliko ne postoje uvjeti za sklapanje navedenog ugovora, postoji mogućnost sklapanje ugovora o otkupu električne energije sa bilo kojim otkupljivačem na tržištu. Prilikom preuzimanja električne energije utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije C_i za kupca električne energije od strane opskrbljivača prema slijedećem izrazu [17]:

$$C_i = 0.9 * PKCi \quad (5 - 7)$$

gdje je :

PKCi- cijena električne energiju koju kupac plaća opskrbljivaču električne energije, pri čemu nema naknada za korištenje mreže i poreza [kn/kWh].

6. EKONOMSKA ISPLATIVOST MAKSIMIZIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE U ODNOSU NA KLASIČNU ELEKTRANU

U ovom poglavlju su prikazani rezultati analize isplativosti maksimizirane fotonaponske elektrane u odnosu na klasičnu elektranu. Za potrebe ovog rada koristiti će se podaci vlasnika solarne elektrane u Požegi kao primjer maksimizirane elektrane. Klasična fotonaponska elektrana projektirati će se u programskom paketu PV SOL sa sličnim karakteristikama kao i maksimizirana elektrana. Lokacija simulirane klasična fotonaponske elektrane je na području grada Osijeka.

6.1. Troškovnik elektrotehničkih instalacija maksimizirane fotonaponske elektrane

U tablici 6.1. priložen je troškovnik maksimizirane fotonaponske elektrane koji sadrži opis radova, jedinične mjere, količinu te ukupan iznos pojedinih stavki.

Tablica 6.1. Specifikacija materijala i opreme za maksimiziranu fotonaponsku elektranu

TROŠKOVNIK ELEKTROTEHNIČKIH INSTALACIJA MAKSIMIZIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE					
A. SUSTAV ZAŠTITE OD DJELOVANJA MUNJE NA GRAĐEVINU					
r. br.	opis radova	jed. mjere	količina	jed. cijena	iznos
1.	Nabava i ugradnja nosača vodiča/žice \varnothing 8 mm ² . Vrste nosača su:				
	krovni nosač za trapezni lim	kom	120,00	58,00	6.960,00
2.	Nabava i ugradnja vodiča \varnothing 8 mm Al na pripremljene nosače.	kom	65,00	32,00	2.080,00
3.	Nabava i ugradnja križne spojnice za povezivanje vodič/žice na krovnoj LPS instalaciji. Križna spojnica je za međusobno povezivanje vodič/žice \varnothing 8 mm.	kom	14,00	70,00	980,00
4.	Nabava i ugradnja križne spojnice za povezivanje vodič/žice i trake na krovnoj LPS instalaciji za povezivanje na čeličnu krovnu konstrukciju. Križna spojnica je za međusobno povezivanje vodič/žice i trake \varnothing 8 mm/ 48x48mm.	kom	2,00	69,00	138,00

5.	Nabava i ugradnja loveće palice duljine 1m komplet sa postoljem za pričvršćenje na krovnu plohu od trapeznog lima.	kom	6,00	310,00	1.860,00
6.	Nabava i ugradnja spoja trake na čeličnu konstrukciju varenjem 10 cm obostrano i zaštitnim premazom protiv korozije.	kom	2,00	110,00	220,00
7.	Nabava i ugradnja spoja podkonstrukcijskih profila FN elektrane na LPS instalaciju. Stavka uključuje spojnice na profile podkonstrukcije i vodiča/žice ø8 mm duljine 1m.	kom	8,00	72,00	576,00
8.	Nabava i ugradnja instalacije izjednačenja potencijala žuto-zelenim P/F 10 mm ² vodičem spajanjem svih metalnih masa (podkonstrukcije, panela i sl.) na sabirnicu izjednačenja potencijala u GRO-u. Stavka obuhvaća sav sitni potrošni materijal (vijke, stopice i sl.)	m	40,00	18,00	720,00
9.	Ispitivanje instalacije i formiranje revizione knjige.	komplet	1,00	2.000,00	2.000,00
UKUPNO A:					15.534,00
B.	RAZDJELNI ORMARI				
r. br.	opis radova	jed. mjere	količina	jed. cijena	iznos
1.	Nabava i ugradnja razdjelnog ormara istosmjernog razvoda (R-DC). Ormar je nadgradni, tipske izvedbe izrađen od dekapiranog lima, obojen, IP65, dimenzija 2108x1048x40 mm sa mogućnošću zaključavanja, kpl. sa montažnom pločom, natpisima, umetnutom jednopolnom shemom izvedenog stanja, naljepnicama upozorenja, oznakama zaštite i podacima o proizvođaču, sa ugrađenom slijedećom opremom:	kom	1	1.320,00	
*	DC zaštitni prekidač 2-Polni C 16A, 10 kA	kom	2	410,00	
*	PV odvodnik prenapona izvlač. Kl. 1+2 (B+C) 600V DC, 7kA	kom	2	690,00	
	rastavna sklopke za cilindrične osigurače 10 x 38 mm 2P/32A	kom	2	390,00	
	25A XBS osigurač	kom	4	16,00	
	perforirani DIN nosač	m	2	15,00	
	POK kanal 60 x 40	m	2	1,00	

	vodiči za ožičavanje ormara P/F 6 mm ² (crni i plavi)	m	50	8,50	
	Uvodnica s maticom PG16 IP68	kom	3	5,00	
	Uvodnica s maticom PG21 IP68	kom	3	6,00	
	rad montera	sati	8	100,00	
	Razdjelni ormar RDC - opremljen:	komplet	1	5.654,00	5.654,00
2.	Nabava i ugradnja glavnog razdjelnog ormara GRO. Ormar je ugradni u vanjski zid, tipske izvedbe izrađen od dekapiranog lima, obojen, IP65, dimenzija 800x1000x300 mm sa mogućnošću zaključavanja, kpl. sa podžbukno montažnom kadom, montažnom pločom, natpisima, umetnutom jednopolnom shemom izvedenog stanja, naljepnicama upozorenja, oznakama zaštite i podacima o proizvođaču, sa ugrađenom slijedećom opremom:	kom	1	2.150,00	
*	glavna sklopka, kompaktni prekidač snage sa mogućnošću daljinskog isklapanja 80A, 25kA, tropolna	kom	3	870,00	
*	zaštitna strujna sklopka ZSS 63/0,3A, 4-polna	kom	1	610,00	
*	odvodnici prenapona tip 1+2, 3+0, 25kA	kom	3	680,00	
*	rastavna osigurač sklopka NH00, 160A, M8, 3p	kom	3	410,00	
*	rastalni osigurač NH00 50A	kom	6	34,00	
*	rastalni osigurač NH00 35A	kom	3	34,00	
*	automatski prekostrujni prekidač 6A	kom	3	27,00	
*	gljivasto tipkalo, crveno, montaža na vrata ormara	kom	1	160,00	
	SABIRNICE I SITNI MATERIJAL				
*	kabelske uvodnice, komplet sa maticom:				
	M32	kom	6	15,00	
	M20	kom	4	12,00	
	M12	kom	2	10,00	
*	bakrena sabirnica 20x5 mm/1,8m	kom	3	390,00	
*	potporni izolator s unutaršnjim i vanjskim navojem M6x35 mm	kom	10	66,00	
*	perforirani kabelski kanali, bezhalogeni 50x50mm	m	6	176,00	
*	redna stezaljka, brojčano označena 35 mm ²	kom	30	19,00	

*	redna stezaljka, brojčano označena 10 mm ²	kom	16	16,00	
*	vodiči za shemiranje, oznake, sitni spojni i montažni materijal	paušal	1	500,00	
*	držač dokumentacije	kom	1	50,00	
*	montaža i spajanje razdjelnika, izrada sheme izvedenog stanja	sati	16	100,00	
	Razdjelni ormar GRO - opremljen:	kmpl	1	15.207,00	15.207,00
	UKUPNO B:				20.861,00
C. OPREMA I INSTALACIJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE					
r. br.	opis radova	jed. mjere	količina	jed. cijena	iznos
1.	Nabava i ugradnja aluminijskih nosivih profila podkonstrukcije na krov za prihvat FN panela. Profili se postavljaju na pokrov trapeznim limom. Stavka obuhvaća pričvršćivanje podkonstrukcijskih profila na vijke te brtvljenje prodora kroz pokrov za provlačenje vodiča i nosivih vijaka. U podkonstrukciju se ubrajaju i slijedeći elementi:	m	100	69,00	6.900,00
*	nosivi element profila podkonstrukcije za trapezni lim	kom	100	52,00	5.200,00
*	spojnica za panel - između dva panela	kom	44	39,00	1.716,00
*	spojnica za panel - krajnja spojnica	kom	8	41,00	328,00
*	montaža komplet podkonstrukcije	sati	32	78,00	2.496,00
2.	Nabava i ugradnja monokristalnog fotonaponskog modula na pripremljenu podkonstrukciju, kpl. sa svim spojnim elementima (konektorima, priključnom kutijom, vodičima) i priborom za međusobno spajanje	kom	24	1.810,00	43.440,00
3.	Nabava i montaža trofaznog mrežnog invertera nazivne snage 10 kW, s DC prekidačem, 2 MPPT i 2 serije, wi-fi modulom s mobilnom i desktop aplikacijom za praćenje rada elektrane	kom	1	18.900,00	18.900,00
4.	Nabava i montaža nadzorne kontrolne jedinice (MMU) tipa TIGO Energy MMU, kpl s svim spojnim i montažnim materijalom	kom	1	1.980,00	1.980,00

5.	Nabava i montaža na poledinu FN panela uređaja Dual Maximizer za kontrolu snage i komunikaciju sa MMU uređajem. Stavka obuhvaća montažu i spajanje uređaja sa FN panelima, kpl. Sa spojnim vodičima, konektorima i ostalim spojnim i montažnim materijalom.	kom	12	1.360,00	16.320,00
6.	Nabava materijal i izvesti polaganje i spajanje komunikacijskog kabela RS 485 duljine 20m od MMU uređaja do Gateway uređaja u potkrovlju, položen u PK kanal, kpl s svim spojnim i montažnim materijalom	kom	1	950,00	950,00
7.	Nabava i montaža ispod krovne konstrukcije uređaja Gateway za bežičnu komunikaciju sa Dual Maximizerom, kpl sa svim spojnim i montažnim materijalom.	kom	1	720,00	720,00
8.	Nabava i montaža kablenskog PK kanala 100x50 mm za polaganje DC vodiča od panela do razdjelnika RDC kpl. Sa svim spojnim i montažnim priborom. Stavka obuhvaća izradu prodora kroz pokrovni termoizolirajući sendvič lim i brtvljenje istog.	m	20	87,00	1.740,00
9.	Nabava, polaganje i spajanje glavnog AC kabela tipa PP00-Y 5x16mm ² , od pretvarača preko GRO ormara do KPMO ormara. Kabel se uvlači u CS40 i polaže u zemljani rov.	m	165	145,00	23.925,00
10.	Nabava, polaganje i spajanje kabela JB-Y(St)Y 4x2x0,8 mm ² uvučenim u CS20 i polaže podžbukno za povezivanje MMU uređaja sa komunikacijskim ormarom.	m	40	20,00	800,00
11.	Nabava, polaganje i spajanje solarnog kabela 1x4 mm ² , za povezivanje FN panela i spoj na R-DC razdjelnik i na pretvarač. Kabel se uvlači u savitljivo metalno "Sapa" crijevo i polaže podžbukno. Stavka uključuje sav spojni pribor: vezice, objumice i sl.	m	140	26,00	3.640,00
12	Sva potrebna dokumentacija (pregled i ispitivane sustava, označavanje kablova, mjerenje el. Instalacija, projekt izvedenog stanja, upute za rukovanje i održavanje, atesti i dr.)	pauš	1	14.550,00	14.550,00
13	Sustav zaštite od udara groma	kom	1	15.500,00	15.500,00
				UKUPNO C:	159.105,00 kn
			0,25	pdv	39.776,25 kn

				UKUPNO	198.881,25 kn
--	--	--	--	--------	---------------

6.1.2. Analiza i proračun proizvodnje električne energije iz fotonaponske elektrane

Za potrebe ovog rada koristit će se grad Osijek kao lokacija maksimizirane elektrane. Tablicom 6.2. dani su podaci koji prikazuju dobivenu električnu energiju iz fotonaponskog sustava nazivne snage 10 kWp instalirane u Osijeku.

Tablica 6.2. Proizvedena električna energija iz fotonaponske elektrane u Osijeku

Mjesto izgradnje	Upadna energija sunčeva zračenja na nagnute module, E_Z , kWh/m ²	Dobivena energija iz fotonaponskih modula, E_{FN} , kWh/god	Dobivena električna energija iz fotonaponskog sustava, E_{ST} , kWh	Specifična godišnja proizvedena električna energija, kWh/kWp
Osijek	1370	14248	11398	1140

Prema izrazima (6-1) i (6-2) dobivene su dobivena i stvarna proizvedena energija iz fotonaponske elektrane.

Dobivena energija iz fotonaponskih modula:

$$E_{FN} = E_Z \cdot \eta_m \cdot A_m \text{ (kWh)} \quad (6-1)$$

Stvarno dobivena energija iz fotonaponskog modula:

$$E_{ST} = 85\% \cdot E_{FN} \text{ (kWh)} \quad (6-2)$$

gdje su:

E_Z – upadna energija sunčeva zračenja na module, kWh/m ²	1370	kWh/m ²
η_m – stupanj djelovanja modula	20,1	%
A_m – površina modula	66	m ²

Omjer učinkovitosti
fotonaponskih sustava

85 %

Prema [15] cijena proizvedene električne energije za elektrane manje od 10 kW iznosi 1,69 kn/kWh. Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu:

$$11398 * 1,69 \text{ kn / kWh} = 19.262,62 \text{ kn/god}$$

UKUPNI GODIŠNJI PRIHOD OD PROIZVODNJE EL.ENERGIJE:	19.262,62 kn
UKUPNA GODIŠNJA PROIZVODNJA EL.ENERGIJE (kWh):	18.174

6.1.3. Troškovnik elektrotehničkih instalacija klasične fotonaponske elektrane

U tablici 6.3. priložen je troškovnik klasične fotonaponske elektrane koji sadrži opis radova, jedinične mjere, količinu te ukupan iznos pojedinih stavki.

Tablica 6.3. Specifikacija materijala i opreme klasične fotonaponske elektrane

TROŠKOVNIK ELEKTROTEHNIČKIH INSTALACIJA KLASIČNE FOTONAPONSKE ELEKTRANE					
A. SUSTAV ZAŠTITE OD DJELOVANJA MUNJE NA GRAĐEVINU					
r. br.	opis radova	jed. mjere	količina	jed. cijena	iznos
1.	Nabava i ugradnja nosača vodiča/žice \varnothing 8 mm ² . Vrste nosača su:				
	krovni nosač za trapezni lim	kom	120,00	58,00	6.960,00
2.	Nabava i ugradnja vodiča \varnothing 8 mm Al na pripremljene nosače.	m	65,00	32,00	2.080,00
3.	Nabava i ugradnja križne spojnice za povezivanje vodič/žice na krovnoj LPS instalaciji. Križna spojnica je za međusobno povezivanje vodič/žice \varnothing 8 mm.	kom	14,00	70,00	980,00
4.	Nabava i ugradnja križne spojnice za povezivanje vodič/žice i trake na krovnoj LPS instalaciji za povezivanje na čeličnu krovnu konstrukciju. Križna spojnica je za međusobno povezivanje vodič/žice i trake \varnothing 8 mm/ 48x48mm.	kom	2,00	69,00	138,00

5.	Nabava i ugradnja loveće palice duljine 1m komplet sa postoljem za pričvršćenje na krovnu plohu od trapeznog lima.	kom	6,00	310,00	1.860,00
6.	Nabava i ugradnja spoja trake na čeličnu konstrukciju varenjem 10 cm obostrano i zaštitnim premazom protiv korozije.	kom	2,00	110,00	220,00
7.	Nabava i ugradnja spoja podkonstrukcijskih profila FN elektrane na LPS instalaciju. Stavka uključuje spojnice na profile podkonstrukcije i vodiča/žice ø8 mm duljine 1m.	kom	8,00	72,00	576,00
8.	Nabava i ugradnja instalacije izjednačenja potencijala žuto-zelenim P/F 10 mm ² vodičem spajanjem svih metalnih masa (podkonstrukcije, panela i sl.) na sabirnicu izjednačenja potencijala u GRO-u. Stavka obuhvaća sav sitni potrošni materijal (vijke, stopice i sl.)	m	40,00	18,00	720,00
9.	Ispitivanje instalacije i formiranje revizione knjige.	komplet	1,00	2.000,00	2.000,00
UKUPNO A:					15.534,00
B. RAZDJELNI ORMARI					
r. br.	opis radova	jed. mjere	količina	jed. cijena	iznos
1.	Nabava i ugradnja razdjelnog ormara istosmjernog razvoda (R-DC). Ormar je nadgradni, tipske izvedbe izrađen od dekapiranog lima, obojen, IP65, dimenzija 2108x1048x40 mm sa mogućnošću zaključavanja, kpl. sa montažnom pločom, natpisima, umetnutom jednopolnom shemom izvedenog stanja, naljepnicama upozorenja, oznakama zaštite i podacima o proizvođaču, sa ugrađenom slijedećom opremom:	kom	1	1.320,00	
*	DC zaštitni prekidač 2-Polni C 16A, 10 kA	kom	2	410,00	
*	PV odvodnik prenapona izvlač. Kl. 1+2 (B+C) 600V DC, 7kA	kom	2	690,00	
	rastavna sklopke za cilindrične osigurače 10 x 38 mm 2P/32A	kom	2	390,00	
	25A XBS osigurač	kom	4	16,00	
	perforirani DIN nosač	m	2	15,00	

	POK kanal 60 x 40	m	2	1,00	
	vodiči za ožičavanje ormara P/F 6 mm ² (crni i plavi)	m	50	8,50	
	Uvodnica s maticom PG16 IP68	kom	3	5,00	
	Uvodnica s maticom PG21 IP68	kom	3	6,00	
	rad montera	sati	8	100,00	
	Razdjelni ormar RDC - opremljen:	komplet	1	5.654,00	5.654,00
2.	Nabava i ugradnja glavnog razdjelnog ormara GRO. Ormar je ugradni u vanjski zid, tipske izvedbe izrađen od dekapiranog lima, obojen, IP65, dimenzija 800x1000x300 mm sa mogućnošću zaključavanja, kpl. sa podžbukno montažnom kadom, montažnom pločom, natpisima, umetnutom jednopolnom shemom izvedenog stanja, naljepnicama upozorenja, oznakama zaštite i podacima o proizvođaču, sa ugrađenom slijedećom opremom:	kom	1	2.150,00	
*	glavna sklopka, kompaktni prekidač snage sa mogućnošću daljinskog isklapanja 80A, 25kA, tropolna	kom	3	870,00	
*	zaštitna strujna sklopka ZSS 63/0,3A, 4-polna	kom	1	610,00	
*	odvodnici prenapona tip 1+2, 3+0, 25kA	kom	3	680,00	
*	rastavna osigurač sklopka NH00, 160A, M8, 3p	kom	3	410,00	
*	rastalni osigurač NH00 50A	kom	6	34,00	
*	rastalni osigurač NH00 35A	kom	3	34,00	
*	automatski prekostrujni prekidač 6A	kom	3	27,00	
*	gljivasto tipkalo, crveno, montaža na vrata ormara	kom	1	160,00	
	SABIRNICE I SITNI MATERIJAL				
*	kabelske uvodnice, komplet sa maticom:				
	M32	kom	6	15,00	
	M20	kom	4	12,00	
	M12	kom	2	10,00	
*	bakrena sabirnica 20x5 mm/1,8m	kom	3	390,00	
*	potporni izolator s unutarnjim i vanjskim navojem M6x35 mm	kom	10	66,00	
*	perforirani kabelski kanali, bezhalogeni 50x50mm	m	6	176,00	

*	redna stezaljka, brojčano označena 35 mm ²	kom	30	19,00	
*	redna stezaljka, brojčano označena 10 mm ²	kom	16	16,00	
*	vodiči za shemiranje, oznake, sitni spojni i montažni materijal	paušal	1	500,00	
*	držač dokumentacije	kom	1	50,00	
*	montaža i spajanje razdjelnika, izrada sheme izvedenog stanja	sati	16	100,00	
	Razdjelni ormar GRO - opremljen:	kmpl	1	15.207,00	15.207,00
				UKUPNO B:	20.861,00
C.	OPREMA I INSTALACIJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE				
r. br.	opis radova	jed. mjere	količina	jed. cijena	iznos
1.	Nabava i ugradnja aluminijskih nosivih profila podkonstrukcije na krov za prihvat FN panela. Profili se postavljaju na pokrov trapeznim limom. Stavka obuhvaća pričvršćivanje podkonstrukcijskih profila na vijke te brtvljenje prodora kroz pokrov za provlačenje vodiča i nosivih vijaka. U podkonstrukciju se ubrajaju i slijedeći elementi:	m	100	69,00	6.900,00
*	nosivi element profila podkonstrukcije za trapezni lim	kom	100	52,00	5.200,00
*	spojnica za panel - između dva panela	kom	44	39,00	1.716,00
*	spojnica za panel - krajnja spojnica	kom	8	41,00	328,00
*	montaža komplet podkonstrukcije	sati	32	78,00	2.496,00
2.	Nabava i ugradnja monokristalnog fotonaponskog modula na pripremljenu podkonstrukciju, kpl. sa svim spojnim elementima (konektorima, priključnom kutijom, vodičima) i priborom za međusobno spajanje. Karakteristike FN modula su:	kom	24	1.810,00	43.440,00
	UMPP = 33,72 V				
	IMPP = 13,05 A				
	PMPP = 440 Wp				
	I _{sc} = 13,73 A				
	U _{oc} = 41 V				
	Učinkovitost modula = 20,5 %				
	Dozvoljeno odstupanje struje i napona = +/- 3%				

	Dozvoljeno odstupanje snage = -0/+5 Wp				
	debljina stakla: 3,2mm ±2%				
	razina zaštite IP67				
	priključni konektori MC4, 4 mm ² , duljine 0,9m				
	dimenzije 2000x1000 mm ±2%				
3.	Nabava i montaža trofaznog mrežnog invertera nazivne sange 10 kW, s DC prekidačem, 2 MPPT i 2 serije, wi-fi modulom s mobilnom i desktop aplikacijom za praćenje rada elektrane	kom	1	18.900,00	18.900,00
4	Nabava i montaža kabelskog PK kanala 100x50 mm za polaganje DC vodiča od panela do razdjelnika RDC kpl. Sa svim spojnim i montažnim priborom. Stavka obuhvaća izradu prodora kroz pokrovni termoizolirajući sendvič lim i brtvljenje istog.	m	20	87,00	1.740,00
5	Nabava, polaganje i spajanje glavnog AC kabela tipa PP00-Y 5x16mm ² , od pretvarača preko GRO ormara do KPMO ormara. Kabel se uvlači u CS40 i polaže u zemljani rov.	m	165	145,00	23.925,00
5	Nabava, polaganje i spajanje kabela JB-Y(St)Y 4x2x0,8 mm ² uvučenim u CS20 i polaže podžbukno za povezivanje MMU uređaja sa komunikacijskim ormarom.	m	40	20,00	800,00
6	Nabava, polaganje i spajanje solarnog kabela 1x4 mm ² , za povezivanje FN panela i spoj na R-DC razdjelnik i na pretvarač. Kabel se uvlači u savitljivo metalno "Sapa" crijevo i polaže podžbukno. Stavka uključuje sav spojni pribor: vezice, obujmice i sl.	m	140	26,00	3.640,00
7	Sva potrebna dokumentacija (pregled i ispitivanje sustava, označavanje kablova, mjerenje i ispitivanje el. Instalacija, projekt izvedenog stanja, upute za rukovanje i održavanje, atesti i dr.)	pauš	1	14.550,00	14.550,00
8	Sustav zaštite od udara groma	kom	1	15.500,00	15.500,00
				UKUPNO C:	139.135,00 kn
			0,25	pdv	34.783,75 kn
				UKUPNO	173.918,75 kn

6.1.4. Analiza i proračun proizvodnje električne energije iz klasične fotonaponske elektrane

Podaci o dobivenoj potrošnji dobiveni su u simulacijskom programu na temelju odabrane lokacije Osijek te su prikazani u tablici 6.4..

Tablica 6.4. Analiza i proračun proizvodnje klasične fotonaponske elektrane

Snaga FN generatora	10,50kWp
Stupanj djelovanja (PR)	85,89 %
Godišnji gubici zbog zasjenjenja	0,9 %/godina
Isporuka energije u mrežu	11.687 kWh/godina
Standby potrošnja (Izmjenjivač)	1 kWh/godina
Izbjegnete CO ₂ -emisije	5.493 kg/godina

6.3. Isplativost maksimizirane fotonaponske elektrane

Za potrebe proračuna isplativosti obje elektrane koristit će se program Fractal Split Solar koji je izradila tvrtka Fractal d.o.o.. Financijska analiza obuhvatit će prihode, investicijske troškove i operativne troškove. Budući ga softver zahtjeva valute u eurima, troškovi obje elektrane biti će konvertirane iz kuna u eure. Osnovni podaci koji će biti jednaki za oba sustava postavljeni su na sljedeće vrijednosti kao što je prikazano u tablici 6.5..

Tablica 6.5. Osnovni podaci za financijsku analizu

Lokacija projekta: Osijek
Degradacija panela: 0.8%
Diskontna stopa: 7,5%
Udio kredita u investiciji: 45%
Kamatna stopa na kreditna sredstva: 5%
Vrijeme otplate kredita: 5 godina
Efektivna stopa poreza na dobit: 20 %
Porezna osnova za amortizaciju: 90 %
Amortizacijski period: 10 godina

Inflacija za oba sustava iznosi 2,5 % , a životni vijek trajanja postavljen je na 25 godina. Cijena električne energije postavljena je prema tvorničkim postavkama programa. Prilikom investicijskih troškova neće se uzimati u obzir troškovi priključenja na mrežu i troškovi dokumentacije. Također se neće razmatrati montaža i priključenje instalacije. Operativni troškovi obuhvaćaju zamjenu

invertera koja će se provesti svakih 10 godina te će iznositi 60 % cijene invertera. Osnovni podaci za maksimiziranu fotonaponsku elektranu postavljeni su prema tablici 6.6. Postavljene cijene i inflacija maksimizirane elektrane prikazane su u tablici 6.7..

Tablica 6.6. Osnovni podaci maksimizirane fotonaponske elektrane

Osnovni tehnički parametri projekta		
Naziv projekta		Projekt1
Lokacija projekta		Osijek
Snaga FN elektrane	MWp	0,010
Degradacija panela	%/god	0,80%
Godišnja proizvodnja energije	MWh	11,99
Faktor angažiranja	%	13,87%
Broj efektivnih sati rada	h	1215

Financiranje projekta		
Diskontna stopa (za equity)	%	7,50%
Udio kredita u investiciji (debt)	%	45,00%
Kamatna stopa na kreditna sredstva	%	5,00%
Vrijeme otplate kredita	god	5
Vlastiti kapital	€	23.049
Iznos kredita	€	18.858
Godišnja rata kredita	€	4.356

Porez i amortizacija		
Efektivna stopa poreza na dobit	%	20,0%
Porezna osnovica za amortizaciju	% od inv.	90,0%
Amortizacijski period	god	10
Stopa amortizacije	%	10,00%
Godišnja amortizacija	€	3.771,6

Tablica 6.7. Postavljene cijene i inflacija maksimizirane elektrane

Inflacija i životni vijek		
Inflacija	%	2,50%
Životni vijek projekta	god. (12-25)	25

Cijena električne energije		
Godišnje kretanje otkupne cijene		Model HR (pesimist) ▾
Tečaj	kn/€	7,40
Faktor učešća domaće komponente	-	0,93
Trajanje poticajne tarife	god.	12
Poticajna otkupna cijena u početnoj godini	kn/kWh	3,3880
Trenutna tržišna cijena el. energije	kn/kWh	0,4500
Godišnji faktor rasta cijene el. energije	%	4,00%
Poticajna otkupna cijena u početnoj godini	€/MWh	425,8
Trenutna tržišna cijena el. energije	€/MWh	60,8

Tablicom 6.8. prikazani su prihodi maksimizirane fotonaponske elektrane. Promatrani parametri su otkupna cijena, godišnja proizvodnja i bruto prihod. Prihodi su tablično sortirani prema godinama trajanja projekta čiji je procijenjeni ukupni vijek 25 godina.

Tablica 6.8. Prihodi maksimizirane fotonaponske elektrane

Otkupna cijena, godišnja proizvodnja i bruto prihod			
	Model HR (pesimist)	Godišnja proizvodnja	Ukupni prihodi
God.	€/MWh	MWh	€
1	425,8	12,0	5.105,2
2	436,4	11,9	5.191,0
3	447,3	11,8	5.277,8
4	458,5	11,7	5.365,8
5	470,0	11,6	5.454,9
6	481,7	11,5	5.545,0
7	493,8	11,4	5.636,3
8	506,1	11,3	5.728,7
9	518,8	11,2	5.822,1
10	531,8	11,1	5.916,7
11	545,0	11,0	6.012,3
12	558,7	10,9	6.109,0
13	97,4	10,8	1.055,3
14	101,3	10,7	1.087,8
15	105,3	10,6	1.121,2
16	109,5	10,6	1.155,5
17	113,9	10,5	1.190,8
18	118,5	10,4	1.227,1
19	123,2	10,3	1.264,4
20	128,1	10,2	1.302,7
21	133,2	10,1	1.342,0
22	138,6	10,0	1.382,4
23	144,1	9,9	1.423,8
24	149,9	9,8	1.466,4
25	155,9	9,7	1.510,1

Prema tablici 6.9. prikazani su investicijski troškovi maksimizirane elektrane. Ukupni investicijski troškovi iznose 24,444 €. Troškovi konstrukcije obuhvaćaju i maximizer, uređaj za bežičnu komunikaciju i kontrolnu ploču. Prikazana je i analiza udjela pojedinih stavki u ukupnim troškovima pa se tako može primijetiti da fotonaponski paneli čine 24,7 % ukupnih troškova. Nepredviđeni troškovi iznose 5 % udjela u troškovima i iznose 1,164 €.

Tablica 6.9. Investicijski troškovi maximizirane fotonaponske elektrane

3) Investicijski troškovi			
Komponenta	Ukupno (€)	Ukupno (€/kW)	Ukupno (%)
FN Moduli	6.030	603,0	24,7%
Inverteri	2.650	265,0	10,8%
Konstrukcija	8.760	876,0	35,8%
Uređenje terena, građevinski radovi i temelji, montaža (radovi)	0	0,0	0,0%
Elektro oprema (DC, AC kabeli, ormari, zaštita, uzemljenje...)	5.840	584,0	23,9%
Priključak na mrežu	0	0,0	0,0%
Dokumentacija i priprema	0	0,0	0,0%
Nepredviđeni troškovi	1.164	116,4	4,8%
Ukupni investicijski troškovi	24.444,0	2.444,4	100%

Udio u nepredviđenim troškovima	%	5,00%
---------------------------------	---	-------

Operativne troškove maximizirane elektrane čine zamjena invertera, najam zemljišta te troškovi održavanja. Najam zemljišta neće se uzimati u obzir prilikom analize isplativost. Trošak održavanja postavljen je na 0,50 %, a godišnji rast troškova održavanja na 2,50 %. Tablica 6.10. prikazuje postavljene operativne troškove maximizirane elektrane.

Tablica 6.10. Operativni troškovi maximizirane fotonaponske elektrane

Povremeni troškovi		
Zamjena invertera	% od cijene invertera	60,00%
	€	1.312
	god.	10

Najam zemljišta / krova - naknade		
Najam zemljišta / krova		ne <input type="button" value="v"/>

Održavanje i osiguranje		
Trošak održavanja	% od investicije	0,50%
Godišnji rast troškova održ.	% / god	2,50%
Trošak osiguranja	% od investicije	0,50%
Godišnji rast troškova osig.	% / god	0,00%

Tablicom 6.11. prikazani godišnji operativni troškovi sortirati prema trajanju vijeka projekta. Troškovi održavanja porasli su tijekom godina pa su tako u zadnjoj godini iznosili 221,1 € te čine 38,86 % od prihoda.

Tablica 6.11. Godišnji operativni troškovi maksimizirane fotonaponske elektrane

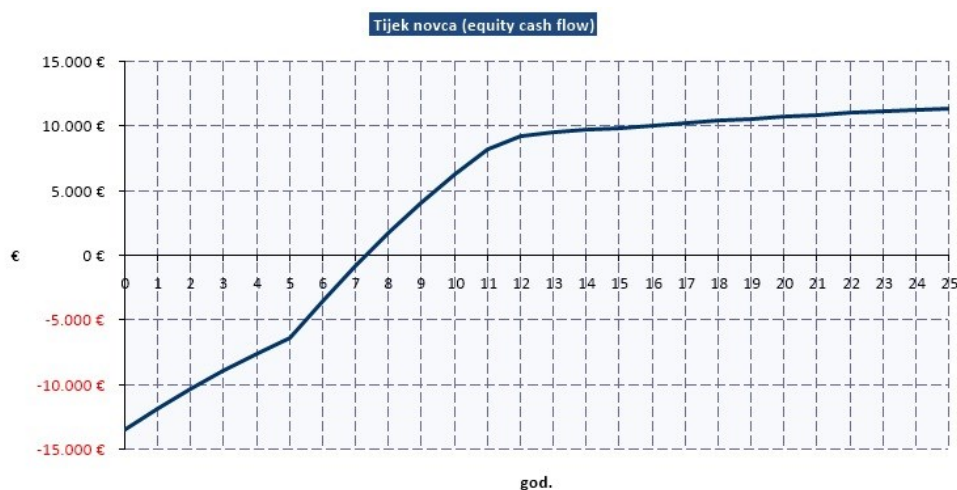
Godišnji operativni troškovi						
God.	Održavanje(€)	Naknade(€)	Osiguranje(€)	Ukupno (€)	Ukupno (€/MWh)	Ukupno (% od prihoda)
1	122,2	255,3	122,2	499,7	41,7	9,79%
2	125,3	272,5	122,2	520,0	43,7	10,02%
3	128,4	290,9	122,2	541,6	45,9	10,26%
4	131,6	310,6	122,2	564,4	48,2	10,52%
5	134,9	331,5	122,2	588,6	50,7	10,79%
6	138,3	353,9	122,2	614,4	53,4	11,08%
7	141,7	377,7	122,2	641,6	56,2	11,38%
8	145,3	403,0	122,2	670,5	59,2	11,71%
9	148,9	430,1	122,2	701,2	62,5	12,04%
10	152,6	458,9	122,2	733,8	65,9	12,40%
11	156,5	489,7	122,2	768,3	69,7	12,78%
12	160,4	522,4	122,2	805,0	73,6	13,18%
13	164,4	94,8	122,2	381,3	35,2	36,14%
14	168,5	102,6	122,2	393,3	36,6	36,15%
15	172,7	111,0	122,2	405,9	38,1	36,20%
16	177,0	120,1	122,2	419,3	39,7	36,29%
17	181,4	130,0	122,2	433,6	41,5	36,41%
18	186,0	140,6	122,2	448,8	43,3	36,58%
19	190,6	152,1	122,2	465,0	45,3	36,78%
20	195,4	164,6	122,2	482,2	47,4	37,02%
21	200,3	178,0	122,2	500,5	49,7	37,30%
22	205,3	192,6	122,2	520,1	52,1	37,62%
23	210,4	208,3	122,2	540,9	54,7	37,99%
24	215,7	225,2	122,2	563,1	57,6	38,40%
25	221,1	243,5	122,2	586,8	60,6	38,86%

Na slici 6.7. prikazan je tijek novca maksimizirane elektrane. Vrijeme povrata investicije iznosi osam godina kada kumulativno iznosi 1,674 €. Kumulativni iznosi najveći su u zadnjoj godini trajanja projekta i iznose 11,397 €. Suprotno tome, bruto prihodi su najmanji u zadnjoj godini i iznose 923 €.

Na slici 6.1. prikazan je graf vremena povrata investicije na kojoj linija koja presijeca vremensku os označava vrijeme povrata investicije.

Tablica 6.12. Tijek novca maksimizirane fotonaponske elektrane

5) Financijska analiza					
Tijek novca (equity cash flow)					
God.	Bruto dobit (Bez poreza)	Neto dobit (uklj. porez)	Diskontirano	Kumulativno	Vrijeme povrata
0	-13.444 €	-13.444 €	-13.444 €	-13.444 €	
1	2.065 €	1.694 €	1.576 €	-11.869 €	
2	2.130 €	1.726 €	1.494 €	-10.375 €	
3	2.196 €	1.758 €	1.415 €	-8.960 €	
4	2.261 €	1.788 €	1.339 €	-7.622 €	
5	2.326 €	1.816 €	1.265 €	-6.356 €	
6	4.931 €	4.385 €	2.841 €	-3.515 €	
7	4.995 €	4.436 €	2.674 €	-842 €	
8	5.058 €	4.486 €	2.516 €	1.674 €	8
9	5.121 €	4.537 €	2.366 €	4.040 €	
10	5.183 €	4.586 €	2.225 €	6.265 €	
11	5.244 €	4.195 €	1.893 €	8.159 €	
12	3.714 €	2.653 €	1.114 €	9.273 €	
13	674 €	539 €	211 €	9.483 €	
14	695 €	556 €	202 €	9.685 €	
15	715 €	572 €	193 €	9.879 €	
16	736 €	589 €	185 €	10.064 €	
17	757 €	606 €	177 €	10.241 €	
18	778 €	623 €	169 €	10.410 €	
19	799 €	640 €	162 €	10.572 €	
20	820 €	656 €	155 €	10.727 €	
21	841 €	673 €	147 €	10.874 €	
22	862 €	690 €	141 €	11.015 €	
23	883 €	706 €	134 €	11.149 €	
24	903 €	723 €	127 €	11.276 €	
25	923 €	739 €	121 €	11.397 €	



Slika 6.1. Prikaz vremena povrata investicije maksimizirane fotonaponske elektrane

6.4. Isplativost klasične fotonaponske elektrane

Osnovni podaci kao i lokacija projekta jednaki su kao u prethodnom slučaju. Prilikom unosa osnovnih podataka postoje izmjene u ukupnoj snazi elektrane te proizvedenoj električnoj energiji tijekom jedne godine. Tablicom 6.13. prikazan je unos osnovnih parametara klasične elektrane.

Tablica 6.13. Osnovni podaci klasične fotonaponske elektrane

1) Osnovni podaci		
Osnovni tehnički parametri projekta		
Naziv projekta		Projekt2
Lokacija projekta		Osijek
Snaga FN elektrane	MWp	0,015
Degradacija panela	%/god	0,80%
Godišnja proizvodnja energije	MWh	12,00
Faktor angažiranja	%	9,13%
Broj efektivnih sati rada	h	800
Financiranje projekta		
Diskontna stopa (za equity)	%	7,50%
Udio kredita u investiciji (debt)	%	45,00%
Kamatna stopa na kreditna sredstva	%	5,00%
Vrijeme otplate kredita	god	5
Vlastiti kapital	€	15.865
Iznos kredita	€	12.981
Godišnja rata kredita	€	2.998
Porez i amortizacija		
Efektivna stopa poreza na dobit	%	20,0%
Porezna osnovica za amortizaciju	% od inv.	90,0%
Amortizacijski period	god	10
Stopa amortizacije	%	10,00%
Godišnja amortizacija	€	2.596,2

Tablicom 6.13. prikazani su prihodi maksimizirane fotonaponske elektrane. Promatrani parametri su otkupna cijena, godišnja proizvodnja i bruto prihod. Prihodi su tablično sortirani prema vijeku trajanja projekta (25 godina).

Slika 6.13. Prihodi klasične fotonaponske elektrane

Otkupna cijena, godišnja proizvodnja i bruto prihod			
	Model HR (pesimist)	Godišnja proizvodnja	Ukupni prihodi
God.	€/MWh	MWh	€
1	425,8	12,0	5.105,2
2	436,4	11,9	5.191,0
3	447,3	11,8	5.277,8
4	458,5	11,7	5.365,8
5	470,0	11,6	5.454,9
6	481,7	11,5	5.545,0
7	493,8	11,4	5.636,3
8	506,1	11,3	5.728,7
9	518,8	11,2	5.822,1
10	531,8	11,1	5.916,7
11	545,0	11,0	6.012,3
12	558,7	10,9	6.109,0
13	97,4	10,8	1.055,3
14	101,3	10,7	1.087,8
15	105,3	10,6	1.121,2
16	109,5	10,6	1.155,5
17	113,9	10,5	1.190,8
18	118,5	10,4	1.227,1
19	123,2	10,3	1.264,4
20	128,1	10,2	1.302,7
21	133,2	10,1	1.342,0
22	138,6	10,0	1.382,4
23	144,1	9,9	1.423,8
24	149,9	9,8	1.466,4
25	155,9	9,7	1.510,1

U tablici 6.14. uneseni su investicijski troškovi klasične fotonaponske elektrane. Udio fotonaponskih modula iznosi 38,9 % ukupnih troškova. Elektrooprema čini 5,200 € budući da ne postoje uređaji za maksimizaciju proizvodnje električne energije. Ukupni troškovi čine 20,853 €. Nepredviđeni troškovi iznose 993 €.

Tablica 6.14. Investicijski troškovi klasične fotonaponske elektrane

3) Investicijski troškovi			
Komponenta	Ukupno (€)	Ukupno (€/kW)	Ukupno (%)
FN Moduli	6.030	603,0	28,9%
Inverteri	2.650	265,0	12,7%
Konstrukcija	5.980	598,0	28,7%
Uređenje terena, građevinski radovi i temelji, montaža (radovi)	0	0,0	0,0%
Elektro oprema (DC, AC kabeli, ormari, zaštita, uzemljenje...)	5.200	520,0	24,9%
Priključak na mrežu	0	0,0	0,0%
Dokumentacija i priprema	0	0,0	0,0%
Nepredviđeni troškovi	993	99,3	4,8%
Ukupni investicijski troškovi	20.853,0	2.085,3	100%

Udio u nepredviđenim troškovima	%	5,00%
---------------------------------	---	-------

Tablica 6.15. Godišnji operativni troškovi klasične fotonaponske elektrane

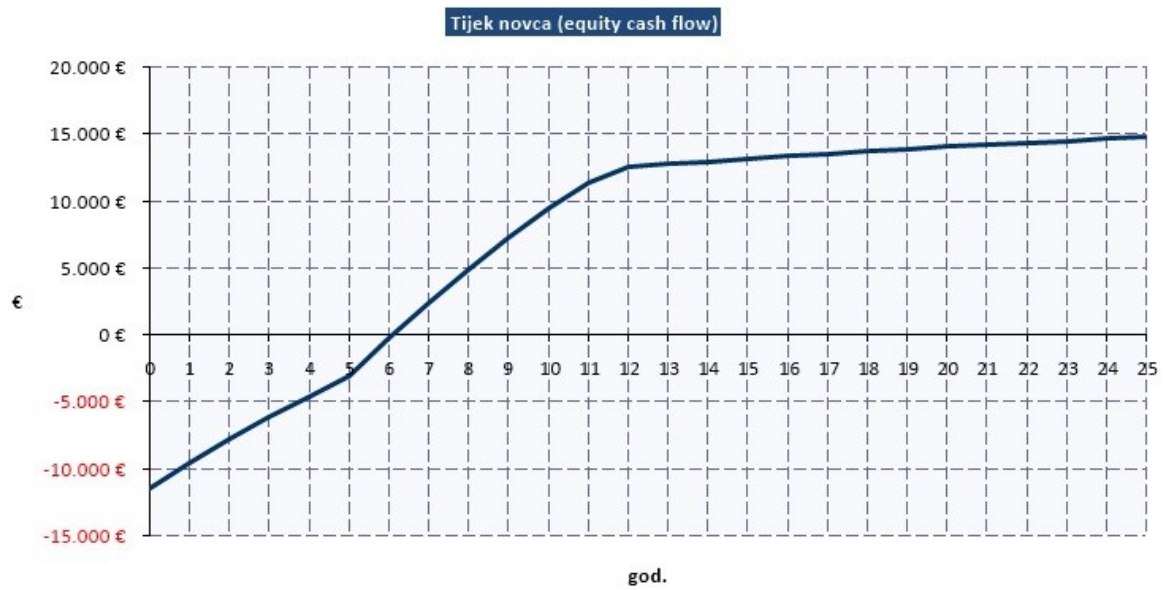
Godišnji operativni troškovi						
God.	Održavanje(€)	Naknade(€)	Osiguranje(€)	Ukupno (€)	Ukupno (€/MWh)	Ukupno (% od prihoda)
1	104,3	255,3	104,3	463,8	38,7	9,08%
2	106,9	272,5	104,3	483,7	40,7	9,32%
3	109,5	290,9	104,3	504,7	42,8	9,56%
4	112,3	310,6	104,3	527,1	45,0	9,82%
5	115,1	331,5	104,3	550,9	47,5	10,10%
6	118,0	353,9	104,3	576,1	50,0	10,39%
7	120,9	377,7	104,3	602,8	52,8	10,70%
8	123,9	403,0	104,3	631,2	55,8	11,02%
9	127,0	430,1	104,3	661,4	58,9	11,36%
10	130,2	458,9	104,3	693,4	62,3	11,72%
11	133,5	489,7	104,3	727,4	65,9	12,10%
12	136,8	522,4	104,3	763,5	69,8	12,50%
13	140,2	94,8	104,3	339,2	31,3	32,15%
14	143,7	102,6	104,3	350,6	32,6	32,23%
15	147,3	111,0	104,3	362,6	34,1	32,34%
16	151,0	120,1	104,3	375,4	35,6	32,49%
17	154,8	130,0	104,3	389,0	37,2	32,67%
18	158,7	140,6	104,3	403,5	39,0	32,89%
19	162,6	152,1	104,3	419,0	40,8	33,14%
20	166,7	164,6	104,3	435,5	42,8	33,43%
21	170,9	178,0	104,3	453,1	45,0	33,77%
22	175,1	192,6	104,3	471,9	47,3	34,14%
23	179,5	208,3	104,3	492,0	49,8	34,56%
24	184,0	225,2	104,3	513,5	52,5	35,01%
25	188,6	243,5	104,3	536,4	55,4	35,52%

U tablici 6.15. prikazani su godišnji operativni troškovi klasične fotonaponske elektrane iz koje se vidi da su troškovi održavanja najveći u zadnjoj godini trajanja projekta i iznose 188,6 € što čini 35,52 % prihoda.

U tablici 6.16. prikazan je tijek novca klasične elektrane. Vrijeme povrata investicije iznosi sedam godina kada kumulativno iznosi 2,416 €. Bruto prihodi tada iznose 4,402 €. Bruto prihodi najmanji su u zadnjoj godini trajanja projekta i iznose 974 €.

Tablica 6.16. Tijek novca klasične fotonaponske elektrane

5) Financijska analiza					
Tijek novca (equity cash flow)					
God.	Bruto dobit (Bez poreza)	Neto dobit (uklj. porez)	Diskontirano	Kumulativno	Vrijeme povrata
0	-11.469 €	-11.469 €	-11.469 €	-11.469 €	
1	2.474 €	2.015 €	1.874 €	-9.595 €	
2	2.540 €	2.051 €	1.774 €	-7.820 €	
3	2.606 €	2.085 €	1.679 €	-6.142 €	
4	2.671 €	2.119 €	1.587 €	-4.555 €	
5	2.737 €	2.152 €	1.499 €	-3.056 €	
6	4.969 €	4.351 €	2.819 €	-237 €	
7	5.033 €	4.402 €	2.653 €	2.416 €	7
8	5.097 €	4.453 €	2.497 €	4.913 €	
9	5.161 €	4.504 €	2.349 €	7.263 €	
10	5.223 €	4.554 €	2.210 €	9.472 €	
11	5.285 €	4.228 €	1.908 €	11.380 €	
12	3.756 €	2.686 €	1.128 €	12.508 €	
13	716 €	573 €	224 €	12.732 €	
14	737 €	590 €	214 €	12.946 €	
15	759 €	607 €	205 €	13.151 €	
16	780 €	624 €	196 €	13.348 €	
17	802 €	641 €	188 €	13.535 €	
18	824 €	659 €	179 €	13.714 €	
19	845 €	676 €	171 €	13.885 €	
20	867 €	694 €	163 €	14.049 €	
21	889 €	711 €	156 €	14.205 €	
22	910 €	728 €	148 €	14.353 €	
23	932 €	745 €	141 €	14.494 €	
24	953 €	762 €	134 €	14.629 €	
25	974 €	779 €	128 €	14.756 €	



Slika 6.2. Prikaz vremena povrata klasične fotonaponske elektrane

Slikom 6.2. prikazan je graf vremena povrata investicije na kojoj linija koja presijeca vremensku os označava vrijeme povrata investicije.

ZAKLJUČAK

Provedenom financijskom analizom prikazani su troškovi klasične fotonaponske elektrane i maksimizirane fotonaponske elektrane te akumulacija novca odnosno prihoda pri njihovoj proizvodnji tijekom trajanja rada sustava koji iznosi životni vijek panela od 25 godina. Promatrane vrste elektrane posjeduju slične karakteristike, iako povećanje investicije kod maksimizirane elektrane čine uređaji za maksimizaciju proizvodnje električne to ne predstavlja problem nego donosi razne benefite. Ukupni investicijski troškovi maksimizirane elektrane iznose 24,444 €, a klasične elektrane 20,853 €. Vrijeme povrata investicije kod maksimizirane elektrane iznosilo je osam godina te tada bruto prihod iznosi 5,058 €. Kod klasične fotonaponske elektrane vrijeme povrata investicija iznosi sedam godina te tada bruto prihod iznosi 5,033 €. Troškovi održavanja manji su kod klasične fotonaponske elektrane te u zadnjoj godini iznose 188,6 €, dok kod maksimizirane elektrane iznose 221,1 €. Povećanjem investicije zbog ugradnje maximizer investitor sebi osigurava kontinuirani način rada, lakše upravljanje i održavanje fotonaponske elektrane. Zbog ugrađenih maximizer sustav neće imati prekide rada, ako se desi kvar na pojedinom panelu što mu osigurava kontinuiranu proizvodnju, nadzor proizvodnje, i same elektrane, bržu detekciju kvara, a samim time i brže rješavanje kvara.

Proračun i simulacija proizvodnje električne energije provedeni su na temelju poznatih vrijednosti ozračenosti na području Osijeka i godišnje proizvedene električne energije s obzirom na ukupnu snagu elektrane. Ono što nije bilo moguće obuhvatiti prilikom analize je to da maksimizirana fotonaponska elektrana zbog posjedovanja maximizera ostvaruje znatno veću proizvodnju, a time bi posjedovala i veće prihode budući da bi radila u uvjetima u kojima klasična elektrana ne može raditi te bi time i proizvodnja električne energija bila veća. S obzirom na to da maksimizirana fotonaponska elektrana posjeduje i uređaje za daljinski nadzor i upravljanje, dodatno je povećana učinkovitost fotonaponskog sustava jer se kvarovi mogu pravovremeno uočiti i otkloniti što nije slučaj kod klasične elektrane. Time maksimizirana fotonaponska elektrana na temelju provedene financijske analize ima prednosti koje posjeduje ostvaruje veću ekonomsku isplativost gledajući dugoročno.

LITERATURA

- [1] Državni hidrometeorološki zavod-Klimatske promjene, https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene (pristup 20.04.2022)
- [2] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike- Okoliš na dlanu, http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/publications/2020-06/2020%20Okolis%20na%20dlanu_Final_Draft%20f.pdf (pristup 20.04.2022)
- [3] Narodne novine, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_12_116_2300.html (pristup 21.04.2022)
- [4] Energija u Hrvatskoj 2020, http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2022/01/Velika_EIHP_Energija_2020.pdf (pristup 21.04.2022)
- [5] Solarna energija u Hrvatskoj, <https://hrcak.srce.hr/file/228438> (pristup 21.04.2022)
- [6] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatska do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2020_03_25_602.html (pristup 21.04.2022)
- [7] Solarni paneli, http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf (pristup 26.01.2022)
- [8] Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost za ruralna područja, Topić, Danijel; Varjú Viktor; Horváthné Kovács Bernadett, https://www.bib.irb.hr/984785/download/984785.rures_cro_final_2018_12_24.pdf (pristup 27.03.2022.)
- [9] Tehnologije obnovljivih izvora energije, Interna skripta, Damir Šljivac, Danijel Topić, Osijek, 2016.
- [10] Klimatske informacije i obnovljivi izvori energije: Sunčevo zračenje, http://klima.hr/razno/projekti2013/climrun_radionica1/WS_suncevo_zracenje.pdf (pristup 01.02.2022.)
- [11] Solar Photovoltaic (PV) System Components, <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1742-2018.pdf> (pristup 01.02.2022.)
- [12] System components and configurations, <https://ecgllp.com/files/6814/0200/1304/4-System-Components-and-Configurations.pdf> (pristup 04.02.2022.)
- [13] PV GIS, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP (pristup 04.02.2022.)

- [14] PVSOL, https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=hr&_x_tr_hl=hr&_x_tr_pto=sc (pristup 04.02.2022.)
- [15] Topić, D., Knežević, G., Kosić, D. i Perko, J. (2018). Simplified Model for Optimal Sizing of the Off-Grid PV System Regarding Value of Loss of Load Probability. Tehnički vjesnik, 25 (Supplement 2), 420-426., <https://doi.org/10.17559/TV-20171203150754> (pristup 01.5.2022.)
- [16] LCOE for Zero-Energy Greenhouse, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7418616> (pristup 05.02.2022.)
- [17] Kupci s vlastitom proizvodnjom, <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (pristup 06.02.2022.)
- [18] Tarifni sustav za proizvodnju EE, https://files.hrote.hr/files/PDF/Tarifni_sustav_za_proizvodnju_EE_iz_OIEIK_NN_133_13.pdf (pristup 07.02.2022.)
- [19] TIGO energy maximizer, <https://www.ecodirect.com/Tigo-Energy-300-Watt-Maximizer-p/tigo-es050v300w-5w.htm> (pristup 24.04.2022.)
- [20] Šljivac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Vukobratović, M., Topić, D. i Čepić, Z. (2014). Usporedba isplativosti mrežnih fotonaponskih sustava u panonskim dijelovima Hrvatske i Srbije. Tehnički vjesnik, 21 (5), 1149-1157. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/129131> (pristup 24.04.2022.)
- [21] D. Šljivac, D. Topić, Obnovljivi izvori električne energije, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek, 2018.
- [22] DIREKTIVA 2009/28/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=HU> (pristup 24.04.2022.)

SAŽETAK

Cilj ovog rada je ukazati na mogućnost povećanja učinkovitosti fotonaponskog sustava ugradnjom dodatne energetske elektronike te usporediti isplativost ulaganja u odnosu sa klasičnom fotonaponskom elektranom. Kroz rad su opisani energija sunca, fotonaponski sustavi, dijelovi fotonaponskog sustava i alati u kojima se projektira fotonaponski sustav. Nadalje, opisana je i provedena detaljna ekonomska analiza klasične fotonaponske elektrane i elektrane s dodatnom energetskom. Provedenom financijskom analizom dobiven je uvid u isplativost obje elektrane.

Ključne riječi: Fotonaponski sustav, financijska analiza, energija Sunca

Economic profitability of a photovoltaic power plant system with maximizing electricity production compared to a conventional system

ABSTRACT

The aim of this work is to point out the possibility of increasing the efficiency of the photovoltaic system by installing additional power electronics and to compare the cost-effectiveness of the investment in relation to a conventional photovoltaic power plant. This paper describes solar energy, photovoltaic systems, parts of the photovoltaic system and tools of which the photovoltaic system is designed. Furthermore, a detailed economic analysis and comparison of a conventional photovoltaic power plant and an improved power plant is described and conducted. The conducted financial analysis provides an insight into the profitability of both power plants.

Keywords: Photovoltaic system, financial analysis, solar energy

ŽIVOTOPIS

Nikola Kristić rođen je 26. studenog 1996. godine u Vinkovcima. Završio je Osnovnu školu Stjepana Antolovića u Privlaci. Nakon toga upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima, smjer Građevinski tehničar koju završava 2015. godine. Iste godine upisuje preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer Automatika, na Elektrotehničkom fakultetu Osijek. Upisani preddiplomski stručni studij elektrotehnike završava 2018. godine. Iste godine upisuje Razlikovne obveze koje završava 2019. godine. Nakon toga upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer Održiva elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.