Idejno rješenje sunčane elektrane u zaleđu Dalmacije

Laješić, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:496407

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Laješić

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Dr. sc. Daniel Rolph Schneider, dipl. ing.

Student:

Filip Laješić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Danielu Rolphu Schneideru, kao i dr.sc. Goranu Krajačiću na pruženoj stručnoj pomoći te ustupljenom vremenu i komentarima pri samoj izradi diplomskog rada.

Također, želim se zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj podršci tijekom mojeg školovanja.

Filip Laješić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum 4 -07- 2019	Prilog
Klasa: 602-04/19-6/3	
Ur. broj: 15-1703-19-266	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Filip Laješić** Mat. br.: 0035184677

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Idejno rješenje sunčeve elektrane u zaleđu Dalmacije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Conceptual solution of a solar power plant in the hinterland of Dalmatia**

Opis zadatka:

Povećanjem potreba za električnom energijom, kao i zbog nastojanja za smanjenjem udjela električne energije dobivene iz fosilnih goriva, a u svrhu smanjenja emisija stakleničkih plinova, solarna energija u posljednjem desetljeću sve više dobiva na značaju. Iako još uvijek relativno malen u odnosu na druge izvore energije, kapacitet instaliranih solarnih elektrana se od 2008. povećao deset puta, proizvodeći više od 1,3% ukupne potražnje za električnom energijom na globalnoj razini. Uz političke, regulatorne i tržišne inicijative koje su poduzele mnoge vlade širom svijeta, rapidno smanjenje troškova solarnih fotonaponskih (FN) ćelija (prvenstveno poli-silicija) bilo je ključni pokretač te evolucije u solarnoj FN tehnologiji, čime fotonaponski sustavi postaju jedan od sve zastupljenijih načina proizvodnje električne energije.
U ovom radu potrebno je napraviti idejno rješenje sunčeve elektrane srednjeg kapaciteta u zaleđu Dalmacije, na lokaciji u blizini Imotskog, na raspoloživoj površini od preko 5 ha, te je potrebno analizirati njenu isplativost kako bi se potencijalnom investitoru te donosiocima odluka ukazalo na rentabilnost izgradnje takvog postrojenja, s obzirom da se za nove FN elektrane više ne dobivaju poticajne cijene otkupa električne energije (*feed-in* tarifa).
U radu je potrebno:
- napraviti pregled FN tehnologija kao i tehnologija za skladištenje električne energije u baterijama,
- napraviti pregled trenutno važećih zakona i drugih propisa vezanih uz priključenje solarne elektrane,
- izračunati raspoloživu proizvodnju električne energije iz Sunca na zadanoj lokaciji iz analiziranog postrojenja,
- napraviti skice i crteže postavljanja fotonaponskih modula, kao i nosača, te sve ostale potrebne uređaje i objekte postrojenja, uz analizu rješenja s fiksnim nosačima kao i nosačima s praćenjem položaja sunca,
- izraditi ekonomsku analizu te analizirati isplativost postrojenja,
- analizirati mogućnost implementacije baterija (akumulatora) u sunčevu elektranu, kao i njihovoj utjecaj s energetskog i ekonomskog aspekta.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
2. svibnja 2019.	4. srpnja 2019.	10., 11. i 12. srpnja 2019.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Daniel Rolph Schneider Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

Sadržaj

Sažetak 11
Summary 12
1. Općenito 13
2. Uvod 14
3. Sunčevo zračenje 16
3.1. Različito sunčevo zračenje 16
4. Opis lokacije i područja 17
5. Namjena postrojenja 17
6. Oblikovanje građevine 18
7. Fotonaponski modul 19
7.1. Fotonaponski efekt 21
7.2. Energija iz fotonaponskih modula 21
7.3. Karakteristični parametri fotonaponskog modula 21
7.4. Odnosno snage i cijene fotonaponskih modula 22
7.5. Odabir fotonaponskog modula 23
7.6. Spajanje fotonaponskih modula 24
7.7. Nosač fotonaponskog modula 27
7.8. Pretvarač DC/AC 27
7.9. Preostala oprema i radovi 28
8. Proračun proizvodnje električne energije 29
8.1. Postavljanje fotonaponskih modula 29
8.2. Raspored fotonaponskih modula 34
8.3. Proizvedena električna energija 35
8.4. Energija na mjesečnoj razini 38
8.5.Smanjenje iskoristivosti fotonaponskih modula kroz njihov životni vijek 40
8.6. Ekonomska analiza 43
9. Iskoristivost površine 45
10. Kako varijabilni obnovljivi izvori utječu na ekonomiku elektro-energetskog sustava 47
11. Ocjena rentabilnosti projekta 49
11.1 Metoda razdoblja povrata investicije 49
11.2 Metoda neto sadašnje vrijednosti projekta 51
11.3. Metoda s subvencijom iz fondova EU 55
12. Zakonska regulativa 60
12.1. Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu 60

13. Moguća implementacija sustava praćenja na postrojenju solarne elektrane 63
13.1. Odabrani jednoosni sustav praćenja Sunca 64
13.2. Ekonomska analiza s implementacijom jednoosnog sustava praćenja Sunca 69
13.3. Subvencija solarnog postrojenja s jednoosnim sustavom praćenja 70
14. Implementacija akumulatora u postrojenje 74
14.1. Odabir baterija za implementaciju u postrojenje 75
14.2. Prednosti i nedostatci pojedinačnih akumulatora 77
14.3. Prednosti i nedostatci velikih industrijskih kontejnera za skladištenjem električne energije.. 77
14.4. Proračun broja akumulatora prema broju fotonaponskih modula 78
14.5. Proračun broja akumulatora prema energiji koju je potrebno skladištiti 81
14.6. Ekonomska analiza akumulatora 81
14.7. Ekonomska analiza za pojedinačne akumulatore 82
14.8. Ekonomska analiza za kontejnerske akumulatore 84
14.9. Površina za akumulatore 85
14.10. Površina za pojedinačne akumulatore 85
14.11. Površina za velike industrijske akumulatore 85
15. Zaključak 87
16. Prilozi 88
17. Literatura 89

Popis slika

Slika 1. Lokacija solarnog postrojenja 17
Slika 2. Bisol Premium BXU 340 [2] 20
Slika 3. Shema rada fotonaponskih modula [28] 21
Slika 4. Odnos snage/cijene fotonaponskog modula 22
Slika 5. Serijsko spajanje fotonaponskih modula 25
Slika 6.Paralelno spajanje fotonaponskih modula 26
Slika 7. Nosač fotonaponskih modula [6] 27
Slika 8.Pretvarač ABB ULTRA 1050 28
Slika 9. Udaljenost između dva fotonaponska modula 30
Slika 10. PVGIS sučelje s opisanim stavkama 31
Slika 11. PVGIS optimalni kut i azimut 32
Slika 12. Udaljenost između dva fotonaponska modula 32
Slika 13. Razmak fotonaponskih modula 34
Slika 14. Raspored fotonaponskih modula 35
Slika 15. Dijagram dozračene energije na lokaciji Imotski 36
Slika 16.Usporedba zračenja prema PVGIS-u i proračunu prema DHMZ-a 37
Slika 17. Pad proizvodnje iz fotonaponskih modula unutar njihovog životnog vijeka na godišnjoj razini 43
Slika 18. Dijagram opterećenja i ostvarena električna energija na dan 13.03.2019. 47
Slika 19. Projekcija cijene električne energije za 2019. i 2020. godinu 54
Slika 20.Postupak priključenja kod jednostavnog i složenog priključenja 61
Slika 21. Prikaz priključenja prema priključnoj snazi 62
Slika 22. Jednoosni sustav praćenja sunca DEGER 8.5 [24] 64
Slika 23. Globalno sunčevo zračenje za statički sustav i jednoosni sustav praćenja Sunca 65
Slika 24. Razlika između energije iz statičnog sustava i sustava jednoosnog praćenja Sunca 65
Slika 25. Putanja Sunca na lokaciji solarne elektrane [25] 67
Slika 26. Putanja Sunca [25] 68
Slika 30. Akumulator Sole 260Ah 12V 76
Slika 31. Kontejner za skladištenje električne energije u baterijama [26] 77
Slika 32. Odnos bazne i vršne cijene EE po mjesecima 2018.[23] 82

Popis tablica

Tablica 1. Prikaz cijena, snaga i iskoristivosti polikristalnih i monokristalnih FN-a prema danom proizvođaču 23
Tablica 2. Specifikacije fotonaponskog modula 23
Tablica 3.Specifikacije ABB Ultra 1050 pretvarača 27
Tablica 4. Nagibi sunca prema mjesecima u Splitu 29
Tablica 5. Globalno sunčevo zračenje kod Imotskog prema PVGIS [4] 36
Tablica 6. Globalno sunčevo zračenje izračunato za Split, Marjan prema statističkim podacima DHMZ-a [5] 37
Tablica 7. Dobivena električne energija iz fotonaponskih modula sa uključenom učinkovitosti sustava i fotonaponskih modula 39
Tablica 8. Učinkovitost sustava 39
Tablica 9. Pod iskoristivosti i godišnja proizvodnja električne energije tijekom 25 godina 42
Tablica 10. Godišnji prihodi s inflacijom i prosječnom prodajnom cijenom električne struje 50
Tablica 11.Metoda neto sadašnje vrijednosti novca s prosječnom prodajnom cijenom el. Energije u 2018. godini 53
Tablica 12.Metoda neto sadašnje vrijednosti sa pretpostavljenom cijenom 55
Tablica 13. Parametri za proračun rentabilnosti projekta za subvenciju od 10% 56
Tablica 14.Neto sadašnja vrijednost projekta sa subvencijom od 10% 56
Tablica 15.Parametri za proračun rentabilnosti projekta za subvenciju od 15% 57
Tablica 16.Neto sadašnja vrijednost projekta sa subvencijom od 15% 57
Tablica 17. Parametri za proračun rentabilnosti projekta za subvenciju od 30% 58
Tablica 18.Neto sadašnja vrijednost projekta sa subvencijom od 30% 58
Tablica 19. Parametri za proračun rentabilnosti projekta s jednoosnim sustavom praćenja za subvenciju od 10% 70
Tablica 20. Neto sadašnja vrijednost projekta s jednoosnim sustavom praćenja sa subvencijom od 10% 71
Tablica 21. Parametri za proračun rentabilnosti projekta s jednoosnim sustavom praćenja za subvenciju od 15% 72
Tablica 22. Neto sadašnja vrijednost projekta s jednoosnim sustavom praćenja sa subvencijom od 15% 72
Tablica 23. Parametri za proračun rentabilnosti projekta s jednoosnim sustavom praćenja za subvenciju od 30% 73
Tablica 24. Neto sadašnja vrijednost projekta s jednoosnim sustavom praćenja sa subvencijom od 30% 73

Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Opis
K_t	[-]	Indeks prozirnosti
G_0	[W/m^2]	Energija na rubu atmosfere ($G_0 = 1367 \pm 6\ W/m^2$)
G	[W/m^2]	Energija na površini Zemlje
d	[mm]	Udaljenosti između dva fotonaponska modula
w	[mm]	Visina fotonaponskog modula
β	[°]	Nagib fotonaponskog modula
γ	[°]	Nagib sunca
E_{FN}	[kWh]	Generirana energija solarnog panela
$E_{dozračena}$	[kWh/m^2]	Prosječna dozračena energija Sunca na lokaciji
A_{FN}	[m^2]	Površina solarnog panela
$n_{fotonaponskih\ modula}$	[-]	Broj fotonaponskih modula na lokaciji
η_{FN}	[-]	Učinkovitost fotonaponskog modula
$\eta_{sustava}$	[-]	Učinkovitost sustava
$G_{godišnje}$	[kWh]	Godišnje ukupno sunčevo zračenje na lokaciji
LCOE	[kn/kWh]	Nivelirani trošak proizvodnje električne energije
I_t	[kn]	Ukupni investicijski troškovi
M_t	[kn]	Ukupni troškovi održavanja
F_t	[kn]	Troškovi goriva u vremenskom periodu
E_t	[kWh]	Proizvedena el. energija unutar radnog vijeka FN-a
r	[%]	Diskontna stopa
t	[god]	Period rada postrojenja
c	[kn/kWh]	Prodajna cijena električne energije
E	[kWh]	Energija predana sustavu
I	[kn]	Iznos investicije
D	[kn/godina]	Godišnji tok novaca s inflacijom

G	[MWh/godini]	Proizvedena električna energija s padom iskoristivosti
$C_{inflacija}$	[kn/MWh]	Prodajna cijena električne energije s inflacijom
$C_{održavanja}$	[kn]	Trošak održavanja
$n_{akumulatora}$	[-]	Broj akumulatora
$E_{FN,dnevno}$	[Wh]	Dnevna generirana energija solarnog panela
U	[V]	Napon akumulatora
C	[Ah]	Kapacitet akumulatora
$C_{kontejnera,postrojenje}$	[kWh]	Kapacitet akumulatorskog postrojenja
$n_{kontejnera}$	[-]	Instalirani broj kontejnera
$C_{kontejnera}$	[kWh]	Kapacitet kontejnera

Sažetak

Unutar ovog diplomskog rada biti će napravljena analiza hipotetske solarne elektrane Juroši u zaleđu Dalmacije na lokaciji Gornji Vinjani kod Imotskog. Unutar analize biti će dani matematički i ekonomski i energetski proračuni projekta. Biti će dana analiza sustava sa statičnim nosačima, proračun proizvodnje električne energije te ekonomska analiza projekta prema NPV metodologiji i zaključak o rentabilnosti projekta. Unutar rada dana je analiza sa i bez subvencija iz fondova Europske unije te ekonomski proračun za oba slučaja. Osim statičnih nosača napravljena je ekonomska i energetska analiza jednoosnog sustava za praćenje Sunca (tzv. *trackeri*) te su predstavljeni rezultati.

Skladištenje električne energije danas se postavlja kao jedna od nadogradnji solarnih postrojenja. Mogućnost skladištenja električne energije predstavlja veliki benefit postrojenja budući da električna energije nije uvijek jednako potrebna. Postavljanjem akumulatora u postrojenje osigurava se mogućnost pokrivanja vršnih opterećenja kao i mogućnost skladištenja električne energija kada je cijena električne energije niža, odnosno prodaja kada je cijena električne energije viša. Unutar rada dana je ekonomska i energetska analiza postavljanja akumulatora u postrojenje. Postavljanje akumulatora analizirano je koristeći dva pristupa. Prvi pristup je postavljanje pojedinačnih akumulatora gdje je proračunat broj potrebnih akumulatora za dva stanja sustava, prosječna proizvodnja električne energije i maksimalna proizvodnja u mjesecu kolovozu. Drugi pristup je postavljanjem industrijskih kontejnera unutar kojih se nalaze akumulatori kao i sva dodatna oprema.

Svi proračuni napravljeni su u skladu s normama i standardima industrije. Oprema korištena za proračun dostupna je lokalno kao i podrška proizvođača.

Summary

As our energy demands are rising, we need to focus our efforts on renewable energy due to depletion of coal, oil and natural gas reserves. Another issue that is notable with fossil fuels is emissions of CO_2 which is greenhouse gas. Renewable energy doesn't emit CO_2 gas therefore it doesn't contribute to climate change in such manner. As technology improves and cost of photovoltaic system is falling it became economically feasible to produce electrical energy from photovoltaic systems. In this work it will be shown profitability of one solar power plant and its components. A photovoltaic system in this work is designed with static stand for photovoltaic modules and calculations were made by that standard. It was also analyzed, calculated and presented a conclusion for usage of solar tracker on location. Another issue that this paper is considering is energy storage. Energy storage in this paper was made by battery energy storage. It was calculated how much energy can be stored in batteries and its impact to electrical grid. Solar power plant is connected to a power grid and it has to manage to be stable for power to be transferred from facility to grid.

Calculations in this work are presented with and without subsidization. Subsidization is given by local government via European union subsidizing funds for renewable energy. Paper analyses profitability of the solar power plant in hinterland of Dalmatia with static stands, single axis solar trackers, battery storage and presents its findings.

1. Općenito

Unutar ovog diplomskog rada bit će napravljeno rješenje idejnog projekta, dana sva dokumentacija kao i upute za buduća rješenja na projektu. Unutar rada objašnjena je lokacija kao i oprema koja se koristi te su dani preliminarni podaci i rješenja kako bi investitor kao i mogući sudionici u projektu mogli odlučiti hoće li krenuti ili ne u realizaciju projekta. Predstavljena je lokacija za postrojenje unutar koje je dan prijedlog postavljanja fotonaponskih modula kao i strojarnice, proračun energije dobivene iz fotonaponskih modula kao i njihov odabir i specifikacije, ostala oprema koja je potrebna za postrojenje kao i shema spajanja opreme na samoj lokaciji. Zakonska regulativa je proučena prema najnovijim zakonima i uzeta je u obzir u financijskom dijelu proračuna, kao što je razmatran i sam postupak pristupa na tržište električnom energijom. Financijska analiza je napravljena pretpostavljanjem prodajne cijene električne energije. Pretpostavljana cijena električne energije napravljena je kao projekcija prosječne godišnje cijene električne energije na tržištu električne energije (CROPEX) za 2017. godinu. Ukoliko se trend povećanja potrošnje električne energije nastavi možemo očekivati i porast cijene električne energije.

2. Uvod

Povećanjem svjetskog stanovništva kao i zbog sve većih energetskih potreba svijeta potrebno je povećavati broj postrojenja za pretvorbu drugih oblika energije u električnu energiju. Potrebe stanovništva rastu, a time i opterećenje elektroenergetskog sustava, a uz sve veći pritisak javnosti za dobivanjem električne energije iz obnovljivih izvora postavlja se kao mjerodavan razlog za razmatranjem novih tehnologija za dobivanje električne energije. Jedan od načina dobivanja električne energije putem Sunca su upravo solarna postrojenja. Iako dolaze u raznim formama najjednostavnija su obično i investicijski najsigurnija. Statična solarna postrojenja kod kojih se pod statičnim smatra da ne prate kretanje Sunca klasična su solarna postrojenja. Budući da osim u postupku izrade, dopremanja opreme i izgradnje postrojenja ne emitiraju štetne emisije CO_2 smatramo ih obnovljivim izvorima energije. Definicija obnovljivih izvora energije prema hrvatskom zakonu, Zakonu o energiji [36], definiraju se kao: „izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično“. Vidljivo je prema definiciji da su solarne elektrane obnovljivi izvori energije.

Solarna postrojenja mogu se postavljati na bilokakvoj površini, no želja je da se osigura nesmetan rad bez zasjenjenja od obližnjih zgrada i/ili raslinja također i od drugih fotonaponskih modula. Osnova solarnog postrojenja su nosači na koje se postavljaju fotonaponskih moduli, fotonaponski moduli kao i pretvarači. Ova tri elementa čine osnovni stup bez kojih solarno postrojenje ne može biti funkcionalno.

Poveznicu između solarnog postrojenja i mreže elektroenergetskog sustava predstavlja trafostanica koja je definirana operatorom elektroenergetskog sustava. Osim što postrojenje mora osigurati nesmetan rad mreže elektroenergetskog sustava mora održavati i stabilnost sustava zbog čega je potrebno provesti testni pogon postrojenja prije njegovog konačnog puštanja u pogon.

Solarne elektrane imaju mnogo prednosti no i svoje nedostatke. Od kojih se niti prednosti niti nedostatci ne smije zanemariti, no moguće je pametnim upravljanjem osigurati da se faktori koji utječu na prednosti povećaju, a faktori koji utječu na nedostatke smanje. Danas se solarne elektrane nalaze rame uz rame s vjetroparkovima kao novim tehnologijama proizvodnji električne energije, te je povećanje solarnih kapaciteta izvjesno u budućnosti. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske [37] bazira se nacrtima Zelene i Bijele knjige, a usklađena je s glavnih pet stupova energetskog razvoja Europske unije. Zelena knjiga [38] predstavlja detaljne analitičke podloge po pitanju postojećeg stanja i budućeg razvoja, dok je Bijela knjiga [38] usuglašena, pročišćena i sažeta prezentacija prema rezultatima Zelene knjige.

Pet glavnih stupova energetskog razvoja Europske unije su:

1. Sigurnost opskrbe
2. Integracija u jedinstveno EU tržište
3. Smanjenje potrošnje energije
4. Smanjenje emisija CO_2 iz energetskog sektora
5. Poticanje istraživanja i razvoja

Europska unija je osim ciljeva za 2020. godinu napravila nacrte i ciljeve za 2030. godinu.

Ciljevi Europske unije za 2020. godinu su barem 20% bruto neposredne potrošnje iz obnovljivih izvora energije, 20% smanjenja ukupne potrošene energije i 20% smanjenje emisija stakleničkih plinova, dok su ciljevi EU za 2030. godinu 32% bruto neposredne potrošnje iz obnovljivih izvora energije, 32,5% smanjenje ukupne potrošnje energije i 40% smanjenje stakleničkih plinova. Takve visoko postavljene ciljeve bez široke primjene solarnih elektrana, kao i manjih fotonaponskih panela na krovovima zgrada, biti teško postići.

Glavne smjernice Strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske su podijeljene u tri kategorije:

1. Rastuća, fleksibilna i održiva proizvodnje energije
2. Povezana energetska infrastruktura
3. Veća energetska učinkovitost

3. Sunčevo zračenje

Prilikom proračunavanja pretvorbe sunčeve energije u električnu energiju potrebno je poznavati sunčevo zračenje koja pada na plohu fotonaponskog modula. Odnos sunčevog zračenja na granici atmosfere ($G_0 = 1367 \pm 6\ W/m^2$) i iznos energije koji dolazi na površinu Zemlje G može se definirati putem indeksa prozirnosti.

$$K_t = \frac{G}{G_0} \quad (1)$$

Odnosno,

$$G = K_t \times G_0\ \ [W/m^2] \quad (2)$$

Gdje su:

K_t – indeks prozirnosti

G_0 – energija na rubu atmosfere ($G_0 = 1367 \pm 6\ W/m^2$)

G – energija na površini Zemlje $[W/m^2]$

Indeks prozirnosti (eng. *clearness index*) opisuje koliko je sunčevog zračenja dospjelo od ruba atmosfere do zemljine površine. Podatak o indeksu prozirnosti unutar ovog diplomskog rada nije potrebno proračunavati budući da su svi statistički podaci koji se uzimaju već uzeli tu veličinu.

3.1. Različito sunčevo zračenje

Sunčevo zračenje koje dolazi do zemljine površina može biti:

- Izravno (direktno) – zračenje koje bez atmosferskog raspršivanja dolazi na plohu
- Raspršeno (difuzno) – zračenje koje nastaje atmosferskim raspršivanjem te na plohu pada iz svih smjerova
- Odbijeno – reflektirano zračenje koje na plohu dolazi nakon odbijanja od drugih ploha

Sva gore navedena zračenja donose određeni dio energije iako najveće zračenje donosi izravno, odnosno, direktno sunčevo zračenje.

4. Opis lokacije i područja

Lokacija se nalazi kod Imotskog, točnije JZ od Gornjih Vinjana. Područje je iznivelirano, odnosno, poravnano budući da je lokacija primarno bila namijenjena kao pista za sportske zrakoplove. Ukupna površina je 51.000 m^2, odnosno, 850 m x 60 m. Lokacija je podijeljena na dva područja, područje A i područje B, koja su međusobno odvojena cestom koja vodi prema Gornjim Vinjanima. Lokacija se navodi pod katastarskom česticom k.č. 6638,18. Izgled lokacije vidljiv je na Slici 1.



Slika 1. Lokacija solarnog postrojenja

5. Namjena postrojenja

Postrojenje, nazvano za potrebe ovog rada po obližnjem zaselku Juroši „ Solarna elektrana Juroši“, biti će namijenjeno za proizvodnju električne energije iz Sunčeve energije putem fotonaponskih modula. Unutar granica postrojenja nalazit će se nosači fotonaponskih moduli, na koje će biti montirati fotonaponski moduli kao i zgrada unutar koje će se postaviti pretvarači AC/DC. Dodatne komponente biti će također navedene kao i njihova lokacija postavljanja, namjena i utjecaj na ekonomsko-energetsku analizu.

6. Oblikovanje građevine

Solarna elektrana Juroši nalazit će se na lokaciji neposredno prije Gornjih Vinjana kod Imotskog. Solarna elektrana Juroši predstavlja elektroenergetsko postrojenje sačinjeno od fotonaponskih modula postavljenih na nosače, DC razvodnih kutija, pretvarača DC/AC kao i dodatne opreme. Dodatna oprema koja bi se trebala koristiti su kablovski vodovi, kanalice za kablovske vodove, ormarići s zaštitom, kao i kablovski vodovi za priključak solarne elektrane na mrežu nadležnog distributera električne energije.

Predviđa se izvođenje u četiri faze:

1. Niveliranje i pripremanje terena za ugradnju nosača
2. Postavljanje nosača i fotonaponskih modula
3. Povezivanje fotonaponskih modula kablovskim vodovima do pretvarača i srednje-naponske transformatorske stanice
4. Puštanje u pogon i probni rad postrojenja

Svaki nosač predviđen u poglavlju 7.2 Nosač fotonaponskih modula proračunski ima nosivost od 12 fotonaponskih modula dimenzija jednog fotonaponskog modula od 1649 x 991 mm, odnosno površine 1634,2 mm^2. Nagib fotonaponskog modula iznosi 36°, odnosno projekcija okomito na površinu iznosi 4870,68 mm^2. Ovo je opisano u poglavlju Postavljanje fotonaponskih modula.

7. Fotonaponski modul

Fotonaponski modul prikazan na Slici 1. dio je fotonaponskog postrojenja koje pretvara sunčevo zračenje u električnu energiju. Fotonaponski modul se sastoji od fotonaponskih ćelija koje se najčešće spajaju serijski. Danas razlikujemo monokristalne i polikristalne fotonaponske module kao najčešće korištene u komercijalne svrhe. Najviše iz razloga što je tehnologija ovih načina proizvodnje fotonaponskih modula stasala dovoljno da budu komercijalno isplative, iako imaju manji stupanj iskoristivosti nego novije tehnologije, primjerice galij-arsenid solarne ćelije čiji je stupanj iskoristivosti 0,27, odnosno 27% no imaju značajne nedostatke kao manji radni vijek trajanja.

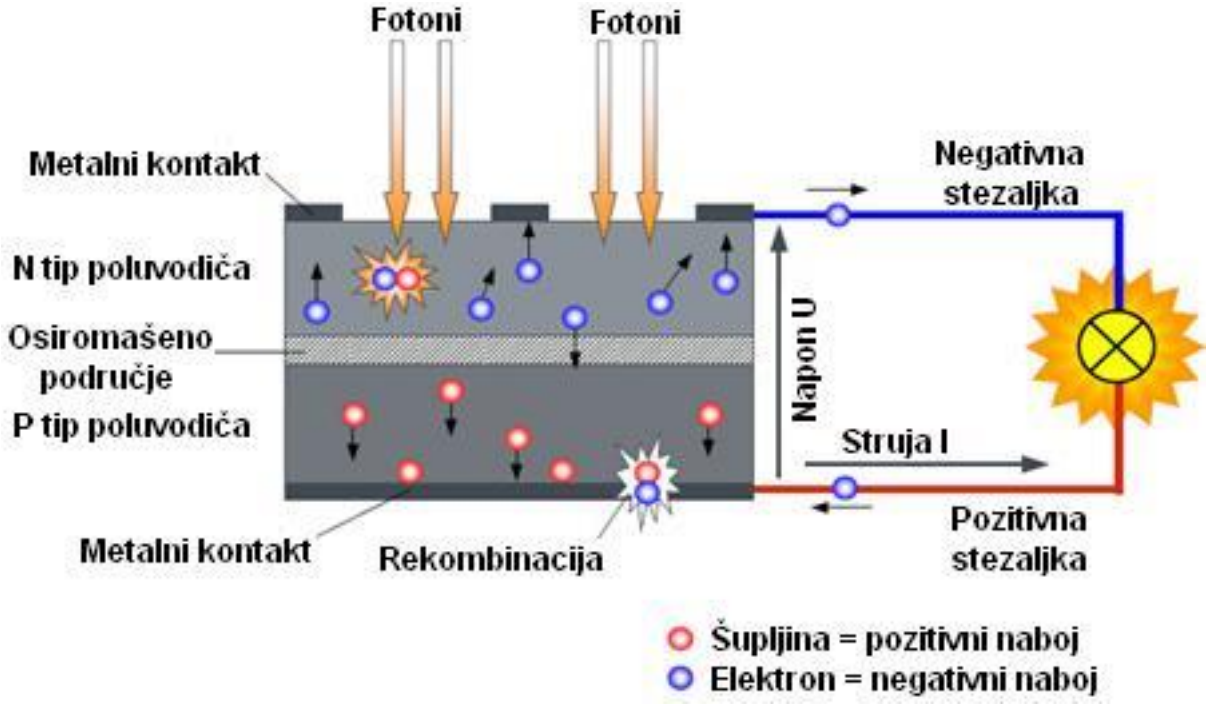
Monokristalne i polikristalne fotonaponske ćelije napravljene su od silicija (Si), a uglavnom prevladava tehnologija lebdeće zone (*eng. float zone*) proizvodnje monokristalnog silicija. Monokristalni fotonaponski moduli su skuplji pri proizvodnji, ali učinkovitost ćelije im je viša, što je vidljivo u Tablici 1.



Slika 2. Bisol Premium BXU 340 [2]

7.1. Fotonaponski efekt

Efekt proizvodnje električne struje kada se dvije ploče platine ili zlata urone u kiselu, lužnatu ili neutralnu otopinu te izlože nejednolikom načinu sunčeva zračenja naziva se fotonaponski efekt. Fotonaponski efekt otkrio je Edmond Becquerel 1839. godine. [28] Prema ovom principu danas rade svi fotonaponski paneli, a shema rada vidljiva je na slici 3.



Slika 3. Shema rada fotonaponskih modula [28]

7.2. Energija iz fotonaponskih modula

Energija iz fotonaponskih modula dobivena je kada se apsorbira sunčevo zračenje te putem fotonaponskog efekta na krajevima fotonaponskih ćelija pojavljuje elektromotorna sila, odnosno napon što je vidljivo na Slici 3. Pretvorba energije slijedi iz sunčeve energije, odnosno, elektromagnetskog zračenja sunca u električnu energiju na stezaljkama fotonaponskog modula u obliku DC struje. Točan proračun i formule dane su u poglavlju 8. Proračun proizvodnje električne energije.

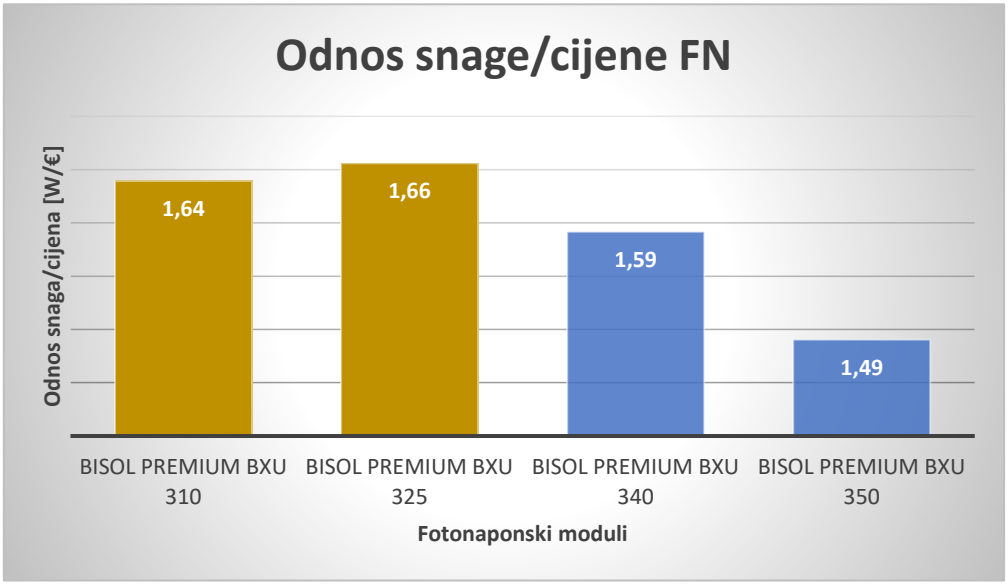
7.3. Karakteristični parametri fotonaponskog modula

Parametri fotonaponskog modula daju se putem tehničkih specifikacija unutar kojih su dani osnovni parametri kao što su snaga fotonaponskog modula, površina, učinkovitost modula kao i ćelija, struja kratkog spoja, struja otvorenog spoja, struja u maksimalnoj snazi, napon u maksimalnoj snazi i maksimalna struja. Ovo su svi parametri, uz odabranu površinu, koji su potrebni da bi se mogla

definirati energija koju će solarno postrojenje biti u mogućnosti generirati. Bitno je spomenuti da u specifikacijama razlikujemo STC i NOCT koji su objašnjeni u poglavlju 7.5. Odabir fotonaponskog modula, ali u konačnici definiraju kolika je snaga fotonaponskog modula u potpunom osvjetljenju i kada je fotonaponski modul zasjenjen. Također bitno je spomenuti da su površinske temperature izrazito bitne kod fotonaponskih modula budući da se da porastom temperature pada iskoristivost. Poželjno je postavljanje fotonaponskih modula na lokacijama gdje će biti konstantnog protoka zraka u obliku vjetra koji će odnositi generiranu toplinu sa fotonaponskih modula.

7.4. Odnosno snage i cijene fotonaponskih modula

Na slici 4. vidljivo je kako se mijenja odnos snage/cijene fotonaponskih modula kao i iskoristivost svakog modula.



Slika 4. Odnos snage/cijene fotonaponskog modula

Na slici 4. vidljivo je da je odnos snage i cijene na strani polikristalnih fotonaponskih modula koji su napravljeni iz puno manjih silicijevih kristala postavljenih po površini dok je monokristalni fotonaponski modul, ovdje prikazan na desnoj strani u plavoj boji, sastavljen od jednog silicijeva kristala. Razlog tome je već cijena proizvodnje monokristalnih fotonaponskih modula, no činjenica da se radi o jednom kristalu rezultira s manje prostora koji je neiskorišten, a time se dobiva i veća iskoristivost kao što je vidljivo u tablici 1.

U Tablici 1. prikazana je snaga, cijena i iskoristivost monokristalnih i polikristalnih fotonaponskih modula.

Polikristalni	Snaga [W]	Cijena[€]	Iskoristivost modula[%]
Bisol Premium BXU 310	310	189,1	15,9
Bisol Premium BXU 325	325	196,27	16,2
Monokristalni			
Bisol Premium BXU 340	340	213,62	18,4
Bisol Premium BXU 350	350	234,85	18,7

Tablica 1. Prikaz cijena, snaga i iskoristivosti polikristalnih i monokristalnih FN-a prema danom proizvođaču

Zadnja kolona u Tablici 1. predstavlja iskoristivost fotonaponskih modula te je vidljivo da je za monokristalne fotonaponske module veća iskoristivost nego za polikristalne.

7.5. Odabir fotonaponskog modula

Za solarnu elektranu razmatranu u ovom radu izabran je modul monokristalan Bisol Premium BXU 340. Čije karakteristike su navedene u Tablici 2. Cijena ovog fotonaponskog modula je 213,62 € za koji proizvođač daje garanciju od 25 godina. Podaci su dani u Tablici 2. te se ostale specifikacije mogu pronaći na stranicama proizvođača [2].

Specifikacije fotonaponskog modula			
	NOCT	STC	Mjerna jedinica
Maksimalna snaga	222	300	W
Struja kratkog spoja	8,01	9,9	A
Struja otvorenog spoja	36,9	40,4	A
Struja u maksimalnoj snazi	7,69	9,5	A
Napon u maksimalnoj snazi	28,8	31,6	V
Efikasnost ćelije	20,9		%
Efikasnost modula	18,4		%
Maksimalna struja	18		A

Tablica 2. Specifikacije fotonaponskog modula

U Tablici 2. dana je specifikacija preuzeta sa stranica proizvođača na kojoj su dane NOCT i STC vrijednosti. NOCT i STC vrijednosti su rezultati dobiveni pri standardnim uvjetima.

NOCT (eng. *normal operating cell temperature)* je ispitivanje fotonaponskih modula pri uvjetima:

- Zračenje 800 $\frac{W}{m^2}$ unutar kojeg se uzima faktor zasjenjenja od oblaka
- Radna temperatura od 45°C
- Brzina vjetra od 1 $\frac{m}{s}$ s temperaturom zraka 20°C

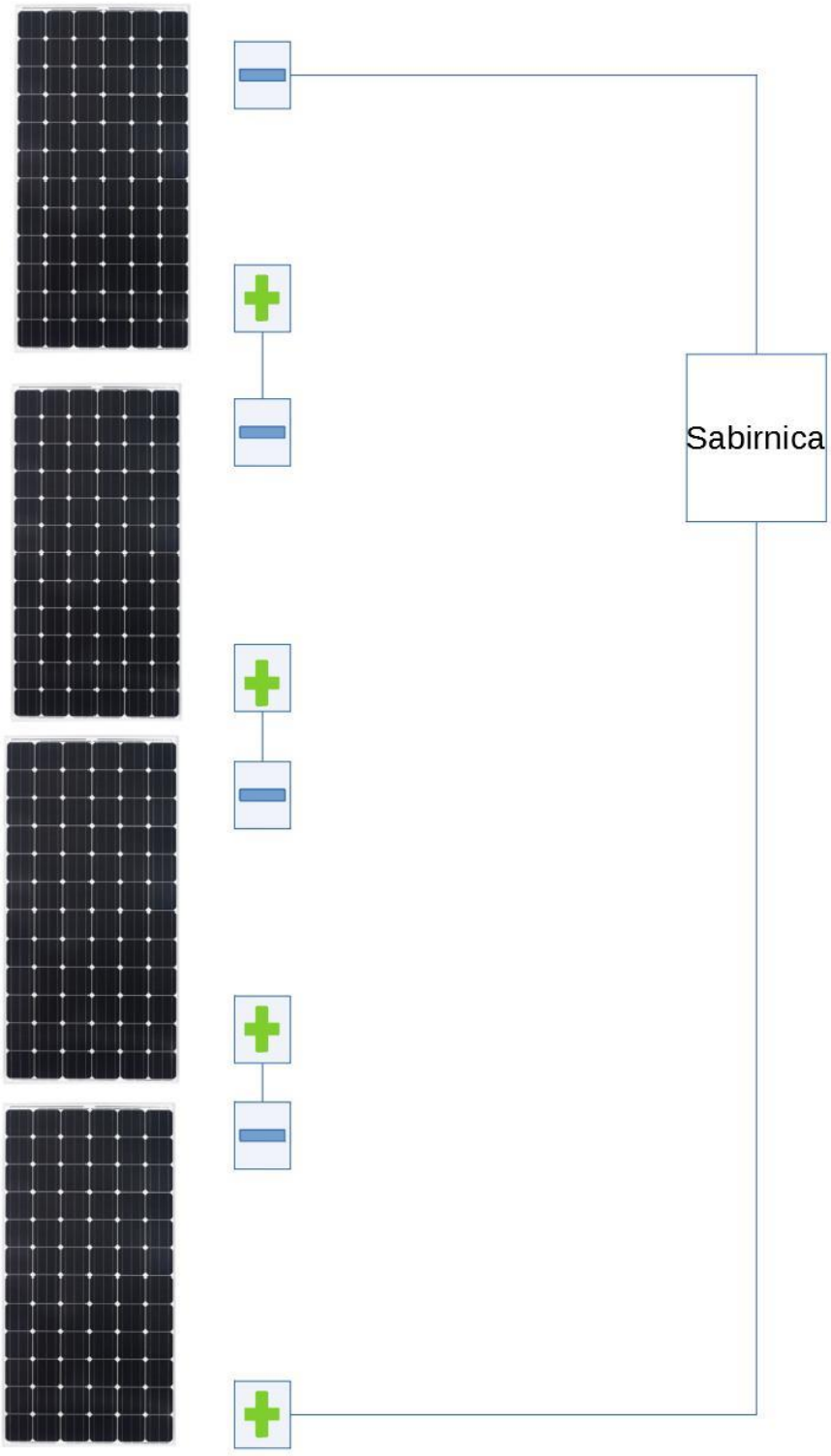
STC (eng. *standard test conditions*) je ispitivanje fotonaponskih modula pri uvjetima:

- Zračenje 1000 $\frac{W}{m^2}$ unutar kojeg se ne uzima faktor zasjenjenja od oblaka
- Radna temperatura od 25°C

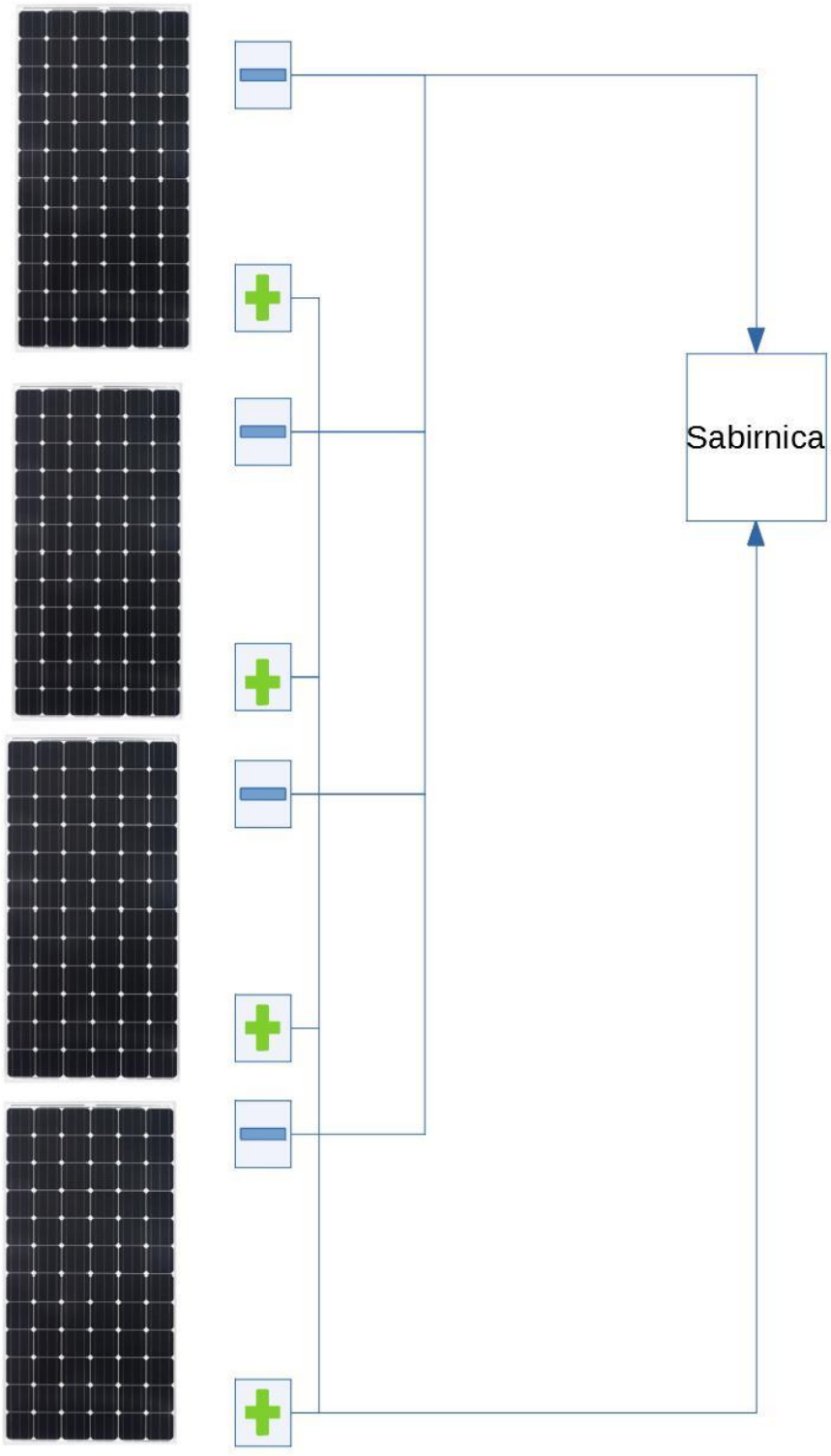
Ovi uvjeti testiranja su standard u industriji te kao takvi predstavljaju mjeru za fotonaponske module, odnosno, njihovu kvalitetu kao i podatke koje je moguće iskoristiti prilikom projektiranja solarnog postrojenja. Vidljivo je da je STC ispitivanje idealizirani slučaj budući da ne uzima u obzir faktor zasjenjenja od oblaka kao i radnu temperaturu od 25°C koju je realno nemoguće u ljetnim mjesecima očekivati na površini fotonaponskih modula. NOCT ispitivanje je realnije te se češće koristi za ocjenu fotonaponskog modula.

7.6. Spajanje fotonaponskih modula

Na slici 5. i slici 6. dana je shema spajanja fotonaponskih modula. Moduli se mogu spajati serijski ili paralelno. Serijskim spajanjem fotonaponskih modula pribrajamo napon od svakog fotonaponskog modula. Primjerice ukoliko imamo 4 fotonaponska modula koji imaju specifikacije 12 V i 5 A, serijskim spajanjem ukupni napon iznosi 48 V i 5 A. Paralelnim spajanjem fotonaponskih modula raste struja dok napon ostaje konstantan. Korištenjem fotonaponskih modula istih karakteristika, odnosno, 12 V i 5 A dobivamo 12 V i 20 A. Način spajanja ovisi o potrebama solarnog postrojenja. Na ovakav način, odnosno, kombinacijom serijskog i paralelnog spajanjem fotonaponskih modula dobivamo željene napone i iznose struja. [29]



Slika 5. Serijsko spajanje fotonaponskih modula

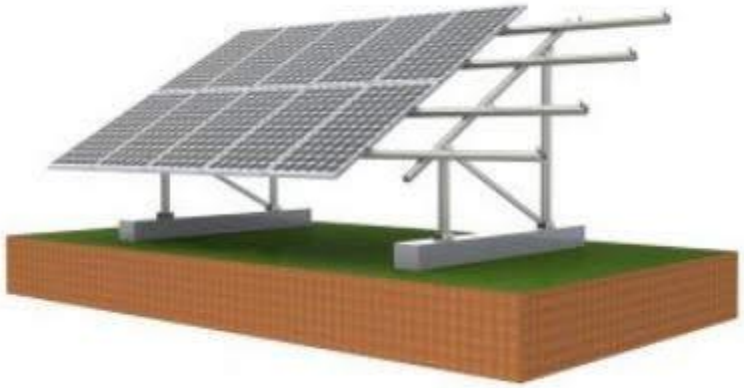


Slika 6.Paralelno spajanje fotonaponskih modula

7.7. Nosač fotonaponskog modula

Nosač fotonaponskog modula esencijalni je dio postrojenja budući da direktno utječe koliko se fotonaponskih modula na lokaciji može postaviti, odnosno određuje njihov razmak i efektivnu površinu postrojenja.

Odabran je nosač prema ponudi [6] na kojeg je moguće montirati 12 fotonaponska modula kao što je vidljivo na Slici 7. Cijena nosača fotonaponskih modula je 5990,00 kn.



Slika 7. Nosač fotonaponskih modula [6]

7.8. Pretvarač DC/AC

Uređaj koji omogućava pretvorbu DC struje u AC struju naziva se AC/DC pretvarač. Odabir pretvarača zasniva se na snazi koje će postrojenje ostvarivati, tako da se za kućnu uporabu i manje snage koriste manji, odnosno, slabiji pretvarači dok je za industrijske svrhe bolje koristiti manji broj većih pretvarača nego puno manjih pretvarača. Specifikacije pretvarača dane su u Tablici 3., a ostale vrijednosti moguće je provjeriti na službenim stranicama proizvođača [7]. Odabrani pretvarač je ABB Ultra 1050.0 s cijenom od 1.024.000,00 kn.

Karakteristika	Iznos	Mjerna jedinica
Maksimalni DC ulaz	1000	V
Maksimalna struja po modulu	694	A

Tablica 3.Specifikacije ABB Ultra 1050 pretvarača



Slika 8.Pretvarač ABB ULTRA 1050

7.9. Preostala oprema i radovi

U preostalu opremu ubrajaju se sva dodatna oprema kao što su vodovi, konektori, spojevi kutija sa zaštitnom opremom, te brojilo isporučene i predane električne energije. Cijenu navedenih komponenti nije jednostavno odrediti te stvarna situacija zna biti drugačija od proračunate. Ovome se problemu pristupa putem pretpostavke iznosa te se preporuča da taj iznos bude oko 50% troškova opreme koja se koristi, no isključujući fotonaponske module. Trošak građevinskih radova također je jedna od komponenti koje je teže izračunati te se on, kao i trošak ostale opreme pretpostavlja i uzima se unutar gore navedenih 50% troškova opreme.

8. Proračun proizvodnje električne energije

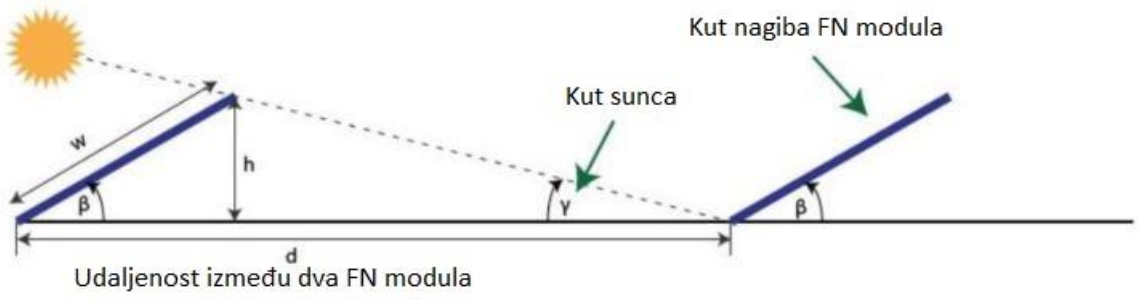
8.1. Postavljanje fotonaponskih modula

Za postavljanje fotonaponskih modula potrebno je znati smjer kretanja sunca kao i nagib Sunca. Svi podatci koji su potrebni mogu se naći na stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda [8]. Nagibi sunca za područje Split dani su Tablicom 4.

Mjesec	Nagib sunca [γ]	
Sječanj	30	°
Veljaća	38	°
Ožujak	46	°
Travanj	54	°
Svibanj	62	°
Lipanj	70	°
Srpanj	62	°
Kolovoz	54	°
Rujan	46	°
Listopad	38	°
Studeni	30	°
Prosinac	22	°

Tablica 4. Nagibi sunca prema mjesecima u Splitu

Vidljivo je iz tablice 4. da je najnepovoljniji nagib u mjesecu prosincu s 22° nagiba sunca. Datum koji se najčešće uzima kao najnepovoljniji je zimski solsticij, odnosno, 21. prosinca. Također, ovdje se mora spomenuti da su podaci uzeti za grad Split, no, budući da je Split relativno blizu Imotskog može se pretpostaviti sličan, ako ne i isti, nagib. Optimalan nagib fotonaponskih panela dan prema PVGIS-u iznosi 36°.



Slika 9. Udaljenost između dva fotonaponska modula

Koristeći formulu (3) izračunat je razmak između fotonaponskih modula koji je optimalan za to područje. Razmak između fotonaponskih modula, prikazan na Slici 9., bitan je iz tog razloga što zasjenjenje fotonaponskih modula uzrokuje smanjenje u generiranju električne energije. Postavljanjem fotonaponskih modula pod točno definiranim nagibom kao što je to napravljano s postavljanjem statičnih nosača fotonaponskih modula moguće je proračunati koliki prostor je potrebno ostaviti između redova fotonaponskih modula.

$$d = w \times \left(\frac{sin(\beta)}{tan(\gamma)} + cos(\beta) \right) \quad (3)$$

Gdje su:

d – udaljenosti između dva fotonaponska modula [mm]

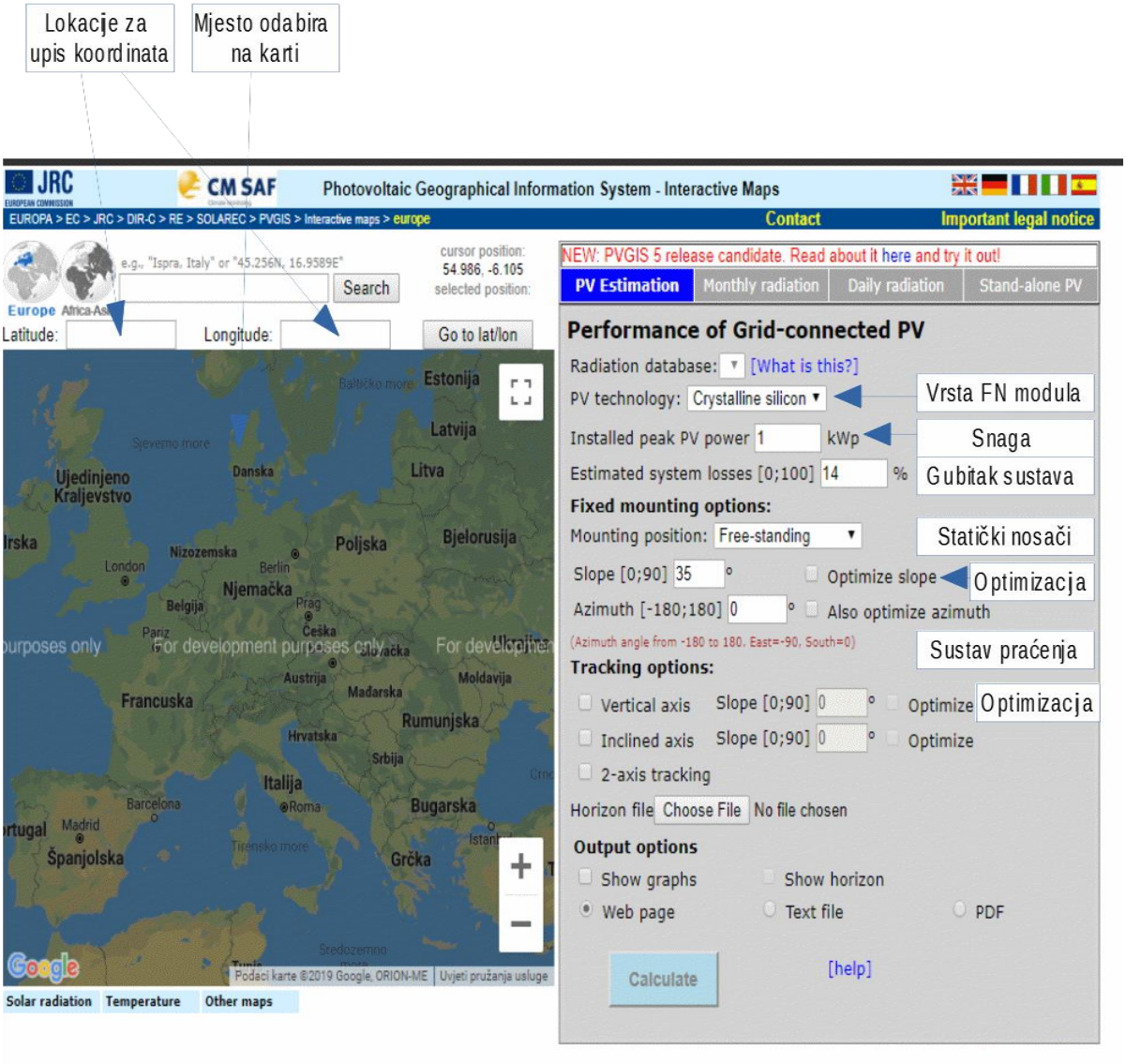
w – visina fotonaponskog modula [mm]

β – nagib fotonaponskog modula [°]

γ – nagib sunca [°]

Program PVGIS daje mogućnost upisa ili odabira lokacije solarne elektrane te dodatne parametre kao što su vrsta fotonaponskog modula, instalirana snaga, ukupni gubici, nagib i azimut (vidljivo na slici 10.) putem kojih proračunava koliko je moguće električne energije dobiti iz navedenog sustava. Prednost ovog programa je da daje i preporuke kao što su nagib i azimut. Na Slici 10. opisane su karakteristike koje je potrebno ispuniti kako bi se dobio proračun. Karakteristike su vrsta solarnog panela (monokristalni ili polikristalni), instalirana snaga, ukupni gubitci sustava, vrsta nosača koji će se koristiti. Moguće je upisati da će se koristiti statični sustavi kao i sustavi s praćenjem Sunca, putem čega se

dobivaju rezultati i za jedan i za drugi što omogućava direktan uvid koliko je veća generirana energija iz sustava s praćenjem kretanja Sunca.



Slika 10. PVGIS sučelje s opisanim stavkama

Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	36 (opt)
Azimuth angle [°]:	-9 (opt)
Yearly PV energy production [kWh]:	1310
Yearly in-plane irradiation [kWh/m^2]:	1750
Year to year variability [kWh]:	64.00
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.7
Spectral effects [%]:	1
Temperature and low irradiance [%]:	-6.5
Total loss [%]:	-24.7

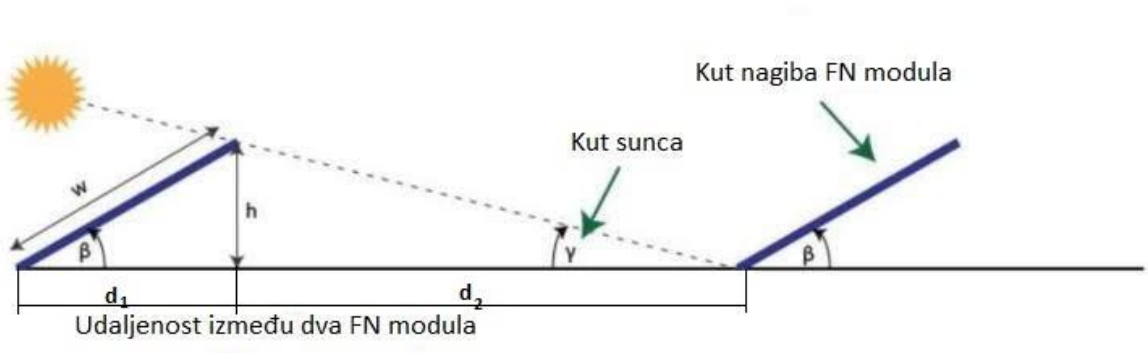
Slika 11. PVGIS optimalni kut i azimut

Konkretno za lokaciju Gornji Vinjani program PVGIS daje preporučeni nagib od 36˚ i azimut od -9˚ prema Slici 11., te koristeći navedene podatke i formulu (3) dobivamo sljedeće udaljenosti između fotonaponskih modula.

$$d = 3300 \times \left(\frac{sin(36°)}{tan(22°)} + cos(36°) \right)$$

$$d = 7470\ mm$$

Budući da ovaj proračun uključuje i vertikalnu projekciju fotonaponskih modula na tlo potrebno je odrediti koliko iznosi stvarna udaljenost (d_2) između fotonaponskih modula što se proračunava donjom formulom.



Slika 12. Udaljenost između dva fotonaponska modula

$$d_2 = d - d_1 \quad (4)$$

Odnosno,

$$d_2 = 7470 - 3300$$

$$d_2 = 4170\ mm$$

Kako bi se spriječilo zasjenjivanje fotonaponskih modula zbog trave i korova koji raste na lokaciji odlučeno je da će se fotonaponski moduli podignuti za 28 cm, odnosno, 280 mm od tla. Nakon ove preinake ispravna udaljenost između redova fotonaponskih modula dana je donjom formulom.

$$d = 3800 \times \left(\frac{sin(36°)}{tan(22°)} + cos(36°) \right)$$

$$d = 8602{,}57\ mm$$

Kao što je već spomenuto gore ova formula uzima ukupni razmak između fotonaponskih modula te je potrebno oduzeti projekciju duljine fotonaponskog modula na tlo, koja iznosi 3300 mm.

$$d_2 = d - d_1 \quad (4)$$

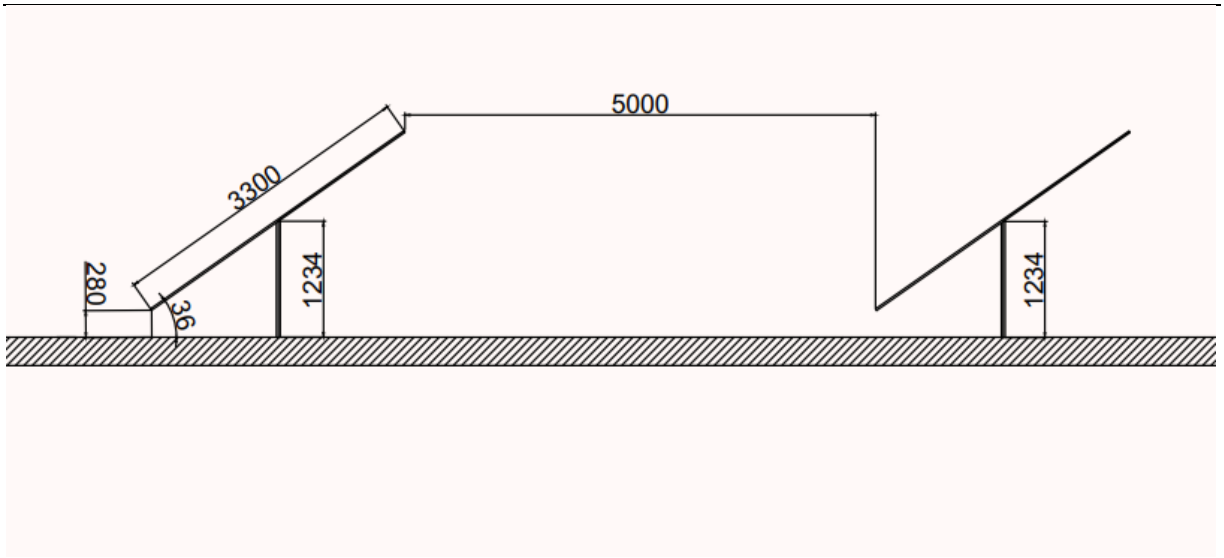
Odnosno,

$$d_2 = 8202{,}57\ - 3300$$

$$d_2 = 4902{,}57\ mm$$

Zbog građevinskih razloga i pojednostavljenja postavljanja fotonaponskih modula odabrana udaljenost između dva fotonaponska reda je 5 m. Fotonaponski moduli biti će postavljeni u 45 redova po svakom redu 2 x 4 nosača s razmakom od 5 m kako bi se olakšao pristup redovima. Na lokaciji će biti postavljena dodatna zgrada dimenzija 10 x 5 m unutar koje će se nalaziti elektronički sklopovi kao i pretvarači, te dodatna oprema.

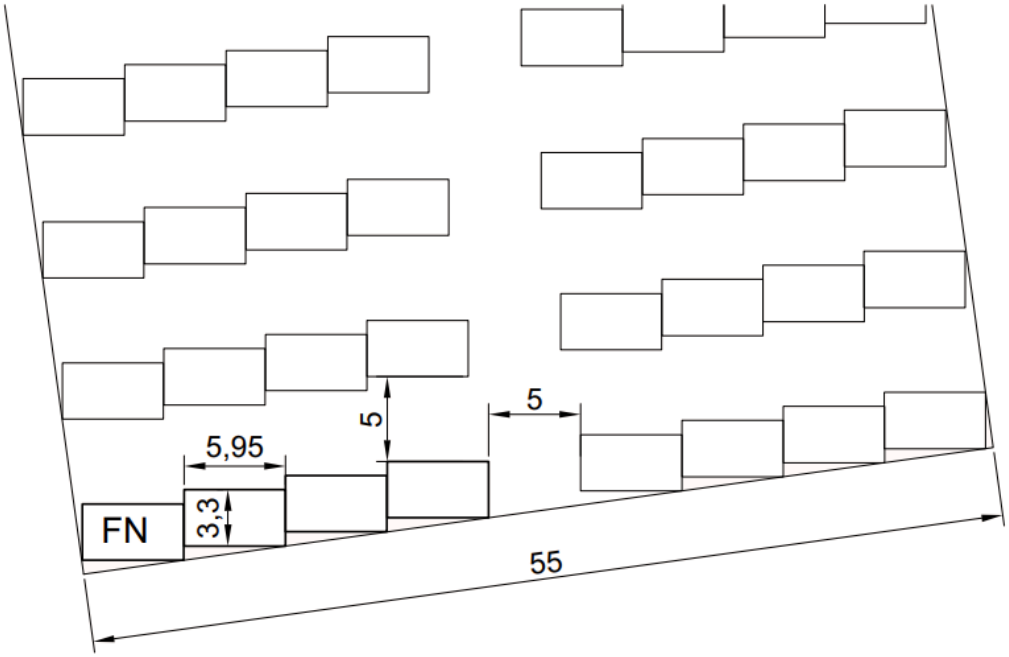
Razmak fotonaponskih modula vidljiv je na Slici 13. i Slici 14.



Slika 13. Razmak fotonaponskih modula

8.2. Raspored fotonaponskih modula

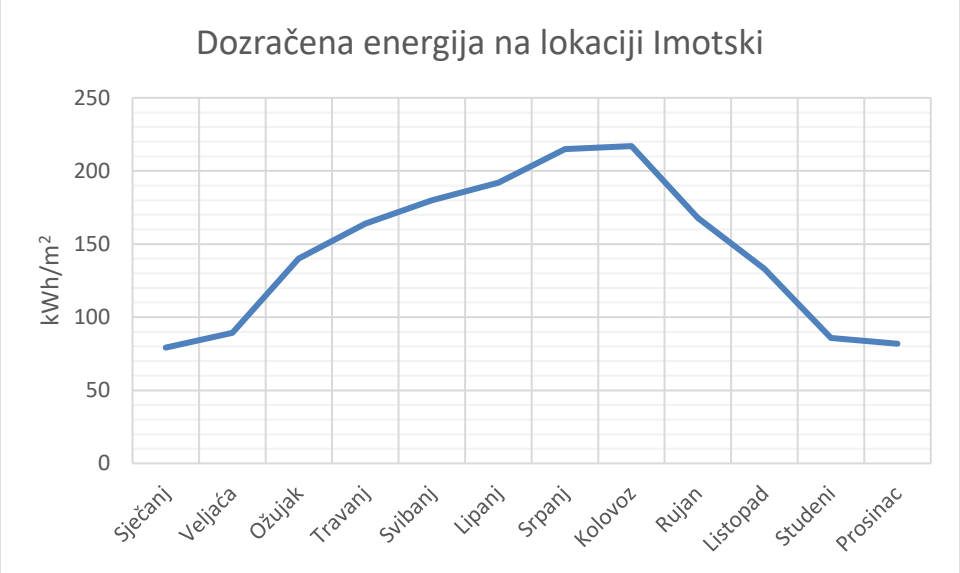
Prikaz rasporeda fotonaponskih modula kao i dodatnih dijelova postrojenja kao strojarnice unutar koje se nalaze pretvarači kao i sva oprema za povezivanje s mrežom elektroenergetskog sustava dan je na Slici 14. Kao što je već spomenuto na lokaciji je odlučeno da će se nosači fotonaponskih modula postaviti u niz (eng. *string)* od 2 x 4, odnosno, dvije kolone od 4 nosača u 2 reda. Na Slici 14. vidljiv je raspored jednog dijela fotonaponskih modula. Oznaka FN na Slici 14. predstavlja jedan nosač fotonaponskih modula na kojem se nalaze 12 fotonaponskih modula dimenzija 5,95m x 3,3m.



Slika 14. Raspored fotonaponskih modula

8.3. Proizvedena električna energija

Godišnje sunčevo zračenje na lokaciji prema statističkim podacima Europske unije, odnosno, programa PVGIS dano je u Tablici 5. i grafički prikazano na Slici 15. Putem podataka iz globalnog sunčevog zračenja dobivamo energiju koja je od Sunca dozračena u kWh na 1 m^2 površine. Prosječna mjesečna dozračena energija na lokaciji iznosi 145,425 kWh/m^2. Na Slici 13. prikazana je mjesečna dozračena sunčeva energija na lokaciji putem koje je vidljivo da je najveće zračenje upravo u mjesecu srpnju i kolovozu što je i očekivano zbog dužih dana, odnosno, putanja Sunca je u tim mjesecima veća, a time i dozračena sunčeva energija. Ovaj podatak je dosta bitan kada se radi proračun potrebne količine akumulatora za postrojenje jer nam upravo to, u tom razdoblju, predstavlja najveću količinu energije koju je postrojenje u mogućnosti proizvesti, odnosno skladištiti za kasniju uporabu čija će se analiza i proračun raditi u poglavlju 14. Implementacija akumulatora u postrojenje.



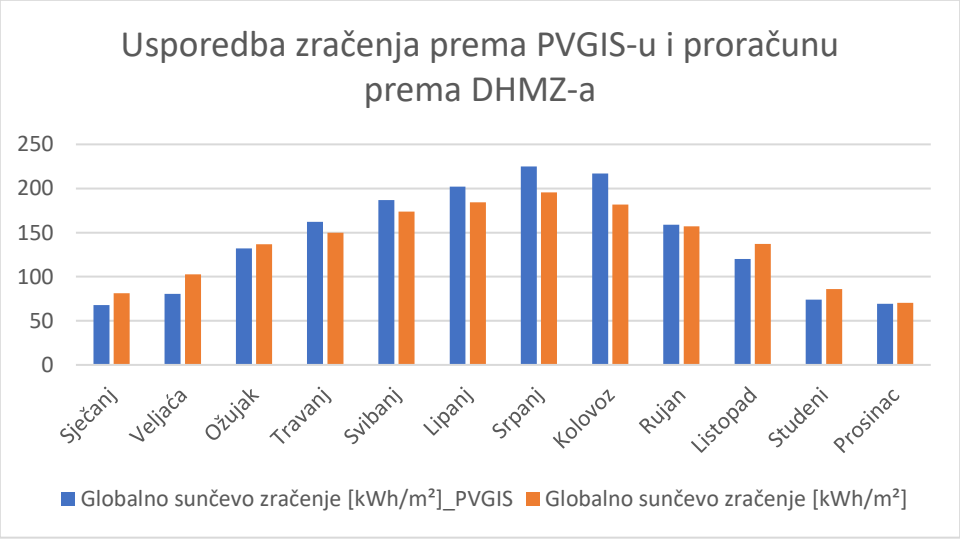
Slika 15. Dijagram dozračene energije na lokaciji Imotski

Mjesec	Globalno sunčevo zračenje [MJ/m²]	Globalno sunčevo zračenje [kJ/m²]	Globalno sunčevo zračenje [kWh/m²]_PVGIS - statični
Siječanj	292	292000	79,2
Veljača	369	369000	89,4
Ožujak	492	492000	140
Travanj	539	539000	164
Svibanj	626	626000	180
Lipanj	664	664000	192
Srpanj	704	704000	215
Kolovoz	655	655000	217
Rujan	565	565000	168
Listopad	494	494000	133
Studeni	310	310000	85,7
Prosinac	253	253000	81,8

Tablica 5. Globalno sunčevo zračenje kod Imotskog prema PVGIS [4]

Mjesec	Prosječno vrijeme sunčevog zračenje [h/danu]	Globalno sunčevo zračenje [kWh/m²]
Siječanj	5	81,11
Veljača	7	102,50
Ožujak	8	136,67
Travanj	10	149,72
Svibanj	12	173,89
Lipanj	12	184,44
Srpanj	13	195,56
Kolovoz	13	181,94
Rujan	10	156,94
Listopad	8	137,22
Studeni	6	86,11
Prosinac	5	70,28

Tablica 6. Globalno sunčevo zračenje izračunato za Split, Marjan prema statističkim podacima DHMZ-a [5]



Slika 16.Usporedba zračenja prema PVGIS-u i proračunu prema DHMZ-a

Prema Slici 16. vidljivo je da globalno sunčevo zračenje dobiveno putem DMHZ-a odgovara ili je jako blizu podacima koje smo dobili putem PVGIS-a. Nastavak proračuna je korištenjem statističkih podataka iz PVGIS-a.

8.4. Energija na mjesečnoj razini

Dobivena električna energija proračunava se prema formuli 5., odnosno, kao umnožak dozračene energije na sustav, površine fotonaponskog modula, učinkovitosti sustava i učinkovitosti fotonaponskog modula. Za ovaj primjer smo uzeli dozračenu energiju za mjesec siječanj.

$$E_{FN,siječanj} = E_{dozračena,siječanj} \times A_{FN} \times n_{fotonaponskih\ modula} \times \eta_{FN} \times \eta_{sustava} \quad (5)$$

Gdje su:

$E_{FN,siječanj}$ – mjesečna generirana energija solarnog panela [kWh]

$E_{dozračena}$ – mjesečna prosječna dozračena energija Sunca na lokaciji [kWh/m^2]

A_{FN} – površina solarnog panela [m^2]

$n_{fotonaponskih\ modula}$ – broj fotonaponskih modula na lokaciji [-]

η_{FN} – učinkovitost fotonaponskog modula [-]

$\eta_{sustava}$ – učinkovitost sustava [-]

Proračun energije fotonaponskog modula iznosi:

$$E_{FN,mjesečno} = 79{,}2 \times 1{,}63 \times 9.456 \times 0{,}184 \times 0{,}77 \ = 174.620\ kWh$$

Mjesec	Dozračena energija na sustav A i B [kWh]	Dozračena energija na sustav A i B[MWh]	Energija iz fotonaponskih modula sustava A i B [MWh]
Sječanj	1223846,514	1223,846514	174,62
Veljaća	1381463,111	1381,463111	197,10
Ožujak	2163365,051	2163,365051	308,66
Travanj	2534227,631	2534,227631	361,58
Svibanj	2781469,351	2781,469351	396,85
Lipanj	2966900,641	2966,900641	423,31
Srpanj	3322310,613	3322,310613	474,02
Kolovoz	3353215,828	3353,215828	478,43
Rujan	2596038,061	2596,038061	370,40
Listopad	2055196,798	2055,196798	293,23
Studeni	1324288,463	1324,288463	188,95
Prosinac	1264023,294	1264,023294	180,35
		Ukupno	3847,49

Tablica 7. Dobivena električne energija iz fotonaponskih modula sa uključenom učinkovitosti sustava i fotonaponskih modula

Efikasnost sustava	
$\eta_{inverter}$	0,96
$\eta_{nečistoća}$	0,98
$\eta_{različitih\ modula}$	0,98
$\eta_{AC_{razvoda}}$	0,99
$\eta_{DC_{razvoda}}$	0,98
$\eta_{spojeva}$	0,995
$\eta_{temperatura}$	0,91
η_{kut_upada}	0,97
$\eta_{zračenje}$	0,987
$\boldsymbol{\eta_{sustava}}$	**0,7754**

Tablica 8. Učinkovitost sustava

Tablica 8. predstavlja sve segmente unutar kojih će se javiti pad iskoristivosti, a time i smanjenje generiranja električne energije. Vidljivo je da su mnogi parametri koji utječu na učinkovitost, naravno najveći pad učinkovitosti je upravo na solarnom panelu koji u ovom konkretnom slučaju iznosi 18,4% . Neki od parametara koji značajnije utječu na učinkovitost sustava su upravo temperatura i inverter. U

oba slučaja dolazi do pretvorbe električne energije ili sunčevog zračenja u toplinu. Povećanje površinske temperature fotonaponskog modula opada njegova iskoristivost stoga se preporuča postavljanje fotonaponskih modula na područjima viših nadmorskih visina i relativnog konstantnog vjetra. Postavljanje fotonaponskih modula na višim nadmorskim visinama osim smanjenja površinske temperature fotonaponskih modula ima dodatni benefit koji je uzrokovan nečistoćom u zraku, odnosno, čistoćom zraka. Na višim nadmorskim visinama manji je utjecaj plinova koji ili reflektiraju sunčevo zračenje ili ga apsorbiraju.

8.5.Smanjenje iskoristivosti fotonaponskih modula kroz njihov životni vijek

Tablica 9. pokazuje smanjenje iskoristivost fotonaponskog modula prema linearnom zakonu kao i smanjenje proizvodnje električne energije tijekom životnog vijeka fotonaponskih modula odnosno 25 godina, kojeg garantira proizvođač. Nakon 25 godina korištenja fotonaponskih modula proizvođač preporuča postavljanje novih fotonaponskih modula tako da je i period povrata investicije definiran na tom podatku. Životni vijek fotonaponskih modula definira vrijeme eksploatacije energije iz solarnog postrojenja. Nakon 25 godina učinkovitost fotonaponskog modula opada ispod zadovoljavajućih parametara i nije više isplativ.

Energija iz fotonaponskih modula proračunava se umnožak ukupne dozračene energije na sustav kroz godinu dana, učinkovitost fotonaponskog modula, učinkovitost sustava dok se dozračena energija na sustav proračunava kao umnožak godišnjeg ukupnog sunčevog zračenja na lokaciji i površine svih fotonaponskih modula kao što je prikazano u formuli (6).

$$E_{dozračena\ energija,godina} = G_{godišnje} \times n_{fotonaponskih\ modula} \times A_{fotonaponskih\ modula} \quad (6)$$

Gdje su:

$G_{godišnje}$- godišnje ukupno sunčevo zračenje na lokaciji [kWh]

$n_{fotonaponskih\ modula}$ – broj fotonaponskih modula na lokaciji [-]

$A_{fotonaponskih\ modula}$ – površina pojedinačnog fotonaponskog modula [m^2]

$$E_{dozračena\ energija,godina} = 1.745{,}1 \times 9.456 \times 1{,}634 = 26.963.721{,}59\ kWh$$

Proračun ostvarene energije fotonaponskih modula na lokaciji prikazan je formulom (7) i predstavlja ukupno ostvarenu energiju koju postrojenje proizvodi.

$$E_{fotonaponskih\ modula} = E_{dozračena\ energija,godina} \times \eta_{FN} \times \eta_{sustava} \quad (7)$$

Gdje su:

$E_{fotonaponskih\ modula}$ – energija ostvarena na fotonaponskim modulima [kWh]

$E_{dozračena\ energija,godina}$ – godišnja dozračena energija na sustav [kWh/m^2]

η_{FN} – učinkovitost fotonaponskog modula [%]

$\eta_{sustava}$ – učinkovitost sustava [%]

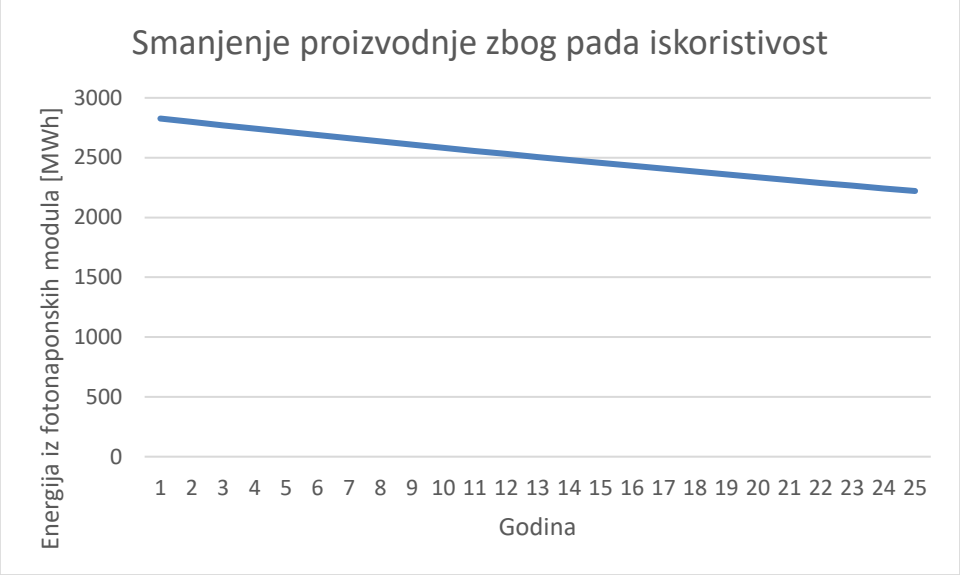
Proračun energije fotonaponskog modula iznosi:

$$E_{fotonaponskih\ modula} = 26.963.721{,}59 \times 0{,}184 \times 0{,}77 \ = 3847.490\ kWh$$

U tablici 9. prikazan je pad učinkovitosti postrojenja kroz njen životni vijek zbog pada iskoristivost fotonaponskih modula.

Godina	Učinkovitost fotonaponskog modula	Godišnje ukupno sunčevo zračenje [kWh/m²]	Dozračena energija na sustav A i B [kWh]	Energija iz fotonaponskih modula [MWh]
1	0,184	1745,1	26966345	3847,49
2	0,182	1745,1	26966345	3809,02
3	0,180	1745,1	26966345	3770,93
4	0,179	1745,1	26966345	3733,22
5	0,177	1745,1	26966345	3695,89
6	0,175	1745,1	26966345	3658,93
7	0,173	1745,1	26966345	3622,34
8	0,172	1745,1	26966345	3586,12
9	0,170	1745,1	26966345	3550,25
10	0,168	1745,1	26966345	3514,75
11	0,166	1745,1	26966345	3479,60
12	0,165	1745,1	26966345	3444,81
13	0,163	1745,1	26966345	3410,36
14	0,161	1745,1	26966345	3376,26
15	0,160	1745,1	26966345	3342,49
16	0,158	1745,1	26966345	3309,07
17	0,157	1745,1	26966345	3275,98
18	0,155	1745,1	26966345	3243,22
19	0,154	1745,1	26966345	3210,79
20	0,152	1745,1	26966345	3178,68
21	0,150	1745,1	26966345	3146,89
22	0,149	1745,1	26966345	3115,42
23	0,148	1745,1	26966345	3084,27
24	0,146	1745,1	26966345	3053,43
25	0,145	1745,1	26966345	3022,89

Tablica 9. Pod iskoristivosti i godišnja proizvodnja električne energije tijekom 25 godina



Slika 17. Pad proizvodnje iz fotonaponskih modula unutar njihovog životnog vijeka na godišnjoj razini

8.6. Ekonomska analiza

Proizvodna cijena električne energije izračunata je putem formule (8) unutar koje razlikujemo, u brojniku ukupan trošak kroz cijeli period rada, i nazivniku u kojem je ukupna proizvedena električna energija. Ovim putem se dobiva procjena kolika je cijena postrojenja po kWh. Prednost, ali i mana LCOE-a je da ne uzima u obzir inflaciju te uzima cijenu na današnjoj razini.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (8)$$

Gdje je:

LCOE – nivelirani trošak proizvodnje električne energije (eng. *levelized cost of energy*) [kn/kWh]

I_t– ukupni investicijski troškovi [kn]

M_t – ukupni troškovi održavanja [kn]

F_t - troškovi goriva u vremenskom periodu (za sunčane elektrane ne postoje, odnosno 0) [kn]

E_t– proizvedena električna energija unutar radnog vijeka fotonaponskih modula [kWh]
r – diskontna stopa (iznosi 3%)

t – period rada postrojenja [god]

Proračun:

$I_t = 26.127.058{,}70$ kn

Godišnji troškovi održavanja procijenjeni su u vrijednosti od 1,5% investicijskih troškova

$$M_t = 1{,}5\% \times t \times I_t \quad (9)$$

$$M_t = 1{,}5\% \times 25 \times 26.127.058{,}70$$

$$M_t = 9.797.647\ kn$$

$$E_t = 62.810.134{,}45\ kWh$$

$$LCOE = \frac{26.127.058{,}70 + 9.797.647}{62.810.134{,}45} = 0{,}572\ kn/kWh$$

9. Iskoristivost površine

Prema ovom podatku može se ocijeniti koliko je površine iskorišteno za dobivanje električne energije od ukupno raspoložive površine. Površina koja je na raspolaganju je 51.000 m^2, odnosno, 850 m x 60 m. Budući da se nosači ne mogu postaviti direktno uz granicu lokacije uzeto je odstupanje od 1 m zbog činjenice da je riječ o jednostavnoj građevini pored koje nema drugih građevina. Razmak između građevina definira se zakonom o gradnji, a razlog je smanjenju vjerojatnosti prelaska vatre u slučaju požara na ostale objekte u neposrednoj blizini. Uzimajući razmak od 1 m između granice lokacije također se dobiva mogućnost nesmetanog čišćenja lokacije od korova kao i održavanja (čišćenja) fotonaponskih panela. Održavanje fotonaponskih panela radi se kako bi se osigurao njihov optimalan rad jer zbog nečistoća na površini fotonaponskih panela opada njihova iskoristivost. Površina nakon oduzimanja 1 m iznosi 50.091 m^2, odnosno, 849 x 59. Površina jednog fotonaponskog modula iznosi, 1,634159 m^2, odnosno, za svih 9456 fotonaponskih modula iznosi 15.452,6075 m^2. Korisna površina na lokaciji iznosi 30,85%. Ovdje je bitno spomenuti da se na lokaciji nalazi i strojarnica unutar koje su postavljeni pretvarači kao i sva oprema za sigurno priključenje na elektroenergetski sustav. Lokacija je podijeljena na dva dijela cestom koja prolazi od grada Imotski do mjesta Gornji Vinjani, što dodatno smanjuje iskoristivost površine. Efektivna površina se također može izračunati prema formuli danoj u istraživačkom radu „Potrebna veličina površine za instalaciju solarnog postrojenja“ [30]. Unutar tog rada definira se površina prema broju fotonaponskih modula (10), a uzima u obzir neke parametre kao što su željena snaga postrojenja, površina fotonaponskog modula i njegova iskoristivost. Također uzima u obzir i solarno zračenje u standardnim uvjetima.

$$N = \frac{P_t}{P_m} = \frac{P_t}{\eta_m \times A_m \times G} \tag{10}$$

Gdje su:

P_t – ukupno instalirana snaga [W]

η_m- učinkovitost fotonaponskog modula [%]

A_m – površina fotonaponskog modula [m^2]

G – solarno zračenje [W/m^2]

Broj fotonaponskih panela za postrojenje u Gornjim Vinjanima iznosi:

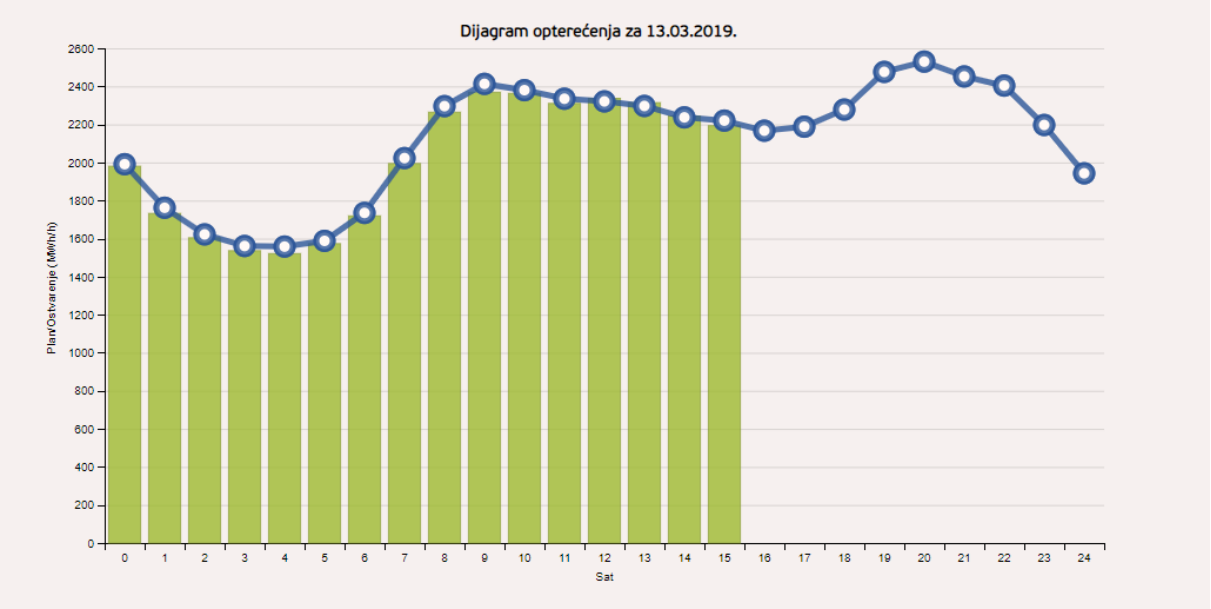
$$N = \frac{2836{,}8 \times 10^3}{0{,}184 \times 1{,}63416 \times 1000} = 9431{,}444$$

Broj fotonaponskih modula koje je moguće postaviti na lokaciji ugrubo odgovara stvarnom broju fotonaponskih modula koji je proračunat u ovom radu i iznosi 9456. Iz ovog izraza vidljivo je da će površina biti slična površini koju smo dobili ručnim proračunom za svaki fotonaponski modul. Budući da svaki fotonaponski modul zauzima istu površinu kao što je gore navedeno, ukupna površina ostaje ista, odnosno, vidljivo je da je ukupan broj fotonaponskih modula na lokaciji zadovoljen.

10. Kako varijabilni obnovljivi izvori utječu na ekonomiku elektro-energetskog sustava

Kako bi dobili bolji uvid kako obnovljivi izvori energije utječu na elektro-energetski sustav potrebno je prihvatiti činjenicu da je proizvodnja električne energije jednaka potrošnji. Odnosno $\sum Potrošnje = \sum Proizvodnje$, odnosno proizvođač proizvodi električnu energiju, potrošač troši električnu energiju, a između njih postoje i prijenos, distribucija, *dispatching*, kao i posrednici koji preprodaju ugovore o proizvodnji i/ili potrošnji. Trgovci električnom energijom na tržištu mogu trgovati uglavnom unaprijed gdje taj vremenski period može biti definiran kao godina dana, mjesec, tjedan i dan. Ovdje dolazi do potrebe točnog definiranja potrošnje. Potrošnja električne energije se može relativno pouzdano predvidjeti u industriji budući se da na dnevnoj razini ne mijenjaju količine potrošnje no potrošnja u kućanstvu može znatno oscilirati.

Na slici 18. prikazan je dijagram dnevnog opterećenja elektro-energetskog sustava na dan 13.ožujka 2019. unutar kojeg je vidljiva predviđena potrošnja (plan operatera sustava) kao i stvarno potrošena energija.



Slika 18. Dijagram opterećenja i ostvarena električna energija na dan 13.03.2019.

Trgovanje električnom energijom može se u pogledu vremena podijeliti na:

- Trgovinu unaprijed – financijski derivati
- Trgovinu u realnom vremenu – električna energija

Unutar trgovine unaprijed smatramo trgovinu financijskim derivatima kao što su ugovori o budućim isporukama, dok je trgovina u realnom vremenu trgovina realnom robom, odnosno, električnom energijom.

Problematika povećanja udjela obnovljivih izvora energije je u činjenici da nisu uvjetovani ljudskim potrebama već i prirodnim pojavama. Smanjenje proizvodnje električne energije iz fotonaponskih modula zbog kišnog dana ili razdoblja, kao i zasjenjenje ili loše održavanje, dovode do smanjenje proizvodnje koja se onda mora nadoknaditi iz drugih izvora kao što su termoelektrane. Pouzdanost pogona i proizvodnje iz obnovljivih izvora energije je naravno manja nego je to u slučaju termoelektrana.

Ovoj problematici mora se pristupiti veoma ozbiljno te se za svaku elektranu mora osigurati adekvatno nadomještanje kojem se može priskočiti prema potrebi, kao što su reverzibilne hidroelektrane ili dizelska postrojenja s generatorima. Budući da je Republika Hrvatska dobro povezana sa susjednim zemljama u elektro-energetski sustav nije potrebna instalacija novih kapaciteta za pokrivanje ovih razlika već je jedan od mogućih pristupa i otkup električne energije iz susjednih zemalja. Ovo rješenje nije idealno, ali donosi mogućnost da se, osim kupnje, električna energija i prodaje.

Povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije koje se pretpostavlja u budućnosti je oko 30% u srednjoročnoj budućnosti zbog čega će doći do općeg pada vrijednosti električne energije, a time i rizika ulaganja u još uvijek neophodna konvencionalna postrojenja koja služe za održavanje stabilnosti/održivosti sustava, kao i njegovu regulaciju.

11. Ocjena rentabilnosti projekta

Prije same ocjene rentabilnosti potrebno je definirati prodajnu cijenu električne energije. Ugovor sa HEP-om se potpisuje na 12 godina unutar kojeg se definira kolika će biti cijena električne energije.

Kroz ocjenu rentabilnosti projekta investitor dobiva procjenu opravdanosti ulaganja, odnosno, može procijeniti je li isplativije ulagati u ovaj projekt ili npr. staviti investiciju na oročenu štednju. Ocjena rentabilnosti korist će dinamičku metodu putem koje se dobiva bolja pouzdanost. Koristit će se:

1. Metoda razdoblja povrata investicije
2. Metoda neto sadašnje vrijednosti projekta
3. Metoda interne stope rentabilnosti

11.1 Metoda razdoblja povrata investicije

Ova metoda je najjednostavnija putem koje se utvrđuje operativno vrijeme da postrojenje povrati sredstva koja su uložena u projekt. Unutar tog vremena potrebno je prikupljati pozitivne novčane tokove kako bi se razlika između investicije i pozitivnih prihoda svela na nulu. Metoda je definirana kao omjer godišnjih prihoda od postrojenja u odnosu na uloženu investiciju. Dijeljenjem ovih podataka dobivamo koliko je godina potrebno da se investicija vrati. Želja je da ovaj iznos bude što manji kako bi povrat investicije bio što brži. Obično se uzima da granica povrata investicije treba biti manja od životnog vijeka postrojenja što kod fotonaponskih modula, prema proizvođaču, iznosi 25 godina.

$$t = \frac{I}{c \times E} \tag{11}$$

gdje su:

c – prodajna cijena električne energije [kn/kWh]

E – energija predana sustavu [kWh]

I – iznos investicije [kn]

Ukoliko koristimo podatke za 2018. godinu gdje je prosječna cijena električne energije iznosila 51,92 €/MWh s pretpostavljenim iznosom inflacije od 2% dobivamo rezultate prikazane u Tablici 10.

Godina	Stopa inflacije	Cijena električne energije [€/MWh]	Cijena električne energije s inflacijom [€/MWh]	Proizvedena električna energija po godini s padom iskoristivosti [MWh]	Godišnji prihod bez inflacije	Godišnji prihod s inflacijom
1	2%	51,92	51,92	3847,493811	1.483.019,48 kn	1.483.019,48 kn
2	2%	51,92	52,96	3809,018873	1.468.189,29 kn	1.497.553,07 kn
3	2%	51,92	54,01	3770,928684	1.453.507,40 kn	1.512.229,09 kn
4	2%	51,92	55,09	3733,219397	1.438.972,32 kn	1.527.048,94 kn
5	2%	51,92	56,20	3695,887203	1.424.582,60 kn	1.542.014,02 kn
6	2%	51,92	57,32	3658,928331	1.410.336,77 kn	1.557.125,76 kn
7	2%	51,92	58,47	3622,339048	1.396.233,40 kn	1.572.385,59 kn
8	2%	51,92	59,64	3586,115658	1.382.271,07 kn	1.587.794,97 kn
9	2%	51,92	60,83	3550,254501	1.368.448,36 kn	1.603.355,36 kn
10	2%	51,92	62,05	3514,751956	1.354.763,88 kn	1.619.068,24 kn
11	2%	51,92	63,29	3479,604436	1.341.216,24 kn	1.634.935,11 kn
12	2%	51,92	64,55	3444,808392	1.327.804,08 kn	1.650.957,47 kn
13	2%	51,92	65,84	3410,360308	1.314.526,03 kn	1.667.136,86 kn
14	2%	51,92	67,16	3376,256705	1.301.380,77 kn	1.683.474,80 kn
15	2%	51,92	68,50	3342,494138	1.288.366,97 kn	1.699.972,85 kn
16	2%	51,92	69,87	3309,069197	1.275.483,30 kn	1.716.632,58 kn
17	2%	51,92	71,27	3275,978505	1.262.728,46 kn	1.733.455,58 kn
18	2%	51,92	72,70	3243,21872	1.250.101,18 kn	1.750.443,45 kn
19	2%	51,92	74,15	3210,786532	1.237.600,17 kn	1.767.597,79 kn
20	2%	51,92	75,63	3178,678667	1.225.224,17 kn	1.784.920,25 kn
21	2%	51,92	77,15	3146,89188	1.212.971,92 kn	1.802.412,47 kn
22	2%	51,92	78,69	3115,422962	1.200.842,20 kn	1.820.076,11 kn
23	2%	51,92	80,26	3084,268732	1.188.833,78 kn	1.837.912,86 kn
24	2%	51,92	81,87	3053,426045	1.176.945,44 kn	1.855.924,41 kn
25	2%	51,92	83,50	3022,891784	1.165.175,99 kn	1.874.112,47 kn
				85483,09447	32.949.525,28 kn	41.781.559,59 kn

Tablica 10. Godišnji prihodi s inflacijom i prosječnom prodajnom cijenom električne struje

Prema tablici 10. vidljivo je da će period povrata investicije biti oko 17 godina budući da je tada prihod od solarnog postrojenja 27.288.159 kn, dok je investicije 26.127.058,70 kn. Ovdje je bitno spomenuti da nisu uzeti dodatni radovi koji su mogući na postrojenju kao i osoblje koje postrojenje mora održavati. Koristeći formulu (11) moguće je proračunati točni period povrata investicije. Uzimajući prosječnu proizvodnju od 3.419.323,779 kWh i prosječnu prodajnu cijenu električne energije 51,92 €/MWh, odnosno, 0,05192 €/kWh.

$$c = 51{,}92 \frac{€}{MWh} = 0{,}05192 \ \frac{€}{kWh}$$

$$E = 3419{,}323779 \ MWh = 3\,419\,323{,}779 \ kWh$$

$$t = \frac{c \times E}{I} = \frac{26\,127\,058{,}7}{0{,}05192 \times 7{,}42 \ \times 3\,419\,323{,}779} = 19{,}83 \ godina$$

Prema proračunu vidljivo je da je period povrata investicije manji od životnog vijeka fotonaponskih modula što pokazuje da projekt vraća investiciju unutar životnog vijeka prema tome može se pristupiti definiranju njegove rentabilnost.

11.2 Metoda neto sadašnje vrijednosti projekta

Neto sadašnja vrijednost nekog investicijskog projekta jednaka je razlici sadašnje vrijednosti budućeg prihoda od projekta i sadašnje vrijednosti njegovih budućih troškova.

Diskontiranjem neto primitka ekonomskog tijeka svi budući učinci projekta svode se na njihovu sadašnju vrijednost. Uzeta diskontna stopa je 3%, odnosno, iznosi onoliko koliko je kamatna stopa kada bi investitor uložio sredstva u banku. Unutar proračuna uzimat će se dolje navedeni parametri:

1. Investicija – 26.127.058,70
2. Ekonomski vijek postrojenja od 25 godina
3. Diskontna stopa – 3%

Način na koji je sadašnja vrijednost proračunata dana je sljedećim formulama.

Godišnji tok novaca s inflacijom proračunat je formulom (12).

$$D = G \times C_{inflacija} - C_{održavanja} \tag{12}$$

Gdje su:
D – godišnji tok novaca s inflacijom [kn/godina]

G – proizvedena električna energija s padom iskoristivosti [MWh/godini]

$C_{inflacija}$ – prodajna cijena električne energije s inflacijom [kn/MWh]

$C_{održavanja}$ – trošak održavanja [kn]

Sadašnja vrijednost novca definira razliku između vrijednosti novca kojeg imamo danas i vrijednosti novca kojeg ćemo imati u budućnosti. Vrijednost novca danas je uvijek veća od vrijednosti novca u budućnosti.

Sadašnja vrijednost novca je definirana:

$$NPV_n = \frac{D}{(1+diskontna\ stopa)^n} \tag{13}$$

Gdje su:
NPV – neto sadašnja vrijednost (eng. *net present value*)

D - godišnji tok novca s inflacijom

n – godina

Nakon što se za svaku n godinu izračuna NPV_n kao $NPV_n = NPV_1 + NPV_2 + \cdots + NPV_n$ definira se NPV.

$$NPV = NPV_n - C_{investicije} \quad (14)$$

Gdje je:

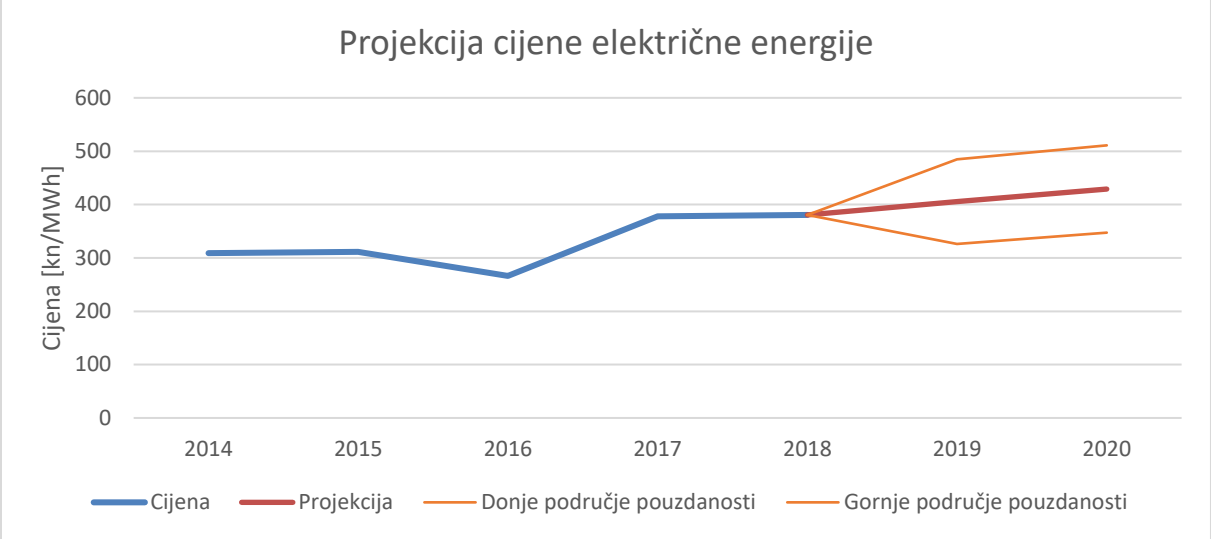
NPV_n – ukupni NPV kroz n godina

$C_{investicije}$ – trošak potreban da se izgradi postrojenje, plate svi nameti i dozvole

Godina	Novčani tok s inflacijom [kn/god]	Sadašnja vrijednost
0		- 26.127.058,70 kn
1	1.363.019,48 kn	1.323.319,89 kn
2	1.377.553,07 kn	1.298.475,89 kn
3	1.392.229,09 kn	1.274.086,84 kn
4	1.407.048,94 kn	1.250.144,76 kn
5	1.422.014,02 kn	1.226.641,78 kn
6	1.437.125,76 kn	1.203.570,20 kn
7	1.452.385,59 kn	1.180.922,39 kn
8	1.467.794,97 kn	1.158.690,90 kn
9	1.483.355,36 kn	1.136.868,37 kn
10	1.499.068,24 kn	1.115.447,56 kn
11	1.514.935,11 kn	1.094.421,36 kn
12	1.530.957,47 kn	1.073.782,77 kn
13	1.547.136,86 kn	1.053.524,92 kn
14	1.563.474,80 kn	1.033.641,03 kn
15	1.579.972,85 kn	1.014.124,45 kn
16	1.596.632,58 kn	994.968,64 kn
17	1.613.455,58 kn	976.167,16 kn
18	1.630.443,45 kn	957.713,69 kn
19	1.647.597,79 kn	939.602,00 kn
20	1.664.920,25 kn	921.825,98 kn
21	1.682.412,47 kn	904.379,61 kn
22	1.700.076,11 kn	887.256,97 kn
23	1.717.912,86 kn	870.452,27 kn
24	1.735.924,41 kn	853.959,78 kn
25	1.754.112,47 kn	837.773,88 kn
	NPV	454.704,38 kn

Tablica 11.Metoda neto sadašnje vrijednosti novca s prosječnom prodajnom cijenom el. Energije u 2018. godini

Tablica 11. prikazuje proračun NPV-a (eng. *net present value*) s prosječnom prodajnom cijenom prema CROPEX-u za 2018. godinu. Proračun uzima stopu inflacije od 2 % kao i godišnji pad iskoristivosti postrojenja. Stupac "Novčani tok s inflacijom" uzima u obzir godišnje prihode od postrojenja umanjene za troškove održavanja koji iznose 120.000 kn. Prema proračunu NPV vrijednost postiže pozitivnu vrijednost, što označava profitabilnost postrojenja. Budući da se količina električne energije koja je potrebna svake godine povećava zbog rasta potrošnje u društvu, tako bi trebala rasti i njezina cijena. Koristeći različite scenarije (*what if* analiza) prikazane na slici 17. vidljivo je povećanje prodajne cijene električne energije.



Slika 19. Projekcija cijene električne energije za 2019. i 2020. godinu

Ova projekcija je napravljena koristeći podatke s web stranica HROTE [39] pod energijom uravnoteženja koja odgovara tržišnoj prodajnoj cijeni CROPEX-a od 2014. do 2018. godine. Gornja vrijednost 2020. godine bi trebala iznositi 510kn/MWh. Za vrijeme pisanja ovog diplomskog imali smo podatke i za siječanj 2019. godine, gdje cijena električne energije na tržištu CROPEX iznosi 69,32 €/MWh. Uzimajući činjenicu da će potrebna količina energije (odnosno potrošnja) rasti cijena električne energije na tržištu će također rasti. Koristeći te podatke uzeli smo prosječnu cijenu između siječnja 2018. i siječnja 2019 godine od 53,65 €/MWh te napravili projekciju na godišnjoj razini te dobili prosječnu godišnju cijenu od 73,33 €/MWh. Koristeći ovu projekciju napravljen je proračun neto sadašnje vrijednosti za navedenu cijenu bez promjene ostalih parametara što je vidljivo na tablici 12.

Godina	Novčani tok s inflacijom	Sadašnja vrijednost
0		- 26.127.058,70 kn
1	1.974.781,16 kn	1.917.263,27 kn
2	1.995.310,02 kn	1.880.771,06 kn
3	2.016.040,06 kn	1.844.962,24 kn
4	2.036.973,25 kn	1.809.824,35 kn
5	2.058.111,59 kn	1.775.345,14 kn
6	2.079.457,08 kn	1.741.512,57 kn
7	2.101.011,76 kn	1.708.314,83 kn
8	2.122.777,68 kn	1.675.740,30 kn
9	2.144.756,90 kn	1.643.777,57 kn
10	2.166.951,52 kn	1.612.415,44 kn
11	2.189.363,64 kn	1.581.642,88 kn
12	2.211.995,40 kn	1.551.449,07 kn
13	2.234.848,96 kn	1.521.823,39 kn
14	2.257.926,48 kn	1.492.755,40 kn
15	2.281.230,16 kn	1.464.234,83 kn
16	2.304.762,21 kn	1.436.251,61 kn
17	2.328.524,88 kn	1.408.795,85 kn
18	2.352.520,43 kn	1.381.857,81 kn
19	2.376.751,13 kn	1.355.427,96 kn
20	2.401.219,29 kn	1.329.496,90 kn
21	2.425.927,24 kn	1.304.055,43 kn
22	2.450.877,33 kn	1.279.094,50 kn
23	2.476.071,92 kn	1.254.605,21 kn
24	2.501.513,43 kn	1.230.578,85 kn
25	2.527.204,26 kn	1.207.006,83 kn
	NPV	12.281.944,59 kn

Tablica 12.Metoda neto sadašnje vrijednosti sa pretpostavljenom cijenom

Prema tablici 12. vidljivo je da neto sadašnja vrijednost ostaje pozitivna zbog čega projekt ostaje rentabilan što je bilo i za očekivati zbog povećanja prodajne cijene električne energije, također period povrata investicije se smanjio sa 17 godina na 16 godina.

11.3. Metoda s subvencijom iz fondova EU

Unutar ovog dijela diplomskog rada objasnit ćemo kako subvencija utječe na rentabilnost projekta kao i socioekonomske karakteristike.

Procjena subvencija napravit će se za 10%, 15%, 30% i 40% subvencije, više od toga realno se ne može očekivati. Iako je vidljivo iz tablice 11. i tablice 12. da je projekt rentabilan, uz korištenje subvencije iz fondova Europske unije može se pokriti i dio investicije što investitoru predstavlja dodatnu inicijativu da pokrene izgradnju solarnog postrojenja. Budući da se subvencije ovdje mogu smatrati kao

nepovratna sredstva direktno će smanjiti iznos investicije. Tako da za iznos investicije od 26.127.058,70 kn se smanjuje za 10% i iznosi 23.514.352,83 kn vidljivo na Tablici 13.

Prema ovome napravljena je analiza neto sadašnje vrijednosti novca i prezentirana je u tablici 14.

Ocjena rentabilnosti sa subvencijama EU		10%
Investicija	[kn]	26.127.058,70 kn
Ekonomski vijek postrojenja	[godina]	25
Subvencija	[%]	10%
Iznos subvencije	[kn]	2.612.705,87 kn
Ostatak	[kn]	23.514.352,83 kn

Tablica 13. Parametri za proračun rentabilnosti projekta za subvenciju od 10%

SUBVENCIJA 10%		
Godina	Novčani tok s inflacijom [kn/god]	Sadašnja vrijednost
0		- 23.514.352,83 kn
1	1.363.019,48 kn	1.323.319,89 kn
2	1.377.553,07 kn	1.298.475,89 kn
3	1.392.229,09 kn	1.274.086,84 kn
4	1.407.048,94 kn	1.250.144,76 kn
5	1.422.014,02 kn	1.226.641,78 kn
6	1.437.125,76 kn	1.203.570,20 kn
7	1.452.385,59 kn	1.180.922,39 kn
8	1.467.794,97 kn	1.158.690,90 kn
9	1.483.355,36 kn	1.136.868,37 kn
10	1.499.068,24 kn	1.115.447,56 kn
11	1.514.935,11 kn	1.094.421,36 kn
12	1.530.957,47 kn	1.073.782,77 kn
13	1.547.136,86 kn	1.053.524,92 kn
14	1.563.474,80 kn	1.033.641,03 kn
15	1.579.972,85 kn	1.014.124,45 kn
16	1.596.632,58 kn	994.968,64 kn
17	1.613.455,58 kn	976.167,16 kn
18	1.630.443,45 kn	957.713,69 kn
19	1.647.597,79 kn	939.602,00 kn
20	1.664.920,25 kn	921.825,98 kn
21	1.682.412,47 kn	904.379,61 kn
22	1.700.076,11 kn	887.256,97 kn
23	1.717.912,86 kn	870.452,27 kn
24	1.735.924,41 kn	853.959,78 kn
25	1.754.112,47 kn	837.773,88 kn
	NPV	3.067.410,25 kn

Tablica 14.Neto sadašnja vrijednost projekta sa subvencijom od 10%

Koristeći predložak za subvenciju od 10% napravit ćemo i ostale subvencije, odnosno, 15% i 30%.što će biti prikazano na Tablicama 16. i 18..

Ocjena rentabilnosti sa subvencijama EU		15%
Investicija	[kn]	26.127.058,70 kn
Ekonomski vijek postrojenja	[godina]	25
Subvencija	[%]	15%
Iznos subvencije	[kn]	3.919.058,81 kn
Ostatak	[kn]	22.207.999,90 kn

Tablica 15.Parametri za proračun rentabilnosti projekta za subvenciju od 15%

SUBVENCIJA 15%		
Godina	Novčani tok s inflacijom [kn/god]	Sadašnja vrijednost
0		- 22.207.999,90 kn
1	1.363.019,48 kn	1.323.319,89 kn
2	1.377.553,07 kn	1.298.475,89 kn
3	1.392.229,09 kn	1.274.086,84 kn
4	1.407.048,94 kn	1.250.144,76 kn
5	1.422.014,02 kn	1.226.641,78 kn
6	1.437.125,76 kn	1.203.570,20 kn
7	1.452.385,59 kn	1.180.922,39 kn
8	1.467.794,97 kn	1.158.690,90 kn
9	1.483.355,36 kn	1.136.868,37 kn
10	1.499.068,24 kn	1.115.447,56 kn
11	1.514.935,11 kn	1.094.421,36 kn
12	1.530.957,47 kn	1.073.782,77 kn
13	1.547.136,86 kn	1.053.524,92 kn
14	1.563.474,80 kn	1.033.641,03 kn
15	1.579.972,85 kn	1.014.124,45 kn
16	1.596.632,58 kn	994.968,64 kn
17	1.613.455,58 kn	976.167,16 kn
18	1.630.443,45 kn	957.713,69 kn
19	1.647.597,79 kn	939.602,00 kn
20	1.664.920,25 kn	921.825,98 kn
21	1.682.412,47 kn	904.379,61 kn
22	1.700.076,11 kn	887.256,97 kn
23	1.717.912,86 kn	870.452,27 kn
24	1.735.924,41 kn	853.959,78 kn
25	1.754.112,47 kn	837.773,88 kn
	NPV	4.373.763,19 kn

Tablica 16.Neto sadašnja vrijednost projekta sa subvencijom od 15%

Ocjena rentabilnosti sa subvencijama EU		30%
Investicija	[kn]	26.127.058,70 kn
Ekonomski vijek postrojenja	[godina]	25
Subvencija	[%]	30%
Iznos subvencije	[kn]	7.838.117,61 kn
Ostatak	[kn]	18.288.941,09 kn

Tablica 17. Parametri za proračun rentabilnosti projekta za subvenciju od 30%

SUBVENCIJA 30%		
Godina	Novčani tok s inflacijom	Sadašnja vrijednost
0		- 18.288.941,09 kn
1	1.363.019,48 kn	1.323.319,89 kn
2	1.377.553,07 kn	1.298.475,89 kn
3	1.392.229,09 kn	1.274.086,84 kn
4	1.407.048,94 kn	1.250.144,76 kn
5	1.422.014,02 kn	1.226.641,78 kn
6	1.437.125,76 kn	1.203.570,20 kn
7	1.452.385,59 kn	1.180.922,39 kn
8	1.467.794,97 kn	1.158.690,90 kn
9	1.483.355,36 kn	1.136.868,37 kn
10	1.499.068,24 kn	1.115.447,56 kn
11	1.514.935,11 kn	1.094.421,36 kn
12	1.530.957,47 kn	1.073.782,77 kn
13	1.547.136,86 kn	1.053.524,92 kn
14	1.563.474,80 kn	1.033.641,03 kn
15	1.579.972,85 kn	1.014.124,45 kn
16	1.596.632,58 kn	994.968,64 kn
17	1.613.455,58 kn	976.167,16 kn
18	1.630.443,45 kn	957.713,69 kn
19	1.647.597,79 kn	939.602,00 kn
20	1.664.920,25 kn	921.825,98 kn
21	1.682.412,47 kn	904.379,61 kn
22	1.700.076,11 kn	887.256,97 kn
23	1.717.912,86 kn	870.452,27 kn
24	1.735.924,41 kn	853.959,78 kn
25	1.754.112,47 kn	837.773,88 kn
	NPV	8.292.821,99 kn

Tablica 18.Neto sadašnja vrijednost projekta sa subvencijom od 30%

Vidljivo je iz Tablica 18.,16. i 14. da je projekt profitabilan, što je za očekivati budući da rentabilnost projekta bez subvencija također postoji. Bitno je spomenuti da postoji realna mogućnost subvencija te su navedene tablice dane kao uvid u količinu investicije kod različitih iznosa subvencija.

Budući da se ugovor sklapa s HEP-om unutar kojeg se definira prodajna cijena električne energije potrebno je definirati odgovarajuću cijenu kako bi se osigurala rentabilnost projekta što je u ovom proračunu korištena prosječna prodajna cijena električne energije za 2018. godinu od 51,92 €/MWh.

12. Zakonska regulativa

U sklopu ovog rada proučena je zakonska regulativa koja je vezana za cijeli postupak buduće gradnje postrojenja. Zakonske regulative koje su uzete u obzir su:

- Zakon o jednostavnim građevinama (13, n.d.) [14]
- Zakon o gradnji [40]
- Pravila o priključku na distribucijsku mrežu [15]

Prema zakonu o jednostavnim građevinama (članak 3.a) moguće je izgraditi bez građevinske dozvole pomoćnu zgradu koja ima jednu etažu do 50 m^2 tlocrtne površine. Na lokaciji želimo napraviti pomoćnu zgradu unutar koje bi postavili pretvarače kao i svu opremu za sigurno priključenje na elektroenergetski sustav ukupne površine od 50 m^2 jedne etaže čime je zadovoljen članak 3.a Zakona o jednostavnim građevinama.

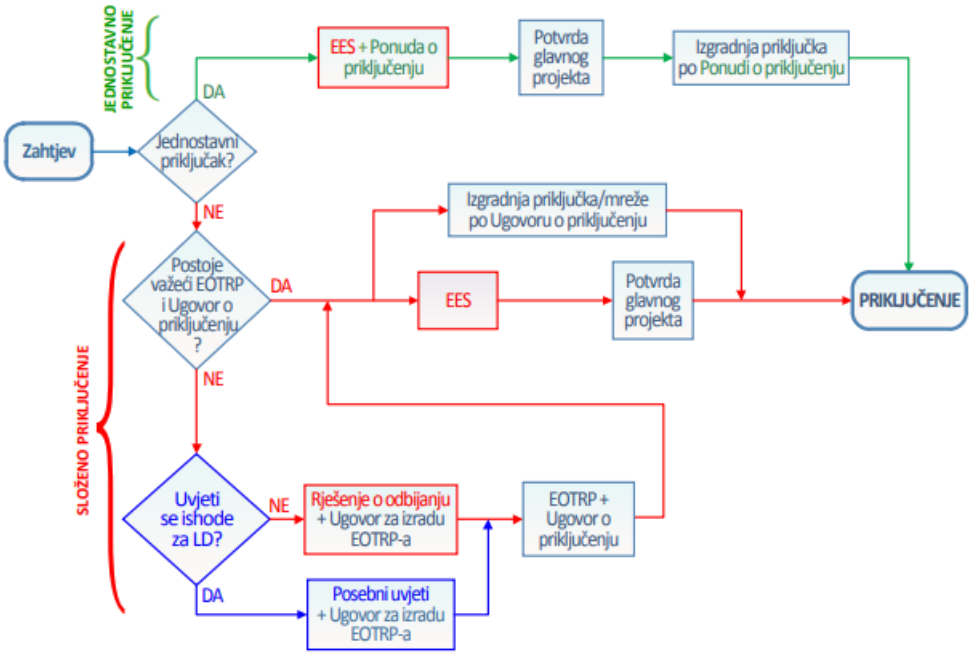
12.1. Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu

Provedba postupka priključenja ima svrhu svesti rad postrojenja na zahtjeve i propise prije korištenja distribucijske mreže. Unutar ovog pravilnika [15] dane su smjernice putem kojeg projektant može dizajnirati postrojenje na način da se ono jednostavno može priključiti na distribucijsku mrežu. U nastavku ćemo razmatrati samo slučaj za postrojenje u pitanju s naznakom na druge slučajeve. Shema priključenja unutar koje su dani svi koraci koje investitor i projektant moraju proći dana je na slici 18. i slici 19.

Nakon predavanja zahtjeva za izdavanje elektroenergetske suglasnosti operator procjenjuje kakvo priključenje će biti finalizirano, složeno ili jednostavno. Kod jednostavnog priključenja sljedeći korak je dobivanje elektroenergetske suglasnosti i ponude o priključenju nakon čega slijedi izgradnja priključka po Ponudi o priključenju kao i samo priključenje.

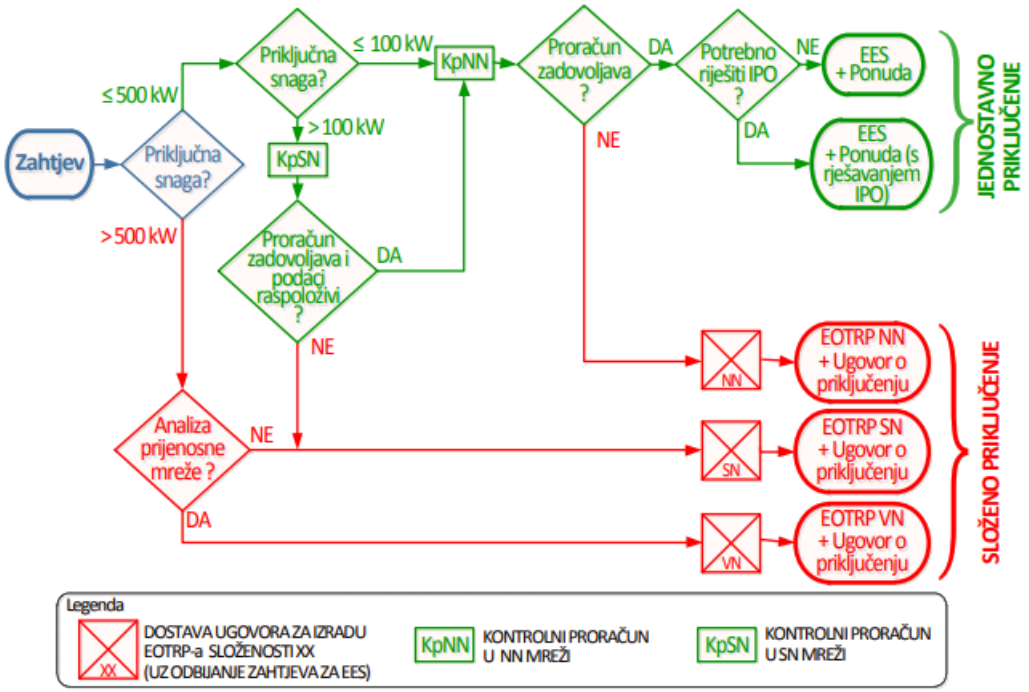
Kod složenog priključenja mora se provjeriti postoji li važeći EOTRP (Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja) i Ugovor o priključenju, te ukoliko postoje, onda se pristupa zajedničkom izdavanju EES-a i Potvrde glavnog projekta kao i izgradnje priključka po Ugovoru o priključenju nakon čega se pristupa priključenju. Ukoliko nije zadovoljen uvjet o postojanju važećeg EOTRP-a i/ili Ugovora o priključenju, moraju se provjeriti uvjeti za lokacijsku dozvolu (LD). Ukoliko uvjeti za lokacijsku dozvolu nisu zadovoljeni, pristupa se Rješenju o odbijanju i Ugovoru za izradu EOTRP-a, te nakon što se on

izradi, definiranju Ugovora o priključenju. Ukoliko su zadovoljeni uvjeti za lokacijsku dozvolu, rade se posebni uvjeti EOTRP, i naposlijetku nakon izrađenog EOTRP-a, i Ugovor o priključenju.



Slika 20.Postupak priključenja kod jednostavnog i složenog priključenja

Način na koji operator distribucijskog sustava definira složenost priključenja definirana je na Slici 21., ali odmah se može zaključiti da je glavna razlika između jednostavnog i složenog priključenja snaga postrojenja, odnosno, da li je ona manja ili veća od 500 kW.



Slika 21. Prikaz priključenja prema priključnoj snazi

13. Moguća implementacija sustava praćenja na postrojenju solarne elektrane

Unutar ovog poglavlja biti će dan prijedlog implementacije solarnog postrojenja s mogućnošću praćenja sunca kako bi se povećala dobivena energija. Povećanjem dobivene energije povećava se proizvedena (prodajna) količina električne energije. Statični sustavi imaju smanjenu mogućnost generiranja električne energije iz Sunca zbog svog fiksnog nagiba panela. Pokretni sustavi, odnosno, sustavi koji prate sunčevo kretanje generiraju veću energiju, iako im je investicija veća i koriste dio dobivene energije za pozicioniranje fotonaponskih modula u optimalan kut (nagib). Ovdje razlikujemo dva solarna sustava praćenja Sunca i mnoštvo podsustava koji su navedeni u donjoj podijeli:

1. Jednoosni sustavi praćenja Sunca
   1.1. Vodoravni jednoosni tragač

        Os rotacije ovih sustava praćenja Sunca je vodoravna dok su fotonaponskih moduli postavljeni pod kutom od 0°.

   1.2. Vodoravni jednoosni tragač s kosim modulima

        Za razliku od vodoravnog jednoosnog tragača kut postavljanja fotonaponskih modula za vodoravni jednoosni tragač s kosim modulima je veći od 0°.

   1.3. Okomiti jednoosni tragač

        Os rotacije okomitog jednoosnog tragača je okomita s obzirom na tlo.

   1.4. Nagnuti jednoosni tragač

        Nagnuti jednoosni tragači se postavljaju tako da se os rotacije nalazi između vodoravnog i okomitog

   1.5. Polarno usklađeni tragač
2. Dvoosni sustavi praćenja Sunca
   2.1. Vršno nagnuti dvoosni tragači
   2.2. Azimut – visina dvoosni tragači

Jednoosni sustavi praćenja Sunca pozicioniraju fotonaponske module tako da su uvijek u istom nagibu u odnosu na Zemlju, a okreću se oko centralne osi. Dvoosni sustavi praćenja Sunca osim što se mogu rotirati oko centralne točke mogu mijenjati i nagib fotonaponskih modula, odnosno imaju dva stupnja slobode, prilikom čega su u mogućnosti duže biti u optimalnoj poziciji i generirati veću količinu električne energije u usporedbi sa statičnim ili jednoosnim sustavima. Prema istraživanjima [22] dobiveni su rezultati da jednoosni sustavi praćenja imaju povećanu godišnju proizvodnju energije oko 30% dok dvoosni sustavi imaju mogućnost generiranja i do 50%, točnije dodatnih 10-20%.

Prednosti jednoosnog i dvoosnog sustava praćenja Sunca su:

- Povećana generirana električne energija
- Dolaze s nosačem

Nedostatci jednoosnog i dvoosnog sustava praćenja Sunca su:

- Veći investicijski troškovi nego kod fiksnih
- Mehanički kompliciraniji
- Potreba veća površina zbog povećanja utjecaja zasjenjenja od drugih fotonaponskih modula

13.1. Odabrani jednoosni sustav praćenja Sunca

Prema željenim specifikacijama odabrali smo jednoosni sustav praćenja Sunca DEGER 8.5 [24] s cijenom od 1.345,23 € , odnosno, 9.954 kn, na koji se može postaviti 5 fotonaponskih modula.

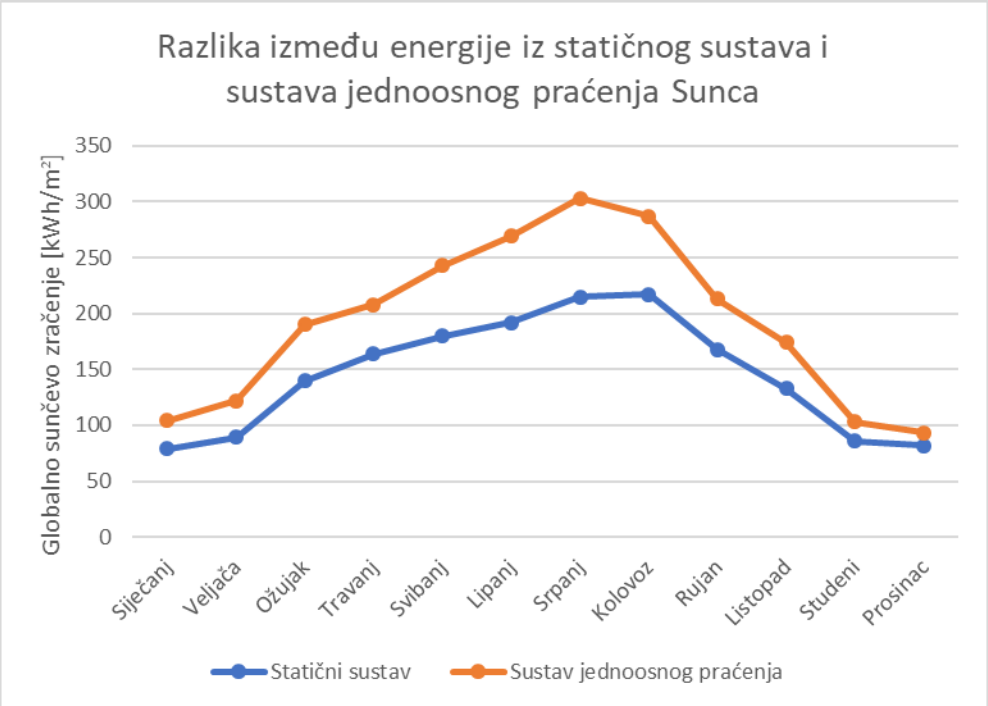


Slika 22. Jednoosni sustav praćenja sunca DEGER 8.5 [24]

Prema PVGIS-u, energija koja se može generirati ovakvim jednoosnim sustavom je dana u Tablici 21. i Slici 22., koja pokazuje razliku u proizvedenoj energiji iz statičnog sustava i sustava praćenja.

Mjesec	Globalno sunčevo zračenje [kWh/m²]_PVGIS - statični	Globalno sunčevo zračenje [kWh/m²]_PVGIS - jednoosni
Siječanj	79,2	104
Veljača	89,4	122
Ožujak	140	190
Travanj	164	208
Svibanj	180	243
Lipanj	192	269
Srpanj	215	303
Kolovoz	217	287
Rujan	168	213
Listopad	133	174
Studeni	85,7	103
Prosinac	81,8	93,5

Slika 23. Globalno sunčevo zračenje za statički sustav i jednoosni sustav praćenja Sunca



Slika 24. Razlika između energije iz statičnog sustava i sustava jednoosnog praćenja Sunca

Na slici 22. vidljivo je da će se implementacijom sustava jednoosnog praćenja Sunca proizvesti više energije nego je to moguće statičnim sustavima postavljanja fotonaponskih modula što je i za očekivati zbog njihove mogućnosti da prate kretanje Sunca i prema tome se pozicionirati za optimalno generiranja električne energije.

Postavljanje jednoosnih nosača za praćenje sunca prema formuli (3) danoj u poglavlju „Postavljanje fotonaponskih modula“ iznosi:

$$d = w \times \left(\frac{sin(\beta)}{tan(\gamma)} + cos(\beta) \right)$$

Gdje su:

d – udaljenosti između dva fotonaponska modula [mm]

w – visina fotonaponskog modula [mm]

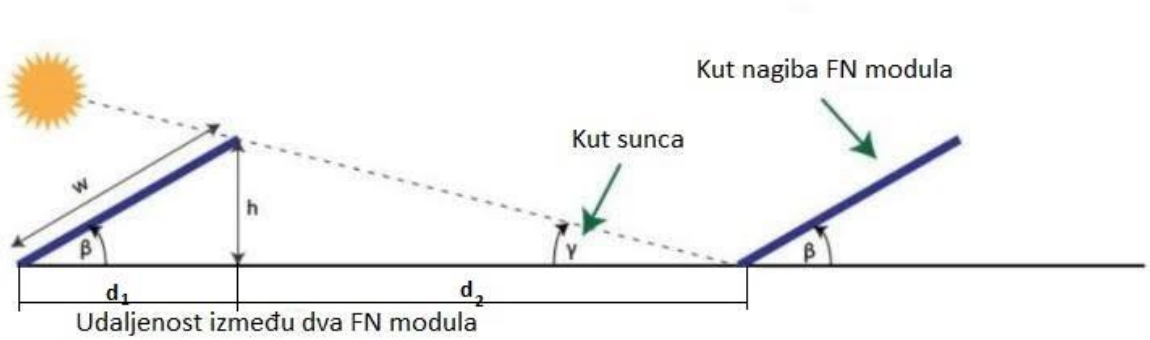
β – nagib fotonaponskog modula [mm]

γ – nagib sunca[^{o}]

Odnosno:

$$d = 4955 \times \left(\frac{sin(36°)}{tan(22°)} + cos(36°) \right)$$

$$d = 11.217{,}31\ mm$$



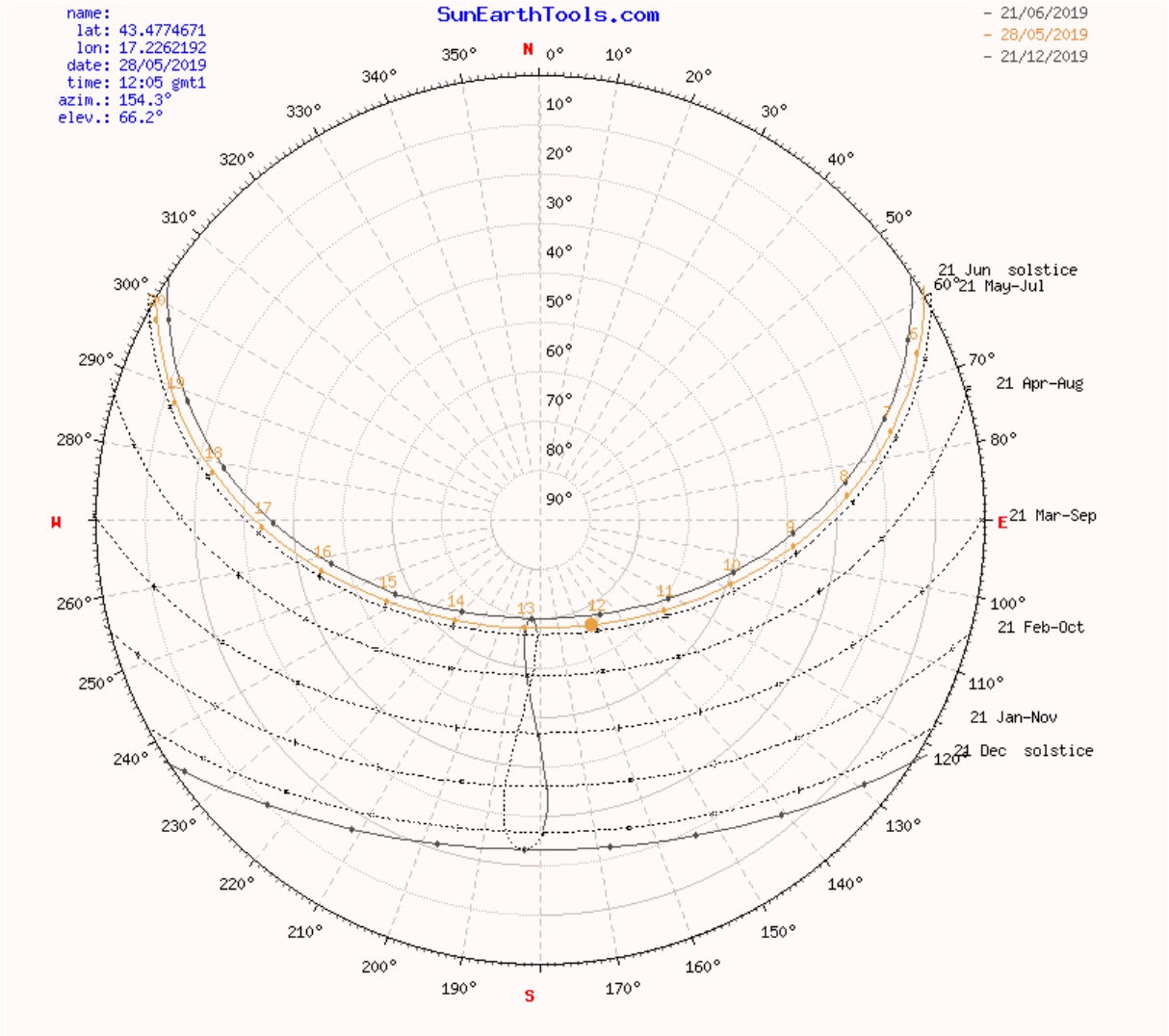
$$d_2 = d - d_1$$

Odnosno,

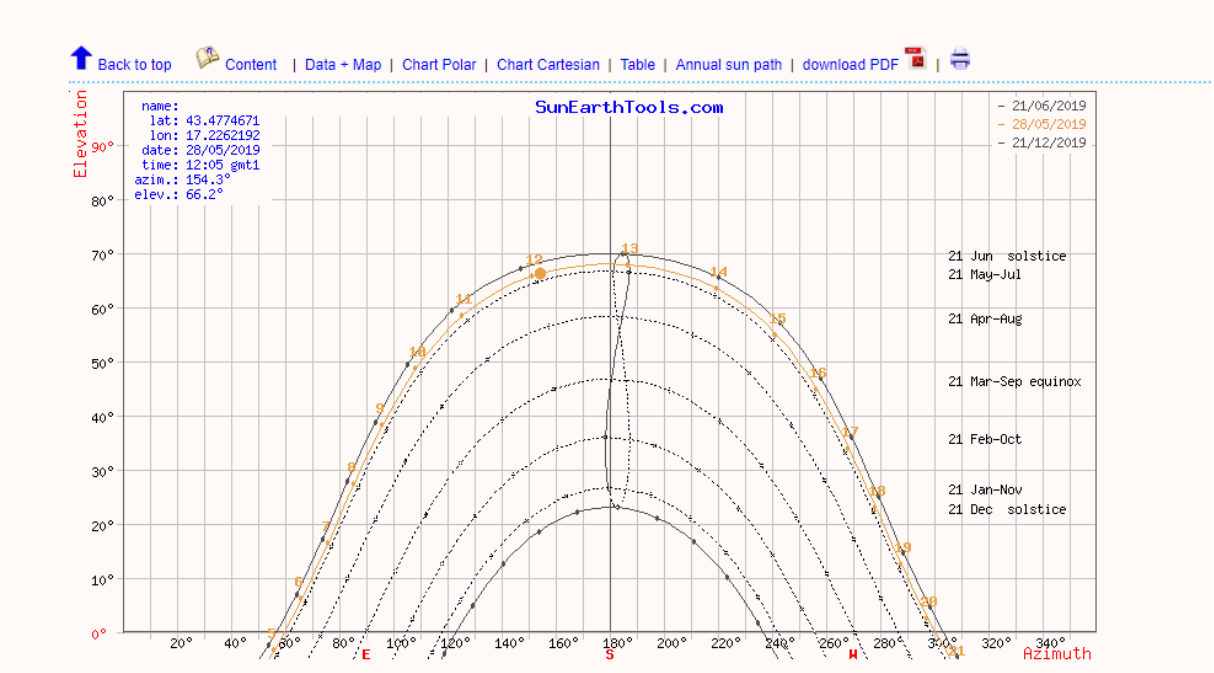
$$d_2 = 11.217{,}31\ - 5000$$

$$d_2 = 6217{,}31mm$$

Prema ovome, uzeta duljina između dva fotonaponska modula je 6500 mm, odnosno, 6,5m. Budući da jednoosni sustav praćenja Sunca koristi centralnu osovinu za rotaciju oko iste te osi potrebno je definirati i sjenu koju će fotonaponski moduli postavljati na susjedne panele lijevo i desno od sebe. Za što ćemo koristiti sunčani put [25] putem kojeg se dobiva putanja Sunca, te se može definirati kada će nosači biti u poziciji u kojoj će bacati najveću sjenu na susjedne fotonaponske module.



Slika 25. Putanja Sunca na lokaciji solarne elektrane [25]



Slika 26. Putanja Sunca [25]

Prema ovoj putanji Sunca, vidljivo je da će tijekom zimskih mjeseci rotacija oko osi jednoosnog nosača biti značajno manja nego je to u ljetnim mjesecima budući da će Sunce raditi veći put. Kada se uzme činjenica da će većina zračenja dolaziti u vremenu od 9 – 17h možemo definirati najveći otklon od 0° , odnosno, kut upada sunčevih zraka kada će nosač biti u maksimalnoj rotaciji od 45°.

Razmak između fotonaponskih modula iznosi prema donjoj formuli:

$$d = 2000 \times \left(\frac{sin(45°)}{tan(36°)} + cos(45°) \right)$$

$$d = 3360{,}711\ mm$$

Odnosno,

$$d_2 = d - d_1$$

$$d_2 = 3360{,}711\ - 2000$$

$$d_2 = 1360{,}711\ mm$$

Zbog jednostavnosti postavljanja uzet će se razmak između nosača fotonaponskih modula od 1500mm.

Prema lokaciji i mogućnosti postavljanja nosača fotonaponskih modula dobivamo:

Broj nosača: 1050

Broj fotonaponskih modula: 5250

Koristeći gornje podatke proračunat ćemo investicijske troškove kao i povrat investicije.

13.2. Ekonomska analiza s implementacijom jednoosnog sustava praćenja Sunca

Analognom postupku za statični sustav postavljena je jednostavna ekonomska analiza za sustav s jednoosnim praćenjem Sunca.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Gdje je:

LCOE – nivelirani trošak proizvodnje električne energije (eng. *levelized cost of energy*)

I_t– ukupni investicijski troškovi [kn]

M_t – ukupni troškovi održavanja [kn]

F_t - troškovi goriva u vremenskom periodu (za sunčane elektrane ne postoje, odnosno 0) [kn]

E_t– proizvedena električna energija unutar radnog vijeka fotonaponskih modula [kWh]
r – diskontna stopa (iznosi 3%)

t – period rada postrojenja [god]

Proračun:

$I_t = 27.970.654{,}60$ kn

Godišnji troškovi održavanja procijenjeni su u vrijednosti od 1,5% investicijskih troškova

$$M_t = 1{,}5\% \times t \times I_t$$

$$M_t = 1{,}5\% \times 25 \times 27.970.654{,}60$$

$M_t = 10.488.995{,}48\ kn$

$E_t = 62.810{,}13\ kWh$

$$LCOE = \frac{27.970.654{,}60 + 10.488.995{,}48}{62.810.130} = 0{,}6123\ kn/kWh$$

Prema ovome vidljivo je da će postrojenje s jednoosnim sustavima praćenja Sunca imati u konačnici zapravo veći trošak proizvodnje električne energije nego sustav sa statičnim nosačima budući da na lokaciji zbog rotacije oko centralne osi nosača dolazi do potrebe postavljanja nosača s većim razmakom kako ne bi došlo do zasjenjivanja neposrednih fotonaponskih modula. Ostavljanje razmaka između nosača zbog omogućavanja rotacije oko centralne osi uzrokuje smanjenje efektivne površine na kojoj se mogu postaviti fotonaponski moduli što rezultira smanjenjem broja mogućih instaliranih fotonaponskih modula sa 9456 na 5250.

Uzimajući činjenicu da je cijena postrojenja veća nego što je to u odnosu na statični sustav, moguće je zaključiti da je implementacija jednoosnog sustav neisplativa, na jednakoj dostupnoj (ograničenoj) površini zemljišta, te je time s ekonomskog i energetskog stajališta neopravdana.

13.3. Subvencija solarnog postrojenja s jednoosnim sustavom praćenja

Unutar ovog poglavlja biti će opisana financijska analiza putem subvencija fondova iz Europske unije prema istoj metodologiji koja je korištena za statične nosače. Subvencije u analizi iznose 10%, 15% i 30%. Prema navodima Europske unije [41] budžet od 8.7 milijardi € je osiguran za period od 2021. – 2027. godine. Realno je očekivati da će se ovakvi projekti subvencionirati te je potrebno napraviti projekciju kako će subvencioniranje utjecati na poslovanje solarnog postrojenja što će upravo biti i tema ovog poglavlja.

Ocjena rentabilnosti sa subvencijama EU		10%
Investicija	[kn]	27.970.654,60 kn
Ekonomski vijek postrojenja	[godina]	25
Subvencija	[%]	10%
Iznos subvencije	[kn]	2.612.705,87 kn
Ostatak	[kn]	23.514.352,83 kn

Tablica 19. Parametri za proračun rentabilnosti projekta s jednoosnim sustavom praćenja za subvenciju od 10%

SUBVENCIJA 10%		
Godina	Novčani tok s inflacijom [kr	Sadašnja vrijednost
0		- 23.514.352,83 kn
1	969.673,39 kn	941.430,47 kn
2	980.352,19 kn	924.075,96 kn
3	991.135,64 kn	907.029,51 kn
4	1.002.024,77 kn	890.286,03 kn
5	1.013.020,61 kn	873.840,48 kn
6	1.024.124,21 kn	857.687,90 kn
7	1.035.336,63 kn	841.823,42 kn
8	1.046.658,93 kn	826.242,22 kn
9	1.058.092,19 kn	810.939,56 kn
10	1.069.637,49 kn	795.910,75 kn
11	1.081.295,94 kn	781.151,19 kn
12	1.093.068,64 kn	766.656,35 kn
13	1.104.956,71 kn	752.421,75 kn
14	1.116.961,29 kn	738.442,99 kn
15	1.129.083,51 kn	724.715,74 kn
16	1.141.324,52 kn	711.235,71 kn
17	1.153.685,50 kn	697.998,70 kn
18	1.166.167,62 kn	685.000,57 kn
19	1.178.772,07 kn	672.237,24 kn
20	1.191.500,03 kn	659.704,68 kn
21	1.204.352,73 kn	647.398,94 kn
22	1.217.331,39 kn	635.316,12 kn
23	1.230.437,24 kn	623.452,39 kn
24	1.243.671,52 kn	611.803,98 kn
25	1.257.035,50 kn	600.367,16 kn
	NPV	- 4.537.183,00 kn

Tablica 20. Neto sadašnja vrijednost projekta s jednoosnim sustavom praćenja sa subvencijom od 10%

Tablica 19. prikazuje parametre koji se koriste za procjenu rentabilnosti projekta za sustav s jednoosnim praćenjem Sunca za subvenciju od 10%. Na tablici 20. dan je prikaz toka novčanih sredstava kroz životni vijek fotonaponskih modula od 25 godina te je vidljivo da je neto sadašnja vrijednost negativna, odnosno, da je postrojenje nerentabilno za danu subvenciju. Nastavno su dane tablice za proračun neto sadašnje vrijednosti za subvencije od 15% i 30%.

Ocjena rentabilnosti sa subvencijama EU		15%
Investicija	[kn]	27.970.654,60 kn
Ekonomski vijek postrojenja	[godina]	25
Subvencija	[%]	15%
Iznos subvencije	[kn]	3.919.058,81 kn
Ostatak	[kn]	22.207.999,90 kn

Tablica 21. Parametri za proračun rentabilnosti projekta s jednoosnim sustavom praćenja za subvenciju od 15%

SUBVENCIJA 15%		
Godina	Novčani tok s inflacijom [kn/god]	Sadašnja vrijednost
0		- 22.207.999,90 kn
1	969.673,39 kn	941.430,47 kn
2	980.352,19 kn	924.075,96 kn
3	991.135,64 kn	907.029,51 kn
4	1.002.024,77 kn	890.286,03 kn
5	1.013.020,61 kn	873.840,48 kn
6	1.024.124,21 kn	857.687,90 kn
7	1.035.336,63 kn	841.823,42 kn
8	1.046.658,93 kn	826.242,22 kn
9	1.058.092,19 kn	810.939,56 kn
10	1.069.637,49 kn	795.910,75 kn
11	1.081.295,94 kn	781.151,19 kn
12	1.093.068,64 kn	766.656,35 kn
13	1.104.956,71 kn	752.421,75 kn
14	1.116.961,29 kn	738.442,99 kn
15	1.129.083,51 kn	724.715,74 kn
16	1.141.324,52 kn	711.235,71 kn
17	1.153.685,50 kn	697.998,70 kn
18	1.166.167,62 kn	685.000,57 kn
19	1.178.772,07 kn	672.237,24 kn
20	1.191.500,03 kn	659.704,68 kn
21	1.204.352,73 kn	647.398,94 kn
22	1.217.331,39 kn	635.316,12 kn
23	1.230.437,24 kn	623.452,39 kn
24	1.243.671,52 kn	611.803,98 kn
25	1.257.035,50 kn	600.367,16 kn
	NPV	- 3.230.830,07 kn

Tablica 22. Neto sadašnja vrijednost projekta s jednoosnim sustavom praćenja sa subvencijom od 15%

Ocjena rentabilnosti sa subvencijama EU		30%
Investicija	[kn]	27.970.654,60 kn
Ekonomski vijek postrojenja	[godina]	25
Subvencija	[%]	30%
Iznos subvencije	[kn]	7.838.117,61 kn
Ostatak	[kn]	18.288.941,09 kn

Tablica 23. Parametri za proračun rentabilnosti projekta s jednoosnim sustavom praćenja za subvenciju od 30%

	SUBVENCIJA 30%	
Godina	Novčani tok s inflacijom [kn/god]	Sadašnja vrijednost
0		- 18.288.941,09 kn
1	969.673,39 kn	941.430,47 kn
2	980.352,19 kn	924.075,96 kn
3	991.135,64 kn	907.029,51 kn
4	1.002.024,77 kn	890.286,03 kn
5	1.013.020,61 kn	873.840,48 kn
6	1.024.124,21 kn	857.687,90 kn
7	1.035.336,63 kn	841.823,42 kn
8	1.046.658,93 kn	826.242,22 kn
9	1.058.092,19 kn	810.939,56 kn
10	1.069.637,49 kn	795.910,75 kn
11	1.081.295,94 kn	781.151,19 kn
12	1.093.068,64 kn	766.656,35 kn
13	1.104.956,71 kn	752.421,75 kn
14	1.116.961,29 kn	738.442,99 kn
15	1.129.083,51 kn	724.715,74 kn
16	1.141.324,52 kn	711.235,71 kn
17	1.153.685,50 kn	697.998,70 kn
18	1.166.167,62 kn	685.000,57 kn
19	1.178.772,07 kn	672.237,24 kn
20	1.191.500,03 kn	659.704,68 kn
21	1.204.352,73 kn	647.398,94 kn
22	1.217.331,39 kn	635.316,12 kn
23	1.230.437,24 kn	623.452,39 kn
24	1.243.671,52 kn	611.803,98 kn
25	1.257.035,50 kn	600.367,16 kn
	NPV	688.228,74 kn

Tablica 24. Neto sadašnja vrijednost projekta s jednoosnim sustavom praćenja sa subvencijom od 30%

Vidljivo je iz Tablica 20. i 22. da za iznos subvencije od 15% investicije kao i za slučaj kod 10% subvencija projekt ostaje nerentabilan, no povećanjem subvencija na 30% projekt postaje rentabilan što je vidljivo na Tablici 24. pozitivnom vrijednosti neto sadašnje vrijednosti novca.

14. Implementacija akumulatora u postrojenje

Pohrana električne energije nije suvremeni koncept već postoji od prvih dana korištenja uređaja pogonjenih električnom energijom. Električna energija je prema svojoj definiciji prijenosna energija, odnosno, to je energija koju koristimo kao posrednik između druga dva ili više oblika energije. Električna energija se koristi kao posrednik jer ju je relativno jednostavno prenijeti na velike udaljenosti uz prihvatljive gubitke, odnosno bez korištenja dodatnih energenata za prijenos, za razliku od drugih izvora. Načini skladištenja električne energije su:

- Baterije
- Komprimirani zrak
- Zamašnjak
- Reverzibilne hidroelektrane
- Unutar magnetskog polja

U okviru ovog rada proučit će se implementacija baterija unutar solarnog postrojenja kao način skladištenja električne energije.

Električna energija se danas dobiva iz predvidljivih i nepredvidljivih izvora, odnosno, slabije predvidljivih izvora. Predvidljivi izvori su svi izvori kod kojih se s izrazito velikom sigurnošću može definirati koliko energije postrojenje može proizvesti u svakom danom. Primjeri predvidljivih izvora su:

- Klasična termoenergetska postrojenje
- Nuklearna postrojenja
- Hidroelektrane
- Dizel elektrane
- Postrojenja na biomasu

Nepredvidljivi izvori su svi izvori, odnosno, postrojenja kod kojih nismo u mogućnosti s izrazito velikom sigurnošću definirati koliko energije se može proizvesti. Primjeri nepredvidljivih izvora, odnosno, slabije predvidljivih izvora su:

- Vjetroturbinska postrojenja i vjetroparkovi
- Solarna postrojenja
- Novije tehnologije

Nepredvidljivi izvori, odnosno, slabije predvidljivi izvori su nazvani tako jer je moguće definirati koliko energije je moguću predati sustavu dužem vremenskom periodu dok je točan podatak funkcija trenutka, točnije trenutnih uvjeta na terenu. Solarne elektrane koje mogu imati nazivnu snagu od 1 MW, za vrijeme oblačnog dana neće davati 1 MW , slično kao i vjetroelektrane u dane kada je vjetar slabiji.

Uzimajući u obzir činjenicu da unutar elektroenergetskog sustava želimo zadržati zadanu frekvenciju od $\sim 50\ Hz$,kao i činjenicu da elektroenergetski sustav radi po principu ponude – potražnje slabije predvidljivi izvori predstavljaju opasnost za stabilnost sustava. Slabije predvidljivi izvori predstavljaju problem unutar elektroenergetskog sustava jer uzrokuju smanjenje i rast potrebne energije, zbog čega se drugi izvori električne energije moraju uključivati u kratkom vremenu na mrežu (ili povećati svoju proizvodnju), kao termoenergetska postrojenja, reverzibilne hidroelektrane itd., koje onda na taj način moraju moći fleksibilnije raditi, tj. prilagođavati se zahtjevima elektroenergetskog sustava, što za posljedicu ima smanjenje njihovog životnog vijeka i povećanje LCOE iz tih (konvencionalnih) postrojenja. Kako bi se to spriječilo, moguće je u sustave slabije predvidljivosti ugraditi elemente skladištenja električne energije poput baterije.

Skladištenje električne energije putem baterija danas je jedan od lakših načina održavanja stabilnosti sustava na razini koja je propisana. Mogućnost gotovo istovremenog reagiranja na potrebe sustava stavlja baterije na prvu razinu skladištenja jer su u mogućnosti poslati potrebnu električnu energiju u elektroenergetski sustav u razini milisekunda. Primjer ovoga dan je u članku koji opisuje implementaciju baterija u elektroenergetski sustav Australije koja je u jednom trenutku spriječila isključenje brojnih kućanstava i postrojenja zbog energije koja je bila skladištena u njima. [19]

14.1. Odabir baterija za implementaciju u postrojenje

Budući da u Hrvatskoj još nema razvijenog tržišta za velike baterije, odnosno, baterija za industrijska postrojenja potrebno je potražiti alternative. Napravljena je procjena što je ekonomski isplativije, napraviti baterijsko postrojenje od pojedinačnih baterija ili kupnja cijelog sustava u pogledu velikih industrijskih baterija. Trošak prema tome može dosta varirati, no industrijske vrijednosti se kreću od 2800 kn/kWh do 5300 kn/kWh [20], dok se cijene pojedinačnih baterija kreću oko 2000 kn. Prema gore navedenim cijenama biti će definiran trošak investicije koju je potrebno uložiti u postrojenje kako bi se osiguralo skladištenje električne energije.

Jedan od odabranih akumulatora za postrojenje je akumulator proizvođača Sole karakteristika 260 Ah i 12V, s vijekom trajanja od 7-10 godina prikazan na Slici 30.



Slika 27. Akumulator Sole 260Ah 12V

Druga opcija za odabir spremnika energije su veliki kontejneri, vidljivi na Slici 31., unutar kojih se nalazi oprema kao što su baterije za skladištenje energije iz fotonaponskih modula, pretvarača, regulatora punjenja i pražnjenja kao i spoj na elektroenergetsku mrežu. Kontejneri su modularni tako da se prilikom kvara na nekoj od komponenata ista može relativno jednostavno zamijeniti drugom.



Slika 28. Kontejner za skladištenje električne energije u baterijama [26]

14.2. Prednosti i nedostatci pojedinačnih akumulatora

Pojedinačni akumulatori, kao Sole 260Ah 12V koji je gore uzet kao primjer akumulatora koji se može koristiti u solarnom postrojenju, imaju sljedeće prednosti:

- zamjena pojedinačnog akumulatora u slučaju kvara
- ugradnja točnog broja akumulatora koji su potrebni na lokaciji
- Brza, jednostavna nabava i servis

S druge strane, nedostatci pojedinačnih akumulatora su:

- Potrebno organizirati osobu koja će na ispravan način akumulatore spojiti
- Dodatna kupovina pretvarača i regulatora punjenja
- Izgradnja prostorije/zgrade unutar koje će se akumulatori postaviti
- Manji vijek trajanja 7 -10 godina
- Broj ciklusa 400

14.3. Prednosti i nedostatci velikih industrijskih kontejnera za skladištenjem električne energije

Unutar kontejnera postoje akumulatori za skladištenje, pretvarači i regulatori punjenja i pražnjenja, kontejneri predstavljaju jednostavnu i zasebnu jedinicu postrojenja. Današnji proizvođači ovakvih sustava predstavljaju ove sustave kao idealne za otočne (eng. *off-grid*) sustave, no mogućnost korištenja ovakvog sustava za potrebe skladištenja električne energije i prodaju u vremenu više tarife električne energije je također vrlo ekonomski pogodno.

Prednosti:

- Kompaktnost i jednostavnost za postavljanje
- Jednostavna instalacija i postavljanje
- Modularne komponente
- Nema potrebe za izgradnjom dodatne zgrade za skladištenje akumulatora
- Kontejner izgrađen prema svim standardima i implementiranim zaštitama tijekom rada
- Duži vijek trajanja oko 12 godina (4500 ciklusa) [27]

Nedostatci:

- Dopremanje do lokacije – velika masa
- Cijena

14.4. Proračun broja akumulatora prema broju fotonaponskih modula

Kapacitet baterija se definira prema raspoloživoj energiji postrojenja stoga je potrebno prvo definirati koliko energije jedan fotonaponski modul u prosjeku može generirati.

$$E_{FN,dnevno} = E_{dozračena} \times A_{FN} \times \eta_{FN} \times \eta_{sustava}$$

Gdje su:

$E_{FN,dnevno}$ – dnevna generirana energija solarnog panela [kWh]

$E_{dozračena}$ – dnevna prosječna dozračena energija Sunca na lokaciji [kWh/m^2]

A_{FN} – površina solarnog panela [m^2]

η_{FN} – učinkovitost fotonaponskog modula [%]

$\eta_{sustava}$ – učinkovitost sustava [%]

Proračun energije fotonaponskog modula

$$E_{FN,dnevno} = 4{,}78 \times 1{,}63 \times 0{,}184 \times 0{,}77 \ = 1{,}11kWh$$

Prema ovome proračunata je energija koju je u prosjeku moguće dobiti iz jednog fotonaponskog modula dnevno na lokaciji postrojenja.

Potrebna količina akumulatora za jedan fotonaponski modul definira se prema njegovim karakteristikama. Za akumulator smo odabrali Sole 260 Ah, odnosno, akumulator kapaciteta 260Ah i napona od 12 V.

Kapacitet akumulatora daje podatak koliko je struje moguće iz akumulator dobiti kroz jedan sat, odnosno, za jedan sat primjene moguće je iz akumulatoru dobiti 260 A.

Putem ovoga moguće je proračunati koliko je akumulatora potrebno za jedan fotonaponski modul.

$$n_{akumulatora} = \frac{E_{FN,dnevno}}{U \times C} \quad (15)$$

Gdje su:

$n_{akumulatora}$ – broj akumulatora

$E_{FN,dnevno}$ – dnevna generirana energija solarnog panela [Wh]

U – napon akumulatora [V]

C – kapacitet akumulatora [Ah]

Potreban broj akumulatora za jedan fotonaponski modul je:

$$n_{akumulatora} = \frac{1{,}11 \times 10^3}{12 \times 260} = 0{,}3557 \sim 0{,}36$$

Prema gornjem izrazu vidljivo je da se mogu spojiti 2 fotonaponska modula na jedan akumulator prilikom čega dobivamo i rezervu.

Ukupan broj akumulatora za postrojenje dobiva se prema donjoj formuli.

$$n_{akumulatora,ukupno} = n_{fotonaponskih\ modula} \times n_{akumulatora} \quad (16)$$

Gdje su:

$n_{akumulatora,ukupno}$- ukupan broj akumulatora koje je potrebno pribaviti za postrojenje

$n_{fotonaponskih\ modula}$ – ukupan broj fotonaponskih modula

$n_{akumulatora}$ – potreban broj akumulatora po jednom fotonaponskom modulu

$$n_{akumulatora,ukupno} = 9456 \times 0{,}36 = 3404{,}16$$

Nedostatak ovog proračuna je što uzima prosječnu energiju iz fotonaponskih modula, poznato je da tijekom ljetnih mjeseci zbog dužih dana i položaja sunca dobiva više energije iz fotonaponskih modula nego što je to tijekom zimskih mjeseci. Budući da se unutar ovog rada želi definirati koliko je baterija potrebno pristupit će se ovom problemu preko najnepogodnije situacije. Uzimajući mjesec s najviše dozračene energije pokazat će je li proračun za prosjek dovoljan za skladištenje električne energije kada je ona najviše dostupna.

Prema tome napravljen je proračun najzahtjevnijeg mjeseca odnosno mjeseca kolovoza kada je prosječno globalno sunčevo zračenje oko 217 kWh/m^2. Prosječno globalno sunčevo zračenje za jedan dan u mjesecu kolovozu iznosi 7kWh/m^2. Slijedi formula za generiranje električne energije iz jednog fotonaponskog modula.

$$E_{FN,kolovoz,dan} = E_{dozračena,kolovoz} \times A_{FN} \times \eta_{FN} \times \eta_{sustava}$$

$$E_{FN,kolovoz,dan} = 7 \times 1{,}63 \times 0{,}184 \times 0{,}77 \ = 1{,}62kWh$$

Broj akumulatora za dani slučaj je:

$$n_{akumulatora} = \frac{E_{FN,dnevno}}{U \times C}$$

$$n_{akumulatora} = \frac{1{,}62 \times 10^3}{12 \times 260} = 0{,}519 \sim 0{,}52$$

Budući da vrijednost prelazi 0,5, energija koja dobivamo će biti veća nego što je kapacitet baterija, pod uvjetom da svi fotonaponski moduli dobivaju istu količinu energije i da su na svim fotonaponskim modulima jednaki uvjeti. Za ovakav slučaj potrebno je postaviti veću količinu akumulatora kako bi osigurali potpunu pohranu električne energije dobivene iz solarnog postrojenja. Dodatak akumulatora proračunat je prema donjoj formuli, gdje smo uzeli odnos akumulatora i fotonaponskih modula 0,6. Na najveću proizvedenu električnu energiju iz fotonaponskih modula potrebno je postaviti 0,6 akumulatora.

$$n_{akumulatora,ukupno} = n_{fotonaponskih\ modula} \times n_{akumulatora}$$

Gdje su:

$n_{akumulatora,ukupno}$ – ukupan broj akumulatora koje je potrebno pribaviti za postrojenje

$n_{fotonaponskih\ modula}$ – ukupan broj fotonaponskih modula

$n_{akumulatora}$ – potreban broj akumulatora po jednom fotonaponskom modulu

$$n_{akumulatora,ukupno} = 9456 \times 0{,}52 = 4917{,}12 \sim 4918$$

14.5. Proračun broja akumulatora prema energiji koju je potrebno skladištiti

Broj akumulatora koje će biti potrebno postaviti na lokaciji ovisi o energiji koja se dobiva iz fotonaponskih modula. Prosječna energija koja se dobiva putem svih fotonaponskih modula na lokaciji postrojenja iznosi 10687,483 kWh/danu.

$$E_{FN,dan} = E_{dozračena,dan} \times A_{FN} \times \eta_{FN} \times \eta_{sustava} \times n_{FN}$$

$$E_{FN,dan} = \frac{145{,}425}{30} \times 1{,}63 \times 0{,}184 \times 0{,}77 \times 9456 = 10585{,}745\ kWh$$

$$n_{akumulatora,ukupno} = \frac{10585{,}745 \times 10^3}{12 \times 260} = 3392{,}86 \sim 3393$$

Uzimajući isti pristup za ekstrem u dobivanju električne energije i njezino skladištenje u mjesecu kolovozu moguće je proračunati maksimalni broj akumulatora.

$$E_{FN,dan,kolovoz} = E_{dozračena,dan,kolovoz} \times A_{FN} \times \eta_{FN} \times \eta_{sustava} \times n_{FN}$$

$$E_{FN,dan} = \frac{217}{31} \times 1{,}63 \times 0{,}184 \times 0{,}77 \times 9456 = 15\,286{,}27457\ kWh$$

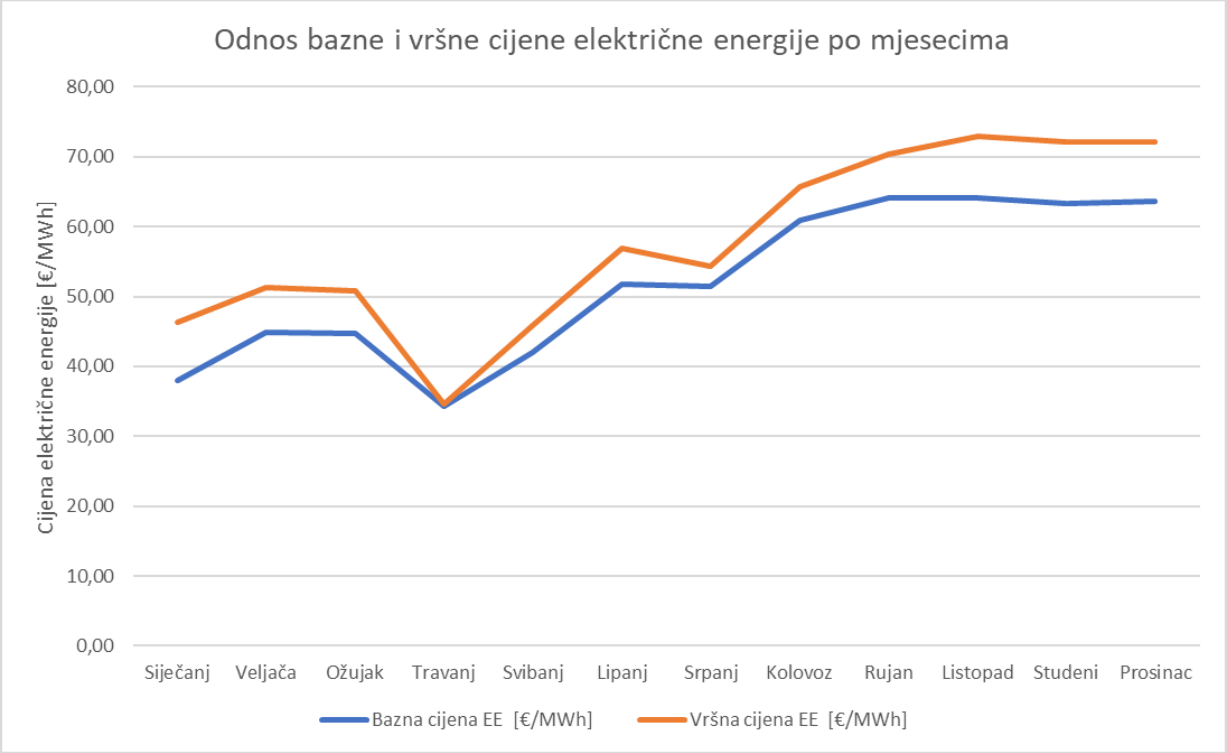
$$n_{akumulatora,ukupno} = \frac{15\,286{,}27457 \times 10^3}{12 \times 260} = 4899{,}4469 \sim 4900$$

14.6. Ekonomska analiza akumulatora

Unutar ovog poglavlja dan je pregled ekonomske analize, proračun i metodologije za sustav s pojedinačnim akumulatorima i kontejnerskim akumulatorima. Predstavljena je investicija kao i profitabilnost implementacije akumulatora u postrojenje te je dan ekonomski i energetski pregled. Implementacija akumulatora u postrojenje koncept je koji se razmatra u ovom diplomskom radu na jednostavan način proračuna te se kao takav ne bi trebao uzimat kao investicijski iznos već kao gruba procjena mogućnosti. Površina za postavljanje pojedinačnih akumulatora ili kontejnerskih akumulatora nije definirana na način da se zauzima postojeća površina već kao dodatak površini pored lokacije.

Električna energija koja se skladišti unutar akumulatora biti će korištena u slučajevima kada je potražnja veća nego proizvodnja kako bi se osigurala stabilnost mreže. Ovakvi slučajevi se mogu javiti uslijed povećane potrošnje električne energije zbog ispada nekog konvencionalnog postrojenja, naglog priljeva turista, izrazito vrućeg dana, događanja na televiziji itd. Održavanje stabilnosti su

glavni je cilj implementacije akumulatora u postrojenje. U periodima povećane potrošnje električne energije cijena električne energije raste, uzimajući to u obzir financijski je, barem u teoriji, logična investicije akumulatora u postrojenje. Cijena električne energije, odnosno ,njena vršna vrijednost, na dan pisanja iznosi 54,49 €/MWh. Odnos bazne i vršne cijene električne energije dana je u Slici 32. gdje je vidljivo da je vršna cijena uvijek veća od bazne cijene.



Slika 29. Odnos bazne i vršne cijene EE po mjesecima 2018.[23]

14.7. Ekonomska analiza za pojedinačne akumulatore

Pojedinačni akumulatori koji se koriste u postrojenju imaju specifikaciju od 260Ah i 12 V putem čega se može proračunati kapacitet pojedinog akumulatora, koristeći proračunati kapacitet moguće je prema broju akumulatora koji je potreban na postrojenju proračunati ukupni kapacitet postrojenja. Ukoliko se u akumulatorima skladišti sva proračunata energija proračunata je snaga koju je postrojenje u mogućnosti predati elektroenergetskom sustavu.

$$C_{akumulatora,postrojenje} = n_{akumulatora} \times C_{akumulatora} \quad (17)$$

Gdje su:

$C_{akumulatora,postrojenje}$ – kapacitet akumulatorskog postrojenja [kWh]

$n_{akumulatora}$ – broj instaliranih akumulatora [-]

$C_{akumulatora}$ – kapacitet pojedinačnog akumulatora [Wh]

$$C_{akumulatora} = U \times C \quad (18)$$

Gdje su:

U – napon akumulatora [V]

C – kapacitet akumulatora [Ah]

$$C_{akumulatora} = \frac{12 \times 260}{1000} = 3{,}12\ kWh$$

Kapacitet svih akumulatora za slučaj ekstrema, odnosno, dobivene energiju u mjesecu kolovozu.

$$C_{akumulatora,svih} = U \times C \times n_{akumulatora} \quad (19)$$

$$C_{akumulatora,svih} = \frac{12 \times 260}{1000} \times 4900 = 15.288\ kWh$$

Budući da će se energija, za ovaj slučaj, dobivena iz fotonaponskih modula skladištiti u akumulatore i prodavati kada je cijena električne energije skuplja na tržištu, uzimamo vršnu cijenu električne energije koja je u većini slučajeva skuplja, odnosno, veća od bazne cijene.

Potreban broj akumulatora koje je potrebno instalirati na lokaciju iznosi 4947, a cijena svakog akumulatora je 1880,00 kn što povećava investiciju za 9.300.360,00 kn. Odnosno, bez uračunavanja regulatora punjenja i zgrade koje je potrebno izgraditi za skladištenje akumulatora, investicija iznosi 40.147.538,70 kn, odnosno, 23% je veća. Bazna i vršna cijena električne energije u prosjeku iznose 51,92 €/MWh i 57,76 €/MWh te kada se uzme ukupno prodana električna energija, godišnji prihod iznosi 1.482.888,54 kn i 1.632.231,06 kn što čini porast od 10% prihoda. Ovdje je bitno spomenuti da nije uzeta činjenica za akumulatori imaju vijek trajanja od 7-10 godina. Koristeći ovu informaciju znamo

da se svakih 7 godina moraju zamijeniti akumulatori novima, što opterećuje proračun za dodatnih 27.901.080,00 kn, te su prihodi onda značajno manji.

14.8. Ekonomska analiza za kontejnerske akumulatore

Koristeći formule i metodologiju prezentiranu u poglavlju Ekonomska analiza za kontejnerske akumulatore proračunat će se investicija i profitabilnost postrojenja.

$$C_{kontejnera,postrojenje} = n_{kontejnera} \times C_{kontejnera} \quad (20)$$

Gdje su:

$C_{kontejnera,postrojenje}$ – kapacitet akumulatorskog postrojenja [kWh]

$n_{kontejnera}$ – instalirani broj kontejnera [-]

$C_{kontejnera}$ – kapacitet kontejnera [kWh]

Kapacitet svakog kontejnera iznosi 1200 kWh, a prema proračunu dnevno generirana električna energija iznosi 10.496 kWh, pa prema tome potreban broj kontejnera za dnevne potrebe iznosi 8,74.

$$C_{kontejnera,postrojenje} = n_{kontejnera} \times C_{kontejnera}$$

$$C_{kontejnera,postrojenje} = 8{,}74 \times 1200$$

$$C_{kontejnera,postrojenje} = 10488\ kWh$$

Cijenu pojedinačnog kontejnera nismo bili u mogućnosti dobiti od proizvođača no današnje cijene ovakvih sustava moguće je ekstrapolirati iz već izgrađenih projekata. [35]. Za Tesline baterije instalirane u energetskom postrojenju u Australiji koje se sastoji od solarne elektrane i vjetroparka moguće je napraviti procjenu investicije za ovo postrojenje.

Kapacitet postrojenja u Australiji iznosi 129 MWh s cijenom akumulatora od 56.000.000 $. Koristeći ovu analogiju i konverziju dolara u hrvatske kune od 1$=6,55kn dolazi se do cijene od 434.108 $/kWh, odnosno 2.843.407,4 kn/kWh. Prema gornjem proračunu vidljivo je da je potrebno 8,74 kontejnera, odnosno, 9 kontejnera. Cijena investicije prema tome iznosi 25.590.666,6 kn. Odnosno ukupna investicija raste s 26.127.058,70 kn na 51.717.825,3 kn što je porast investicije od 50%. Budući da vršna cijena ne prelazi granicu baznu cijenu vidljivo je da će se implementacijom kontejnerskih akumulatora značajno povećati investicija, a profitabilnost postrojenja pasti budući da je mala margina bazne cijene i vršne električne energije.

Bitno je spomenuti da kod kontejnerskih postrojenja nije potrebno kupovati dodatne uređaje kao niti izgraditi zgradu u koje bi se kontejnerski akumulatori postavili budući da dolaze potpuno operativni, također mogućnost odvajanja kontejnera predstavlja dodatnu zaštitu ukoliko dođe do poteškoća u radu kao požara primjerice. Modularnost kontejnerskog postrojenja dodatna je prednost ovakvog načina skladištenja energije budući da je kontejner moguće zamijeniti bez utjecaja na ostale kontejnere.

14.9. Površina za akumulatore

Površina za potrebne akumulatore neće biti na lokaciji na kojoj se nalaze fotonaponski moduli već će se promatrati kao dodatak postrojenju budući da je postavljanje akumulatora zamišljeno kao dodatna mogućnost postrojenja te se za takvu ne želi koristiti površina za solarno postrojenje čime bi se smanjila mogućnost generiranja električne energije. Ukoliko se donese odluka o postavljanju akumulatora računa se da će se uz postavljanje akumulatora osigurati dodatna površina pored postrojenja kako bi se navedeni akumulatori mogli instalirati.

14.10. Površina za pojedinačne akumulatore

Za korištenje pojedinačnih akumulatora pristupili smo postavljanjem akumulatora u „*stack*“, odnosno, jednog iznad drugog do maksimalno 4 akumulatora u visinu.

Ovakvim postavljanjem akumulatora ukupna površina za akumulatore koji su dimenzija 518x274x242 mm (DXŠXV) visina 6 akumulatora iznosi 1452 mm, ukoliko se uzme u obzir da je potrebno staviti određenu visinu između akumulatora, zbog sigurnosti i pristupa vodovima, od 100 mm visina iznosi 1952 mm. Razmak između redova akumulatora također možemo definirati s 50 mm tako da površina koju zauzima jedan red akumulatora iznosi 0,184 m^2. Ukupan broj akumulatora iznosi 4947 prema tome broj redova iznosi 825. Ukupna površina za akumulatore prema tome iznosi 151,8 m^2, odnosno, 152 m^2 bez dodatne opreme, sustava zaštite i zgrade unutar koje bi se akumulatori postavljali. Osim činjenice da postavljanje akumulatora predstavlja veliki iznos investicije, također je bitno spomenuti da dodatna površina za njihovo postavljanje, kao i zgrada povisuju investiciju nakon koje možemo smatrati da investicija više nije rentabilna.

14.11. Površina za velike industrijske akumulatore

Veliki industrijski akumulatori postavljaju se putem kontejnera na lokaciji. Poznavanjem standardnih mjera kontejnera moguće je definirati površinu za postavljanje navedenih kontejnera. Uz poznavanje standardnih dimenzija potrebno je poznavati i potreban broj kontejnera. Standardne veličine kontejnera su 12,2 x 2,59 x 2,43 m (DxVxŠ), odnosno površina iznosi 29,646 m^2. Jedan kontejner ove

veličine prema članku [31] ima mogućnost kapacitet od 1200 kWh. Prema proračunu dnevno generirana električna energija iznosi 10 496 kWh prema tome je potreban kontejnera za dnevne potrebe iznosi 8,74. Prema tome ukupna površina za kontejnere iznosi 266,634 m^2. Vidljivo je prema ovome da je površina za postavljanje pojedinačnih akumulatora je značajno manja od površine za postavljanje industrijskih kontejnera. No glavna prednost postavljanja kontejnera je u tome što nije potrebno izgraditi zgradu što nam smanjuje investicijske troškove. Nažalost informacije o cijeni kontejnera od renomiranih proizvođača nisam bio u mogućnosti dobiti tako da je utjecaj na investiciju nepoznat.

15. Zaključak

Cilj ovog diplomskog rada bio je provesti procjenu isplativosti izgradnje solarne elektrane u zaleđu Dalmacije. Potencijalna solarna elektrana nalazila bi se kod sela Gornji Vinjani, a u radu je nazvana Solarna elektrana Juroši po obližnjem zaseoku istog imena. U svrhu procjene isplativosti napravljen je koncept solarnog postrojenja sa svim segmentima koji se unutar postrojenja mogu pronaći te je napravljena energetska i ekonomska analiza projekta.

Ekonomski proračun je napravljen korištenjem metodologije neto sadašnje vrijednosti novca kao i metode povrata investicije. Energetski pregled, kao i analiza, predstavljeni u radu, proračunati su korištenjem programa PVGIS. Pomoću programa PVGIS proračunata je ukupna energija koje postrojenje može ostvariti. Osim analize korištenja statičnih nosača fotonaponskih modula napravljena je i analiza korištenja nosača s mogućnošću praćenja Sunca. Financijska analiza ovih pristupa proračunata je sa subvencijom kao i bez nje. Subvencije u proračunu su dane kao postoci ukupne investicije kao 10%, 15% i 30%.

Skladištenje električne energije unutar postrojenja, dano je u radu kao koncept u kojem je napravljena procjena koliko je akumulatora potrebno za postrojenje, te kolika je ukupna površina koju je potrebno osigurati kako bi se akumulatori mogli postaviti na lokaciju. Razmatrana su dva koncepta, prvi s pojedinačnim akumulatorima za koje je potrebno izgraditi zgradu u kojoj bi se isti postavili, dok drugi koncept predstavlja velike industrijske kontejnere s akumulatorima. Rad prikazuje iznose investicija za pojedini slučaj te energetsku i ekonomsku analizu rada takvog postrojenja.

Profitabilnost solarnog postrojenja postoji za slučaj kada se koriste statični nosači bez skladištenja električne energije, dok za slučajeve kada se koriste sustavi s praćenjem Sunca, solarno postrojenje prestaje biti profitabilno bez subvencija, budući da se smanjuje efektivna površina solarnih panela zbog većeg potrebnog razmaka između nosača. Za slučaj sustava s praćenjem Sunca postrojenje postaje profitabilno samo sa subvencijom od 30 %, no prema financijskoj analizi vidljivo je, da instalacija statičnih nosača na hipotetsko solarno postrojenje donosi najveće prihode, a time i profit.

Uslijed povećanja energetskih potreba i željenih smanjenja emisija CO_2 solarna postrojenja su jedno od najboljih rješenja, uz dakako vjetroagregate, budući da cijena fotonaponskih modula rapidno opada kako tehnologija napreduje.

16. Prilozi

1. CD-R disk

17. Literatura

1. http://solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html

2. https://store.bisol.com/modules/serija-bisol-premium/premium-mono-340-wp.html

3. http://www.greenrhinoenergy.com/solar/performance/shading.php

4. http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/Meteo_parametri_po_postajama.pdf

5. https://www.holiday-weather.com/split/averages/

6. http://preformed.com/solar/commercial/ground-mounts/top-of-pole-mount-tpm

7. http://preformed.com/images/pdfs/solar/Application_Procedures/SP3334-3_UTPM12_Type_G_Assembly_Instructions_Version_1_Rev_B.pdf

7. https://library.e.abb.com/public/1e78fd8232be4512b95ef1e4a7c87e56/ULTRA-700.0-1050.0-1400.0-1500.0_BCD.00384_EN_RevE.pdf

8. http://meteo.hr/

9. http://www.zagrebinspekt.hr/propisi/Propisi_ZNR/knjiga_CD1/Pravilnik_ELEN.htm

10. https://support.office.com/hr-hr/article/irr-opis-funkcije-64925eaa-9988-495b-b290-3ad0c163c1bc

11. http://bib.irb.hr/datoteka/516861.Bajic-disertacija.pdf

12 . https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/how_homer_calculates_clearness_index.html

13. https://www.hrote.hr/energija-uravnotezenja

14. http://www.legalizacijagradnje.com/wp-content/uploads/2018/04/Pravilnik-o-jednostavnim-gra%C4%91evinama-i-radovima-pro%C4%8Di%C5%A1%C4%87en-2018.pdf

15. https://www.hep.hr/ods/pravila-o-prikljucenju-na-distribucijsku-mrezu/647

16. https://www.mzoip.hr/hr/klima/strategije-planovi-i-programi.html

17. https://www.ieee.hr/_download/repository/Sabolic_Prezentacija_FER_1310_FINAL.pdf

18. https://www.hep.hr/ods/pravila-o-prikljucenju-na-distribucijsku-mrezu/647

19. https://cleantechnica.com/2018/11/17/50-mwh-tesla-battery-commissioned-at-australian-solar-power-plant/

20. https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-do-solar-batteries-cost/

21. https://asel.hr/webshop/proizvod/solarna-baterija-sole-260ah/

22. https://ieeexplore.ieee.org/document/1190861

23. https://www.cropex.hr/hr/rezultati-trgovanja/trgovanje-za-dan-unaprijed/rezultati-dan-unaprijed-tr%C5%BEi%C5%A1ta.html

24. https://www.degerenergie.de/files/pdf/Datenblaetter%20DEGERtracker/Englisch/DEGER_8.5_Data%20Sheet_EN_2018-12.pdf

25. https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=en

26. http://www.greensun.it/eng/area-download/fiamm

27. http://www.gridedge.com.au/assets/bess-spring196---0.7-1.4-mwh.pdf

28. https://sh.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija

29. https://hespv.ca/blog/wire-solar-panels-parallel-vs-series/

30. https://www.researchgate.net/publication/315739328_The_Required_Land_Area_for_Installing_a_Photovoltaic_Power_Plant

31. https://www.intech-australia.com/energy-container/

32. https://ec.europa.eu/inea/en/news-events/newsroom/over-%E2%82%AC138-million-available-to-energy-projects

33. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/cef_factsheet.pdf

34. https://www.youtube.com/watch?v=h5cm7HOAqZY

35. https://mzoe.gov.hr/vijesti/objava-konacne-verzije-zelene-knjige-po-provedenom-savjetovanju-i-bijele-knjige-za-izradu-strategije-energetskog-razvoja-republike-hrvatske-do-2030-s-pogledom-na-2050/5432

36. https://www.zakon.hr/z/368/Zakon-o-energiji

37. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html

38. https://mzoe.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/energetika/energetska-politika-i-planiranje/strategije-planovi-i-programi-2009/2009

39. https://www.hrote.hr/

40. https://www.zakon.hr/z/690/Zakon-o-gradnji

41. https://ec.europa.eu/energy/en/funding-and-contracts