

Usporedba projekata izgradnje sunčanih elektrana na dvije različite lokacije u Republici Hrvatskoj

Lončarić, Lara

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:928113>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 113

**USPOREDBA PROJEKATA IZGRADNJE SUNČANIH
ELEKTRANA NA DVIJE RAZLIČITE LOKACIJE U REPUBLICI
HRVATSKOJ**

Lara Lončarić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 113

**USPOREDBA PROJEKATA IZGRADNJE SUNČANIH
ELEKTRANA NA DVIJE RAZLIČITE LOKACIJE U REPUBLICI
HRVATSKOJ**

Lara Lončarić

Zagreb, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 113

Pristupnica: **Lara Lončarić (0036506732)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Profil: Elektroenergetika
Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Rajšl

Zadatak: **Usporedba projekata izgradnje sunčanih elektrana na dvije različite lokacije u Republici Hrvatskoj**

Opis zadatka:

Smanjenje troškova izgradnje sunčanih fotonaponskih sustava potaknulo je razvoj kako sustava integriranih na objekte tako i sustava koji se grade na tlu. Mogućnosti i isplativost izgradnje ovakvih elektrana ovisi o nizu faktora, među kojima su mogućnost priključka, imovinsko-pravni odnosi, utjecaj na okoliš, blizina pristupnih cesta, mikroklima, osunčanost lokacije, nagib i vrsta tla te cijene na tržištu električne energije. Decentralizirana priroda sunčanih elektrana je ujedno i prilika za gradove i općine za povećanje svoje energetske samodostatnosti te poticanje ekonomske aktivnosti. U radu je potrebno napraviti analizu mogućnosti izgradnje sunčane elektrane na dvije odabrane lokacije u različitim regijama Republike Hrvatske. Potrebno je izraditi idejno tehničko rješenje, prepoznati rizike i ograničenja te izračunati financijske pokazatelje isplativosti izgradnje sunčanih elektrana te provesti usporedbu ključnih financijskih pokazatelja projekta za dvije odabrane lokacije.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Želim se zahvaliti Prof. dr. sc. Ivanu Rajšlu na mentorstvu i podršci tijekom izrade ovog diplomskog rada. Također, posebna zahvalnost ide mom prijatelju i kolegi Domagoju Badanjku, koji je podijelio svoje stručno znanje i informacije koje su bile od velike pomoći u ovom radu.

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

Sadržaj

Popis slika.....	4
Popis tablica	5
Uvod.....	6
1. Sunčevo zračenje	7
1.1. Osnovni pojmovi i definicije	7
1.3. Panel pod nagibom.....	11
2. Tehničke komponente sunčane elektrane	13
2.1. Solarni paneli.....	13
2.2. Inverteri	17
2.3. Montažni, mjerni, nadzorni sustav i ostala oprema	19
2.4. Baterijski spremnik.....	21
3. Vrste sunčanih elektrana.....	22
3.1. Integrirane sunčane elektrane.....	22
3.2. Neintegrirane sunčane elektrane	23
3.2.1. Agrosunčane elektrane	24
4. Zahtjevi za izgradnju sunčane elektrane.....	26
4.1. Glavna dokumentacija	27
4.2. Popratni elaborati.....	29
4.3. Priključenje na mrežu	30
5. Postojeće i u izgradnji neintegrirane sunčane elektrane u Republici Hrvatskoj	33
6. Projektiranje sunčane elektrane	35
6.1. Odabir lokacije.....	35
6.2. Odabir i povezivanje solarnih modula.....	36
6.2.1. Vrsta modula	36
6.2.2. Razmak između redova	38
6.2.3. Konfiguracija sunčane elektrane.....	41
6.3. Gubitci fotonaponskog sustava.....	43
6.4. Proizvodnja električne energije	46
6.5. Smanjenje učinkovitosti fotonaponskih modula	50
7. Ekonomska analiza.....	54
7.1. Cijena električne energije	54
7.2. Analiza isplativosti projekata	54

7.2.1. Metoda razdoblja povrata investicije	54
7.2.2. Metoda neto sadašnje vrijednosti	61
7.2.3. Metoda interne stope rentabilnosti	62
8. Utjecaj promjene cijene električne energije na projekt 1	63
8.1. Scenarij 1 – viša cijena električne energije	63
8.2. Scenarij 2 – niža cijena električne energije	65
9. Izvori financiranja – projekt 1	68
9.1. Scenarij 1 - 100% vlastiti kapital.....	68
9.2. Scenarij 2 – 50% vlastiti kapital, 50% kredit prema trenutnoj kamatnoj stopi	68
9.2.1. Scenarij 2.1. povoljnija kamatna stopa.....	73
9.2.2. Scenarij 2.2. nepovoljnija kamatna stopa.....	76
Zaključak	80
Literatura	82
Sažetak.....	84
Summary	85

Popis slika

Slika 1 Spektar Sunčevog elektromagnetskog zračenja [2].....	7
Slika 2 Komponente Sunčevog zračenja [3].....	9
Slika 3 Kut deklinacije u ovisnosti o položaju Zemlje u odnosu na Sunce [4]	9
Slika 4 Visina Sunca, zenit, azimut [5].....	10
Slika 5 Usporedba ozračenosti horizontalnog, pokretnog i panela pod stalnim nagibom [6].....	11
Slika 6 Panel pod nagibom [7]	12
Slika 7 Fotonaponski sustav [8]	13
Slika 8 Monokristalni, polikristalni i tankoslojni solarni paneli [9].....	15
Slika 9 Usporedba standardne i PERC solarne ćelije [10].....	16
Slika 10 Usporedba karakteristika različitih tipova invertera [11]	19
Slika 11 Montažni sustav [12]	20
Slika 12 Integrirana sunčana elektrana [13].....	23
Slika 13 Neintegrirana sunčana elektrana [14]	24
Slika 14 Agrosunčana elektrana [15].....	25
Slika 15 Preduvjeti za izgradnju elektrane [16]	26
Slika 16 Vrste i koraci postupka priključenja na mrežu [17]	31
Slika 17 Provjera složenosti priključka [17].....	31
Slika 18 1.lokacija – Slavonija [18]	35
Slika 19 2.lokacija – Dalmacija [18]	36
Slika 20 Izračun razmaka između redova	38
Slika 21 PVGIS podaci o sunčanoj elektrani – lokacija 1 [20]	40
Slika 22 PVGIS podaci o sunčanoj elektrani – lokacija 2 [20]	41
Slika 23 Konfiguracija solarnih modula [21]	42
Slika 24 Ozračenost po mjesecima PVGIS – lokacija 1 [20].....	46
Slika 25 Ozračenost po mjesecima PVGIS - lokacija 2 [20].....	49
Slika 26 Smanjenje iskoristivosti fotonaponskih modula [19].....	51
Slika 27 Smanjenje proizvodnje električne energije - lokacija 1	52
Slika 28 Smanjenje proizvodnje električne energije - lokacija 2	53

Popis tablica

Tablica 1 Modul Risen RSM132-8-650BMDG [19]	37
Tablica 2 Vrste gubitaka u fotonaponskom sustavu	45
Tablica 3 Ozračenost po mjesecima PVGIS – lokacija 1	47
Tablica 4 Proizvedena električna energija - lokacija 1	48
Tablica 5 Ozračenost po mjesecima PVGIS – lokacija 2	49
Tablica 6 Proizvedena električna energija - lokacija 2	50
Tablica 7 Godišnja proizvodnja električne energije kroz životni vijek modula – lokacija 1	52
Tablica 8 Godišnja proizvodnja električne energije kroz životni vijek modula – lokacija 2	53
Tablica 9 Godišnji prihodi - lokacija 1.....	56
Tablica 10 Akumulirani neto novčani tokovi - lokacija 1.....	57
Tablica 11 Godišnji prihodi - lokacija 2.....	59
Tablica 12 Tablica 10 Akumulirani neto novčani tokovi - lokacija 2.....	60
Tablica 13 Scenarij 1 - godišnji novčani tokovi	64
Tablica 14 Scenarij 2 - godišnji novčani tokovi	66
Tablica 15 NPV projekta za različite cijene električne energije.....	67
Tablica 16 Otplata kredita - linearni model.....	71
Tablica 17 Godišnji neto novčani tokovi s uračunatim kreditom	72
Tablica 18 NPV - ovisno o tipu kredita	73
Tablica 19 Otplata kredita - linearni model.....	74
Tablica 20 Godišnji neto novčani tokovi s uračunatim kreditom	76
Tablica 21 NPV	76
Tablica 22 Otplata kredita - linearni model.....	77
Tablica 23 Godišnji neto novčani tokovi s uračunatim kreditom	79
Tablica 24 NPV	79
Tablica 25 Pregled rezultata analize.....	80

Uvod

U današnjem svijetu, gdje potreba za energetsom održivošću ubrzano raste, prelazak na obnovljive izvore energije postaje sve izraženiji. Energetska tranzicija prema obnovljivim izvorima energije postala je ključna strategija za smanjenje emisija stakleničkih plinova i za borbu protiv klimatskih promjena. U tom kontekstu, Sunčeva energija se ističe kao jedan od najperspektivnijih obnovljivih izvora energije, pružajući ogroman potencijal za proizvodnju električne energije.

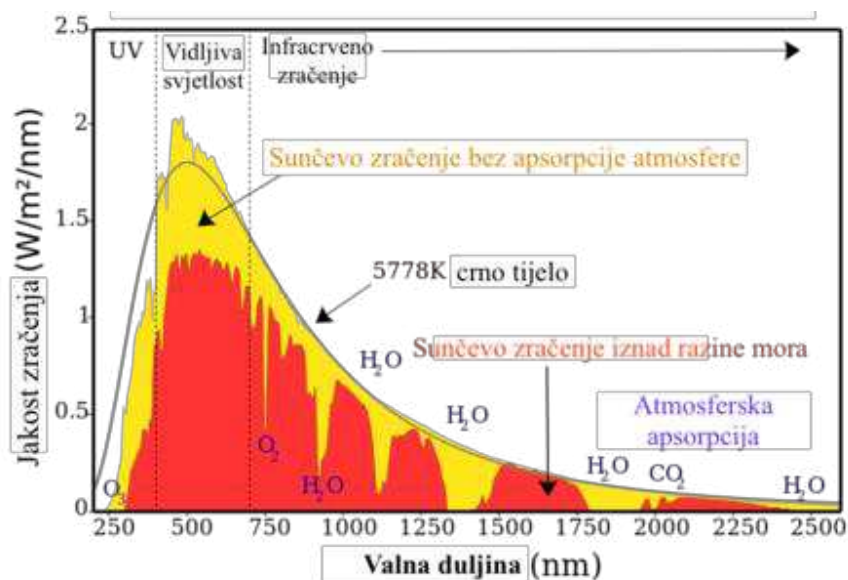
Europska komisija istakla je potrebu za integriranim upravljanjem kako bi se osiguralo da se svim aktivnostima povezanim s energijom na razini EU te na regionalnoj, nacionalnoj i lokalnoj razini pridonosi ciljevima Energetske unije. Ciljevi Energetske unije su dekarbonizacija, energetska učinkovitost, energetska sigurnost, razvijeno unutarnje energetske tržište te istraživanje, inovacije i konkurentnost. Integrirani nacionalni energetske i klimatski plan za razdoblje od 2021. do 2030., kojeg donosi Vlada Republike Hrvatske na prijedlog Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, obuhvaća cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za čak 50,2 % za ETS sektor, u odnosu na 2005. godinu, odnosno -16,7 % za sektore izvan ETS-a. Zadan je i cilj postizanja udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije od 42,5 % [1].

Razmatranje projekata vezanih za OIE od velikog je značaja za ispunjenje navedenih ciljeva. Republika Hrvatska, kao zemlja bogata sunčanim resursima, ima povoljne uvjete za razvoj sunčane energije. Upravo iz tog razloga, sve veći broj investitora razmatra mogućnost izgradnje sunčanih elektrana diljem zemlje. Pri tome odabir ispravnih parametara i lokacije za izgradnju sunčanih elektrana predstavlja ključan faktor koji će utjecati na njihovu isplativost i učinkovitost. U radu će se prikazati usporedba projekata izgradnje sunčanih elektrana na dvije različite lokacije u Republici Hrvatskoj. Analiza će obuhvaćati različite parametre kao što su, proizvodnja električne energije, troškovi izgradnje, povrat investicije, vrste financiranja i slično. Cilj je pružiti dublji uvid u ekonomske aspekte izgradnje sunčanih elektrana na različitim lokacijama te identificirati najisplativije opcije.

1. Sunčevo zračenje

1.1. Osnovni pojmovi i definicije

Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu naziva se ekstraterestičko zračenje te se opisuje gustoćom energetskega toka koji upada na određenu površinu okomitu na smjer Sunčevih zraka. Kako se udaljenost Zemlje od Sunca mijenja tijekom godine, samim time je i ekstraterestičko ozračenje različito, tj. nije isto tijekom cijele godine već se mijenja od vrijednosti 1.307 W/m^2 do vrijednosti 1.399 W/m^2 [2]. Srednja vrijednost ekstraterestičkog ozračenja naziva se Sunčeva konstanta. Definira se kao tok Sunčeva ozračenja kroz jediničnu površinu okomitu na smjer Sunčevih zraka na srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca ($149.000.000 \text{ km}$) izvan Zemljine atmosfere. Trenutna prihvaćena vrijednost za Sunčevu konstantu iznosi 1.367 W/m^2 . Solarna konstanta služi kao standardna mjera kako bi se moglo izračunati Sunčevo zračenje u bilo koje doba i na bilo kojem mjestu na gornjoj granici atmosfere. Spektar Sunčevog zračenja na Zemlji prikazan je na slici 1.



Slika 1 Spektar Sunčevog elektromagnetskog zračenja [2]

Ozračenje ili iradijancija (G) definira se kao gustoća energetskega toka Sunčevog zračenja, odnosno kao omjer energetskega toka Sunčevog zračenja

i površine plohe okomite na smjer zračenja. Pojam „zračenje“ odnosi se na emitiranje energije ili svjetlosti, dok se „ozračenje“ odnosi na prijem Sunčevog zračenja od strane Zemljine površine ili drugih objekata.

Ozračenost ili iradijacija (H) definira se kao gustoća dozračene energije u promatranom vremenu na jedinicu površine. Postoji satna, dnevna, mjesečna ili godišnja ozračenost te se izražava u Wh/m^2 ili J/m^2 .

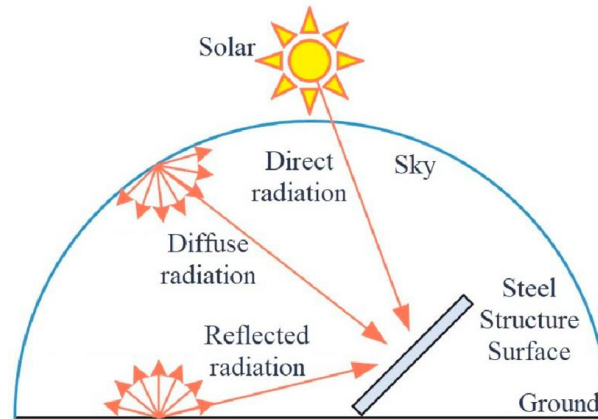
Ukupno Sunčevo ozračenje neke plohe čine tri komponente: izravna (direktna), raspršena (difuzna) te odbijena (reflektirana) komponenta. Razumijevanje ovih komponenti važno je za pravilno modeliranje i analizu Sunčeve energije te za projektiranje solarnih sustava.

Direktno Sunčevo zračenje dolazi direktno iz Sunca i ne podliježe difuziji ili raspršenju u atmosferi.

Difuzno Sunčevo zračenje dolazi od Sunca, raspršeno u atmosferi u svim smjerovima. Rezultat je raspršenja Sunčevih zraka od oblaka, prašine, aerosola i drugih čestica u atmosferi.

Reflektirano Sunčevo zračenje dolazi od Sunca, ali je odbijeno od površine Zemlje ili drugih objekata na Zemlji. Reflektirano zračenje može biti posebno izraženo na površinama s visokim stupnjem refleksije poput snijega, vode ili svijetlih površina. Mjera reflektivnosti površine, odnosno sposobnosti površine da reflektira svjetlost koja je na nju usmjerena, naziva se albedo. Izražava se kao postotak ili decimalni broj između 0 i 1, pri čemu vrijednost 0 označava potpunu apsorpciju svjetlosti (crna površina), a vrijednost 1 označava potpunu refleksiju svjetlosti (bijela površina).

Navedene komponente prikazane su na slici 2.



Slika 2 Komponente Sunčevog zračenja [3]

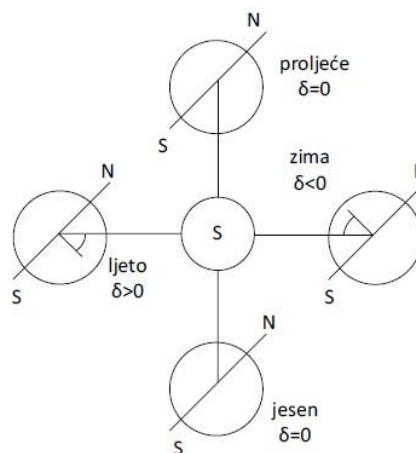
Položaj Sunca s obzirom na promatrača na Zemljinoj površini opisuje se s tri osnova kuta [4].

Zemljopisna širina (φ) kutna je udaljenost promatrača od ekvatora prema jugu ili sjeveru.

Kut deklinacije Sunca (δ) kutna je udaljenost spojnice središta Zemlje i Sunca i ekvatorijalne ravnine. Računa se koristeći izraz (1).

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (1)$$

Gdje je n broj određenog dana u godini. Ovisnost kuta deklinacije o međusobnom položaju Zemlje i Sunca prikazana je na slici 3.



Slika 3 Kut deklinacije u ovisnosti o položaju Zemlje u odnosu na Sunce [4]

Satni kut Sunca (ω) je vrijeme izraženo s pomoću kuta gdje je 1 h kut od 15° , a 0° odgovara Suncu u najvišem položaju [4].

Iz osnovnih kutova mogu se izračunati ostali podaci vezani za kretanje Sunca i izračun ozračenja.

Visina Sunca (α) je kut između središta Sunca i vodoravne ravnine (horizonta).

Zenitni kut (ϑ_z) dobije se kao $90^\circ - \alpha$.

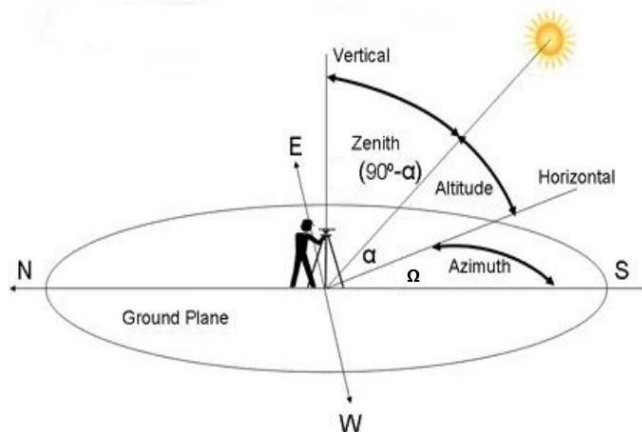
Azimet Sunca (Ω ili γ_s) je kut na ravnini horizonta (tangencijalna ravnina na Zemljinu površinu), odnosno kut između pravca prema jugu i pravca projekcije Sunčevih zraka na horizont.

Veza između spomenutih veličina dana je izrazima (2) i (3):

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (2)$$

$$\sin \Omega = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (3)$$

te je isto ilustrativno prikazano na slici 4.



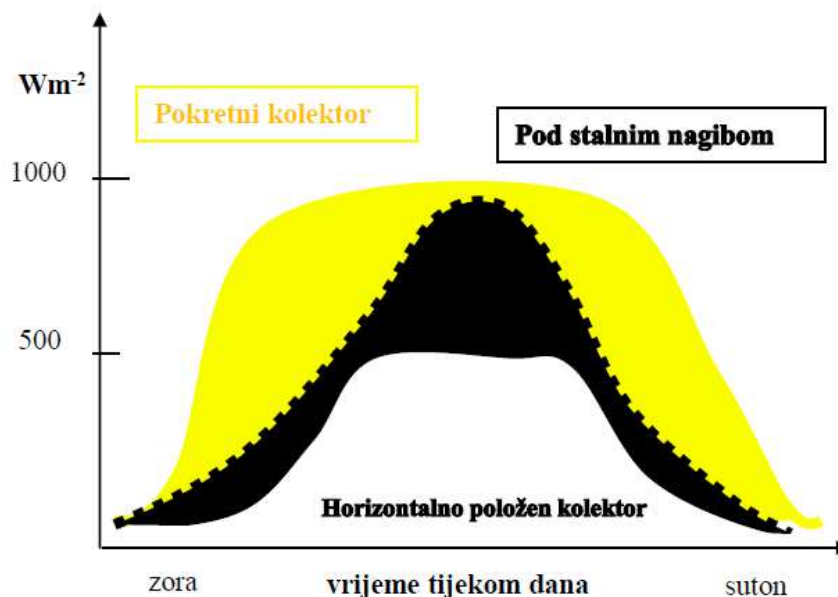
Slika 4 Visina Sunca, zenit, azimet [5]

1.3. Panel pod nagibom

Ukupna ozračenost na plohu pod nagibom β prema horizontali sastoji se od direktnog, difuznog i reflektiranog dijela. Za horizontalnu plohu se reflektirana komponenta ne uzima u obzir. Izrazom (4) računa se ukupna ozračenost neke plohe, odnosno panela.

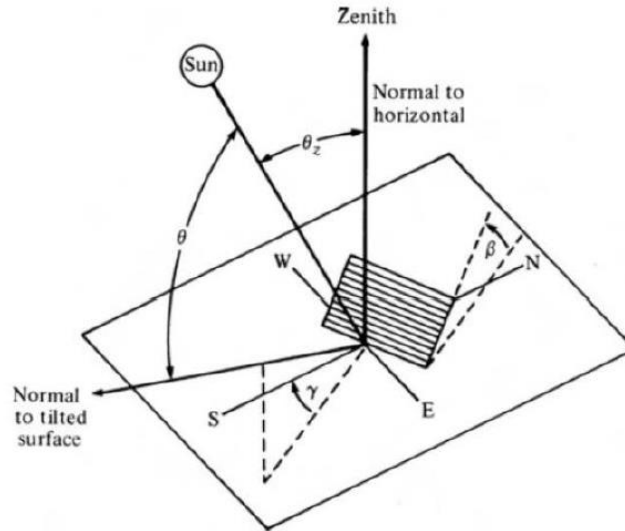
$$\overline{H_\beta} = \overline{H_{b\beta}} + \overline{H_{d\beta}} + \overline{H_{r\beta}} \quad (4)$$

Gdje su β – kut nagiba panela, b – (eng. *beam*), direktni dio, d – (eng. *diffuse*) difuzni dio, r – (eng. *reflected*) reflektirani dio. Nagib panela može, ali i ne mora biti fiksni. Instalacija panela koji nemaju fiksni nagib je otprilike dva puta skuplja od onih s fiksnim nagibom, no takvi paneli proizvode i više energije u istom vremenu. Usporedba ozračenosti horizontalnog panela, panela pod stalnim nagibom i panela koji može mijenjati položaj dana je na slici 5. Promjena položaja u jednoj osi daje 25 % do 30 % više energije, a položaj se mijenja sezonski (sjever – jug). Promjena položaja u dvije osi daje 30 % do 40 % više energije, a položaj se mijenja i dnevno (istok – zapad).



Slika 5 Usporedba ozračenosti horizontalnog, pokretnog i panela pod stalnim nagibom [6]

Kutovi potrebni za izračun ukupnog ozračenja na panel prikazani su na slici 6. Uz prethodno definirane kutove potrebno je znati i kut incidencije (θ), tj. kut između zrake i normale na plohu panela te azimutni kut panela (γ).



Slika 6 Panel pod nagibom [7]

Direktna komponenta ozračenja na panel pod nagibom [7]:

$$G_{b\beta} = G_b \cos \theta \quad (5)$$

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (6)$$

Difuzna komponenta ozračenja na panel pod nagibom [7]:

$$G_{d\beta} = G_d \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (7)$$

Reflektirana komponenta ozračenja na panel pod nagibom [7]:

$$G_{r\beta} = G_r \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (8)$$

$$G_r = \rho G_h \quad (9)$$

$$G_h = G_b \cos \theta_z + G_d \quad (10)$$

Gdje G_h predstavlja Sunčevo ozračenje na horizontalnu površinu, a ρ faktor refleksije površine.

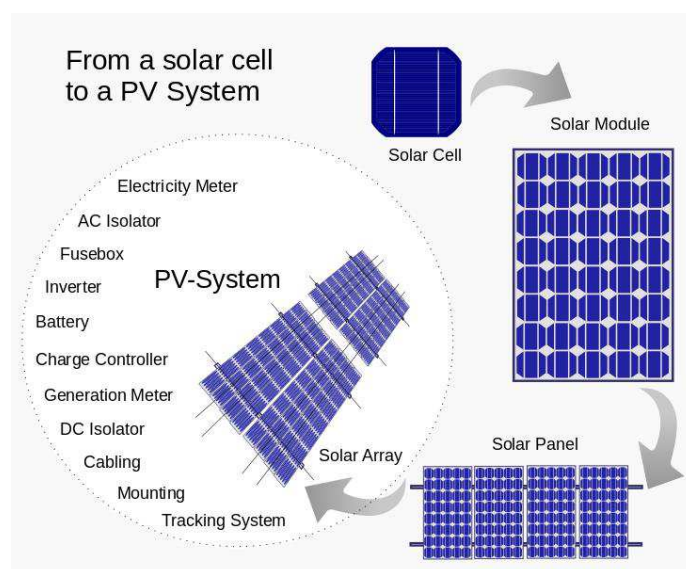
Ukupno ozračenje računa se izrazom (11):

$$G_{tot\beta} = G_b \cos \theta + G_d \frac{1 + \cos \beta}{2} + G_r \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (11)$$

2. Tehničke komponente sunčane elektrane

Fotonaponske ćelije su spojene u solarne module, koji se zatim povezuju u solarne panele. Više panela formira solarni niz čijim se povezivanjem stvara polje. Istosmjerna DC električna struja koju proizvode fotonaponski sustavi se pretvara u izmjeničnu AC putem pretvarača kako bi se mogla koristiti u električnoj mreži.

Uz panele i invertere, kao osnovne komponente, fotonaponski sustav sadrži i montažni sustav, kabele te razne kontrolne, mjerne i zaštitne uređaje. Uz fotonaponski sustav moguća je i instalacija baterijskog spremnika za pohranu viška energije. Svi ovi dijelovi zajedno čine neki fotonaponski sustav prikazan na slici 7.



Slika 7 Fotonaponski sustav [8]

2.1. Solarni paneli

Solarni paneli, kao osnovna komponenta sunčane elektrane, pretvaraju Sunčevu energiju u upotrebljivu električnu energiju koja se zatim prenosi dalje do potrošača. Najčešće se koriste paneli napravljeni na bazi silicija.

Fotonaponski paneli su istosmjerni uređaji, a za proizvodnju izmjenične struje moraju se koristiti s pretvaračem.

Do prije nekoliko godina, polikristalni paneli vladali su tržištem zbog znatno niže cijene u odnosu na monokristalne. Napretkom tehnologije, cijena monokristalnih panela se osjetno smanjila te gotovo približila cijeni polikristalnih. Budući da su monokristalni paneli učinkovitiji u proizvodnji električne energije te su time i dugoročno isplativiji, nije iznenađujuće da su preuzeli veći dio tržišta. Solarne panele možemo podijeliti na nekoliko načina.

Podjela solarnih panela prema **tehnologiji fotonaponskih ćelija**:

- **Monokristalni solarni paneli**

Monokristalni solarni paneli izrađeni su od pojedinačnog kristala silicija što rezultira visokim stupnjem čistoće kristala. Visoki stupanj čistoće utječe na učinkovitost panela, odnosno poboljšava ju. Ovi paneli imaju najviši stupanj učinkovitosti među solarnim panelima, obično prelazeći 20 %. To znači da mogu proizvesti više električne energije na manjoj površini. Također, manje su podložni visokim temperaturama u usporedbi s ostalim panelima. Lako se prepoznaju po svom ujednačenom tamnom izgledu te se često smatraju estetski privlačnijima u usporedbi s drugim tipovima panela. Iako su obično skuplji u odnosu na polikristalne panele, monokristalni paneli su popularni zbog svoje visoke učinkovitosti i dugotrajnosti.

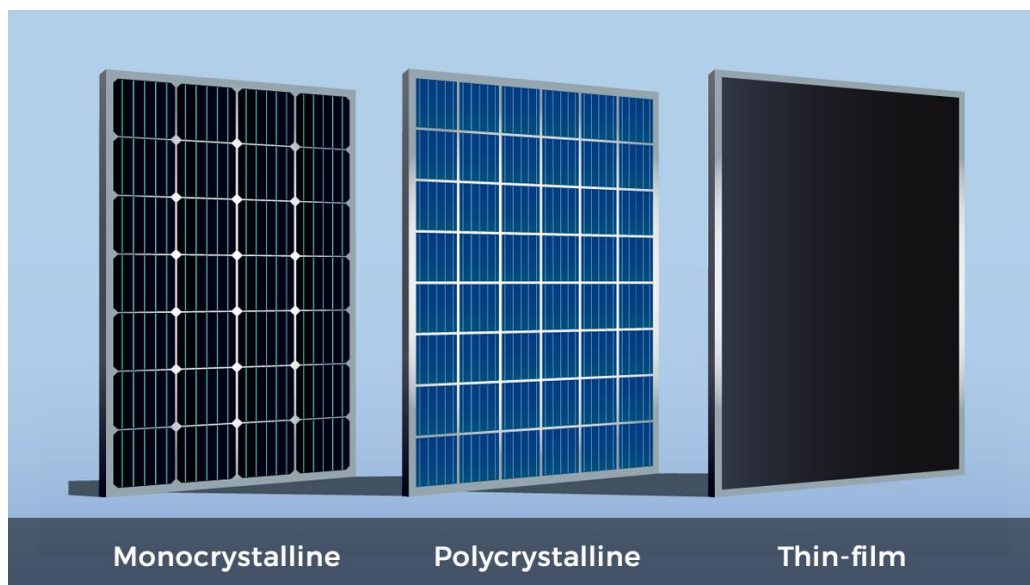
- **Polikristalni solarni paneli**

Polikristalni solarni paneli izrađeni su od kristala silicija koji se formiraju iz više kristalnih struktura, topljenjem sirovog silicija. Taj proces je jednostavniji i jeftiniji u odnosu na monokristalne panele, što ih čini ekonomičnijim izborom. Iako imaju nešto niži stupanj učinkovitosti, polikristalni paneli i dalje imaju dobru učinkovitost, oko 15 %, te mogu biti isplativi za mnoge primjene. Ova vrsta panela može se prepoznati po karakterističnoj plavoj boji i kvadratnim obliku panela s „oštrim“ rubovima. Imaju manju iskoristivost prostora i kraćeg su vijeka trajanja jer su u većoj mjeri podložni visokim temperaturama.

- **Tankoslojni solarni paneli**

Ova vrsta solarnih panela koristi tanke slojeve fotoosjetljivih materijala umjesto kristala silicija. To uključuje amorfni silicij, kadmij, bakar ili tanki film organskih spojeva. Tankoslojni paneli su fleksibilniji i lakši od kristalnih panela, što ih čini pogodnijima za neke primjene poput integracije u građevinske materijale ili fleksibilne module. Iako imaju niži stupanj učinkovitosti u odnosu na kristalne panele, tankoslojni paneli imaju druge prednosti poput nižih troškova proizvodnje i velike otpornosti na visoke temperature. Glavni problem predstavlja to što zauzimaju puno prostora, što ih općenito čini neprikladnima za stambene instalacije. Također, imaju najkraća jamstva jer im je životni vijek kraći od mono i polikristalnih vrsta panela.

Usporedba dizajna sve tri vrste panela dana je na slici 8.



Slika 8 Monokristalni, polikristalni i tankoslojni solarni paneli [9]

Podjela solarnih panela prema **dodatnim karakteristikama ili tehnologijama:**

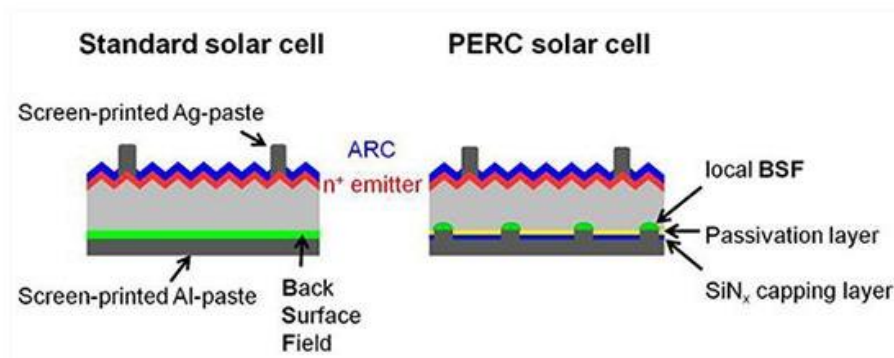
- **Bifacijalni solarni paneli**

Bifacijalni solarni paneli su posebni jer mogu prikupljati Sunčevu energiju s oba lica panela odnosno s gornje i donje strane. To znači da osim što primaju

direktnu Sunčevu svjetlost, mogu koristiti i reflektiranu svjetlost s površine na koju su postavljeni, kao što su tlo, snijeg ili zgrade. Navedena mogućnost povećava ukupnu učinkovitost panela. Bifacijalni paneli su korisni u situacijama gdje je dostupna svjetlost s obje strane panela, kao što su instalacije na reflektirajućim površinama ili na krovovima sa svijetlim premazima.

- **PERC (eng. *Passivated Emitter Rear Cell*) solarni paneli**

PERC solarni paneli koriste tehnologiju koja dodaje dodatni tanki sloj (SiO_2 ili Al_2O_3) na stražnju stranu fotonaponskih ćelija kako bi se povećala učinkovitost. Taj sloj pomaže smanjiti refleksiju svjetlosti i povećati apsorpciju, što rezultira većim stupnjem pretvaranja Sunčeve energije u električnu energiju. PERC tehnologija postala je popularna jer omogućava poboljšanje učinkovitosti panela bez značajnog povećanja troškova proizvodnje. Solarni paneli s PERC solarnim ćelijama obično rade bolje od konvencionalnih u uvjetima niske iradijacije i pri visokim temperaturama. Usporedba standardne i PERC solarne ćelije prikazana je na slici 9.



Slika 9 Usporedba standardne i PERC solarne ćelije [10]

- **N tip solarni paneli**

N tip solarni paneli koriste silicijski kristal dopiran fosforom i arsenom umjesto borom, kao što je to slučaj s tradicionalnim P tip panelima. Ovi paneli imaju veću pokretljivost elektrona, što ih čini efikasnijim u generiranju električne

energije iz Sunčeve svjetlosti. N tip paneli također imaju manji gubitak zbog rekombinacije elektrona i šupljina, što dovodi do veće učinkovitosti u odnosu na P tip panele. Dok su solarni paneli N-tipa učinkovitiji u proizvodnji električne energije i imaju stabilniji izlazni napon, solarni paneli P-tipa mnogo se češće koriste zbog niže cijene i jednostavnosti integracije.

- **Koncentrirani solarni paneli:**

Koncentrirani solarni paneli koriste leće i ogledala kako bi koncentrirali Sunčevu svjetlost na manji broj fotonaponskih ćelija. Ovi paneli imaju visoku učinkovitost pretvaranja energije, ali zahtijevaju precizno praćenje sunca kako bi bili efikasni. Koncentrirani paneli su često korišteni u velikim solarnim elektranama gdje je prostor ograničen, ali su skuplji za instalaciju i održavanje u usporedbi s drugim vrstama solarnih panela. U nastavku su dane ostale moguće podjele solarnih panela.

Podjela prema primjeni:

- Krovni solarni paneli;
- Fasadni i zidni solarni paneli;
- Solarni paneli za velike elektrane i
- Solarni paneli za male *off-grid* sustave.

Podjela prema strukturi i dizajnu:

- Standardni ravni solarni paneli;
- Solarni paneli integrirani u građevinske materijale (npr. solarni crjepovi) i
- Solarni paneli sa fiksnim ili praćenim montažnim sustavima.

2.2. Inverteri

U sunčanim elektranama se obično koriste tri glavna tipa invertera za pretvaranje istosmjerne (DC) struje koja se proizvodi solarnim modulima u izmjeničnu (AC) struju koja se koristi u električnoj mreži ili kućanstvima.

Inverteri su važni za integraciju sunčane elektrane s postojećim električnim sustavima. Odabir pretvarača ovisi o snazi koju će postrojenje ostvarivati.

- **Centralni (eng. *String*) inverteri**

Centralni inverteri su najčešći u sunčanim elektranama. Oni rade tako što grupe solarnih modula (nizovi) spoje zajedno i DC energiju pretvaraju u AC energiju. Ovi inverteri obično pokrivaju veći broj solarnih modula i instaliraju se na centralnoj lokaciji u elektrani. Imaju relativno niže troškove u usporedbi s drugim vrstama invertera [11].

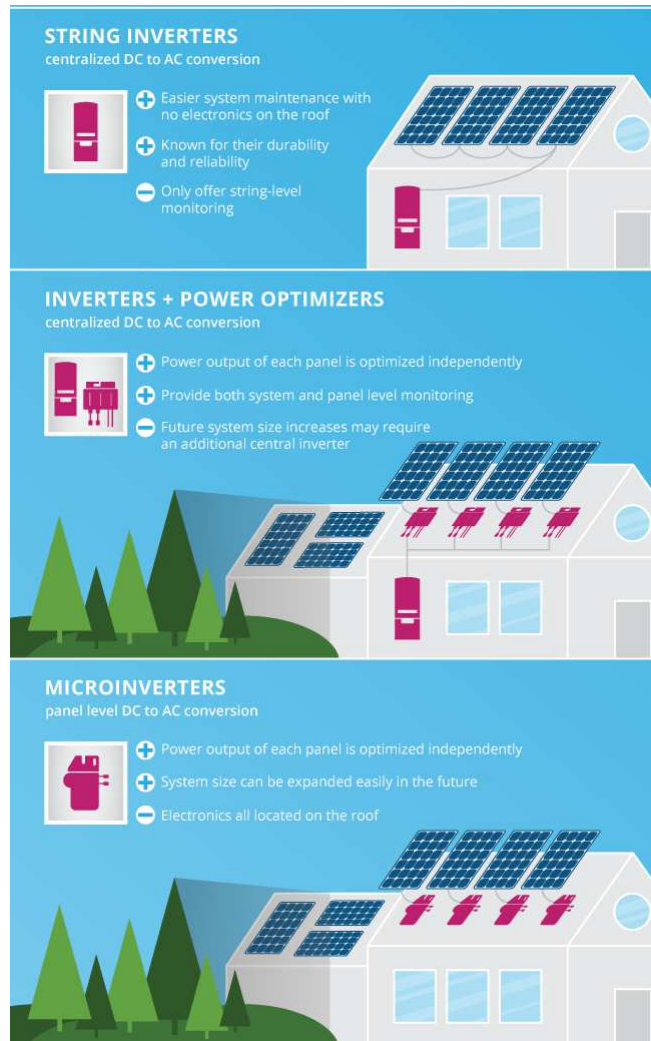
- **Mikroinverteri**

Mikroinverteri su manji inverteri koji se instaliraju na svaki pojedinačni solarni modul. To znači da svaki modul ima svoj vlastiti pretvarač DC/AC pretvarač. Ova tehnologija omogućuje neovisno praćenje i upravljanje svakog modula, što može poboljšati učinkovitost sustava, posebno u uvjetima djelomične sjene ili neujednačene izloženosti suncu [11].

- **Optimizatori snage s centralnim inverterima:**

Ova kombinacija koristi optimizatore snage na svakom solarnom modulu kako bi se optimizirala proizvodnja energije. Optimizatori snage djeluju kao veza između svakog modula i centralnog invertera. Oni omogućuju praćenje performansi svakog modula i optimiziraju rad modula čak i u uvjetima djelomične sjene ili nejednake izloženosti suncu. Centralni inverter zatim pretvara DC u AC struju za mrežnu povezanost [11].

Usporedba karakteristika različitih tipova invertera dana je na slici 10.

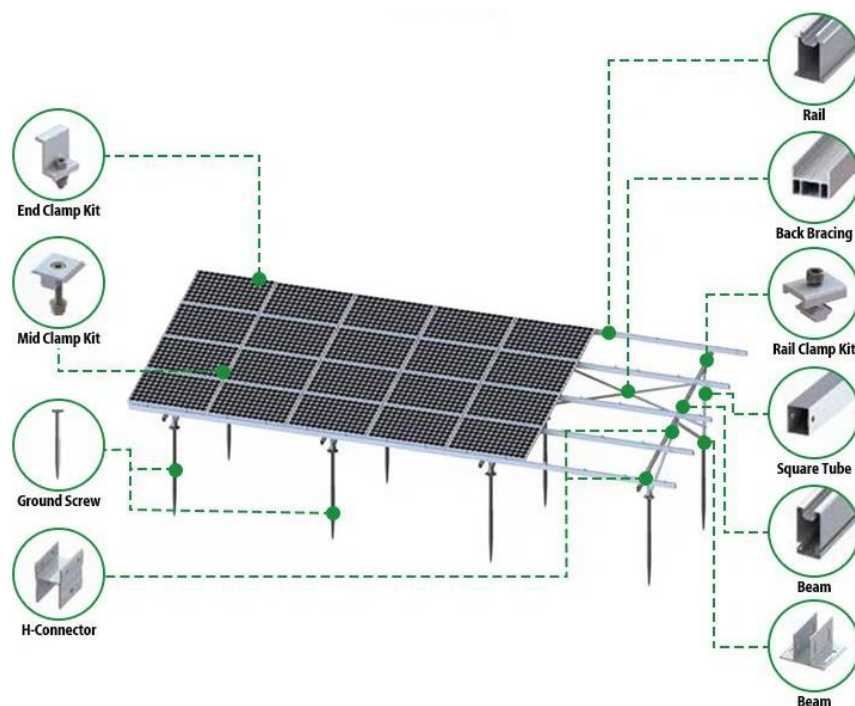


Slika 10 Usporedba karakteristika različitih tipova invertera [11]

2.3. Montažni, mjerni, nadzorni sustav i ostala oprema

Montažni sustav za neintegriranu sunčanu elektranu treba biti čvrst i stabilan, a sastoji se od nosača postavljenih u tlo, nosača za panele, spojnice, tračnica, sidrišta i drugih dijelova potrebnih za montažu solarnih modula na tlo. Montažni sustav treba biti čvrst i stabilan kako bi osigurao sigurnost i optimalan položaj modula za maksimalno izlaganje Sunčevim zrakama. Nosači su čelične konstrukcije koje drže nosače za module i postavljeni su na tlo. Sidrišta su čelične ili betonske konstrukcije koje se koriste za pričvršćivanje nosača u tlo. Nosači za module su metalni okviri koji drže solarni modul i osiguravaju čvrsto prisanjanje na nosače sustava. Tračnice su čelične šipke koje drže module i omogućuju njihovo pomicanje i prilagodbu. Spojnice se koriste za sigurno

spajanje tračnica i drugih dijelova montažnog sustava. Jedna od varijacija montažnog sustava prikazana je na slici 11.



Slika 11 Montažni sustav [12]

Kabeli su neophodni za povezivanje svih komponenti sunčane elektrane, uključujući module, invertere, baterije (ako su prisutne) i ostalu opremu. Kabeli prenose električnu energiju između komponenata, osiguravajući siguran i pouzdan spoj.

Mjerni instrumenti bilježe količinu proizvedene i potrošene električne energije kako bi se omogućilo praćenje performansi sunčane elektrane i integracija s električnom mrežom. Mogu biti digitalni ili analogni i omogućavaju precizno mjerenje i evidentiranje proizvodnje i potrošnje energije.

Nadzorni sustav omogućava nadzor, upravljanje i dijagnostiku sunčane elektrane. To može uključivati senzore za praćenje performansi modula i invertera, softver za analizu podataka, te sustave za daljinsko upravljanje i praćenje putem interneta.

Osim osnovnih komponenti, sunčane elektrane od opreme imaju i osigurače, prekidače, te razne sigurnosne i kontrolne uređaje.

2.4. Baterijski spremnik

Baterijski spremnik je neobavezna komponenta koja se koristi za pohranu viška proizvedene električne energije za kasniju upotrebu kada Sunčeva energija nije dostupna, kao što je noću ili tijekom oblačnih dana. Baterijski sustav može uključivati baterije različitih vrsta, poput olovnih akumulatora, litij-ionskih baterija ili drugih vrsta baterija. Baterijski spremnici se uglavnom koriste uz integrirane elektrane na krovovima kuća ili zgrada gdje se pohranjuje višak proizvedene energije. U radu se promatra neintegrirana sunčana elektrana spojena na mrežu te se baterijski spremnik neće uzeti u obzir.

3. Vrste sunčanih elektrana

3.1. Integrirane sunčane elektrane

Integrirane sunčane elektrane predstavljaju solarne sustave koji su ugrađeni u postojeće građevinske strukture poput krovova, fasada ili drugih površina. Ova tehnologija omogućuje iskorištavanje Sunčeve energije na način koji integrira solarni sustav u funkcionalnost zgrade ili infrastrukture.

Jedna od važnijih prednosti integriranih sunčanih elektrana je njihova sposobnost korištenja vlastito proizvedene električne energije za potrebe objekta na kojem su instalirane. To znači da solarni moduli mogu napajati električne uređaje, osvjetljenje, klimatizacijske sustave i druge potrošače direktno, smanjujući tako ovisnost o tradicionalnim izvorima energije i troškove električne energije. Ovi sustavi mogu pokrivati dio ili čak sve energetske potrebe domaćinstva, smanjujući račune za struju. Osim korištenja za vlastite potrebe, integrirane sunčane elektrane mogu biti povezane s elektroenergetskom mrežom radi prodaje viška proizvedene električne energije. U situacijama kada solarni sustav proizvodi više energije nego što je potrebno za pokrivanje potrošnje objekta, taj višak energije može biti distribuiran u elektroenergetsku mrežu, čime vlasnik solarnog sustava može generirati prihod putem programa za povratnu tarifu ili kroz druge modele otkupa električne energije. Povezivanje integriranih sunčanih elektrana s baterijskim spremnicima omogućuje pohranu viška proizvedene energije za kasniju uporabu, što povećava samodostatnost sustava i osigurava kontinuirano opskrbljivanje električnom energijom čak i kada sunce nije dostupno.

U urbanim područjima mogu se koristiti za poboljšanje održivosti. One mogu biti integrirane u javne zgrade, parkove, autobusne stanice i druge infrastrukturne projekte, pružajući dodatni izvor energije za osvjetljenje, punjenje uređaja, ili napajanje električnih vozila što dodatno promiče održivu mobilnost. Industrijski kompleksi također mogu imati značajnu korist od

integriranih solarnih sustava. Oni mogu biti instalirani na velikim industrijskim krovovima ili neiskorištenim površinama zemljišta unutar kompleksa, pružajući dodatni izvor energije za proizvodne procese i smanjujući operativne troškove.

Integrirane sunčane elektrane predstavljaju sveobuhvatan pristup korištenju Sunčeve energije koji omogućuje ne samo smanjenje troškova energije i emisija, već i povećanje energetske neovisnosti i održivosti. Primjer integrirane sunčane elektrane prikazan je na slici 12.



Slika 12 Integrirana sunčana elektrana [13]

3.2. Neintegrirane sunčane elektrane

Neintegrirane sunčane elektrane su samostalni solarni sustavi izgrađeni na tlu, što ih razlikuje od integriranih varijanti koje su dio građevinskih struktura. Ove sunčane elektrane omogućuju povećanje proizvodnje električne energije na lokacijama gdje nije moguća integracija s postojećim objektima ili nije financijski isplativa. Postavljanje fotonaponskih sustava na tlu je moguće na lokacijama koje imaju dovoljno otvorenog prostora i izloženosti suncu.

Kada je riječ o postavljanju samih solarnih modula, postoje različiti pristupi. Mogu se koristiti metalni okviri koji se ukopavaju u tlo radi stabilnosti, ili stupovi

koji podupiru module iznad tla, omogućujući lakše održavanje i čišćenje. Ova prilagodljivost u postavljanju omogućuje optimizaciju proizvodnje električne energije na svakoj lokaciji.

Postavljanje fotonaponskih sustava na tlu zahtijeva analizu različitih faktora, uključujući topografiju terena, klimatske uvjete, dostupnost Sunčeve svjetlosti tijekom cijele godine te pristup elektroenergetskoj infrastrukturi. Osim toga, treba uzeti u obzir i ekološke i društvene aspekte, kao što su utjecaj na okoliš, korištenje poljoprivrednog zemljišta i lokalne zajednice. Primjer neintegrirane sunčane elektrane prikazan je na slici 13.



Slika 13 Neintegrirana sunčana elektrana [14]

3.2.1. Agrosunčane elektrane

Agrosunčana elektrana je vrsta neintegrirane sunčane elektrane koja obuhvaća prostor na kojem se istovremeno obavlja poljoprivredna proizvodnja i proizvodnja obnovljive električne energije s pomoću fotonaponskih sustava. Potrebno je osigurati da poljoprivredna proizvodnja zauzima minimalno 60 % površine agrosunčane elektrane.

Ove elektrane obično se izvode kao sunčane elektrane s fiksnim fotonaponskim panelima ili s fotonaponskim panelima koji se okreću prema

suncu. U fiksnom aranžmanu, fotonaponski paneli postavljeni su na visoke i nepomične strukture, ispod kojih se često nalaze trajni usjevi. Strukture s jednoosnim okretanjem prema Suncu omogućuju rotaciju modula, pružajući više opcija za poljoprivredne aktivnosti između redova panela. Minimalna visina modula omogućuje poljoprivredne aktivnosti čak i ispod modula, osim na područjima potrebnima za sigurnost ljudi i životinja. Tehnologija koja se koristi ne bi trebala trajno zasjeniti vegetaciju ispod modula, omogućujući dovoljno Sunčeve svjetlosti za rast biljaka.

Gradnja agrosunčane elektrane moguća je samo na poljoprivrednom zemljištu upisanom u ARKOD kao trajni nasad [15]. Redovni monitoring poljoprivredne proizvodnje, stanja tla i mikroklimatskih uvjeta na površini elektrane važan je kako bi se osiguralo usklađivanje s očekivanim stanjem iz stručnih dokumenata. Primjer agrosunčane elektrane prikazan je na slici 14.



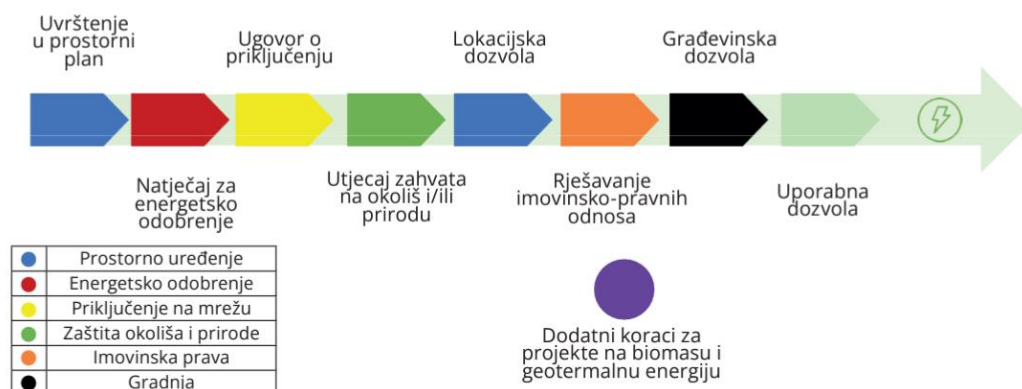
Slika 14 Agrosunčana elektrana [15]

4. Zahtjevi za izgradnju sunčane elektrane

Kako bi projekt OIE bio isplativ za financiranje, mora biti u „fazi spremnosti za izgradnju“, što znači da projekt mora imati:

- ishodišteno energetske odobrenje (Uvrštenje u dokumente prostornog uređenja je preduvjet da bi za lokaciju mogao biti objavljen natječaj za energetske odobrenje),
- osigurano priključenje na elektroenergetsku mrežu,
- projekt mora biti ocijenjen prihvatljivim s aspekta utjecaja na okoliš i prihvatljivosti za ekološku mrežu,
- građevinsku dozvolu i
- riješena imovinsko-pravna pitanja tj. pravo vlasništva ili korištenja zemljišta na kojem će projekt biti izgrađen.

Slijed radnji koje prethode izvedbi projekta prikazan je na slici 15.



Slika 15 Preduvjeti za izgradnju elektrane [16]

Novi pravilnik omogućava gradnju sunčanih elektrana do 10 MW bez uobičajenih dozvola. Za sunčane i agrosunčane elektrane instalirane snage do 10 MW tako više nije obavezno ishoditi niti lokacijsku ni građevinsku dozvolu, nego samo potvrdu na glavni projekt [16].

Osim toga za sunčane elektrane manje od 10 MW više nije potrebno energetske odobrenje koje izdaje Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja

(MINGOR). Sve ovo skratit će najčešće dugu proceduru prikupljanja dokumentacije za gotovo godinu dana, a uz to smanjiti i financijske izdatke za istu od 10 do 15 % [16].

4.1. Glavna dokumentacija

Za izgradnju sunčane neintegrirane elektrane, razlikuju se tri glavne faze projektne dokumentacije: idejni projekt, glavni projekt i izvedbeni projekt. Svaka od ovih faza ima specifičnu svrhu i sadrži različite razine detalja.

1. Idejni projekt

Idejni projekt je početna faza projektiranja i služi kao temelj za daljnji razvoj projekta. Njegova glavna svrha je definiranje osnovnog koncepta i procjena izvedivosti projekta. Ova faza uključuje sljedeće elemente:

- **Konceptualni dizajn:** Opis osnovne ideje i glavnih elemenata solarnog postrojenja, uključujući lokaciju, kapacitet i osnovne tehničke karakteristike.
- **Studije izvodljivosti:** Procjena tehničkih, ekoloških i ekonomskih aspekata projekta, uključujući analizu potencijalnih lokacija i dostupnosti Sunčeve energije.
- **Prikaz opcija:** Predstavljanje različitih mogućnosti i scenarija za realizaciju projekta, te odabir optimalnog rješenja.
- **Osnovne sheme i crteži:** Skice koje prikazuju osnovne rasporede solarnih modula, inverterskih jedinica, te druge ključne komponente.
- **Preliminarni proračuni:** Osnovni financijski i energetske proračuni koji daju uvid u očekivane troškove i koristi projekta.

2. Glavni projekt

Glavni projekt je detaljnija faza projektiranja koja razvija odabrano rješenje iz idejnog projekta. Mora sadržavati sve elemente potrebne za izgradnju sunčane elektrane i za provođenje upravnog postupka dobivanja građevinske dozvole. Sastavnice glavnog projekta su:

- **Detaljni tehnički opisi:** Detaljni opisi svih komponenti solarnog postrojenja, uključujući tehničke specifikacije solarnih modula, invertera, struktura za montažu, elektroinstalacija i drugih elemenata.
- **Izračuni i analize:** Detaljni proračuni energetske potrebe, performansi sustava, kapaciteta, gubitaka i učinkovitosti.
- **Arhitektonski i građevinski crteži:** Detaljni crteži koji prikazuju točan raspored svih komponenti, uključujući temelje, montažne strukture, trase kablova i povezivanje s mrežom.
- **Proračun troškova:** Detaljni financijski plan koji uključuje sve troškove izgradnje, opreme, rada i održavanja.
- **Dozvole i suglasnosti:** Dokumentacija potrebna za ishođenje svih potrebnih dozvola i suglasnosti od nadležnih tijela.

3. Izvedbeni projekt

Izvedbeni projekt je završna faza projektiranja koja uključuje sve potrebne detalje za stvarnu izgradnju sunčane elektrane, a to su:

- **Detaljni tehnički crteži:** Crteži i nacrti koji prikazuju točne dimenzije, materijale, spojne točke i ostale tehničke detalje potrebne za izgradnju.
- **Specifikacije materijala i opreme:** Popis svih materijala i opreme s točnim specifikacijama i količinama potrebnim za izgradnju.
- **Plan izgradnje:** Detaljni plan rada koji uključuje redoslijed aktivnosti, vremenski raspored, alokaciju resursa i upravljanje rizicima.
- **Upute za montažu i instalaciju:** Korak-po-korak upute za montažu i instalaciju svih komponenti, uključujući sigurnosne mjere i postupke testiranja.
- **Dokumentacija o kvaliteti:** Planovi kontrole kvalitete, inspekcije i testiranja kako bi se osigurala usklađenost sa svim standardima i specifikacijama.

4.2. Popratni elaborati

Za izgradnju neintegrirane sunčane elektrane u Hrvatskoj, potrebno je pripremiti nekoliko popratnih elaborata i dokumenata kako bi se ishodile sve potrebne dozvole i suglasnosti [17]. Neki od ovih elaborata su obavezni za sve projekte, dok drugi ovise o karakteristikama samog projekta.

Uz obavezne elaborate, preporučuje se pripremiti i dodatne studije i analize kako bi se osigurala potpuna usklađenost projekta sa zakonskim i regulatornim zahtjevima, kao i s ciljevima očuvanja okoliša i bioraznolikosti.

- **Procjena utjecaja na okoliš (PUO)**

PUO je detaljna procjena potencijalnih utjecaja projekta na okoliš, uključujući analizu i mjere za ublažavanje negativnih utjecaja. Prema Zakonu o zaštiti okoliša obavezna je za projekte koji mogu imati značajan utjecaj na okoliš.

- **Ocjena o potrebi procjene utjecaja na okoliš (OPUO)**

Procjenjuje se li potrebna detaljna Procjena utjecaja na okoliš (PUO) za određeni projekt. Obavezna je za projekte za koje nije odmah jasno hoće li imati značajan utjecaj na okoliš.

- **Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja (EOTRP)**

EOTRP predstavlja složenu analizu mreže u svim ekstremnim stanjima relativnog odnosa proizvodnje i potrošnje, koja uvažava postojeće i planirano stanje mreže, kao i postojeće i planirane korisnike mreže. Rezultat EOTRP-a je optimalno tehničko rješenje priključenja i preliminarna procjena pripadajućih troškova. EOTRP je važeći 270 dana od dana primitka. U tom roku nositelj projekta mora podnijeti zahtjev za ishodenje EES-a i sklopiti Ugovor o priključenju na elektroenergetsku mrežu.

- **Elaborat utjecaja na elektroenergetsku mrežu (EUEM)**

Izrada elaborata je obavezna te se dostavlja na suglasnost HEP ODS-u. Prvi dio EUEM-a uključuje prikaz osnovnih tehničkih parametara instalacije i

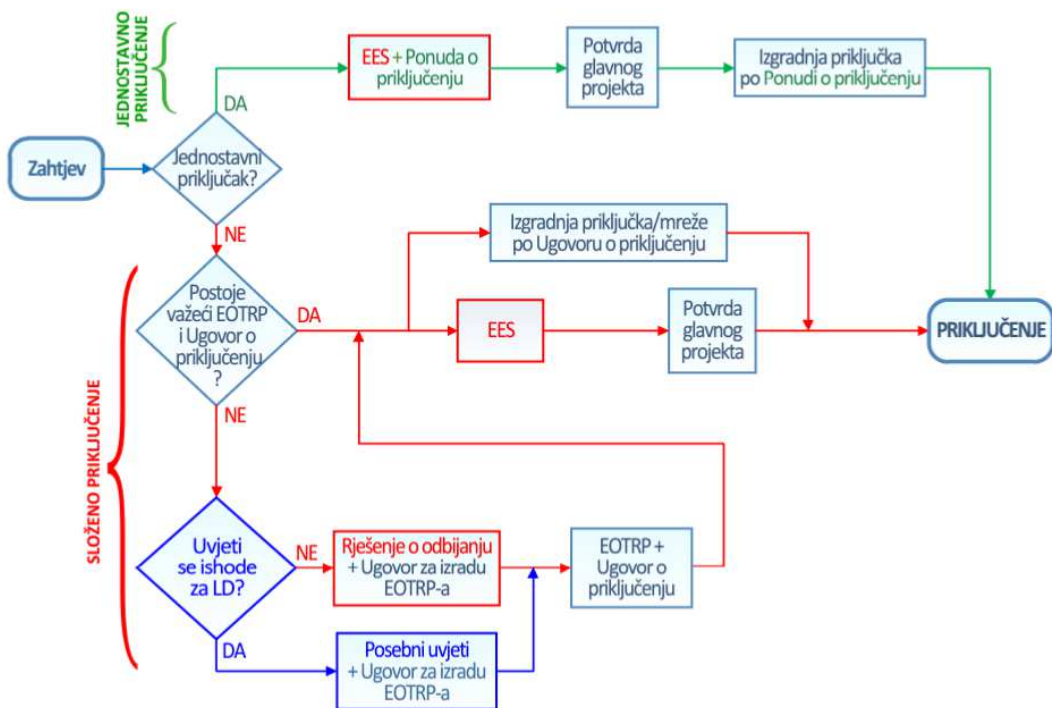
postrojenja korisnika mreže, prikaz postojeće distribucijske mreže, proračun utjecaja korisnika na mrežu, analizu tih proračuna, te zaključak je li utjecaj korisnika unutar propisanih granica. Proračun utjecaja korisnika na mrežu obuhvaća procjenu utjecaja na strujno-naponske okolnosti i tehničke gubitke, tokove snaga u mreži pri ekstremnim uvjetima, analizu održavanja zadanih parametara na sučelju s mrežom, te utjecaj korisnika na kratkospojne okolnosti, prijelazne procese i kvalitetu napona. Drugi dio EUEM-a sadrži prikaz tehničkih parametara instalacije i postrojenja korisnika mreže, analizu mjerenja kvalitete napona prije i nakon priključenja korisnika prema normi EN50160, ocjenu relativnog i apsolutnog utjecaja korisnika na kvalitetu napona, analizu mjerenja faktora snage i korištenja mreže unutar priključne snage, te usporedbu rezultata proračuna i mjerenja s ocjenom usklađenosti. Zaključak o utjecaju korisnika na mrežu uključuje preporuke za daljnje postupanje te digitalne zapise izmjerenih vrijednosti.

- **Elaborat podešenja zaštite (EPZ)**

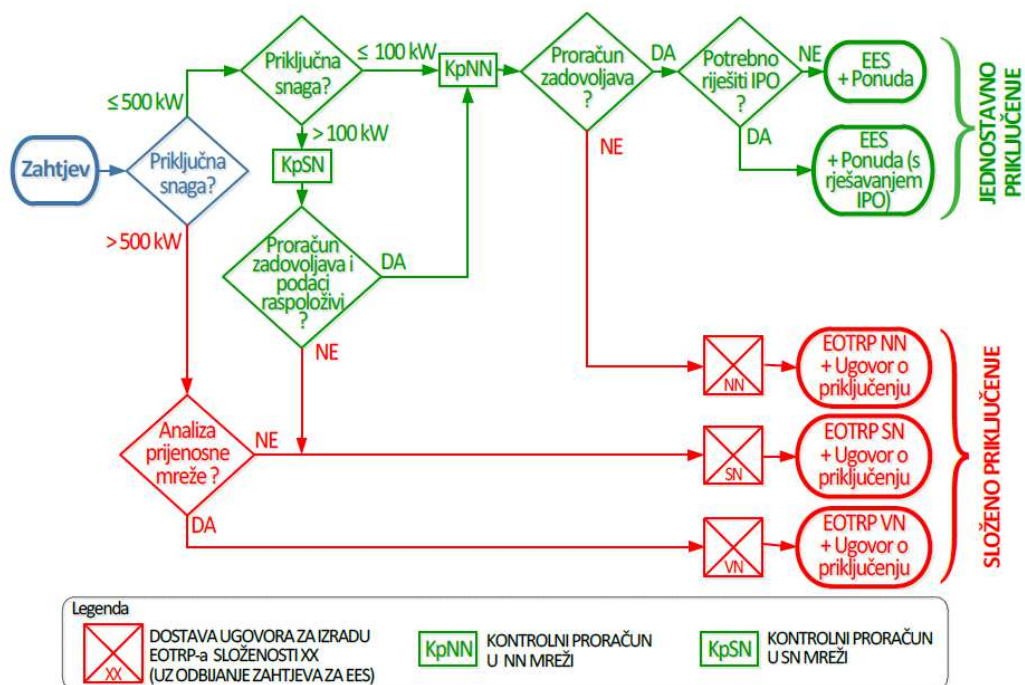
Elaborat podešenja zaštite osigurava ispravnu reakciju svih zaštitnih uređaja u elektroenergetskom sustavu u slučaju kvarova ili izvanrednih uvjeta, minimizirajući rizik od šteta i osiguravajući kontinuitet napajanja. Izrada elaborata podešenja zaštite je obavezna za sve veće projekte priključenja na elektroenergetsku mrežu kako bi se ispunili tehnički i sigurnosni zahtjevi postavljeni od strane mrežnog operatora i regulatornih tijela.

4.3. Priključenje na mrežu

Prema složenosti priključka postupak priključenja dijeli se na složeno i jednostavno priključenje. Vrste i koraci postupka priključenja na mrežu prikazani su dijagramom na slici 16. Kako bi se utvrdilo koja vrsta priključenja je potrebna za određeni projekt, provodi se provjera složenosti priključka dijagramom prema slici 17.



Slika 16 Vrste i koraci postupka priključenja na mrežu [17]



Slika 17 Provjera složenosti priključka [17]

Osim plaćanja infrastrukture (vodovi, kabeli i ostala potrebna oprema) potrebne za priključenje na elektroenergetsku mrežu, nositelj projekta dužan je platiti i troškove rekonstrukcije postojeće mreže, takozvano stvaranje tehničkih uvjeta u mreži, koje obavlja isključivo HOPS ili HEP ODS. Priključenje na elektroenergetsku mrežu obično podrazumijeva i plaćanje pristojbe za priključenje koja se obračunava prema instaliranoj snazi solarnih elektrana i drugim faktorima [17]. Visina ove pristojbe određena je propisima i tarifama Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA).

U nekim je prostornim planovima županija propisano da se prostornim planovima uređenja gradova i općina moraju urediti trase priključnih elektroenergetskih vodova i kabela. Stoga će, ovisno o lokaciji na kojoj se nalazi projekt, možda biti potrebno pokrenuti izmjene i dopune prostornih planova. To može znatno utjecati na vremenski plan projekta jer postupak izmjena i dopuna prostornih planova oduzima mnogo vremena, najmanje dvije godine.

5. Postojeće i u izgradnji neintegrirane sunčane elektrane u Republici Hrvatskoj

U nastavku je dan pregled značajnijih projekata sunčanih elektrana u Hrvatskoj [14].

SE VIS

Sunčana elektrana Vis, priključne snage 3,5 MW, u pogonu je od 2020. godine. Izgrađena je na zemljištu površine 5,5 hektara i sastoji se od 11.200 fotonaponskih modula snage 340 W_p te je ugrađeno pet frekvencijskih pretvarača nazivne snage 720 kW. Godišnje proizvodi oko 5 GWh. Uz sunčanu elektranu nalazi se i baterijski spremnik snage 1 MW i kapaciteta 1,44 MWh, koji će se koristiti za pružanje usluga uravnoteženja elektroenergetskog sustava te u svrhu očuvanja stabilnosti mreže. Vrijednost investicije iznosila je 6,5 milijuna eura.

SE Obrovac

Sunčana elektrana Obrovac u redovnom je radu od studenoga 2022. Priključna snaga elektrane je 7,35 MW, a instalirana 8,7 MW. Ugrađeno je 27.544 fotonaponskih modula. Očekivana godišnja proizvodnjom električne energije iznosi oko 11,3 GkWh. Vrijednost investicije je 6,9 milijuna eura.

SE Donja Dubrava

Izgrađena je uz Hidroelektranu Dubrava u Međimurskoj županiji te je u redovnom pogonu od svibnja 2023. Elektrana je maksimalne priključne snage 9,9 MW, odnosno 12,35 MW instalirane snage. Očekivana godišnja proizvodnja iznosi 14,8 GkWh. Vrijednost investicije iznosi 7,7 milijuna eura.

SE Stankovci

Sunčana elektrana Stankovci u redovnom je pogonu od ožujka 2022. Priključna snaga elektrane iznosi 2,5 MW. Izgrađena je u Zadarskoj županiji na površini od 65.217 m². Očekivana godišnja proizvodnja iznosi 4,6 GkWh.

Ugrađeno je 9.920 fotonaponskih modula ukupne instalirane snage 3,27 MW. Investicija je iznosila 3,5 milijuna eura.

SE Kaštelir 1

SE Kaštelir 1, instalirane snage 1 MW, smještena je na lokaciji Sabadin u Istri. Nakon preuzimanja 2019. godine, postala je prva neintegrirana sunčana elektrana u portfelju HEP-a. Ostvarena godišnja proizvodnja iznosi oko 1,5 GkWh.

SE Kaštelir 2

SE Kaštelir 2 predstavlja drugu fazu SE Kaštelir, snage 2 MW, izgrađena je na istoj lokaciji te je u redovnom pogonu od 2021. godine. Godišnja proizvodnja iznosi oko 3,1 GkWh. Instalirano je 9.240 fotonaponskih modula. Vrijednost investicije iznosila je 2 milijuna eura.

SE Dugopolje

Sunčana elektrana Dugopolje trenutno je u procesu izgradnje na području općine Dugopolje u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Instalirana snaga će biti 13,54 MW, a priključna 10 MW. Očekivana godišnja proizvodnja od 17,2 GkWh odgovara potrošnji oko 6.000 kućanstava. Na površini od oko 200.000 m² postaviti će se 24.624 bifacijalna fotonaponska modula koji će se povezati na 52 trofazna izmjenjivača. Vrijednost investicije iznosi 11,1 milijun eura.

SE Radosavci

Elektrana se gradi na području grada Slatine. Priključna snaga elektrane je 9,99 MW, a instalirana 13,2 MW. U elektranu je ugrađeno 40.040 fotonaponskih modula. Vrijednost investicije je 11,1 milijun eura.

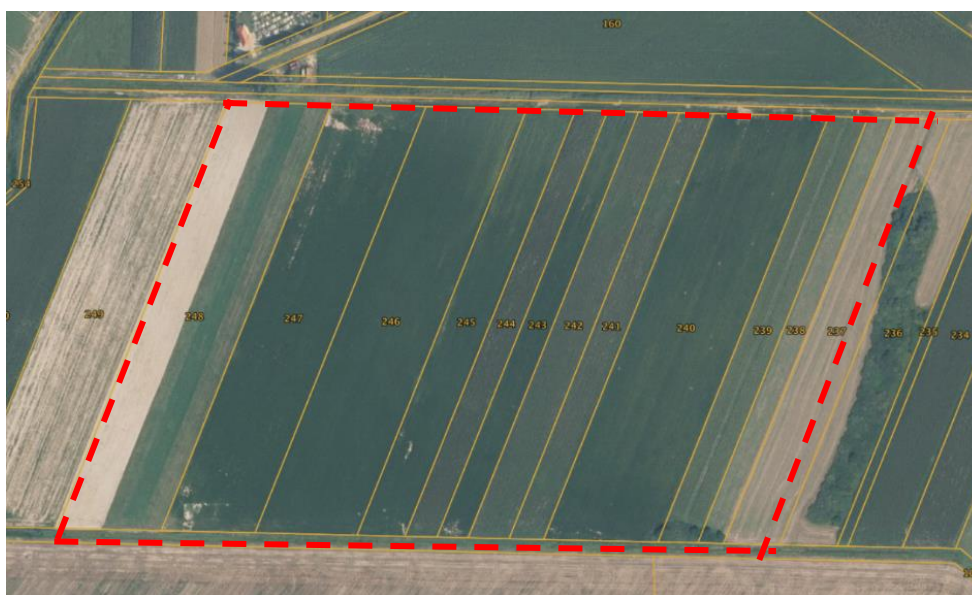
6. Projektiranje sunčane elektrane

6.1. Odabir lokacije

Promatrat će se dvije potencijalne lokacije, tipična slavonska i tipična dalmatinska, za izgradnju neintegrirane sunčane elektrane, veličine 10 MW.

1. lokacija

Prva promatrana lokacija nalazi se u mjestu Bokšić u Osječko-baranjskoj županiji te je prikazana na slici 18. Dimenzije iznose 500 m x 300 m što određuje površinu od 0,15 km², odnosno 15 ha. Prostorne kategorije zemljišta procjenjuju se prema vrijednosti od najpovoljnijih do nepovoljnijih tala prema bonitetnim svojstvima tla, klime, reljefa i ostalih prirodnih uvjeta. Sukladno čl. 22 važećeg Zakona o poljoprivrednom zemljištu, osobito vrijedno obradivo (P1) i vrijedno obradivo (P2) poljoprivredno zemljište ne može se koristiti u nepoljoprivredne svrhe, dok je gradnja na P3 i ostalim poljoprivrednim zemljištima propisana prostornim planom te ga je moguće prenamijeniti u građevinsko zemljište. Odabrano područje pripada kategoriji P3 te gospodarskoj zoni s oznakom E1 što znači da je pogodno za energetske aktivnosti.

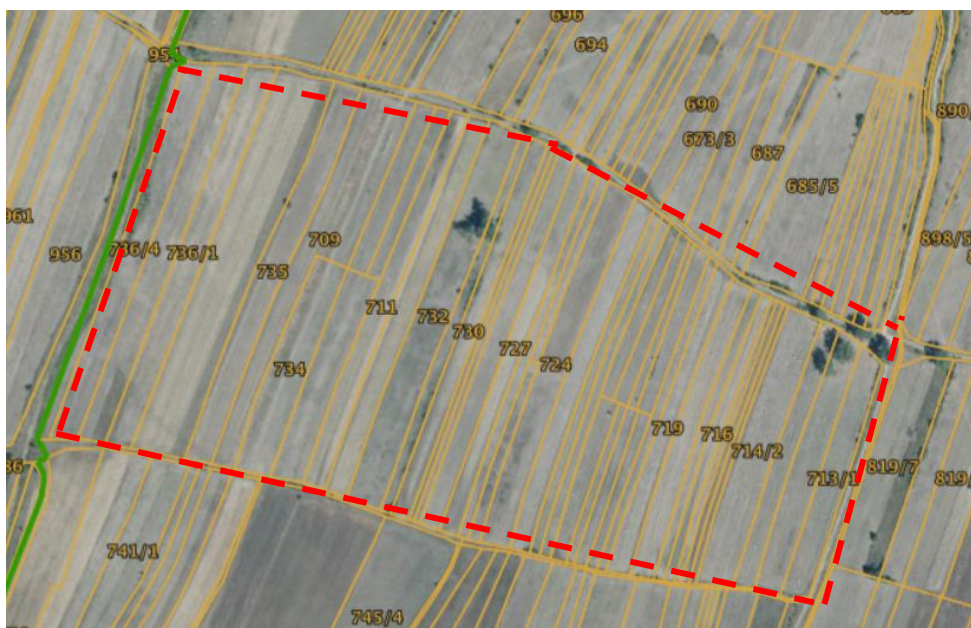


Slika 18 1.lokacija – Slavonija [18]

Cijena građevinskog zemljišta na toj lokaciji iznosi oko 6 €/m². Ukupna cijena zemljišta potrebnog za izgradnju elektrane iznosi 900.000 eura.

2. lokacija

Druga promatrana lokacija nalazi se u mjestu Parčić u Šibensko-kninskoj županiji te je prikazana na slici 19. Dimenzije označenog područja iznose 500 m x 300 m što određuje površinu od 0,15 km², odnosno 15 ha. Cijena građevinskog zemljišta na tom području iznosi oko 24 €/m², što znači da ukupna cijena zemljišta iznosi 3.600.000 eura.



Slika 19 2.lokacija – Dalmacija [18]

6.2. Odabir i povezivanje solarnih modula

Ideja rada je predstaviti idejne projekte sunčanih elektrana na 2 lokacije te usporediti navedene projekte i rezultate proračuna. Sukladno tome, na obje lokacije će se promatrati ista vrsta solarnih modula, te jednaka veličina sunčane elektrane koja iznosi 10 MW.

6.2.1. Vrsta modula

Tipovi fotonaponskih panela odnosno modula detaljno su ranije objašnjeni u poglavlju 2.1. Analizom omjera učinkovitosti i cijene solarnih modula za

izgradnju elektrane iz zadatka odabrani su moduli s monokristalnim fotonaponskim ćelijama, te je odlučeno da budu fiksno postavljeni, bez rotacije oko neke osi.

Izabran je modul Risen RSM132-8-650BMDG sa specifikacijama danim u tablici 1. Modul se sastoji od 132 ćelije i ima dimenzije 2.384×1.303×35 mm. Težina modula iznosi 40 kg [19]. Naknada za okoliš iznosi 0,3 €/kg modula. Cijena modula iznosi 0,12 €/W, odnosno 78 eura po modulu. Ukupna cijena solarnih modula, s uračunatom naknadom iznosi otprilike 1.400.000 eura.

	STC	NOCT
Maksimalna snaga [Wp]	650,00	492,40
Napon otvorenog spoja [V]	45,49	42,31
Struja kratkog spoja [A]	18,18	14,91
Napon u maksimalnoj snazi [V]	37,87	35,14
Struja u maksimalnoj snazi [A]	17,17	14,01
Efikasnost modula [%]	20,90	20,90

Tablica 1 Modul Risen RSM132-8-650BMDG [19]

STC (eng. *standard test conditions*) i NOCT (eng. *normal operating cell temperature*) parametri koriste se za ocjenu performansi solarnih modula.

STC uvjeti su [19]:

- **Zračenje:** 1000 W/m²
- **Radna temperatura:** 25 °C
- AM (eng. *air mass*) 1,5

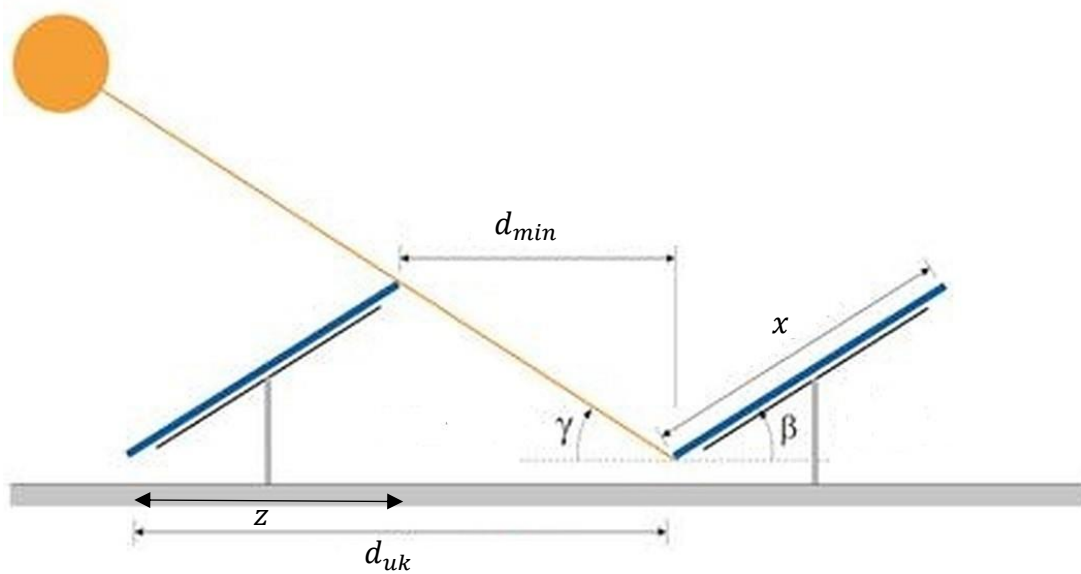
NOCT uvjeti su [19]:

- **Zračenje:** 800 W/m²
- **Temperatura okoline:** 20 °C
- **Brzina vjetra:** 1 m/s

Za sunčanu elektranu snage 10 MW koristit će se 15.390 solarnih modula.

6.2.2. Razmak između redova

Za izračun razmaka između redova koristit će se skica solarnih modula s pripadnim veličinama prikazana na slici 20.



Slika 20 Izračun razmaka između redova

Za računanje razmaka između redova koriste se formule (12), (13), i (14) sukladno prethodnom crtežu:

$$d_{min} = x \cdot \frac{\sin(\beta)}{\tan(\gamma)} \quad (12)$$

$$d_{uk} = d_{min} + z \quad (13)$$

$$z = x \cdot \cos(\beta) \quad (14)$$

Gdje su:

d_{min} – razmak između kraja jednog reda solarnih modula i početka sljedećeg reda

d_{uk} – razmak između početka jednog reda solarnih modula i početka sljedećeg reda

z – ortogonalna projekcija visine modula na tlo

x – ukupna visina modula (2 reda modula na nosaču)

β – nagib solarnog modula

γ – nagib sunca

Solarni moduli će biti postavljeni na nosače te podignuti od tla za 20 cm kako bi se smanjila moguća zasjenjenja od biljaka na tlu.

1. lokacija

Optimalan nagib panela (β) određen je programskim alatom PVGIS [20] te on iznosi 36° , prikazano na slici 21. Za određivanje minimalne udaljenosti između redova potrebno je znati i minimalni kut upada Sunčeve svjetlosti tijekom godine, odnosno minimalni nagib sunca koji se događa tijekom zimskog solsticija, odnosno 22. prosinca. Navedeni podatak se može dobiti iz Državnog hidrometeorološkog zavoda i on iznosi približno 22° .

Minimalni razmak između redova (d_{min}) tada iznosi:

$$d_{min} = 4,768 \cdot \frac{\sin(36^\circ)}{\tan(22^\circ)} = 6,937 \text{ m}$$

Radi jednostavnosti uzet će se minimalni razmak između redova od 7 m.

Ortogonalna projekcija modula na tlo:

$$z = 4,768 \cdot \cos(36^\circ) = 3,857 \text{ m}$$

Računa se i d_{uk} radi lakšeg određivanja konfiguracije sunčane elektrane:

$$d_{uk} = 7 + 3,857 = 10,857 \text{ m}$$

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	45.605,18.043
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	10000
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	36 (opt)
Azimuth angle [°]:	-1 (opt)
Yearly PV energy production [kWh]:	12213337.88
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1570.84
Year-to-year variability [kWh]:	595877.95
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.8
Spectral effects [%]:	1.22
Temperature and low irradiance [%]:	-8.11
Total loss [%]:	-22.25

Slika 21 PVGIS podaci o sunčanoj elektrani – lokacija 1 [20]

2. lokacija

Optimalan nagib panela (β) određen je programskim alatom PVGIS te on iznosi 38° , prikazano na slici 22. Minimalni nagib sunca tijekom godine iznosi 23° .

Minimalni razmak između redova (d_{min}) tada iznosi:

$$d_{min} = 4,768 \cdot \frac{\sin(38^\circ)}{\tan(23^\circ)} = 6,916 \text{ m}$$

Radi jednostavnosti uzet će se minimalni razmak između redova od 7 m.

Ortogonalna projekcija modula na tlo:

$$z = 4,768 \cdot \cos(38^\circ) = 3,757 \text{ m}$$

Računa se i d_{uk} radi lakšeg određivanja konfiguracije sunčane elektrane:

$$d_{uk} = 10,757 \text{ m}$$

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	43.862,16.234
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	10000
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	38 (opt)
Azimuth angle [°]:	-4 (opt)
Yearly PV energy production [kWh]:	14172080.37
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1797.35
Year-to-year variability [kWh]:	667969.53
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.73
Spectral effects [%]:	1.11
Temperature and low irradiance [%]:	-6.78
Total loss [%]:	-21.15

Slika 22 PVGIS podaci o sunčanoj elektrani – lokacija 2 [20]

6.2.3. Konfiguracija sunčane elektrane

Povezivanje fotonaponskih modula se obično radi serijskim ili paralelnim povezivanjem, ili kombinacijom oba načina.

Serijsko povezivanje:

Kod serijskog povezivanja, pozitivni kraj jednog modula se povezuje s negativnim krajem sljedećeg modula, tako da se stvara jedan lanac modula. Ovo povezivanje rezultira povećanjem ukupnog napona sustava. Međutim, struja u serijskom spoju ostaje konstantna za sve module jer je struja kroz cijeli lanac ista kao i struja kroz svaki pojedinačni modul.

Paralelno povezivanje:

Kod paralelnog povezivanja, pozitivni krajevi svih modula se povezuju zajedno, kao i negativni krajevi, stvarajući tako više grana modula. Ovo povezivanje rezultira povećanjem ukupne struje sustava. Napon u paralelnom spoju ostaje konstantan za sve module.

Kombiniranjem serijskog i paralelnog povezivanja postiže se određena kombinacija željenog napona i struje koja odgovara potrebama i uvjetima instalacije.

S obzirom na to da su zemljišta na obje lokacije približno jednakih dimenzija, raspored solarnih modula će biti jednak na obje lokacije. Sunčana elektrana će imati 27 redova solarnih modula, a svaki red će sadržavati 570 modula raspodijeljenih na 29 nosača koji mogu nositi po 20, odnosno 10 modula za krajnji nosač. Izabrani su nosači koji mogu nositi module u dva reda, što je prikazano na slici 23. Ukupna cijena nosača iznosi oko 1.100.000 eura.



Slika 23 Konfiguracija solarnih modula [21]

Postrojenje će sadržavati i centralne invertere, njih 5, svaki snage 2 MW. Ukupna cijena invertera iznosi oko 1.000.000 eura.

Troškove izgradnje i ostale opreme teško je precizno izračunati te će se uzeti prosječni troškovi na sličnim projektima. Uzima se oko 0,55 €/W, odnosno 5.500.000 eura za instalaciju. Troškovi dodatne opreme i električne infrastrukture iznose oko 1.500.000 eura. Troškovi inženjeringa, nadzora, dozvola i ostali troškovi iznose oko 5 % ukupnih troškova instalacije.

Ukupna investicija iznosi 11.000.000 eura za prvu lokaciju, odnosno 13.700.000 eura za drugu lokaciju.

6.3. Gubitci fotonaponskog sustava

Kod projektiranja postrojenja važno je izbjeći gubitke u sustavu i maksimizirati proizvodnju čiste, obnovljive energije. Gubitci u PV sustavu imaju značajan utjecaj na stvarnu izlaznu snagu postrojenja i njegovu ukupnu učinkovitost. Učinkovit dizajn projekta uzima u obzir glavne uzroke gubitaka u sustavu i uključuje mjere za smanjenje njihovog utjecaja na izlaznu snagu. Kako bi gubitci bili što manji potrebno je odabrati odgovarajuće kabele, ograničiti što je više moguće zasjenjenje te je važno, nakon puštanja postrojenja u rad, redovno održavanje. Neka postrojenja mogu uključivati automatske uređaje za praćenje solarnih panela. Solarni uređaji za praćenje prilagođavaju kut PV panela tijekom dana tako da prate smjer sunca preko neba, povećavajući izlaznu snagu. No, uređaji za praćenje nisu prikladni u svim uvjetima, a također povećavaju troškove sustava te se u ovom projektu neće razmatrati. Najznačajniji gubitci objašnjeni su u nastavku [22], a njihov utjecaj na učinkovitost sustava prikazan je u tablici 2.

Toplinski gubitci

Jedan od najvećih gubitaka u sustavu uzrokovan je visokim temperaturama. Za svaki 1 °C iznad 25 °C snaga solarne ćelije pada za 0,4 - 0,5 %. Gubitke je moguće smanjiti povećanjem cirkulacije zraka. Prosječna radna temperatura panela iznosi između 40 °C i 50 °C.

Zračenje

Smanjenje zračenja odnosi se na rezultate standardnih uvjeta ispitivanja (STC). U stvarnom životu, moduli neće raditi u STC uvjetima, stoga dolazi do degradacije učinkovitosti od otprilike 1,5 %.

Inverter

Za solarne projekte velikih razmjera koriste se centralni inverteri. Obično imaju stopu učinkovitosti od oko 95-98 %, ali ona se može mijenjati ovisno o drugim

aspektima. Dva najvažnija čimbenika koji utječu na učinkovitost invertera su temperatura i opterećenje. Važno je osigurati da inverteri budu dobro prozračeni, zaštićeni od izravne Sunčeve svjetlosti, ispravno usklađeni s pločama i da nisu premali ili preveliki.

DC kabele

Ispravno projektiranje i redovito održavanje kabela glavni su načini smanjenja gubitaka energije iz DC kabela, koji iznose do 1 %.

AC kabele

Gubici zbog izmjeničnih kabela su neizbježni i obično iznose oko 1 %. Ograničavanje gubitaka je moguće odabirom ispravnih komponenti i ugradnjom kabela odgovarajuće veličine s najkraćom mogućom duljinom.

Neusklađenost modula

Do neusklađenosti dolazi kada dvije ili više ploča proizvode različite razine energije, bilo zbog djelomičnog zasjenjenja ili malih razlika u električnim karakteristikama ćelija. Proizvodni proces prirodno rezultira malim varijacijama jer ne postoje dva potpuno identična modula. Ćelije se proizvode s tolerancijom između +/-1,5 % i +/-5 %, tako da u stvarnim uvjetima neće proizvoditi identične količine energije. Gubici zbog neusklađenosti modula iznose oko 2%.

Refleksija

Postoji određeni gubitak izlaza od oko 2,5 % kada se Sunčeva svjetlost reflektira od površina ploče umjesto da se apsorbira za stvaranje električne energije. Korištenje granuliranih aditiva za boju za hrapavost površina ploča ili dodavanje drugog mehanizma za hvatanje Sunčeve svjetlosti također može ograničiti gubitke.

Nečistoće

Prašina i ostala prljavština može u prosjeku iznositi oko 2 % gubitaka u sustavu na mjestima gdje pada kiša tijekom cijele godine, dok su na mjestima u blizini industrijskih centara i prašnjavim regijama s ograničenom količinom oborina gubici i veći. Održavanje je važno za smanjenje gubitaka od prljavštine, jer čišćenje ploča svakih šest mjeseci može povećati učinak u prosjeku za 3-5 %.

Zasjenjenje

Na iznos gubitka zasjenjenja prvenstveno utječe dizajn postrojenja, a redovito održavanje može smanjiti gubitke zasjenjenja osiguravajući da ploče ne budu zasjenjene novim biljkama ili drugim strukturama. U uvjetima gdje se podrazumijeva da su moduli ispravno postavljeni te da se redovno održava vegetacija oko modula, gubici zbog zasjenjenja su zanemarivi.

Vrsta gubitka	Iznos [%]
L _{temp}	8,0
L _{Zračenje}	1,5
L _{inverter}	3,0
L _{DC}	1,0
L _{AC}	1,0
L _{neuskl.mod.}	2,0
L _{refleksije}	2,5
L _{nečistoće}	3,0

Tablica 2 Vrste gubitaka u fotonaponskom sustavu

Ukupni gubici iznose:

$$L_{uk} = 1 - (0,92 \cdot 0,985 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,975 \cdot 0,97) = 0,2015 \\ = 20,15\%$$

Učinkovitost sustava iznosi:

$$\eta_{sustav} = 1 - L_{uk} = 0,7985 = 79,85 \%$$

6.4. Proizvodnja električne energije

Kako bi se mogla izračunati godišnja proizvodnja električne energije, potrebno je poznavati nekoliko parametara. Proizvodnja električne energije računa se izrazom (15).

$$E_{\text{proizvedeno,mjeseć}} = E_{\text{ozračenost,mjeseć}} \cdot A_{\text{modul,uk}} \cdot \eta_{\text{modul}} \cdot \eta_{\text{sustav}} \quad (15)$$

Gdje su:

$E_{\text{proizvedeno,mjeseć}}$ – proizvedena električna energija u nekom mjesecu

$E_{\text{ozračenost,mjeseć}}$ – ozračenost područja u nekom mjesecu

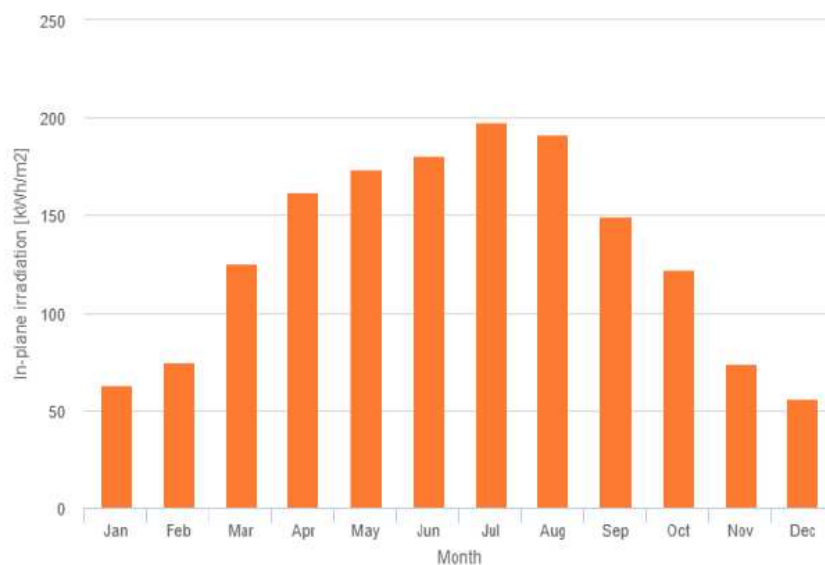
$A_{\text{modul,uk}}$ – ukupna površina svih modula

η_{modul} – učinkovitost modula

η_{sustav} – učinkovitost sustava

1. lokacija

Na slici 24. prikazana je ozračenost po mjesecima kroz cijelu godinu za izabranu lokaciju u Slavoniji, dobivena programom PVGIS, a točni iznosi ozračenosti prikazani su u tablici 3.



Slika 24 Ozračenost po mjesecima PVGIS – lokacija 1 [20]

Mjesec	Ozračenost [kWh/m²]
Siječanj	62,76
Veljača	75,02
Ožujak	125,40
Travanj	162,31
Svibanj	173,39
Lipanj	180,45
Srpanj	197,87
Kolovoz	191,64
Rujan	149,69
Listopad	122,18
Studeni	74,37
Prosinac	55,77
Ukupno:	1.570,85

Tablica 3 Ozračenost po mjesecima PVGIS – lokacija 1

Dimenzije modula su $2,384 \times 1,303 \times 0,035$ m. Površina jednog modula iznosi $3,106$ m². Ukupna površina svih modula ($A_{modul,uk}$) iznosi $47.801,34$ m². Učinkovitost modula (η_{modul}) prikazana je u tablici specifikacija modula te iznosi $20,9$ %.

Primjer izračuna:

$$E_{proizvedeno,lipanj} = E_{ozračenost,lipanj} \cdot A_{modul,uk} \cdot \eta_{modul} \cdot \eta_{sustav}$$

$$E_{proizvedeno,lipanj} = 180,45 \cdot 47801,34 \cdot 0,209 \cdot 0,7985$$

$$E_{proizvedeno,lipanj} = 1439521,53 \text{ kWh} = 1439,52 \text{ MWh}$$

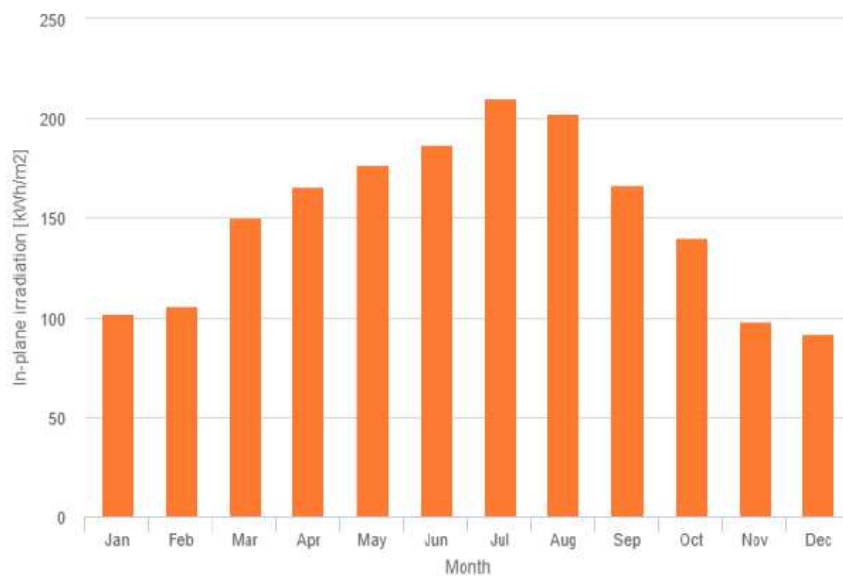
Proizvedena električna energija po mjesecima prikazana je u tablici 4. Navedeni su rezultati dobiveni izračunom i rezultati dobiveni programom PVGIS za odabranu lokaciju te se može zaključiti da se rezultati podudaraju.

Mjesec	Proizvedena električna energija [MWh] - izračunato	Proizvedena električna energija [MWh] - PVGIS
Siječanj	500,66	532,38
Veljača	598,46	632,17
Ožujak	1.000,37	1.014,85
Travanj	1.294,81	1.261,02
Svibanj	1.383,20	1.326,12
Lipanj	1.439,52	1.348,05
Srpanj	1.578,49	1.461,08
Kolovoz	1.528,79	1.427,09
Rujan	1.194,14	1.150,57
Listopad	974,68	974,90
Studeni	593,28	616,50
Prosinac	444,90	468,61
Ukupno:	12.531,30	12.213,34

Tablica 4 Proizvedena električna energija - lokacija 1

2. lokacija

Na slici 25. prikazana je ozračenost po mjesecima kroz cijelu godinu za izabranu lokaciju u Dalmaciji, dobivena programom PVGIS, a točni iznosi ozračenosti prikazani su u tablici 5.



Slika 25 Ozračenost po mjesecima PVGIS - lokacija 2 [20]

Mjesec	Ozračenost [kWh/m ²]
Siječanj	102,05
Veljača	105,96
Ožujak	150,36
Travanj	165,50
Svibanj	177,11
Lipanj	186,86
Srpanj	210,10
Kolovoz	202,48
Rujan	166,60
Listopad	140,43
Studeni	98,35
Prosinac	91,55
Ukupno:	1.797,35

Tablica 5 Ozračenost po mjesecima PVGIS – lokacija 2

Proizvedena električna energija po mjesecima prikazana je u tablici 6. Navedeni su rezultati dobiveni izračunom i rezultati dobiveni programom PVGIS za odabranu lokaciju te se može zaključiti da se rezultati podudaraju.

Mjesec	Proizvedena električna energija [MWh] - izračunato	Proizvedena električna energija [MWh] - PVGIS
Siječanj	814,09	883,23
Veljača	845,29	899,68
Ožujak	1.199,48	1.233,97
Travanj	1.320,29	1.303,20
Svibanj	1.412,88	1.368,19
Lipanj	1.490,66	1.401,41
Srpanj	1.676,05	1.548,64
Kolovoz	1.615,26	1.498,59
Rujan	1.329,03	1.288,86
Listopad	1.120,27	1.132,55
Studeni	784,58	823,39
Prosinac	730,33	790,36
Ukupno:	14.338,21	14.172,07

Tablica 6 Proizvedena električna energija - lokacija 2

6.5. Smanjenje učinkovitosti fotonaponskih modula

Smanjenje učinkovitosti fotonaponskih modula tijekom godina, naziva se i degradacija, je prirodni proces kojem su podložni svi solarni moduli. Degradacija utječe na smanjenje izlazne snage panela. Proizvođač daje 30 godina garancije na solarni modul te nakon tog vremena učinkovitost fotonaponskog modula više nije zadovoljavajuća. Linearno opadanje učinkovitosti solarnog modula prikazano je na slici 26. Odabrani solarni modul

ima stopu degradacije od 0,45 %, što znači da se svake godine učinkovitost modula smanji 0,45 %.



Slika 26 Smanjenje iskoristivosti fotonaponskih modula [19]

Prethodno je izračunata ukupno proizvedena električna energija za prvu godinu rada elektrane. U tablici 7 za prvu lokaciju i u tablici 8 za drugu lokaciju, prikazano je kako se proizvodnja smanjuje kroz godine zbog starenja solarnih modula. Isto je prikazano dijagramima na slikama 27 i 28. Promatran je period od 30 godina koliko traje i garancija. Kroz 30 godina uz godišnju stopu degradacije od 0,45 %, učinkovitost solarnog modula pada s 20,9 % na otprilike 18,3 %.

Za izračun učinkovitosti panela određenu godinu korišten je izraz (16).

$$\eta_{modul,n} = 0,2090 \cdot (1 - 0,0045)^{n-1} \quad (16)$$

Gdje n predstavlja broj godine za koju se računa učinkovitost modula.

Izračun proizvedene električne energije u godini računa se izrazom (17).

$$E_{proizvedeno,n} = E_{ozračenost,n} \cdot A_{modul,uk} \cdot \eta_{modul} \cdot \eta_{sustav} \quad (17)$$

1. lokacija

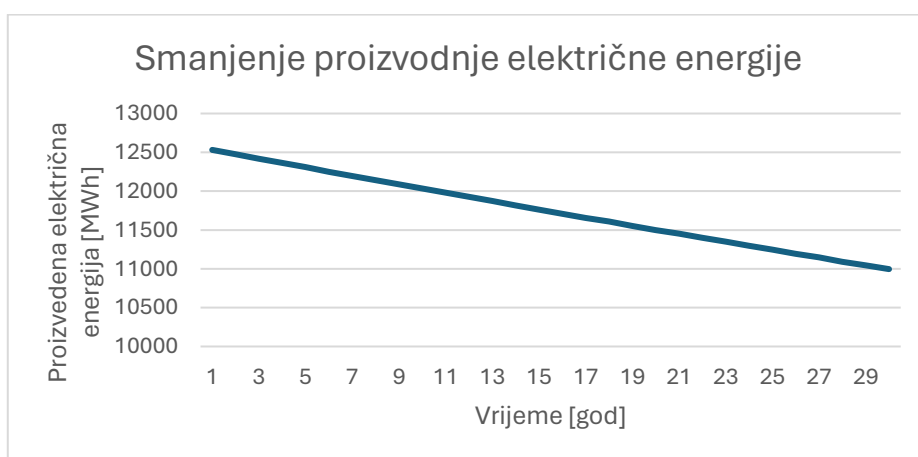
Primjer izračuna za 15. godinu:

$$E_{proizvedeno,15} = 1570,85 \cdot 47801,30 \cdot 0,1962 \cdot 0,7985$$

$$E_{proizvedeno,15} = 11763819,38 \text{ kWh} = 11.763,82 \text{ MWh}$$

Godina	Učinkovitost solarnog modula [%]	Proizvedena električna energija [MWh]	Godina	Učinkovitost solarnog modula [%]	Proizvedena električna energija [MWh]
1	0,2090	12.531,30	16	0,1953	11.709,87
2	0,2081	12.477,33	17	0,1944	11.655,90
3	0,2071	12.417,38	18	0,1936	11.607,94
4	0,2062	12.363,41	19	0,1927	11.553,97
5	0,2053	12.309,45	20	0,1918	11.500,01
6	0,2043	12.249,49	21	0,1910	11.452,05
7	0,2034	12.195,53	22	0,1901	11.398,08
8	0,2025	12.141,57	23	0,1893	11.350,12
9	0,2016	12.087,60	24	0,1884	11.296,15
10	0,2007	12.033,64	25	0,1876	11.248,19
11	0,1998	11.979,68	26	0,1867	11.194,22
12	0,1989	11.925,72	27	0,1859	11.146,26
13	0,1980	11.871,75	28	0,1850	11.092,30
14	0,1971	11.817,79	29	0,1842	11.044,33
15	0,1962	11.763,83	30	0,1834	10.996,36

Tablica 7 Godišnja proizvodnja električne energije kroz životni vijek modula – lokacija 1

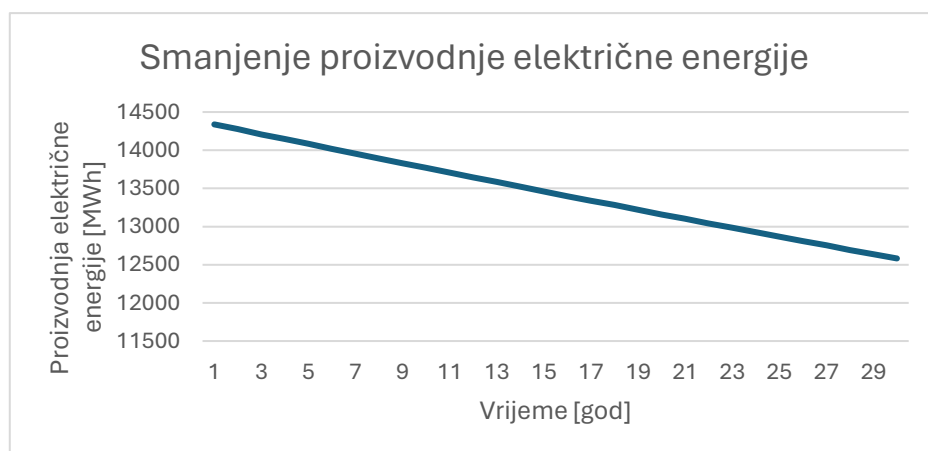


Slika 27 Smanjenje proizvodnje električne energije - lokacija 1

2. lokacija

Godina	Učinkovitost solarnog modula [%]	Proizvedena električna energija [MWh]	Godina	Učinkovitost solarnog modula [%]	Proizvedena električna energija [MWh]
1	0,2090	14.338,18	16	0,1953	13.398,31
2	0,2081	14.276,43	17	0,1944	13.336,56
3	0,2071	14.207,83	18	0,1936	13.281,68
4	0,2062	14.146,09	19	0,1927	13.219,94
5	0,2053	14.084,34	20	0,1918	13.158,19
6	0,2043	14.015,74	21	0,1910	13.103,31
7	0,2034	13.954,00	22	0,1901	13.041,57
8	0,2025	13.892,25	23	0,1893	12.986,68
9	0,2016	13.830,51	24	0,1884	12.924,94
10	0,2007	13.768,77	25	0,1876	12.870,06
11	0,1998	13.707,02	26	0,1867	12.808,31
12	0,1989	13.645,28	27	0,1859	12.753,43
13	0,1980	13.583,54	28	0,1850	12.691,69
14	0,1971	13.521,79	29	0,1842	12.636,80
15	0,1962	13.460,05	30	0,1834	12.581,92

Tablica 8 Godišnja proizvodnja električne energije kroz životni vijek modula – lokacija 2



Slika 28 Smanjenje proizvodnje električne energije - lokacija 2

7. Ekonomska analiza

7.1. Cijena električne energije

Prodajna cijena električne energije određena je na temelju podataka iz godišnjih i mjesečnih izvještaja Hrvatske burze električne energije (CROPEX) [23]. Uzeta je prosječna bazna cijena električne energije za 2024. godinu koja iznosi 69,08 €/MWh. Obično se potpisuje ugovor o otkupu električne energije s distributerom električne energije.

7.2. Analiza isplativosti projekata

Procjena isplativosti projekta važna je za donošenje odluka o ulaganjima. Pruža detaljan uvid u financijske aspekte projekta, omogućujući investitorima da procijene rizike i benefite, usporede alternativne investicijske prilike i osiguraju da su resursi optimalno upotrijebljeni za postizanje dugoročnih ciljeva.

7.2.1. Metoda razdoblja povrata investicije

Metoda razdoblja povrata investicije jednostavna je i široko korištena tehnika za procjenu isplativosti investicijskih projekata. Ova metoda mjeri vrijeme potrebno da se kumulativni novčani tokovi iz projekta izjednače s početnim ulaganjima.

U proračun će se uračunati i promjena vrijednosti novca kroz vrijeme. Predviđanje inflacije za razdoblje od 30 godina može biti izazovno zbog promjenjivih ekonomskih uvjeta. Analizom povijesne stope inflacije u Hrvatskoj i Eurozoni može se dobiti prosječna stopa inflacije. U Eurozoni, dugoročna prosječna godišnja stopa inflacije obično iznosi oko 1,5% do 2%. Europska središnja banka (ECB) cilja na inflaciju od oko 2% godišnje kao dio svoje monetarne politike. Institucije poput Međunarodnog monetarnog fonda (IMF) i Svjetske banke objavljuju dugoročne prognoze inflacije koje se također kreću oko 2% za razvijene zemlje, stoga je izabrana stopa inflacije od 2%.

1. lokacija

U tablici 9 prikazane su cijene prodaje električne energije s uračunatom inflacijom te godišnji prihodi od proizvedene električne energije.

Vrijeme povrata investicije (t_{povrat}) računa se prema izrazu (18).

$$t_{povrat} = \frac{I}{C_t} \quad (18)$$

Gdje je I iznos početne investicije, a C_t godišnji novčani tok. Za izračun će se koristiti prosječni godišnji novčani tok kroz 30 godina, a on iznosi 1.090.059,89 eura. Tada je vrijeme povrata:

$$t_{povrat} = \frac{11.000.000}{1.090.059,89} = 10,09 \text{ godina}$$

Treba napomenuti da u ovaj izračun nisu uključeni troškovi održavanja, stoga je vrijeme povrata investicije nešto dulje.

Godina	Cijena električne energije [€/MWh]	Proizvedena električna energija [MWh]	Godišnji novčani tokovi C_t [€]
1	69,08	12.531,30	865.662,20
2	70,46	12.477,33	879.172,64
3	71,87	12.417,38	892.447,43
4	73,31	12.363,41	906.339,93
5	74,77	12.309,45	920.431,91
6	76,27	12.249,49	934.267,40
7	77,80	12.195,53	948.754,91
8	79,35	12.141,57	963.448,22
9	80,94	12.087,60	978.348,95
10	82,56	12.033,64	993.461,15
11	84,21	11.979,68	1.008.786,51
12	85,89	11.925,72	1.024.327,49

13	87,61	11.871,75	1.040.085,72
14	89,36	11.817,79	1.056.065,44
15	91,15	11.763,83	1.072.268,32
16	92,97	11.709,87	1.088.696,88
17	94,83	11.655,90	1.105.352,73
18	96,73	11.607,94	1.122.820,68
19	98,66	11.553,97	1.139.952,24
20	100,64	11.500,01	1.157.320,94
21	102,65	11.452,05	1.175.544,30
22	104,70	11.398,08	1.193.404,41
23	106,80	11.350,12	1.212.150,54
24	108,93	11.296,15	1.230.514,48
25	111,11	11.248,19	1.249.795,90
26	113,33	11.194,22	1.268.675,23
27	115,60	11.146,26	1.288.504,57
28	117,91	11.092,30	1.307.912,15
29	120,27	11.044,33	1.328.301,04
30	122,68	10.996,36	1.348.982,32

Tablica 9 Godišnji prihodi - lokacija 1

Vrijeme povrata može se preciznije dobiti izračunom akumuliranih neto novčanih tokova koji su prikazani u tablici 10. Akumulirani troškovi omogućuju preciznije praćenje koliko vremena je potrebno da se kumulativni novčani tokovi izjednače s početnim ulaganjima.

Godina	Neto novčani tok (€)	Akumulirani neto novčani tok (€)
1	865.662,20	865.662,20
2	879.172,64	1.744.834,84
3	892.447,43	2.637.282,27

4	906.339,93	3.543.622,20
5	920.431,91	4.464.054,11
6	934.267,40	5.398.321,51
7	948.754,91	6.347.076,42
8	963.448,22	7.310.524,64
9	978.348,95	8.288.873,59
10	993.461,15	9.282.334,74
11	1.008.78,51	10.291.121,25
12	1.024.327,49	11.315.448,74
13	1.040.085,72	12.355.534,46
14	1.056.065,44	13.411.599,90
15	1.072.268,32	14.483.868,22
16	1.088.696,88	15.572.565,10
17	1.105.352,73	16.677.917,83
18	1.122.820,68	17.800.738,51
19	1.139.952,24	18.941.690,75
20	1.157.320,94	20.099.011,69
21	1.175.544,30	21.274.555,99
22	1.193.404,41	22.467.960,40
23	1.212.150,54	23.680.110,94
24	1.230.514,48	24.911.625,42
25	1.249.795,90	26.163.421,32
26	1.268.675,23	27.436.096,55
27	1.288.504,57	28.730.601,12
28	1.307.912,15	30.048.513,27
29	1.328.301,04	31.377.814,31
30	1.348.982,32	32.726.796,63

Tablica 10 Akumulirani neto novčani tokovi - lokacija 1

U 12. godini vrijednost akumuliranih neto novčanih troškova prelazi iznos investicije od 11.000.000 eura. Točno vrijeme povrata je 11,69 godina.

2. lokacija

U tablici 11 prikazane su cijene prodaje električne energije s uračunatom inflacijom te godišnji prihodi od proizvedene električne energije.

Za izračun će se koristiti prosječni godišnji novčani tok kroz 30 godina, a on iznosi 1.247.233,72 eura. Tada vrijeme povrata investicije iznosi:

$$t_{povrat} = \frac{13.700.000}{1.247.233,72} = 10,98 \text{ godina}$$

Treba napomenuti da u ovaj izračun nisu uključeni troškovi održavanja, stoga je očekivani povrat investicije nešto veći.

Godina	Cijena električne energije [€/MWh]	Proizvedena električna energija [MWh]	Godišnji novčani tokovi C_t [€]
1	69,08	14.338,18	990.481,26
2	70,46	14.276,43	1.005.917,51
3	71,87	14.207,83	1.021.116,73
4	73,31	14.146,09	1.037.049,60
5	74,77	14.084,34	1.053.086,34
6	76,27	14.015,74	1.068.980,45
7	77,80	13.954,00	1.085.620,89
8	79,35	13.892,25	1.102.350,25
9	80,94	13.830,51	1.119.441,43
10	82,56	13.768,77	1.136.749,32
11	84,21	13.707,02	1.154.268,38
12	85,89	13.645,28	1.171.993,04
13	87,61	13.583,54	1.190.053,59
14	89,36	13.521,79	1.208.307,39
15	91,15	13.460,05	1.226.883,49
16	92,97	13.398,31	1.245.640,51
17	94,83	13.336,56	1.264.706,23

18	96,73	13.281,68	1.284.736,87
19	98,66	13.219,94	1.304.278,91
20	100,64	13.158,19	1.324.240,54
21	102,65	13.103,31	1.345.054,77
22	104,70	13.041,57	1.365.452,03
23	106,80	12.986,68	1.386.977,81
24	108,93	12.924,94	1.407.913,75
25	111,11	12.870,06	1.429.992,07
26	113,33	12.808,31	1.451.566,22
27	115,60	12.753,43	1.474.296,63
28	117,91	12.691,69	1.496.476,89
29	120,27	12.636,80	1.519.828,50
30	122,68	12.581,92	1.543.550,16

Tablica 11 Godišnji prihodi - lokacija 2

Određivanje vremena povrata investicije računajući akumulirani neto novčani tok, prikazano u tablici 12, slijedi u nastavku.

Godina	Neto novčani tok (€)	Akumulirani neto novčani tok (€)
1	990.481,26	990.481,26
2	1.005.917,51	1.996.398,77
3	1.021.116,73	3.017.515,50
4	1.037.049,60	4.054.565,10
5	1.053.086,34	5.107.651,44
6	1.068.980,45	6.176.631,89
7	1.085.620,89	7.262.252,78
8	1.102.350,25	8.364.603,03
9	1.119.441,43	9.484.044,46
10	1.136.749,32	10.620.793,78

11	1.154.268,38	11.775.062,16
12	1.171.993,04	12.947.055,20
13	1.190.053,59	14.137.108,79
14	1.208.307,39	15.345.416,18
15	1.226.883,49	16.572.299,67
16	1.245.640,51	17.817.940,18
17	1.264.706,23	19.082.646,41
18	1.284.736,87	20.367.383,28
19	1.304.278,91	21.671.662,19
20	1.324.240,54	22.995.902,73
21	1.345.054,77	24.340.957,50
22	1.365.452,03	25.706.409,53
23	1.386.977,81	27.093.387,34
24	1.407.913,75	28501.301,09
25	1.429.996,63	29.931.297,72
26	1.464.296,63	31.395.594,35
27	1.496.476,89	32.892.071,24
28	1.519.828,50	34.411.899,74
29	1.543.550,16	35.955.449,90
30	1.568.382,17	37.523.832,07

Tablica 12 Tablica 10 Akumulirani neto novčani tokovi - lokacija 2

U 13. godini vrijednost akumuliranih neto novčanih tokova prelazi iznos investicije od 13.700.000 eura. Točno vrijeme povratom investicije je 12,63 godine.

7.2.2. Metoda neto sadašnje vrijednosti

Analiza profitabilnosti uključuje izračunavanje neto sadašnje vrijednosti (NPV), koja predstavlja sadašnju vrijednost svih budućih novčanih tokova generiranih projektom, umanjenu za početne troškove. Pozitivan NPV ukazuje na profitabilnost projekta. NPV se računa izrazom 19.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - I \quad (19)$$

Gdje su:

- C_t - neto novčani tok u razdoblju t
- r - diskontna stopa
- n - broj godina (promatrani period je 30 godina)
- I - iznos investicije

Izabrana diskontna stopa iznosi 4% jer se uz inflaciju u obzir uzimaju svi ostali faktori koji mogu utjecati na povećanje rizika investicije i cijene novca.

1.lokacija

Godišnji novčani tokovi su prikazani u tablici 9.

$$NPV = \left(\frac{865662,20}{(1+0,004)^1} + \frac{879172,64}{(1+0,004)^2} + \dots + \frac{1348982,30}{(1+0,004)^{30}} \right) - 11000000$$

Točan NPV je izračunat koristeći Excel te iznosi:

$$NPV = 7.031.490,02 \text{ €}$$

Pozitivan NPV ukazuje na to da je isplativo uložiti u projekt.

2.lokacija

Godišnji novčani tokovi su prikazani u tablici 11.

$$NPV = \left(\frac{990481,26}{(1+0,004)^1} + \frac{1005917,51}{(1+0,004)^2} + \dots + \frac{1543550,16}{(1+0,004)^{30}} \right) - 13700000$$

$$NPV = 6.931.415,22 \text{ €}$$

Pozitivan NPV ukazuje na to da je isplativo uložiti u projekt.

7.2.3. Metoda interne stope rentabilnosti

Interna stopa povrata (IRR) procjenjuje stopu povrata koja izjednačava sadašnju vrijednost budućih novčanih tokova s početnim ulaganjima. IRR je diskontna stopa pri kojoj je NPV jednak nuli, izraz (20). Ako je IRR veći od očekivane stope povrata ili troška kapitala, projekt je isplativ.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - I \quad (20)$$

U praksi se koriste numeričke metode poput Newton-Raphson metode ili druge iterativne metode koje koriste računalni softver kao što su Excel, Python ili specijalizirani kalkulatori. Navedena stopa je izračunata u Excelu koristeći funkciju IRR. IRR iznosi 8% za prvu lokaciju, odnosno 7% za drugu, što je veće od očekivane diskontne stope, a to znači da su projekti isplativi.

8. Utjecaj promjene cijene električne energije na projekt 1

U ovom poglavlju promatrat će se kako se mijenjaju vrijeme povrata investicije i NPV u ovisnosti o cijeni električne energije, za prvu lokaciju, Slavoniju.

8.1. Scenarij 1 – viša cijena električne energije

U ovom scenariju cijena električne energije za prvu godinu iznosi 90 €/MWh. Godišnji novčani tokovi, kao i akumulirani novčani tokovi, s prodajom električne energije po toj cijeni s uključenom inflacijom, prikazani su u tablici 13.

U 10. godini akumulirani godišnji novčani tok premašuje iznos investicije. Točno vrijeme povrata investicije iznosi 9,16 godina. Povećanjem cijene električne energije, vrijeme povrata investicije značajno se smanjuje.

Za izračun NPV koriste se novčani tokovi prikazani u tablici 13. i diskontna stopa od 4%. NPV je izračunat u Excelu.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - I = 12.492.097,60 \text{ €}$$

Povećanjem cijene, očekivano je NPV pozitivan te veći od prethodnog slučaja, što ukazuje na još veću isplativost projekta.

Godina	Cijena električne energije [€/MWh]	Proizvedena električna energija [MWh]	Godišnji novčani tokovi C_t [€]	Akumulirani godišnji novčani tokovi C_t [€]
1	90,00	12.531,30	1.127.817,00	1.127.817,00
2	91,80	12.477,33	1.145.418,89	2.273.235,89
3	93,64	12.417,38	1.162.713,79	3.435.949,68
4	95,51	12.363,41	1.180.813,46	4.616.763,14
5	97,42	12.309,45	1.199.173,01	5.815.936,15

6	99,37	12.249,49	1.217.198,41	7.033.134,56
7	101,35	12.195,53	1.236.073,28	8.269.207,84
8	103,38	12.141,57	1.255.216,27	9.524.424,11
9	105,45	12.087,60	1.274.629,49	10.799.053,60
10	107,56	12.033,64	1.294.318,24	12.093.371,84
11	109,71	11.979,68	1.314.284,68	13.407.656,52
12	111,90	11.925,72	1.334.532,05	14.742.188,57
13	114,14	11.871,75	1.355.062,46	16.097.251,03
14	116,42	11.817,79	1.375.881,44	17.473.132,47
15	118,75	11.763,83	1.396.991,15	18.870.123,62
16	121,13	11.709,87	1.418.394,90	20.288.518,52
17	123,55	11.655,90	1.440.094,76	21.728.613,28
18	126,02	11.607,94	1.462.852,65	23.191.465,93
19	128,54	11.553,97	1.485.172,29	24.676.638,22
20	131,11	11.500,01	1.507.800,87	26.184.439,09
21	133,74	11.452,05	1.531.542,95	27.715.982,04
22	136,41	11.398,08	1.554.811,76	29.270.793,80
23	139,14	11.350,12	1.579.234,93	30.850.028,73
24	141,92	11.296,15	1.603.160,16	32.453.188,89
25	144,76	11.248,19	1.628.280,70	34.081.469,59
26	147,65	11.194,22	1.652.877,40	35.734.346,99
27	150,61	11.146,26	1.678.711,81	37.413.058,80
28	153,62	11.092,30	1.703.996,72	39.117.055,52
29	156,69	11.044,33	1.730.560,13	40.847.615,65
30	159,83	10.996,36	1.757.504,48	42.605.120,13

Tablica 13 Scenarij 1 - godišnji novčani tokovi

8.2. Scenarij 2 – niža cijena električne energije

U ovom scenariju cijena električne energije za prvu godinu iznosi 40 €. Godišnji novčani tokovi prikazani su u tablici 14.

Godina	Cijena električne energije [€/MWh]	Proizvedena električna energija [MWh]	Godišnji novčani tokovi C_t [€]	Akumulirani godišnji novčani tokovi C_t [€]
1	40,00	12.531,30	501.252,00	501.252,00
2	40,80	12.477,33	509.075,06	1.010.327,06
3	41,62	12.417,38	516.761,69	1.527.088,75
4	42,45	12.363,41	524.805,98	2.051.894,73
5	43,30	12.309,45	532.965,78	2.584.860,51
6	44,16	12.249,49	540.977,07	3.125.837,58
7	45,05	12.195,53	549.365,90	3.675.203,48
8	45,95	12.141,57	557.873,90	4.233.077,38
9	46,87	12.087,60	566.502,00	4.799.579,38
10	47,80	12.033,64	575.252,55	5.374.831,93
11	48,76	11.979,68	584.126,52	5.958.958,45
12	49,73	11.925,72	593.125,35	6.552.083,80
13	50,73	11.871,75	602.249,98	7.154.333,78
14	51,74	11.817,79	611.502,86	7.765.836,64
15	52,78	11.763,83	620.884,95	8.386.721,59
16	53,83	11.709,87	630.397,73	9.017.119,32
17	54,91	11.655,90	640.042,12	9.657.161,44
18	56,01	11.607,94	650.156,74	10.307.318,18
19	57,13	11.553,97	660.076,57	10.967.394,75
20	58,27	11.500,01	670.133,72	11.637.528,47
21	59,44	11.452,05	680.685,76	12.318.214,23
22	60,63	11.398,08	691.027,45	13.009.241,68
23	61,84	11.350,12	701.882,19	13.711.123,87

24	63,08	11.296,15	712.515,62	14.423.639,49
25	64,34	11.248,19	723.680,31	15.147.319,80
26	65,62	11.194,22	734.612,18	15.881.931,98
27	66,94	11.146,26	746.094,14	16.628.026,12
28	68,28	11.092,30	757.331,87	17.385.357,99
29	69,64	11.044,33	769.137,83	18.154.495,82
30	71,03	10.996,36	781.113,10	18.935.608,92

Tablica 14 Scenarij 2 - godišnji novčani tokovi

Iznos investicije se dostiže tek u 20. godini. Točno vrijeme povrata iznosi 19,05 godina. Smanjenjem cijene električne energije, vrijeme povrata investicije značajno se povećava. Ova metoda nije nužno ispravni pokazatelj isplativosti projekta jer ne uzima u obzir diskontnu stopu već samo inflaciju te je preporuka uzeti u obzir i druge metode.

Točnije rezultate će dati metoda neto sadašnje vrijednosti. Za izračun NPV koriste se novčani tokovi prikazani u tablici 12. i diskontna stopa od 4%. NPV je izračunat u Excelu.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - I = -559.067,73 \text{ €}$$

Negativan NPV ukazuje na neisplativost projekta, odnosno investitori ne bi trebali uložiti svoja sredstva u ovakav projekt.

Izračunat je NPV za različite cijene električne energije, što je prikazano u tablici 15. Može se primijetiti da projekt nije isplativ u slučaju da prodajna cijena električne energije bude manja od 42,15 €/MWh

Cijena električne energije [€/MWh]	NPV [€]
40,00	-559.067,73
41,00	-298.044,43
42,14	-477,86
42,15	2.132,37
45,00	746.048,80
50,00	2.051.165,33

Tablica 15 NPV projekta za različite cijene električne energije

9. Izvori financiranja – projekt 1

9.1. Scenarij 1 - 100% vlastiti kapital

Ako se projekt financira isključivo vlastitim kapitalom, rezultati financijske analize odgovaraju onima u 7. i 8. poglavlju.

Za cijene električne energije od 69,08 €/MWh vrijedi:

$$t_{povrat} = 11,69 \text{ godina}$$

$$NPV = 7.031.490,02 \text{ €}$$

9.2. Scenarij 2 – 50% vlastiti kapital, 50% kredit prema trenutnoj kamatnoj stopi

Na početku je potrebno manje vlastitog novca te je zbog toga lakše ući u projekt, ali su ukupni troškovi investicije veći zbog kamatne stope kredita. Za određivanje kamatne stope kredita analizirani su uvjeti banaka za dobivanje kredita za velike projekte. Ukupna investicija iznosi 11.000.000 eura, što znači da je potrebno uzeti 5.500.000 eura u obliku kredita.

HBOR (Hrvatska banka za obnovu i razvitak) nudi financijske programe za projekte obnovljivih izvora energije. Kamatne stope za ovakve projekte mogu biti povoljnije, uz dodatne mogućnosti subvencija ili potpora. Tipične kamatne stope mogu se kretati od 2% do 4% uz rok otplate do 15 godina, ali konkretne uvjete je potrebno dogovoriti s HBOR-om.

Veće komercijalne banke poput Zagrebačke banke, Erste banke, i Raiffeisen banke također nude investicijske kredite za projekte obnovljivih izvora energije. Kamatne stope za ovakve projekte obično su nešto više, oko 4% do 6%, s mogućnošću otplate do 20 godina.

Europska investicijska banka (EIB) često sudjeluje u financiranju velikih projekata obnovljivih izvora energije u suradnji s lokalnim bankama, nudeći

povoljne uvjete financiranja. Kamatne stope mogu biti niže, a rok otplate može biti fleksibilan, ovisno o specifičnom projektu i uvjetima suradnje.

Za realni scenarij izabrana je kamatna stopa od 4%, koja je određena na temelju analize dostupnih kreditnih ponuda i kamatnih stopa koje se nude u različitim bankama za ovakve tipove projekata. Vrijeme otplate kredita iznosi 15 godina.

Kada se uzima kredit za neki projekt, najčešće se koristi jedan od sljedećih modela otplate:

Anuitetni model

Ovo je najčešći model otplate kredita, posebno za dugoročne kredite. Godišnje otplate (anuiteti) su jednake tijekom cijelog razdoblja otplate kredita. Svaka uplata uključuje dio glavnice i dio kamate, pri čemu se udio kamate smanjuje, a udio glavnice povećava kako vrijeme prolazi.

Rata glavnice (linearna otplata)

Ovdje se glavnica otplaćuje u jednakim iznosima tijekom cijelog razdoblja otplate kredita. Iznosi kamata se izračunavaju na preostalu glavnici, što znači da ukupna godišnja ili mjesečna otplata opada s vremenom. U početku su otplate veće, a s vremenom se smanjuju.

Anuitetni model otplate kredita često se bira zbog predvidljivih i jednakih godišnjih/mjesečnih iznosa otplate, što olakšava planiranje i upravljanje novčanim tokovima, unatoč tome što može rezultirati većim ukupnim iznosom tijekom trajanja kredita u usporedbi s linearnim modelom. Neki projekti, ovisno o prirodi i vrsti financiranja, mogu koristiti i linearnu otplatu, posebno ako se očekuju veći prihodi u početnim godinama koji mogu pokriti veće uplate.

Anuitetni model

Iznos godišnjih otplata (*PMT*) računa se koristeći izraz (21).

$$PMT = \frac{PV \cdot r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \quad (21)$$

$$PMT = \frac{PV \cdot r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} = 494.676,05 \text{ €}$$

Gdje su:

- PV – iznos kredita (5.500.000 €)
- r – godišnja kamatna stopa (4 %)
- n – broj godina (15 god)

Kredit se otplaćuje kroz 15 godina, svake godine jednako, u iznosu od 494.676,05 €.

Linearni model

Godišnja otplata glavnice (P_{god}) računa se izrazom (22).

$$P_{god} = \frac{PV}{n} \quad (22)$$

$$P_{god} = \frac{PV}{n} = 366.666,67 \text{ €}$$

Gdje su:

- PV – iznos kredita (5.500.000 €)
- n – broj godina (15 god)

Kamate na preostalu glavnici se izračunavaju za svaku godinu. Otplata kredita na ovaj način prikazana je u tablici 16.

Godina	Preostala glavnica [€]	Godišnja kamata [€]	Godišnja otplata glavnice [€]	Ukupna godišnja otplata [€]
1	5.500.000,00	220.000,00	366.666,67	586.666,67
2	5.133.333,33	205.333,33	366.666,67	572.000,00
3	4.766.666,66	190.666,67	366.666,67	557.333,34
4	4.399.999,99	176.000,00	366.666,67	542.666,67
5	4.033.333,32	161.333,33	366.666,67	528.000,00
6	3.666.666,65	146.666,67	366.666,67	513.333,34
7	3.299.999,98	132.000,00	366.666,67	498.666,67
8	2.933.333,31	117.333,33	366.666,67	484.000,00
9	2.566.666,64	102.666,67	366.666,67	469.333,34
10	2.199.999,97	88.000,00	366.666,67	454.666,67
11	1.833.333,30	73.333,33	366.666,67	440.000,00
12	1.466.666,63	58.666,67	366.666,67	425.333,34
13	1.099.999,96	44.000,00	366.666,67	410.666,67
14	733.333,29	29.333,33	366.666,67	396.000,00
15	366.666,62	14.666,66	366.666,67	381.333,33

Tablica 16 Otplata kredita - linearni model

Godišnji novčani tokovi s uračunatim kreditom za obje metode prikazani su u tablici 17, gdje „a“ predstavlja anuitetni model, dok „I“ predstavlja linearni model.

Godina	Godišnji novčani tok – a [€]	Godišnji novčani tok – I [€]	Akumulirani neto novčani tok – a [€]	Akumulirani neto novčani tok – I [€]
1	370.986,15	278.995,53	370.986,15	278.995,53
2	384.496,59	307.172,64	755.482,74	586.168,17
3	397.771,38	335.114,09	1.153.254,11	921.282,26

4	411.663,88	363.673,26	1.564.917,99	1.284.955,52
5	425.755,86	392.431,91	1.990.673,85	1.677.387,43
6	439.591,35	420.934,06	2.430.265,20	2.098.321,49
7	454.078,86	450.088,24	2.884.344,06	2.548.409,73
8	468.772,17	479.448,22	3.353.116,22	3.027.857,95
9	483.672,90	509.015,61	3.836.789,12	3.536.873,56
10	498.785,10	538.794,48	4.335.574,22	4.075.668,05
11	514.110,46	568.786,51	4.849.684,68	4.644.454,55
12	529.651,44	598.994,15	5.379.336,12	5.243.448,71
13	545.409,67	629.419,05	5.924.745,78	5.872.867,76
14	561.389,39	660.065,44	6.486.135,17	6.532.933,20
15	577.592,27	690.934,99	7.063.727,44	7.223.868,18
16	1.088.696,88	1.088.696,88	8.152.424,32	8.312.565,06
17	1.105.352,73	1.105.352,73	9.257.777,05	9.417.917,79
18	1.122.820,68	1.122.820,68	10.380.597,73	10.540.738,47
19	1.139.952,24	1.139.952,24	11.520.549,97	11.680.690,71
20	1.157.320,94	1.157.320,94	12.677.870,91	12.838.011,65
21	1.175.544,30	1.175.544,30	13.853.415,21	14.013.555,95
22	1.193.404,41	1.193.404,41	15.046.819,62	15.206.960,36
23	1.212.150,54	1.212.150,54	16.258.970,16	16.419.110,90
24	1.230.514,48	1.230.514,48	17.489.484,64	17.649.625,38
25	1.249.795,90	1.249.795,90	18.739.280,54	18.899.421,28
26	1.268.675,23	1.268.675,23	20.007.955,77	20.168.096,51
27	1.288.504,57	1.288.504,57	21.296.460,34	21.456.601,08
28	1.307.912,15	1.307.912,15	22.604.372,49	22.764.513,23
29	1.328.301,04	1.328.301,04	23.932.673,53	24.092.814,27
30	1.348.982,32	1.348.982,32	25.281.655,85	25.441.796,59

Tablica 17 Godišnji neto novčani tokovi s uračunatim kreditom

Vrijeme povrata investicije određeno je promatranjem akumuliranih neto godišnjih tokova novca te se može vidjeti da u 19. godini akumulirani neto

godišnji tok prelazi iznos investicije od 11.000.000 eura. Vrijeme povrata investicije iznosi 18,54 godine za anuitetni model kredita, dok za linearni model iznosi 18,40 godina.

Provedena je i analiza isplativosti projekta metodom neto sadašnje vrijednosti. Rezultati su navedeni u tablici 18.

Vrsta kredita	NPV [€]
Anuitetni model	7.031.490,02
Linearni model	7.031.489,99

Tablica 18 NPV - ovisno o tipu kredita

Oba tipa financiranja su isplativa, no bolje je odabrati anuitetni model zbog vremenske promjene vrijednosti novca.

9.2.1. Scenarij 2.1. povoljnija kamatna stopa

Kao povoljnija kamatna stopa kredita izabrana je kamatna stopa od 2%.

- Anuitetni model

Iznos godišnjih otplata (PMT):

$$PMT = \frac{PV \cdot r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} = 428.040,10 \text{ €}$$

Gdje su:

- PV – iznos kredita (5.500.000 €)
- r – godišnja kamatna stopa (2 %)
- n – broj godina (15 god)

Kredit se otplaćuje kroz 15 godina, svake godine jednako, u iznosu od 428.040,10 €.

- Linearni model

Godišnja otplata glavnice (P_{god}) ostaje ista, mijenja se samo kamata.

Otplata kredita na ovaj način prikazana je u tablici 19.

Godina	Preostala glavnica [€]	Godišnja kamata [€]	Godišnja otplata glavnice [€]	Ukupna godišnja otplata [€]
1	5.500.000,00	110.000,00	366.666,67	476.666,67
2	5.133.333,33	102.666,67	366.666,67	469.333,34
3	4.766.666,66	95.333,33	366.666,67	462.000,00
4	4.399.999,99	88.000,00	366.666,67	454.666,67
5	4.033.333,32	80.666,67	366.666,67	447.333,34
6	3.666.666,65	73.333,33	366.666,67	440.000,00
7	3.299.999,98	66.000,00	366.666,67	432.666,67
8	2.933.333,31	58.666,67	366.666,67	425.333,34
9	2.566.666,64	51.333,33	366.666,67	418.000,00
10	2.199.999,97	44.000,00	366.666,67	410.666,67
11	1.833.333,30	36.666,67	366.666,67	403.333,34
12	1.466.666,63	29.333,33	366.666,67	396.000,00
13	1.099.999,96	22.000,00	366.666,67	388.666,67
14	733.333,29	14.666,67	366.666,67	381.333,34
15	366.666,62	7.333,33	366.666,67	374.000,00

Tablica 19 Otplata kredita - linearni model

Godišnji novčani tokovi s uračunatim kreditom za obje metode prikazani su u tablici 20, gdje „a“ predstavlja anuitetni model, dok „l“ predstavlja linearni model.

Godina	Godišnji novčani tok – a [€]	Godišnji novčani tok – I [€]	Akumulirani neto novčani tok – a [€]	Akumulirani neto novčani tok – I [€]
1	437.622,10	388.995,53	437.622,10	388.995,53
2	451.132,54	409.839,30	888.754,65	798.834,83
3	464.407,33	430.447,43	1.353.161,98	1.229.282,26
4	478.299,83	451.673,26	1.831.461,81	1.680.955,52
5	492.391,81	473.098,57	2.323.853,62	2.154.054,09
6	506.227,30	494.267,40	2.830.080,93	2.648.321,49
7	520.714,81	516.088,24	3.350.795,74	3.164.409,73
8	535.408,12	538.114,88	3.886.203,86	3.702.524,62
9	550.308,85	560.348,95	4.436.512,71	4.262.873,56
10	565.421,05	582.794,48	5.001.933,77	4.845.668,04
11	580.746,41	605.453,17	5.582.680,18	5.451.121,22
12	596.287,39	628.327,49	6.178.967,57	6.079.448,70
13	612.045,62	651.419,05	6.791.013,19	6.730.867,76
14	628.025,34	674.732,10	7.419.038,54	7.405.599,86
15	644.228,22	698.268,32	8.063.266,76	8.103.868,18
16	1.088.696,88	1.088.696,88	9.151.963,64	9.192.565,06
17	1.105.352,73	1.105.352,73	10.257.316,37	10.297.917,79
18	1.122.820,68	1.122.820,68	11.380.137,05	11.420.738,47
19	1.139.952,24	1.139.952,24	12.520.089,29	12.560.690,71
20	1.157.320,94	1.157.320,94	13.677.410,23	13.718.011,65
21	1.175.544,30	1.175.544,30	14.852.954,53	14.893.555,95
22	1.193.404,41	1.193.404,41	16.046.358,94	16.086.960,36
23	1.212.150,54	1.212.150,54	17.258.509,48	17.299.110,90
24	1.230.514,48	1.230.514,48	18.489.023,96	18.529.625,38
25	1.249.795,90	1.249.795,90	19.738.819,86	19.779.421,28
26	1.268.675,23	1.268.675,23	21.007.495,09	21.048.096,51
27	1.288.504,57	1.288.504,57	22.295.999,66	22.336.601,08
28	1.307.912,15	1.307.912,15	23.603.911,81	23.644.513,23

29	1.328.301,04	1.328.301,04	24.932.212,85	24.972.814,27
30	1.348.982,32	1.348.982,32	26.281.195,17	26.321.796,59

Tablica 20 Godišnji neto novčani tokovi s uračunatim kreditom

Vrijeme povrata investicije određeno je promatranjem akumuliranih neto godišnjih tokova novca te se može vidjeti da u 18. godini akumulirani godišnji tok novca prelazi iznos investicije. Vrijeme povrata iznosi 17,66 godina za anuitetni model, a za linearni 17,63 godine.

Rezultati analize projekta metodom neto sadašnje vrijednosti navedeni su u tablici 21.

Vrsta kredita	NPV [€]
Anuitetni model	7.772.374,35
Linearni model	7.743.118,95

Tablica 21 NPV

9.2.2. Scenarij 2.2. nepovoljnija kamatna stopa

Kao nepovoljnija kamatna stopa kredita izabrana je kamatna stopa od 6%.

- Anuitetni model

Iznos godišnjih otplata (PMT):

$$PMT = \frac{PV \cdot r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} = 566.295,20 \text{ €}$$

Gdje su:

- PV – iznos kredita (5.500.000 €)
- r – godišnja kamatna stopa (6 %)
- n – broj godina (15 god)

Kredit se otplaćuje kroz 15 godina, svake godine 566.295,20 €.

- Linearni model

Godišnja otplata glavnice (P_{god}) ostaje ista, mijenja se samo kamata. Otplata kredita na ovaj način prikazana je u tablici 22.

Godina	Preostala glavnica [€]	Godišnja kamata [€]	Godišnja otplata glavnice [€]	Ukupna godišnja otplata [€]
1	5.500.000,00	330.000,00	366.666,67	696.666,67
2	5.133.333,33	308.000,00	366.666,67	674.666,67
3	4.766.666,66	286.000,00	366.666,67	652.666,67
4	4.399.999,99	264.000,00	366.666,67	630.666,67
5	4.033.333,32	242.000,00	366.666,67	608.666,67
6	3.666.666,65	220.000,00	366.666,67	586.666,67
7	3.299.999,98	198.000,00	366.666,67	564.666,67
8	2.933.333,31	176.000,00	366.666,67	542.666,67
9	2.566.666,64	154.000,00	366.666,67	520.666,67
10	2.199.999,97	132.000,00	366.666,67	498.666,67
11	1.833.333,30	110.000,00	366.666,67	476.666,67
12	1.466.666,63	88.000,00	366.666,67	454.666,67
13	1.099.999,96	66.000,00	366.666,67	432.666,67
14	733.333,29	44.000,00	366.666,67	410.666,67
15	366.666,62	22.000,00	366.666,67	388.666,67

Tablica 22 Otplata kredita - linearni model

Godišnji novčani tokovi s uračunatim kreditom za obje metode prikazani su u tablici 23, gdje „a“ predstavlja anuitetni model, dok „l“ predstavlja linearni model.

Godina	Godišnji novčani tok – a [€]	Godišnji novčani tok – I [€]	Akumulirani neto novčani tok – a [€]	Akumulirani neto novčani tok – I [€]
1	299.367,00	168.995,53	299.367,00	168.995,53
2	312.877,44	204.505,97	612.244,44	373.501,50
3	326.152,23	239.780,76	938.396,66	613.282,26
4	340.044,73	275.673,26	1.278.441,39	888.955,52
5	354.136,71	311.765,24	1.632.578,10	1.200.720,76
6	367.972,20	347.600,73	2.000.550,30	1.548.321,49
7	382.459,71	384.088,24	2.383.010,01	1.932.409,73
8	397.153,02	420.781,55	2.780.163,03	2.353.191,29
9	412.053,75	457.682,28	3.192.216,77	2.810.873,57
10	427.165,95	494.794,48	3.619.382,72	3.305.668,05
11	442.491,31	532.119,84	4.061.874,03	3.837.787,89
12	458.032,29	569.660,82	4.519.906,32	4.407.448,71
13	473.790,52	607.419,05	4.993.696,84	5.014.867,77
14	489.770,24	645.398,77	5.483.467,08	5.660.266,54
15	505.973,12	683.601,65	5.989.440,19	6.343.868,19
16	1.088.696,88	1.088.696,88	7.078.137,07	7.432.565,07
17	1.105.352,73	1.105.352,73	8.183.489,80	8.537.917,80
18	1.122.820,68	1.122.820,68	9.306.310,48	9.660.738,48
19	1.139.952,24	1.139.952,24	10.446.262,72	10.800.690,72
20	1.157.320,94	1.157.320,94	11.603.583,66	11.958.011,66
21	1.175.544,30	1.175.544,30	12.779.127,96	13.133.555,96
22	1.193.404,41	1.193.404,41	13.972.532,37	14.326.960,37
23	1.212.150,54	1.212.150,54	15.184.682,91	15.539.110,91
24	1.230.514,48	1.230.514,48	16.415.197,39	16.769.625,39
25	1.249.795,90	1.249.795,90	17.664.993,29	18.019.421,29
26	1.268.675,23	1.268.675,23	18.933.668,52	19.288.096,52
27	1.288.504,57	1.288.504,57	20.222.173,09	20.576.601,09
28	1.307.912,15	1.307.912,15	21.530.085,24	21.884.513,24

29	1.328.301,04	1.328.301,04	22.858.386,28	23.212.814,28
30	1.348.982,32	1.348.982,32	24.207.368,60	24.561.796,60

Tablica 23 Godišnji neto novčani tokovi s uračunatim kreditom

Akumulirani godišnji tok premašuje iznos investicije u 20. godini. Vrijeme povrata investicije određeno je promatranjem akumuliranih neto godišnjih tokova novca te se može vidjeti da ono iznosi 19,48 godina za anuitetni model, a 19,17 godina za linearni model. Rezultati analize isplativosti projekta metodom neto sadašnje vrijednosti navedeni su u tablici 24.

Vrsta kredita	NPV [€]
Anuitetni model	6.235.200,57
Linearni model	6.319.861,03

Tablica 24 NPV

Zaključak

U radu je provedena analiza projekata izgradnje sunčanih elektrana na dvije različite lokacije u Hrvatskoj. Proučavani su različiti faktori koji utječu na isplativost i izvedivost ovakvih projekata, uključujući geografsku lokaciju, troškove izgradnje, mogućnosti financiranja te relevantnu zakonsku regulativu. Detaljnom analizom navedenih parametara nastoji se pružiti jasna slika o potencijalu i izazovima povezanim s izgradnjom sunčanih elektrana na odabranim lokacijama. Tablica 25 pruža uvid u ključne financijske pokazatelje i uspoređuje isplativost projekata na dvije različite lokacije te za prvu lokaciju pokazuje detaljniju analizu. Na temelju provedenih analiza, može se zaključiti da obje lokacije imaju potencijal za isplativu izgradnju sunčanih elektrana, uzimajući u obzir različite troškove zemljišta i financijske modele.

Parametar	Lokacija 1	Lokacija 2
Trenutna cijena električne energije: 69,08 €/MWh		
Vrijeme povrata investicije (bez kredita) [godine]	11,69	12,63
NPV (bez kredita) [€]	7.031.490,02	6.931.415,22
Vrijeme povrata investicije (s kreditom 2%) [godine]	17,66	
NPV (s kreditom 2%) [€]	7.772.374,35	
Vrijeme povrata investicije (s kreditom 4%) [godine]	18,54	
NPV (s kreditom 4%) [€]	7.031.490,02	
Vrijeme povrata investicije (s kreditom 6%) [godine]	19,48	
NPV (s kreditom 6%) [€]	6.235.200,57	
Cijena električne energije: 40 €/MWh		
Vrijeme povrata investicije [godine]	19,05	
NPV (bez kredita) [€]	-559.067,73	
Cijena električne energije: 90 €/MWh		
Vrijeme povrata investicije [godine]	9,16	
NPV (bez kredita) [€]	12.492.087,60	

Tablica 25 Pregled rezultata analize

Metode ekonomske analize, uključujući vrijeme povrata investicije, neto sadašnju vrijednost (NPV) i internu stopu povrata (IRR), pokazale su da projekti mogu biti vrlo isplativi, osobito uz povoljne uvjete financiranja. Prva lokacija ima povoljniju cijenu zemljišta, ali manju osunčanost, što rezultira manjom godišnjom proizvodnjom električne energije. S druge strane, druga lokacija ima skuplje zemljište, ali veću osunčanost što doprinosi većoj godišnjoj proizvodnji električne energije. Time su obje lokacije gotovo jednako pogodne za izgradnju jer se nedostatak jedne kompenzira s njenom pozitivnom karakteristikom.

Za prvu lokaciju provedene su dodatne analize koje su pokazale kako promjena cijene električne energije utječe na isplativost projekta. Također su istražene različite opcije financiranja, uključujući potpuno financiranje vlastitim kapitalom te kombinaciju vlastitog kapitala i kredita. Analiza je pokazala da kombinirano financiranje može biti dobar izbor zbog manjih početnih ulaganja, unatoč višim ukupnim troškovima zbog kamatnih stopa.

Rad pruža sveobuhvatnu sliku o tehničkim, zakonskim i ekonomskim aspektima izgradnje sunčanih elektrana u Hrvatskoj. Kako bi se povećala isplativost i održivost ovakvih projekata, važno je daljnje istraživanje optimalnih lokacija i financijskih modela. Preporučuje se praćenje budućih promjena u regulatornom okviru i tržišnim uvjetima kako bi se osigurala dugoročna održivost i profitabilnost investicija u obnovljive izvore energije.

Literatura

- [1] MINGOR, "Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine," lipanj 2023.
- [2] ResearchGate, "Design and Implementation of a Low-cost Irradiance-Temperature Data Logging Meter for Solar PV Applications - Scientific Figure," [Online].
Poveznica: https://www.researchgate.net/figure/Solar-radiation-spectrum-diagram-2_fig1_354492891.
- [3] W. Xu, D. Chen and H. Qian, "Non-Uniform Temperature Fields and Effects of Steel Structures: Review and Outlook," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 15, p. 5255, 2020.
- [4] "Energija sunca," predavanje održano na predmetu Obnovljivi izvori i pohrana energije, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2022.
- [5] M. Ouria and H. Sevinc, "Evaluation of the potential of solar energy utilization in Famagusta, Cyprus," *Sustainable Cities and Society*, vol. 37, pp. 189-202, 2018.
- [6] S. Vincek, Lj. Cvitaš, "Sustav za nadzor i upravljanje pozicionera fotonaponskih ploča," u *Tehnički glasnik*, vol. 8, br. 2, str. 134-139, 2014.
- [7] M. S. Khan, M. a. M. Ramli, H. F. Sindi, T. Hidayat i H. R. E. H. Boucekara, "Estimation of Solar Radiation on a PV Panel Surface with an Optimal Tilt Angle Using Electric Charged Particles Optimization," *Electronics*, vol. 11, br. 13, str. 2056, 2022.
- [8] T. C. Wang i S. Y. Tsai, "Solar panel supplier selection for the photovoltaic system design by using fuzzy Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approaches," *Energies*, vol. 11, br. 8, str. 1989, 2018.
- [9] Verdewatts, "The future of Solar: 3 main types of panels," Verdewatts, 2024.
- [10] D. N. Energy, "Silicon Solar Cells With PERC Technology - Knowledge - DS New Energy," 23. veljače 2019.
- [11] D. N. Energy, "String inverters VS. power optimizers VS. microinverters - Knowledge - DS New Energy," 9. srpnja 2020.

- [12] Wanhos web, "5KW Ground Mount Solar System manufacturers and suppliers China - Factory price
- [13] "Integrirane sunčane elektrane," hep.hr [Online]. Poveznica: <https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/integrirane-suncane-elektrane/2981>.
- [14] "Neintegrirane sunčane elektrane," hep.hr. [Online]. Poveznica: <https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/neintegrirane-suncane-elektrane/3422>.
- [15] Neoen, Ires ekologija: „Agrosolarstvo u Hrvatskoj,“ Verzija 1, 2022.
- [16] EnergoVizija d.o.o. i partneri, "Vodič za razvoj i provedbu projekata obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj," Europska banka za obnovu i razvoj (EBRD), prosinac 2021.
- [17] HEP ODS, "Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu," veljača 2018.
- [18] Zajednički informacijski sustav zemljišnih knjiga i katastra - javna aplikacija. [Online]. Poveznica: <https://oss.uredjenazemlja.hr/map>
- [19] Risen Energy Co., Ltd., "Titan high performance bifacial perc monocrystaline module," [Online]. Poveznica: <https://www.risenenergy.com>
- [20] EU Science Hub, "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)," February 14, 2024. [Online]. Poveznica: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
- [21] Valentin Software GmbH, "PV*SOL.
- [22] A. Veiga, "Ultimate Guide to Utility-scale PV system losses," RatedPower, December 20, 2022. [Online]. Poveznica: <https://ratedpower.com/blog/utility-scale-pv-losses/>
- [23] HRVATSKA BURZA ELEKTRIČNE ENERGIJE d.o.o. - cropex.hr. [Online]. Poveznica: <https://www.cropex.hr/hr/>

Sažetak

Hrvatska ima veliki potencijalom za izgradnju sunčanih elektrana. U radu su detaljno objašnjene tehničke komponente sunčane elektrane, regulatorni okvir i zakonski propisi koji se odnose na izgradnju, kao i troškovi povezani s projektom. Modelirana je potencijalna sunčana elektrana, snage 10 MW, na dvije različite lokacije, pri čemu su parametri elektrane jednaki, dok se cijena zemljišta razlikuje ovisno o lokaciji. Nakon modeliranja, analizirana je proizvodnja električne energije na svakoj lokaciji te izračunati mogući prihodi. U ekonomskoj analizi projekata korištene su metode vremena povrata investicije, neto sadašnje vrijednosti (NPV) i interne stope povrata (IRR) za obje lokacije na temelju čega se može vidjeti koliko su projekti isplativi te kako lokacija utječe na to. Za prvu lokaciju provedene su detaljnije analize. Promatrano je kako promjena cijene električne energije utječe na projekt. Proučene su različite opcije financiranja projekta: potpuno financiranje vlastitim kapitalom te kombinacija financiranja s 50% vlastitog kapitala i 50% kredita s određenom kamatnom stopom. Rad pruža sveobuhvatnu sliku o tehničkim, zakonskim i ekonomskim aspektima izgradnje sunčanih elektrana u Hrvatskoj.

Summary

Croatia has great potential for the construction of solar power plants. The paper provides a detailed explanation of the technical components of a solar power plant, the regulatory framework, and the legal regulations related to construction, as well as the costs associated with the project. A potential solar power plant with a capacity of 10 MW was modeled at two different locations, with identical plant parameters, while the land price varies depending on the location. After modeling, the electricity production at each location was analyzed and potential revenues were calculated. In the economic analysis of the projects, methods such as the payback period, net present value (NPV), and internal rate of return (IRR) were used for both locations to assess the profitability of the projects and how the location affects it. Detailed analyses were conducted for the first location. The impact of electricity price changes on the project was examined. Various project financing options were studied: full financing with own capital and a combination of 50% own capital and 50% loan with a specified interest rate. The paper offers a comprehensive overview of the technical, legal, and economic aspects of solar power plant construction in Croatia.