

Integracija sunčanih elektrana u distribucijsku elektroenergetsku mrežu

Duvnjak, Bruno

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:168:354220>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 128

**INTEGRACIJA SUNČANIH ELEKTRANA U DISTRIBUCIJSKU
ELEKTROENERGETSKU MREŽU**

Bruno Duvnjak

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 128

**INTEGRACIJA SUNČANIH ELEKTRANA U DISTRIBUCIJSKU
ELEKTROENERGETSKU MREŽU**

Bruno Duvnjak

Zagreb, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 128

Pristupnik: **Bruno Duvnjak (0036519732)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Profil: Elektroenergetika
Mentor: prof. dr. sc. Ivica Pavić

Zadatak: **Integracija sunčanih elektrana u distribucijsku elektroenergetsku mrežu**

Opis zadatka:

Izgradnja i priključenje sunčane elektrane na distribucijsku elektroenergetsku mrežu kompleksan je zadatak koji u sebi obuhvaća više segmenata tehničke, ekonomske i regulatorne prirode. Za pripremu dokumentacije potrebne za ishodenje preliminarnog mišljenja o mogućnosti priključenja operatora distribucijskog sustava potrebno je napraviti idejno rješenje sunčane elektrane. Idejnim rješenjem potrebno je dati prijedlog rasporeda fotonaponskih panela na lokaciji na kojoj je planirana izgradnja elektrane te tehničke karakteristike izmjenjivača (invertera) i internih transformatorskih stanica SN/NN kV. Osim toga, potrebno je predvidjeti i trase SN kabela za povezivanje internih transformatorskih stanica na rasklopno postrojenje i trasu SN kabela za priključak tog postrojenja na distribucijsku mrežu. U diplomskom radu potrebno je na jednom konkretnom primjeru obraditi problematiku priključenja sunčane elektrane na distribucijsku mrežu s tehničkog stajališta te dati kratki osvrt na zakonsku regulativu i ekonomsku isplativost projekta izgradnje sunčane elektrane. Proračune i analize potrebno je provesti u dostupnim programskim paketima za analizu fotonaponskih i elektroenergetskih sustava (PVsyst, Neplan i sl.).

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 128

**INTEGRACIJA SUNČANIH ELEKTRANA U
DISTRIBUCIJSKU ELEKTROENERGETSKU
MREŽU**

Bruno Duvnjak

Zagreb, rujan 2024.

Zahvala

Dragi roditelji, htio bih izraziti najdublju zahvalnost vama, mom neumornom osloncu tijekom ovog izazovnog studijskog putovanja. Vaša ljubav i razumijevanje bili su neizmjerni u svakom trenutku, a neprestana podrška bila je moja snaga kada su izazovi bili najveći. Vaši su me savjeti inspirirali da budem najbolja verzija sebe. Hvala vam što ste uvijek bili uz mene, vjerujući u mene i potičući me da slijedim svoje snove.

Cijenjeni mentore, hvala Vam na vašoj strpljivosti, podršci i vođenju tijekom procesa pisanja mog diplomskog rada. Vaša stručnost, motivacija i konstruktivna kritika bili su ključni faktori u oblikovanju ovog rada. Bez vaše podrške, ovaj rad ne bi bio moguć.

Hvala svima koji su mi pružili podršku i pomoć tijekom procesa pisanja diplomskog rada. Vaša podrška, savjeti i ohrabrivanje mnogo su mi značili i doprinijeli uspješnom završetku ovog projekta.

Sadržaj

Uvod.....	1
1. Tehnički opis.....	2
1.1. Tehnologija sunčane elektrane	2
1.2. Osnovni podatci fotonaponskog modula.....	2
1.3. Osnovni podatci izmjenjivača	4
1.4. Osnovne smjernice za projektiranje	5
1.5. Pristupne i servisne prometnice.....	6
1.6. Priključenje na kanalizacijsku i vodovodnu mrežu.....	7
1.7. Interne kableske trase	7
1.8. Sustav zaštite od munje i uzemljenje	8
1.9. Aspekti zaštite okoliša.....	8
1.10. Mjere zaštite od požara	9
1.11. Zakonska regulativa	9
1.12. Planirana dinamika izgradnje SE Lupoglav	10
2. Jedinstveni opis zahvata u prostoru	11
2.1. Opis oblika i veličina namjeravanog zahvata.....	11
2.2. Način priključenja na prometnu infrastrukturu	12
2.3. Način priključenja na elektroenergetsku mrežu	12
3. Analiza mogućnosti priključenja elektrane na distribucijsku mrežu	13
3.1. Postojeće stanje mreže	13
3.2. Izračun kapaciteta u pojnoj TS VN/SN za priključenje građevine	13
3.3. Prijedlog priključenja elektrane	15
3.3.1. Analizirana varijanta priključenja.....	15
4. Proizvodnja električne energije.....	20
4.1. Programski alat VirtoCAD	21

4.2. Programski alat PVsyst	27
5. Prostorno planska dokumentacija	31
6. Utjecaj sunčane elektrane na smanjenje emisije CO ₂ i izračun smanjenja ukupnog ugljičnog otiska.....	34
7. Tehno-ekonomska analiza	38
7.1. Investicijski troškovi (CAPEX)	38
7.2. Operativni troškovi (OPEX)	40
7.3. Prihod od prodaje električne energije.....	41
7.4. Ostali ulazni parametri za tehno-ekonomsku analizu	42
7.4.1. Financiranje.....	42
7.4.2. Dugotrajna imovina	43
7.4.3. Stopa poreza i diskontna stopa.....	44
7.5. Izračun i prikaz rezultata	44
7.5.1. Isplativost projekta.....	44
7.5.2. Isplativost uloženog kapitala.....	46
7.5.3. Financijska održivost projekta	47
7.5.4. Analiza osjetljivosti	48
Zaključak.....	51
Literatura.....	52
Sažetak	58
Summary	59

Uvod

Integracija sunčanih elektrana na distribucijsku mrežu postaje sve značajnija tema u kontekstu tranzicije prema održivoj energiji i smanjenju emisije stakleničkih plinova. Sunčane elektrane predstavljaju ključni dio strategija za proizvodnju čiste energije, koristeći Sunčevu svjetlost kao obnovljiv izvor energije. Fokus na proces integracije sunčane elektrane na distribucijsku mrežu iz tehničke, regulatorne i ekonomske perspektive postaje sve važniji s porastom instalirane snage sunčanih elektrana te potrebom za optimizacijom njihove povezanosti s postojećom elektroenergetskom infrastrukturom.

Glavni je cilj ovog rada pružiti dublji uvid u izazove i mogućnosti koji se javljaju prilikom integracije sunčanih elektrana na distribucijsku mrežu te analizirati tehničke aspekte kao što su proračuni za optimalni raspored panela, karakteristike izmjenjivača i regulatorni okvir priključenja na mrežu.

Analizirat će se također i ekonomski aspekti integracije sunčanih elektrana na distribucijsku mrežu, uključujući troškove priključenja, mogućnosti financiranja te vremensku isplativost projekta. Kroz analizu konkretnih primjera i studija slučaja, cilj je sagledati sveobuhvatno razumijevanje procesa integracije sunčanih elektrana na distribucijsku mrežu i identificirati najefikasnije prakse i strategije.

Integracija sunčane elektrane na elektroenergetsku distribucijsku mrežu u nastavku će se obraditi na primjeru SE Lupoglav.

1. Tehnički opis

1.1. Tehnologija sunčane elektrane

Sunčana elektrana sastoji se od nekoliko osnovnih komponenti pri čemu su najvažnije fotonaponski paneli i izmjenjivači pomoću kojih elektrana proizvodi električnu energiju. Proces proizvodnje ne pridonosi direktnom zagađenju okoliša i karakterizira ga čista električna energija. Fotonaponski paneli sastoje se od fotonaponskih modula koji pretvaraju Sunčevu energiju u istosmjernu električnu energiju, da bi ju zatim izmjenjivači pretvorili u izmjeničnu energiju pogodnu za upotrebu u elektroenergetskim mrežama. [1]

Za razliku od većine drugih izvora energije, obnovljivih i neobnovljivih, sunčane elektrane nemaju negativnih produkata kao što su buka, onečišćenje prirode, emisije štetnih plinova, otpad koji nastaje nakon iskorištavanja sirovine potrebne za pogon elektrana, niti je potrebno posebno skladištenje goriva prije same pretvorbe, jer je gorivo za pogon sunčane elektrane upravo samo Sunce i njegovo zračenje koje u svojim oblicima dolazi do Zemlje. Nadalje, priprema radova za izgradnju elektrane ne mijenja teren na kojem se planira njezina instalacija, te se nakon životnog vijeka elektrane podloga na kojoj je postavljena, u potpunosti može vratiti u prvobitan oblik te prenamijeniti u druge svrhe. [2]

1.2. Osnovni podatci fotonaponskog modula

Kao primarni izvor proizvodnje električne energije sunčane elektrane koristit će se fotonaponski monokristalni silicijski moduli RSM132-8-700-725BHDG tvrtke Risen Energy snage 700 W, a učinkovitosti pretvorbe energije od 23.3 %. [3] Obuhvat zahvata približno iznosi 7,1 ha, dok površina koju zauzimaju fotonaponski moduli približno iznosi 2,9 ha. Pri tome se površina odnosi na samu tlocrtnu površinu fotonaponskih panela, dok je između redova potrebno ostaviti dovoljan razmak kako se paneli ne bi međusobno zasjenjivali.

Tablica 1.1 Tehničke karakteristike odabranog fotonaponskog panela [3]

Tehnička karakteristika	Vrijednost
Tip fotonaponskog panela	Monokristalni
Proizvođač panela	Risen Energy

Model panela	RSM132-8-700-725BHDG
Dimenzije panela [mm]	2384/1303/35
Težina [kg]	40,5
Vršna snaga [Wp]	700

Fotonaponski moduli spajaju se u stringove (petlje) kako bi im se napon prilagodio ulaznom naponu izmjenjivača (DC/AC pretvarač). Određeni broj stringova spaja se zatim u paralelu kako bi se dobila što veća snaga, vodeći pritom računa o dozvoljenoj ulaznoj struji u izmjenjivač. Serijsko povezivanje modula u stringove izvodi se tipskim vodičima za fotonaponske sustave. Sunčana elektrana dimenzionirana je tako da se optimira dnevna krivulja proizvodnje pri čemu omjer instalirane i priključne snage (DC/AC omjer) može iznositi 1,5. Takvim dimenzioniranjem smanjuju se gubici te se postiže veća proizvodnje elektrane u trenucima manjeg ozračenja (jutarnji i popodnevni sati). Točan omjer instalirane i priključne snage odredit će se na temelju detaljnije procjene proizvodnje električne energije. Priključna snaga elektrane biti će ograničena na AC strani izmjenjivača ili na mjestu priključka na mrežu u skladu sa mogućom priključnom snagom. [4]



Sl. 1.1 Uobičajeni fotonaponski modul [5]

Prilikom izvođenja fotonaponskog modula koristit će se antirefleksivni sloj koji u značajnoj mjeri reducira refleksiju sunčevog zračenja te tako povećava korisnost samog

modula. Fotonaponski moduli postavljaju se na unaprijed pripremljene primarne nosače postavljene na tipsku aluminijsku konstrukciju za montažu fotonaponskih modula na zemlju - neintegrirana sunčana elektrana. Okvir modula mora biti kompatibilan s materijalom montažne konstrukcije. Nosiva potkonstrukcija postavit će se na fiksni nagib, pri čemu će se voditi računa o međusobnom zasjenjenju redova modula i mogućoj proizvodnji. Točan kut nagiba i dimenzije konstrukcije odredit će se u sljedećim fazama projekta, a okvir fotonaponskog modula mora biti kompatibilan s materijalom montažne konstrukcije. [6]

1.3. Osnovni podatci izmjenjivača

Izmjenjivači, DC/AC pretvarači ili inverteri, uređaji su učinske elektronike koji imaju funkciju pretvorbe istosmjernog napona, dobivenog iz sustava fotonaponskih modula, u izmjenični napon. Izmjenjivači mogu biti centralni ili distribuirani, a o odabiru tipa izmjenjivača ovisi njihova izlazna snaga, točan broj izmjenjivača i način montaže. U ovom projektu koristit će se distribuirani izmjenjivači tipa SUN2000-215KTL, izlazne snage 200 kW, proizvođača Huawei Technologies. Svaki će izmjenjivač biti opremljen:

- uređajem za automatsku sinkronizaciju postrojenja elektrane i mreže,
- sustavom za praćenje valnog oblika napona mreže,
- zaštitnim uređajem ($U <$, $U >$, $f <$, $f >$),
- sustavom zaštite od injektiranja istosmjerne struje u mrežu,
- uređajem za isključenje s mreže i uključenje na mrežu (isključenje s mreže u slučaju nedozvoljenog pogona i uključenje na mrežu nakon ispunjenja uvjeta za paralelni rad). [7]

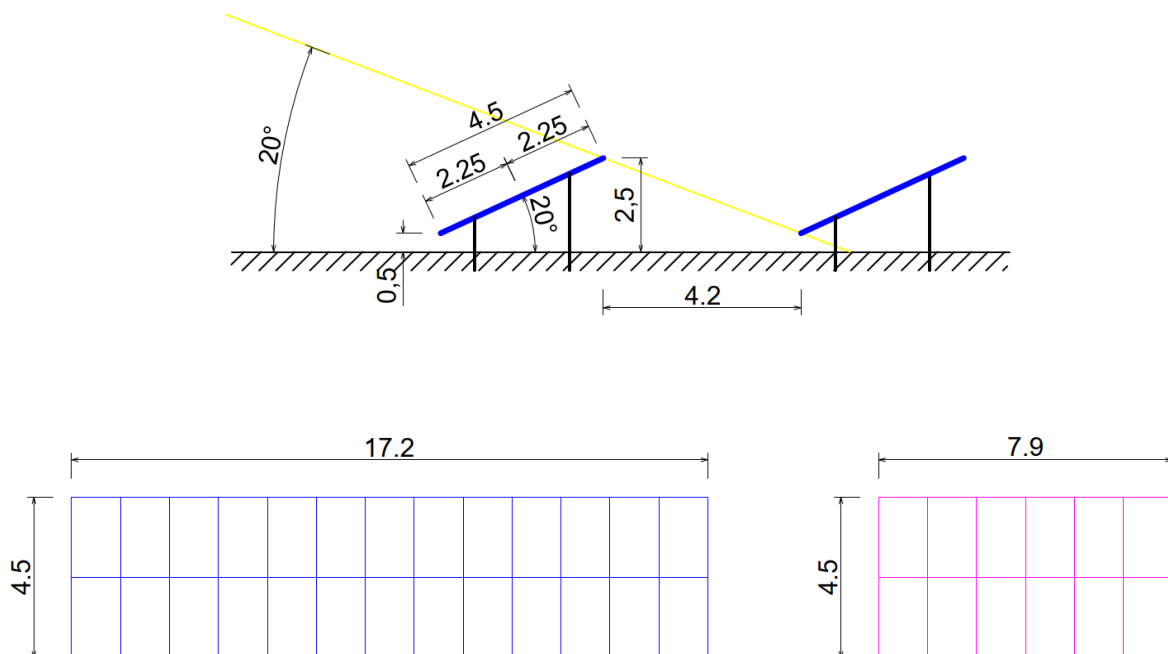


Sl. 1.2 Primjer montaže izmjenjivača uz profilne nosače konstrukcije [8]

Izmjenjivači će se sa pripadnom trafostanicom povezati kabelima položenim direktno u zemlju ili u kabelsku kanalizaciju koja će se izgraditi za potrebe polaganja interne kableske mreže sunčane elektrane. Izmjenjivači niza postavljaju se uz profilne nosače montažnih konstrukcija i tako ne zahtijevaju dodatan prostor (Sl. 1.2). [9]

1.4. Osnovne smjernice za projektiranje

Fotonaponski paneli planiraju se montirati na fiksnu potkonstrukciju rešetkaste strukture od aluminija, učvršćenu u tlo putem specijalnih vijaka ili betoniranjem ovisno o geomehaničkim svojstvima tla. Predviđeno je polaganje fotonaponskog generatora u dva reda po 13 modula i u dva reda po 6 modula. Ukupna dimenzija svake potkonstrukcije iznosi približno 17,2 x 4,3 m i 7,9 x 4,3 m, a težina na koju treba biti projektirana je 1053 kg, odnosno 486 kg. Najveća visina konstrukcije sa montiranim modulima iznosit će približno 2,5 m od razine tla. Nizovi se slažu na čeličnu potkonstrukciju koja se potom temelji, a prilikom slaganja modula od velike je važnosti udaljenost između dvaju redova kako sjena jednog reda modula ne bi uzrokovala zasjenjenje drugog (Sl. 1.3). [10]



Sl. 1.3 Dimenzije grupa panela korištenih u projektiranju sunčane elektrane

Za izvođenje ovakvih fotonaponskih sustava nužno je poštivati nekoliko osnovnih smjernica za ostvarenje pouzdanog rad i izbjegavanje problema do kojih može doći pri izvođenju radova te kasnijem radu sustava. Prije postavljanja nosive potkonstrukcije od aluminijske, potrebno je odraditi niveliranje uzdignuća ili udubljenja koji bi eventualno predstavljali probleme prilikom same montaže. Također, kod izvođenja takvih sustava iznimno je važno omogućiti što dulji i kvalitetniji rad sunčanog generatora, što znači da fotonaponski moduli moraju biti postavljeni tako da su što više izloženi svjetlosti, odnosno sunčevom zračenju. Optimalnim postavljanjem modula na području Hrvatske smatra se njihova orijentacija prema jugu i nagib u odnosu na plohu na kojoj se nalaze, u ovom slučaju 25°.

Pri postavljanju modula veliku pozornost treba posvetiti onemogućavanju zasjenjenja od susjednih zgrada, raslinja i slično. U skladu s time, pri odabiru mjesta za postavljanje modula treba uzeti u obzir sljedeće:

- zasjenjenje modula tijekom jutarnjih i/ili večernjih sati u pravilu nema značajnijeg utjecaja na njihov rad,
- zasjenjenje modula u vremenu oko podne nikako nije prihvatljivo i u tom slučaju svakako treba odabrati drugo mjesto postavljanja,
- u razdoblju od listopada do ožujka moduli bi trebali u vremenu oko podne biti bez ikakvog zasjenjenja najmanje 4 sata, a u slučaju nemogućnosti potrebno je odabrati alternativno mjesto postavljanja.

Neke od uobičajenih tehnika temeljenja ovisno o geomehaničkim svojstvima tla i vrsti konstrukcije su sljedeće:

- vezivanje čeličnih stupova na armiranobetonske trakaste temelje kemijskim sidrima,
- izvedba mikropilota - u izbušenu rupu postavi se perforirana cijev temeljnog pilota te se kroz otvor na pločici ubrizgava sitnozrnati mort pod tlakom,
- na temeljima samcima - nosivi stupovi ugrade se u svježu betonsku masu ugrađenu u prethodno izbušenu rupu u tlu projektiranih dimenzija. [11]

1.5. Pristupne i servisne prometnice

Lokaciji zahvata može se nesmetano pristupiti sa državne ceste D 44 (Ponte Portone (D21) – Buzet – čvor Lupoglav (A8)), koja prolazi uz sjeveroistočnu stranu lokacije sunčane

elektrane. Za potrebe zahvata SE Lupoglav bit će izgrađen kolni priključak na predmetnu prometnicu s odgovarajućim radijusima. [21]

Interna prometna mreža u zahvatu građevinske čestice u funkciji je izgradnje i eksploatacije sunčane elektrane. Ostvareni tlocrtni tehnički elementi zadovoljavaju uvjete *Pravilnika o uvjetima za vatrogasne prilaze*. Osnovna širina prometnice iznosit će od 4 do 6 m. Prometnice između pojedinih redova fotonaponskih modula izvest će se s minimalnim utjecajem na postojeći teren kako bi se iskoristile već postojeće prometnice, ali će se po potrebi prilagoditi radi adekvatnosti za instaliranje sunčane elektrane te provedbe održavanja i servisiranja. [12]

Oko područja obuhvata sunčane elektrane postaviti će se zaštitna ograda podignuta od tla radi prolaza manjih životinja, pri čemu će se na pojedinim mjestima po potrebi ostaviti i nadzorne kamere koje će biti trajnog tipa. [9]

1.6. Priključenje na kanalizacijsku i vodovodnu mrežu

Budući da će SE Lupoglav biti potpuno automatizirano postrojenje bez stalne posade, priključak na kanalizacijsku mrežu nije predviđen. Dolazak stručnog osoblja bit će jedino u slučaju održavanja, stoga se na samoj lokaciji ne predviđa izgradnja fekalne kanalizacije. Isto tako ne predviđa se niti priključak na vodovodnu mrežu. [13]

1.7. Interne kableske trase

Fotonaponski moduli s izmjenjivačima te izmjenjivači s trafostanicom, bit će povezani kablskom elektroenergetskom vezom. Međusobno povezivanje fotonaponskih modula i izmjenjivača, izmjenjivača i trafostanica te njihovo povezivanje na SN/VN postrojenje izvest će se energetske i komunikacijske kablom ukapanjem istih u kanal standardnih dimenzija.

Polaganje kabela u kablanski rov te križanje istih s drugim objektima odnosno instalacijama izvodi se u skladu s *Tehničkim uvjetima za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV (Kl. br. 4. 10/92, N.03301)*.

Uz svaki kablanski vod u zajednički rov položiti će se uzemljivač na koji je predviđeno na svakom kraju kablskog voda povezati ekran kabela, a uzemljivač povezati s uzemljenjem fotonaponskih panela, odnosno s uzemljenjem transformatorske stanice. Kao uzemljivač

koristit će se uzemljivačko uže ili pocinčana uzemljivačka traka. U zajednički rov s energetskim vodovima položiti će se na određenim trasama i optički kabel u zaštitnoj PEHD¹ cijevi. Kabeli se polažu u iskopani rov na pješčanu posteljicu te zatrpavaju slojem pješčane posteljice, a preostali dio rova zatrpava se materijalom iz iskopa. Kabela trasa predviđena je na rubu pristupnih puteva, a na prijelazu ispod ceste/puta kabel se zaštićuje dodatnim PVC cijevima i polaže na odgovarajuću dubinu u mršavom betonu. [14]

1.8. Sustav zaštite od munje i uzemljenje

Sukladno *Tehničkom propisu za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (NN 78/08, 33/10)* predviđen je sustav zaštite od djelovanja munje, LPS, koji će se projektirati prema uputama i u skladu s normom HRN EN 62305².

Sunčana elektrana imat će instalaciju uzemljenja koja će se projektirati u skladu s normom HRN EN 62305. Na instalaciju uzemljenja spajaju se sve metalne mase: okvir modula, metalna potkonstrukcija, kućište pretvarača, sabirnice "PE" u razdjelnicima, metalna ograda, itd. Instalacija uzemljenja sunčane elektrane povezat će se s instalacijom uzemljenja priključne trafostanice - združeno uzemljenje. [15]

1.9. Aspekti zaštite okoliša

Projekt sunčane elektrane bit će izveden korištenjem najnovijih tehnoloških rješenja, u skladu sa svim tehničkim propisima i normama te regulativom i zakonima. Budući da nema tvari koje se unose u tehnološki proces, niti tvari koje se emitiraju u okoliš, sam je tehnološki proces proizvodnje električne energije iz sunčeva zračenja prema svim standardima ekološki prihvatljiv. Jedini je dio projekta koji koristi mineralno ulje energetski transformator u transformatorskoj stanici ispod kojeg će biti ugrađena sabirna jama. Izvedba energetskog transformatora mora biti u skladu s *Pravilnikom o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja (NN 146/2005)* čime se sprječava istjecanje ulja u okoliš tokom faze eksploatacije. [13]

¹ Polyethylene high-density - polietilen visoke gustoće

² Hrvatski normativni dokument za zaštitu od munja

Za vrijeme izgradnje projekta sortirat će se generirani otpad i odvoziti na odgovarajući deponij za taj tip otpada. Isto vrijedi za svu opremu koja će biti zamijenjena tokom eksploatacije uslijed održavanja.

Tijekom rada sunčane elektrane primjenjivat će se mjere održavanja elektropostrojenja temeljem *Pravilnika o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV (NN 105/10)*, kao i sigurnosne mjere i mjere zaštite od požara u skladu s *Pravilnikom o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja (NN 146/05)*.

Predviđeni životni vijek sunčane elektrane je 25-30 godina nakon čega će investitor zbrinuti cijelo postrojenje na odgovarajući način u skladu s važećim standardima. [16]

1.10. Mjere zaštite od požara

Do lokacije zahvata osigurat će se odgovarajući pristupni koridor za vatrogasna vozila. Planirani raspored fotonaponskih modula i ostale nužne elektroenergetske opreme osiguravat će potrebne interventne površine kao i nesmetani pristup svim dijelovima na lokaciji zahvata. U slučaju da se ukaže lokalna potreba interventne površine za vatrogasna vozila, pripremit će se tako da nagib doseže maksimalno 12 %. Površine za intervenciju vatrogasnog vozila i tehnike izvest će se u skladu sa postavljenim zahtjevima u vidu širine i nosivosti.

Sve mjere zaštite od požara projektirati će se u skladu s važećim hrvatskim propisima i normama koje reguliraju ovu problematiku. Prilikom izrade glavnog projekta napraviti će se prikaz svih primijenjenih mjera zaštite od požara.

Na postrojenju će se projektirati cjelovit sustav zaštite od udara munje i pojave požara, koji će aktivnim i pasivnim mjerama osigurati što manje posljedice tih pojava te njihovo lakše savladavanje. Zaštita od udara munja izvest će se projektiranom gromobranskom instalacijom. [17]

1.11. Zakonska regulativa

Sunčane elektrane definirane su prema pozitivnim pravnim propisima Republike Hrvatske, a temelj za razvoj i realizaciju projekta slijedeći se zakonski i podzakonski akti:

- Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19),

- Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19),
- Zakon o energiji (NN 120/12, 14/14, 102/15),
- Zakon o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje (NN 78/15, 118/18, 10/19),
- Zakon o zaštiti od požara (NN 92/10),
- Zakon o energiji (NN 120/12, 14/14, 102/15, 68/18),
- Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21, 82/23),
- Zakon o tržištu električne energije (NN 111/21, 82/23),
- Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (NN 25/20),
- Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 132/13, 81/14, 93/14, 24/15, 99/15, 110/15),
- Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20, 74/22, 155/23)
- Mrežna pravila distribucijskog sustava (NN 74/18, 52/20),
- Mrežna pravila prijenosnog sustava (NN 67/17, 128/20). [18]

1.12. Planirana dinamika izgradnje SE Lupoglav

Detaljni prikaz vremenskog plana provedbe projekta izgradnje SE Lupoglav od pripreme faze projekta do puštanja sunčane elektrane u pogon i stjecanja uporabne dozvole prikazan je na slici (Sl. 1.4).

Godina	0. godina												1. godina												
	Mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IZDAVANJE ENERGETSKOG ODOBRENJA BEZ PROVOĐENJA JAVNOG NATJEČAJA																									
1. Priprema dokumentacije za energetske odobrenje																									
2. Kupnja zemljišta																									
3. Dostava dokumentacije (zahtjeva) za izdavanje energetske odobrenja																									
3. Pravomoćno energetske odobrenje																									
4. Ugovor o priključenju																									
9. Izrada projektno-tehničke dokumentacije za izdavanje građevinske dozvole																									
6. Građevinska dozvola																									
7. Izgradnja postrojenja																									
8. Pravomoćna uporabna dozvola																									

Sl. 1.4 Detaljni prikaz vremenskog plana provedbe projekta izgradnje SE Lupoglav

2. Jedinstveni opis zahvata u prostoru

2.1. Opis oblika i veličina namjeravanog zahvata

Na razmatranoj lokaciji zahvata investitor planira izgradnju sunčane elektrane SE Lupoglav:

- Ukupna priključna snaga: 7,00 MW
- Ukupna površina zahvata: oko 7,1 ha
- Ukupna instalirana snaga: oko 7,5 MW

Unutar predmetnog obuhvata planiraju se postaviti fotonaponski moduli s nosivom potkonstrukcijom, izmjenjivači, interne trafostanice, kabelski razvod te ostala potrebna oprema. Obuhvat sunčane elektrane sastoji se od projekcije fotonaponskih modula na horizontalnu plohu, kontejnera za smještaj internih trafostanica i dodatne opreme, slobodne površine potrebne za pristup fotonaponskim modulima kao i neophodnog proreda među fotonaponskim modulima koji služi onemogućavanju međusobnog zasjenjenja fotonaponskih modula. Cijela lokacija zahvata ogradit će se zaštitnom žičanom ogradom visine oko 2 m. Ograda primarno predstavlja psihološku granicu kako za životinje tako i za ljude. [19]

Uređenje terena u okviru projekta izgradnje izvodi se s ciljem:

- priključka na pristupne putove,
- dorade internih prolaza,
- postavljanja montažnih konstrukcija fotonaponskih modula i izvedbe pripadajućih temelja (po potrebi),
- postavljanja fotonaponskih modula,
- pripreme terena te postavljanja objedinjenih izmjenjivačkih i internih transformatorskih stanica,
- izvedbe internog kabelskog DC i AC razvoda,
- pripreme terena i izvedbe rasklopišta (po potrebi),
- postavljanja SN kabelskih izvoda za priključak na distribucijsku mrežu,
- izvedbe sustava uzemljenja i gromobranske zaštite,
- postavljanja zaštitne ograde te
- odvodnje oborinskih voda u slučaju eventualne pojave značajnijih tokova. [20]

2.2. Način priključenja na prometnu infrastrukturu

Lokaciji zahvata može se nesmetano pristupiti sa županijske ceste oznake D 44 (Ponte Portone (D21) – Buzet – čvor Lupoglav (A8)), koja prolazi uz sjeveroistočni dio lokacije sunčane elektrane. Za potrebe zahvata SE Lupoglav bit će izgrađen i kolni priključak na predmetnu prometnicu s odgovarajućim radijusima. [21]

Prometna komunikacija unutar lokacije zahvata ostvarivat će se internim prolazima bez karakteristika prometnice. Namjena je internih prolaza omogućavanje pristupa poljima fotonaponskih modula, izmjenjivačima i internim trafostanicama uz što manji utjecaj na zatečeno stanje terena na lokaciji.

S obzirom na vrlo povoljno stanje lokacije zahvata, nisu predviđeni značajniji zahvati, niti izvedba internih prometnica. Za potrebe izgradnje, održavanja i servisiranja opreme sunčane elektrane doradit će se prolazi između redova fotonaponskih modula. Na prolaze se neće postavljati finalni zastor u obliku betonskog ili asfaltnog pokrova, niti završni sloj šljunka i sličnih pokrova.

U slučaju eventualne pojave značajnijih tokova oborinskih voda, na kritičnim će se mjestima izvesti plitki bočni kanali koji će osigurati nesmetan prolaz lakim terenskim vozilima i ljudima tijekom takvih pojava. Ne predviđa se priključak na vodoopskrbni sustav. [20]

2.3. Način priključenja na elektroenergetsku mrežu

Konačni način priključenja na elektroenergetsku mrežu definirati će se u daljnjim fazama razvoja projekta, nakon izrade EOTRP-a³, u skladu s *Pravilima o priključenju na distribucijsku mrežu*. Od izgrađenih energetske struktura u blizini obuhvata nalaze se:

- zračni dalekovod (DV) 10(20) kV (Zapadno od SE Lupoglav)
- trafostanice (TS) 10(20)/0,4 kV (zapadno od SE Lupoglav)
- dalekovod (DV) 220 kV (sjeverno do SE Lupoglav)
- TS 110/35 kV „Kraljevac“ (zapadno od SE Lupoglav)
- TS 35/10(20) kV „Kraljevac“ (zapadno do SE Lupoglav)
- TS 110/35 kV (sjeverno od SE Lupoglav - Općina Lupoglav). [22]

³ Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja

3. Analiza mogućnosti priključenja elektrane na distribucijsku mrežu

3.1. Postojeće stanje mreže

Predmetno područje napaja se iz TS 110/20 kV Buzet. U TS 110/20 kV Buzet ugrađeni su transformatori 2x20 MVA prijenosnog omjera 110/20 kV. Prema trenutnom stanju mreže, u okruženju planirane građevine nalazi se srednjenaponska distribucijska mreža. Od relevantnih elektroenergetskih objekata, u blizini se nalazi 20 kV dalekovod ZDV⁴ 20 kV Roč, koji prolazi oko 100 m sjeveroistočno od lokacije. [22]

U tablici (Tablica 3.1.) su dane zračne udaljenosti građevine do najbližih postojećih relevantnih elektroenergetskih objekata distribucijske mreže.

Tablica 3.1 Zračna udaljenost SE od najbližeg EE⁵ objekta distribucijske mreže [23]

Objekt	Napon	Naziv objekta	Udaljenost ⁶	Napomena
ZDV	20 kV	ZDV 20 kV Roč	100 m sjeveroistočno od lokacije	Al/Če 3x70 mm ²

Sukladno trenutno važećem i objavljenom desetogodišnjem planu razvoja distribucijske mreže za razdoblje 2022.-2031. s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje na predmetnom području nisu planirani značajni zahvati u distribucijskoj mreži. [24]

3.2. Izračun kapaciteta u pojnoj TS VN/SN za priključenje građevine

U tablici (Tablica 3.2) prikazan je izračun ukupne maksimalne priključne snage proizvodnih postrojenja koja mogu biti priključena na srednjenaponsku mrežu napajanu iz pojne TS VN/SN.

⁴ Zračni dalekovod

⁵ Elektroenergetskog

⁶ Zračna udaljenost od ruba šireg prostora sunčane elektrane do elektroenergetskog objekta (gruba izmjera)

Ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja priključenih na distribucijsku mrežu napajanu iz transformatorske stanice TS VN/SN definira se kao ukupna nazivna snaga transformacije nakon ispada transformatora najveće snage VN/SN u tom čvorištu uvećana za iznos minimalne potrošnje u tom čvorištu. Trenutno je prema važećim Mrežnim pravilima distribucijskog sustava najveća moguća priključna snaga koja se priključuje na distribucijsku mrežu 10 MW, a iznimno može biti i 20 MW uz suglasnost operatora prijenosnog sustava. [25]

Predmetno područje se napaja iz TS 110/20 kV Buzet. U TS 110/20 kV Buzet ugrađeni su transformatori 2x20 MVA prijenosnog omjera 110/20 kV. [23]

Tablica 3.2 Izračun ukupne maksimalne priključne snage proizvodnih postrojenja u pojnoj TS VN/SN prema trenutnom stanju mreže [23]

Naziv TS		TS 110/20 kV Buzet
Element mreže		TS 110/20 kV
A	Referentna snaga transformacije VN/SN	20 MW
B	Minimalna potrošnja TS VN/SN	2,16 MW
C = A + B	Maksimalna priključna snaga proizvodnje	22,16 MW

Iz proračuna u tablici (Tablica 3.2) može se zaključiti da se na srednjenaponsku mrežu napajanu iz pojne TS 110/20 kV Buzet mogu priključiti proizvodna postrojenja ukupne maksimalne priključne snage 22,16 MW.

U tablici (Tablica 3.3) je prikazan izračun kapaciteta u pojnoj TS VN/SN za priključenje građevine SE Lupoglav, a prema izračunu u pojnoj TS VN/SN ima kapaciteta za priključenje.

Tablica 3.3 Izračun kapaciteta u pojnoj TS VN/SN za priključenje građevine SE Lupoglav
[23]

Naziv TS		TS 110/20 kV Buzet
Element mreže		TS 110/20 kV
A	Maksimalna priključna snaga proizvodnje	22,16 MW
B	Ukupna priključna snaga značajnih proizvođača	0 MW
E	Priključna snaga građevine SE Lupoglav	7 MW
F = C – D - E	Preostala priključna snaga proizvodnje	15,16 MW

3.3. Prijedlog priključenja elektrane

3.3.1. Analizirana varijanta priključenja

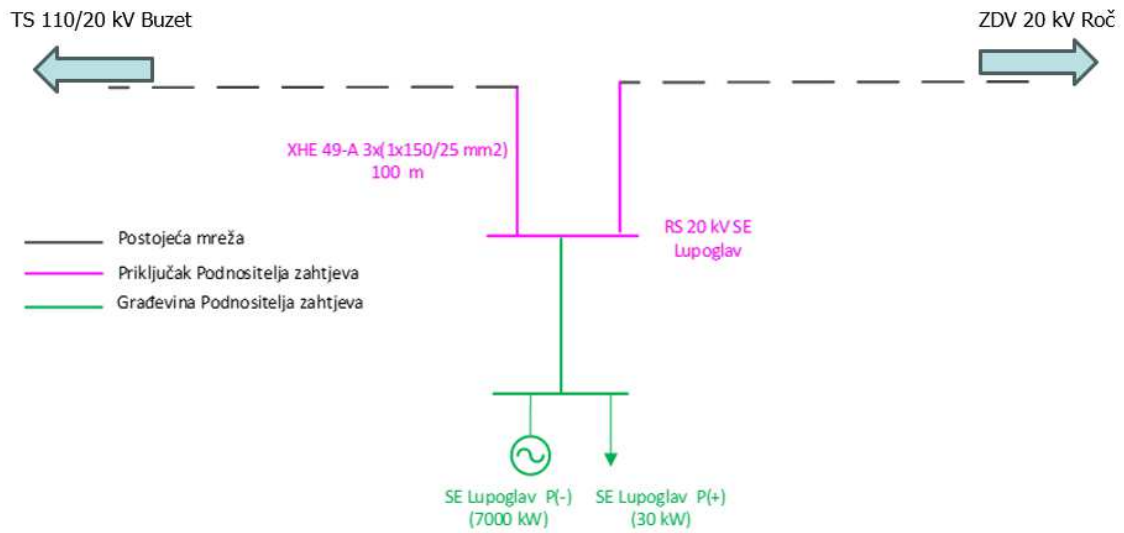
Za priključenje elektrane na mrežu predlaže se interpolacija susretnog postrojenja RS⁷ 20/0,4 kV u zračni dalekovod 20 kV Roč (Sl. 3.1).

Priključni kabeli 10 (20) kV i susretno postrojenje s okolnim zemljištem (minimalno 7x7 m, a poželjno 9x9 m) su u vlasništvu HEP-ODS⁸-a. Korisnik mreže (investitor) dužan je izvršiti parcelaciju čestice za susretno postrojenje i ustupiti je HEP-ODS-u bez naknade. Navedena čestica mora imati pristupni put (izravni pristup s javne prometnice, a ako to nije moguće, korisnik mora dati pravo služnosti HEP ODS-u kojim se omogućuje nesmetani 24-satni pristup susretnom postrojenju preko čestice korisnika mreže). [19]

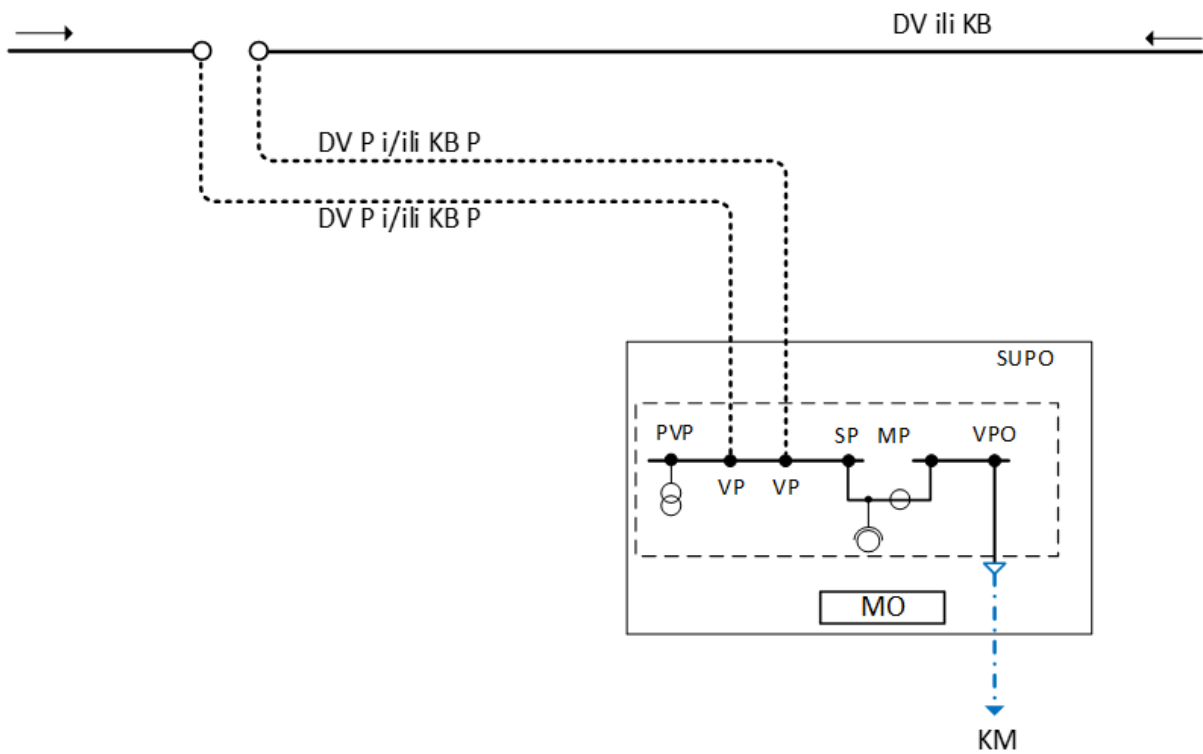
Rješenje interpolacije susretnog postrojenja prikazano je na slici (Sl. 3.2), dok je na slici (Sl. 3.3) geografski prikaz interpolacije građevine u postojeću elektroenergetsku mrežu.

⁷ Rasklopište SN

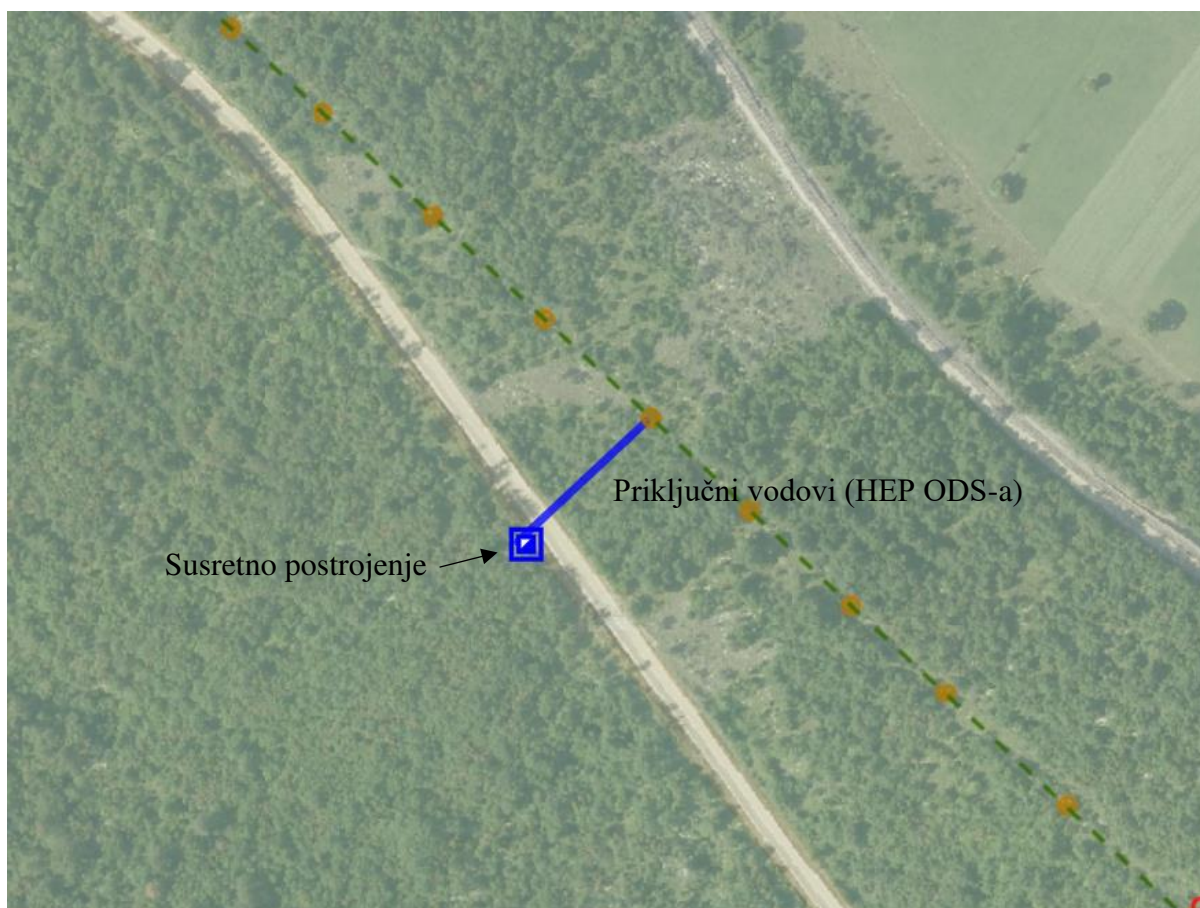
⁸ Hrvatska elektroprivreda – Operator distribucijskog sustava



Sl. 3.1 Shematski prikaz interpolacije građevine u postojeću mrežu [23]



Sl. 3.2 Prikaz rješenja interpolacije susretnog postrojenja [23]



Sl. 3.3. Geografski prikaz interpolacije građevine u postojeću mrežu [23]

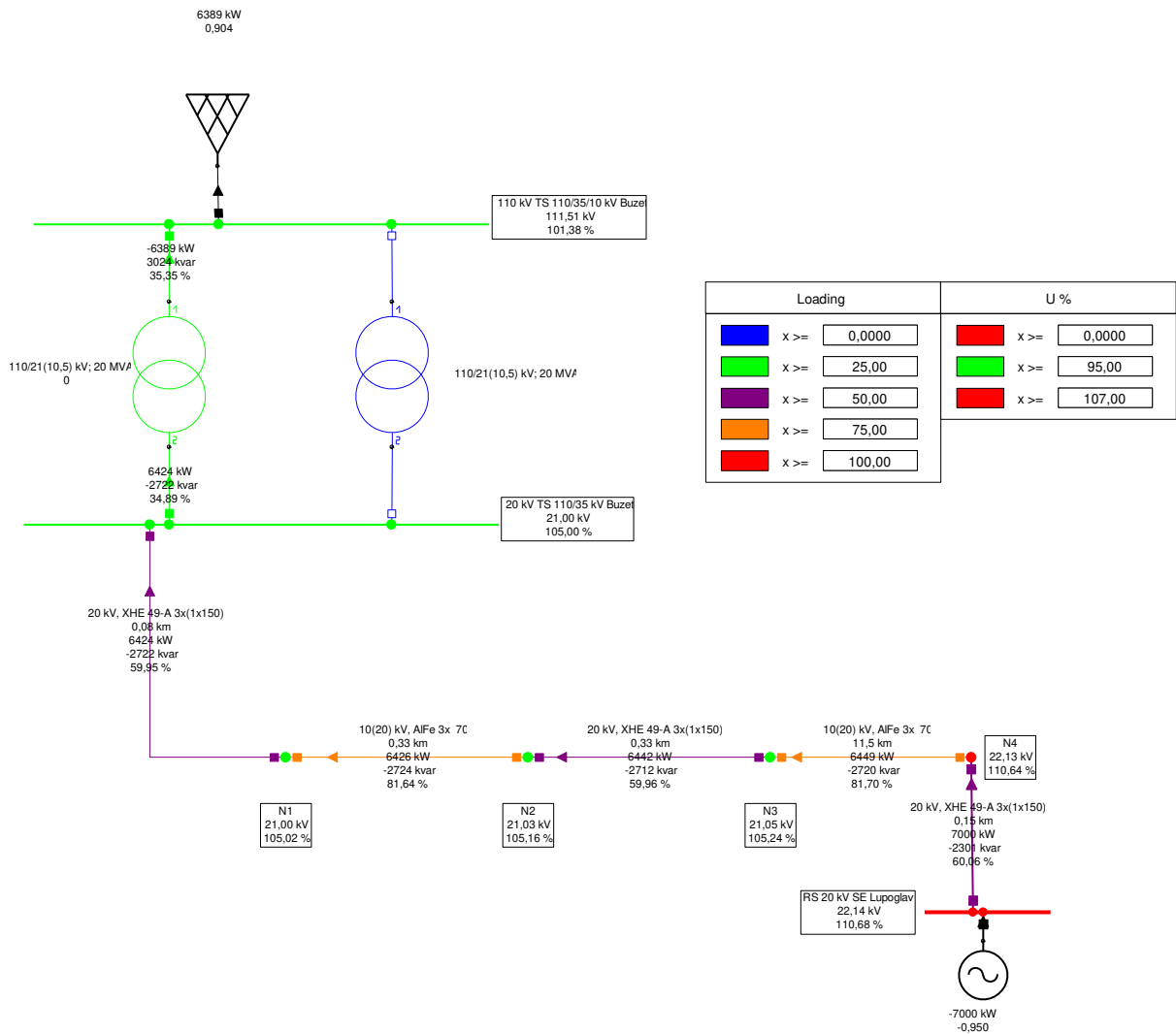
U programskom alatu NEPLAN⁹ napravljena je konfiguracija analizirane varijante priključenja SE Lupoglav na elektroenergetsku mrežu (Sl. 3.4) te je napravljen proračun tokova snaga (Sl. 3.5).

Na prikazu konfiguracije analizirane varijante priključenja SE Lupoglav na krutu mrežu (Sl. 3.4) jasno se vidi položaj rasklopišta SE Lupoglav u odnosu na elektroenergetsku mrežu te mjesto razdvajanja 20 kV od 110 kV mreže.

Proračunom relativnog utjecaja proizvodnog postrojenja SE Lupoglav na naponske prilike u mreži vidljivo je da priključenje SE Lupoglav priključne snage 7000 kW uzrokuje porasta napona veći od 10% u čvorištu N4 sa slike (Sl. 3.5). Zbog toga je izgledno da će SE Lupoglav priključne snage 7000 kW u EOTRP-u¹⁰ biti uvjetovan režim rada podrške naponu isporukom jalove energije u mrežu. Sukladno *Mrežnim pravilima distribucijskog sustava* svaki

⁹ Programski alat za analizu, planiranje, optimizaciju i simulaciju mreža

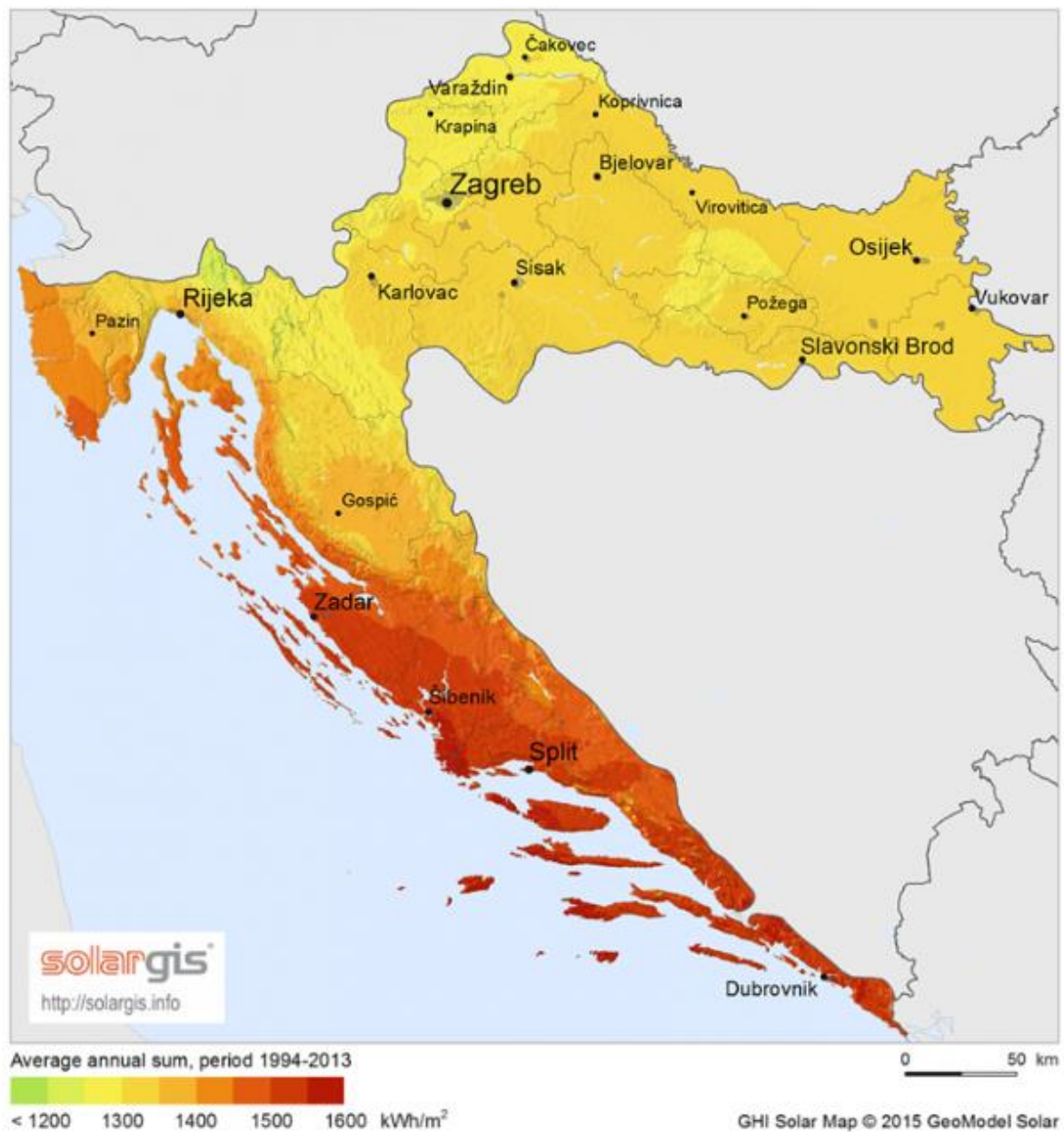
¹⁰ Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja



Sl. 3.5 NEPLAN proračun tokova snaga analizirane varijante priključenja SE Lupoglav [23]

4. Proizvodnja električne energije

Sunčana elektrana u paralelnom je pogonu s elektroenergetskom mrežom gdje se kompletna proizvedena električna energija iz fotonaponskog sustava predaje u distribucijsku mrežu. Podatci o intenzitetu Sunčeva zračenja na lokaciji potrebni su za proračun proizvodnje električne energije sunčane elektrane, a karta ozračenosti i prikaz potencijala proizvodnje iz Sunčeve energije za Hrvatsku prikazani su u nastavku. [27]



Sl. 4.1 Karta ozračenosti iz Sunčeve energije za Hrvatsku [28]

Zemljopisna širina i dužina specificiraju lokaciju objekta na kojem se nalazi sunčana elektrana, a posebice zemljopisna širina predstavlja važnu varijablu pri izračunima proizvodnje električne energije iz sunčeve energije. Analiza lokacije radi se prema javno dostupnim podacima za tipičnu meteorološku godinu na predmetnoj lokaciji. [27]

Tablica 4.1 Karakteristike SE Lupoglav [29]

Lokacija elektrane	Lat. ¹¹ = 45,3637°, Lon. ¹² = 14,0902°
Nadmorska visina	121 m
Vršna snaga sunčane elektrane	7 MW
Nazivna snaga sunčane elektrane	7,5 MW
Kut nagiba	25°
Azimut	0°
Ukupni gubici sustava	10,5%
Godišnja proizvodnja sunčane elektrane	9.572 MWh

Okvirna godišnja proizvodnja sunčane elektrane Lupoglav dobivena je korištenjem besplatne internetske aplikacije PVGIS-a¹³, a detaljna analiza proizvodnje električne energije bit će napravljena u odvojenom proračunu koristeći programske alate VirtoCAD¹⁴ i PVsyst¹⁵.

4.1. Programski alat VirtoCAD

Geodetski snimak površine obuhvata elektrane (Sl. 4.2) predstavlja ishodište čitavog procesa projektiranja sunčane elektrane u programskom alatu VirtoCAD. Pomoću geodetskog snimka izrađuje se 3D teren (Sl. 4.3) na kojemu se zatim i projektira sama sunčana elektrana.

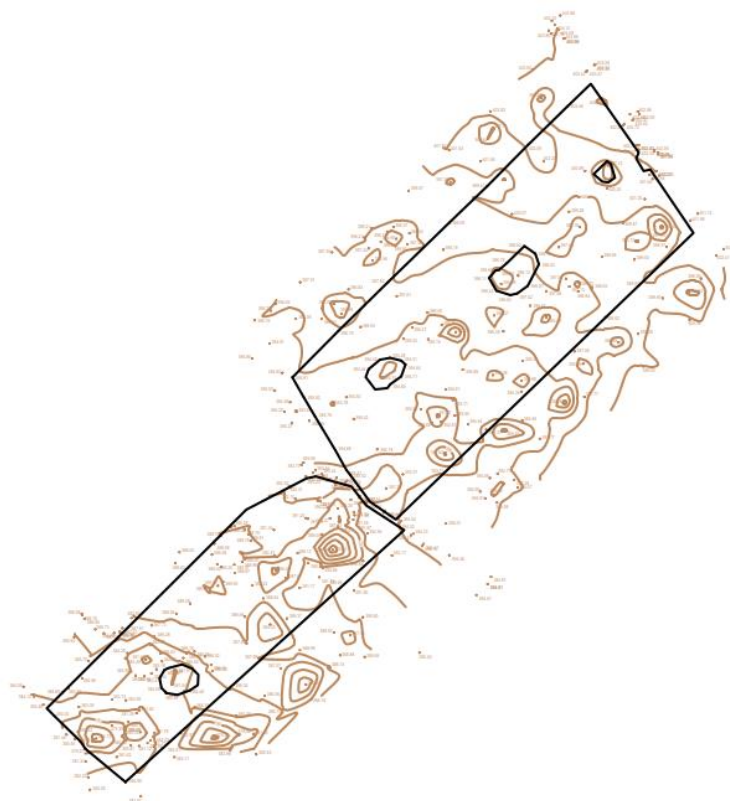
¹¹ Latitude – zemljopisna širina

¹² Longitude – zemljopisna dužina

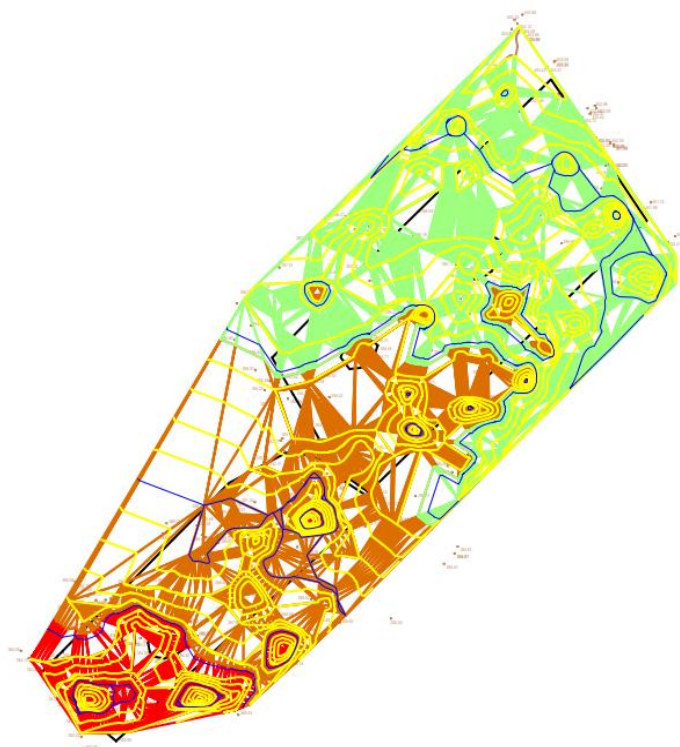
¹³ Photovoltaic Geographical Information System

¹⁴ Programski alat za projektiranje sunčanih elektrana

¹⁵ Programski alat za procjenu proizvodnje energije sunčanih elektrana



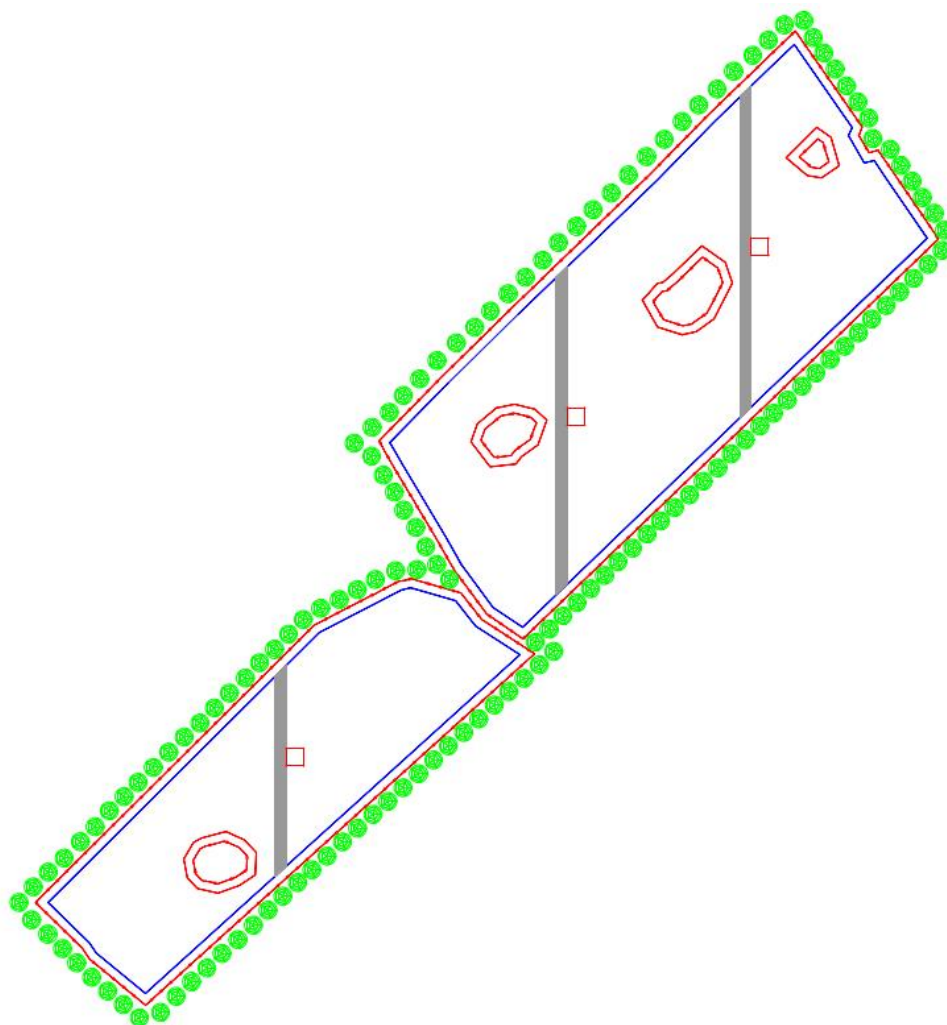
Sl. 4.2 Kote, slojnice i obuhvat SE Lupoglav



Sl. 4.3 3D teren SE Lupoglav

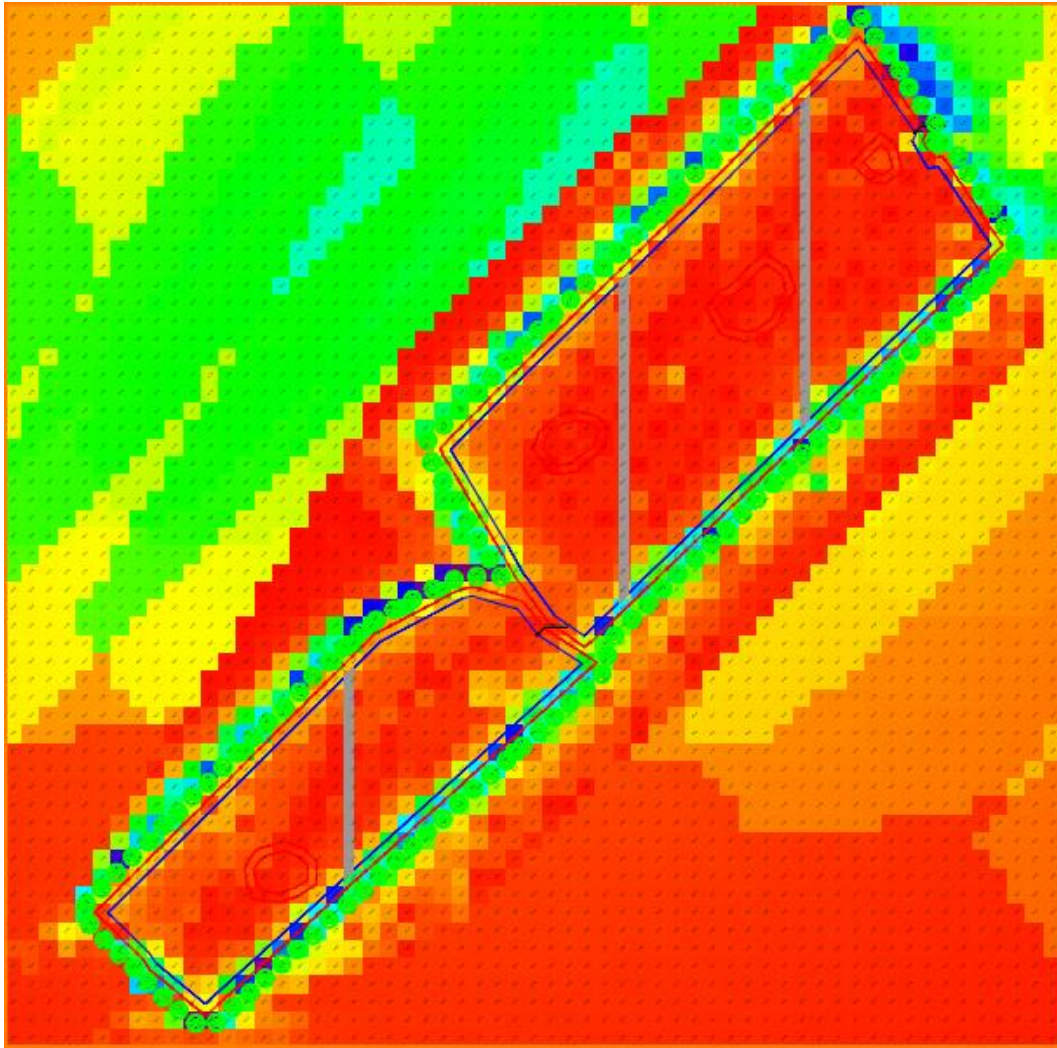
Sljedeći dio projektiranja odnosi se na uređenje okoliša sunčane elektrane kako bi se dobio što vjerniji prikaz stvarne situacije u prostoru. Programski alat VirtoCAD omogućuje dodavanje vegetacije, močvarnih područja, ilovače, komunalnih stupova, prometnica i dr.

Nakon uređenja okoliša dodavanjem vatrogasnih puteva, vegetacije, podizanjem ograde te rezervacijom mjesta za transformatorske stanice i niskonaponske ormariće, dobiva se prikaz sa slike (Sl. 4.4).



Sl. 4.4 Prikaz obuhvata SE Lupoglav u prostoru

Sljedeći je korak u projektiranju sunčane elektrane postavljanje mreže senzora (engl. *sensor grid*) te provođenje simulacije ozračenja područja obuhvata sunčane elektrane sunčevim zračenjem (Sl. 4.5). Kako bi se precizno odredilo ozračenje na željenom području, potrebno je učitati vremensku datoteku preuzetu s PVGIS-a.



Sl. 4.5 Ozračenje područja obuhvata SE Lupoglav Sunčevim zračenjem

Prilikom projektiranja SE Lupoglav korišteni su fotonaponski moduli RSM132-8-700-725BHDG tvrtke Risen Energy snage 700 W čije su specifikacije navedene u tablici (Tablica 1.1) Zatim se navedeni fotonaponski moduli polažu u dva reda po 13 modula ili u dva reda po 6 modula ovisno o njihovom položaju unutar obuhvata sunčane elektrane.

Nakon konfiguracije obaju grupa modula (Sl. 4.6 i 4.7), slijedi odabir modula, određivanje razmaka među redovima te određivanje maksimalnog nagiba grupa modula (Sl. 4.8). Zatim se klikom na *Build* dobiva prikaz sa slike (Sl. 4.9).

Rack generator

Rack

Module:

Rack Type:

South or North Facing
 East-West Facing
 Single-Axis Tracker

Length/Depth (m)

Vertical module spacing (mm) (Y)

Horizontal module spacing (mm) (X)

Vertical offset from rack to modules (mm) (V)

Horizontal offset from rack to modules (mm) (H)

Module orientation:

Columns/Rows:

Tilt Angle (degree) (A):

Bottom side height (m) (B)

Top side height (m) (T)

Type of piles:

Distances to piles (m) (C,E,D)

Distance between piles (m) (P)

Number of piles:

Distance piles to the edges (m)

Rack color:

Rack generator

Rack

Module:

Rack Type:

South or North Facing
 East-West Facing
 Single-Axis Tracker

Length/Depth (m)

Vertical module spacing (mm) (Y)

Horizontal module spacing (mm) (X)

Vertical offset from rack to modules (mm) (V)

Horizontal offset from rack to modules (mm) (H)

Module orientation:

Columns/Rows:

Tilt Angle (degree) (A):

Bottom side height (m) (B)

Top side height (m) (T)

Type of piles:

Distances to piles (m) (C,E,D)

Distance between piles (m) (P)

Number of piles:

Distance piles to the edges (m)

Rack color:

Sl. 4.6 Konfiguracija manje grupe modula Sl. 4.7 Konfiguracija veće grupe modula

Build Ground Mount Module and Rack Layout

Settings

Racks

Name:

Sort	Name	Rack Type	Tilt	Orientation	Columns	Rows	Depth	Ty
<input type="checkbox"/>	Training rack	South	20	Portrait	12	2	4.499	Sir
<input type="checkbox"/>	Training rack small	South	20	Portrait	6	2	4.499	Do
<input type="checkbox"/>	Training rack small v2	South	25	Portrait	6	2	4.339	Do
<input type="checkbox"/>	Training rack v2	South	25	Portrait	12	2	4.339	Sir
<input type="checkbox"/>	Training tracker small	South	25	Portrait	6	2	3.955	Sir

Row numbering

Numbering rows: Numbering modules/racks:

Start position: North South Start position: West East

Continuous numbering:

Boundaries

Select on drawing Select all Remove all

Layout boundary	Compass	Nom. Azimuth	
	-	0°	<input type="button" value="X"/>
	-	0°	<input type="button" value="X"/>

Build parameters

3D Terrain Mesh: Detailed ground clearance check:

Create 2D racks: Generate piles in 3D:

Visualize shadows: Custom length racks:

Shadow angle

Shadow angle (degree):

Use average shadow per row:

Inter row distance (m): Min: Max:

Visualize distances:

Fix Row Pitch

Fixed row pitch (m):

Inter row distance (m):

Calculate your pitch:

Ground Cover Ratio (GCR): %

Rack spacing (m): Additional gaps:

Align rows:

Slope limitation:

Max Rack Side Slope: * %

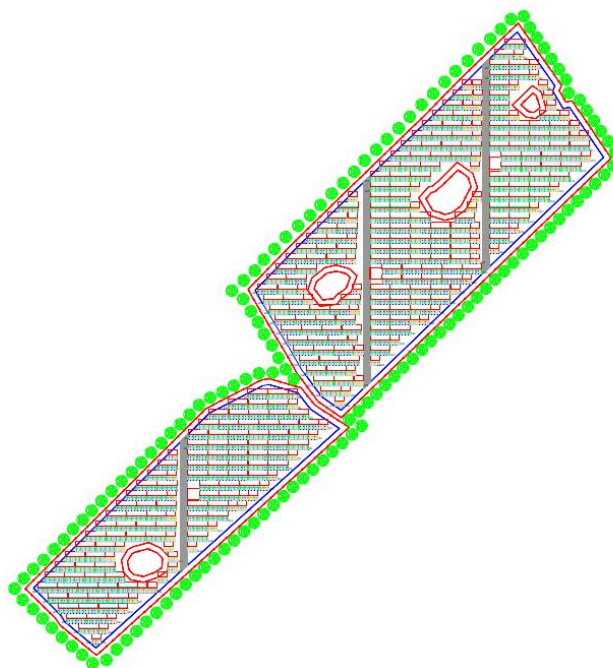
Max Row to Row Slope: * %

Racks exceeding slope limit: Highlight Erase & Optimize

Process

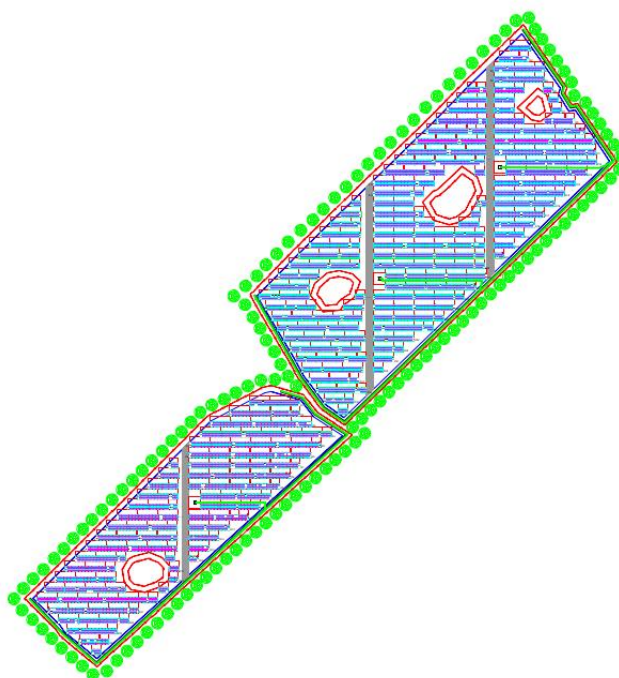
Positioning Accuracy: Low High

Sl. 4.8 Konfiguracija modula i razmaka između redova unutar obuhvata SE Lupoglav



Sl. 4.9 Obuhvat SE Lupoglav ispunjen modulima

Sljedeći je korak dodavanje grupa ožičenja (engl. *wiring groups*) te povezivanje svake grupe s pripadajućim inverterima, a zatim i s niskonaponskim ormarićima u transformatorskim stanicama (Sl. 4.10) te se tada dobiva kompletan projekt spreman za korištenje unutar programskog alata PVsyst za dobivanje procijenjene proizvodnje električne energije sunčane elektrane.



Sl. 4.10 Konačan izgled obuhvata SE Lupoglav

4.2. Programski alat PVsyst

Projekt SE Lupoglav finaliziran je kroz proces modeliranja koristeći programski alat VirtoCAD (Sl. 4.10). Nakon što je modeliranje dovršeno, projekt se integrira u PVsyst, programski alat specijaliziran za simulaciju fotonaponskih sustava. U PVsyst-u provedena je simulacija proizvodnje električne energije za period od jedne godine, a na temelju rezultata provedene simulacije, generira se detaljan izvještaj koji obuhvaća ključne parametre, uključujući očekivanu proizvodnju energije, performanse sustava, potencijalne gubitke te ekonomske pokazatelje.

Tablica 4.2 prikazuje najvažnije rezultate dobivene provođenjem simulacije u programskog alatu PVsyst.

Tablica 4.2 Rezultati simulacije u PVsyst-u

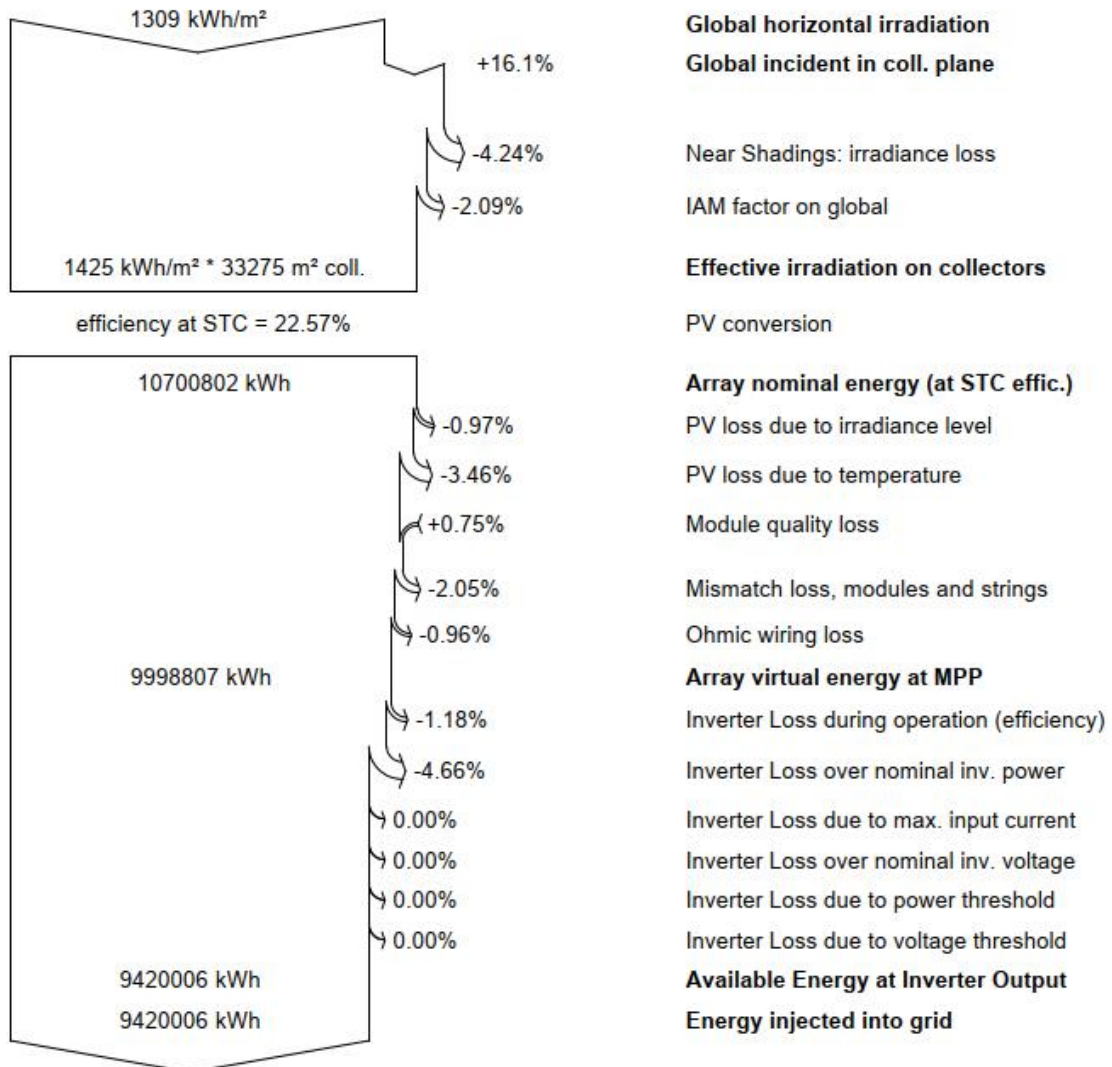
Proizvedena električna energija	9.420.006,00 kWh/god
Specifična proizvodnja energije	1.256,00 kWh/kWp/god
Omjer performansi (engl. <i>performance ratio</i>)	82,66 %

Simulacija je pokazala da će SE Lupoglav proizvesti ukupno 9.420 MWh električne energije godišnje. Ovaj rezultat može se usporediti s procjenom godišnje proizvodnje SE Lupoglav, dobivene pomoću besplatne internetske aplikacije PVGIS, koja iznosi 9.572 MWh. Iz usporedbe rezultata može se zaključiti kako PVGIS pruža vrlo dobru procjenu proizvodnje električne energije, no rezultati simulacije u PVsyst-u dodatno potvrđuju preciznost i pouzdanost ovog programskog alata.

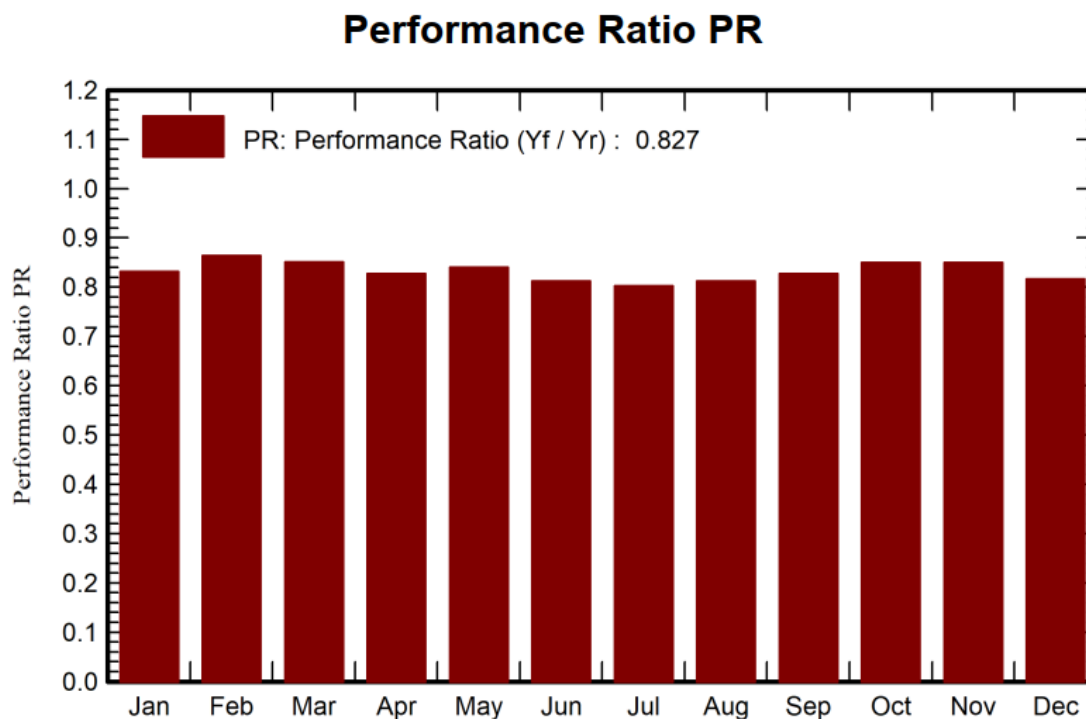
Parametar specifične proizvodnje energije označava količinu električne energije proizvedene po instaliranom kilovatu vršne snage sustava godišnje. Ovaj pokazatelj pomaže u procjeni efikasnosti fotonaponskog sustava u odnosu na njegovu instaliranu snagu te zapravo govori koliko sati godišnje elektrana radi punom snagom. [30]

Parametar *performance ratio* pokazuje udio električne energije koja je stvarno dostupna za izvoz u mrežu nakon što se odbiju svi gubici i potrošnja. Gubici uključuju toplinske gubitke, gubitke vodljivosti, gubitke u inverterima te gubitke uslijed zasjenjenja (Sl. 4.11). Vrijednost

parametra *performance ratio* SE Lupoglav pokazuje da sustav radi s visokom efikasnošću te je uglavnom konstantan tijekom cijele godine (Sl. 4.12). [31]



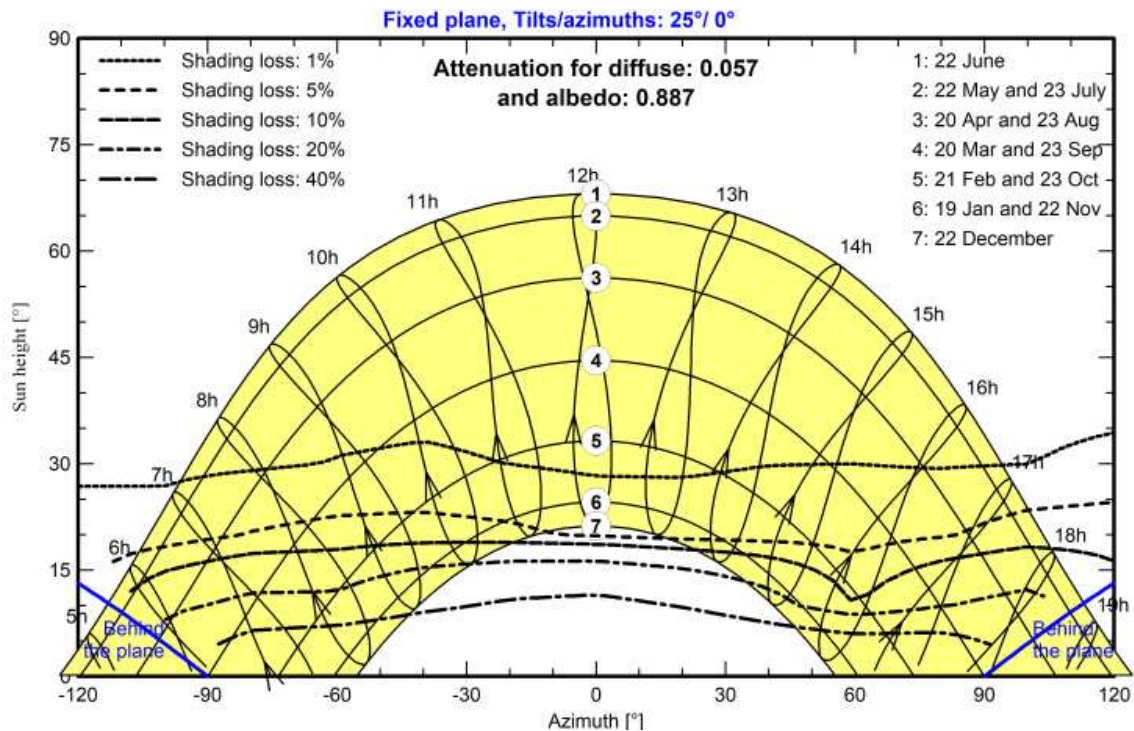
Sl. 4.11 Dijagram gubitaka u proizvodnji električne energije SE Lupoglav



Sl. 4.12 Vrijednosti parametra *performance ratio* tijekom godine

Izveštaj iz PVsyst-a također pruža uvid u grafički izraz tablice faktora sjenčanja u vidu dijagrama izo-sjenčanja (engl. *iso-shading diagram*) koji prikazuje linije nekih zadanih faktora sjenčanja, superponirane na putanju Sunca (Sl. 4.13).

Plave linije označavaju tangencijalne granice ravnine, odnosno paralelnost Sunčevih zraka s ravninom, a dijagram daje sintetičku procjenu distribucije sjenčanja prema sezoni i dobu dana tijekom godine. Ovaj faktor gubitaka odnosi se na komponentu snopa koja doseže ravninu fotonaponskih modula. Kada je upadni kut visok, čak i visoki faktori gubitka djelovat će na vrlo nisku komponentu zračenja, uzrokujući razumne učinke na ukupnu učinkovitost. [32]



Sl. 4.13 *Iso-shading diagram* SE Lupoglav

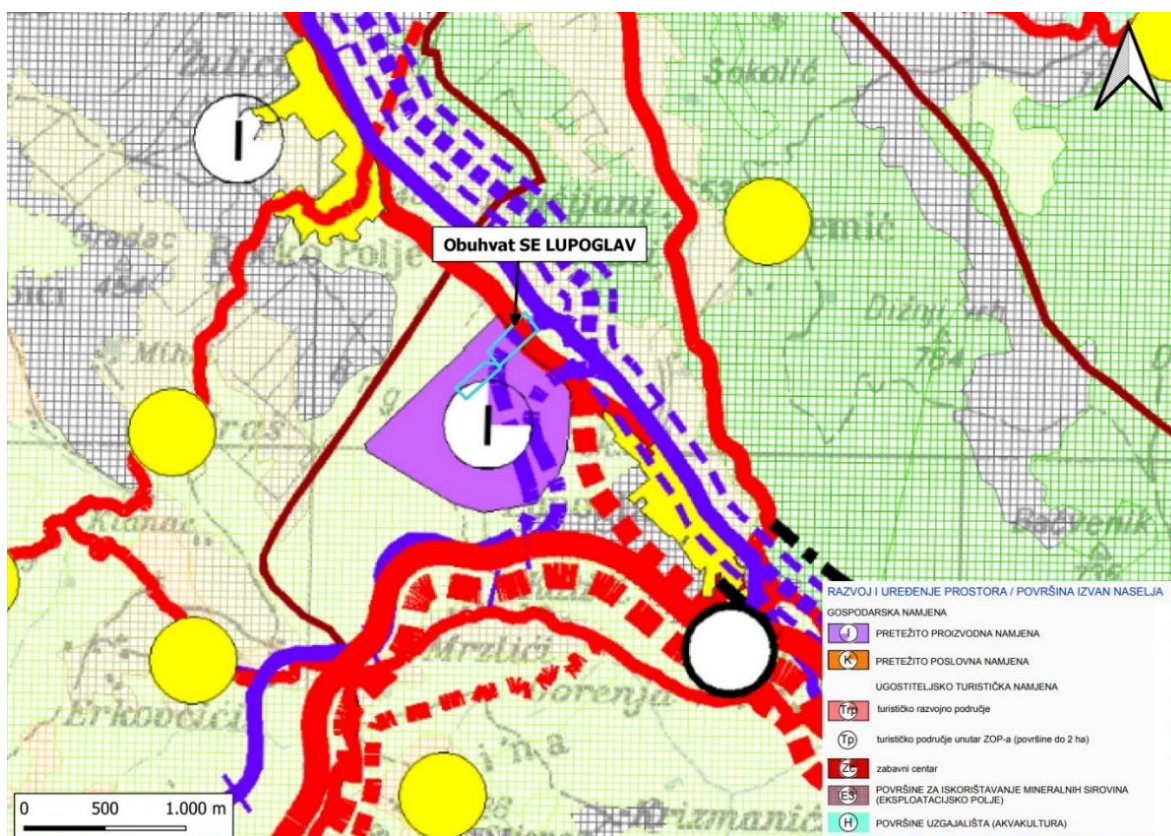
PVsyst se pokazao kao iznimno koristan za detaljnu analizu i modeliranje fotonaponskih sustava, nudeći dubinsku simulaciju koja uzima u obzir specifične karakteristike sustava i lokalne uvjete. Iako je korištenje PVGIS-a za procjenu proizvodnje električne energije pokazalo slične rezultate, PVsyst nudi dodatnu mogućnost prilagodbe parametara i detaljne analize, što omogućava preciznije planiranje i optimizaciju sustava.

5. Prostorno planska dokumentacija

Lokacija sunčane elektrane nalazi se na području Istarske županije, Općina Lupoglav. Na području lokacije na snazi su sljedeći prostorni planovi:

- Prostorni plan Istarske županije (Službene novine Istarske županije, broj 02/02, 01/05, 04/05, 14/05 - pročišćeni tekst, 10/08, 07/10, 16/11 - pročišćeni tekst, 13/12, 09/16, 14/16 - pročišćeni tekst) (dalje u tekstu: PP IŽ)
- Prostorni plan uređenja Općine Lupoglav (Službene novine Grada Pazina, broj 20/03, 23/04, 02/05, 06/05, 30/08, 21/12, 09/17) (dalje u tekstu: PPUO Lupoglav) [33]

Prema slici (Sl. 5.1) lokacija za SE Lupoglav nalazi se izvan naselja, unutar planskog područja označenog kao *gospodarska namjena - pretežito proizvodna* (planska oznaka I).



Sl. 5.1 Kartografski prikaz broj 1, „Korištenje i namjena prostora/površina“ - uvećani prikaz s označenom lokacijom za sunčanu elektranu Lupoglav [34]

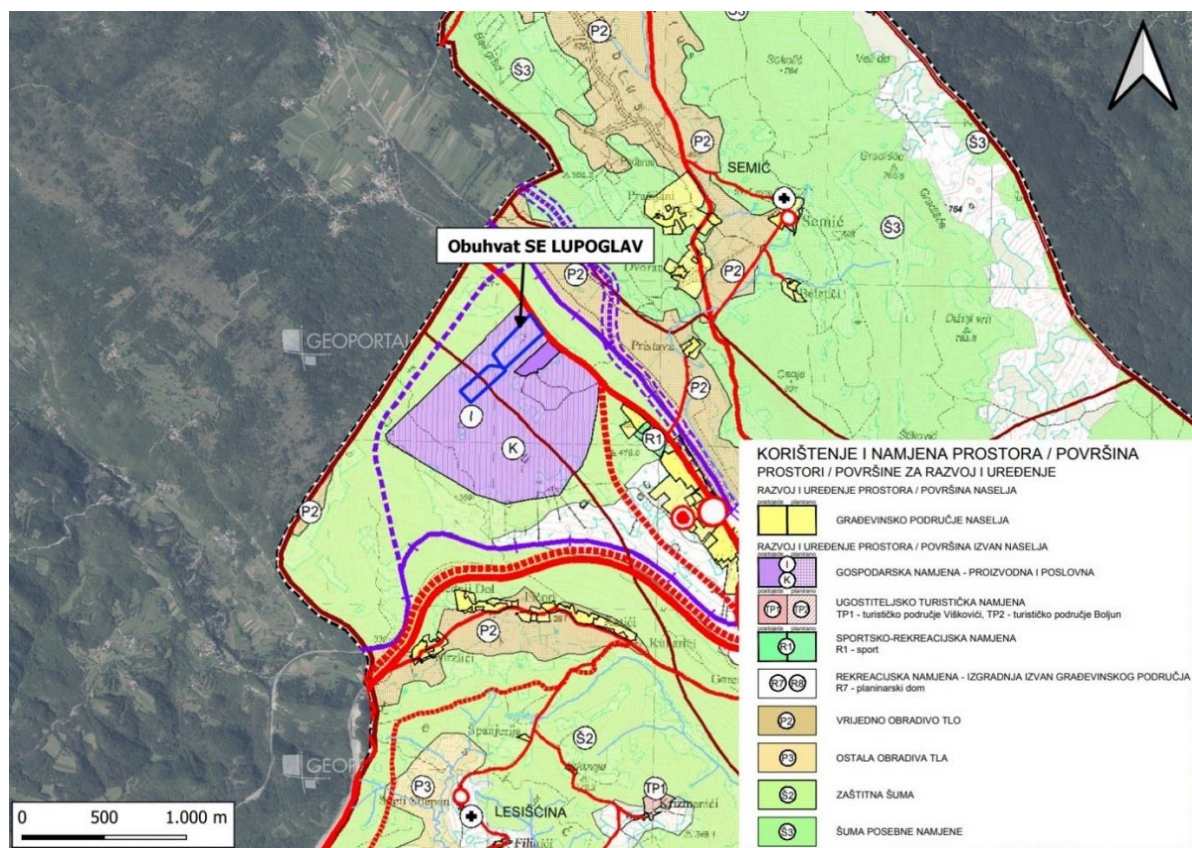
Površine za ostale infrastrukturne građevine, koje se određuju za smještaj uređaja, građevina, instalacija i slično, razgraničene su kroz sljedeće namjene:

- prometni sustav,
- elektronički komunikacijski sustav i poštanska mreža,
- vodnogospodarski sustav i
- energetska sustav koji uključuje i proizvodnju energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije. [35]

Sustav energetske infrastrukture sastoji se od:

- proizvodnje i transporta električne energije,
- plinoopskrbe i
- proizvodnje energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije. [36]

Prema slici (Sl. 5.2) lokacija za SE Lupoglav nalazi se izvan naselja, unutar planskog područja označenog kao *gospodarska namjena – proizvodna i poslovna* (planska oznaka I, K).



Sl. 5.2 Kartografski prikaz broj 1A, „Korištenje i namjena prostora/površina“ - uvećani prikaz s označenom lokacijom za sunčanu elektranu Lupoglav [37]

PPUO Lupoglav utvrđuje uvjete za uređivanje prostora općine, određuje svrhovito korištenje, namjenu, oblikovanje, obnovu i saniranje građevinskog i drugog zemljišta, zaštitu okoliša, te zaštitu spomenika kulture i osobito vrijednih dijelova prirode na području Općine Lupoglav. [38]

Pregledom prostorno-planske dokumentacije Istarske županije te Općine Lupoglav uz uvažavanje prethodno navedenih ograničenja, utvrđeno je da je predmetni zahvat usklađen sa PP IŽ i PPUO Lupoglav.

6. Utjecaj sunčane elektrane na smanjenje emisije CO₂ i izračun smanjenja ukupnog ugljičnog otiska

Za razliku od elektrana na fosilna goriva, sunčane elektrane u pogonu ne ispuštaju onečišćujuće tvari u okoliš, odnosno energija koju proizvedu zamjenjuje energiju iz konvencionalnih izvora i s njima povezane onečišćujuće emisije u atmosferu. [39]

Specifični faktor emisije CO₂ po kWh proizvedene električne energije varira od godine do godine, a ovisi o:

- hidrometeorološkoj situaciji i proizvodnji električne energije iz hidroelektrana,
- proizvodnji električne energije iz ostalih obnovljivih izvora energije,
- uvozu električne energije,
- dobavi električne energije iz NE Krško,
- gubicima u prijenosu i distribuciji,
- strukturi fosilnih goriva korištenih u termoelektranama, javnim i industrijskim toplanama. [40]

Tablica (Tablica 6.1) prikazuje specifične faktore emisije CO₂ po ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji u Hrvatskoj.

Tablica 6.1 Specifični faktor emisije CO₂ za razdoblje od 2010. do 2022. godine u Hrvatskoj

[41][42]

Godina	Specifični faktor emisije CO ₂ [kg/kWh]
2010.	0,237
2011.	0,319
2012.	0,304
2013.	0,220
2014.	0,192

2015.	0,232
2016.	0,233
2017.	0,207
2018.	0,148
2019.	0,179
2020.	0,166
2021.	0,150
2022.	0,175

U izračunu godišnjeg smanjenja emisije CO₂ u zraku, koje će biti uzrokovano djelovanjem sunčane elektrane Lupoglav, uzimamo prosječnu vrijednost specifičnog faktora emisije CO₂ po ukupno proizvedenoj električnoj energiji u Hrvatskoj u razdoblju od zadnjih pet godina, koja iznosi 0,164 kg/kWh.

Uzevši u obzir proračunatu količinu ukupno proizvedene električne energije koja se predaje u mrežu u iznosu od 9.571.997,97 kWh i proračunatu prosječnu vrijednost emisija CO₂ na proizvedeni kWh električne energije u Republici Hrvatskoj u zadnjih pet godina u iznosu od 0,164 kg/kWh, može se izračunati godišnje smanjenje emisija CO₂ u zraku:

$$9.571.997,97 \text{ kWh} * 0,164 \text{ kg/kWh} = 1.569,81 \text{ t} \quad (6.1)$$

Preračunato 9.571.997,97 kWh iznosi 34.459,19 GJ električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije u godinu dana i za toliko je moguće zamijeniti primarnu energiju iz neobnovljivih izvora energije. Kroz period od 25 godina životnog vijeka elektrane ta brojka iznosi:

$$9.572 \text{ MWh} * 3,6 \text{ GJ/MWh} * 25 \text{ god} = 861.480 \text{ GJ} \quad (6.2)$$

Ukupno smanjenje emisija CO₂ u zraku u periodu od 25 godina iznosi:

$$1.569,81 \text{ t} * 25 \text{ god} = 39.245,25 \text{ t} \quad (6.3)$$

Osim smanjenja CO₂, izgrađeno proizvodno postrojenje utjecat će na smanjenje ukupnog otiska stakleničkih plinova. Od svih stakleničkih plinova, ugljični dioksid (CO₂) je po količinama najzastupljeniji i čini preko 76 % ukupnih emisija. Glavni izvori tih emisija su procesi izgaranja, tj. korištenje fosilnih goriva i njihovih proizvoda u energetici i transportu, a potom uništavanje, tj. spaljivanje velikih šumskih površina. [43]

Sljedeći po količinama najzastupljeniji staklenički plin je metan (CH₄) koji nastaje kao posljedica aktivnosti u poljoprivredi, proizvodnje energije (eksploatacija prirodnog plina) i iz otpada odloženog na divljim nekontroliranim odlagalištima. Čini oko 14 % ukupnih emisija stakleničkih plinova. Didušikov oksid (N₂O) ima izvor u poljoprivredi, odnosno posljedica je korištenja umjetnih gnojiva i čini oko 8 % ukupnih emisija. Ostatak od oko 1% pripada umjetnim spojevima koji u pravilu imaju iznimno veliki relativni staklenički potencija i dug životni vijek u atmosferi. [43]

U proizvodnji električne energije relevantni su sljedeći staklenički plinovi koji zajedno čine oko 98% ukupnih stakleničkih plinova:

- ugljikov dioksid (CO₂): uzimamo već spomenutu prosječnu vrijednost specifičnog faktora emisije CO₂ po ukupno proizvedenoj električnoj energiji u Hrvatskoj u razdoblju od zadnjih pet godina, koja iznosi 0,164 kg/kWh, odnosno 164 kg/MWh,
- metan (CH₄): 0,016938 kg/MWh,
- didušikov oksid (N₂O): 0,003181 kg/MWh. [44]

Pojedini faktori emisija mogu se koristiti za izračun emisija svih relevantnih stakleničkih plinova zajedno (kg CO₂ekv) te stoga možemo zaključiti da faktor CO₂ekv koji uključuje sve relevantne stakleničke plinove u proizvodnji električne energije iznosi:

$$164 \text{ kg/MWh} * 9.572 \text{ MWh} = 1.569.808,67 \text{ kg CO}_2 \quad (6.4)$$

$$0,016938 \text{ kg/MWh} * 9.572 \text{ MWh} = 162,13 \text{ kg CH}_4 \quad (6.5)$$

$$0,003181 \text{ kg/MWh} * 9.572 \text{ MWh} = 30,45 \text{ kg N}_2\text{O} \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} 1.569.808,67 \text{ kg CO}_2 + 162,13 \text{ kg CH}_4 + 30,45 \text{ kg N}_2\text{O} & \quad (6.7) \\ = 1.570.001,25 \text{ kg CO}_2\text{ekv} & \end{aligned}$$

Smanjenje ukupnog ugljičnog otiska uzrokovano proizvodnjom električne energije u SE Lupoglav iznositi će 1.570.001,25 kg CO₂ekv godišnje, odnosno 39.250.031,25 kg CO₂ekv kroz period od 25 godina.

7. Tehno-ekonomska analiza

Za potrebe tehno-ekonomske analize projekta SE Lupoglav, osim godišnje proizvodnje električne energije, potrebna je i procjena ukupnih investicijskih troškova, troškova rada i održavanja sunčane elektrane te prihoda od prodaje proizvedene električne energije. Glavni financijski parametri kao investicijski troškovi (CAPEX), operativni troškovi (OPEX) i prihodi od prodaje električne energije temeljeni su na procjenama i industrijskim standardima.

7.1. Investicijski troškovi (CAPEX)

Investicijski troškovi uključuju sve one troškove koji su potrebni kako bi se izgradila SE Lupoglav, sve radove prije i tijekom izgradnje. Mogu se podijeliti na:

- troškove razvoja projekta koji uključuju izradu cjelokupne potrebne projektne dokumentacije, tražene elaborate, ishodaenje svih potrebnih dozvola do i uključujući građevinsku dozvolu te geodetske radove i savjetovanje prilikom razvoja projekta,
- trošak glavne opreme koji uključuje nabavu fotonaponskih modula, invertera i nosive potkonstrukcije,
- trošak sporedne opreme koji uključuje nabavu zaštitne opreme za uzemljenje i zaštitu od munja, komunikacijsku opremu, opremu za video nadzor te meteorološku opremu,
- trošak priključenja na energetska mrežu koji uključuje izgradnju susretnog postrojenja i kabela,
- trošak DC i AC niskonaponskih kabela, nabavu opreme i izgradnju internih NN/SN trafostanica,
- trošak izgradnje koji uključuje uređenje terena, izgradnju i uređenje pristupne ceste, izgradnju i uređenje servisnih (internih) prometnica, izgradnju ograde, izgradnju temelja za nosivu potkonstrukciju, ostale građevinske radove, puštanje u probni radi i trajni pogon, nadzor građevinskih i elektro radova, inženjering i vođenje projekata te ostale nepredviđene troškove,
- nepredviđene troškove tijekom gradnje u iznosu od 5 % troškova izgradnje i opreme,
- trošak kupnje zemljišta. [45]

Prema predmetnoj preliminarnoj procjeni ukupni investicijski troškovi razvoja i izgradnje projekta iznose 4.561.789,00 €, odnosno 608.238,53 €/MWp za instaliranu snagu od 7,5 MW, a prikazani su u tablici (Tablica 7.1).

Tablica 7.1 Prikaz troškova razvoja i izgradnje SE Lupoglav [46]

R.br.	Opis troška	Iznos [€]	Jedinični trošak
1	Trošak kupnje zemlje	603.500,00	8,50 €/m ²
2	Energetsko odobrenje	58.289,00	8327,00 €/MW
3	Razvoj projekta do građevinske dozvole	100.000,00	13.333,33 €/MWp
4	Fotonaponski moduli	660.000,00	88.000,00 €/MWp
5	Inverteri i transformatorske stanice	300.000,00	40.000,00 €/MWp
6	EPC ¹⁶	1.400.000,00	186.666,67 €/MWp
7	Verifikacija ispitivanja	50.000,00	6.666,67 €/MWp
8	Izgradnja priključka na mrežu	200.000,00	26,666,67 €/MWp
9	SN kabel do mjesta priključka	200.000,00	26,666,67 €/MWp
10	STUM ¹⁷	500.000,00	66,666,67 €/MWp
11	Nadzor	120.000,00	16.000,00 €/MWp
12	Montažna konstrukcija	370.000,00	49.333,33 €/MWp
	UKUPNO CAPEX	4.561.789,00	608.238,53 €/MWp

Trošak ishoda Energetskog odobrenja podrazumijeva naknadu od 8,327 €/kW priključne snage elektrane, sukladno *Uredbi o kriterijima za provođenje javnog natječaja za izdavanje energetskog odobrenja i uvjetima izdavanja energetskog odobrenja (NN 70/2023)*.

¹⁶ Engineering, Procurement and Construction - Inženjering, nabava i izgradnja

¹⁷ Stvaranje tehničkih uvjeta u mreži

7.2. Operativni troškovi (OPEX)

Operativni troškovi projekta odnose se na redovite, ponavljajuće troškove iz godine u godinu te se mogu podijeliti na:

- trošak tehničkog i administrativnog upravljanja,
- trošak održavanja i rezervni dijelovi,
- O&M¹⁸ troškovi vođenja elektrane,
- trošak osiguranja. [45]

Prema predmetnoj preliminarnoj procjeni ukupni operativni troškovi projekta iznose 88.085,00 €/god, odnosno 11.774,67 €/MWp/god za instaliranu snagu od 7,5 MW, a prikazani su u tablici (Tablica 7.2).

Tablica 7.2 Prikaz operativnih troškova SE Lupoglav za prvu godinu projekta [46]

R.br.	Opis troška	Iznos [€/god]
1	Trošak tehničkog i administrativnog upravljanja	4.335,00
2	Trošak održavanja i rezervni dijelovi	8.750,00
3	O&M troškovi vođenja elektrane	65.000,00
4	Trošak osiguranja	10.000,00
	UKUPNO OPEX	88.085,00

Sukladno *Uredbi o kriterijima za provođenje javnog natječaja za izdavanje energetske odobrenja i uvjetima izdavanja energetske odobrenja (NN 70/2023), Članak 13.*, u operativne troškove koji će se ponavljati na godišnjoj razini, treba dodati još:

- fiksnu godišnju naknadu jedinica lokalne samouprave u minimalnom iznosu od 1,50 EUR/kW priključne snage proizvodnog postrojenja.

U projekciji troškova za razdoblje djelovanja sunčane elektrane od 25 godina, primijenjena je godišnja stopa inflacije u visini od 2,5 % godišnje.

¹⁸ Operation and maintenance – rad i održavanje

7.3. Prihod od prodaje električne energije

Uz očekivanu godišnju količinu proizvedene električne energije na tržištu električne energije što je prikazano u ranijim poglavljima i koja iznosi oko 9.572 MWh, potrebno je procijeniti prodajnu cijenu kako bi se mogao procijeniti očekivani prihod od prodaje električne energije. No, ne postoji tržište na kojemu je moguće kupiti/prodati električnu energiju za toliko godina unaprijed te stoga nema preciznih podataka o cijenama koje bi se mogle iskoristiti za ovu računicu.

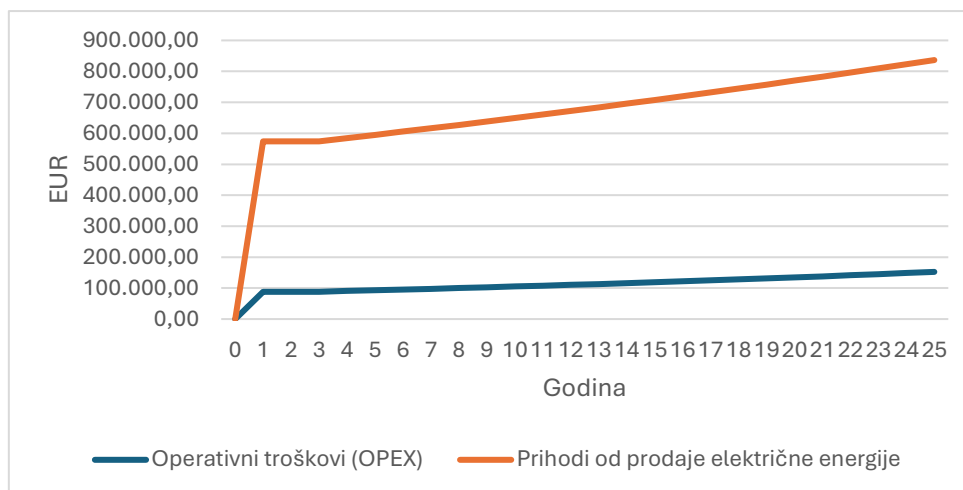
Stoga jedino preostaje pogledati bazne (engl. *baseload*) cijene budućih (engl. *futures*) ugovora za naredne godine za koje postoji likvidnost, tj. određene ponude za kupnju i prodaju, kao i realizirane transakcije, odnosno izračunate ustaljenje (engl. *settlement*) cijene ukoliko ne postoji likvidnost. Kao referentne cijene za *futures* ugovore električne energije za Republiku Hrvatsku uzimaju se cijene *futures* ugovora s Mađarske burze HUDEX¹⁹, jer Mađarska ima najrazvijenije i najlikvidnije tržište električne energije od svih nama susjednih zemalja, a cijene električne energije su praktički iste za oba tržišta zbog značajnih prekograničnih prijenosnih kapaciteta. Trenutna tržišna cijena za 2025. godinu iznosi 131,53 €/MWh, a za 2026. godinu 114,44 €/MWh. Za period od 2027. godine pa nadalje ne postoje cijene *futures* ugovora na HUDEX-u, već samo izračunate *settlement* cijene za Njemačku na burzi EEX²⁰ za period do 2032. godine. Prosječna *settlement* cijena za Njemačku za period 2026.- 2032. iznosi 110 €/MWh, a kako je veleprodajna cijena električne energije u Njemačkoj u prosjeku za 5 €/MWh jeftinija od prosječne cijene u Mađarskoj, odnosno Hrvatskoj, može se pretpostaviti prosječna veleprodajna cijena električne energije za Hrvatsku za period od 2026. godine pa nadalje u iznosu od 115 €/MWh. [45]

Zbog dugog razdoblja rada sunčane elektrane i nemogućnosti preciznog izračuna očekivane prosječne veleprodajne cijene na tržištu električne energije za cijeli period, prosječna veleprodajna cijena tijekom rada SE Lupoglav procjenjuje se na 60 €/MWh.

Grafikon (Grafikon 7.1) prikazuje projekciju operativnih troškova (OPEX) djelovanja sunčane elektrane Lupoglav i projekciju prihoda od prodaje električne energije za razdoblje od 25 godina.

¹⁹ Hungarian Derivative Energy Exchange

²⁰ European Energy Exchange



Grafikon 7.1 Odnos OPEX troškova i prihoda od prodaje EE SE Lupoglav

Zaključno, otkupna cijene električne energije SE Lupoglav tijekom njezinog životnog vijeka procijenjena je na 60 €/MWh, što čini osnovni scenarij za ovu studiju. Prema tom scenariju, procijenjeni godišnji prihod od prodaje električne energije iznosi 574.319,88 € u prvoj punoj godini djelovanja sunčane elektrane. Kod izračuna ukupnih prihoda uzeta je u obzir godišnja stopa inflacije od 2,5 % na otkupnu cijenu električne energije. Također, uzeta je u obzir tehnička degradacija, odnosno smanjenje proizvodnje solarnih panela od 0,7 % na godišnjoj bazi.

7.4. Ostali ulazni parametri za tehno-ekonomsku analizu

7.4.1. Financiranje

Za izradu tehno-ekonomske analize SE Lupoglav polazi se od pretpostavke da će se financiranje projekta ostvariti uz omjer vlastitih i kreditnih sredstava od 20% : 80% (Sl. 7.1). U troškove financiranja spada otplata kamate kredita koji se uzima na razdoblje od 15 godina uz kamatnu stopu od 3,2% te period milosti (engl. *grace*) za vrijeme izgradnje elektrane. Nakon 15. godine i povrata kredita, nema daljnjih troškova financiranja.

Izvori financiranja	Udio	UKUPNO	0. godina	1. godina	2. godina	UKUPNO
Vlastita financijska sredstva (equity)	20%	912.357,80	912.357,80	0,00	0,00	912.357,80
Kredit (banka)	80%	3.649.431,20	3.649.431,20	0,00	0,00	3.649.431,20
Financijska sredstva investitora (shareholder loan)	0%	0,00				0,00
Vlasnički udio JLS	0%	0,00				0,00
UKUPNO		4.561.789,00	4.561.789,00	0,00	0,00	4.561.789,00

Sl. 7.1 Izvori financiranja projekta SE Lupoglav

Plan otplate kredita za SE Lupoglav u iznosu od 3.649.431,20 € prikazan je grafikonom (Grafikon 7.2).



Grafikon 7.2. Plan otplate kredita za SE Lupoglav

7.4.2. Dugotrajna imovina

Dugotrajnu imovinu čini onaj dio ukupnih sredstava koji se upotrebljavaju duže od jedne godine. S vremenom ova imovina postupno gubi svoje značajke (vrijednost) pa se ta činjenica uzima kao osnovica za proračun troškova upotrebe dugotrajne imovine, tj. amortizacije. Amortizacija se obračunava tako da nabavna vrijednost dugotrajne imovine otpisuje primjenom, u ovom slučaju, linearne metode tijekom njezina procijenjenog korisnog vijeka trajanja. Važno je napomenuti da procijenjeni vijek trajanja ne mora biti, i najčešće nije, jednak stvarnom životnom vijeku dugotrajne imovine. Amortizacijski period je pretpostavljen na 20 godina te se u tom razdoblju amortizira 100 % dugotrajne imovine sa stopom od 5 % (Sl.7.2). [45]

R.br.	Opis	Nabavna vrijed. (EUR)	Stavljanje u funkciju	Vijek trajanja	Stopa amortizacije	Godina projekta																		
						0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
1	Radovi	0,00	4.mj. 2. god.	20	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Oprema	900.000,00	4.mj. 2. god.	20	5,00%	0	0	33.750	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	
Ukupno godišnja amortizacija						0	0	33.750	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	
Kumulativ						0	0	33.750	78.750	123.750	168.750	213.750	258.750	303.750	348.750	393.750	438.750	483.750	528.750					
R.br.	Opis	Nabavna vrijed. (EUR)	Stavljanje u funkciju	Vijek trajanja	Stopa amortizacije	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25							
1	Radovi	0,00	4.mj. 2. god.	20	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
2	Oprema	900.000,00	4.mj. 2. god.	20	5,00%	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	11.250										
Ukupno godišnja amortizacija						45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	11.250	0	0	0							
Kumulativ						573.750	618.750	663.750	708.750	753.750	798.750	843.750	888.750	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000						

Sl. 7.2 Amortizacija dugotrajne imovine SE Lupoglav

7.4.3. Stopa poreza i diskontna stopa

Stopa poreza na dobit kada je prihod manji od 995.421,06 €, što je slučaj kod SE Lupoglav, iznosi 10 %. [48] Diskontna stopa koja predstavlja zahtijevanu stopu povrata, odnosno cijenu kapitala i koja je potrebna za proračun uobičajenih parametara iz kojih se mogu izvući zaključci o isplativosti ulaganja u projekt procijenjena je na 8 %.

7.5. Izračun i prikaz rezultata

Isplativost i opravdanost cjelokupnog projekta SE Lupoglav provjerena je na tri različite razine:

- isplativost projekta (Return on Investment),
- isplativost uloženog kapitala (Return on Equity) i
- financijska održivost projekta (Financial Sustainability).

7.5.1. Isplativost projekta

Isplativost projekta (Tablica 7.2) pokazuje cjelokupnu isplativost projekta s pozicije investitora, bez obzira na izvore i načine financiranja projekta. Financijska procjena izrađena je na temelju prethodno izračunatog godišnjeg tijeka novčanog toka po stalnim cijenama tijekom referentnog razdoblja od 25 godina (Sl. 7.3). Novčani tok prebačen je na sadašnju vrijednost metodom diskontiranja koristeći realnu diskontnu stopu od 8 %.

Opis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Operativni prihodi	0	574.320	574.320	574.320	584.557	594.947	605.492	616.191	627.048	638.062	649.234	660.567	672.060
Ostatak vrijednosti													
PRILJEVI	0	574.320	574.320	574.320	584.557	594.947	605.492	616.191	627.048	638.062	649.234	660.567	672.060
Investicija	4.561.789	0	0										
Operativni troškovi	0	88.085	88.485	88.485	90.697	92.965	95.289	97.671	100.113	102.615	105.181	107.810	110.506
ODLJEVI	4.561.789	88.085	88.485	88.485	90.697	92.965	95.289	97.671	100.113	102.615	105.181	107.810	110.506
NETO NOVČANI TIJEK	-4.561.789	486.235	485.835	485.835	493.860	501.983	510.203	518.520	526.935	535.446	544.053	552.756	561.555
KUMULATIV	-4.561.789	-4.075.554	-3.589.719	-3.103.884	-2.610.024	-2.108.042	-1.597.839	-1.079.318	-552.383	-16.937	527.116	1.079.873	1.641.427
Diskontna stopa	8%												
Diskontni faktor	1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50	0,46	0,43	0,40
Diskontirani novčani tijek	-4.561.789	450.217	416.525	385.671	363.002	341.641	321.514	302.552	284.687	267.856	252.002	237.068	223.001
Kumulativ	-4.561.789	-4.111.572	-3.695.046	-3.309.375	-2.946.373	-2.604.732	-2.283.218	-1.980.666	-1.695.980	-1.428.123	-1.176.121	-939.053	-716.052
Opis	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Operativni prihodi	683.716	695.534	707.515	719.661	731.972	744.449	757.092	769.902	782.879	796.024	809.337	822.819	836.468
Ostatak vrijednosti													0
PRILJEVI	683.716	695.534	707.515	719.661	731.972	744.449	757.092	769.902	782.879	796.024	809.337	822.819	836.468
Investicija													
Operativni troškovi	113.268	116.100	119.002	121.978	125.027	128.153	131.356	134.640	138.006	141.457	144.993	148.618	152.333
ODLJEVI	113.268	116.100	119.002	121.978	125.027	128.153	131.356	134.640	138.006	141.457	144.993	148.618	152.333
NETO NOVČANI TIJEK	570.447	579.434	588.513	597.683	606.945	616.296	625.736	635.262	644.873	654.568	664.344	674.201	684.135
KUMULATIV	2.211.874	2.791.308	3.379.821	3.977.504	4.584.449	5.200.745	5.826.481	6.461.743	7.106.615	7.761.183	8.425.528	9.099.728	9.783.863
Diskontna stopa	8%												
Diskontni faktor	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15
Diskontirani novčani tijek	209.752	197.275	185.524	174.458	164.038	154.228	144.990	136.294	128.108	120.402	113.148	106.321	99.896
Kumulativ	-506.300	-309.026	-123.502	50.956	214.995	369.222	514.213	650.507	778.615	899.016	1.012.164	1.118.485	1.218.381

Sl. 7.3 Isplativost projekta SE Lupoglav

Prema rezultatima sa slike (Sl.7.3) vidljivo je da jednostavno razdoblje povrata investicije traje 9 godina, dok se uvođenjem diskontne stope u iznosu od 8% razdoblje povrata povećava na 15 godina.

Glavni financijski pokazatelji NPV²¹ i IRR²² računaju se prema sljedećim formulama:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{c_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (7.1)$$

gdje je:

t – trenutnu godina,

n – ukupni broj godina,

c_t – novčani priljev u trenutnoj godini,

r – diskontna stopa i

C_0 – početna investicija. [49]

$$0 = NPV = \sum_{n=0}^N \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \quad (7.2)$$

gdje je:

n – trenutni broj godina,

N – ukupni broj godina i

CF_n – novčani priljev u trenutnoj godini. [50]

Isto tako, na temelju dobivenih podataka sa slike (Sl. 7.3), izračunati su ključni financijski pokazatelji isplativosti projekta, NPV i IRR. NPV za projekt SE Lupoglav iznosi 1.218.381 €, izračunat prema formuli (7.1), što pokazuje da će projekt generirati značajan neto prihod tijekom svog vijeka trajanja te time nakon pokrića svih troškova ulaganja

²¹ Net present value – Neto sadašnja vrijednost

²² Internal rate of return – Interna stopa rentabilnosti

osigurati prihod i profitabilnost. IRR projekta SE Lupoglav iznosi 10,77 %, izračunat prema formuli (7.2), što ukazuje na to da će projekt u konačnici ostvariti povrat koji je iznad minimalne prihvatljive stope povrata, potvrđujući time da je ulaganje isplativo i da može zadovoljiti projektna očekivanja. IRR predstavlja vrijednost diskontne stope pri kojoj je NPV jednak 0 što je vidljivo i prema formuli (7.2).

7.5.2. Isplativost uloženog kapitala

Isplativost uloženog kapitala (Sl. 7.4) uzima u obzir strukturu financiranja projekta i dio koji se financira vlastitim kapitalom (engl. *equity*). Može se uočiti da je investicija vlastitog kapitala vraćena nakon 5. godine projekta, dok je kredit (kamate i glavnica) otplaćen nakon 15. godine projekta.

Isto tako, na temelju dobivenih podataka sa slike (Sl. 7.4), izračunati su ključni financijski pokazatelji isplativosti projekta, NPV kapitala po formuli (7.1) i IRR kapitala po formuli (7.2). NPV kapitala za projekt SE Lupoglav iznosi 2.243.305 €, što pokazuje da će projekt generirati značajan neto prihod tijekom svog vijeka trajanja te time nakon pokrića troškova kapitalnih ulaganja osigurati prihod i profitabilnost. IRR kapitala projekta SE Lupoglav iznosi 23,93 %, što ukazuje na to da će projekt u konačnici ostvariti povrat na kapitalna ulaganja koji je iznad minimalne prihvatljive stope, potvrđujući time da je ulaganje isplativo i da može zadovoljiti projektna očekivanja. Novčani tok prebačen je na sadašnju vrijednost metodom diskontiranja koristeći realnu diskontnu stopu od 8 %.

Opis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Operativni prihodi	0	574.320	574.320	574.320	584.557	594.947	605.492	616.191	627.048	638.062	649.234	660.567	672.060
Ostatak vrijednosti													
Ukupno prihodi	0	574.320	574.320	574.320	584.557	594.947	605.492	616.191	627.048	638.062	649.234	660.567	672.060
Operativni troškovi	0	88.085	88.485	88.485	90.697	92.965	95.289	97.671	100.113	102.615	105.181	107.810	110.506
Troškovi financiranja (kamate)	0	116.782	112.959	104.617	96.275	87.934	79.592	71.251	62.909	54.568	46.226	37.885	29.543
Investicija (plaćanje glavnice)	0	0	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674
Investicija (vlastiti kapital)	912.358	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ukupno troškovi	912.358	204.867	462.117	453.776	447.646	441.572	435.555	429.595	423.696	417.857	412.081	406.369	400.722
NETO NOVČANI TIJEK	-912.358	369.453	112.203	120.544	136.911	153.375	169.937	186.596	203.352	220.205	237.154	254.198	271.338
KUMULATIV	-912.358	-542.905	-430.702	-310.158	-173.247	-19.872	150.065	336.661	540.013	760.218	997.371	1.251.570	1.522.908
Opis	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Operativni prihodi	683.716	695.534	707.515	719.661	731.972	744.449	757.092	769.902	782.879	796.024	809.337	822.819	836.468
Ostatak vrijednosti													0
Ukupno prihodi	683.716	695.534	707.515	719.661	731.972	744.449	757.092	769.902	782.879	796.024	809.337	822.819	836.468
Operativni troškovi	113.268	116.100	119.002	121.978	125.027	128.153	131.356	134.640	138.006	141.457	144.993	148.618	152.333
Troškovi financiranja (kamate)	21.201	12.860	4.518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investicija (plaćanje glavnice)	260.674	260.674	260.674	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investicija (vlastiti kapital)													
Ukupno troškovi	395.143	389.634	384.194	121.978	125.027	128.153	131.356	134.640	138.006	141.457	144.993	148.618	152.333
NETO NOVČANI TIJEK	288.572	305.900	323.321	597.683	606.945	616.296	625.736	635.262	644.873	654.568	664.344	674.201	684.135
KUMULATIV	1.811.480	2.117.380	2.440.700	3.038.384	3.645.329	4.261.625	4.887.361	5.522.622	6.167.495	6.822.063	7.486.407	8.160.608	8.844.743

Sl. 7.4 Isplativost uloženog kapitala SE Lupoglav

7.5.3. Financijska održivost projekta

Financijska održivost projekta (Sl. 7.5) pokazuje se izračunom kumulativnog novčanog tijeka u referentnom razdoblju. [51] Informacija o financijskoj održivosti projekta važna je sa stajališta investitora kako se moglo u godinama kada projekt ne ostvaruje pozitivni novčani tijek osigurati dostatna financijska sredstva iz drugih izvora, odnosno iz poslovanja. Projekt SE Lupoglav ne generira negativni novčani tijek niti u jednoj godini, što je postignuto omjerom vlastitih i kreditnih sredstava od 20% : 80% (Sl. 7.1).

Opis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(+) Operativni prihodi	0	574.320	574.320	574.320	584.557	594.947	605.492	616.191	627.048	638.062	649.234	660.567	672.060
(-) Operativni troškovi	0	88.085	88.485	88.485	90.697	92.965	95.289	97.671	100.113	102.615	105.181	107.810	110.506
Rezultat operativnog poslovanja	0	486.235	485.835	485.835	493.860	501.983	510.203	518.520	526.935	535.446	544.053	552.756	561.555
(-) Ukupni investicijski troškovi	4.561.789	0	0										
(+) Kredit	3.649.431	0	0										
(+) Financiranje - vlastiti kapital	912.358	0	0										
(-) Vraćanje kredita (plaćanje glavnice)	0	0	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674	260.674
(-) Troškovi financiranja (kamate)	0	116.782	112.959	104.617	96.275	87.934	79.592	71.251	62.909	54.568	46.226	37.885	29.543
(-) Porez na dobit	0	36.945	33.913	33.622	35.258	36.905	38.561	40.227	41.903	43.588	45.283	46.987	48.701
NETO NOVČANI TIJEK	0	332.508	78.290	86.922	101.652	116.470	131.376	146.369	161.449	176.617	191.871	207.211	222.637
KUMULATIVNI NOVČANI TIJEK	0	332.508	410.798	497.720	599.373	715.843	847.219	993.588	1.155.037	1.331.654	1.523.525	1.730.736	1.953.373

Opis	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
(+) Operativni prihodi	683.716	695.534	707.515	719.661	731.972	744.449	757.092	769.902	782.879	796.024	809.337	822.819	836.468
(-) Operativni troškovi	113.268	116.100	119.002	121.978	125.027	128.153	131.356	134.640	138.006	141.457	144.993	148.618	152.333
Rezultat operativnog poslovanja	570.447	579.434	588.513	597.683	606.945	616.296	625.736	635.262	644.873	654.568	664.344	674.201	684.135
(-) Ukupni investicijski troškovi													
(+) Kredit													
(+) Financiranje - vlastiti kapital													
(-) Vraćanje kredita (plaćanje glavnice)	260.674	260.674	260.674	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Troškovi financiranja (kamate)	21.201	12.860	4.518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Porez na dobit	50.425	52.157	53.899	55.268	56.195	57.130	58.074	59.026	59.987	60.949	61.910	62.871	63.832
NETO NOVČANI TIJEK	238.148	253.743	269.421	542.415	550.751	559.167	567.662	576.235	584.886	593.536	602.187	610.838	619.489
KUMULATIVNI NOVČANI TIJEK	2.191.520	2.445.263	2.714.684	3.257.099	3.807.850	4.367.016	4.934.678	5.510.914	6.095.800	6.686.036	7.283.946	7.890.726	8.506.447

Diskontna stopa	8%												
Diskontni faktor	1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50	0,46	0,43	0,40
Diskontirani novčani tijek	0	307.878	67.121	69.002	74.718	79.268	82.789	85.405	87.226	88.352	88.873	88.869	88.412
Diskontirani kumulativ	0	307.878	374.999	444.000	518.718	597.986	680.775	766.180	853.406	941.758	1.030.632	1.119.501	1.207.913
Diskontni faktor	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15
Diskontirani novčani tijek	87.566	86.389	84.933	158.326	148.851	139.931	131.534	123.630	116.191	108.568	101.833	95.689	89.906
Diskontirani kumulativ	1.295.479	1.381.869	1.466.802	1.625.127	1.773.978	1.913.909	2.045.443	2.169.073	2.285.264	2.393.833	2.495.666	2.591.355	2.681.261

Opis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Operativni prihodi	0	574.320	574.320	574.320	584.557	594.947	605.492	616.191	627.048	638.062	649.234	660.567	672.060
Operativni troškovi	0	88.085	88.485	88.485	90.697	92.965	95.289	97.671	100.113	102.615	105.181	107.810	110.506
Operativni novčani tijek	0	486.235	485.835	485.835	493.860	501.983	510.203	518.520	526.935	535.446	544.053	552.756	561.555
Amortizacija	0	0	33.750	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000
Dobit (gubitak) iz poslovanja	0	486.235	452.085	440.835	448.860	456.983	465.203	473.520	481.935	490.446	499.053	507.756	516.555
Troškovi financiranja (kamate)	0	116.782	112.959	104.617	96.275	87.934	79.592	71.251	62.909	54.568	46.226	37.885	29.543
Dobit (gubitak) prije poreza	0	369.453	339.126	336.218	352.585	369.049	385.611	402.270	419.026	435.878	452.827	469.872	487.012
Porez na dobit	0	36.945	33.913	33.622	35.258	36.905	38.561	40.227	41.903	43.588	45.283	46.987	48.701

Opis	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Operativni prihodi	683.716	695.534	707.515	719.661	731.972	744.449	757.092	769.902	782.879	796.024	809.337	822.819	836.468
Operativni troškovi	113.268	116.100	119.002	121.978	125.027	128.153	131.356	134.640	138.006	141.457	144.993	148.618	152.333
Operativni novčani tijek	570.447	579.434	588.513	597.683	606.945	616.296	625.736	635.262	644.873	654.568	664.344	674.201	684.135
Amortizacija	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000
Dobit (gubitak) iz poslovanja	525.447	534.434	543.513	552.683	561.945	571.296	580.736	590.262	599.873	609.318	618.763	628.208	637.653
Troškovi financiranja (kamate)	21.201	12.860	4.518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dobit (gubitak) prije poreza	504.246	521.574	538.994	552.683	561.945	571.296	580.736	590.262	599.873	609.318	618.763	628.208	637.653
Porez na dobit	50.425	52.157	53.899	55.268	56.195	57.130	58.074	59.026	59.987	60.949	61.910	62.871	63.832

Sl. 7.5 Financijska održivost projekta SE Lupoglav

7.5.4. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti omogućava prepoznavanje kritičnih varijabli projekta, a to su one varijable čije varijacije, bilo pozitivne ili negativne, imaju najveći utjecaj na financijski učinak projekta. Analiza se vrši mijenjanjem jedne po jedne varijable i određivanjem učinka tih promjena na financijsku neto sadašnju vrijednost projekta (NPV). Kritičnima se smatraju one varijable čija varijacija $\pm 1\%$ od vrijednosti usvojene u temeljnom slučaju daje porast varijaciji veći od 1% u vrijednosti NPV-a. [52]

U nastavku su prikazani rezultati osjetljivosti projekta na varijacije investicijskih troškova (CAPEX), operativnih troškova (OPEX) te prihoda od prodaje električne energije na NPV projekta.

Opis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Operativni prihodi	0,00	574.319,88	574.319,88	574.319,88	584.557,13	594.947,29	605.491,62	616.191,32	627.047,57	638.061,51	649.234,25	660.566,84	672.060,28
SCENARIJ A/Prihodi -1%	0,00	568.576,68	568.576,68	568.576,68	578.711,56	588.997,82	599.436,70	610.029,40	620.777,09	631.680,90	642.741,91	653.961,17	665.339,68
Ostatak vrijednosti													
PRILIEVI (bazni scenarij)	0,00	574.319,88	574.319,88	574.319,88	584.557,13	594.947,29	605.491,62	616.191,32	627.047,57	638.061,51	649.234,25	660.566,84	672.060,28
SCENARIJ A/PRILIEVI	0,00	568.576,68	568.576,68	568.576,68	578.711,56	588.997,82	599.436,70	610.029,40	620.777,09	631.680,90	642.741,91	653.961,17	665.339,68
Investicijski troškovi	4.561.789,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SCENARIJ B/Investicijski troškovi +1%	4.607.406,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Operativni troškovi	0,00	88.085,00	88.485,00	88.485,00	90.697,13	92.964,55	95.288,67	97.670,88	100.112,66	102.615,47	105.180,86	107.810,38	110.505,64
SCENARIJ C/Operativni troškovi +1%	0,00	88.965,85	89.369,85	89.369,85	91.604,10	93.894,20	96.241,55	98.647,59	101.113,78	103.641,63	106.232,67	108.888,48	111.610,70
ODLJEVI (bazni scenarij)	4.561.789,00	88.085,00	88.485,00	88.485,00	90.697,13	92.964,55	95.288,67	97.670,88	100.112,66	102.615,47	105.180,86	107.810,38	110.505,64
ODLJEVI B	4.607.406,89	88.085,00	88.485,00	88.485,00	90.697,13	92.964,55	95.288,67	97.670,88	100.112,66	102.615,47	105.180,86	107.810,38	110.505,64
ODLJEVI C	4.561.789,00	88.965,85	89.369,85	89.369,85	91.604,10	93.894,20	96.241,55	98.647,59	101.113,78	103.641,63	106.232,67	108.888,48	111.610,70
Neto novčani tok (bazni scenarij)	-4.561.789,00	486.234,88	485.834,88	485.834,88	493.860,01	501.982,74	510.202,95	518.520,43	526.934,91	535.446,04	544.053,39	552.756,46	561.554,64
Neto novčani tok A	-4.561.789,00	480.491,68	480.091,68	480.091,68	488.014,43	496.033,27	504.148,04	512.358,52	520.664,44	529.065,43	537.561,05	546.150,79	554.834,04
Neto novčani tok B	-4.607.406,89	486.234,88	485.834,88	485.834,88	493.860,01	501.982,74	510.202,95	518.520,43	526.934,91	535.446,04	544.053,39	552.756,46	561.554,64
Neto novčani tok C	-4.561.789,00	485.354,03	484.950,03	484.950,03	492.953,03	501.053,10	509.250,07	517.543,73	525.933,79	534.419,89	543.001,58	551.678,35	560.449,58

Opis	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Operativni prihodi	683.715,54	695.533,53	707.515,09	719.661,02	731.972,06	744.448,85	757.092,01	769.902,04	782.879,39	796.024,41	809.337,40	822.818,51	836.467,84
SCENARIJ A/Prihodi -1%	676.878,38	688.578,19	700.439,94	712.464,41	724.652,33	737.004,36	749.521,09	762.203,02	775.050,59	788.064,17	801.244,02	814.590,32	828.103,16
Ostatak vrijednosti													0,00
PRILIEVI (bazni scenarij)	683.715,54	695.533,53	707.515,09	719.661,02	731.972,06	744.448,85	757.092,01	769.902,04	782.879,39	796.024,41	809.337,40	822.818,51	836.467,84
SCENARIJ A/PRILIEVI	676.878,38	688.578,19	700.439,94	712.464,41	724.652,33	737.004,36	749.521,09	762.203,02	775.050,59	788.064,17	801.244,02	814.590,32	828.103,16
Investicijski troškovi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SCENARIJ B/Investicijski troškovi +1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operativni troškovi	113.268,28	116.099,99	119.002,49	121.977,55	125.026,99	128.152,66	131.356,48	134.640,39	138.006,40	141.456,56	144.992,98	148.617,80	152.333,25
SCENARIJ C/Operativni troškovi +1%	114.400,96	117.260,99	120.192,51	123.197,33	126.277,26	129.434,19	132.670,04	135.986,80	139.386,47	142.871,13	146.442,91	150.103,98	153.856,58
ODLJEVI (bazni scenarij)	113.268,28	116.099,99	119.002,49	121.977,55	125.026,99	128.152,66	131.356,48	134.640,39	138.006,40	141.456,56	144.992,98	148.617,80	152.333,25
ODLJEVI B	113.268,28	116.099,99	119.002,49	121.977,55	125.026,99	128.152,66	131.356,48	134.640,39	138.006,40	141.456,56	144.992,98	148.617,80	152.333,25
ODLJEVI C	114.400,96	117.260,99	120.192,51	123.197,33	126.277,26	129.434,19	132.670,04	135.986,80	139.386,47	142.871,13	146.442,91	150.103,98	153.856,58
Neto novčani tok (bazni scenarij)	570.447,26	579.433,54	588.512,60	597.683,47	606.945,07	616.296,19	625.735,53	635.261,64	644.872,98	654.567,85	664.344,42	674.200,71	684.134,60
Neto novčani tok A	563.610,10	572.478,20	581.437,45	590.486,86	599.625,35	608.851,70	618.164,61	627.562,62	637.044,19	646.607,61	656.251,05	665.972,52	675.769,92
Neto novčani tok B	570.447,26	579.433,54	588.512,60	597.683,47	606.945,07	616.296,19	625.735,53	635.261,64	644.872,98	654.567,85	664.344,42	674.200,71	684.134,60
Neto novčani tok C	569.314,58	578.272,54	587.322,58	596.463,70	605.694,80	615.014,66	624.421,96	633.915,24	643.492,92	653.153,29	662.894,49	672.714,53	682.611,27

Sl. 7.6 Ulazni podatci za proračun analize osjetljivosti SE Lupoglav

Scenarij	Stavka	Promjena	NPV [€]	Promjena NPV-a	Ocjena
Scenarij 0 (bazni)			1.218.381	0,00%	
Scenarij A	Prihodi	-1%	1.149.358	-5,67%	kritična
Scenarij B	Investicijski troškovi	1%	1.172.763	-3,74%	kritična
Scenarij C	Operativni troškovi	1%	1.207.159	-0,92%	nije kritična

Sl. 7.7 Rezultati analize osjetljivosti SE Lupoglav

Vrijednosti NPV-a računane su prema formuli (7.1), a promjena NPV-a prema:

$$\Delta NPV_n = \frac{NPV_0 - NPV_n}{NPV_n} \quad (7.3)$$

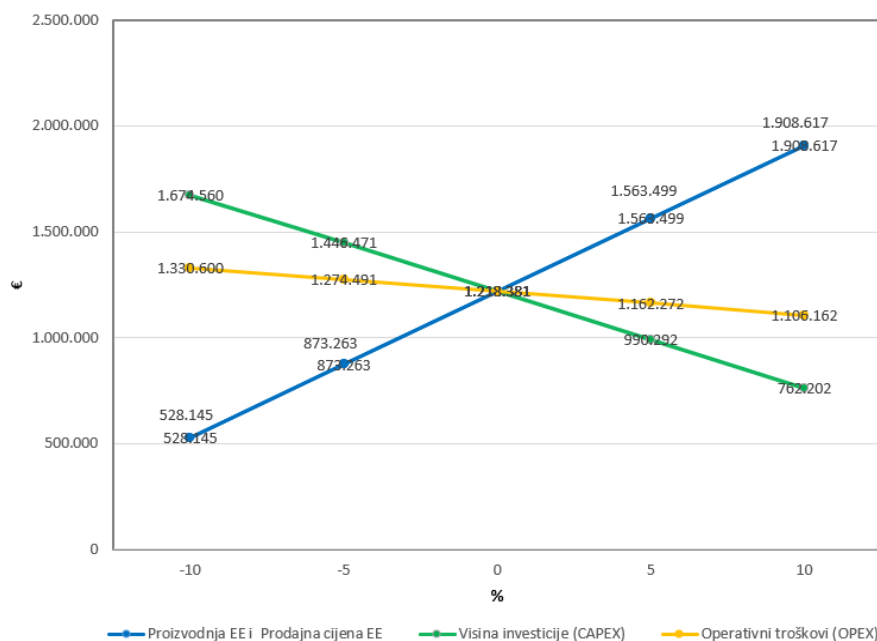
gdje je:

NPV_0 – vrijednost NPV-a u baznom scenariju i

NPV_n – vrijednost NPV-a u trenutnom scenariju. [53]

Analiza osjetljivosti pokazala je da su kritične dvije promatrane varijable, visina ostvarenih prihoda, koja ovisi o prodanoj (tj. proizvedenoj) količini električne energije i njezinoj prodajnoj cijeni, te visina investicijskih troškova projekta (CAPEX). Visina operativnih troškova (OPEX) pokazala se kao nekritična varijabla.

U nastavku je prikazana simulacija NPV-a na scenarije $\pm 5\%$ i $\pm 10\%$ promjene u proizvodnji električne energije, prodajnoj cijeni električne energije, visini investicijskih troškova (CAPEX) i visini operativnih troškova (OPEX).



Sl. 7.8 Analiza osjetljivosti NPV-a na promjene varijabli u iznosima od $\pm 5\%$ i $\pm 10\%$

Na temelju provedene analize osjetljivosti potvrđena je velika osjetljivost NPV-a na proizvedenu (tj. prodanu) količinu električne energije i prodajnu cijenu električne energije, pri čemu obje varijable jednako utječu na visinu ostvarenih prihoda. Isto je tako primjetna velika osjetljivost NPV-a na varijacije investicijskih troškova što potvrđuje prethodne proračune (Sl. 7.6).

Zaključak

Lokacija SE Lupoglav ukupne priključne snage 7 MW predviđena je na prostoru općine Lupoglav u Istarskoj županiji s površinom zahvata oko 7,1 ha. Na lokaciji nema značajne vegetacije niti topografskih obilježja koja bi ometala izloženost Suncu te time negativno utjecala na proizvodnju električne energije, stoga se dozračena sunčeva energija može optimalno iskoristiti u svrhu proizvodnje električne energije.

U ovoj fazi razvoja projekta potrebno je pripremiti dokumentaciju kako bi se moglo ishoditi energetska odobrenje i osigurati nesmetani daljnji razvoj projekta SE Lupoglav i izradu idejnog i glavnog projekta, odnosno ishodenje lokacijske i građevinske dozvole. Nakon ishodenja lokacijske i građevinske dozvole može se krenuti s izgradnjom i u konačnici operativnim radom i plasiranjem proizvedene električne energije na veleprodajno tržište.

Na temelju projektiranja SE Lupoglav koristeći programske alate VirtoCAD i PVsyst dobivena je vrlo precizna procjena proizvodnje električne energije u periodu od godinu dana, uzevši u obzir geografski položaj elektrane, nagib fotonaponskih panela, gubitke sustava itd. S podatkom procijenjene godišnje proizvodnje električne energije ide se u tehno-ekonomsku analizu projekta SE Lupoglav.

Ulazni parametri tehno-ekonomske analize, osim procijenjene godišnje proizvodnje električne energije, bili su i procijenjeni ukupni investicijski troškovi (CAPEX), operativni troškovi rada i održavanja sunčane elektrane (OPEX) te prihodi od prodaje proizvedene električne energije.

U ovom se radu na temelju tehno-ekonomske analize i izračunatih pokazatelja u skladu s prethodno definiranim ulaznim podacima, analizirao scenarij otkupa električne energije te financiranje projekta uz definirani omjer vlastitih i kreditnih sredstava. Na temelju tih pretpostavki i dobivenih rezultata može se zaključiti da je investicija u SE Lupoglav ekonomski opravdana te da je razumno nastaviti s razvojem i u konačnici izgradnjom projekta.

Literatura

- [1] Edoo, N., & King, R. T. F. A. (2021). Techno-Economic Analysis of Utility-Scale Solar Photovoltaic plus battery power plant. *Energies*, 14(23), 8145. <https://doi.org/10.3390/en14238145>; pristupljeno 15. travnja 2024.
- [2] *Budućnost koja se temelji na energiji iz obnovljivih izvora*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/hr/signals/signali-2022/clanaka/buducnost-koja-se-temelji-na>; pristupljeno 22. kolovoza 2024.
- [3] ENF Ltd. *Product directory. Solar panels*. https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/64301?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=161460; pristupljeno 15. travnja 2024.
- [4] Solar S. (19. kolovoza 2024.). Solar Panels Series vs Parallel : Understanding and Difference. *Sungold Solar*. <https://www.sungoldsolar.com/hr/solar-panels-series-vs-parallel/>; pristupljeno 23. kolovoza 2024.
- [5] *Ghrian Renewables. Polycrystalline panels*. <https://www.ghrianrenewables.com/polycrystalline.html>; pristupljeno 17. travnja 2024.
- [6] Cvrk, I. Optimiranje korištenja solarne energije fotonaponskom pretvorbom. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2011.
- [7] *OPUO 2024. srpanj-kolovoz*. mzozt.gov.hr. <https://mzozt.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/procjena-utjecaja-na-okolis-puo-spuo/ocjena-o-potrebi-procjene-utjecaja-zahvata-na-okolis-opuo-4016/opuo-postupci-2024/opuo-2024-srpanj-kolovoz/9753>; pristupljeno 18. kolovoza 2024.
- [8] Zhou, J. (13. listopada 2023.). *The Global Photovoltaic Inverter Rankings for 2022 – Nanyang Solar*. <https://nanyangsolar.com/the-global-photovoltaic-inverter-rankings-for-2022/>; pristupljeno 25. travnja 2024.
- [9] *Ministarstvo gospodarstva. OPUO 2024. ožujak-travanj. Sunčana elektrana Komogovina, Grad Petrinja i Općina Donji Kukuruzari, Sisačko-moslavačka županija*. mingor.gov.hr. https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2024/EZO%20Sun%C4%8Dana%20elektrana%20Komogovina.

[%20Grad%20Petrinja%20i%20Op%C4%87ina%20Donji%20Kukuruzari,%20Sisa%C4%8Dko-moslava%C4%8Dka%20%C5%BEupanija.pdf](#); pristupljeno 2. rujna 2024.

[10] *Ministarstvo gospodarstva. OPUO 2024. ožujak-travanj. Sunčana elektrana BALOG Z, Općina Bizovac, Osječko-baranjska županija.* https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2024/EZO%20Sun%C4%8Dana%20elektrana%20BALOG%20Z,%20Op%C4%87ina%20Bizovac,%20Osje%C4%8Dko-baranjska%20%C5%BEupanija.pdf; pristupljeno 17. kolovoza 2024.

[11] *Pravilnik o uvjetima i mjerilima za utvrđivanje sustava kvalitete usluga i radova za certificiranje instalatera obnovljivih izvora energije - fotonaponskih sustava.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_05_56_1105.html; pristupljeno 2. rujna 2024.

[12] *Pravilnik o uvjetima za vatrogasne pristup.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1994_05_35_627.html; pristupljeno 27. kolovoza 2024.

[13] *Ministarstvo gospodarstva. OPUO 2024. siječanj-veljača. Sunčana elektrana Benkovac 2, Grad Benkovac, Zadarska županija.* https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2024/EZO%20Sun%C4%8Dana%20elektrana%20Benkovac%202,%20Grad%20Benkovac,%20Zadarska%20%C5%BEupanija.pdf; pristupljeno 27. kolovoza 2024.

[14] *HAC. Tehnički opis.* <https://www.hac.hr/files/shares/2018-03/Prilog%203%20-%20Tehni%C4%8Dki%20uvjeti.pdf>; pristupljeno 22. lipnja 2024.

[15] *Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva. Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama. 2008.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_07_87_2799.html, 16.4.2024.

[16] *Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva. Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV. NN 105/2010. 2010.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_09_105_2834.html; pristupljeno 16. travnja 2024.

- [17] *Ministarstvo unutarnjih poslova. Pravilnik o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja. NN 146/2005. 12. Prosinca 2005.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_12_146_2744.html; pristupljeno 15. kolovoza 2024.
- [18] *Idejni projekt sunčana elektrana Lupoglav. IP392301. Toska d.o.o. siječanj 2024.*
- [19] *Ministarstvo gospodarstva. OPUO 2024. ožujak-travanj. Sunčana elektrana Kupljensko 1 i sunčana elektrana Kupljensko 2, Općina Vojnić, Karlovačka županija.* https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2024/EZO%20sun%C4%8Dana%20elektrana%20Kupljensko%201%20i%20sun%C4%8Dana%20elektrana%20Kupljensko%202,%20Op%C4%87ina%20Vojni%C4%87,%20Karlova%C4%8Dka%20%C5%BEupanija.pdf; pristupljeno 12. kolovoza 2024.
- [20] *Ministarstvo gospodarstva. OPUO 2020. Elaborat zaštite okoliša. Izgradnja sunčane elektrane Radeke 25 MW.* https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/23_12_2020_Elaborat_SE_Radeke.pdf;
- [21] *Istarska županija. Prostorni plan Istarske županije.* https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/prostorni_plan/Ostali/Lupoglav_UPU_GZ_I_faza_tekst.pdf; pristupljeno 20. kolovoza 2024.
- [22] *Istarska županija. Prostorni plan Istarske županije. 2.3. Vodnogospodarski sustav i obrada, skladištenje i odlaganje otpada (kartografski prikazi)* https://www.istra-istria.hr/media/filer_public/2b/d8/2bd8a72a-a69f-4bef-af22-8bee0d575a7b/2_4_energetika_2016s.pdf;
- [23] *Elaborat mogućnosti priključenja SE Lupoglav priključne snage 7 MW na distribucijsku mrežu. EMP broj R8123-01-EMP. Toska d.o.o. siječanj 2024.*
- [24] *Arhiva ranijih Desetogodišnjih planova. hep.hr. DESETOGODIŠNJI (2022. – 2031.) Desetogodišnji plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a za razdoblje 2022.-2031.* https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Planovi_razvoja/arhiva/HEP_ODS_10g_plan_2022_2031.pdf; pristupljeno 2. rujna 2024.
- [25] *Mrežna pravila distribucijskog sustava. Članak 28.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_74_1539.html; pristupljeno 25. srpnja 2024.

- [26] *Mrežna pravila distribucijskog sustava. Članak 50.* https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_74_1539.html; pristupljeno 25. srpnja 2024.
- [27] *Ministarstvo gospodarstva. OPUO 2020. EZO. Sunčana elektrana Benkovac 3, Grad Benkovac, Zadarska županija.* https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/02_06_2020_Elaborat_SE_Benkovac_3.pdf; pristupljeno 19. kolovoza 2024.
- [28] *Izaslanik Sunca. (6. srpnja 2017.). Solargis-Croatia-GHI-Solar-Resource-Map-en - Izaslanik Sunca.* <https://izaslaniksunca.hr/novosti/solargis-croatia-ghi-solar-resource-map-en/>; 24. travnja 2024.
- [29] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. (11. siječnja 2016).* https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.1; pristupljeno 27. kolovoza 2024.
- [30] *Spw. (5. siječnja 2024.). What's a good value for kWh/kWp? An overview of specific yield.* Solar Power World. <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/08/specific-yield-overview/>; pristupljeno 27. kolovoza 2024.
- [31] *Hukseflux. How to calculate PV performance ratio and performance index.* <https://www.hukseflux.com/applications/solar-energy-pv-system-performance-monitoring/how-to-calculate-pv-performance-ratio>; pristupljeno 27. kolovoza 2024.
- [32] *Project design > Shadings > Calculation and Model > Iso-shading diagram.* https://www.pvsyst.com/help/index.html?near_shadings_isoshadings.htm; pristupljeno 17. srpnja 2024.
- [33] *Istarska županija. Prostorni plan.* <https://www.istra-istria.hr/hr/dokumenti/prostorni-plan/>; pristupljeno 12. svibnja 2024.
- [34] *Prostorni plan Istarske županije. Korištenje i namjena prostora/površina. Prostori za razvoj i uređenje.* https://www.istra-istria.hr/media/filer_public/d9/08/d908238a-09de-4abf-80ad-98034f0d4e58/1_prostori_za_razvoj_i_uredenje_2016s.pdf; 24. travnja 2024.
- [35] *Prostorni plan Istarske županije. Pročišćeni tekst Odluke o donošenju Prostornog plana Istarske županije. Članak 24.* <https://www.istra-istria.hr/hr/podsitoevi/zavod-za-prostorno-uredenje-istarske-zupanije/prostorni-planovi/prostorni-plan-istarske->

[zupanije/procisceni-tekst-odluke-o-donosnju-prostornog-plana-istarske-zupanije-sniz-1416/](#)
; pristupljeno 22. svibnja 2024.

[36] *Prostorni plan Istarske županije. Pročišćeni tekst Odluke o donošenju Prostornog plana Istarske županije. Članak 128.* <https://www.istra-istria.hr/hr/podsitoevi/zavod-za-prostorno-uredenje-istarske-zupanije/prostorni-planovi/prostorni-plan-istarske-zupanije/procisceni-tekst-odluke-o-donosnju-prostornog-plana-istarske-zupanije-sniz-1416/>
; pristupljeno 22. svibnja 2024.

[37] Upravitelj. *Prostorni planovi. 1A Korištenje i namjena površina KPP* https://www.lupoglav.hr/images/svi_dokumenti/prostorni_planovi/0759/25000/1A-koristenje_i_namjena_povrsina_KPP.pdf; pristupljeno 24. travnja 2024.

[38] *Općina Lupoglav . Uvjeti za određivanje namjena površina na području općine.* [https://www.lupoglav.hr/images/svi_dokumenti/prostorni_planovi/0759/Odluka_o_donosenju u IV. IDPPUOL.pdf](https://www.lupoglav.hr/images/svi_dokumenti/prostorni_planovi/0759/Odluka_o_donosenju_IV_IDPPUOL.pdf);

[39] *Europski strukturni i investicijski fondovi. Glavni projekt sunčane elektrane za vlastite potrebe. Siječanj 2018.* https://strukturnifondovi.hr/wp-content/uploads/2019/03/07_Prilog7_Glavni_projekt.pdf; pristupljeno 25. kolovoza 2024.

[40] *Ministarstvo prostornoga u ređenja, graditeljstva i državne imovine. Meteorološki podatci. Metodologija izračuna faktora primarne energije. 2017.* https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Metodologija_izracuna_faktora_primarne_energije_2017.pdf; pristupljeno 25. kolovoza 2024.

[41] *Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Energija u Hrvatskoj 2015. 2015.* Poveznica: <https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2016/12/Energija2015.pdf>; pristupljeno 25. svibnja 2024.

[42] *Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Energija u Hrvatskoj 2022.. 2022.* Poveznica: https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/01/Energija-u-HR-22_WEB-novo.pdf; pristupljeno 25. svibnja 2024.

[43] *Magicmarinac.Hr. NN 63/2021 (7. lipnja 2021.), Strategija niskougliječnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu - Zakon.hr.* <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=49009>; pristupljeno 24. kolovoza 2024.

- [44] *Ugljični otisak*. mingor.gov.hr. <https://mingo.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/ugljicni-otisak/8960>; pristupljeno 25. kolovoza 2024.
- [45] *Studija izvedivosti izgradnje SUNČANA ELEKTRANA „DUGO SELO“*. Projekt broj SI442301. Toska d.o.o. prosinac 2023.
- [46] *Procjena troškova izgradnje sunčanih elektrana*, Toska d.o.o. siječanj 2024.
- [47] *Financijska analiza SE Lupoglav*. Toska d.o.o. siječanj 2024.
- [48] *Zakon o porezu na dobit*. Izdanje NN 177/2004. 15. prosinca 2004. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004_12_177_3067.html; pristupljeno 30. kolovoza 2024.
- [49] Martinez, M. C. (7. prosinca 2021.). *How to compute the net present value of an investment in Excel - SimTrade blog*. https://www.simtrade.fr/blog_simtrade/compute-net-present-value-investment-excel/; pristupljeno 22. kolovoza 2024.
- [50] Developer, A. S. (2021, December 6). *Time value of money, Present Value (PV), Future Value (FV), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR)*. <https://www.allstacksdeveloper.com/2021/12/time-value-of-money-pv-fv-npv-irr.html>; pristupljeno 22. kolovoza 2024.
- [51] Banerjee, P. 24. srpnja 2024. *Financial sustainability*. WallStreetMojo. <https://www.wallstreetmojo.com/financial-sustainability/>; pristupljeno 4. rujna 2024.
- [52] Indeed Editorial Team. 18. kolovoza 2024. *What is a sensitivity analysis? Definition and examples*. Indeed Career Guide. <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/sensitivities-analysis>; pristupljeno 28. kolovoza 2024.
- [53] HNB. *Očitovanje na primjedbe i prijedloge dostavljene u sklopu javne rasprave o Nacrtu Odluke o klasifikaciji izloženosti u rizične skupine i načinu utvrđivanja kreditnih gubitaka*. prosinac 2017. https://www.hnb.hr/documents/20182/1745004/h-ocitovanje-primjedbe-nacrt-OKI_29-12-2017.pdf/18e6c99c-b557-434b-be20-f286517957cc; pristupljeno 4. rujna 2024.

Sažetak

Ugradnja sunčanih elektrana u distribucijsku mrežu postaje sve važnija tema s obzirom na prijelaz prema održivoj energiji i potrebu smanjenja emisija stakleničkih plinova. Sunčane elektrane igraju ključnu ulogu u strategijama za čistu energiju, jer iskorištavaju Sunčevu energiju kao obnovljivi izvor. Ovaj rad nastoji prikazati glavne izazove i prilike povezane s integracijom sunčanih elektrana u distribucijski sustav. Posebna pažnja posvećena je tehničkim aspektima, poput optimalnog postavljanja panela, karakteristika izmjenjivača te zakonodavnog okvira za priključenje, uz osvrt na ekonomske učinke ovog procesa, a cjelokupna problematika obrađena je na primjeru sunčane elektrane Lupoglav. Provedena je konstrukcija elektrane u programskom alatu VirtoCAD, a finalni projekt integriran je u programski alat PVsyst od kuda je dobivena procijenjena godišnja proizvodnja električne energije. Ta informacija zatim je predstavljala temelj tehno-ekonomske analize cjelokupnog projekta sunčane elektrane Lupoglav.

Ključne riječi: sunčana elektrana, integracija, VirtoCAD, PVsyst, priključenje, isplativost

Summary

The installation of solar power plants in the distribution network is becoming an increasingly important topic regarding the transition to sustainable energy and the need to reduce greenhouse gas emissions. Solar power plants play a key role in clean energy strategies, as they exploit the sun's energy as a renewable resource. This paper aims to present the main challenges and opportunities associated with the integration of solar power plants into the distribution system. Special attention is paid to technical aspects, such as optimal placement of panels, characteristics of inverters and the legislative framework for connection, with a review of the economic effects of this process, and the entire issue is addressed using the example of the Lupoglav solar power plant. The construction of the power plant was carried out in the program tool VirtoCAD, and the final project was integrated into the program tool PVsyst, from which the estimated annual production of electricity was obtained. This information then represented the basis of the techno-economic analysis of the entire Lupoglav solar power plant project.

Key words: solar power plant, integration, VirtoCAD, PVsyst, connection, profitability