

Planiranje integracije fotonaponskih elektrana i baterijskih spremnika energije u energetske sustav na otoku Lastovo

Matić, Emanuel Branimir

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:492333>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-07**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Emanuel Branimir Matić

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Goran Krajačić

Student:

Emanuel Branimir Matić

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Goranu Krajačiću i dr. sc. Marku Mimici na izdvojenom vremenu i pomoći.

Zahvaljujem svojoj majci Ružici i ocu Karlu na pruženoj podršci tijekom studija.

Zahvaljujem se svojoj curi Lauri na strpljenju i podršci.

Zahvaljujem se svojem prijatelju i mentoru Petru.

Posebno se zahvaljujem svom najboljem bratu Gabrielu.

Emanuel Branimir Matić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: Emanuel Branimir Matić JMBAG: 0246069130

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Planiranje integracije fotonaponskih elektrana i baterijskih spremnika energije u energetske sustav na otoku Lastovu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Planning the integration of photovoltaic power plants and battery energy storage into the energy system on the island of Lastovo**

Opis zadatka:

Fotonaponske elektrane sve se češće primjenjuju na otocima širem svijeta, a i baterijski sustavi pohrane energije sve češće pronalaze svoju primjenu. Ove tehnologije mogu imati mnoge prednosti za otoke, uključujući smanjenje ovisnosti o uvozu fosilnih goriva za proizvodnju električne energije, poboljšanje pouzdanosti opskrbe energijom i smanjenje troškova energije za stanovnike. Dodatno, primjena fotonaponskih elektrana omogućuje manju emisiju stakleničkih plinova na razini cijelog otoka. Uz to, fotonaponske elektrane i baterijski spremnici energije mogu biti korisni za otok koji često znaju imati nestabilnu opskrbu električnom energijom. U slučaju prekida napajanja, baterijski spremnici energije mogu osigurati električnu energiju dok se problem ne riješi.

U okviru diplomskog rada potrebno je analizirati mogućnost izgradnje fotonaponskih elektrana sa baterijskim spremnicima na otoku Lastovu.

U okviru rada potrebno je provesti:

1. Analizu trenutne primjene fotonaponskih elektrana i baterijskih sustava pohrane energije na otocima u EU i svijetu.
2. Analizu trenutne i planirane primjene fotonaponskih elektrana na hrvatskim otocima.
3. Analizu mogućnosti izgradnje fotonaponskih elektrana sa baterijskim sustavima pohrane energije na otoku Lastovu gdje je potrebno posvetiti posebnu pažnju u odabiru materijala koji se koriste za fotonaponske module, konstrukciju, invertere i slično.
4. Analizu mjera zaštite korištenih materijala zbog posebnih uvjeta na otocima.
5. Izračun potrebnih kapaciteta fotonaponskih elektrana i baterijskih spremnika energije s obzirom na raspoložive površine te uvjete u elektroenergetskom sustavu.

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

Zadatak zadan:

4. svibnja 2023.

Datum predaje rada:

6. srpnja 2023.

Predviđeni datum obrane:

17. – 21. srpnja 2023.

Zadatak zadao:

Izv.prof.dr.sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
SAŽETAK	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
2. FOTONAPONSKE ELEKTRANE.....	2
3. OSNOVE FOTONAPONA	4
3.1 Konstrukcija poluvodiča	5
4. STRUKTURA SOLARNE ĆELIJE.....	7
5. MATERIJALI FOTONAPONSKIH MODULA.....	8
5.1 Aluminiij	8
5.2 Gumene brtve i staklo	10
5.3 Etilen-vinil acetat (EVA)	10
5.4 Silicij.....	11
6. VRSTE FOTONAPONSKIH ĆELIJA.....	14
7. TRENUTNA PRIMJENA FOTONAPONSKIH ELEKTRANA I BATERIJSKIH SUSATAVA NA OTOCIMA.....	16
7.1 Otok Madeira	17
7.2 Otok El Hierro	19
8. PLAN PRIMJENE OBNOVLJIVIH IZVORA U HRVATSKOJ	22
8.1 Elektroenergetska mreža na otocima.....	22
8.2 Otok Brač.....	23
8.2.1 Elektroenergetska mreža.....	23
8.2.2 Energetska tranzicija otoka Brača	24
8.3 Cresko-lošinjsko otočje	25
8.3.1 Energetska tranzicija cresko-lošinjskog otočja	26
8.4 Dugi otok, Zverinac i Lavdara	26
8.4.1 Energetska tranzicija Dugog otoka, Zverinac i Lvdara.....	27
8.5 Elafitski otoci.....	27
8.6 Hvar	27
8.7 Korčula.....	28
8.7.1 Energetska tranzicija otoka Korčula	30
8.8 Žirje.....	31
8.8.1 Energetska tranzicija otoka Žirje.....	32
8.9 Vis.....	33
9. IZGRADNJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE SA BATERIJSKIM SUSTAVOM NA OTOKU LASTOVU	34

9.1	Potrošnja energenata na otoku Lastovo	34
9.2	Fotonaponske elektrane otoka Lastovo	37
9.3	Program PV SOL	38
9.4	Postavljanje fotonaponskih modula.....	39
9.4.1	Kabliranje mikro cjeline.....	40
9.4.2	Odabir materijala	41
9.5	Fotonaponska elektrana na lokaciji A	43
9.6	Fotonaponska elektrana na lokaciji B	60
9.7	Fotonaponska elektrana na lokaciji A i B	77
10.	ZAKLJUČAK.....	83
11.	LITERATURA	84
	PRILOG	87

POPIS SLIKA

Slika 1	Shematski prikaz spajanja [2]	3
Slika 2	Silicijeva struktura sa dopiranim atomima [2]	4
Slika 3	pn-spoj [2]	5
Slika 4	Struktura kristala silicija [4]	6
Slika 5	Osnovni princip rada fotonaponskog ćelija [6]	7
Slika 6	Osnovna struktura fotonaponskog modula [7]	8
Slika 7	Okvir fotonaponskog modula [9]	9
Slika 8	Etilen vinil acetatna folija [10]	11
Slika 9	Silicij [11]	12
Slika 10	Izgled mono i polikristalnih ćelija [15]	14
Slika 11	Postupak proizvodnje solarnih ćelija [16]	15
Slika 12	geografski položaj otoka Maderia	17
Slika 13	graf proizvodnje/potrošnje u jednom danu [19]	19
Slika 14	Shematski prikaz postrojenja [24]	21
Slika 15	Južna otočna petlja [26]	24
Slika 16	Potrošnja električne energije u kućanstvu [31]	29
Slika 17	Potrošnja električne energije u gospodarstvu [31]	30
Slika 18	Geografski položaj otoka Žirje [32]	31
Slika 19	Fotonaponska elektrana otoka Visa [34]	33
Slika 20	Geografski položaj otoka Lastovo [37]	34
Slika 21	Potrošnja energije u kućanstvu otoka Lastovo [38]	35
Slika 22	Potrošnja energije u gospodarstvu otoka Lastovo [38]	35
Slika 23	Lokacija neintegrirane fotonaponske elektrane [40]	37
Slika 24	Jedna mikro cjelina fotonaponske elektrane	39
Slika 25	Kabliranje jedne mikro cjeline	40
Slika 26	Tipska konstrukcija za prihvat fotonaponskih modula [41]	41
Slika 27	Poprečni presjek napojnog kabela FG16OR16 [42]	42
Slika 28	Model fotonaponske elektrane na lokaciji A	43
Slika 29	Tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A izražen u kWh	45
Slika 30	Iskoristivost električne energije dobivene iz fotonapona na lokaciji A	46
Slika 31	Pokriće potrošnje električne energije otoka nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A	46
Slika 32	Dnevni tok električne energije u siječnju nakon izgradnje lokacije A	47
Slika 33	Dnevni tok električne energije u kolovozu nakon izgradnje lokacije A	47
Slika 34	Neto sadašnje vrijednosti lokacije A po godinama	58
Slika 35	Model fotonaponske elektrane na lokaciji B	60
Slika 36	Tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji B izražen u kWh	62
Slika 37	Iskoristivost električne energije dobivene iz fotonapona na lokaciji B	63
Slika 38	Pokriće potrošnje električne energije otoka nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji B	63
Slika 39	Dnevni tok električne energije u siječnju nakon izgradnje lokacije B	64
Slika 40	Dnevni tok električne energije u kolovozu nakon izgradnje lokacije B	64
Slika 41	Neto sadašnje vrijednosti lokacije B po godinama	75

Slika 42	Tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A i B izražen u kWh	77
Slika 43	Iskoristivost električne energije dobivene iz fotonapona na lokaciji A i B.	78
Slika 44	Pokriće potrošnje električne energije otoka nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A i B.....	79
Slika 45	Proračun proizvodnje fotonaponske elektrane.....	80
Slika 46	Omjer utroška električne energije nakon izgradnje lokacije A i B	81
Slika 47	Neto sadašnje vrijednosti lokacije A i B po godinama.....	82

POPIS TABLICA

Tablica 1	Proizvodnja električne energije na otoku Madeira [20]	18
Tablica 2	Ciljevi energetske tranzicije do 2030 godine [25].....	22
Tablica 3	Broj dolazaka i noćenja otočja u 2018. godini [27].....	25
Tablica 4	Potrošnja električne energije po sektorima u 2018. godini [27].....	26
Tablica 5	Potrošnja električne energije po sektorima u 2018. godini [28].....	27
Tablica 6	Potrošnja električne energije po sektorima u 2019. godini [30].....	28
Tablica 7	Potrošnja električne energije po sektorima u 2018. godini [32].....	31
Tablica 8	Ukupna godišnja potrošnja otoka Lastovo [38]	36
Tablica 9	Kumulativna proizvodnja fotonaponske elektrane na lokaciji A	55
Tablica 10	Prihodi i rashodi elektrane na lokaciji A	56
Tablica 11	Kumulativna proizvodnja fotonaponske elektrane na lokaciji B	72
Tablica 12	Prihodi i rashodi elektrane na lokaciji B	73

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
IRR	%	Interna stopa povrata
NSV	€	Neto sadašnje vrijednosti
LCOE	€/kWh	Izjednačeni trošak električne energije
i		Broj promatranih godina
C_i	€	Protok novca
r	kg	Masa u apsolutno suhom stanju
d	%	Diskontna stopa
UIU	€	Ukupna investicija ulaganja
M_i	€	Troškovi održavanja
E_i	kWh	Proizvedena električna energija u godini

SAŽETAK

Cilj ovog rada je dimenzionirati neintegrirane fotonaponske elektrane koje su predviđene u prostornom planu otoka Lastovo. Potrebno je izračunati proizvodnju fotonaponskih elektrana kao i odabir komponenti koje su potrebne za funkcionalnost same elektrane i njihov položaj na lokaciji. Uz fotonaponsku elektranu potrebno je odrediti i kapacitet baterijskog sustava sukladno stvarnoj potrošnji električne energije otoka Lastovo i proizvodnje elektrane.

Utvrđeno je ukoliko je glavni kriteriji smanjenje uvoza električne energije otoka Lastovo, optimalan odabir je fotonaponska elektrana na lokaciji B koja smanjuje uvoz električne energije otoka za 36,3% s investicijom od 1.088.256,00 €.

Ukoliko je glavni kriteriji financijska isplativost, optimalan odabir je fotonaponska elektrana na lokacija A s najvišom internom stopom povrata od 17,66%.

Ukoliko se uzimaju u obzir benefiti na razini države, optimalan odabir je izgradnja fotonaponskih elektrana na lokaciji A i B zbog najveće proizvodnje od ukupno 6.782,275 kWh.

Ključne riječi: Fotonaponska elektrana, baterijski sustav, otok Lastovo

SUMMARY

The goal of this study is to calculate the sizes of non-integrated photovoltaic power plants planned in the spatial plan of the island of Lastovo. It is necessary to calculate the production of photovoltaic power plants, as well as the selection of components required for the functionality of the power plant itself and their positioning at the location. Along with the photovoltaic power plant, it is necessary to determine the capacity of the battery system according to the actual consumption of Lastovo Island and the power plant's production.

It has been determined that if the main criterion is the reduction of Lastovo Island's electricity consumption, the optimal choice is a photovoltaic power plant at location B, which reduces the island's consumption by 36.3% with an investment of 1,088,256.00 €.

If the main criterion is financial profitability, the optimal choice is a photovoltaic power plant at location A with the highest internal rate of return of 17.66%.

Taking into account the benefits at the national level, the optimal choice is the construction of photovoltaic power plants at locations A and B due to the highest total production of 6,782.275 kWh.

Key words: Photovoltaic power plant, battery system, Lastovo Island

1. UVOD

Hrvatska je zemlja s dobro razvijenom obalom duž koje se nalaze brojni otoci. Hrvatski otoci sastoje se od 78 otoka, 524 otočića, 389 hrida i 78 grebena što čini 5,8% teritorija hrvatske od kojih je 50 stalno naseljeno. [1] Većina naseljenih otoka priključena je na nacionalnu elektroenergetsku mrežu putem podmorskih kabela. Kapacitet mreže na većini otoka je iskorišten do granica stoga je otežano priključivanje novih potrošača. Turizam u ljetnim mjesecima skupa sa slabim kapacitetima same mreže i dotrajalih priključaka uzrokuje lošu kvalitetu električne energije odnosno nestabilan napon i česti kvarovi. Osnovni problem distribucije energije isti je kod svih otoka. Na osnovi otoka Lastovo napraviti će se proračun energetske i ekonomske isplativosti te potrebne snage fotonaponske elektrane kao i baterijski sustav. Ugradnjom fotonaponske elektrane rasteretila bi se elektroenergetska mreža kako u zimskim mjesecima tako i u ljetnim mjesecima gdje porasta potražnja za električnom energijom uzrokovanom turizmom.

2. FOTONAPONSKE ELEKTRANE

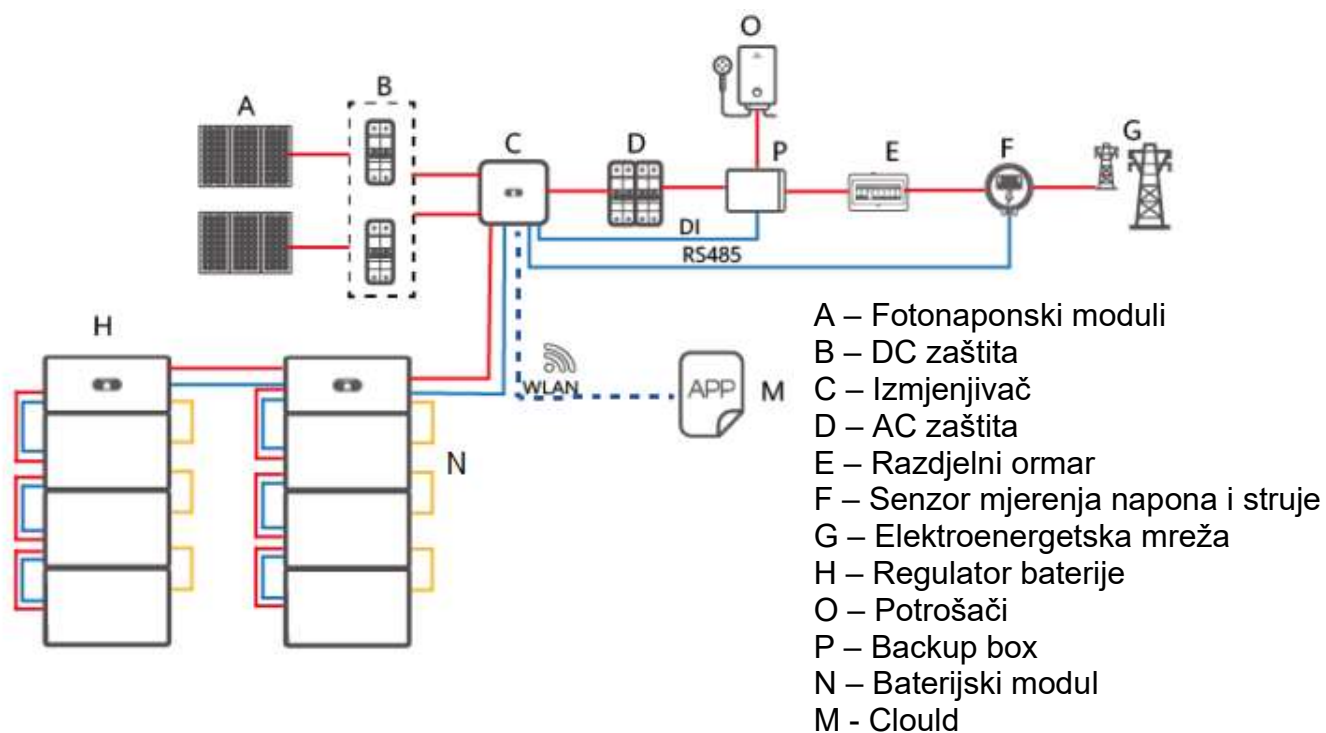
Osnovni fotonaponski sustav sastoji se od fotonaponskih modula i izmjenjivača. Fotonaponski moduli pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju. Fotonaponski moduli generiraju istosmjernu struju a zadaća izmjenjivača je pretvaranje istosmjerne struje (DC) u izmjeničnu struju (AC).

Na osnovni fotonaponski sustav moguće je dodati i baterije. Baterije služe kao pohrana električne energije odnosno sva električna energija koja se odmah ne potroši, pohranjuje se u bateriju umjesto da se šalje u mrežu. Zatim kada se u objektu troši više električne energije nego što fotonaponska elektrana proizvodi baterija se prazni i nadopunjuje razliku. Uz bateriju je obavezan regulator koji regulira punjenje i pražnjenje te on komunicira s ostatkom sustava. Pomoću regulatora moguće je da se baterija puni u periodu kada je električna energija jeftinija te da se prazni kada je električna energija skuplja.

Uz ugradnju baterija obavezan je senzor za mjerenje napona i struje koji se povezuje na glavni napojni kabel objekta. Senzor komunicira s izmjenjivačem te ga obavještava u kojem smjeru teče struja. Kada senzor obavijesti izmjenjivač da struja teče u mrežu, izmjenjivač tu struju preusmjeri za punjenje baterija.

Na osnovni sustav se također može ugraditi tzv. „Backup box“. Uređaj pomoću kojeg je moguće fotonaponski sustav s baterijama potpuno odvojiti od mreže u tzv. otočni sustav.

Shema spajanja takvog sustava prikazana je na slici 1.

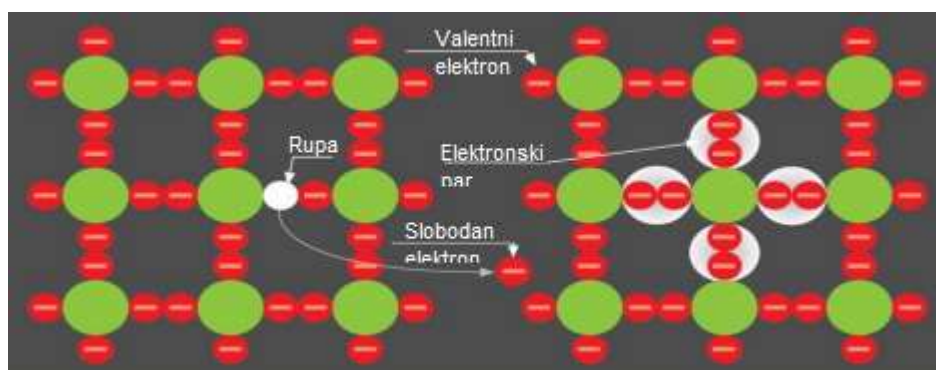


Slika 1 Shematski prikaz spajanja [2]

3. OSNOVE FOTONAPONA

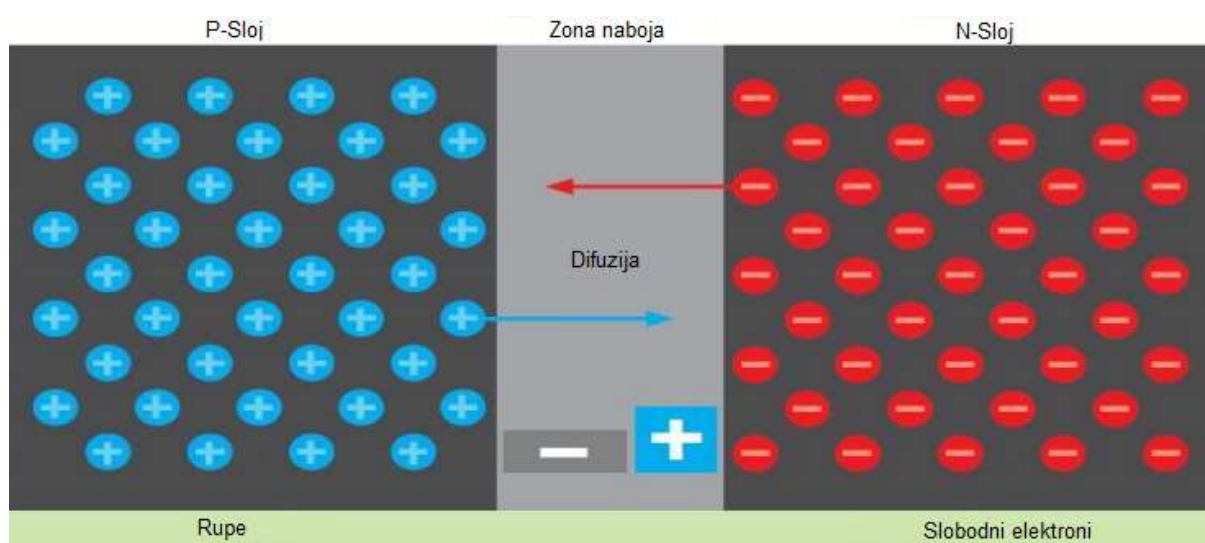
Fotonaponske ćelije, poznate i kao solarne ćelije, elektroničke su poluvodičke komponente koje se koriste za pretvaranje energije zračenja (sunčeva i umjetna svjetlost) izravno u električnu energiju. Riječ u engleskom jeziku (photovoltaics) je složenica koja se pojavila 1920-ih godina a sastavljena je od grčkog korijena riječi za svjetlost "phos-photos" i jedinice električnog napona, "volt" prema Alessandru Volti. Osnovno je načelo da se fotoni apsorbiraju i kao rezultat toga u poluvodiču se stvara električni napon. Ovdje je odlučujući čimbenik da se elektroni oslobađaju u odgovarajućem poluvodičkom materijalu i pretvaraju u slobodno vodljive elektrone. To je povezano sa stvaranjem pozitivno nabijenih "rupa" sa suprotnom vrstom naboja. Potencijalni korak se sada stvara u poluvodičkom materijalu uz pomoć *pn* spoja.

Kako bi se osigurao bolji transport naboja, nečistoće su posebno ugrađene u kristalnu rešetku, slika 2. To se postiže tzv. dopiranjem atoma. Važni predstavnici su atomi fosfora i bora. Atomi fosfora imaju pet vanjskih valentnih elektrona, od kojih četiri tvore vezu elektronskog para s valentnim elektronima atoma silicija. Ali ostaje jedan elektron. Ovaj slobodni elektron može se koristiti za prijenos naboja. Taj se proces naziva n-dopiranje jer je elektron negativno nabijen. Atomi bora imaju samo tri valentna elektrona, što znači da uvijek nedostaje jedan elektron za potpunu vezu u kristalnoj rešetki. To su takozvane rupe (nedostajući vezni elektroni) odnosno p-dopiranje. Rupe se također nazivaju nositeljima pozitivnog naboja.



Slika 2 Silicijeva struktura s dopiranim atomima [2]

Kada se p i n poluvodički slojevi spoje dolazi do difundiranja elektrona u p-područje a šupljine migriraju u n-područje. U spojnom području stvara se zona prostornog naboja. Elektroni su čvrsto vezani u zoni prostornog naboja, no fotoefekt ih može izbaciti ako dolazeći fotoni imaju odgovarajuću energiju. Parovi elektron-šupljina razdvojeni su naponskim poljem u zoni prostornog naboja i migriraju u odgovarajuće zone prema svom naboju, slika 3. Ako se te zone dovedu u kontakt, između polja se generirati električna struja. [2]



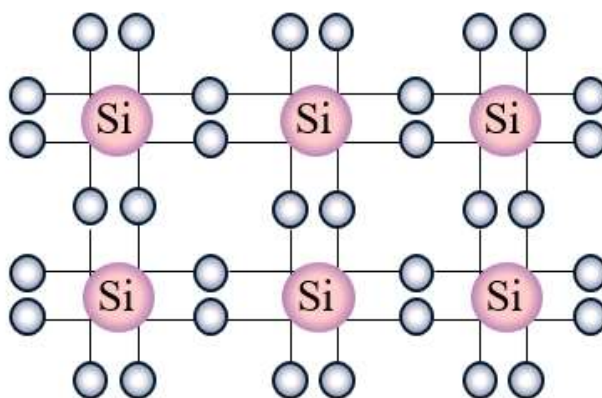
Slika 3 pn-spoj [2]

3.1 Konstrukcija poluvodiča

U osnovi, za poluvodiče se može reći da njihova električna vodljivost nestaje blizu temperature apsolutne nule, tj. na 0 Kelvina ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), i naglo raste s porastom temperature. Vodljivost poluvodiča sobnoj temperaturi nalazi između vodljivosti metala i vodljivosti izolatora. Detaljno razumijevanje ovih svojstava poluvodiča moguće je samo uz pomoć kvantne mehanike. Kao osnova za objašnjenje služi Bohrov atomski model. Gledajući ovaj model, može se vidjeti da se jezgra atoma sastoji od protona i neutrona, a elektroni kruže oko jezgre u vrlo specifičnim orbitama, koje se nazivaju ljuske. Svaka od ovih ljuski, označena slovima K, L, M, itd., ima definirani radijus koji označava energiju elektrona u tom stanju. Protoni imaju pozitivan naboj $+q$, elektroni imaju negativan naboj $-q$, gdje q odgovara

elementarnom naboju od $1,6 \cdot 10^{-19}$ amper sekundi (As). Zbog jednakog broja protona i elektrona atom je električki neutralan prema vanjskom svijetu. Kada se atom vodika promatra u njegovom osnovnom stanju, može se vidjeti da se sastoji od jednog protona u jezgri i jednog elektrona u atomskoj ljusci K. Uz opskrbu energijom u obliku elektromagnetskog zračenja koja iznosi 10,2 elektron volta (eV), elektron se može podići u energetske višu L ljusku, analogno tome oslobađa istu energiju kada se vraća u K ljusku.

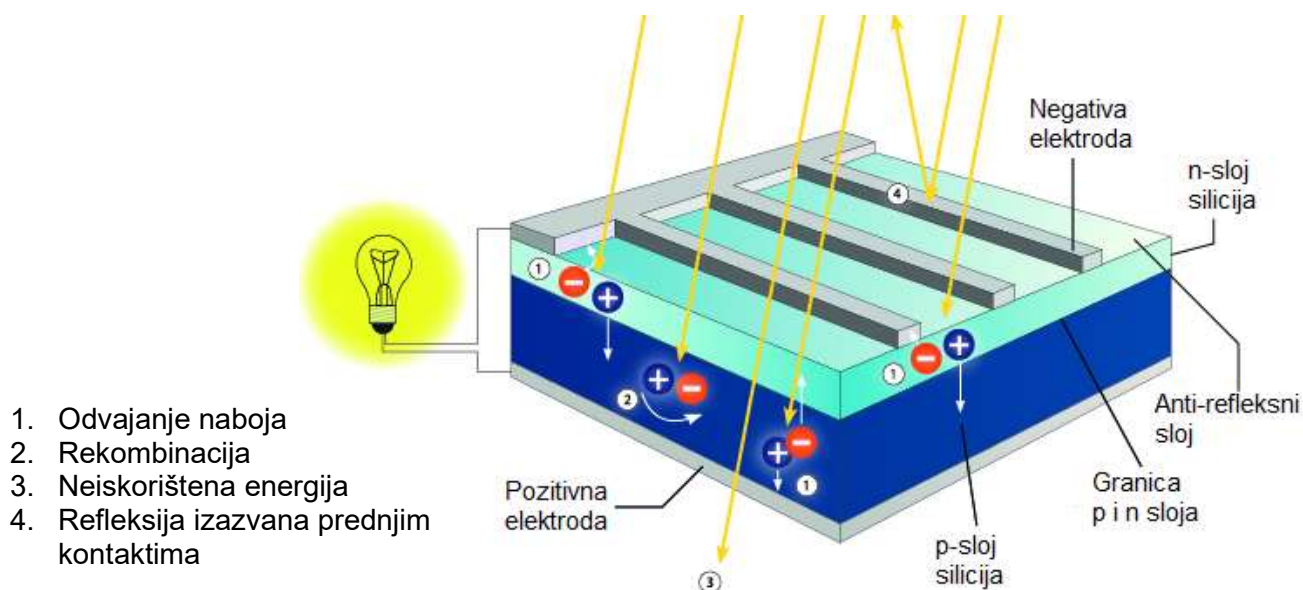
Ako se pogleda periodni sustav elemenata, iz glavne skupine može se očitati koliko se elektrona dotičnog elementa nalazi u krajnjoj vanjskoj ljusci. Oni se nazivaju valentni elektroni i bitni su za međusobno povezivanje više atoma. Element silicij, koji se uglavnom koristi za izradu solarnih ćelija, ima atomski broj 14 i pripada četvrtoj glavnoj skupini. Silicij ima 2 elektrona u ljusci K, 8 elektrona u ljusci L te 4 valentna elektrona u krajnjoj vanjskoj ljusci M. Svaki od ova četiri elektrona veže se na valentni elektron susjednog atoma, što je prikazano na slici 4. [3]



Slika 4 Struktura kristala silicija [4]

4. STRUKTURA SOLARNE ČELIJE

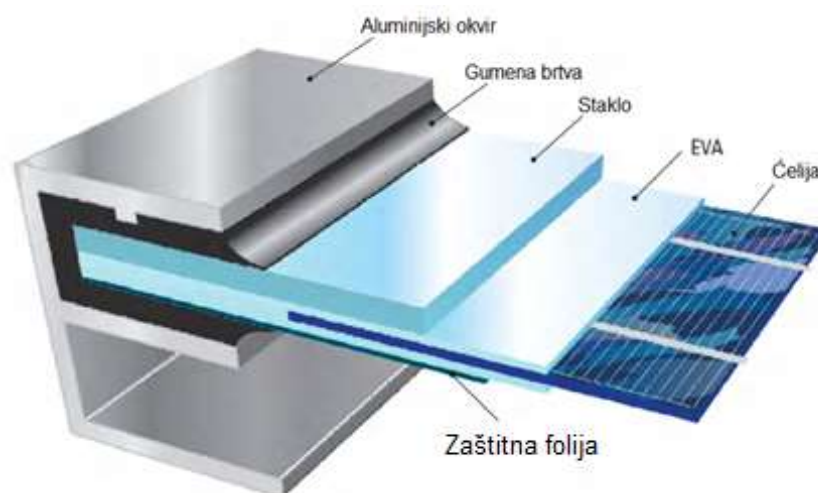
Solarne ćelije sastoje se od poluvodičkih materijala kao što je silicij te pozitivne i negativne elektrode. U silicijskoj ćeliji kristali silicija se reže u tanke filmove debljine 0,2 milimetra. Takvi gotovi kristali silicija, također poznati pod nazivom pločice, tretiraju se plinovitim dopantima. Dopant je izraz za kemijsku tvar koju inženjeri koriste za stvaranje trenutnih staza za poluvodiče i druge tehnologije. Time nastaju dva sloja, tzv. p- i n-sloj. Anti-refleksni sloj izrađen od silicijevog nitrida (Si_3N_4) nanosi se na prednji dio solarne ćelije kako bi se smanjili gubici zbog refleksije svjetla, slika 5. To također daje solarnoj ćeliji karakterističnu plavu boju. Na kraju, prednje i stražnje elektrode nanose se na solarnu ćeliju tehnikom sitotiska. Neki proizvođači pokušavaju ugraditi prednje elektrode kako bi se smanjili gubici uzrokovane neprozirnim kontaktima. Također se pokušava premjestiti prednje elektrode unatrag. Iako ove mjere povećavaju učinkovitost, one također povećavaju kompleksnost izrade i troškove proizvodnje. Budući da solarna ćelija ima električni napon od samo 0,6 V, mnoge ćelije se spajaju u seriju kako bi se dobili moduli s električnim naponom od 12 do 120 V. Moduli pak spajaju se u serijski i paralelno s drugim modulima na mjestu ugradnje kako bi se ukupni napon povećao na 200 do 1100 V. Pomoću izmjenjivača može se generirati izmjeničnu struju iz istosmjernog napona, koja se može dovesti u električnu mrežu sa standardnim frekvencijom od 50 Hz i naponom od 240 V ili 400 V. [2,5]



Slika 5 Osnovni princip rada fotonaponskog ćelija [6]

5. MATERIJALI FOTONAPONSKIH MODULA

Kako bi se zaštitile krhke i osjetljive solarne ćelije, ugrađuju se u modul između prednje staklene ploče i zaštitne folije sa stražnje strane, slika 6. Staklo osigurava mehaničku stabilnost, ali treba paziti da staklo bude vrlo prozirno kako bi se što više smanjili gubici nastali refleksijom svjetlosnih zraka. Plastična folija je namijenjena zaštititi ćelije od daljnjih vremenskih utjecaja i vlage. Na poledini fotonaponskih modula ugrađuju se priključci koji služe za povezivanje modula međusobno i povezivanje s izmjenjivačem. [5]



Slika 6 Osnovna struktura fotonaponskog modula [7]

5.1 Aluminij

Ćelije fotonaponskog modula su relativno mekane a staklo je krhko. Glavni je zadatak okvira fotonaponskog modula stvaranje cjeline koja je u konačnici otporna na mehanička opterećenja koja se javljaju tokom eksploatacije, transporta te prilikom same ugradnje, slika 7. Osim toga što okvir mora biti mehanički otporan, nužna je i otpornost na vanjske uvjete koji se javljaju, to jest, on ne smije korodirati. Kako bi se olakšalo skladištenje okvira, on mora biti lagan te jednostavan za rukovanje. Bitno je

naglasiti kako materijal samog okvira ne smije reagirati s ostalim materijalima koji se koriste za izradu nosive konstrukcije, kao što su primjerice čelici i aluminij.

Prednosti aluminija vrlo su raznolike u praksi i oslanjaju se na njegovu nisku gustoću. Aluminij se naziva lakim metalom jer ima gustoću od oko $2,7 \text{ g/cm}^3$, što je oko 30% gustoće čelika a ipak ima izuzetno veliku čvrstoću.

Laki metali se vrlo lako obrađuju i deformiraju. Moguće je primjenjivati standardne metode spajanja poput zavarivanja te klasičnih postupaka oblikovanja deformiranjem i obrade odvajanjem čestica. Zbog jednostavnog obrađivanja niža je cijena kompleksnih dijelova u proizvodnji u odnosu na metale poput čelika.

Još jedna prednost je visoka inherentna zaštita od korozije. U izravnom kontaktu s kisikom, na površini aluminija stvara se zaštitni sloj aluminijevog oksida (Al_2O_3), koji se odmah obnavlja nakon što dođe do pucanja. Stoga aluminij nije osjetljiv na atmosfersku koroziju. Ova se samozaštita može dodatno pojačati eloksiranjem. Također ne reagira na ultraljubičasto zračenje.

Aluminij se može u potpunosti reciklirati bez gubitka kvalitete. Za razliku od primarne proizvodnje, u procesu recikliranja aluminija koristi se tek približno 5% utrošene energije, što uvelike smanjuje cijenu proizvodnje. [8]



Slika 7 Okvir fotonaponskog modula [9]

5.2 Gumene brtve i staklo

Glavna svrha brtve je sprječavanje ulaska vode u međuslojeve fotonaponskih modula. Ukoliko voda uđe u sloj gdje se nalaze ćelije, moguća je pojava kratkog spoja te zapaljenje samog solarnog panela.

Staklo, kao i brtva služi kao zaštita ćelija od vanjskih uvjeta. No na staklo su postavljeni drugačiji zahtjevi nego na brtve. Pošto cijela površina panela na kojoj su smještene ćelije mora biti zaštićena od atmosferskih uvjeta koristi se staklo. Staklo je optimalan materijal za tu zadaću jer je otporno na UV zračenje, s godinama ne gubi prozirnost što bi značajno utjecalo na samu efikasnost panela, vodonepropusno je i do neke granice je otporno na mehanička opterećenja. Površina stakla je glatka što omogućava jednostavno čišćenje fotonaponskih modula što je također bitno za efikasnost samih ćelija.

5.3 Etilen-vinil acetat (EVA)

Polimer etilen-vinil acetat (EVA) nastaje kopolimerizacijom etilena s vinil acetatom (VAC). Udio VAC u EVA određuje svojstva materijala. Jednostavno rečeno, kristalnost se smanjuje s povećanjem sadržaja VAC, čineći EVA mekšim. Osim toga, prozirnost, žilavost na nižim temperaturama, gustoća i otpornost na atmosferske uvjete se povećavaju. S druge strane, smanjuju se tvrdoća, krutost i dimenzijska stabilnost. U fotonaponskoj industriji općenito se koriste udjeli vinil acetata od 30% do 40%. Pri visokim temperaturama i izloženosti vlazi, hidrolizom se može proizvesti octena kiselina (CH_3COOH), koja zauzvrat može imati negativan utjecaj na korištenu tehnologiju (razgradnja, korozija). Osim u fotonaponskim modulima, EVA se također koristi u raznim varijantama, primjerice u cijevima, omotačima kabela, premazima, jednokratnim rukavicama, kompozitnim bocama i pakiranjima za hranu.

EVA služi za kapsuliranje ćelija u fotonaponskim modulima, koje se najčešće debljine nekoliko stotina mikrometara. Ćelije su stoga vrlo krhke, tako da je važna funkcija kapsuliranja, odnosno zaštita od mehaničkih utjecaja. Kad bi se ćelije postavile izravno na staklo, vrlo brzo bi došlo do loma pod utjecajem opterećenja zbog vjetrova ili

snijega, budući da se modul pod silom znatno savija. Ostali zadaci uključuju električnu izolaciju ćelija, stabilnu vezu između solarnih ćelija i stakla ili pozadinske folije te također zaštitu od kisika i općih atmosferskih uvjeta. [10]



Slika 8 Etilen-vinil acetatna folija [10]

5.4 Silicij

Silicij (Si) je četverovalentni element s atomskim brojem 14 i relativnom atomskom masom od 28,086. U periodnom sustavu elemenata nalazi se u istoj skupini kao i ugljik. Silicij se u prirodi javlja uglavnom u obliku silikata i silicijevog dioksida i s 27,6% je drugi najčešći element u zemljinoj kori nakon kisika.



Slika 9 Silicij [11]

Silicij se koristi za izradu ćelija zbog velikog broja prednosti u odnosu na ostale materijale. Silicij je poluvodič, što znači da ima svojstva koja su između svojstava vodiča i izolatora. Ima električno svojstvo koje ga čini vodljivim u jednom smjeru i izolacijskim u drugom smjeru.

Silicijeve solarne ćelije imaju učinkovitost veću od 20%. To znači da mogu u električnu energiju pretvoriti do 20% sunčeve koja dopire do njih. Iako se to može činiti niskom učinkovitošću, silicijeve solarne ćelije ipak su učinkovitije od ostalih vrsta fotonaponskih ćelija. Učinkovitost silicijevih ćelija može se povisiti ukoliko se u spoj dodaju atomi galija i arsena.

Silicij je netoksičan materijal. Postoje mnoge alternative za silicij koje se ispituju usporedno s promjenama u tehnologiji proizvodnje. Galijev arsenid (GaAs), kadmijev telurid (CdTe), bakar indij: diselenid (CIS) i bakar-indij: galij diselenid (CIGS) također se proučavaju kao zamjenski materijali za silicij u solarnim ćelijama. Međutim, većina tih materijala ima nedostatke koje silicij nema, poput toksičnosti.

Silicij ima vrlo visoku fotovodljivost što ga čini popularnim izborom za fotonaponske ćelije. Sloj silicijeva dioksida (SiO_2) apsorbira energiju kada je izložen svjetlu i pretvara fotone iz sunčeve svjetlosti u slobodne elektrone koji zatim mogu proizvesti električnu energiju.

Fotonaponski moduli koji koriste solarne ćelije od kristalnog silicija imaju dug radni vijek na otvorenom (>20 godina). Ovo je ključno za financijsku konkurentnost jer se investicija počinje isplaćivati nakon desete godine od početne instalacije fotonaponskog sustava.

Silicij ima visoku otpornost na koroziju zbog stvaranje površinskog sloja silicijevog dioksida. [12,13]

Unatoč tome, postoje i izazovi kod korištenja silicija u fotonaponskim ćelijama. Proces Czochralski, koji se koristi za proizvodnju ćelija od monokristalnog silicija, zahtijeva značajnu količinu energije. Budući da monokristalni silicij mora biti visoke čistoće kako bi njegova kristalna struktura bila ujednačena, potrebna je značajna količina obrade da bi se postigla ta razina.

Da bi bio moduliran, monokristalni silicij mora biti narezan na pločice čija debljina varira od 0,2 do 0,3 mm. Za to se koristi rotacijska pila. Ova pila koristi dijamantne čestice na svojoj oštrici za rezanja ingota u sitne pločice. Problem je kod kod samog rezanja jer zbog tankih slojeva postoji opasnost od lomljenja pločica te se rezanjem generira škart od 50%. [12]

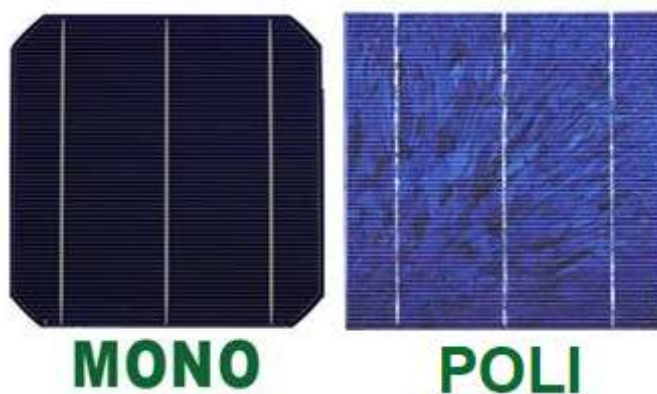
6. VRSTE FOTONAPONSKIH ČELIJA

Među fotonaponskim modulima postoje dvije glavne vrste modula koje se koriste. To su monokristalni i polikristalni moduli.

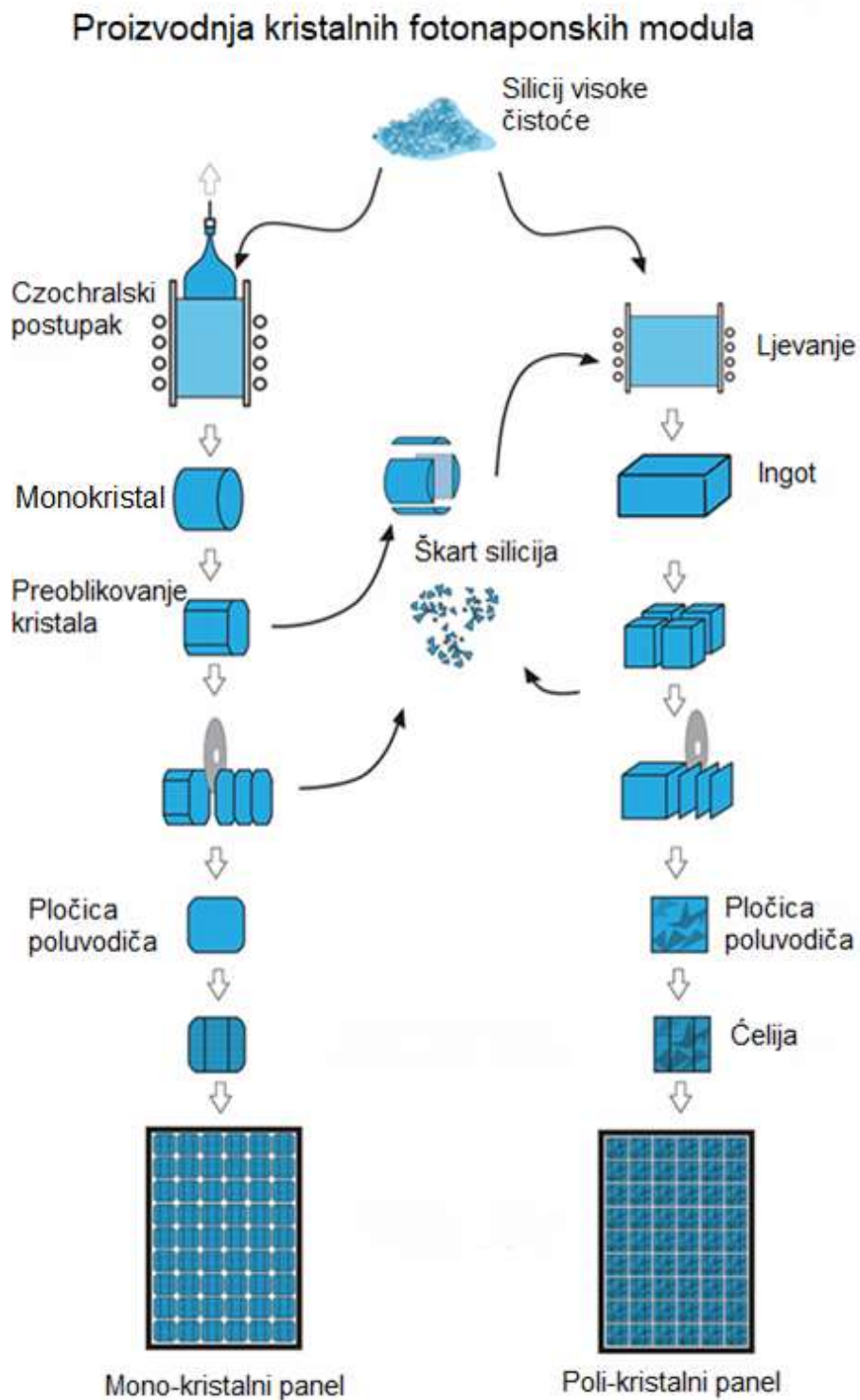
Monokristalne ćelije su rađene od monokristala silicija. Kako bi se postigla bolja popunjenost površine fotonaponskog modula, monokristalne ćelije se prvo režu u cilindrične oblike a zatim se rubovi cilindra režu ravno kako bi se ćelije mogle posložiti jedna do druge. Te ćelije su crne/tamno plave boje.

Polikristalne ćelije su rađene od više malih kristala silicija. Polikristalni silicij se rastali i izlije u kvadratni kalup, koji se ohladi i reže u četvrtaste pločice. Nisu ujednačene pa su zbog kuta upada i refleksije svjetlosti tamno plave boje.

Monokristalne ćelije su efikasnije jer nemaju granicu zrna, zbog njihove kontinuirane strukture što znači da pobuđeni elektroni mogu teći oko strukture silicija bez da ih ometaju granice zrna. S druge strane, u poli-kristalnim ćelijama postoje mnoge granice zrna, koje ometaju kontinuirani prolaz pobuđenih elektrona u poluvodiču, što rezultira padom učinkovitosti. To znači da su mono-kristalne ćelije prostorno učinkovitije, odnosno da se na istu dimenziju modula može smjestiti veća snaga u odnosu na poli-kristalne ćelije. Mono-kristalne ćelije imaju također veću toleranciju na toplinu što ujedno i rezultira duljim vijekom trajanja. Izgled monokristalnih i polikristalnih ćelija prikazan je na slici 10, a postupak proizvodnje na slici 11. [12,14]



Slika 10 Izgled mono i polikristalnih ćelija [15]



Slika 11 Postupak proizvodnje solarnih ćelija [16]

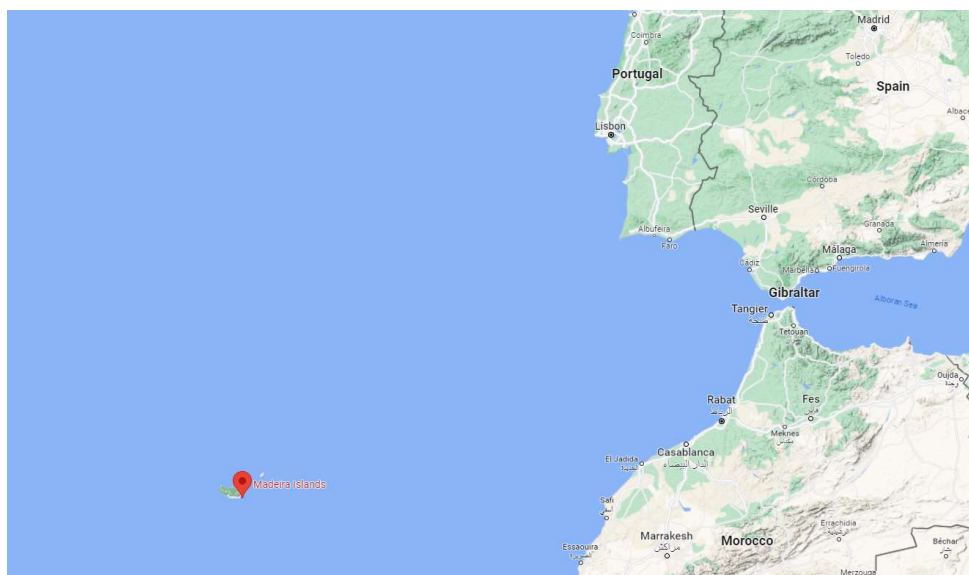
7. TRENUTNA PRIMJENA FOTONAPONSKIH ELEKTRANA I BATERIJSKIH SUSATAVA NA OTOCIMA

Otoci su izolirani sustavi, često se nalaze na kraju distribucijskih mreža zbog čega su elektroenergetske prilike otežane. Inovativne tehnologije i upotreba obnovljivih izvora energije predstavljaju mogućnosti za osiguranje samoopskrbe otoka. Kako bi se postigla stabilnost mreže kao i sigurna opskrba energijom, baterijski spremnici mogu predstavljati rješenje s obzirom da su to upravljive jedinice. Primjena fotonaponskih elektrana i baterijskih sustava na otocima ima i značajne ekonomske koristi. Otoci često imaju visoke cijene električne energije zbog ograničenog pristupa tradicionalnim izvorima energije. Visoke cijene električne energije mogu se pronaći na Grčkim otocima koji se nalaze u Egejskom moru gdje cijena struje prelazi 600 €/MWh. Korištenjem obnovljivih izvora energije kao što su fotonaponski sustavi mogu se značajno smanjiti troškovi energije na otocima. Još jedna važna prednost korištenja fotonaponskih elektrana i baterijskih sustava na otocima je zaštita okoliša. Fosilna goriva koja se tradicionalno koriste na otocima za proizvodnju električne energije generiraju velike količine stakleničkih plinova i ostalih zagađivača koji negativno utječu na okoliš. Korištenjem čiste energije iz solarnih panela smanjuje se emisiju stakleničkih plinova, smanjuje se onečišćenje zraka i vode te doprinosi očuvanju prirodnih ljepota otoka. Stoga je jedan od glavnih ciljeva Europske unije energetska tranzicija otoka. Cilj je da otoci postanu energetska neovisni čime bi povećali energetska sigurnost, smanjili emisiju stakleničkih plinova i očuvali okoliš. Postoji razlika u opskrbi između većih i manjih otoka. Otok El Hierro i Madeira su odlični predstavnici integracije obnovljivih izvora energije.[17]

7.1 Otok Madeira

Maderia je otok smješten u Atlantskom oceanu površine 801 km² na kojem je nastanjeno 250.000 stanovnika. Sam otok udaljen je 860 km od kopna Portugala. Zbog velike udaljenosti, otok Maderia nije povezan s elektroenergetskom mrežom kopna već ima svoju distribucijsku mrežu te su jedini izvori električne energije bile dvije termalne elektrane koje su ovisne o nafti, plinu i ulju transportiranog s kopna.

Trenutni energetska sustav otoka sastavljen je od termalne elektrane, hidroelektrane, bioplinsko postrojenje, vjetroelektrane i fotonaponske elektrane. Tablica 1 prikazuje proizvodnju električne energije po godinama iz pojedinih izvora električne energije. 2012 godine udio obnovljivih izvora energije iznosio je 75,71% a 2022. godine iznosi 67,47%. Zbog same prirode obnovljivih izvora energije nije moguće se potpuno osloniti na njih zbog ne konstantne proizvodnje. Kako bi se povećao udio korištene energije iz obnovljivih izvora potrebno je ugraditi spremnik odnosno bateriju koja bi pokušala poravnati krivulju proizvodnje i potrošnje. Uloga baterija je da apsorbira pikove u proizvodnji kao i pikove u potrošnji. [18,19]



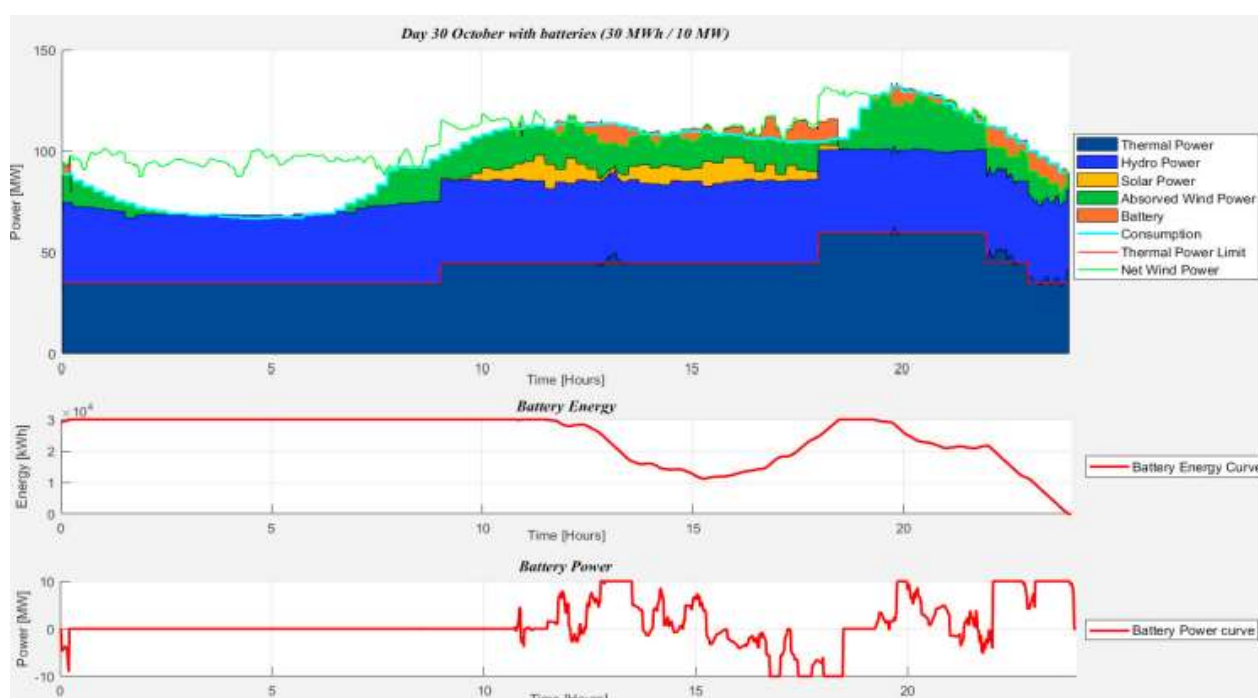
Slika 12 geografski položaj otoka Maderia

Tablica 1 Proizvodnja električne energije na otoku Madeira [20]

Izvori energije	Proizvodnja u GWh										
	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
Termalne elektrane	674,88	632,72	609,01	643,99	603,65	625,60	599,16	669,11	598,72	579,41	614,19
Hidro elektrane	74,60	76,20	96,20	66,50	104,80	77,60	96,80	44,00	64,40	82,40	85,20
Vjetroelektrane	83,46	82,59	88,75	76,09	84,07	84,44	101,97	95,26	84,69	129,60	136,40
Bioplinske elektrane	27,72	25,71	33,14	38,85	35,57	47,61	34,95	40,93	40,74	35,06	41,77
Fotonaponske elektrane	30,81	32,19	33,19	33,74	33,57	33,53	32,49	33,97	30,93	32,93	32,80
Ukupno	891,46	849,41	860,29	859,17	861,65	868,79	865,37	883,26	819,48	859,41	910,36

Na slici 13 prikazana su tri grafa. Sva tri grafa se odnose na potrošnju/proizvodnju električne energije na otoku 30.10.2012. Na prvom grafu prikazana je količina proizvedene energije za svaku vrstu elektrane po satu. Drugi graf prikazuje pohranjenu energiju u bateriji kapaciteta 30 MWh dok treći graf prikazuje period i brzinu punjenja i pražnjenja baterije.

Povećanjem kapaciteta baterije povećao bi se udio korištenja obnovljivih izvora energije i smanjio udio ne obnovljivih izvora te bi se osigurala bolja kvaliteta mreže odnosno stabilna frekvencija i napon mreže.



Slika 13 graf proizvodnje/potrošnje u jednom danu [19]

7.2 Otok El Hierro

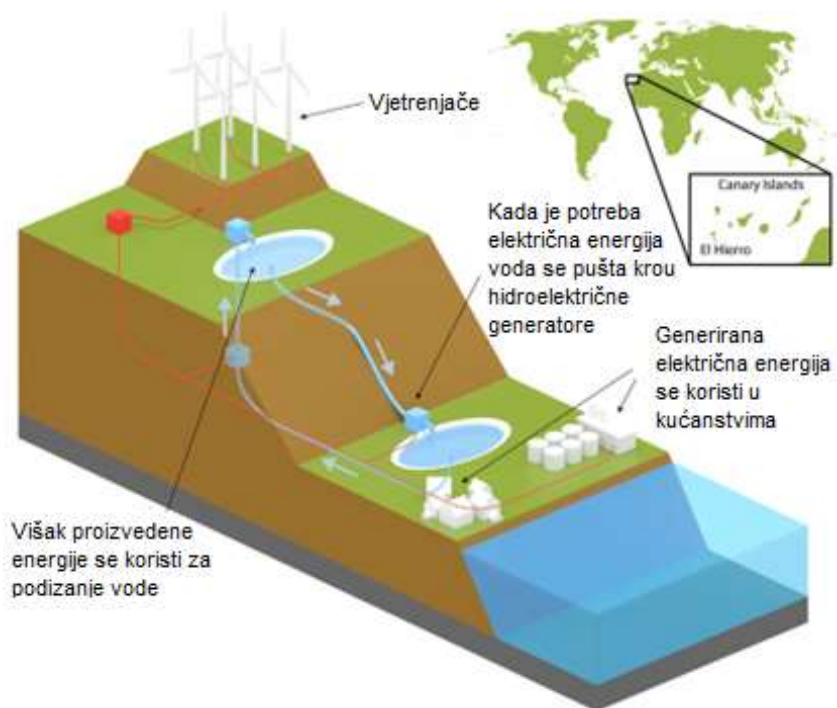
El Hierro je otok smješten u Atlantskom oceanu površine 268 km² na kojem je nastanjeno 11.000 stanovnika. Sam otok je udaljen 1300 km od kopna Španjolske. Otok možemo svrstati pod male otoke zbog nižeg broja stanovnika kao i same površine otoka. Otok El Hierro bio je pilot projekt u Europskoj Uniji kojem je cilj bio otok neovisan o kopnu, odnosno da se sva energija koja je potrebna proizvodi na samom otoku te da je dobivena iz obnovljivih izvora energije. Prije pokretanja projekta otok je generirao električnu energiju preko dizel agregata snage 12,73 MW.

Zbog manjeg broja stanovnika sam sustav energetske opskrbe je jednostavniji u odnosu na velike otoke. Iz tog razloga na otoku El Hierro ugrađena je samo vjetroelektrana i sustav za pohranu energije. Vjetroelektrana se sastoji od pet ENERCON E-70 vjetroelektrana ukupne snage 11,5 MW. Drugi dio sistema su četiri vodene turbine ukupne snage 11,32 MW koje su povezane na umjetne vodene rezervoare.

Pohrana se sastoji od dva vodena rezervoara visinske razlike od 650m. Viši vodeni rezervoar ima kapacitet od 379.625 m³ vode dok drugi rezervoar ima kapacitet od 150.000 m³ vode. Rizik kod samih rezervoara bio je curenje. Stoga je prvotni kapacitet gornjeg rezervoara od 550.000 m³ smanjen.

Godišnja potrošnja električne energije otoka na razini jedne godine iznosi 35 GWh s prosječnom vršnom dnevnom snagom od 4 MW. Otok El Hierro i dalje ne koristi svu energiju iz obnovljivih izvora te je taj udio na razini godine od 50% do 70% ovisno o godini. Problem kod postojećeg sustava je što postoji samo jedan izvor koji generira električnu energiju za potrošnju kao i punjenje bazena te velikih gubitaka u pretvaranju snage vjetra u dizanje vode. Također postoje periodi od 10 dana gdje na nema vjetra te sva električna energija dolazi iz dizel generatora.

Otok El Hierro trenutno planira izgradnju fotonaponske elektrane kao i baterijski sustav. U prvoj fazi će se ugraditi fotonaponska elektrana snage 5 MW s baterijskim sustavom od 5 MW kapaciteta 20 MWh. U drugoj fazi će se ugraditi fotonaponska elektrana snage 7MW s baterijskim sustavom od 5 MW kapaciteta 30 MWh. Obje elektrane će se izgraditi na poljoprivrednoj površini sa ciljem ujedinjenja poljoprivrednih aktivnosti s fotonaponskim sustavom.[21–23]



Slika 14 Shematski prikaz postrojenja [24]

8. PLAN PRIMJENE OBNOVLJIVJIH IZVORA U HRVATSKOJ

Kako cijeli svijet tako i Hrvatska teži u postizanju većeg udjela obnovljivih izvora energije kako na kopnu tako i na otocima. Uz regulative Europske unije, Hrvatska kao i ostale članice dužne su slijediti strategije u energetskej tranziciji.

Tako je 2019 godine donesena uredba propisanih ciljeva nacionalnih energetskih i klimatskih planova. Plan se odnosi na razdoblje od 2021. do 2030. godine i cilj je smanjenje stakleničkih plinova, povećanje udjela energije iz obnovljivih izvora, povećanje energetske učinkovitosti i razvoj elektroenergetskog prijevoza. Krajnji cilj je postizanje korištenje isključivo energije iz obnovljivih izvora do 2050 godine. [25]

Tablica 2 prikazuje ciljeve Hrvatske do 2030. godine.

Tablica 2 Ciljevi energetske tranzicije do 2030 godine [25]

Stavke	Ciljevi
Smanjenje stakleničkih plinova emitiranih u industriji, u odnosu na 2005 godinu	>43%
Smanjenje stakleničkih plinova emitiranih u kućanstvu, u odnosu na 2005 godinu	>7%
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije	>36,4%
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji transportne industrije	>13,2%

8.1 Elektroenergetska mreža na otocima

Hrvatska ima svega 50 nastanjenih otoka te su svi relativno blizu kopna. Po broju stanovnika sve otoke možemo svrstati u male otoke pošto i najnaseljeniji otok Korčula ima svega 15.000 stanovnika.[29] Zbog relativne blizine otoka kopnu, gotovo svi nastanjeni otoci povezani su na elektroenergetsku mrežu kopna putem pomorskih kabela. Među hrvatskim otocima se ističe otok Pag sa svojom vjetroelektranom i otok Vis s vlastitom fotonaponskom elektranom. Ostali otoci osim malog broja fotonaponskih elektrana na privatnim objektima u potpunosti su ovisni o uvozu električne energije s kopna te tu dolazi do problema u ljetnim mjesecima gdje se broj

ljudi koji obitavaju poveća do nekoliko puta. Sama infrastruktura kao pomorski kabel su dotrajali te su česti gubici napajanja u ljetnim mjesecima.

Na osnovi strategije Europske unije Hrvatska trenutno ima razrađene planove za energetska tranziciju otoka Brača, Cresko-lošinjsko otočje, Dugi Otok, Zverinac, Lavdara, Elafitski otoci, Hvar, Korčula, Žirje i Zadarsko otočje. Trenutno jedini otok koji posjeduje vlastitu neintegriranu fotonaponsku elektranu s baterijskim sustavom je otok Vis dok su fotonaponske elektrane na otoku Cresu i Unijama trenutno u izgradnji.

8.2 Otok Brač

Prema zadnjem popisu broja stanovnika Brač ima 13.596 stanovnika. Glavne gospodarske aktivnosti su ribarstvo stočarstvo, uzgoj vinove loze i maslina te kamenarstvo dok turizam zauzima sve veći udio. Ukupni broj noćenja u 2018. godini iznosio je 1.746.374 noćenja uz prosječnu stopu rasta na bazi godine od 5,6% i 260.589 turista s prosječnom stopom rasta od 4,5%. [26]

8.2.1 Elektroenergetska mreža

Otok Brač je 1955 godine spojen na mrežu nakon polaganja pomorskog kabela Dugi Rat – Postira, čime je započeta elektrifikacija srednjodalmatinskih otoka. Srednjodalmatinski otoci su povezani na elektroenergetska mrežu putem podmorskih uljnih kabela te čine tako zvanu južnu otočnu petlju koja je prikazana na slici 15. Navedeni kabeli ekološki nisu prihvatljivi i potrebno ih je zamijeniti. [26]



Slika 15 Južna otočna petlja [26]

Otok Brač ne posjeduje niti jedan veći izvor električne energije koji je spojen na mrežu. Postoji manji broj fotonaponskih elektrana od kojih je dio u izoliranom pogonu a dio koji je spojen na distribucijsku mrežu je minimalan. Ukupna potrošnja energije na otoku iznosi 85.083 MWh i transport prema i s otoka iznosi 141.917 MWh. Od ukupne potrošnje energije električna energija čini 67% a LPG, drvo i lož ulje ostatak.[26]

8.2.2 Energetska tranzicija otoka Brača

U planu je ugradnja integriranih i neintegriranih fotonaponskih elektrana. Fotonaponske elektrane najveću proizvodnju imaju u ljetnom periodu zbog više sunčanih sati te se ta povećana proizvodnja poklapa s povećanjem potrošnje izazvana turizmom. Time bi se sustav opskrbe rasteretio i opskrba bi bila sigurnija. Planirana je ugradnja i baterija koje bi se koristile u radnom vremenu kao i u noćnim satima za napajanje javne rasvjete. Također je u planu zamjena postojećih trajekta s električnim koji bi znatno smanjili emisiju stakleničkih plinova u odnosu na postojeće trajekte.[26]

8.3 Cresko-lošinjsko otočje

Cresko-lošinjsko otočje je najveća otočna skupina u Jadranu koju čine 34 otoka, otočića i grebena. Cres je ujedno najveći otok na Jadranu dok je Lošinj jedanaesti po veličini. Ukupna površina otočja je 509,39 km². Prema zadnjem popisu stanovnika cresko-lošinjsko otočje ima svega 10.995 stanovnika.

Tablica 3 prikazuje broj dolazaka i noćenja turista po mjesecima za 2018. godinu. U tablici se može vidjeti značajan porast u ljetnim mjesecima u odnosu na zimske, posebice u srpnju i kolovozu.[27]

Tablica 3 Broj dolazaka i noćenja otočja u 2018. godini [27]

Mjesec	Dolasci	Noćenja
1	1.925	9.074
2	1.633	6.282
3	6.532	21.836
4	21.565	79.959
5	36.396	187.544
6	71.097	448.745
7	119.426	10.012.027
8	117.233	1.041.244
9	51.325	389.464
10	9.602	57.126
11	3.149	13.164
12	4.097	15.664
Ukupno	443.980	12.282.129

Otočje je s kopnom povezano s 35 kV kabelom nazivne snage 21,8 MW. Vršno opterećenje otočja u 2018. godini postignuto je 8. kolovoza u 20h i iznosilo je 25,99 MW a ukupna potrošnja po sektorima u 2018. godini prikazano je u tablici 4.

Otočje u 2019. godini ima 10 instaliranih integriranih fotonaponskih elektrana ukupne instalirane snage od 713,84 kW. Sedam elektrana snage 685,3 kW postavljeno je na poslovne objekte, jedna na javne zgrade snage 9,9 kW i dvije elektrane su privatne obiteljske kuće snage 18,64 kW.[27]

Tablica 4 Potrošnja električne energije po sektorima u 2018. godini [27]

Kategorija	Broj potrošača	potrošnja [kWh]
Javna rasvjeta	54	1.394.837
Kućanstvo	6.714	21.539.438
Poduzetništvo	1.098	20.979.503
Srednji napon	8	15.752.495
Ukupno	7.874	59.666.273

8.3.1 Energetska tranzicija cresko-lošinjskog otočja

S ciljem postizanja samostalnosti u proizvodnji električne energije u planu je izgradnja pet neintegriranih fotonaponskih elektrana ukupne snage 22,5 MW s procijenjenom godišnjom proizvodnjom od 29,250 MWh što je polovica ukupne potrošnje električne energije otočja. Trenutno je u izgradnji prva neintegrirana fotonaponska elektrana na otoku Cresu priključne snage 6,5 MW. Također se planira kampanja informiranja stanovništva o fotonaponskim elektranama kako bi se povećao broj integriranih solarnih elektrana na obiteljskim kućama zbog trenutnih neiskorištenih površina.[27]

8.4 Dugi otok, Zverinac i Lavdara

Općina Sali prema posljednjem popisu stanovništva iz 2021. godine ima ukupno 1746 stanovnika. Kao i kod ostalih otoka u povijesti primarne grane gospodarstva su bile stočarstvo i poljoprivreda a danas je sve izraženiji turizam. Općina Sali povezana je podmorskim kabelom na elektroenergetsku mrežu. Sama infrastruktura niskonaponske mreže na otoku je loša i potrebno ju je rekonstruirati. Potrošnja električne energije po sektorima u 2021. godini prikazana je u tablici 5. Bitno je naglasiti da je ukupna potrošnja električne energije samo 11% potrošnje energije otoka. Energetski najintenzivniji sektor je prijevoz. Ukupna potrošnja energije koja se koristi za prijevoz do i s otoka iznosi 35.840 MWh, što čini 68% ukupne potrošnje energije. Prijevoz na otoku iznosi 6354 MWh što čini 12% ukupne potrošnje energije.[28]

Tablica 5 Potrošnja električne energije po sektorima u 2018. godini [28]

Kategorija	potrošnja [MWh]
Javna rasvjeta	290
Kućanstvo	3.855
Gospodarstvo	1.500
Javne ustanove	110
Ukupno	5.755

8.4.1 Energetska tranzicija Dugog otoka, Zverinac i Lvdara

Zbog relativno male potrošnje električne energije u odnosu na ostatak utrošene energije i zbog većinskog udjela potrošnje u kućanstvu planira se poticanje na ugradnju integriranih solarnih elektrana na obiteljskim kućama i višestambenim zgradama. Zbog visoke potrošnje fosilnih goriva u transportne svrhe plan je tranzicije na vozila alternativnih goriva.[28]

8.5 Elafitski otoci

Elafitsko otočje smješteno je zapadno od Dubrovnika. Od svih otoka i otočića naseljena su samo 3 otoka s ukupno 759 stanovnika. Ukupna potrošnja električne energije u 2021. godini iznosila je 8.320.000 kWh s vršnim opterećenjem od 2,5 MW. Jedini izvor energije na otoku je mali broj instaliranih fotonaponskih elektrana te je cilj veći broj ugradnje radi povećanja samostalnosti otoka.[29]

8.6 Hvar

Prema zadnjem popisu iz 2011. godine Hvar ima svega 11.077 stanovnika. Glavnu ekonomsku djelatnost predstavlja turizam s 332.397 dolazaka i 1.560.819 noćenja u 2019. godini. Tablica 6 prikazuje potrošnju električne energije za 2019. godinu po sektorima. Iz tablice se može vidjeti da je 50% potrošnje uzrokovana kućanstvima.

Otok Hvar za svoju energetska tranziciju planira izgradnju triju neintegriranih fotonaponskih elektrana ukupne snage od 42 MW. Planiraju se ugradnje integriranih

fotonaponskih elektrana na javnim i poslovnim zgradama kao i gusternama u javnom vlasništvu.[30]

Također se želi probuditi svijest kod stanovništva te potaknuti ugradnja integriranih elektrana na vlastitim objektima te ugradnju off-grid sustava ili hibridnih sustava na zabačenim lokacijama koje nisu spojene na distribucijsku mrežu.[30]

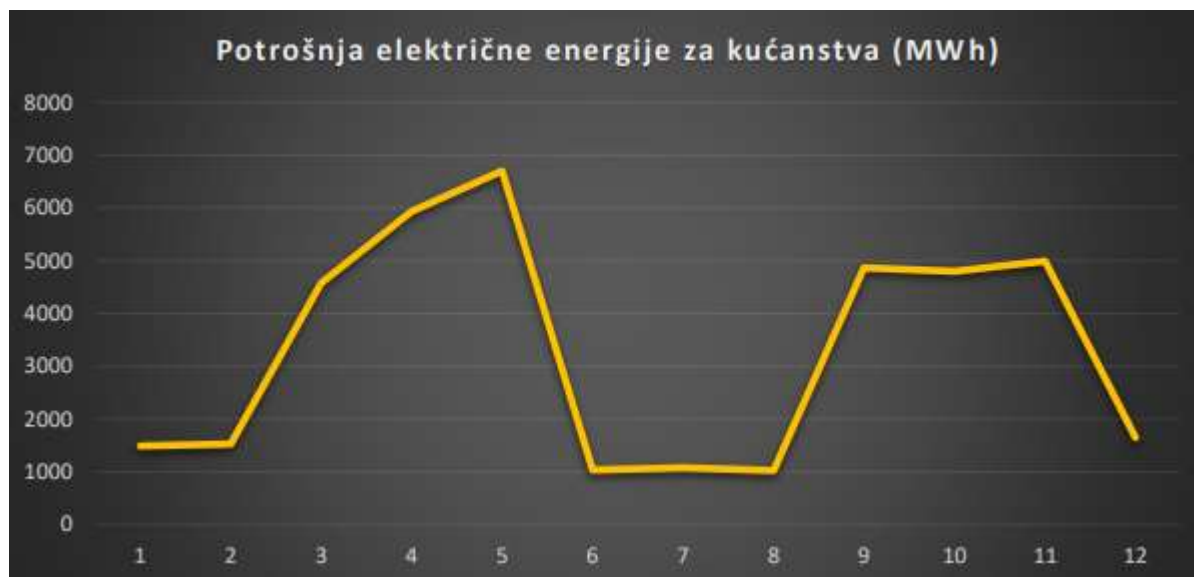
Tablica 6 Potrošnja električne energije po sektorima u 2019. godini [30]

Kategorija	Broj potrošača	potrošnja [kWh]
Javna rasvjeta	57	1.307.845
Kućanstvo	7.072	28.496.143
Poduzetništvo	1.159	23.385.996
Srednji napon	3	3.759.209
Ukupno	8.291	56.949.193

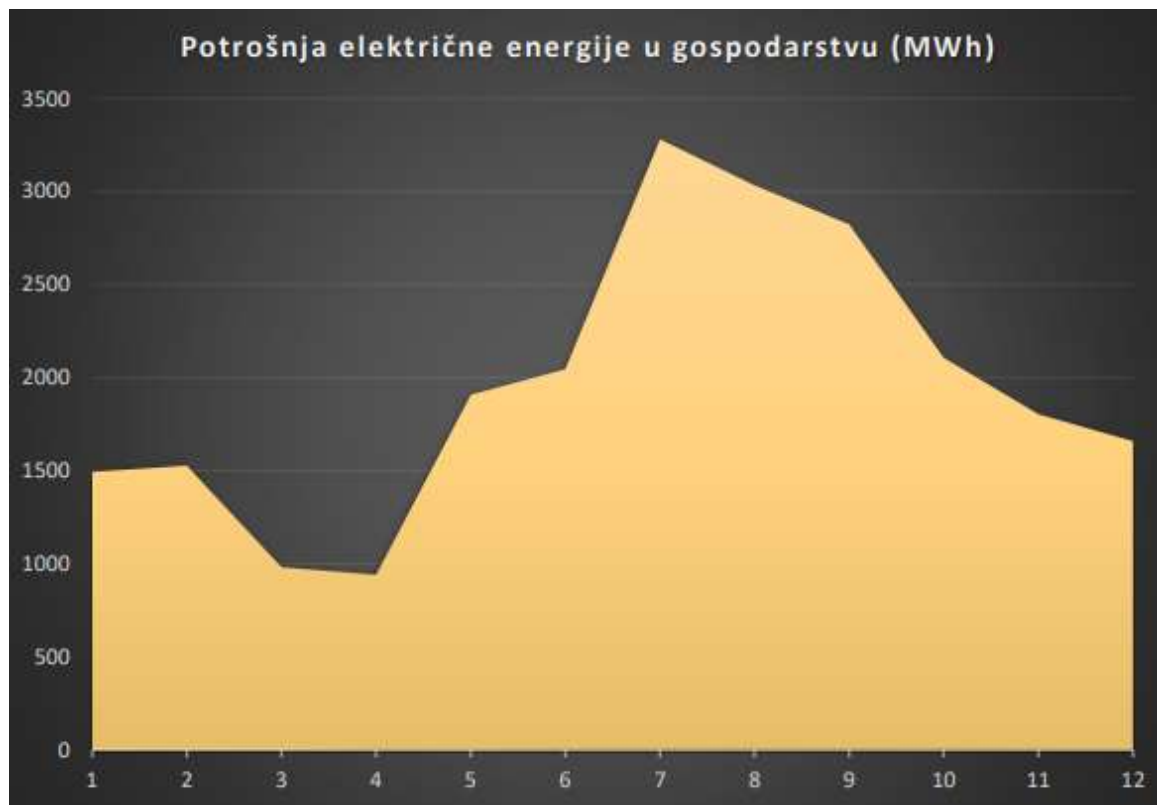
8.7 Korčula

Korčula je otok šesti po veličini na Jadranu s ukupnom površinom od 279,03 km². Ukupni broj stanovnika je 15.521. Gospodarstvo na otoku se temelji na turizmu no izraženo je i ribolovstvo, ribarstvo i poljoprivreda. Ukupni broj noćenja turista u 2019. godini iznosio je 363.380 a broj dolazaka 173.965. Korčula je na elektroenergetsku mrežu povezana putem pomorskog kabela te nema nikakvu proizvodnju energije smještenu na otoku osim malog broja fotonaponskih elektrana koje su trenutno zanemarive snage. Ukupna potrošnja električne energije na otoku iznosi 58.172,432 MWh godišnje s vršnim opterećenjem od 63,471 MW. Kućanstva uz električnu energiju troše i lož ulje, naftni plin i biomasu no najveći udio čini električna energija s 55%. Ukupna potrošnja električne energije u kućanstvu u 2018. godini iznosila je 39.676 MWh. Slika 16 prikazuje potrošnju električne energije po mjesecima u kućanstvu. Može se pretpostaviti da se potrošnja u kućanstvu ne očitava svaki mjesec iz razloga što je potrošnja u ljetnim mjesecima relativno niska, dok logika nalaže da je potrošnja u ljetnim mjesecima najviša.

Uz kućanstva najveći potrošači električne energije je gospodarstvo. Pod gospodarstvo su najizraženiji turizam i poljoprivreda. U gospodarskom sektoru ukupnu potrošnju energije čini električna energija u iznosu od 83%. Potrošnja električne energije u gospodarskom sektoru u 2019. godini iznosila je 23.523 MWh. Slika 17 prikazuje potrošnju električne energije po mjesecima. Potrošnja koja je prikazana na grafu je proporcionalna broju turista po mjesecima.[31]



Slika 16 Potrošnja električne energije u kućanstvu [31]



Slika 17 Potrošnja električne energije u gospodarstvu [31]

8.7.1 Energetska tranzicija otoka Korčula

Otok Korčula planira izgradnju pet neintegriranih elektrana ukupne instalirane snage 40 MW. Zbog trenutno ne iskorištenog potencijala poslovnih i javnih zgrada planira se izgradnja integriranih elektrana za opskrbu svojih potreba. Glavni cilj je poticanje izgradnje integriranih elektrana na privatnim objektima zbog jednostavnosti ishođenja dokumentacije i brzine realizacije. Također se potiče ugradnja autonomnih otočnih fotonaponskih elektrana za objekte koji su zabačeni i do kojih je izvođenje priključka skuplje nego fotonaponska elektrana.

Cilj je izgradnja mikro mreže. To je mreža u kojoj su spojeni potrošači koji nisu povezani na glavnu distribucijsku mrežu već ovisе o električnoj energiji vlastito proizvedenoj. To su fotonaponski sustavi s baterijama no radi stabilnije mreže i opskrbe predlaže se povezivanje više objekata koji bi skupa radili na opskrbi. Takve mikro mreže se kasnije jednostavno mogu prespojiti na glavnu elektroenergetsku mrežu. [31]

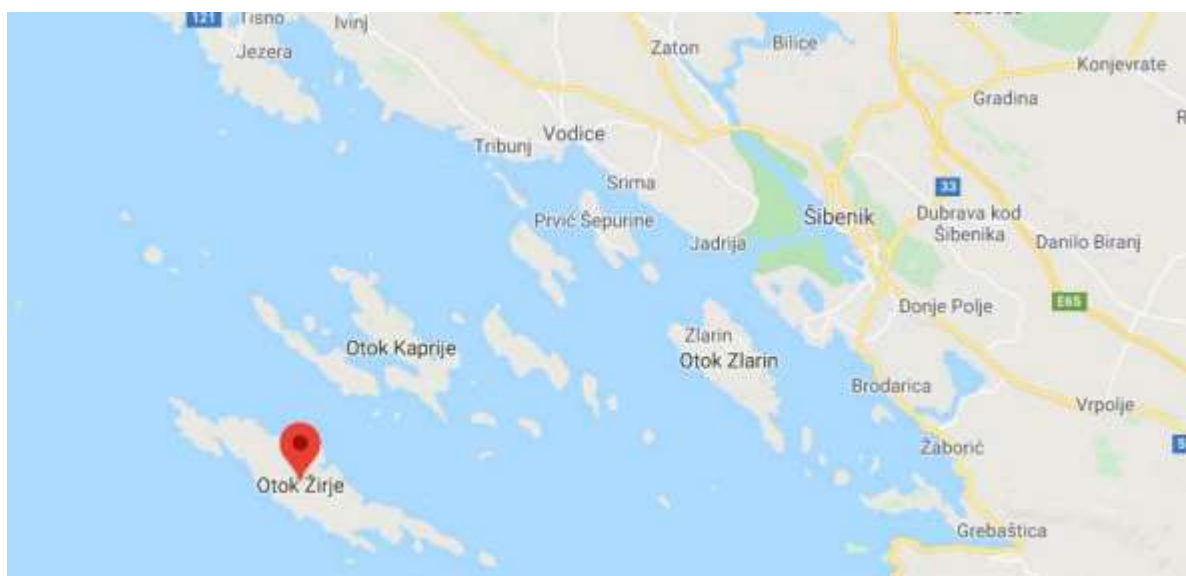
8.8 Žirje

Otok Žirje ima 103 stalna stanovnika i površinu od 15 km². Slika 18 prikazuje geografski položaj otoka te njegovu udaljenost od kopna.

Potrošnja električne energije otoka u 2018. godini iznosi 612.349 kWh i u tablici 7 je prikazana raspodjela potrošnje po sektorima. Vršno opterećenje u zimskim mjesecima je 70 kW dok je u ljetnim mjesecima, odnosno u listopadu i kolovozu do 750 kW. Glavni problemi otoka su vršna opterećenja koja se javljaju u ljetnim mjesecima kao i potreba za pitkom vodom.[32]

Tablica 7 Potrošnja električne energije po sektorima u 2018. godini [32]

Kategorija	potrošnja [kWh]
Javni sektor	44.931
Kućanstvo	319.541
Gospodarstvo	247.877
Ukupno	612.349



Slika 18 Geografski položaj otoka Žirje [32]

8.8.1 Energetska tranzicija otoka Žirje

Zbog male površine otoka i velike udaljenosti od kopna glavni problemi otoka su nedostatak proizvodnje električne energije na samom otoku kao i potreba za pitkom vodom. Zbog male površine najisplativiji način proizvodnje električne energije je postavljanje integriranih fotonaponskih elektrana na privatne i gospodarske objekte. Uz ugradnju fotonaponskih elektrana planira se izgradnja postrojenja za desalinizaciju kako bi se obustavio uvoz pitke vode s kopna. Fotonaponske elektrane bi u zimskim mjesecima proizvodile više električne energije nego što je potrebno te bi se taj višak koristio za desalinizaciju. Sama isplativost postupka desalinizacije je jako vezana s cijenom energije pošto je postupak energetski zahtjevan te je postupak samo isplativ ukoliko postoji jeftina energija. Planirana je ugradnja fotonaponske elektrane snage 249 kW koja bi proizvodila 43% ukupne potrošnje električne energije.[32]

8.9 Vis

Grad Vis nalazi se u Splitsko-dalmatinskoj županiji udaljen 53 km od Splita. Ukupna površina otoka Visa iznosi 52,23 km². Prema posljednjem popisu stanovništva provedenom 2011. godine otok Vis ima 3.445 stanovnika. Napajanje otoka Visa vrši se pomorskom kabelskom vezom s Hvarom. Otok Vis prvi je Hrvatski otok s vlastitom fotonaponskom elektranom. Instalirana snaga fotonaponske elektrane je 3,5 MW i godišnje proizvodnje između 4,6 i 4,9 milijuna kWh. Pomoću fotonaponske elektrane otok Vis osigurava 50% dnevne potrošnje u ljetnim mjesecima.

Uz elektranu instaliran je i baterijski spremnik snage 1 MW i kapaciteta 1,44 MWh. Baterijski spremnik se koristi za uravnoteženje elektroenergetskog sustava i u svrhu očuvanja stabilnosti mreže te maksimalne iskoristivosti energije dobivene iz obnovljivih izvora. [33]

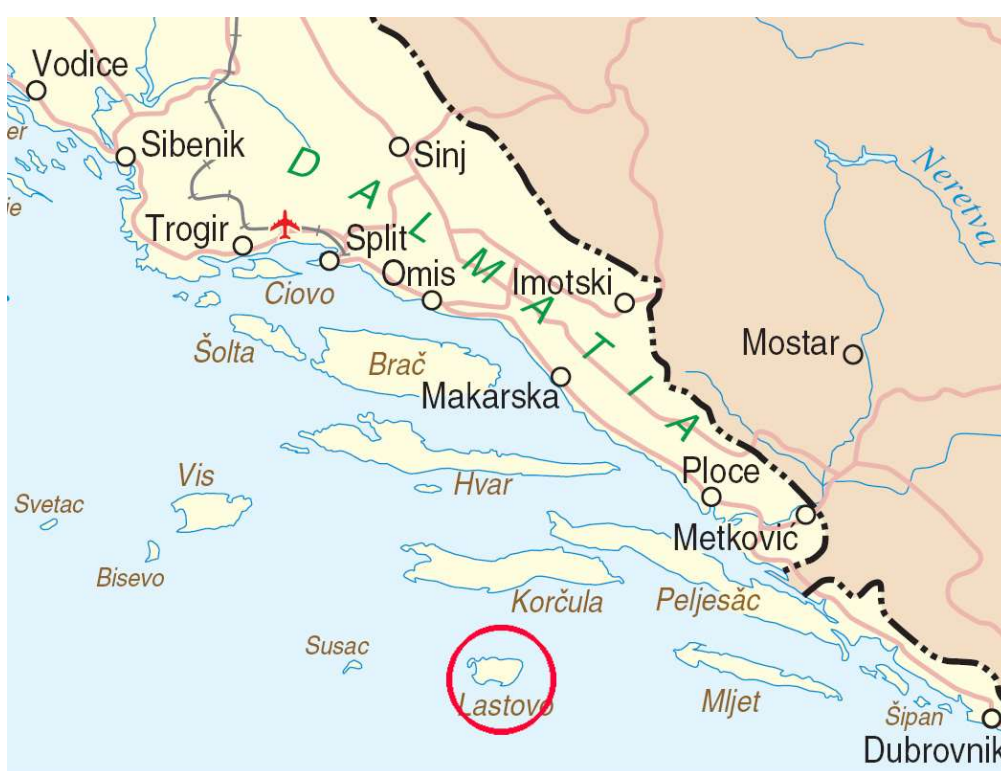
Na slici 19 prikazana je fotonaponska elektrana na otoku Visu.



Slika 19 Fotonaponska elektrana otoka Visa [34]

9. IZGRADNJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE SA BATERIJSKIM SUSTAVOM NA OTOKU LASTOVU

Otok Lastovo dio je skupine južno dalmatinskih otoka. Otok pripada tipu mediteranske klime gdje su zime blage a ljeta suha i vruća te središnja temperatura zraka iznosi 15,5°C. Površina otoka je 40,82 km² s 792 stanovnika koji su raspoređeni u pet naselja. Slika 20 prikazuje geografski položaj otoka. Glavna grana gospodarstva kao kod svih Hrvatskih otoka je turizam. U 2021. godini ukupni broj dolazaka iznosio je 9.442 s ukupno 68.083 noćenja.[35,36]

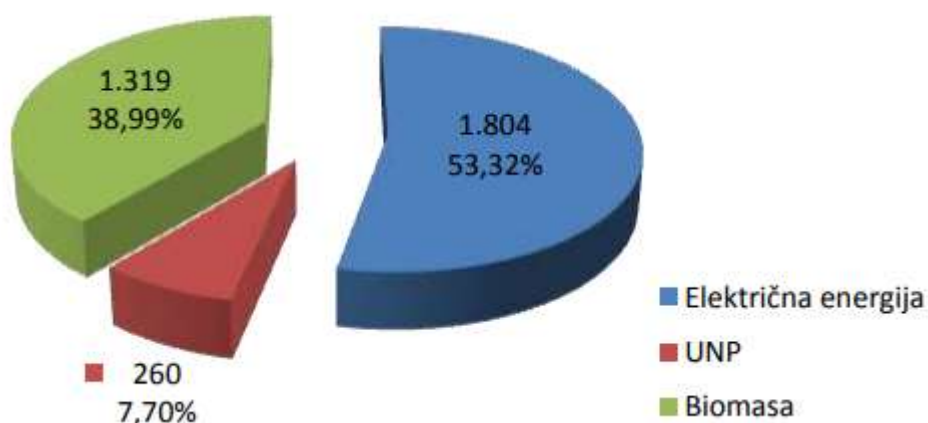


Slika 20 Geografski položaj otoka Lastovo [37]

9.1 Potrošnja energenata na otoku Lastovo

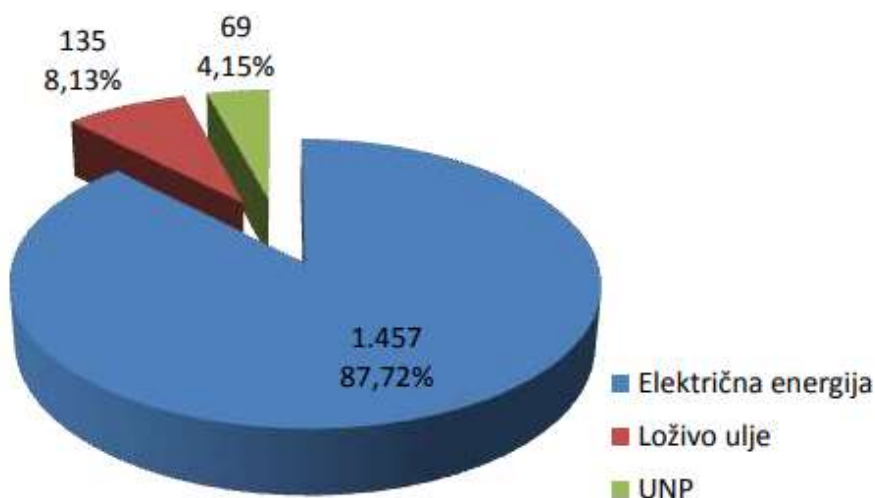
Glavni energenti koji se troše na otoku u objektima su električna energija, ukapljeni naftni plin, biomasa te lož ulje. U javnom sektoru se primarno troši električna energija i lož ulje te je ukupna godišnja potrošnja električne energije 308 MWh a potrošnje lož ulja je 112 MWh. U potrošnju električne energije javnog sektora spada i javne rasvjeta s godišnjom potrošnjom od 101 MWh.

U kućanstvima se primarno koristi električna energija, ukapljeni naftni plin i biomasa. Godišnja potrošnja električne energije kućanstva je 1.804 MWh, ukapljeni naftni plin 260 MWh i biomasa 1.319 MWh. Slika 21 prikazuje omjer energenata u kućanstvu.[38]



Slika 21 Potrošnja energije u kućanstvu otoka Lastovo [38]

U gospodarstvu se koristi električna energija, loživo ulje i ukapljeni naftni plin. Omjer energenata je drugačiji kao što je prikazano na slici 22, iz koje je vidljivo da je najzastupljenija električna energija s 87,72% odnosno 1.457 MWh godišnje, zatim loživo ulje s 135 MWh i ukapljeni naftni plin s 69 MWh.



Slika 22 Potrošnja energije u gospodarstvu otoka Lastovo [38]

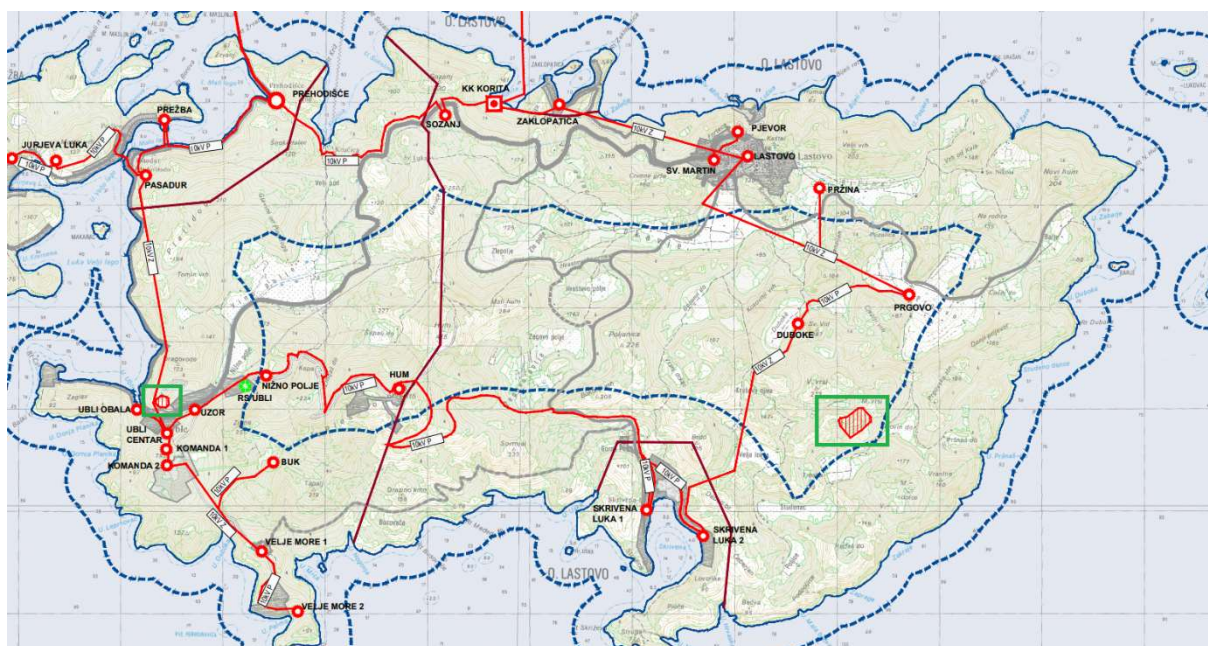
Tablica 8 prikazuje ukupnu godišnju potrošnju energije otoka Lastovo po energentima iz koje je vidljivo da je najzastupljeniji dizel i električna energija.

Tablica 8 Ukupna godišnja potrošnja otoka Lastovo [38]

Vrsta energenta	Ukupna potrošnja energije [MWh]
Električna energija	3.569
Loživo ulje	247
Dizel	3.637
Benzin	1.889
UNP	329
Biomasa	1.319
Ukupno	10.990

9.2 Fotonaponske elektrane otoka Lastovo

Prema prostornom planu uređenja općine Lastovo (Službeni glasnik općine Lastovo, broj 01/10., 06/10 -isp., 07/10 -uk. isp.,05/14., 03/17. i 05/20. -proč. Tekst) predviđene su dvije lokacije za izgradnju neintegrirane solarne elektrane koje su vidljiva na slici 23 i označena zelenim kvadratom na istočnom i zapadnom dijelu otoka. Površine predviđenih lokacija iznosi 1 ha i 3 ha. [39]



Slika 23 Lokacija neintegrirane fotonaponske elektrane [40]

Pomoću programa PV SOL izrađen je simulacijski model elektrana na predviđenim površinama. Cilj je bio u potpunosti iskoristiti predviđenu površinu uzevši u obzir infrastrukturne elemente same elektrane kao trafostanice, dovoljan razmak između trafostanica i fotonaponske elektrane, prostor za cestu, požarni put, prohodnost između redova konstrukcije kao i dovoljnu udaljenost od ruba parcele.

9.3 Program PV SOL

PV SOL je napredni softverski program koji se koristi za simulaciju i projektiranje solarnih fotonaponskih sustava. Program je razvijen od strane njemačke tvrtke Valentin Software GmbH i pruža korisnicima mogućnost preciznog modeliranja i analize performansi solarnih elektrana.

Glavna funkcija PV SOL-a je simulacija solarnih sustava. Program omogućava stvaranje virtualnih 3D modela fotonaponskih sustava uzimajući u obzir različite parametre kao što su položaj, nagib i orijentacija solarnih panela, karakteristike panela, izmjenjivača, baterija i ostalih komponenti sustava. Program koristi realne meteorološke podatke kako bi simulirao proizvodnju energije iz solarnih panela tijekom različitih vremenskih uvjeta tijekom cijele godine.

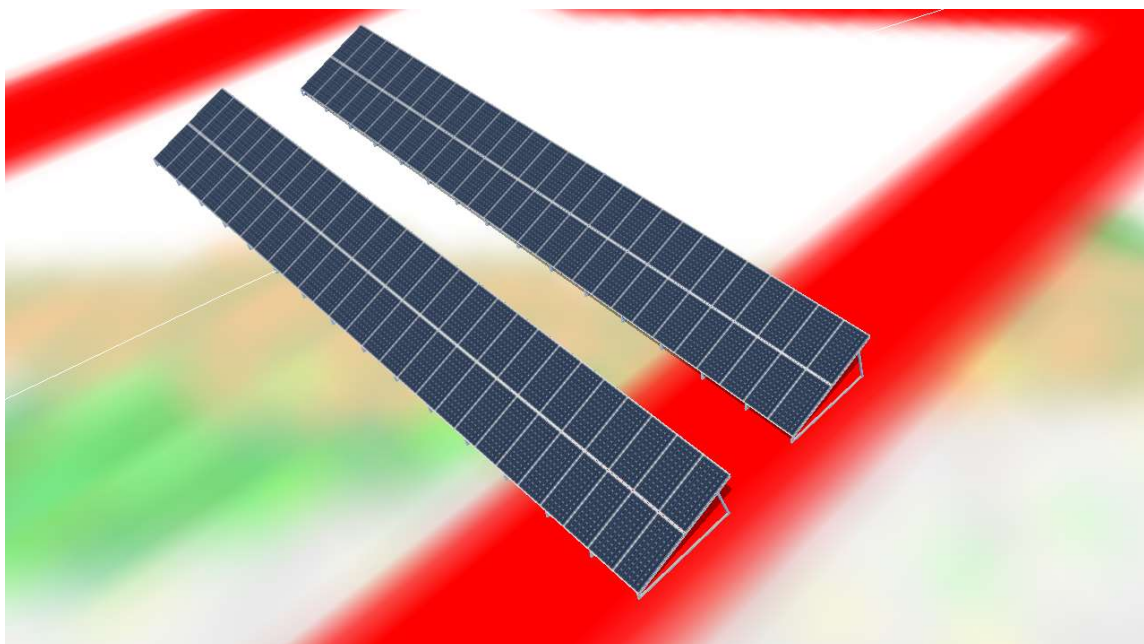
PV SOL također pruža korisne alate za analizu performansi sustava. Može se izvršiti procjena očekivane godišnje proizvodnje energije i prikazati rezultati u obliku grafova i izvješća. Također je moguće analizirati financijsku održivost solarnih projekata, uključujući troškove, povrat investicije i vremensku isplativost. Zbog velikog broja varijabli koje se mogu podešavati, program omogućuje optimizaciju sustava. Moguće je eksperimentirati s različitim parametrima kako bi prilagodili svoje sustave i postigli maksimalnu energetske učinkovitost. Na primjer, mogu optimizirati nagib i orijentaciju panela kako bi povećali proizvodnju energije ili mogu simulirati utjecaj sjene objekata ili vegetacije na performanse sustava.

Za izradu proračuna korištena je probna verzija programa PV SOL premium.

9.4 Postavljanje fotonaponskih modula

Fotonaponski moduli postavljeni su u blokove. Jedan blok čini 56 fotonaponskih modula koji su postavljeni u dva reda pod nagibom od 24° . Odabran je nagib do 24° zbog optimalne iskoristivosti površine. Povećanjem nagiba povećao bi se i razmak između samih blokova zbog povećanog zasjenjenja na modulima a smanjenjem nagiba se smanjuje i proizvodnja same elektrane. Za solarni modul odabran je modul kao Longi LR5-72 HPH 550M snage 550 W dimenzija 2278x1134x35mm, težine 27,5 kg i efikasnosti samog modula s 21,5%. Odabran je panel od 550 W zbog najpovoljnijeg omjera snage i cijene. Također cijena konstrukcije je povoljnija za module veće snage nego za module manje snage za ukupno istu snagu elektrane.

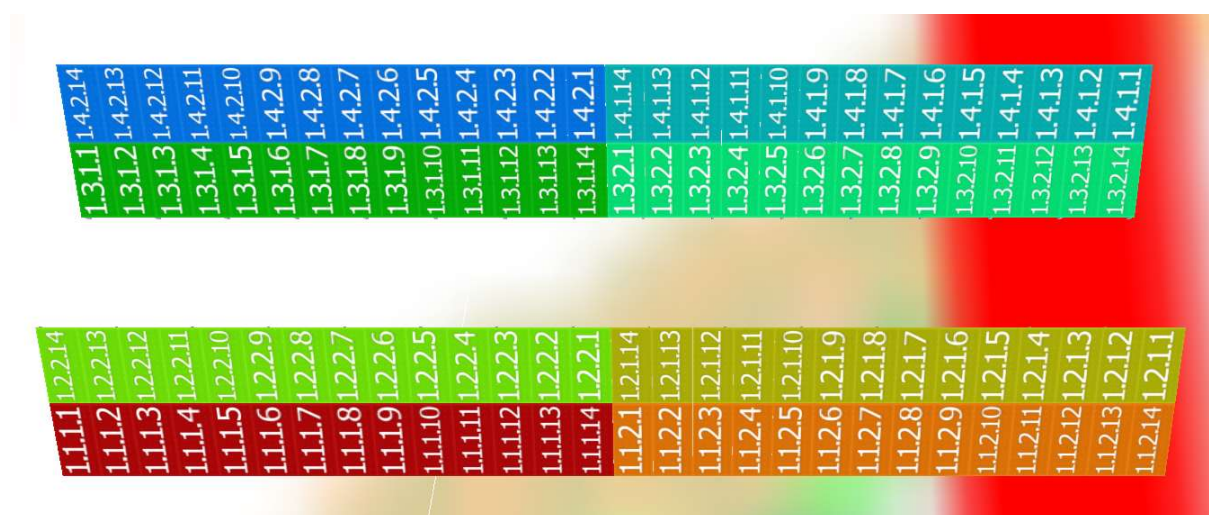
Slika 24 prikazuje jednu mikro cjelinu fotonaponskog sustava. Ona je sačinjena od 2 bloka fotonaponskih modula i izmjenjivača. Korišten je izmjenjivač kao Huawei SUN2000-50KTL M3. Izmjenjivač je smješten na konstrukciji ispod fotonaponskih modula gdje je zaštićen od direktnog udara sunca kao i kiše. Uz izmjenjivač se postavlja i DC zaštita. Tako da iz jedne mikro cjeline odlazi samo jedan napojni kabel prema AC ormaru elektrane.



Slika 24 Jedna mikro cjelina fotonaponske elektrane

9.4.1 Kabliranje mikro cjeline

Navedeni izmjenjivač ima 4 MPPT ulaza te svaki MPPT ulaz ima 2 stringa. Maksimalna struja po MPPT ulazu iznosi 30 A, dok je raspon radnog napona od 200 V do 1000 V. Odabrani solarni modul ima izlaznu stuju od 13,12 A i napon od 41,95 V. Zbog navedenih karakteristika izmjenjivača fotonaponski moduli se spajaju u seriju od 14 modula te čine jedan string, što je prikazano na slici 25. Time je napon po stringu 587,3 V dok je struja po MMPT-u 26,24 A što je unutar granica izmjenjivača. Jedna mikro cjelina ima 112 fotonaponskih modula što rezultira ukupnom instaliranom snagom od 61,6 kWp. Ciljano je postavljena veća instalirana snaga u odnosu na snagu izmjenjivača od 23% kako bi se u potpuno iskoristio izmjenjivač. Nazivna snaga fotonaponskog modula od 550 W je dana za temperaturu od 25°C. Povećanjem za svaki 1°C efikasnost modula pada za 0,34% što znači da u ljetnim periodima pri temperaturi na fotonaponskom modulu od 60°C snaga fotonaponskog modula iznosi 485,55 W što je smanjenje od 11,9%. U zimskim mjesecima snaga fotonaponskog modula raste za svaki 1°C no insolacija je niža što rezultira u potrebi veće instalirane snage kako bi izmjenjivač radio punom snagom.

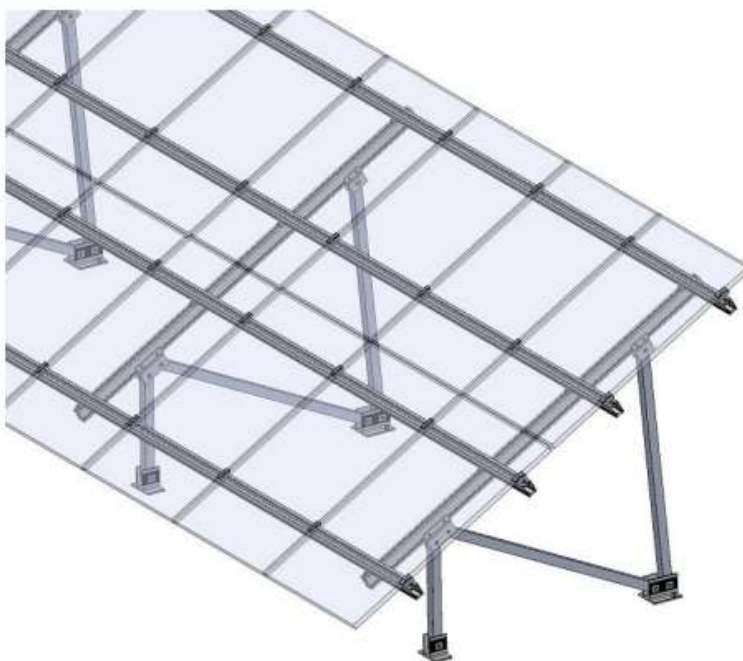


Slika 25 Kabliranje jedne mikro cjeline

9.4.2 Odabir materijala

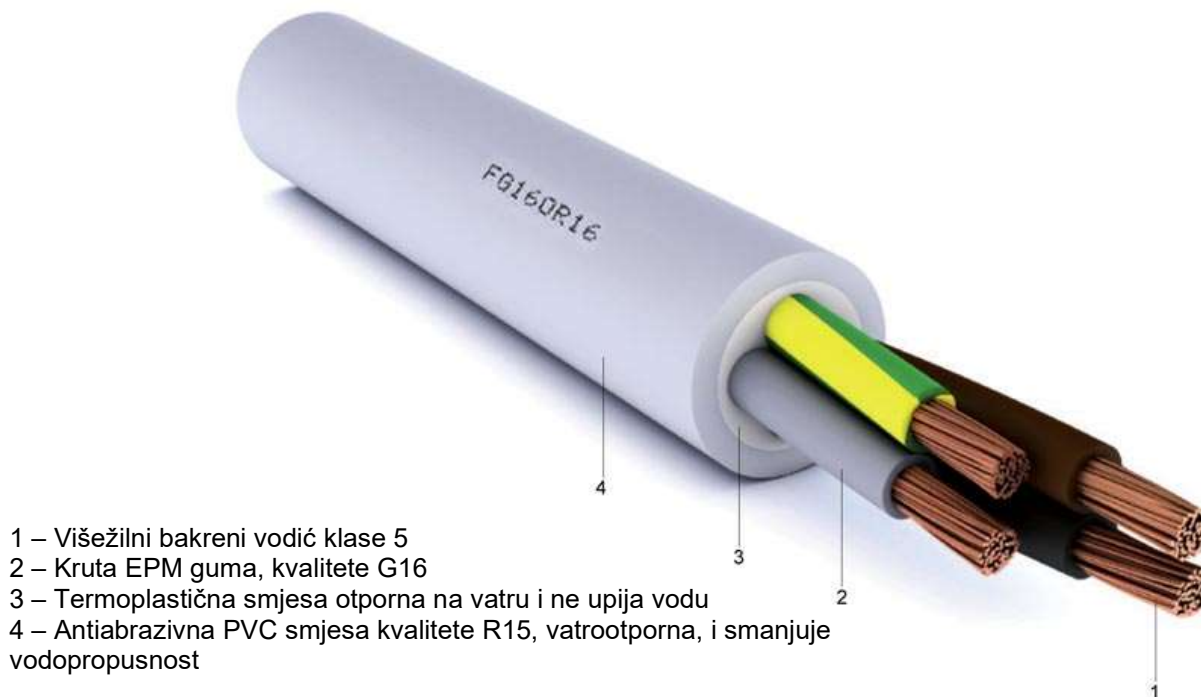
Prilikom odabira svih komponenti potrebno je uzeti u obzir tehničke zahtjeve kao i uvjete koji djeluju na komponente. Fotonaponska elektrana je smještena na otoku gdje su izraženi vremenski uvjeti poput jakih udara vjetra, visoke temperature i relativne blizine mora te utjecaj soli. Nosiva konstrukcija se sastoji od tipskih atestiranih aluminijskih nosača prikazana na slici 26 na koje se montiraju fotonaponski moduli. Zbog jakih udara vjetra potrebno je statički proračunati nosivost konstrukcije te zbog utjecaja soli konstrukcija mora biti od eloksiranog aluminija.

Fotonaponski moduli dolaze s eloksiranim aluminijskim okvirom i staklom te su oba materijala otporna na utjecaj soli. Fotonaponski modul potrebno je pričvrstiti na konstrukciju pomoću tipskih stezaljki koje modul hvataju po duljoj strani kako ne bi došlo do savojnog loma modula uslijed djelovanja vjetra.



Slika 26 Tipška konstrukcija za prihvat fotonaponskih modula [41]

Prilikom odabira kabela potrebno je obratiti pozornost na zaštitu istog. Kabel mora imati izolaciju otpornu na utjecaj sunca, vode, soli te otporna na gorenje. Slika 27 prikazuje presjek napojnog kabela FG16OR16 te izolaciju koju taj kabel posjeduje.

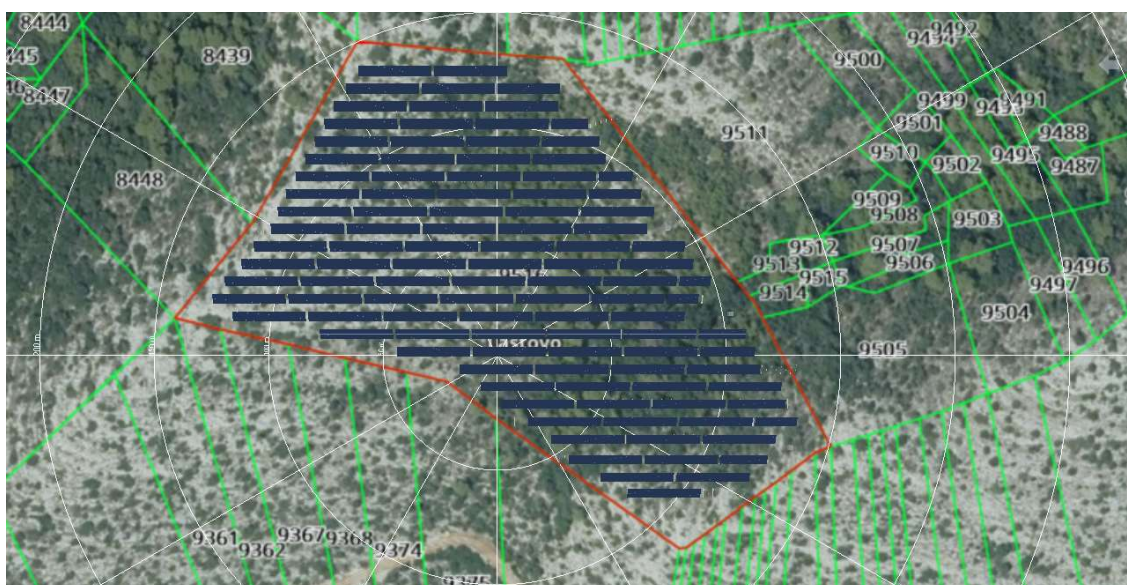


Slika 27 Poprečni presjek napojnog kabela FG16OR16 [42]

Odabrani izmjenjivač ima stupanj zaštite IP 66, što znači da može podnijeti direktan utjecaj vode. Radna temperatura izmjenjivača je od -25°C do 60°C te iz tog razloga ne smije biti izložen direktnom udaru sunca. Razvodni ormar DC strane također mora imati stupanj zaštite od IP 66 ili više kako bi bio zaštićen od kiše te ne smije biti u izložen suncu kako ne bi došlo do pogoršanja karakteristika kabela i prekidača. Sami transformatori, srednjenaponski blok kao i niskonaponski blok smješteni su u montažnoj transformatorskoj kućici koja ih štiti od svih vanjskih uvjeta.

9.5 Fotonaponska elektrana na lokaciji A

Fotonaponska elektrana smještena je na k.č.br.: 9516 k.o. Lastovo površine 3 ha. Na slici 28 prikazan je model fotonaponske elektrane na predmetnoj površini. Ukupna površina koju zauzimaju sami fotonaponski moduli je 14.784,18 m².



Slika 28 Model fotonaponske elektrane na lokaciji A

Fotonaponsku elektranu čine 5.784 fotonaponska modula snage 550 W, 53 izmjenjivača snage 50 kW i jedne trafostanice 10/0,4kV.

U transformatorsku stanicu TS1 ugraditi će se dva energetska zrakom hlađena transformatora, snage 2×1600 kVA, 10 kV SN blok sastavljan od dva vodna i dva transformatorska polja (2V+2T) te odgovarajući NN blokovi i zaseban NN komunikacijski razdjelnik za potrebe SCADA sustava.

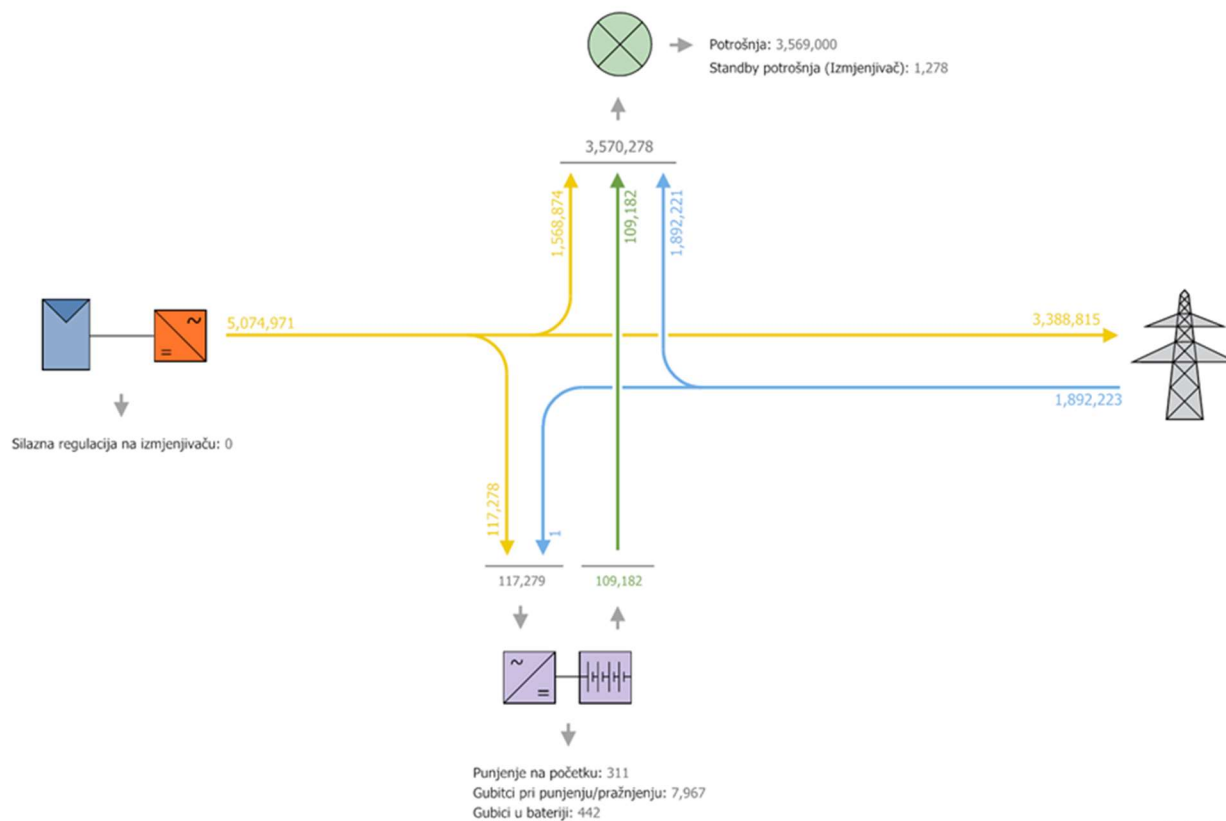
Zrakom hlađeni energetski transformator

- snaga: 2×1600 kVA
- transformacija: 10000(20000)/420/231 V
- nadmorska visina ugradnje: do 1000 m
- uk : 6%
- spoj: Dyn5
- frekvencija: 50 Hz

U trafostanicu TS1 će se smjestiti tipski 24 kV srednjenaponski razvod u SF6 plinu nazivne struje 630 A (tip kao 8DJH) s dva vodna pola za direktan kabelski priključak i dva trafo polja (2V + 2T). To je istovjetan tipski, modularni sustav kakav je predviđen u svim ostalim trafostanicama, te se ovdje neće ponovo opisivati. Razlika je samo u drugačijoj konfiguraciji polja.

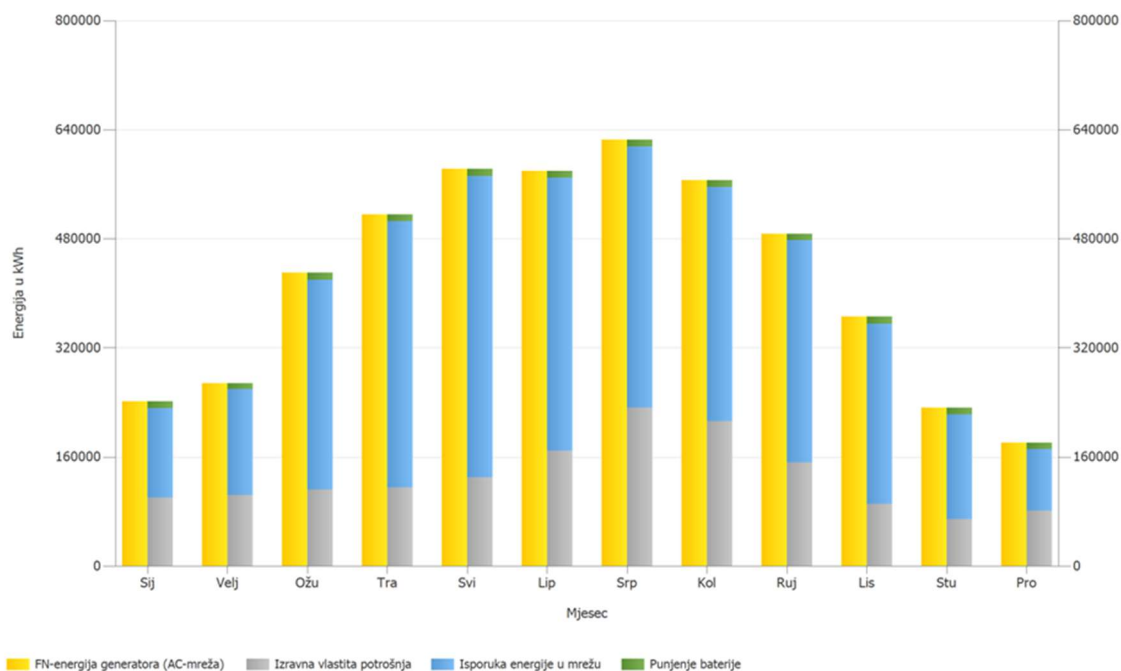
Instalirana snaga elektrane je 3,1812 MWp dok je izlazna snaga 2,65 MW. Zbog visoke izlazne snage predaja energije u mrežu vrši se na srednjem naponu. Prema podacima iz programa PV SOL na otoku Lastovo godišnja insolacija iznosi 1.596 kWh/m² čime fotonaponska elektrana na lokaciji A generira 5.074.971 kWh godišnje. Uz fotonaponsku elektranu ugrađena je i baterija. Kapacitet baterije određen je analizom u programu PV SOL. Analiza se odvila tako da se kapacitet baterije smanjivao u koracima od 50 kWh sve dok se kapacitet baterije nije mogao 100% iskoristiti u 28 od 31 dana u siječnju. Ako je kapacitet baterije prevelik sami troškovi investicije rastu no brzina povrata investicije usporava jer se kapacitet u potpunosti može iskoristiti samo u ljetnim mjesecima kada je proizvodnja fotonaponske elektrane dovoljno velika. Tako u zimskim mjesecima povećani kapacitet baterije ne dolazi do izražaja zbog nemogućnosti iskorištavanja 100% kapaciteta baterije. Na osnovi tih kriterija odabrana je baterija snage 150 kW i kapaciteta 300 kWh. Fotonaponska elektrana može napuniti bateriju od 300 kWh do 100% svakog dana u godini.

Stvarna potrošnja električne energije otoka Lastovo nije bila dostupna stoga je uzeta potrošnja otoka Visa za 2015. godinu te je skalirana na osnovi broja stanovnika. U program je ubačena skalirana potrošnja električne energije te su svi proračuni bazirani na njoj. Slika 29 prikazuje tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A na razini jedne godine. Na slici je vidljivo da se na razini godine od ukupne proizvodnje fotonaponske elektrane na otoku odmah troši 1.568.874 kWh, 3.388.815 kWh se vraća u elektroenergetsku mrežu a u bateriju se ukupno pohranjuje 117.278 kWh. Ukupni gubitci u bateriji su 8.096 kWh na razini godine. Što znači da se od ukupne potrošnje električne energije koja iznosi 3.570.270 kWh, 1.568.874 kWh opskrbljuje direktno iz fotonaponske elektrane, 109.182 kWh iz baterije a 1.892.221 kWh se preuzima iz mreže.



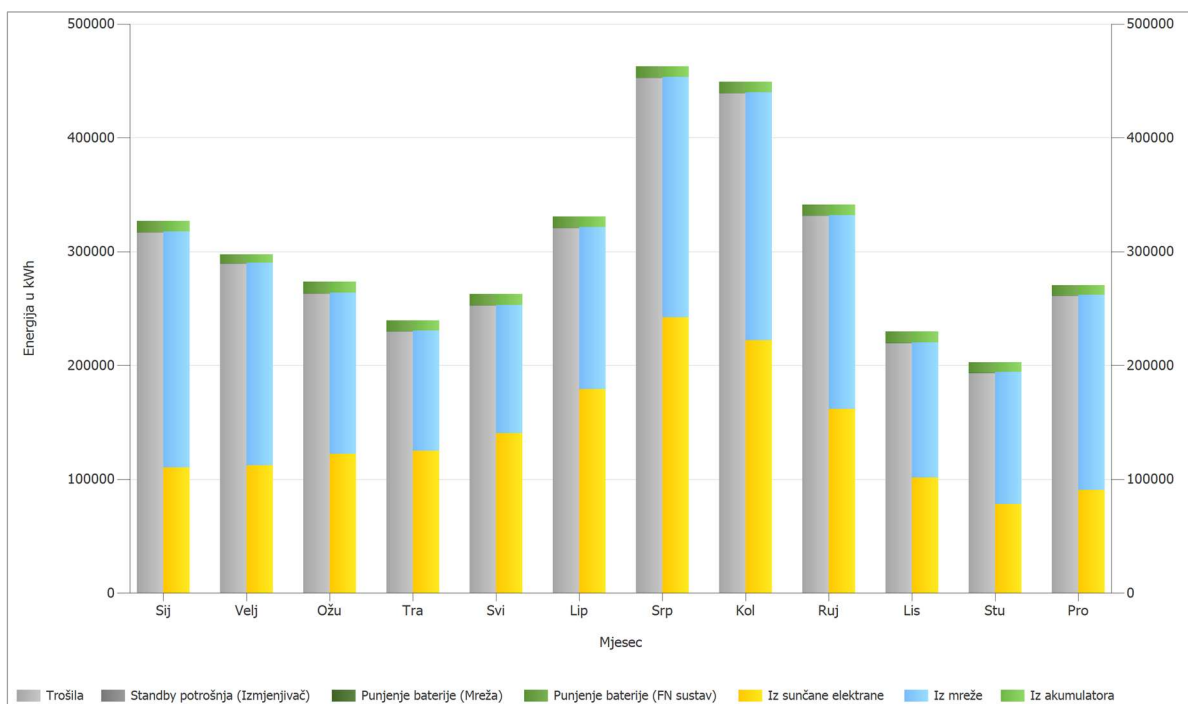
Slika 29 Tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A izražen u kWh

Slika 30 prikazuje udio električne energije po mjesecima koji ide u mrežu, udio koji se odmah koristi za potrošnju otoka i udio koji se pohranjuje u bateriji. Od ukupne proizvedene električne energije na lokaciji A 33,2% se koristiti odmah za opskrbu otoka.



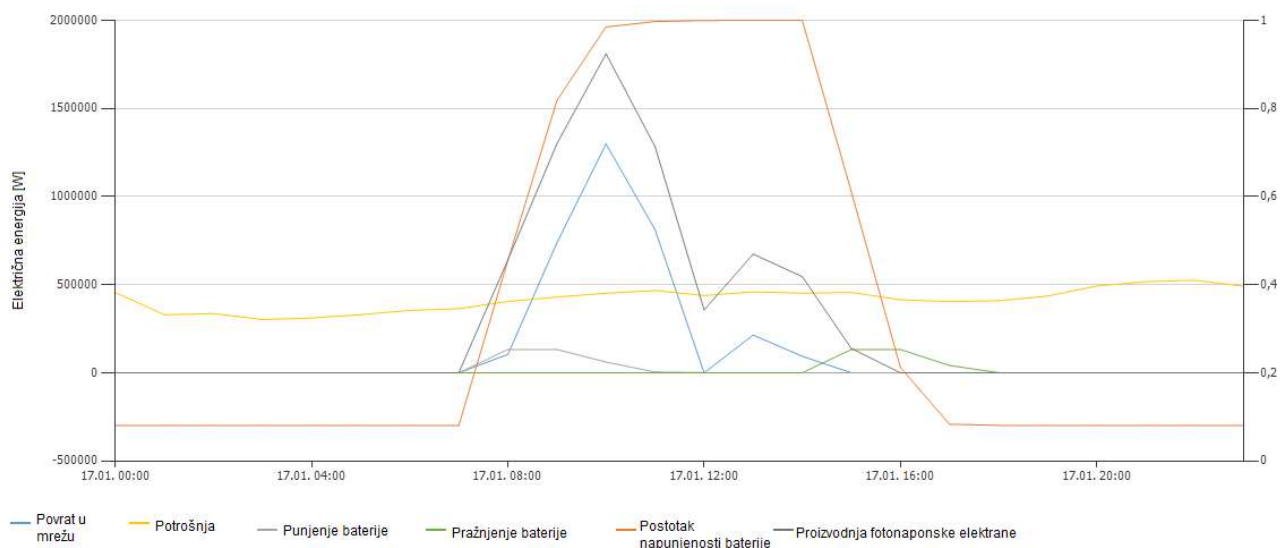
Slika 30 Iskoristivost električne energije dobivene iz fotonapona na lokaciji A

Slika 31 prikazuje potrošnju električne energije otoka po mjesecima te udio koji je pokriven iz fotonaponske elektrane, udio iz baterije te udio koji se i dalje uzima iz mreže. Od ukupne potrošnje električne energije 47,0% se opskrbljuje iz fotonaponske elektrane.

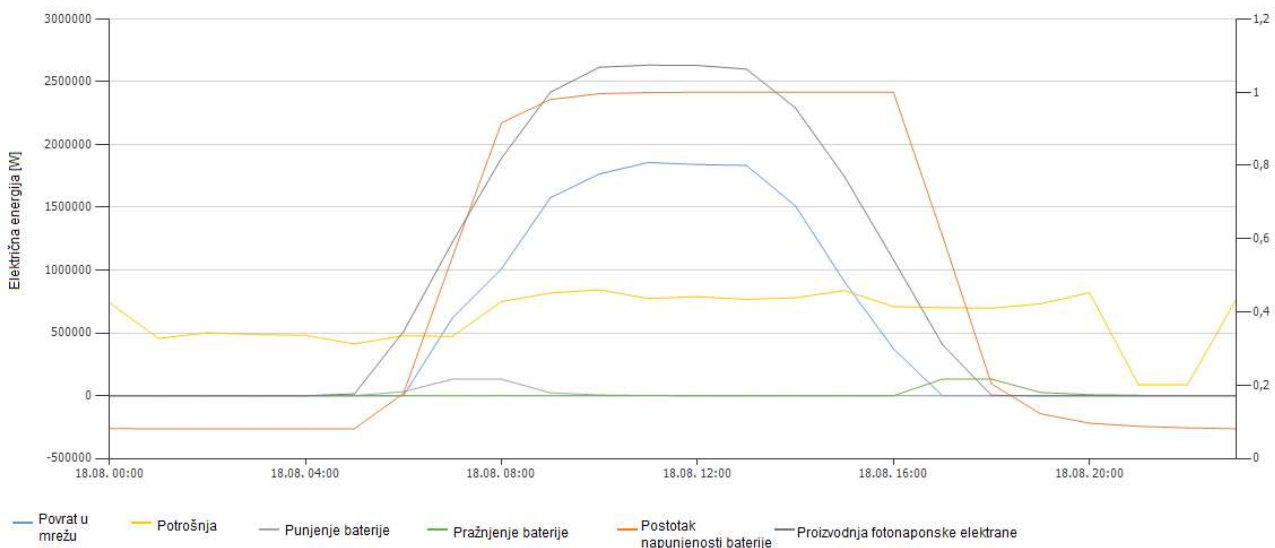


Slika 31 Pokriće potrošnje električne energije otoka nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A

Na slici 32 prikazana je dnevni tok električne energije u siječnju a slika 33 prikazuje dnevni tok električne energije u kolovozu. Na slikama je prikazana potrošnja električne energije, proizvodnja te punjenje i pražnjenje baterije.



Slika 32 Dnevni tok električne energije u siječnju nakon izgradnje lokacije A



Slika 33 Dnevni tok električne energije u kolovozu nakon izgradnje lokacije A

Za izračun troškova izgradnje neintegrirane elektrane potrebno je uzete su u obzir sve stavke koje su potrebne sve do trenutka puštanja u pogon te potvrde o trajnom pogonu. Ukupni procijenjeni trošak iznosi 2.130.743,90 € bez PDV-om i prikazana je u troškovniku.

TROŠKOVNIK**A. SOLARNA ELEKTRANA****1. BRAVARSKI I GRAĐEVINSKI RADOVI**

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
1.1	Pripremni građevinski radovi, čišćenje, malčiranje terena	kpl.	1	21.500,00	21.500,00
1.2	Ravnanje terena strojevima	kpl.	1	29.520,00	29.520,00
1.3	Iskop rova za temelje fotonaponskih modula	kpl.	1	15.900,00	15.900,00
1.4	Iskop za temelje objekta	kpl.	1	750,00	750,00
1.5	Geotekstil ispod fotonaponskih modula i ostalih objekta	kpl.	1	26.500,00	26.500,00
1.6	Izrada sloja šljunka prije betoniranja	kpl.	1	212.000,00	212.000,00
1.7	Izvedba betonskih temeljnih za fotonaponske module	kpl.	1	39.750,00	39.750,00
1.8	Izvedba betonskih temelja za ostale objekte	kpl.	1	1.875,00	1.875,00
1.9	Rebrasta i mrežasta armatura	kpl.	1	22.687,50	22.687,50
1.10	Izrada i montaža vanjske ograde parcele.	kpl.	1	26.282,00	26.282,00
1.11	Vrata za ulaz na parcelu, dimenzije vrata 550cmx180cm	kpl.	1	700,00	700,00
BRAVARSKI I GRAĐEVINSKI RADOVI				UKUPNO:	397.464,50

2. ELEKTRO MATERIJAL I OPREMA ELEKTRANE

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
2.1	Fotonaponski modul snage 550 W	kom.	5.784	145,00	838.680,00
2.2	Aluminijska konstrukcija za prihvat fotonaponskih moduola	kpl	1	79.500,00	79.500,00
2.3	Trofazni Izmjenjivač snage 50 kW	kom.	53	4000	212.000,00
2.4	Kabelske vezica (UV stabilne) dim. 4x150mm	kom	15000	0,20	3.000,00
2.5	Dobava, postava i spajanje DC zaštite	kom	53	500,00	26.500,00
2.6	Isporuka i dobava uređaja za kontrolu i nadzor rada fotonaponske elektrane	kom	1	500,00	500,00
2.7	Isporuka i dobava baterijskog sustava sa BPU uređajem za nadzor i komunikaciju Kapacitet 300 kWh	kom	1	140.000,00	140.000,00
2.8	Dobava i isporuka AC kabela za spajanje invertera sa RO-E	kpl.	1	275.500,00	275.500,00
2.9	Nabava solarnog kabela 1x6 mm ²	kpl.	1	10.653,00	10.653,00
2.10	Nabava kabela za uzemljenja	kpl.	1	8.125,00	8.125,00
2.11	Dobava razvodnog ormara oznake +RO-E	kpl.	1	85.000,00	85.000,00
2.12	Kabelske kanalice za organizaciju DC i AC kabela	kpl.	1	35.500,00	35.500,00
ELEKTRO MATERIJAL I OPREMA ELEKTRANE				UKUPNO:	876.278,00

3. ELEKTROMONTAŽNI RADOVI					
R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
3.1	Utovar, prijevoz i istovar opreme, materijala, alata i potrebnog pribora na gradilište.	kpl.	1	25.640,00	25.640,00
3.2	Postavljanje fotonaponskih modula na montažnu konstrukciju upotrebom standardnog pribora, te njihovo međusobno spajanje u nizove i sa spojnim kutijama sukladno tehničkoj dokumentaciji	kom	5784	5,00	28.920,00
3.3	Doprema, istovar, unošenje i postavljanje spojnih DC kutija na predviđeno mjesto	kom	53	550,00	29.150,00
3.4	Doprema, istovar, unošenje i postavljanje pretvarača na predviđeni temelj ispod panela sa spajanjem komplet.	kom	53	550,00	29.150,00
3.4	Doprema, istovar, unošenje i postavljanje baterijskog sustava	kom	1	750,00	750,00
3.5	Izrada kablenskog spoja istosmjernje struje između modula i pretvarača	kpl.	1	1.696,00	1.696,00
3.6	Ugradnja i spajanje uređaja za nadzor elektrane s pretvaračima i routerom te programsko aktiviranje	kompl	1	600,00	600,00
3.7	Montaža aluminijske konstrukcije za prihvat fotonaponskih modula	kompl	1	86.700,00	86.700,00
3.8	Doprema i montaža i spajanje glavnog ormara elektrane oznake GRO-FN sa spajanjem komplet	kpl.	1	12.000,00	12.000,00
3.9	Montaža kablenskih kanalice	kpl.	1	23.700,00	23.700,00
3.10	Polaganje i spajanje kabela (obvezna ugradnja kablenskih završetaka na sve krajeve) i vodiča:	kpl.	1	32.553,40	32.553,40
3.11	Čišćenje i uređenje gradilišta	kompl	1	8.790,00	8.790,00
ELEKTROMONTAŽNI RADOVI				UKUPNO:	279.649,40

4. MJERENJE, ISPITIVANJE, PODEŠAVANJE I PUŠTANJE U POGON					
R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
4.1	Izvođenje ispitivanja FN elektrane prije puštanja u pogon, DC strana	kpl.	1	14.500,00	14.500,00
4.2	Izvođenje ispitivanja FN elektrane prije puštanja u pogon AC strane	kpl.	1	16.500,00	16.500,00
4.4	Mjerenje kvalitete električne energije (prije pogona FN elektrane)	kpl.	1	6.400,00	6.400,00
4.5	Puštanje FN elektrane u probni rad	kpl.	1	8.400,00	8.400,00
4.6	Mjerenje kvalitete električne energije (nakon pogona FN elektrane)	kpl.	1	6.400,00	6.400,00
4.7	Ispitivanje sustava zaštite od indirektnog dodira	kpl.	1	9.950,00	9.950,00
4.8	Elaborat utjecaja na elektroenergetsku mrežu	kpl.	1	4.500,00	4.500,00
4.9	Elaborat podešenja zaštite	kpl.	1	4.500,00	4.500,00
4.10	Mjerenje i provjera učinkovitosti sustava	kpl.	1	5.450,00	5.450,00
4.11	Implementiranje daljinskog nadzora rada FN sustava	kpl.	1	3.850,00	3.850,00
4.12	Tehnička primopredaja	kpl.	1	9.400,00	9.400,00
4. MJERENJE, ISPITIVANJE, PODEŠAVANJE I PUŠTANJE U POGON				UKUPNO:	89.850,00

5. VANJSKA RASVJETA ELEKTRANE					
R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
Elektromontažni materijal					
5.1	Dobava i isporuka na objekt LED svjetiljke	kpl.	1	2.660,00	2.660,00
5.2.	Dobava, prijevoz armirano betonskog stupa visine 10 m	kpl.	1	3.600,00	3.600,00
5.3	Dobava i isporuka čelične pocinčane trake Fe/Zn 40x4mm	kpl	1	25,60	25,60
5.4	Dobava i isporuka kabela za izradu spoja svjetiljka	kpl.	1	520,00	520,00
5.5	Dobava, prijevoz do objekta čeličnog okruglog stožastog stupa, visine 7m	kpl.	1	3.150,00	3.150,00
5.6	Dobava i isporuka kabela za izradu spoja svjetiljka, prosječne dužine	kpl.	1	630,00	630,00
5.7	Dobava i isporuka kabela za napajanje vanjske rasvjete.	kpl.	1	12.075,00	12.075,00
5.8	Dobava i isporuka čelične pocinčane trake Fe/Zn 40x4mm	kpl.	1	1.888,00	1.888,00
5.9	Dobava cijevi za prolaza ispod ceste	kpl.	1	230,40	230,40
Elektromontažni radovi					
5.10	Izrada iskopa zemlje za temelje betonskog stupa visine 10m	kpl.	1	1.760,00	1.760,00
5.11	Izrada iskopa zemlje za temelje betonskog stupa visine 7m	kpl.	1	1.980,00	1.980,00
5.12	Strojni iskop kabelskog rova u zemlji	kpl.	1	1700,00	1.700,00
5.13	Montaža čeličnih stupova visine 7m	kpl	1	3.600,00	3.600,00
5.14	Polaganje kabela za povezivanje rasvjete i če trake FeZn 40x4mm u iskopani rov	kpl.	1	1120	1.120,00
5. VANJSKA RASVJETA ELEKTRANE				UKUPNO:	34.939,00

6 SUSTAV ZAŠTITE OD MUNJE I UZEMLJENJA OGRADE ELEKTRANE

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
6.1	Dobava i isporuka čelične pocinčane trake i sajle	kpl.	1	9.500,00	9.500,00
6.2	Strojni iskop kabelskog rova za postavljanje pocinčane trake	kpl.	1	14400,00	14.400,00
6.3	Polaganje pocinčane trake i sajle	kpl.	1	3.200,00	3.200,00

6 SUSTAV ZAŠTITE OD MUNJE I UZEMLJENJA OGRADE ELEKTRANE UKUPNO: 27.100,00**7. OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE**

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
7.1	Strojni iskop kabelskog rova u zemlji za polaganje kabela srednjeg napona	kpl.	1	9500,00	9.500,00
7.2	Polaganje plastičnih instalacijskih cijevi za prijelaz ispod ceste	kpl.	1	4200,00	4.200,00
7.3	Polaganje željezne pocinčane trake Fe/Zn 30x4 mm	kpl.	1	2500,00	2.500,00
7.4	Dobava i postavljanje kabela za spoj sa trafostanicom	kpl.	1	25000,00	25.000,00
7.5	Trafostanica, sredjenaponski i niskonaponski blok	kpl.	1	100000,00	100.000,00

7. OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE UKUPNO: 141.200,00**8. PROMETNE POVRŠINE**

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
3.1	Utovar, prijevoz i istovar opreme, materijala, alata i potrebnog pribora na gradilište.	kpl.	1	14.621,00	14.621,00
3.2	Uređenje temeljnog tla	kpl.	1	10.422,00	10.422,00
3.3	Dobava i postavljanje pred sloja za izradu ceste	kpl.	1	19.660,00	19.660,00
3.4	Dobava asfalta i izrada ceste	kpl.	1	24.560,00	24.560,00

8. PROMETNE POVRŠINE UKUPNO: 69.263,00

9. PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
9.1	Izgada glavnog projekta građevine	kpl.	1	45.000,00	45.000,00
9.2	Izgada glavnog projekta arhitekture	kpl.	1	45.000,00	45.000,00
9.3	Izgada glavnog projekta elektrotehnike	kpl.	1	70.000,00	70.000,00
9.4	Izgada svih potrebnih elaborata	kpl.	1	55.000,00	55.000,00
9. OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE				UKUPNO:	215.000,00

REKAPITULACIJA

1.	BRAVARSKI I GRAĐEVINSKI RADOVI u zasebnim projektima	397.464,50
2.	ELEKTRO MATERIJAL I OPREMA ELEKTRANE	876.278,00
3.	ELEKTROMONTAŽNI RADOVI	279.649,40
4.	MJERENJE, ISPITIVANJE, PODEŠAVANJE I PUŠTANJE U POGON	89.850,00
5.	VANJSKA RASVJETA ELEKTRANE	34.939,00
6.	SUSTAV ZAŠTITE OD MUNJE I UZEMLJENJA OGRADE ELEKTRANE	27.100,00
7.	OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE	141.200,00
8.	PROMETNE POVRŠINE	69.263,00
9.	PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA	215.000,00
UKUPNO bez PDV-a		2.130.743,90
PDV [25%]		532.685,98
UKUPNO s PDV-om		2.663.429,88

Iskaz kumulativne uštede energije do kraja životnog vijeka ulaganja kao i kumulativne uštede emisija stakleničkih plinova do kraja životnog vijeka ulaganja izračunata je u skladu s metodologijom opisanom Pravilnikom o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije (NN 98/21 i 30/22) gdje je životni vijek fotonaponskih sunčevih panela 23 godina. U tablici 9 prikazana je kumulativna proizvodnja fotonaponske elektrane po godinama na lokaciji A do kraja životnog vijeka elektrane.

Tablica 9 Kumulativna proizvodnja fotonaponske elektrane na lokaciji A

Godina	Godišnja proizvodnja [MWh]	Ukupna proizvodnja do godine n [MWh]	Ukupna ušteda CO2 do godine n [t/CO2]
2023	5.074,97	5.074,97	806,92
2024	4.882,12	9.957,09	1.583,18
2025	4.689,27	14.646,36	2.328,77
2026	4.511,65	19.158,01	3.046,12
2027	4.339,10	23.497,11	3.736,04
2028	4.171,63	27.668,74	4.399,33
2029	4.009,23	31.677,96	5.036,80
2030	3.856,98	35.534,94	5.650,06
2031	3.709,80	39.244,74	6.239,91
2032	3.562,63	42.807,37	6.806,37
2033	3.430,68	46.238,05	7.351,85
2034	3.293,66	49.531,71	7.875,54
2035	3.171,86	52.703,56	8.379,87
2036	3.050,06	55.753,62	8.864,83
2037	2.928,26	58.681,88	9.330,42
2038	2.816,61	61.498,49	9.778,26
2039	2.710,03	64.208,52	10.209,15
2040	2.608,53	66.817,06	10.623,91
2041	2.501,96	69.319,02	11.021,72
2042	2.410,61	71.729,63	11.405,01
2043	2.314,19	74.043,81	11.772,97
2044	2.227,91	76.271,72	12.127,20
2045	2.141,64	78.413,36	12.467,72

Za izračun isplativosti investicije potrebno je izračunati prihode i rashode za svaku godinu rada elektrane. U tablici 10 prikazano je navedeno. Za cijenu električne energije uzeta je trenutna vrijednost na burzi CROPEX. Za godine n+1 uvećana je cijena električne energije kao i troškovi održavanja za stopu 3%. Za proračun isplativosti investicije uzeta je diskontna stopa od 8%.

Tablica 10 Prihodi i rashodi elektrane na lokaciji A

Godina	Godišnja proizvodnja [MWh]	Cijena el. Energije [€/MWh]	PDV 13%	Održavanje elektrane [€]	UKUPNA DOBIT [€]
2023	5.074,97	93	61.356,39	5.000,00	405.615,82
2024	4.882,12	95,85	60.831,00	5.153,00	401.946,80
2025	4.689,27	98,78	60.216,02	5.310,68	397.673,43
2026	4.511,65	101,80	59.707,92	5.473,19	394.110,60
2027	4.339,10	104,92	59.181,57	5.640,67	390.420,58
2028	4.171,63	108,13	58.638,42	5.813,27	386.613,10
2029	4.009,23	111,44	58.080,15	5.991,16	382.699,05
2030	3.856,98	114,85	57.584,33	6.174,49	379.197,59
2031	3.709,80	118,36	57.081,88	6.363,43	375.646,07
2032	3.562,63	121,98	56.494,76	6.558,15	371.522,14
2033	3.430,68	125,71	56.067,07	6.758,83	368.459,25
2034	3.293,66	129,56	55.474,83	6.965,65	364.289,00
2035	3.171,86	133,53	55.058,13	7.178,80	361.287,15
2036	3.050,06	137,61	54.563,98	7.398,47	357.760,48
2037	2.928,26	141,82	53.988,04	7.624,86	353.679,69
2038	2.816,61	146,16	53.518,61	7.858,18	350.304,83
2039	2.710,03	150,63	53.069,29	8.098,64	347.057,35
2040	2.608,53	155,24	52.644,77	8.346,46	343.968,55
2041	2.501,96	159,99	52.039,03	8.601,86	339.659,33
2042	2.410,61	164,89	51.673,28	8.865,08	336.948,40
2043	2.314,19	169,94	51.124,30	9.136,35	333.003,20
2044	2.227,91	175,14	50.724,43	9.415,92	330.047,59
2045	2.141,64	180,50	50.252,22	9.704,05	326.599,28

Za izračun isplativosti investicije koristi se izraz za internu stopu povrata (IRR). Interna stopa povrata je najmanja diskontna stopa koja vodi do izjednačenja investicije s dohotkom kojeg generira investicija. Ona se koristi za usporedbu dviju ili više investicija jer se investicija svodi na postotak.

$$IRR = \sum_1^i \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Gdje je:

IRR – Neto sadašnje vrijednost se uzima 0

i – broj promatranih godina

C_i – Protok novca

r – Interna stopa povrata [%]

Uvrštavanjem svih vrijednosti u formulu ispada da je interna stopa povrata za lokaciju A 17,66%. Ukoliko je diskontna stopa manja od interne stope povrata investicija je isplativa, ukoliko je veća investicija nije isplativa.

Neto sadašnje vrijednost (NSV) govori o novčanoj dobiti investicije. Računanjem neto sadašnje vrijednosti uzima se u obzir vremenska vrijednost novca odnosno budući novčani tokovi se svode na sadašnju vrijednost novca. U proračun se također uzimaju svi godišnji troškovi poput troškova održavanja. Neto sadašnja vrijednost se ne koristi za usporedbu investicija jer je za očekivati da investicija s većim početnim ulaganjima generira veću novčanu dobit. Ukoliko je NSV veći od 0 to znači da je investicija isplativa i da generira novčanu dobit.

$$NSV = \left[\sum_1^i \frac{C_i}{(1+d)^i} \right] - UIU$$

Gdje je:

NSV – Neto sadašnje vrijednost [€]

i – broj promatranih godina

d – Diskontna stopa [%]

C_i – Protok novca

UIU – ukupna investicijska ulaganja [€]

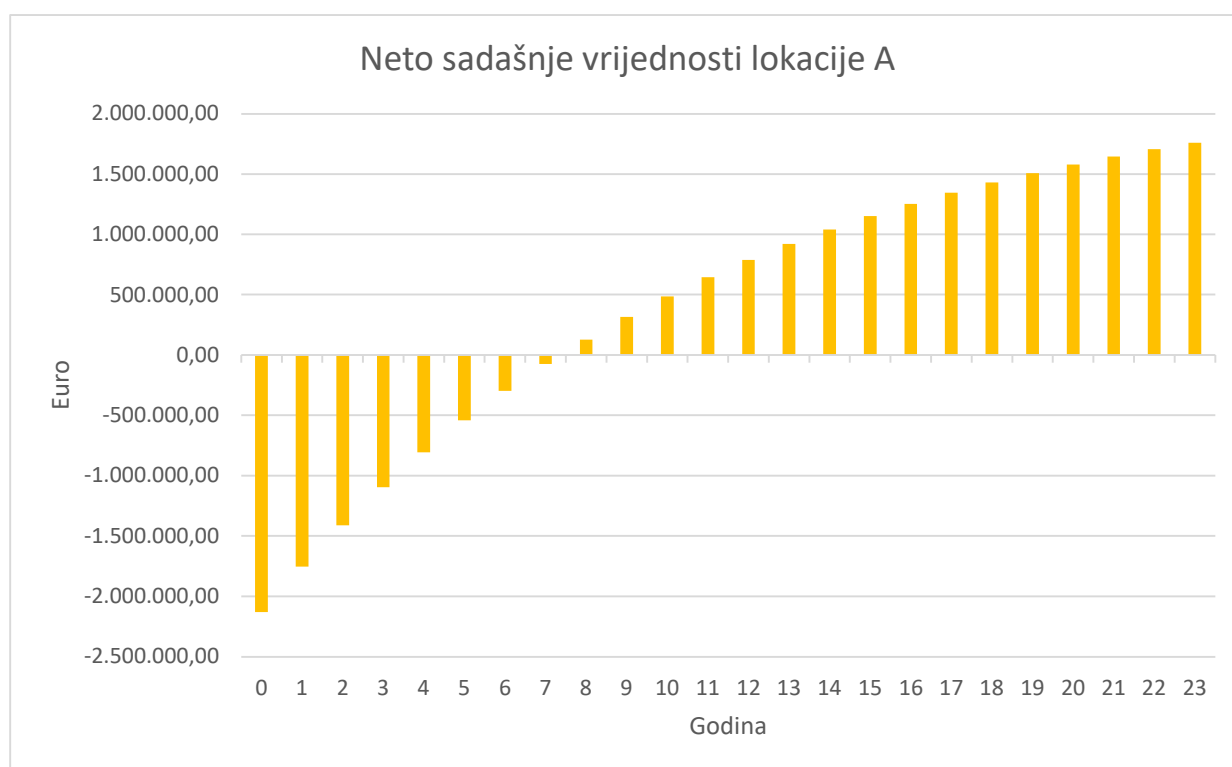
Tako za lokaciju A računamo:

$$NSV = \left[\sum_1^{23} \frac{C_i}{(1 + 0,08)^{23}} \right] - 2.130.743,90$$

$$NSV = 3.890.692,65 - 2.130.743,90$$

$$NSV = 1.759.948,75€$$

Prema izračunu početna investicija od 2.130.743,90 € je isplaćena nakon 8 godina te do kraja životnog vijeka se ostvari dobit od 1.759.948,75 €. Slika 34 prikazuje neto sadašnje vrijednosti po godinama za lokaciju A.



Slika 34 Neto sadašnje vrijednosti lokacije A po godinama

Nivelirani trošak električne energije (LCOE) je neto sadašnja vrijednost jediničnog troška električne energije tijekom životnog vijeka proizvodnje elektrane. Ovaj izraz govori o prosječnoj cijeni koju je potrebno ostvariti na tržištu kako bi investicija pokrila sve svoje troškove. Za izračun niveliranih troškova električne energije koristi se sljedeća jednadžba.

$$LCOE = \frac{\sum_1^i \frac{UIU + M_i}{(1+r)^i}}{\sum_1^t \frac{E_i}{(1+r)^i}}$$

Gdje je:

$LCOE$ – Nivelirani trošak električne energije [€/kWh]

UIU – ukupna investicijska ulaganja [€]

M_i – Troškovi održavanja u godini i [€]

i – broj promatranih godina

E_i – Proizvedena električna energija u godini i [kWh]

r – Interna stopa povrata [%]

Uvrštavanjem svih vrijednosti u formulu ispada da je nivelirani trošak električne energije za lokaciju A 55,09 €/kWh.

9.6 Fotonaponska elektrana na lokaciji B

Fotonaponska elektrana smještena je na k.č.br.: 13060/11 k.o. Lastovo površine 1 ha. Na slici 35 prikazan je model fotonaponske elektrane na predmetnoj površini. Ukupna površina koju zauzimaju sami fotonaponski moduli je 4.999,64 m².



Slika 35 Model fotonaponske elektrane na lokaciji B

Fotonaponsku elektranu čine 1.956 fotonaponska modula snage 550 W, 18 izmjenjivača snage 50 kW i jedne trafostanice 10/0,4V.

U transformatorsku stanicu TS1 ugraditi će se dva energetska zrakom hlađena transformatora, snage 1×1250 kVA, 10 kV SN blok sastavljan od dva vodna i dva transformatorska polja (2V+T) te odgovarajući NN blokovi i zaseban NN komunikacijski razdjelnik za potrebe SCADA sustava.

Urazom hlađeni energetski transformator

- snaga: 1×1250 kVA
- transformacija: 10000(20000)/420/231 V
- nadmorska visina ugradnje: do 1000 m

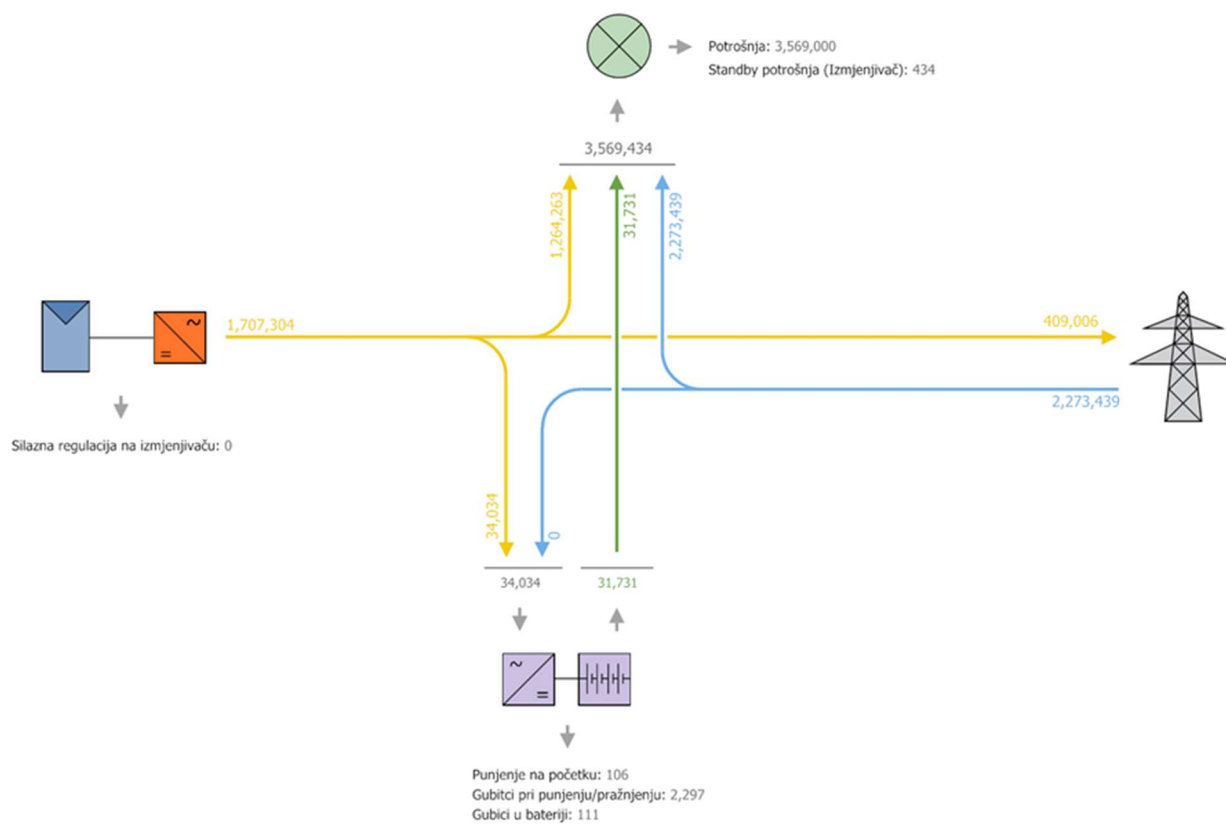
- uk : 6%
- spoj: Dyn5
- frekvencija: 50 Hz

U trafostanicu TS1 će se smjestiti tipski 24 kV srednjenaponski razvod u SF6 plinu nazivne struje 630 A (tip kao 8DJH) s dva vodna pola za direktan kabelski priključak i dva trafo polja (2V + 1T). To je istovjetan tipski, modularni sustav kakav je predviđen u svim ostalim trafostanicama, te se ovdje neće ponovo opisivati. Razlika je samo u drugačijoj konfiguraciji polja.

Instalirana snaga elektrane je 1.0758 MWp dok je izlazna snaga 0,9 MW. Prema podacima iz programa PV SOL na otoku Lastovo godišnja insolacija iznosi 1.596 kWh/m² čime fotonaponska elektrana na lokaciji B generira 1.707.304 kWh godišnje. Uz fotonaponsku elektranu ugrađena je i baterija Kapacitet baterije određen je analizom u programu PV SOL. Analiza se odvila tako da se kapacitet baterije smanjivao u koracima od 50 kWh sve dok se kapacitet baterije nije mogao 100% iskoristiti u 28 od 31 dana u siječnju. Ukoliko je kapacitet baterije prevelik sami troškovi investicije rastu no brzina povrata investicije usporava jer se kapacitet u potpunosti može iskoristiti samo u ljetnim mjesecima kada je proizvodnja fotonaponske elektrane dovoljno velika. Tako u zimskim mjesecima povećani kapacitet baterije ne dolazi do izražaja zbog nemogućnosti iskorištavanja 100% kapaciteta baterije. Na osnovi tih kriterija odabrana je baterija snage 50 kW i kapaciteta 100 kWh. Fotonaponska elektrana može napuniti bateriju od 100 kWh do 100% svakog dana u godini.

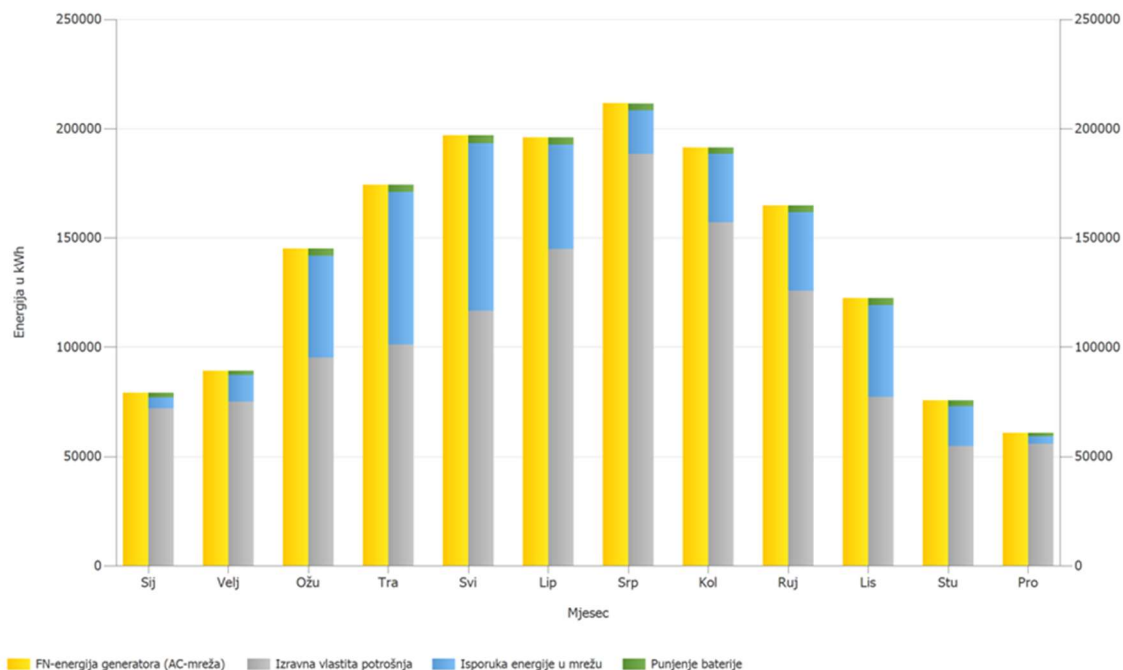
Stvarna potrošnja električne energije otoka Lastovo nije bila dostupna stoga je uzeta potrošnja otoka Visa za 2015. godinu te je skalirana na osnovi broja stanovnika. U program je ubačena skalirana potrošnja električne energije te su svi proračuni bazirani na njoj. Slika 36 prikazuje tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji B na razini jedne godine. Na slici je vidljivo da se od ukupne proizvodnje fotonaponske elektrane na otoku odmah troši 1.264.263 kWh, 409.006 kWh se vraća u elektroenergetsku mrežu a u bateriju se ukupno pohranjuje 34.034 kWh. Ukupni gubitci u bateriji su 2.303 kWh na razini godine. Što znači da se od ukupne potrošnje električne energije koja iznosi 3.569.434 kWh, 1.264.263

opskrbljuje direktno iz fotonaponske elektrane, 34.034 kWh iz baterije a 2.273.439 kWh se preuzima iz mreže.



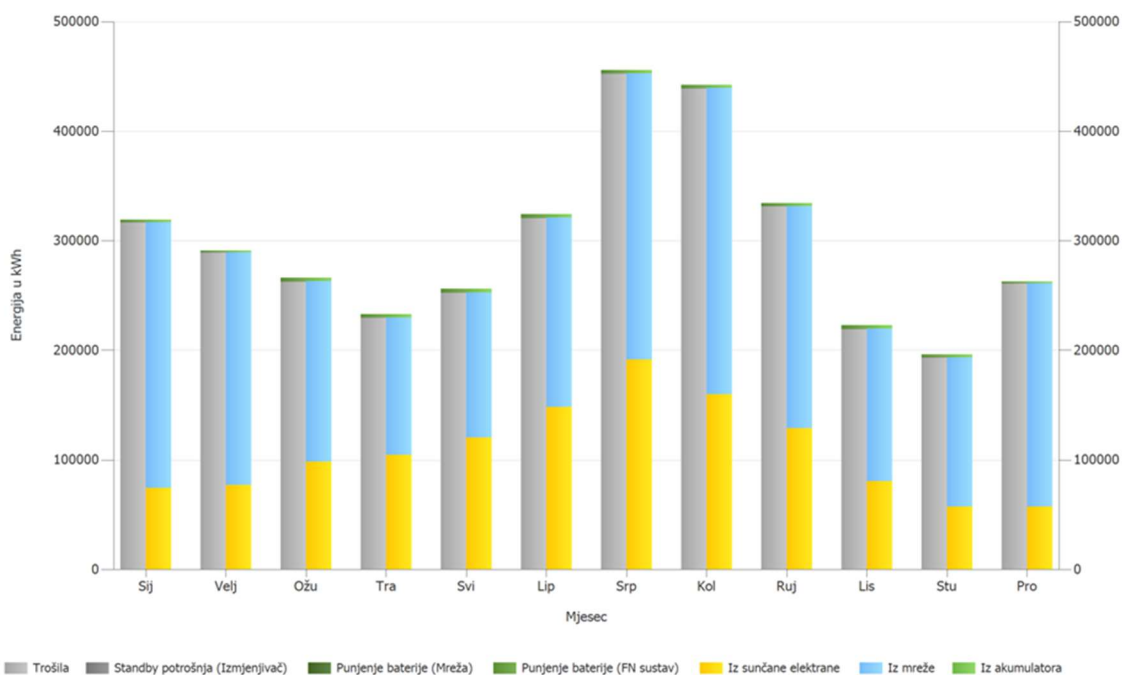
Slika 36 Tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji B izražen u kWh

Slika 37 prikazuje udio električne energije po mjesecima koji ide u mrežu, udio koji se odmah koristi za potrošnju otoka i udio koji se pohranjuje u bateriji. Od ukupne proizvedene električne energije na lokaciji B 76% se koristi odmah za opskrbu otoka.



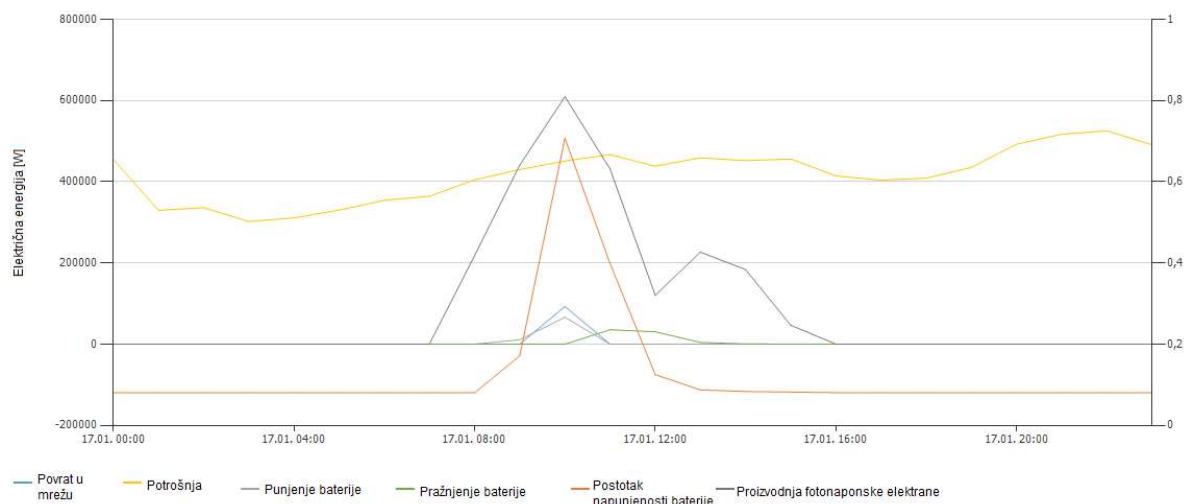
Slika 37 Iskoristivost električne energije dobivene iz fotonapona na lokaciji B

Slika 38 prikazuje potrošnju električne energije otoka po mjesecima te udio koji je pokriven iz fotonaponske elektrane, udio iz baterije te udio koji se i dalje uzima iz mreže. Od ukupne potrošnje električne energije 36,3% se opskrbljuje iz fotonaponske elektrane.

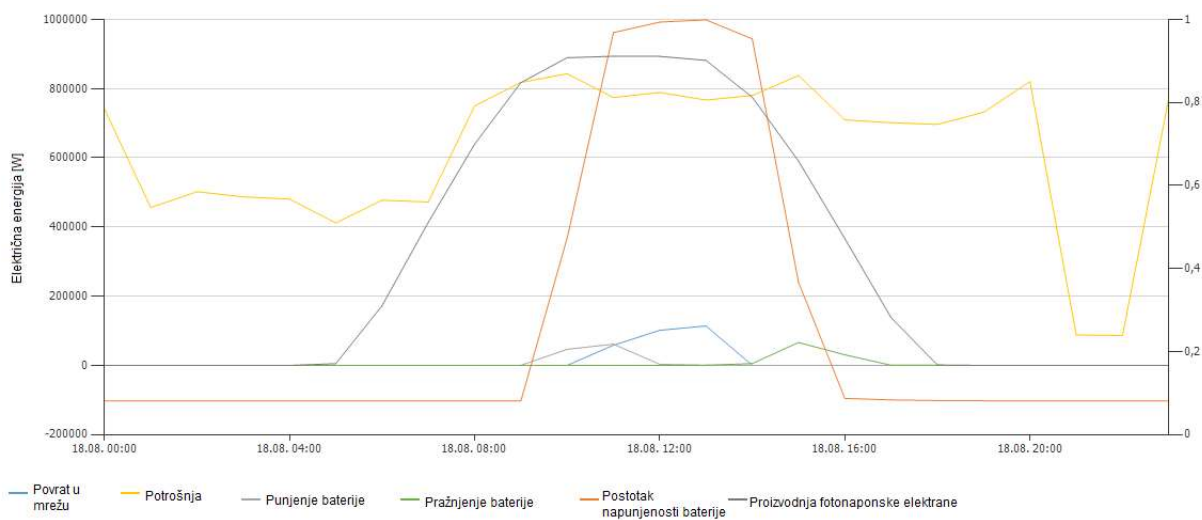


Slika 38 Pokriće potrošnje električne energije otoka nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji B

Na slici 39 prikazana je dnevni tok električne energije u siječnju a slika 40 prikazuje dnevni tok električne energije u kolovozu. Na slikama je prikazana potrošnja električne energije, proizvodnja te punjenje i pražnjenje baterije.



Slika 39 Dnevni tok električne energije u siječnju nakon izgradnje lokacije B



Slika 40 Dnevni tok električne energije u kolovozu nakon izgradnje lokacije B

Za izračun troškova izgradnje neintegrirane elektrane potrebno je uzete su u obzir sve stavke koje su potrebne sve do trenutka puštanja u pogon te potvrde o trajnom pogonu. Ukupni procijenjeni trošak iznosi 1.088.256,00 € bez PDV-om i prikazana je u troškovniku.

TROŠKOVNIK**A. SOLARNA ELEKTRANA****1. BRAVARSKI I GRAĐEVINSKI RADOVI**

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
1.1	Pripremni građevinski radovi, čišćenje, malčiranje terena	kpl.	1	9.700,00	9.700,00
1.2	Ravnanje terena strojevima	kpl.	1	13.500,00	13.500,00
1.3	Iskop rova za temelje fotonaponskih modula	kpl.	1	7.300,00	7.300,00
1.4	Iskop za temelje objekta	kpl.	1	500,00	500,00
1.5	Geotekstil ispod fotonaponskih modula i ostalih objekta	kpl.	1	12.000,00	12.000,00
1.6	Izrada sloja šljunka prije betoniranja	kpl.	1	96.000,00	96.000,00
1.7	Izvedba betonskih temeljnih za fotonaponske module	kpl.	1	18.000,00	18.000,00
1.8	Izvedba betonskih temelja za ostale objekte	kpl.	1	850,00	850,00
1.9	Rebrasta i mrežasta armatura	kpl.	1	10.300,00	10.300,00
1.10	Izrada i montaža vanjske ograde parcele.	kpl.	1	12.000,00	12.000,00
1.11	Vrata za ulaz na parcelu, dimenzije vrata 550cmx180cm	kpl.	1	400,00	400,00
BRAVARSKI I GRAĐEVINSKI RADOVI				UKUPNO:	180.550,00

2. ELEKTRO MATERIJAL I OPREMA ELEKTRANE

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
2.1	Fotonaponski modul snage 550 W	kom.	1.956	145,00	283.620,00
2.2	Aluminijska konstrukcija za prihvat fotonaponskih moduola	kpl	1	30.130,00	30.130,00
2.3	Trofazni lzmjenjivač snage 50 kW	kom.	18	4000	72.000,00
2.4	Kabelske vezica (UV stabilne) dim. 4x150mm	kom	7000	0,20	1.400,00
2.5	Dobava, postava i spajanje DC zaštite	kom	18	500,00	9.000,00
2.6	isporuka i dobava uređaja za kontroli i nadzor rada fotonaponske elektrane	kom	1	500,00	500,00
2.7	Isporuka i dobava baterijskog sustava sa BPU uređajem za nadzor i komunikaciju Kapacitet 100 kWh	kom	1	48.000,00	48.000,00
2.8	Dobava i isporuka AC kabela za spajanje invertera sa RO-E	kpl.	1	120.000,00	120.000,00
2.9	Nabava solarnog kabela 1x6 mm ²	kpl.	1	45.000,00	45.000,00
2.10	Nabava kabela za uzemljenja	kpl.	1	3.500,00	3.500,00
2.11	Dobava razvodnog ormara oznake +RO-E	kpl.	1	35.500,00	85.000,00
2.12	Kabelske kanalice za organizaciju DC i AC kabela	kpl.	1	25.000,00	25.000,00
ELEKTRO MATERIJAL I OPREMA ELEKTRANE				UKUPNO:	439.530,00

3. ELEKTROMONTAŽNI RADOVI					
R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
	Ugradnja sljedeće opreme sa svim priborom za montažu, do pune funkcionalnosti				
3.1	Utovar, prijevoz i istovar opreme, materijala, alata i potrebnog pribora na gradilište.	kpl.	1	11.650,00	11.650,00
3.2	Postavljanje fotonaponskih modula na montažnu konstrukciju upotrebom standardnog pribora, te njihovo međusobno spajanje u nizove i sa spojnim kutijama sukladno tehničkoj dokumentaciji	kom	1956	5,00	9.780,00
3.3	Doprema, istovar, unošenje i postavljanje spojnih DC kutija na predviđeno mjesto	kom	18	550,00	9.900,00
3.4	Doprema, istovar, unošenje i postavljanje pretvarača na predviđeni temelj ispod panela sa spajanjem komplet.	kom	18	550,00	9.900,00
3.5	Doprema, istovar, unošenje i postavljanje baterijskog sustava	kom	1	750,00	750,00
3.6	Izrada kablenskog spoja istosmjerne struje između modula i pretvarača	kpl.	1	770,00	770,00
3.7	Ugradnja i spajanje uređaja za nadzor elektrane s pretvaračima i routerom te programsko aktiviranje	kompl	1	600,00	600,00
3.8	Montaža aluminijske konstrukcije za prihvata fotonaponskih modula	kompl	1	38.500,00	38.500,00
3.9	Doprema i montaža i spajanje glavnog ormara elektrane oznake GRO-FN sa spajanjem komplet	kpl.	1	6.000,00	6.000,00
3.10	Montaža kablenskih kanalica	kpl.	1	10.700,00	10.700,00
3.11	Polaganje i spajanje kabela (obvezna ugradnja kablenskih završetaka na sve krajeve) i vodiča:	kpl.	1	15.000,00	15.000,00
3.12	Čišćenje i uređenje gradilišta	kompl	1	47.000,00	47.000,00
ELEKTROMONTAŽNI RADOVI				UKUPNO:	160.550,00

4. MJERENJE, ISPITIVANJE, PODEŠAVANJE I PUŠTANJE U POGON					
R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
4.1	Izvođenje ispitivanja FN elektrane prije puštanja u pogon, DC strana	kpl.	1	6.500,00	6.500,00
4.2	Izvođenje ispitivanja FN elektrane prije puštanja u pogon AC strane	kpl.	1	7.500,00	7.500,00
4.4	Mjerenje kvalitete električne energije (prije pogona FN elektrane)	kpl.	1	3.750,00	3.750,00
4.5	Puštanje FN elektrane u probni rad	kpl.	1	4.000,00	4.000,00
4.6	Mjerenje kvalitete električne energije (nakon pogona FN elektrane)	kpl.	1	3.750,00	3.750,00
4.7	Elaborat utjecaja na elektroenergetsku mrežu	kpl.	1	3.200,00	3.200,00
4.8	Elaborat podešenja zaštite	kpl.	1	3.200,00	3.200,00
4.9	Ispitivanje sustava zaštite od indirektnog dodira	kpl.	1	4.520,00	4.520,00
4.10	Mjerenje i provjera učinkovitosti sustava	kpl.	1	2.500,00	2.500,00
4.11	Implementiranje daljinskog nadzora rada FN sustava	kpl.	1	1.750,00	1.750,00
4.12	Tehnička primopredaja	kpl.	1	4.000,00	4.000,00
4. MJERENJE, ISPITIVANJE, PODEŠAVANJE I PUŠTANJE U POGON				UKUPNO:	44.670,00

5. VANJSKA RASVJETA ELEKTRANE					
R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
Elektromontažni materijal					
5.1	Dobava i isporuka na objekt LED svjetiljke	kpl.	1	1.200,00	1.200,00
5.2	Dobava, prijevoz armirano betonskog stupa visine 10 m	kpl.	1	1.600,00	1.600,00
5.3	Dobava i isporuka čelične pocinčane trake Fe/Zn 40x4mm	kpl.	1	25,60	25,60
5.4	Dobava i isporuka kabela za izradu spoja svjetiljka	kpl.	1	350,00	350,00
5.5	Dobava, prijevoz do objekta čeličnog okruglog stožastog stupa, visine 7m	kpl.	1	1.560,00	1.560,00
5.6	Dobava i isporuka kabela za izradu spoja svjetiljka, prosječne dužine	kpl.	1	400,00	400,00
5.7	Dobava i isporuka kabela za napajanje vanjske rasvjete.	kpl.	1	5.500,00	5.500,00
5.8	Dobava i isporuka čelične pocinčane trake Fe/Zn 40x4mm	kpl.	1	890,00	890,00
5.9	Dobava cijevi za prolaza ispod ceste	kpl.	1	230,40	230,40
Elektromontažni radovi					
5.10	Izrada iskopa zemlje za temelje betonskog stupa visine 10m	kpl.	1	800,00	800,00
5.11	Izrada iskopa zemlje za temelje betonskog stupa visine 7m	kpl.	1	900,00	900,00
5.12	Strojni iskop kablenskog rova u zemlji	kpl.	1	950,00	950,00
5.13	Montaža čeličnih stupova visine 7m	kpl.	1	2.200,00	2.200,00
5.14	Polaganje kabela za povezivanje rasvjete i če trake FeZn 40x4mm u iskopani rov	kpl.	1	700	700,00
5. VANJSKA RASVJETA ELEKTRANE				UKUPNO:	17.306,00

6 SUSTAV ZAŠTITE OD MUNJE I UZEMLJENJA OGRADE ELEKTRANE

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
6.1	Dobava i isporuka čelične pocinčane trake i sajle	kpl.	1	4.300,00	4.300,00
6.2	Strojni iskop kabelskog rova za postavljanje pocinčane trake	kpl.	1	6500,00	6.500,00
6.3	Polaganje pocinčane trake i sajle	kpl.	1	1.750,00	1.750,00

6 SUSTAV ZAŠTITE OD MUNJE I UZEMLJENJA OGRADE ELEKTRANE UKUPNO: 12.550,00**7. OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE**

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
7.1	Strojni iskop kabelskog rova u zemlji za polaganje kabela srednjeg napona	kpl.	1	4300,00	4.300,00
7.2	Polaganje plastičnih instalacijskih cijevi za prijelaz ispod ceste	kpl.	1	2200,00	2.200,00
7.3	Polaganje željezne pocinčane trake Fe/Zn 30x4 mm	kpl.	1	15000,00	15.000,00
7.4	Dobava i postavljanje kabela za spoj sa trafostanicom	kpl.	1	13500,00	13.500,00
7.5	Trafostanica, sredjenaponski i niskonaponski blok	kpl.	1	50000,00	50.000,00

7. OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE UKUPNO: 85.000,00**8. PROMETNE POVRŠINE**

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
3.1	Utovar, prijevoz i istovar opreme, materijala, alata i potrebnog pribora na gradilište.	kpl.	1	6.500,00	6.500,00
3.2	Uređenje temeljnog tla	kpl.	1	4.700,00	4.700,00
3.3	Dobava i postavljanje pred sloja za izradu ceste	kpl.	1	8.900,00	8.900,00
3.4	Dobava asfalta i izrada ceste	kpl.	1	11.000,00	11.000,00

8. PROMETNE POVRŠINE UKUPNO: 31.100,00

9. PROJEKTNA DOKUMENTACIJA

R. br.	TRAŽENE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	Jedinica mjere	Količina	Jedinična cijena u EUR, bez PDV-a	Ukupno u EUR, bez PDV-a
9.1	Izgada glavnog projekta građevine	kpl.	1	25.000,00	25.000,00
9.2	Izgada glavnog projekta arhitekture	kpl.	1	25.000,00	25.000,00
9.3	Izgada glavnog projekta elektrotehnike	kpl.	1	40.000,00	40.000,00
9.4	Izgada svih potrebnih elaborata	kpl.	1	27.000,00	27.000,00
9. OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE				UKUPNO:	117.000,00

REKAPITULACIJA

1.	BRAVARSKI I GRAĐEVINSKI RADOVI u zasebnim projektima	180.550,00
2.	ELEKTRO MATERIJAL I OPREMA ELEKTRANE	439.530,00
3.	ELEKTROMONTAŽNI RADOVI	160.550,00
4.	MJERENJE, ISPITIVANJE, PODEŠAVANJE I PUŠTANJE U POGON	44.670,00
5.	VANJSKA RASVJETA ELEKTRANE	17.306,00
6.	SUSTAV ZAŠTITE OD MUNJE I UZEMLJENJA OGRADE ELEKTRANE	12.550,00
7.	OSTALI GRAĐEVINSKI RADOVI UZ INSTALACIJE JAKE STRUJE	85.000,00
8.	PROMETNE POVRŠINE	31.100,00
9.	PROJEKTNA DOKUMENTACIJA	117.000,00
UKUPNO bez PDV-a		1.088.256,00
PDV [25%]		272.064,00
UKUPNO s PDV-om		1.360.320,00

Iskaz kumulativne uštede energije do kraja životnog vijeka ulaganja kao i kumulativne uštede emisija stakleničkih plinova do kraja životnog vijeka ulaganja izračunata je u skladu s metodologijom opisanom Pravilnikom o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije (NN 98/21 i 30/22) gdje je životni vijek fotonaponskih sunčevih panela 23 godina. U tablici 11 prikazana je kumulativna proizvodnja fotonaponske elektrane po godinama na lokaciji A do kraja životnog vijeka elektrane.

Tablica 11 Kumulativna proizvodnja fotonaponske elektrane na lokaciji B

Godina	Godišnja proizvodnja [MWh]	Ukupna proizvodnja do godine n [MWh]	Ukupna ušteda CO2 do godine n [t/CO2]
2023	1.707,30	1.707,30	271,46
2024	1.642,43	3.349,73	532,61
2025	1.577,55	4.927,28	783,44
2026	1.517,79	6.445,07	1.024,77
2027	1.459,74	7.904,82	1.256,87
2028	1.403,40	9.308,22	1.480,01
2029	1.348,77	10.656,99	1.694,46
2030	1.297,55	11.954,54	1.900,77
2031	1.248,04	13.202,58	2.099,21
2032	1.198,53	14.401,11	2.289,78
2033	1.154,14	15.555,25	2.473,28
2034	1.108,04	16.663,29	2.649,46
2035	1.067,07	17.730,35	2.819,13
2036	1.026,09	18.756,44	2.982,27
2037	985,11	19.741,56	3.138,91
2038	947,55	20.689,11	3.289,57
2039	911,70	21.600,81	3.434,53
2040	877,55	22.478,36	3.574,06
2041	841,70	23.320,07	3.707,89
2042	810,97	24.131,03	3.836,83
2043	778,53	24.909,57	3.960,62
2044	749,51	25.659,07	4.079,79
2045	720,48	26.379,55	4.194,35

Za izračun isplativosti investicije potrebno je izračunati prihode i rashode za svaku godinu rada elektrane. U tablici 12 prikazano je navedeno. Za cijenu električne energije uzeta je trenutna vrijednost na burzi CROPEX. Za godine n+1 uvećana je cijena električne energije kao i troškovi održavanja za stopu 3%. Za proračun isplativosti investicije uzeta je diskontna stopa od 8%.

Tablica 12 Prihodi i rashodi elektrane na lokaciji B

Godina	Godišnja proizvodnja [MWh]	Cijena el energije [€/MWh]	PDV 13%	Održavanje elektrane [€]	UKUPNA DOBIT [€]
2023	1.707,30	93	20.641,31	2.500,00	135.637,97
2024	1.642,43	95,85	20.464,56	2.576,50	134.378,62
2025	1.577,55	98,78	20.257,67	2.655,34	132.915,19
2026	1.517,79	101,80	20.086,73	2.736,59	131.690,01
2027	1.459,74	104,92	19.909,66	2.820,33	130.421,23
2028	1.403,40	108,13	19.726,94	2.906,64	129.112,10
2029	1.348,77	111,44	19.539,12	2.995,58	127.766,25
2030	1.297,55	114,85	19.372,32	3.087,24	126.558,31
2031	1.248,04	118,36	19.203,29	3.181,71	125.332,61
2032	1.198,53	121,98	19.005,77	3.279,07	123.913,40
2033	1.154,14	125,71	18.861,89	3.379,41	122.850,17
2034	1.108,04	129,56	18.662,65	3.482,82	121.413,39
2035	1.067,07	133,53	18.522,47	3.589,40	120.368,65
2036	1.026,09	137,61	18.356,23	3.699,23	119.146,29
2037	985,11	141,82	18.162,47	3.812,43	117.736,41
2038	947,55	146,16	18.004,55	3.929,09	116.562,88
2039	911,70	150,63	17.853,39	4.049,32	115.431,04
2040	877,55	155,24	17.710,57	4.173,23	114.351,38
2041	841,70	159,99	17.506,79	4.300,93	112.859,91
2042	810,97	164,89	17.383,75	4.432,54	111.904,84
2043	778,53	169,94	17.199,06	4.568,18	110.533,24
2044	749,51	175,14	17.064,54	4.707,96	109.493,19
2045	720,48	180,50	16.905,68	4.852,03	108.285,99

Za izračun isplativosti investicije koristi se izraz za internu stopu povrata (IRR). Interna stopa povrata je najmanja diskontna stopa koja vodi do izjednačenja

investicije s dohotkom kojeg generira investicija. Ona se koristi za usporedbu dviju ili više investicija jer se investicija svodi na postotak.

$$IRR = \sum_1^i \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Gdje je:

IRR – Neto sadašnje vrijednost se uzima 0

i – broj promatranih godina

C_i – Protok novca

r – Interna stopa povrata [%]

Uvrštavanjem svih vrijednosti u formulu ispada da je interna stopa povrata za lokaciju B 10,41%. Ukoliko je diskontna stopa manja od interne stope povrata investicija je isplativa, ukoliko je veća investicija nije isplativa.

Neto sadašnje vrijednost (NSV) govori o novčanoj dobiti investicije. Računanjem neto sadašnje vrijednosti uzima se u obzir vremenska vrijednost novca odnosno budući novčani tokovi se svode na sadašnju vrijednost novca. U proračun se također uzimaju svi godišnji troškovi poput troškova održavanja. Neto sadašnja vrijednost se ne koristi za usporedbu investicija jer je za očekivati da investicija s većim početnim ulaganjima generira veću novčanu dobit. Ukoliko je NSV veći od 0 to znači da je investicija isplativa i da generira novčanu dobit.

$$NSV = \left[\sum_1^i \frac{C_i}{(1+d)^i} \right] - UIU$$

Gdje je:

NSV – Neto sadašnje vrijednost [€]

i – broj promatranih godina

d – Diskontna stopa [%]

C_i – Protok novca

UIU – ukupna investicijska ulaganja [€]

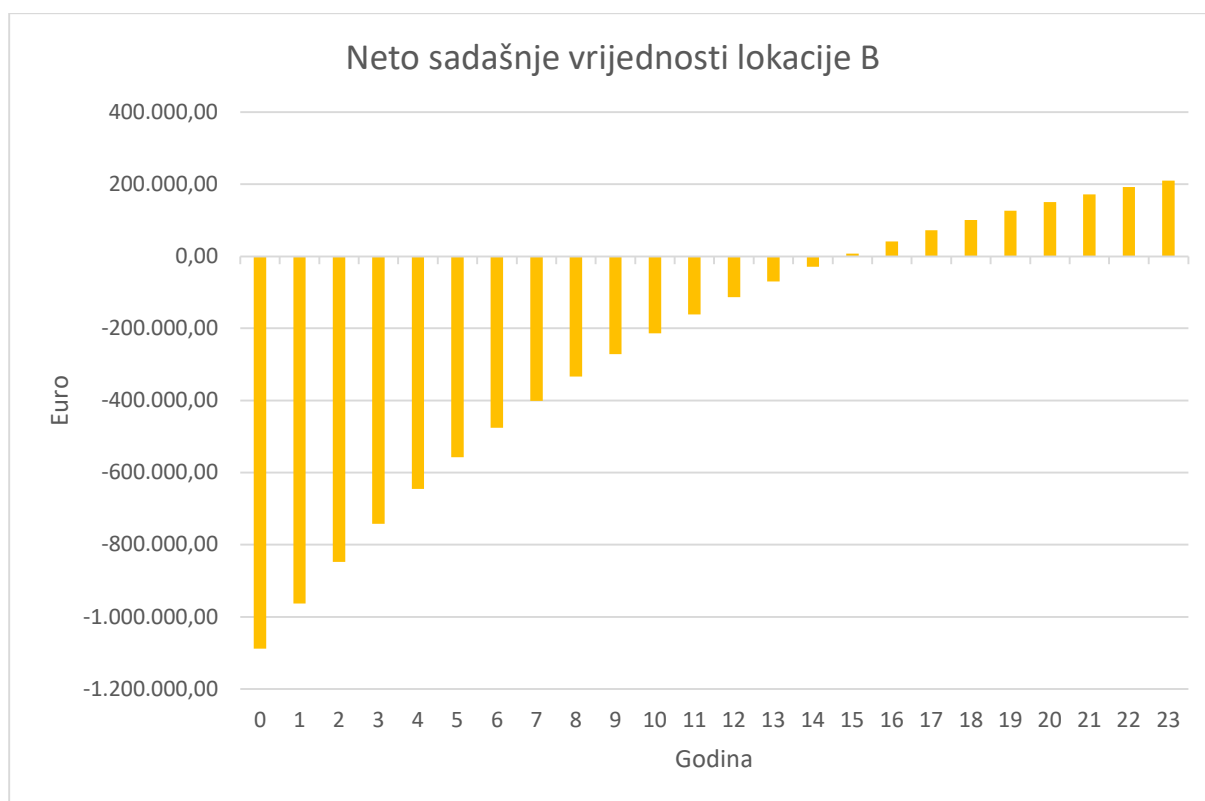
Tako za lokaciju B računamo:

$$NSV = \left[\sum_1^{23} \frac{C_i}{(1 + 0,08)^{23}} \right] - 1.088.256,00$$

$$NSV = 1.298.033,69 - 1.088.256,00$$

$$NSV = 209.777,69\text{€}$$

Prema izračunu početna investicija od 1.088.256,00 € je isplaćena nakon 15 godina te do kraja životnog vijeka se ostvari dobit od 209.777,69 €. Slika 41 prikazuje neto sadašnje vrijednosti po godinama za lokaciju B.



Slika 41 Neto sadašnje vrijednosti lokacije B po godinama

Nivelirani trošak električne energije (LCOE) je neto sadašnja vrijednost jediničnog troška električne energije tijekom životnog vijeka proizvodnje elektrane. Ovaj izraz govori o prosječnoj cijeni koju je potrebno ostvariti na tržištu kako bi investicija pokrila sve svoje troškove. Za izračun niveliranih troškova električne energije koristi se sljedeća jednadžba.

$$LCOE = \frac{\sum_1^i \frac{UIU+M_i}{(1+r)^i}}{\sum_1^t \frac{E_i}{(1+r)^i}}$$

Gdje je:

$LCOE$ – Nivelirani trošak električne energije [€/kWh]

UIU – ukupna investicijska ulaganja [€]

M_i – Troškovi održavanja u godini i [€]

i – broj promatranih godina

E_i – Proizvedena električna energija u godini i [kWh]

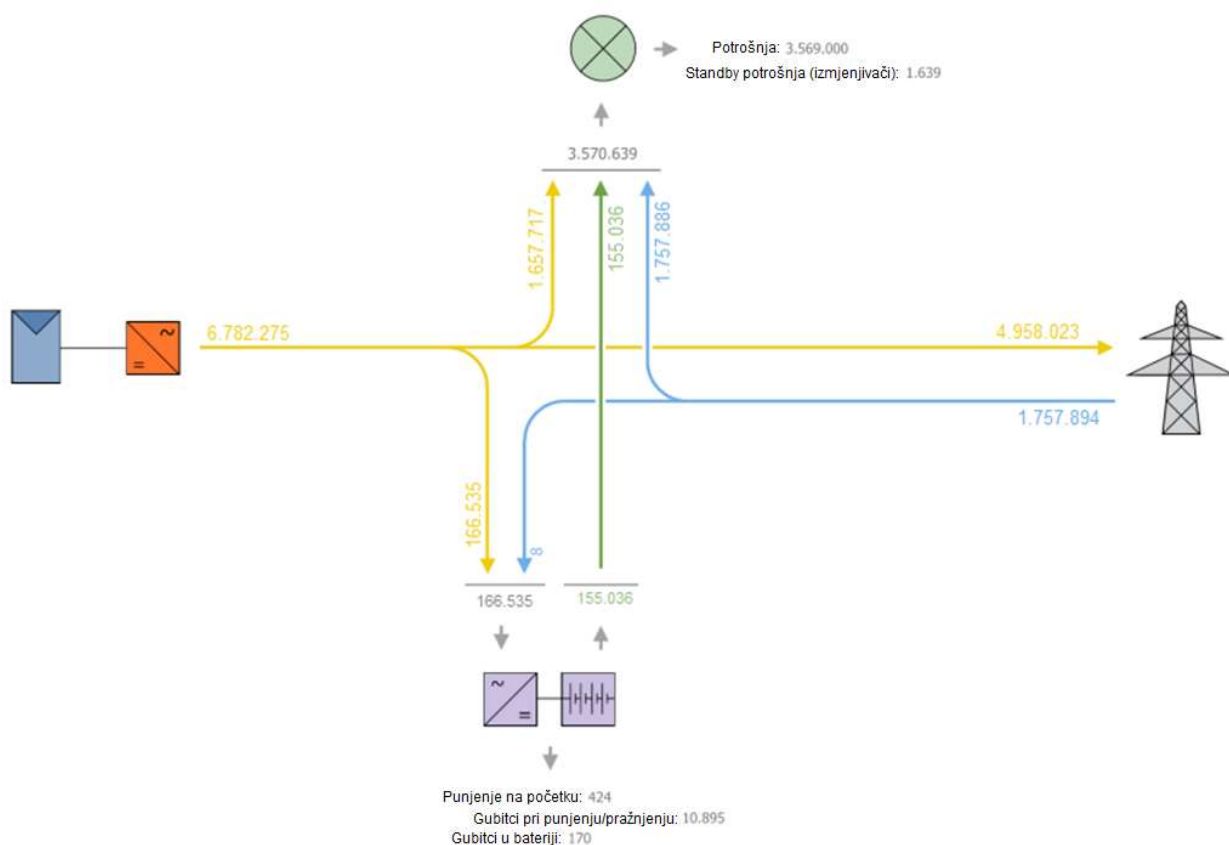
r – Interna stopa povrata [%]

Uvrštavanjem svih vrijednosti u formulu ispada da je nivelirani trošak električne energije za lokaciju B 83,59 €/kWh.

Povrat investicije je skoro duplo dulji za lokaciju B u odnosu na lokaciju A. Također kada se uspoređuje nivelirani trošak električne energije lokacije A i lokacije B vidljivo je da je trošak lokacije B veći. Na nivelirani trošak električne energije utječe učinkovit sustava, investicijski troškovi i troškovi održavanja. Učinkovitost sustava jednaka je za obje lokacije time je veća vrijednost niveliranih troškova električne energije lokacije B izazvana većim omjerom početne investicije i instalirane snage. Razlog povećanom omjeru lokacije B su troškovi koji nisu ovisni o dimenziji elektrane. To su troškovi poput transport strojeva na lokaciju i izgradnje kućice za trafostanicu.

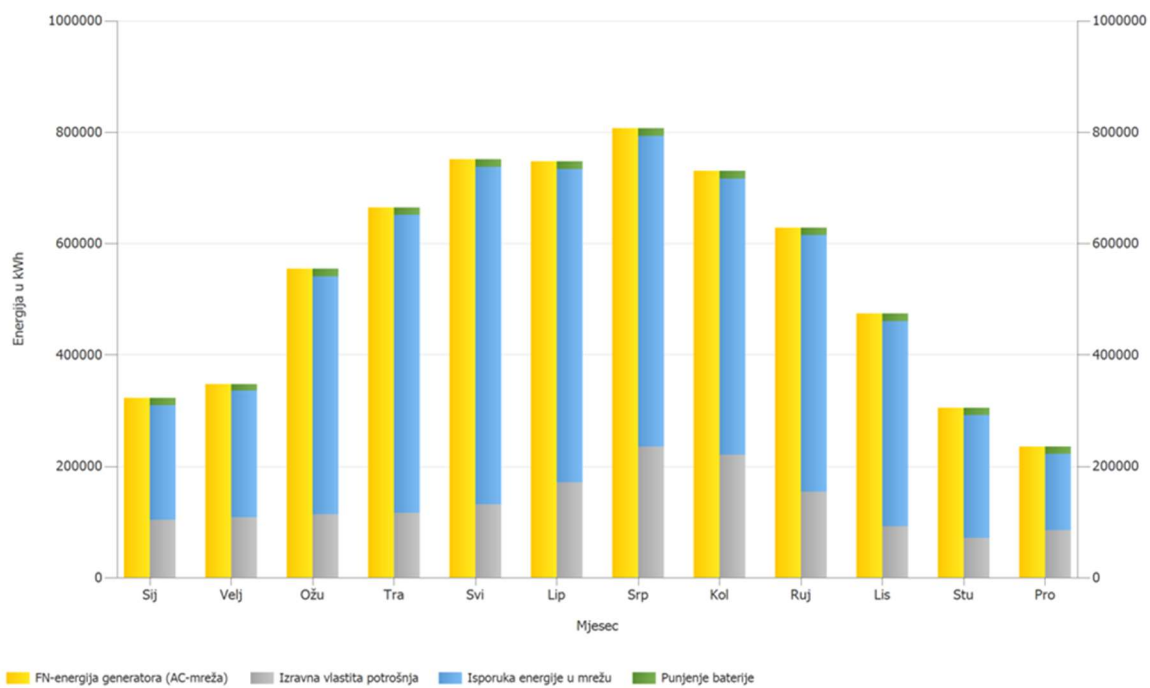
9.7 Fotonaponska elektrana na lokaciji A i B

Izgradnjom oba dvije fotonaponske elektrane ukupna proizvodnja bila bi 6.782,275 kWh godišnje. Time bi otok Lastovo bio među prvim otocima s vlastitom proizvodnjom energije koja bi pokrivala 50,7% ukupne potrošnje električne energije otoka Lastova čime bi se postigle ciljane uštede Europske unije na razini otoka. Zbog znatno veće proizvodnje elektrana u odnosu na potrošnju otoka, procijenjena povećana potrošnja otoka će i dalje biti opskrbljena s 50% iz fotonaponskih elektrana. Ukupni baterijski sustav snage 200 kW i kapaciteta 400 kWh čija je primarna uloga očuvanja kvalitete mreže prilikom napajanja iz fotonaponskih elektrana te pokrivanje kratkovremene skokovite potrošnje električne energije. Tok električne energije oba dvije elektrane prikazan je na slici 42.



Slika 42 Tok električne energije nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A i B izražen u kWh

Slika 43 prikazuje udio električne energije po mjesecima koji ide u mrežu, udio koji se odmah koristi za potrošnju otoka i udio koji se pohranjuje u bateriji. Od ukupne proizvedene električne energije odmah se koristi 24,4% za opskrbu otoka dok se 73,1% vraća u mrežu.

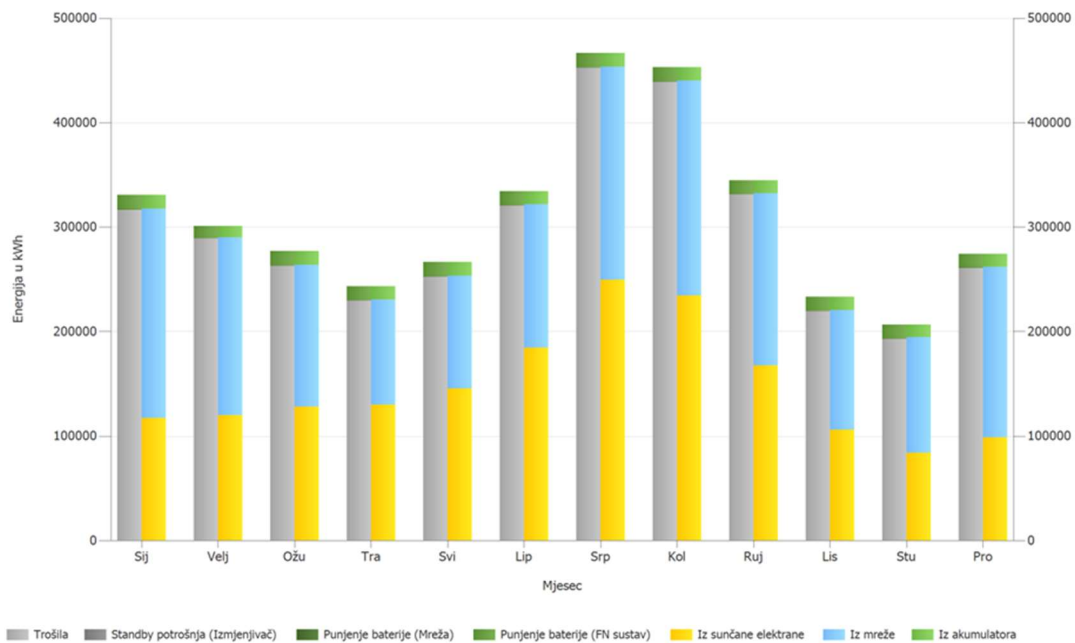


Slika 43 Iskoristivost električne energije dobivene iz fotonapona na lokaciji A i B

Slika 44 prikazuje potrošnju električne energije otoka po mjesecima te udio koji je pokriven iz fotonaponske elektrane, udio iz baterije te udio koji se i dalje uzima iz mreže. Od ukupne potrošnje električne energije 50,7% se opskrbljuje iz fotonaponske elektrane.

Ukoliko usporedimo smanjenje uvezene električne energije nakon izgradnje lokacije A i lokacija A i B može se uočiti da je razlika samo 3,7%. Unatoč tome što je kod izgradnje oba dvije lokacije elektrana veća za 26% u odnosu na lokaciju A. Razlog je što lokacija A tokom dana proizvodi više električne energije nego što je potrebno otoku te se ta energija šalje u mrežu. Kod izgradnje oba dvije lokacije isti je slučaj samo što se više električne energije šalje u mrežu.

Razlika od 3,7% ostvaruje se u periodu izlaska sunca gdje veća elektrana nekoliko minuta prije dostigne potrošnju električne energije otoka. Također kod zalaska sunca veća elektrana nekoliko minuta dulje zadovoljava potrebe otoka.



Slika 44 Pokriće potrošnje električne energije otoka nakon izgradnje fotonaponske elektrane na lokaciji A i B

Globalno zračenje - horizontalno	1.596,40 kWh/m²	
Odstupanje od standardnog spektra	-15,96 kWh/m ²	-1,00 %
Refleksija od tla (albedo)	12,61 kWh/m ²	0,79 %
Orijentacija i nagib razine modula	207,85 kWh/m ²	13,02 %
Osjenčenje ovisno o modulu	-1,75 kWh/m ²	-0,11 %
Refleksija na površini modula	-6,70 kWh/m ²	-0,42 %
Globalno zračenje na modulima	1.792,44 kWh/m²	
	1.792,44 kWh/m ²	
	x 19.783,82 m ²	
	= 35.612.269,17 kWh	
FN globalno zračenje	35.612.269,17 kWh	
Zagađenje	0,00 kWh	0,00 %
STC konverzija (Modul-stupanj nazivnog djelovanja 21.53 %)	-27.826.457,92 kWh	-78,47 %
FN nazivna energija	7.634.811,25 kWh	
Djelomično isključenje karakteristično za određeni modul	-217.951,83 kWh	-2,85 %
Performanse u uvjetima slabog svjetla	-50.389,75 kWh	-0,66 %
Odstupanje od temperature nazivnog modula	-223.699,97 kWh	-2,93 %
Diode	-1.243,82 kWh	-0,03 %
Nepodudarnost (podaci proizvođača)	-152.696,23 kWh	-2,00 %
Nepodudarnost (konfiguracija/isključenje)	-9.161,77 kWh	-0,12 %
FN-Energija (DC) bez regulacije izmjenjivača	6.979.667,88 kWh	
Ispod granice uzletne snage istosmjerne struje	-697,97 kWh	-0,01 %
Regulacija MPP-područja napona	-233,24 kWh	0,00 %
Regulacija maks. DC-struje	0,00 kWh	0,00 %
Regulacija maks. DC-snage	0,00 kWh	0,00 %
Regulacija maks. AC-snage/cos phi	-48.857,68 kWh	-0,70 %
MPP prilagodba	-970,17 kWh	-0,01 %
PV-energija (DC)	6.928.908,83 kWh	
Energija na ulazu izmjenjivača	6.928.908,83 kWh	
Odstupanja ulaznog i nazivnog napona	-6.236,02 kWh	-0,09 %
DC/AC-pretvorba	-138.704,10 kWh	-2,00 %
Standby potrošnja (Izmjenjivač)	-1.692,74 kWh	-0,02 %
Gubici kabela ukupno	0,00 kWh	0,00 %
FN-energija (AC) umanjena za Standby-potrošnju	6.782.275,97 kWh	
FN-energija generatora (AC-mreža)	6.783.968,70 kWh	

Slika 45 Proračun proizvodnje fotonaponske elektrane

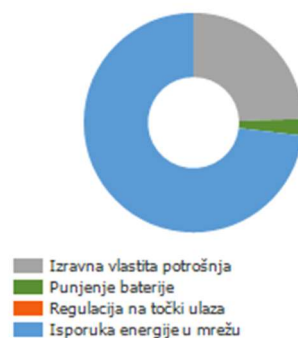
Slika 45 prikazuje proračun proizvodnje fotonaponske elektrane sa svim gubitcima koji se pojavljuju u sustavu za točno određene lokacije. U proračunu su uzete mikrolokacije elektrane kao i nagib modula, orijentacija modula, sjena koju jedan blok modula baca na drugi, gubitci u izmjenjivaču, efikasnost fotonaponskih modula i

ograničenja izazvana postavljena veća instalirana snaga u odnosu na snagu izmjenjivača. Slika 46 prikazuje omjere utroška električne energije.

FN sustav

Snaga FN generatora	4,257.00 kWp
Specifični godišnji prihodi	1,599.73 kWh/kWp
Stupanj djelovanja (PR)	88.78 %
Godišnji gubici zbog zasjenjenja	3.2 %
FN-energija generatora (AC-mreža)	6,782,275 kWh/godina
Izravna vlastita potrošnja	1,657,717 kWh/godina
Punjenje baterije	166,535 kWh/godina
Regulacija na točki ulaza	0 kWh/godina
Isporuka energije u mrežu	4,958,023 kWh/godina
Udio vlastite potrošnje	26.9 %
Izbjegnute CO ₂ -emisije	1,078,381 kg/godina

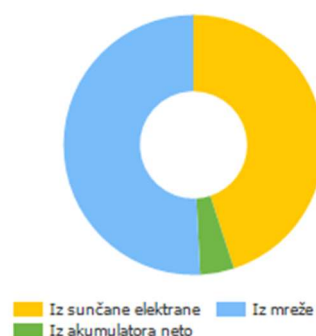
FN-energija generatora (AC-mreža)



Trošila

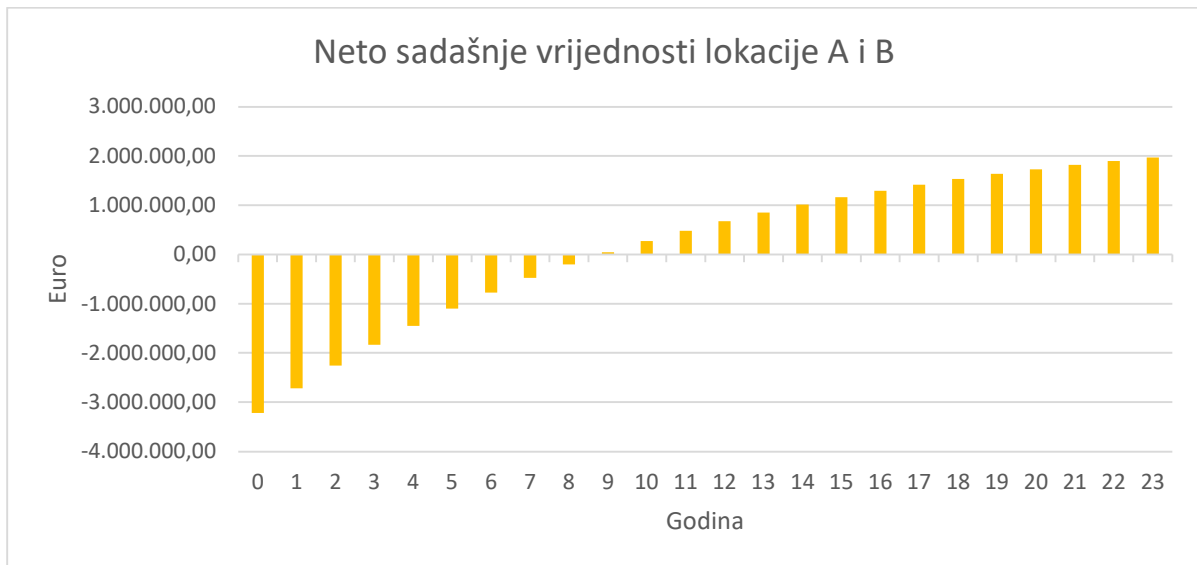
Trošila	3,569,000 kWh/godina
Standby potrošnja (Izmjenjivač)	1,639 kWh/godina
Ukupna potrošnja	3,570,639 kWh/godina
Iz sunčane elektrane	1,657,717 kWh/godina
Iz akumulatora neto	155,036 kWh/godina
Iz mreže	1,8757,894 kWh/godina
Solarni dio	49.2 %

Ukupna potrošnja



Slika 46 Omjer utroška električne energije nakon izgradnje lokacije A i B

Za izgradnju oba dvije lokacije investicija bi iznosila 3.218.999,90 € bez PDV-a. Računanjem isplativosti investicije za internu stopu povrata (IRR) se dobije vrijednost 15,28 %, za neto sadašnje vrijednost (NSV) se dobije 1.969.726,44 € a za nivelirani trošak električne energije (LCOE) se dobije 62,27 €/KWh. Slika 47 prikazuje neto sadašnje vrijednosti po godinama za lokaciju A i B.



Slika 47 Neto sadašnje vrijednosti lokacije A i B po godinama

10. ZAKLJUČAK

Na otoku Lastovo predviđene su dvije lokacije za izgradnju fotonaponskih elektrana. Lokacija A s ukupnom površinom 3 ha i lokacija B s ukupnom površinom 1 ha.

Na lokaciji B predviđena je fotonaponska elektrana snage 0,9 MW koja proizvodi 1.707.304 kWh godišnje.

Na lokaciji A predviđena je fotonaponska elektrana snage 2,65 MW koja proizvodni godišnje 5.074.971 kWh.

Ukoliko je glavni kriteriji smanjenje potrošnje uvezene električne energije otoka Lastovo predlaže se izgradnja fotonaponske elektrane na lokaciji B. Fotonaponska elektrana na lokaciji B smanjila bi uvoz električne energije za 36,3% te bi se 76% ukupne proizvedene električne energije odmah trošilo na otoku. Elektrana na lokaciji A bi uvoz električne energije za 47% no investicija je skoro 2 puta veća u odnosu na lokaciju B. Također izgradnjom oba dvije lokacije uvoz električne energije bi se smanjila za 50,7% no investicija je skoro tri puta veća u odnosu na lokaciju B. Uzevši u omjer smanjenje uvezene električne energije s početnom investicijom optimalan odabir po kriteriju smanjenja uvoza električne energije na otoku Lastovo je lokacija B.

Ukoliko je glavni kriteriji financijska isplativost optimalan odabir je lokacija A. Interna stopa povrata (IRR) lokacije A je 17,66% dok je za lokaciju B 10,41% a lokaciju A i B 15,28%. To je logičan rezultat jer je fotonaponska elektrana na lokaciji A veća u odnosu na lokaciju B, odnosno fiksni troškovi koje imaju oba dvije elektrane manje utječu na ukupan iznos investicije veće elektrane.

Ukoliko se uzimaju u obzir benefiti na razini države predlaže se izgradnja lokacije A i B. otok Lastovo ima izrazito dobru insolaciju od 1.596,4 po m² što je 33% više nego insolacija grada Zagreba. Time se početna investicija brže isplaćuje a višak energije koji se ne troši na otoku Lastovu može se koristiti za opskrbu okolnih otoka poput Korčule i Mljeta.

11. LITERATURA

- [1] Hrvatski otoci (pristupljeno: 06/06/2023); Dostupno na: <https://razvoj.gov.hr/oministarstvu/djelokrug-1939/otoci-i-priobalje/3834>
- [2] Viktor Wesselak SV. Photovoltaik - Wie Sonne zu Strom wird. 2016.
- [3] Robert Mullehner. Wirtschaftlichkeit und optimierte Eingenvverbrauchsabdeckung einer Photovoltaikanlage mit Speicher fur eine Wiener Stadtwohnung. 2019;
- [4] Atomska struktura silicija [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: https://www.shindengen.com/products/semi/column/basic/semi/semi_basic.htm
- [5] Volker Quaschnig. Understanding Renewable Energy Systems. 2016.
- [6] Struktura fotonaponskog modula [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://www.tst-solarstrom.de/photovoltaik-funktion/>
- [7] Eva Bittmann. Solarzellenverkapselung für Polycarbonatmodule . 2019.
- [8] Prednosti aluminiija [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/aluminium/76-vorteile-alu>
- [9] Slika 7 [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://i.ebayimg.com/images/g/EFcAAOSwnDpaGF1r/s-l1600.jpg>
- [10] Slika 8 [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: https://www.elektropraktiker.de/pv-2009-05-79-82.pdf?eID=tx_nawsecuredl&fallId=14417&hash=b808e237169064568237eb53f0d6c3fc
- [11] Slika 9 [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e9/SiliconCroda.jpg/800px-SiliconCroda.jpg>
- [12] Primjena silicija [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://solartechadvisor.com/silicon-use-solar-panels/>
- [13] Primjena silicija [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://havenhillsynergy.com/silicon-used-making-solar-panels/#:~:text=Silicon%20is%20non%2Dtoxic.,are%20more%20expensive%20to%20produce>
- [14] Roy Shuvajit RSSTF. Performance analysis of mono-crystalline and polycrystalline silicon solar cells under different climatic conditions: a comparative study [Internet]. 2014 (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://core.ac.uk/download/pdf/61805682.pdf>
- [15] Slika 10 [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://pvaustria.at/wp-content/uploads/Bild3.jpg>
- [16] Slika 11 [Internet]. (pristupljeno: 06/06/2023). Dostupno na: <https://www.viridiansolar.co.uk/assets/images/all-about-solar/mono-and-poly-silicon-cells.jpg>
- [17] Tzanes G, Zafeiraki E, Papapostolou C, Zafirakis D, Konstantinos M, Kavadias K, et al. Assessing the Status of Electricity Generation in the Non-Interconnected Islands of the Aegean Sea Region. Energy Procedia. 2019 Feb 1;159:424–9. doi: 10.1016/J.EGYPRO.2018.12.065

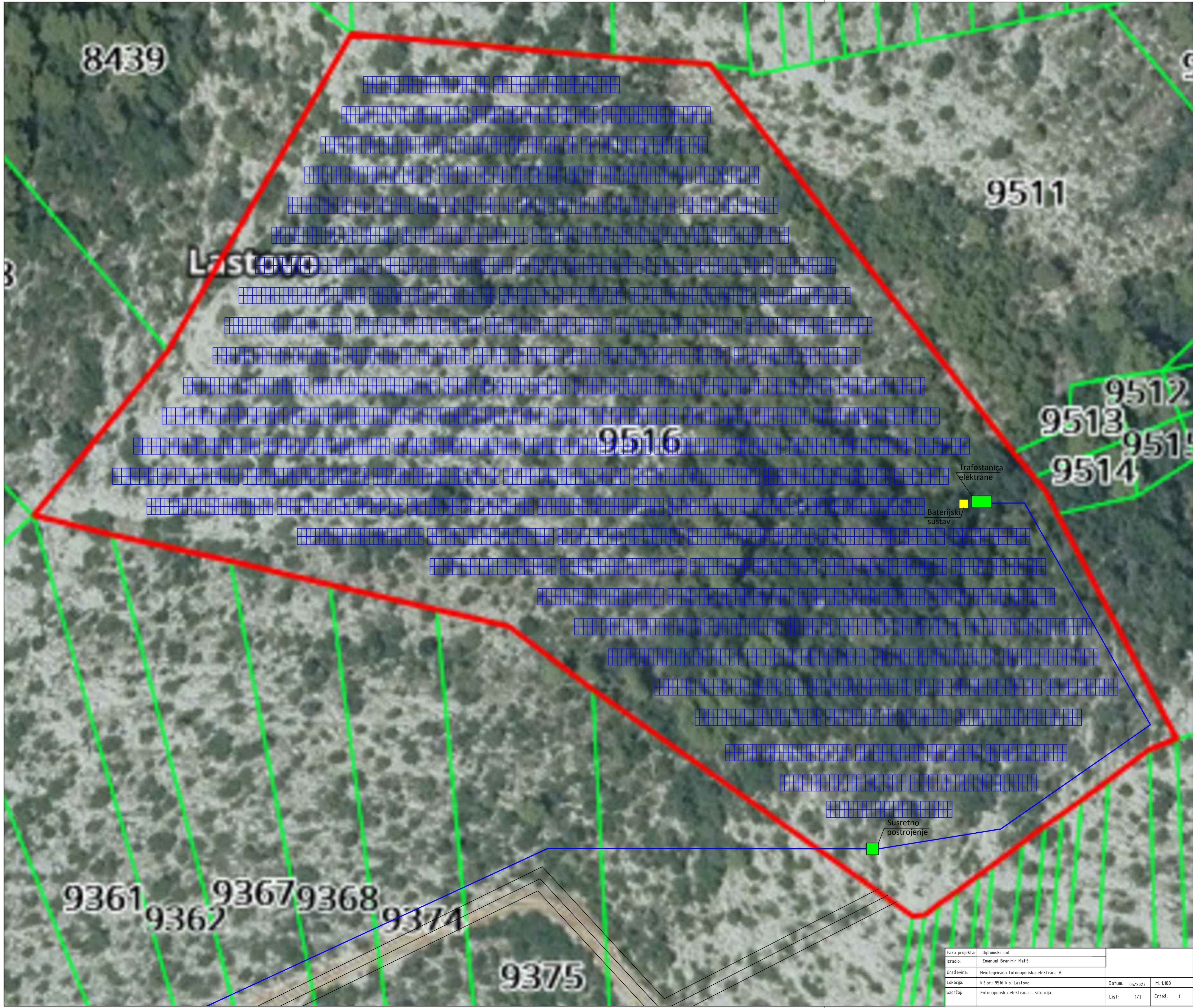
- [18] Osnove o otoku Maderia [Internet]. (pristupljeno: 06/07/2023). Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Madeira>
- [19] Miguel M, Nogueira T, Martins F. Energy storage for renewable energy integration: the case of Madeira Island, Portugal. *Energy Procedia*. 2017 Oct 1;136:251–7. doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.10.277
- [20] Direção Regional de Estatística da Madeira [Internet]. (pristupljeno: 06/07/2023). Dostupno na: <https://estatistica.madeira.gov.pt/en/download-now-3/economic/energia-gb/energy-balance/energia-balanco-energ-tables-gb.html>
- [21] Osnove o otoku El Hierro [Internet]. (pristupljeno: 06/08/2023). Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/El_Hierro
- [22] Frydrychowicz-Jastrzębska G. El Hierro renewable energy hybrid system: A tough compromise. Vol. 11, *Energies*. MDPI AG; 2018. doi: 10.3390/en11102812
- [23] [Internet]. (pristupljeno: 07/05/2023). Dostupno na: <https://www.elhierro.es/es/gorona-del-viento-apuesta-por-la-solar-fotovoltaica>
- [24] Slika 14 [Internet]. (pristupljeno: 06/08/2023). Dostupno na: https://images.csmonitor.com/csm/2021/03/1117287_3_0312-el-hierro-graphic_large.jpg?alias=original_900
- [25] Integrated National Energy and Climate Plan for the Republic of Croatia REPUBLIC OF CROATIA MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY 2 Contents. 2019.
- [26] Plan tranzicije otoka Brača prema čistoj energiji [Internet]. 2020 (pristupljeno: 07/05/2023). Dostupno na: https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/system/files/2021-11/CETA_Brac_Oct2020.pdf
- [27] Otočje Cresko-Lošinjsko. Tranzicijski plan prema čistoj energiji [Internet]. 2019 (pristupljeno: 07/05/2023). Dostupno na: https://www.reakvarner.hr/sites/9192/upload/userfiles/publikacije/1580204180_creslosinj_finaltransitionagenda_20191118_plan.pdf
- [28] Općina Sali. Tranzicijski plan prema čistoj energiji Dugog otoka, Zvernica i Lavdare [Internet]. 2023 (pristupljeno: 07/05/2023). Dostupno na: <https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/countries/croatia/dugi-otok#documents>
- [29] Vaz L, Rda J, Rodrigues De Almeida R, Zokovic I. Clean energy for EU islands: e-LAFITI Elaphiti Islands, Croatia Clean energy for EU islands e-Lafiti [Internet]. Dostupno na: www.euislands.eu
- [30] Jakas AM, Jerkić E. Tranzicijski plan prema čistoj energiji.
- [31] Korčula O. Strategija energetske tranzicije, otok Korčula [Internet]. 2019 (pristupljeno: 07/05/2023). Dostupno na: <https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/countries/croatia/korcula#documents>
- [32] Decarbonising electricity and water access.
- [33] Juras I. Razvojna strategija Grada Visa. 2020.
- [34] Slika 19 [Internet]. (pristupljeno: 06/13/2023). Dostupno na: https://static.jutarnji.hr/images/slike/2020/09/11/f_SE%20Vis%20iz%20zraka_1280.jpg?2020-09-14-09-19-47
- [35] Rizvanić B. Godišnji program rada turističke zajednice općine Lastovo za 2022. godinu. 2022.
- [36] Matak N, Ana Marija Pilato F, Zvonko Čuljat D, Ivo Čihoratić D, Lastovo O. Deliverable n o : Deliverable title: Sustainable Energy Action Plan (SEAP) of the Municipality of Lastovo [Internet]. Dostupno na: www.meshartility.eu

- [37] Slika 20 [Internet]. (pristupljeno: 06/14/2023). Dostupno na: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/Southern_Croatian_AdriaticLastovo.jpg/792px-Southern_Croatian_AdriaticLastovo.jpg?20121205213251
- [38] Matak N, Ana Marija Pilato F, Zvonko Čuljat D, Ivo Čihoratić D, Lastovo O. Deliverable n o : Deliverable title: Sustainable Energy Action Plan (SEAP) of the Municipality of Lastovo. Dostupno na: www.meshartility.eu
- [39] Prostorni plan uređenja općine Lastovo (tekstualni dio). (pristupljeno: 06/24/2023); Dostupno na: https://lastovo.hr/wp-content/uploads/2020/06/iidppuo_lastovo_izvornik-procisceni.pdf
- [40] Prostorni plan uređenja otok Lastovo (grafički prikaz). (pristupljeno: 06/24/2023); Dostupno na: https://lastovo.hr/wp-content/uploads/2020/06/2b_elektro-plot.pdf
- [41] Nika konstrukcije. Slika 26. (pristupljeno: 06/24/2023); Dostupno na: Nika konstrukcije
- [42] Slika 27. (pristupljeno: 06/24/2023); Dostupno na: <https://www.teslacables.com/en/product/379>

PRILOG

This drawing and all the information contained in it are the copyright of Emanuel Branimir Matić. Any unauthorized usage empowers Emanuel Branimir Matić to indemnification. All rights reserved.

Konfiguracija u nedgovorene svrhe povlači obvezu obdščćenja. Sva prava pridržana. Ovaj crtež i svi podaci na njemu vlasnik su poduzetca Emanuel Branimir Matić.



Faza projekta:	Diplomski rad		
Izradio:	Emanuel Branimir Matić		
Gradjevina:	Neintegrirana fotonaponska elektrana A		
Lokacija:	k.č.br.: 9516 k.o. Lastovo	Datum:	05/2023
Sadržaj:	Fotonaponska elektrana - situacija	M:	1:100
		List:	1/1
		Crtež:	1.

Postojeća trasa

Dolaz sa mreže

Susretno postrojenje

Trafostanica elektrane

Baterijski sustav

LASTOVO 13060/1

Stanje DKP-a na dan: 20.06.2023.

13060/11

Uble

9999/41

13060/15

This drawing and all the information contained in it are the copyright of Emanuel Branimir Matić. Any unauthorized usage empowers Emanuel Branimir Matić to indemnification. All rights reserved.

Korisnik je u nedogovorene surbe povlači obvezu čestice. Sva prava pridržana. Ovaj crtež i svi podaci na njemu vlasništvo su Emanuela Branimira Matića

Faza projekta:	Diplomski rad		
Izradio:	Emanuel Branimir Matić		
Građevina:	Neintegrirana fotonaponska elektrana B		
Lokacija:	k.č.br.: 13060/11 k.o. Lastovo	Datum:	06/2023
Sadržaj:	Fotonaponska elektrana - situacija	M:	1:100
		List:	1/1
		Crtež:	2.