

Projektiranje i ugradnja fotonaponske elektrane FERIT 1 u okviru RESCUE projekta

Kucelj, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:941744>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science
and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**PROJEKTIRANJE I UGRADNJA FOTONAPONSKE
ELEKTRANE FERIT 1 U OKVIRU RESCUE
PROJEKTA**

Diplomski rad

Mario Kucelj

Osijek, 2021.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 20.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Ime i prezime studenta:	Mario Kucelj
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-1238, 06.10.2019.
OIB studenta:	27720108324
Mentor:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Sumentor:	Matej Žnidarec
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Član Povjerenstva 1:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva 2:	Prof. dr. sc. Denis Pelin
Naslov diplomskog rada:	Projektiranje i ugradnja fotonaponske elektrane FERIT 1 u okviru RESCUE projekta
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	U teorijskom dijelu opisati tehničke i ekonomske parametre kao i način ugradnje za sve odabrane dijelove te u praktičnom dijelu u programskom paketu PV Sol izraditi projekt FN elektrane (mirkomreže) FERIT 1 na temelju izvedenog stanja elektrane te izvršiti analizu isplativosti. Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	20.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 19.10.2021.

Ime i prezime studenta:

Mario Kucelj

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1238, 06.10.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

17

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje i ugradnja fotonaponske elektrane FERIT 1 u okviru RESCUE projekta**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Damir Šljivac

i sumentora Matej Žnidarec

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Zadatak diplomskog rada	1
2. FOTONAPONSKI SUSTAVI	2
2.1 Sunce i Sunčeva (solarna) energija	2
2.2 Fotonaponska pretvorba	3
2.3 Fotonaponska ćelija	4
2.4 Fotonaponski moduli i nizovi	7
2.5 Standardni testni uvjeti (STC)	8
2.6 Inverter	9
2.7 Baterije u fotonaponskom sustavu	11
2.8 Fotonaponski sustav	12
2.9 Prosumer – kupac sa vlastitom proizvodnjom	15
3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE FERIT 1	17
3.1 O programskom paketu PV Sol premium	17
3.2 Opis fotonaponske elektrane FERIT 1	18
3.3 Izrada projekta u programskom paketu PV Sol Premium	23
3.3.1 Osnovni podaci o projektu	23
3.3.2 Definiranje vrste sustava i klimatskih podataka	23
3.3.3 Unos potrošnje električne energije	24
3.3.4 3D Model i pokrivenost površine modulima	26
3.3.5 Konfiguracija modula	27
3.3.6 Baterijski sustav	30
3.3.7 Kabeli	31
3.3.8 Sheme i liste dijelova	31
3.3.9 Financijska analiza	34
3.3.10 Rezultati	35
4. ANALIZA ISPLATIVOSTI	37
4.1 Analiza isplativosti izgradnje elektrane sa baterijskim sustavom	39
4.1.1 Analiza isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom bez subvencije za investiciju	42

4.1.2 Analiza isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom uz 40% subvencije.....	44
4.1.3 Analiza isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom uz 100% subvencije.....	46
4.2 Analiza isplativosti izgradnje elektrane bez baterijskog sustava	48
4.2.1 Analiza isplativosti FN elektrane bez baterijskog sustava i bez subvencije za investiciju	49
4.2.2 Analiza isplativosti FN elektrane bez baterijskog sustava uz 40% subvencije.....	51
4.2.3 Analiza isplativosti FN elektrane bez baterijskog sustava uz 100% subvencije	53
4.3 Usporedba isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom u odnosu na elektranu bez baterijskog sustava.....	55
5. ZAKLJUČAK.....	57
LITERATURA	59
SAŽETAK.....	61
ABSTRACT	62
ŽIVOTOPIS.....	63

1. UVOD

Velikim razvojem tehnologije u zadnjih nekoliko desetljeća, pogotovo u 21. stoljeću, došlo je do ogromnog povećanja potrošnje energije. Već se mogu primijetiti loši učinci sagorijevanja fosilnih goriva: topljenje ledenjaka što dovodi do povećanja razine oceana, povećanje vremenskih ekstrema, suše, poplave, oluje. Najveća prednost obnovljivih izvora energije je to što su za naše pojmove neiscrpn i ako se izuzme vrijednost investicije, ne postoji trošak goriva i ne zagađuju okoliš.

Nedostatci obnovljivih izvora energije su relativno mala gustoća energije po površini pa su potrebne velike površine kako bi se prikupilo dovoljno energije (fotonaponske elektrane velikih površina, veliki rotori vjetroagregata). Drugi veliki nedostatak je vremenska nedostupnost izvora energije (npr. tijekom noći i oblačnog vremena).

Najveći predstavnik obnovljivih izvora energije je svakako Sunce, koje ima najveći potencijal iskorištenja energije. Razvojem tehnologije, povećanjem učinkovitosti i značajnim padom cijena kroz zadnjih nekoliko godina, sve više dolazi do izražaja korištenje fotonaponskih sustava, kako u industriji, tako i u kućanstvima.

U ovom radu u programskom paketu PV Sol Premium, napraviti će se projekt fotonaponske elektrane FERIT 1 (na krovu zgrade fakulteta u Trpimirovoj ulici), sa baterijskim sustavom. Cilj ovog projekta je smanjenje potrošnje električne energije iz mreže te veća energetska neovisnost zgrade. U drugom dijelu rada napraviti će se analiza isplativosti fotonaponske elektrane sa baterijskim sustavom u tri slučaja: bez subvencije, sa 40% subvencije i sa 100% subvencioniranog iznosa investicije, te za ista tri slučaja analizirati će se ista elektrana bez baterijskog sustava. Nakon toga napraviti će se usporedba isplativosti elektrane sa baterijskim sustavom u odnosu na elektranu bez baterijskog sustava, te donijeti zaključak što je isplativije.

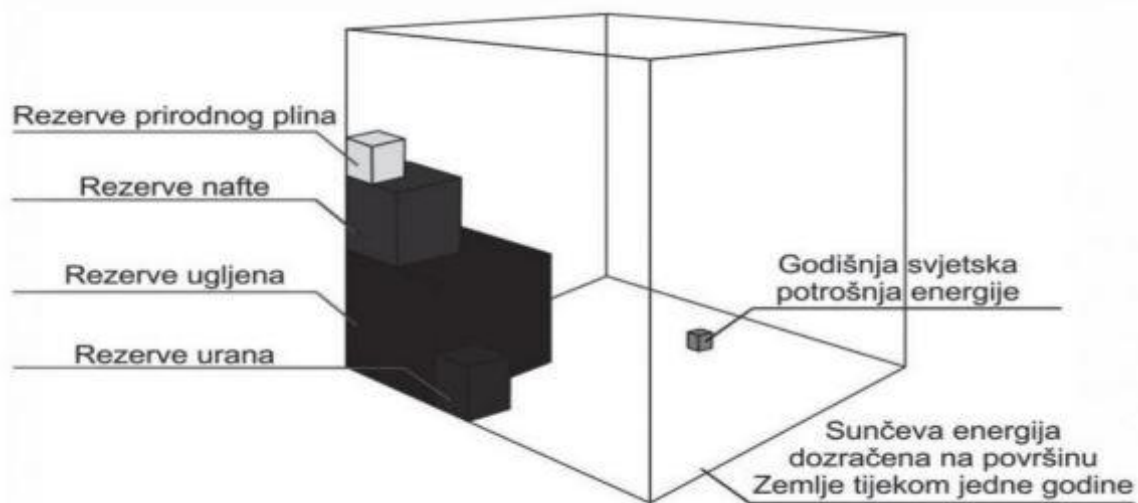
1.1 Zadatak diplomskog rada

U teorijskom dijelu opisati tehničke i ekonomske parametre kao i način ugradnje za sve odabrane dijelove te u praktičnom dijelu u programskom paketu PV Sol izraditi projekt FN elektrane (mikromreže) FERIT 1, te izvršiti analizu isplativosti. Analizu isplativosti napraviti za tri slučaja: sa 0% subvencije, sa 40% subvencije, te sa 100% subvencije za elektranu sa baterijskim sustavom, te za elektranu bez baterijskog sustava, zatim napraviti usporedbu.

2. FOTONAPONSKI SUSTAVI

2.1 Sunce i Sunčeva (solarna) energija

Energija koju sunce zrači u svemir u svim smjerovima pa samim time i prema Zemlji naziva se Sunčeva ili solarna energija. Sunce je najveći i najmoćniji izvor energije koja se može koristiti za proizvodnju električne energije (čovječanstvu najkorisniji oblik energije), grijanje vode, u raznim industrijskim procesima, te je jedan od osnovnih uvjeta za održavanje života na Zemlji. Spada u obnovljive izvore energije i za životni vijek našeg planeta, smatra se neiscrpnim izvorom energije. Nastaje tako što se na Suncu odvija termonuklearna fuzija vodika, te se kao rezultat te fuzije oslobađa vrlo velika količina energije i nastaje helij, ta energija koja je nastala unutar sunca se prenosi prema površini odakle zrači u svemir. Ukupna solarna energija koja se godišnje uputi sa Sunca prema Zemlji je veća od energije koja se može dobiti iz ukupnih zaliha ugljena i nafte. Sunce svakog sata na Zemlju dozrači gotovo dovoljno energije za pokrivanje ukupne svjetske potrošnje u godini dana, stoga ima ogroman potencijal iskorištenja. [1]



Sl. 2.1. Godišnje solarno zračenje na površini zemlje u usporedbi sa zalihama fosilnih i nuklearnih goriva te godišnjom potrošnjom energije u svijetu [1]

Može se reći da je solarna energija „motor“ za gotovo sve obnovljive izvore energije kao što su: energija valova, energija vjetra, biomasa. Razlikujemo tri osnovne vrste solarne energije:

- **Solarni paneli** – direktna pretvorba solarne energije u toplinu, koristi se uglavnom za grijanje vode.

- **Koncentriranje solarne energije** – usmjeravanje solarne energije pomoću zrcala u jednu točku u kojoj se neki medij zagrijava na visoku temperaturu, koji se zatim koristi za proizvodnju električne energije. Ovaj način rada prevladava u današnjim većim solarnim elektranama.
- **Solarne (fotonaponske) ćelije** – direktna pretvorba solarne energije u električnu energiju. [2]

2.2 Fotonaponska pretvorba

Francuski fizičar Alexandre-Edmond Becquerel (1820.-1891.) je prvi otkrio fotonaponski efekt 1839. godine prilikom pokusa elektrolitskim stanicama. Tada je to opisao kao proizvodnju električne struje kada se dvije ploče platine ili zlata urone u kiselu, neutralnu ili lužnatu otopinu te izlože na nejednolik način sunčevu zračenju. [3]

Fotonaponska pretvorba je izravna pretvorba sunčevog svjetla (zračenja) u električnu energiju struju. Sunčeva svjetlost se sastoji od fotona. Foton je djelić energije elektromagnetskog zračenja (čestica), nema masu niti električni naboj.

Energiju fotona možemo definirati izrazom:

$$E = h \cdot \nu \quad (2-1).$$

Gdje je:

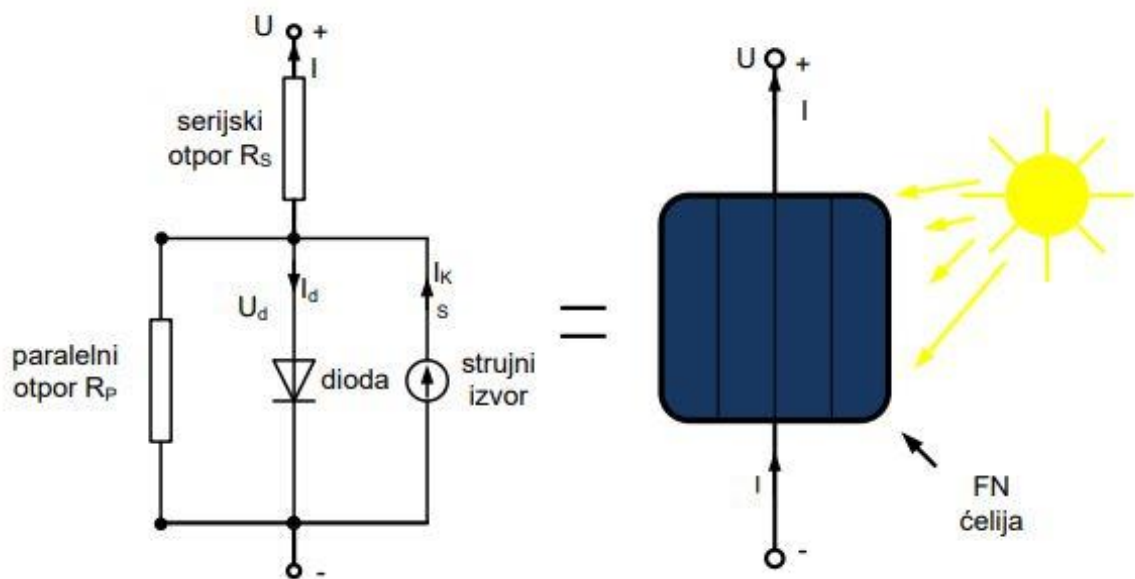
h – Planckova konstanta: $6,625 \cdot 10^{-34}$ Js,

ν – frekvencija fotona obrnuto proporcionalna valnoj duljini.

Kada fotoni pogode FN ćeliju, oni se mogu reflektirati od nje, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani. Samo apsorbirani fotoni mogu dati energiju za oslobađanje elektrona i proizvodnju električne struje. To se zove fotonaponski efekt. [4]

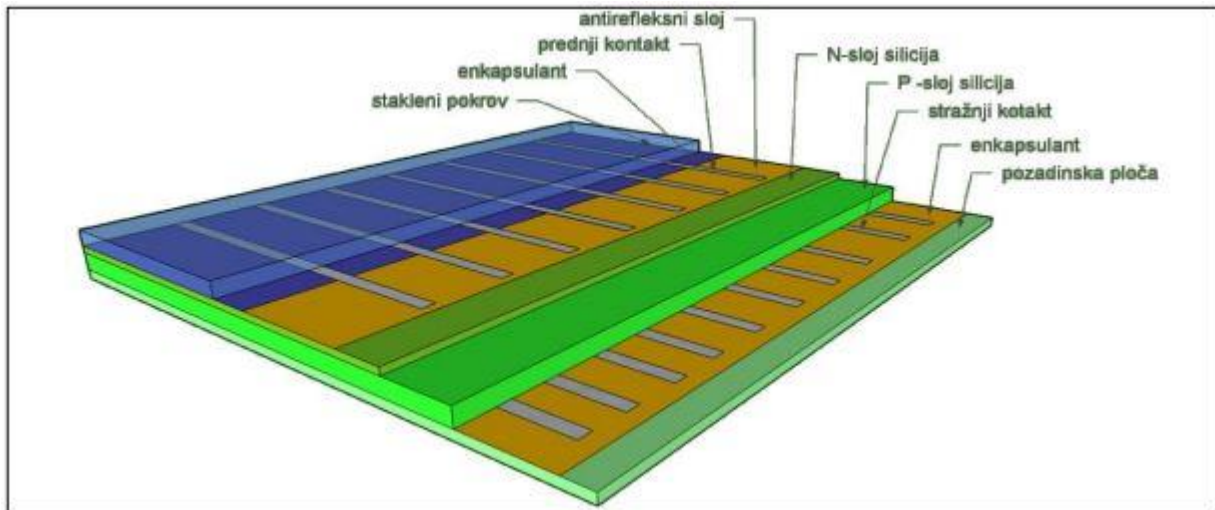
2.3 Fotonaponska ćelija

Za fotonaponsku ćeliju može se reći da je to zapravo dioda sastavljena spajanjem P-tipa i N-tipa poluvodičkog materijala, koja omogućuje izravnu pretvorbu sunčeve svjetlosti u električnu energiju na osnovi fotonaponskog efekta. Fotonaponska ćelija je pasivan fotokemijski pretvarač, jer je za gibanje oslobođenih elektrona potreban vanjski izvor energije. Fotonaponska ćelija je strujni izvor, može se modelirati diodom uz serijski dodan otpor, te paralelno spojen strujni izvor i otpor, [4] kao što je prikazano na slici 2.2.:



Sl. 2.2. Nadomjesna shema FN ćelije [5]

Fotonaponska ćelija se sastoji od metalnih kontakata koji su postavljeni na obje strane ploče kako bi prikupljali struju koja se inducira fotonima. Na prednjoj strani ćelije se nalazi anti-reflektirajući sloj kako bi se što više umanjila refleksija, te mehanička zaštita u obliku stakla koje je pričvršćeno prozirnim ljepilom. Kontakt se ostvaruje preko donje (tamne) površine i na jednom bridu gornje svijetle površine. [4] Dijelovi fotonaponske ćelije su prikazani na slici 2.3.:



Sl. 2.3. Struktura fotonaponske ćelije [4]

Fotonaponska ćelija može se opisati sa četiri vrlo važna parametra:

- Struja kratkog spoja I_{KS} – struja pri kratko spojenim stezaljkama, napon je $U=0$, struja kratkog spoja jednaka je fotostruji $I_{KS}=I_{fs}$.
- Napon praznog hoda U_{PH} – napon na otvorenim stezaljkama
- Učinkovitost η_{FNC} – to je omjer električne snage FN ćelije i snage sučevog zračenja po njenoj površini:

$$U_{PH} = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A_{FNC}} \cdot 100 = F \cdot \frac{U_{PH} \cdot J_{KS}}{G} \cdot 100 \quad (2-2)$$

Gdje je:

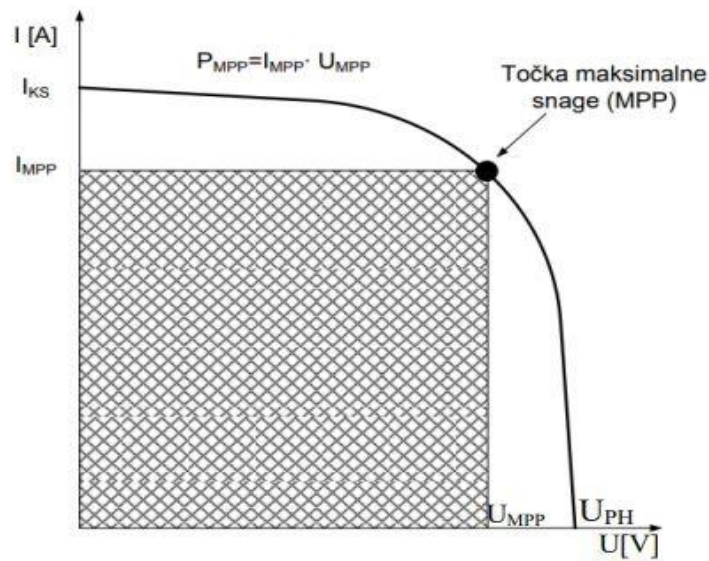
- G – snaga sunčevog zračenja [W/m^2]
- A – površina FN ćelije [m^2]
- J_{KS} – gustoća struje kratkog spoja [A/m^2]
- Faktor ispunje F – određuje kvalitetu fotonaponske ćelije. To je omjer maksimalne snage te umnoška struje kratkog spoja i napona praznog hoda (obično u rasponu 0,7-0,9):

$$F = \frac{P_{MPP}}{U_{PH} \cdot I_{KS}} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{PH} \cdot I_{KS}} \quad (2-3)$$

Svaka fotonaponska ćelija ima U-I karakteristiku na kojoj se mogu definirati tri karakteristične točke:

- Točka kratkog spoja
- Točka praznog hoda
- Točka maksimalne snage [4]

Karakteristične točke prikazane su na slici 2.4.:



Sl. 2.4. U-I karakteristika fotonaponske ćelije [4]

Gdje je:

I_{KS} – struja kratkog spoja

I_{MPP} – struja u točki maksimalne snage

U_{PH} – napon praznog hoda

U_{MPP} – napon u točki maksimalne snage

MPP – točka maksimalne snage (pregib krivulje), [4]

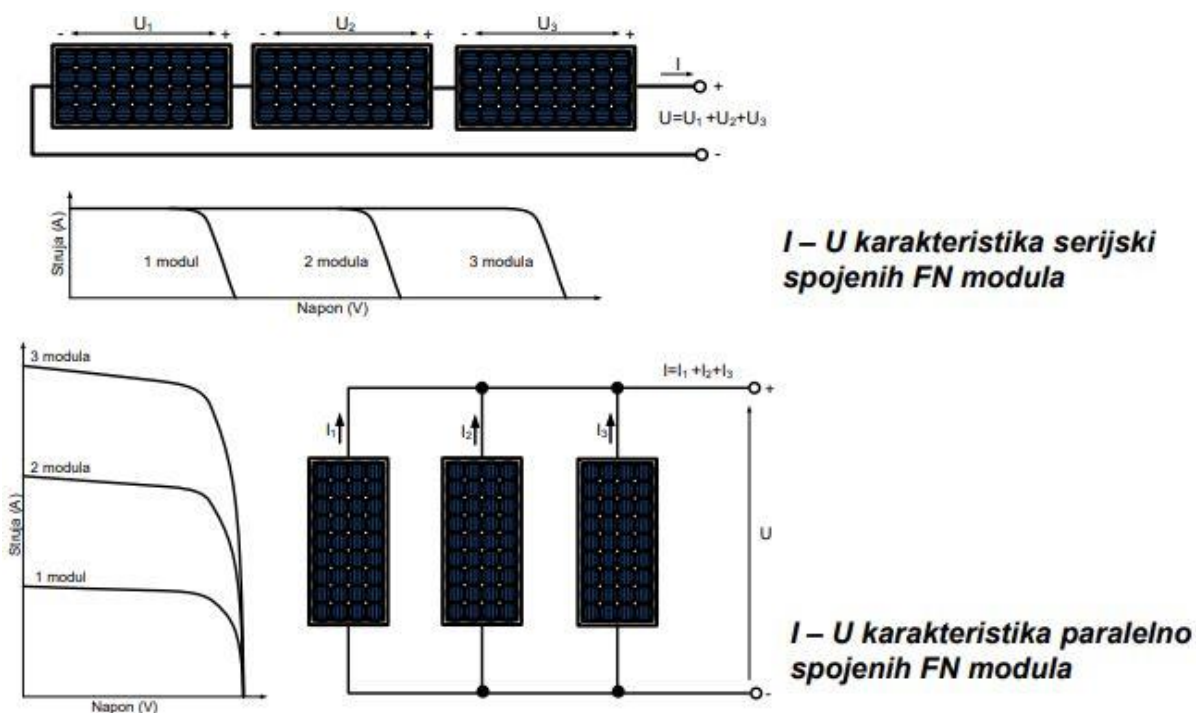
Tehnologije fotonaponskih ćelija:

- **Monokristalni i polikristalni Silicij** – za proizvodnju je potreban čisti poluvodički materijal. U zadnje vrijeme cijena ima je znatno snižena. Napon im je 0,55-0,70 V.
- **Tanki filmovi** – debljina sloja im iznosi manje od 1 μm pa su im zato troškovi proizvodnje manji, samim time i ćelije. Imaju nižu učinkovitost, 4-14%.
- **Višeslojne ćelije** – ćelije od galij-arsenida se prave u obliku tankog filma od jedne ili dvije komponente (sloja). Teorijska učinkovitost 25-40%. Razvijaju se troslojne i četveroslojne još veće učinkovitosti.

- **Novi koncepti** – niža cijena/veća efikasnost – organske ćelije, termoelektrični uređaji, quantum dots, dye-sensitized. [5]

2.4 Fotonaponski moduli i nizovi

Fotonaponska ćelija je temeljni gradivni blok fotonaponskog sustava, koji proizvodi samo 1-2 W, uz napon od oko 0,6 V. Takav napon je prenizak za većinu primjena stoga kako bi se povećala ukupna izlazna snaga i dobio što veći izlazni napon, ćelije je potrebno povezati u modul. Modul je serijsko-paralelni spoj ćelija, zaštićen od atmosferskih utjecaja na način da se ćelije postavljaju između slojeva kaljenog stakla te se ugrađuju u aluminijski okvir. Ovisno o potrebnoj snazi, moduli se dalje mogu povezati da bi oblikovali niz, eng. string. Niz je serijsko-paralelni spoj modula. [5]



Sl. 2.5. Modularnost strujno-naponske karakteristike FN nizova [4]

Tehničke karakteristike fotonaponskih modula najčešće preslikavaju tehničke karakteristike ćelije, te se definiraju za standardne testne uvjete (STC).

Za svaki fotonaponski modul potrebno je dati sljedeće tehničke karakteristike pri STC:

- Nazivna vršna snaga P_{MPP} (kW_p)
- Učinkovitost η (%)
- Napon praznog hoda U_{PH} (V)
- Struja kratkog spoja I_{KS} (A)
- Napon vršne snage U_{MPP} (V)
- Struja vršne snage I_{MPP} (A)
- Smanjenje snage zbog povećanja temperature β (V/°C) ili nekada u (%/°C)
- Smanjenje napona zbog povećanja temperature α (%/°C)
- Dimenzije modula – duljina x širina x visina (mm x mm x mm)
- Masa m (kg)

[5]

2.5 Standardni testni uvjeti (STC)

STC (eng. Standard Test Conditions) – industrijski standard za uvjete testiranja fotonaponskih modula. Omogućuje točnu usporedbu i ocjenjivanje različitih modula. Sastoji se od tri standardna uvjeta ispitivanja:

- Temperatura ćelije – $t=25^{\circ}\text{C}$
- Iradijacija ili sunčevo zračenje – $G=1000\text{ W/m}^2$ – količina svjetlosne energije koja pada na neko područje u određenom trenutku
- Masa zraka – $AM=1,5$ – količina svjetlosti koja mora proći kroz Zemljinu atmosferu prije nego što može pasti u Zemljinu površinu (debljina atmosfere), idealno ako je sunce potpuno iznad [6]

Na napon i struju modula direktno utječu temperatura i iradijacija. Što je viša temperatura ćelije, niži je napon modula i obrnuto. Što je veća iradijacija, veća je struja ćelije. Kako bi imali maksimalnu snagu ćelije potrebno ju je držati što hladnijom, i okrenutom što okomitije izravno prema suncu. Osim STC uvjeta postoje i NOCT uvjeti. NOCT uvjeti su dosta realniji i sličniji stvarnim uvjetima u kojima su fotonaponski moduli.

NOCT uvjeti podrazumijevaju:

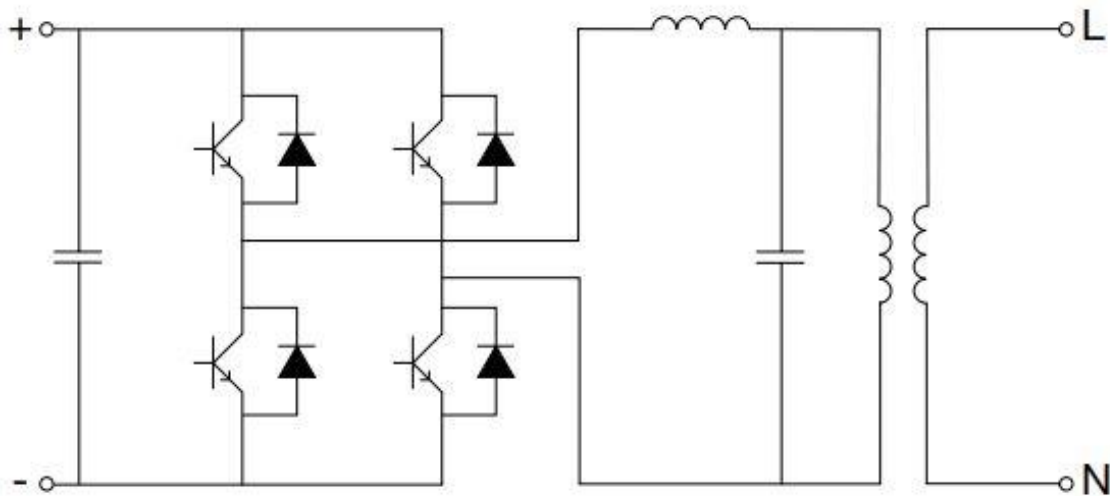
- Iradijaciju od 800 W/m^2
- Temperaturu površine modula od $45 (+/- 3)^{\circ}\text{C}$
- Brzinu vjetra od 1 m/s

- Temperaturu okoline od 20°

[7]

2.6 Izmjenjivač

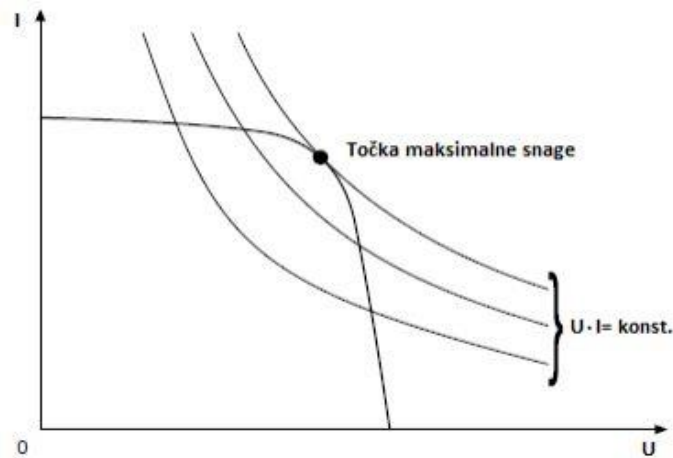
Izmjenjivač (inverter) je jedan od najvažnijih dijelova fotonaponskog sustava. To je uređaj koji pretvara istosmjernu struju koja dolazi od fotonaponskih modula u izmjeničnu struju, te kontrolira kvalitetu izlazne snage. Na slici 2.6. prikazana je načelna shema pretvarača (izmjenjivača). Sastoji se od poluvodičkog mosta koji služi za pretvaranje istosmjernog napona u izmjenični, nakon kojega se ugrađuje niskopropusni filter. Izmjenjivački način rada ostvaren je periodičkim uklapanjem i isklapanjem sklopki (tranzistori). Na ovaj način se na trošilu inducira pravokutni napon koji nije povoljan, stoga niskopropusni filter zajedno sa pulsno-širinskom modulacijom (PWM – pulse-width modulation) smanjuje više harmonike i omogućuje valni (sinusni) oblik napona. [8]



Sl. 2.6. Načelna shema izmjenjivača [8]

Dobivena izmjenična struja se može koristiti direktno za napajanje trošila, ili se može isporučivati u mrežu. Svaki izmjenjivač je opremljen uređajem za traženje točke maksimalne snage (MPP tracker), jer se ta točka koja se nalazi na prijelomu krivulje U-I karakteristike, stalno mijenja u ovisnosti o vremenskim uvjetima (naoblaka, promjena temperature). Izmjenjivač je također odgovoran i zaštitu fotonaponskog sustava, praćenje rada sustava i upravljanje. Najvažnija

zaštitna uloga izmjenjivača je zaštita od otočnog rada, jer fotonaponska elektrana ne može raditi kao autonomni sustav na mreži.



Sl. 2.7. U-I karakteristika fotonaponskog izvora [8]

Za izbor izmjenjivača, vrlo su nam važni sljedeći tehnički podaci:

- Ulazna nazivna snaga P_{DC} [W],
- Područje rada na DC strani $U_{izmj, min} - U_{izmj, maks}$ [V],
- Maksimalni ulazni napon na DC strani $U_{DC, maks}$ [V],
- Maksimalna ulazna struja na DC strani $I_{DC, maks}$ [A],
- Izlazna nazivna snaga P_{AC} [W],
- Nazivni napon na DC strani U_{AC} [V],
- Nazivna frekvencija f [Hz],
- Maksimalna učinkovitost η_{maks} [%],
- Europska učinkovitost η_{eu} [%].

Osim toga, za pravilan izbor izmjenjivača, u četiri koraka je potrebno izvršiti provjeru da li su karakteristike fotonaponskog niza i karakteristike izmjenjivača na koji se fotonaponski niz priključuje odgovarajuće. Koraci su sljedeći:

- Provjeriti da li je maksimalni napon praznog hoda fotonaponskog niza $U_{PH, n, maks}$, manji od maksimalnog ulaznog napona na DC strani izmjenjivača $U_{DC, maks}$.

$$U_{PH, n, maks} < U_{DC, maks}$$

- Da li je minimalni napon vršne snage fotonaponskog niza $U_{MPP,n,min}$ veći od minimalnog napona vršne snage izmjenjivača $U_{izmj,min}$.

$$U_{MPP,n,min} > U_{izmj,min}$$

- Da li je maksimalni napon vršne snage fotonaponskog niza $U_{MPP,n,maks}$ manji od maksimalnog napona vršne snage izmjenjivača $U_{izmj,maks}$.

$$U_{MPP,n,maks} < U_{izmj,maks}$$

- Da li je maksimalna struja fotonaponskog niza $I_{KS,maks}$ manja od maksimalne dozvoljene ulazne struje na DC strani izmjenjivača $I_{DC,maks}$.

$$I_{KS,maks} < I_{DC,maks}$$

[4]

2.7 Baterije u fotonaponskom sustavu

Primjena fotonaponskih sustava je danas jako široka, od velikih solarnih elektrana, manjih elektrana na krovovima zgrada, brodova i letjelica sa solarnima panelima, do malih raznih sustava poput svjetlećih prometnih znakova. Baterije se obavezno koriste u autonomnom (off-grid) sustavu, ali se mogu koristiti i u on-grid sustavu kako bi još više smanjile trošak električne energije. Stoga je pravilan odabir baterija vrlo važan, jer razne baterije imaju razne energetske učinkovitosti, mogućnosti skladištenja i isplativosti. [9]

Razlikujemo četiri osnovne vrste baterija u fotonaponskim sustavima:

- **Olovna baterija s potopljenim ćelijama** – najčešće korištena u FN sustavima. Prednost joj je niska cijena, sigurnost i pouzdanost. Nedostatak joj je veličina i sklonost koroziji. Zahtjeva dosta pažnje jer se mora držati u dobro prozračenoj okolini i mora stajati uspravno kako bi se spriječilo curenje.
- **AGM (Absorbent Glass Matt)** – vrsta olovne baterije. Ploče u bateriji mogu biti ravne ili se mogu namotati u spiralu. Prednost im je manji unutarnji otpor od olovnih baterija sa potopljenim ćelijama, otpornije su na temperaturu i ne prazne se sporo kao neke vrste, dosta dobro podnose hladnoću, lagane su i sigurne, ne zahtijevaju održavanje. Mana im je visoka cijena.
- **Gel baterije** – koriste silicijev dioksid za zgušnjavanje elektrolita. Ne zahtijevaju održavanje, otporne na udarce i vibracije, izvrsne za ekstremne vrućine i hladnoću, imaju dugačak životni vijek. Mane su im visoka cijena, manji kapacitet u odnosu na druge vrste, lako ih je oštetiti.

- **Litij-ionske (LiFePO4) baterije** – imaju izvrsne performanse, najbolje od navedenih, veliki kapacitet, dugačak životni vijek, male dimenzije, lagane, velika učinkovitost, sigurne i stabilne, zahtijevaju minimalno održavanje. Mana im je četiri puta veća cijena u odnosu na gore navedene.

Izbor baterije vrši se u nekoliko koraka:

- **Određivanje dnevne ukupne potrošnje energije** – utvrđivanje ukupne potrošnje električne energije objekta
- **Određivanje vremena autonomije** – koliko dugo se očekuje da se baterije neće puniti
- **Određivanje dubine pražnjenja** – koliko se energije može isprazniti iz baterije prije nego ju je opet potrebno puniti (Litij-ion – 80-85%)
- **Određivanje napona sustava** – najčešće se koristi 12V, 24V i 48V
- **Računanje ispravne veličine baterije:**

$$Baterija (Ah) = \frac{\frac{\text{dnevna potrošnja energije (Wh)} \cdot \text{vrijeme autonomije (dan)}}{\text{Dubina pražnjenja}}}{\text{Napon baterijskog sustava (V)}} \quad (2-4)$$

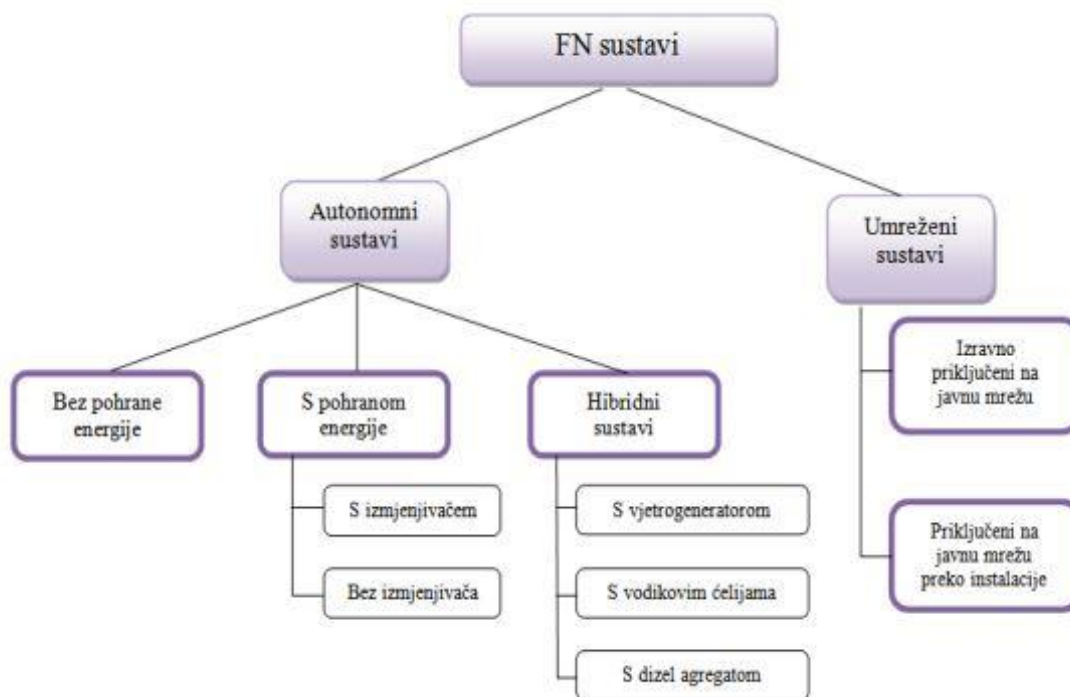
[10]

2.8 Fotonaponski sustav

Fotonaponski sustav je integriran skup fotonaponskih modula i drugih komponenata, projektiran tako da primarnu Sunčevu energiju pretvara u nama iskoristivu električnu energiju.

Ovisno o načinu rada, fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na:

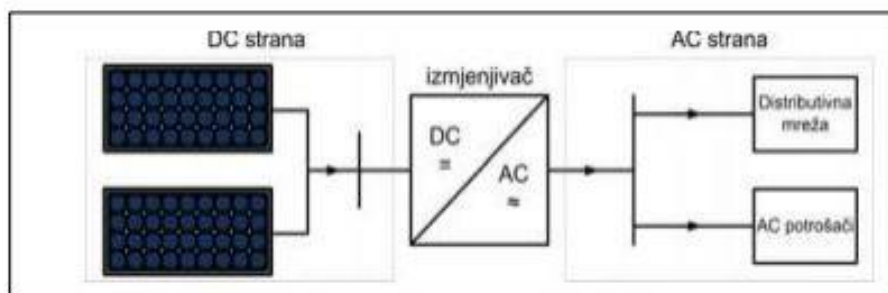
- Samostojeće (autonomne) fotonaponske sustave (eng. off grid, stand alone)
- Mrežne (umrežene) fotonaponske sustave (eng. on grid, grid connected)



Sl. 2.8. Podjela FN sustava [5]

Mrežni (on-grid) sustavi su one elektrane koje su spojene na elektroenergetsku mrežu. Spoj na mrežu se izvodi preko izmjenjivača jer je potrebno pretvoriti istosmjernu struju u izmjeničnu. U takvom sustavu nisu potrebni punjači i baterije jer se sva izlazna snaga predaje preko brojila u mrežu. Razlikujemo sljedeće izvedbe mrežnih fotonaponskih elektrana:

- Izvedbe s jednim izmjenjivačem (kod elektrana manjih snaga)
- Izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki fotonaponski niz (kod elektrana srednjih snaga)
- Izvedbe s više izmjenjivača (kod elektrana većih snaga)

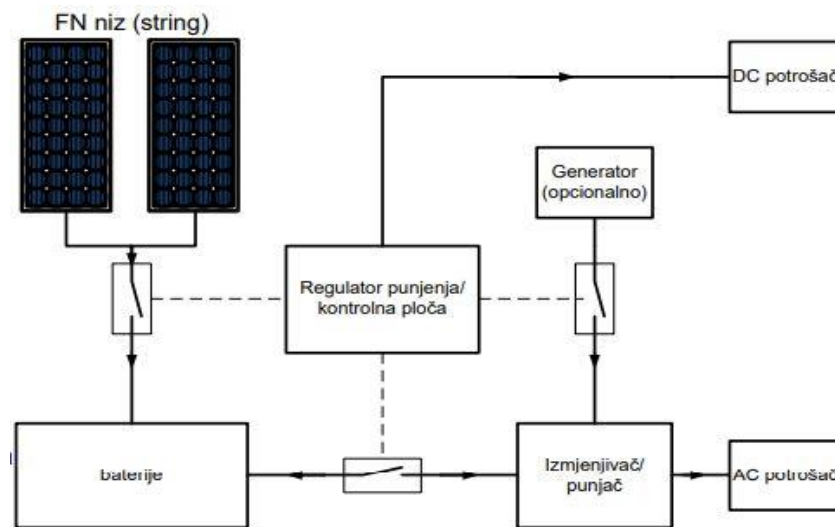


Sl. 2.9. Mrežni (on-grid) fotonaponski sustav [5]

Samostojeći/autonomni (off-grid)sustavi su one elektrane koje samostalno opskrbljuju potrošače bez spoja na mrežu te je nužno da pokriju cjelokupnu potrebu potrošača za električnom energijom. S obzirom da je proizvodnja promjenjiva i vrlo ovisna o prirodnim faktorima

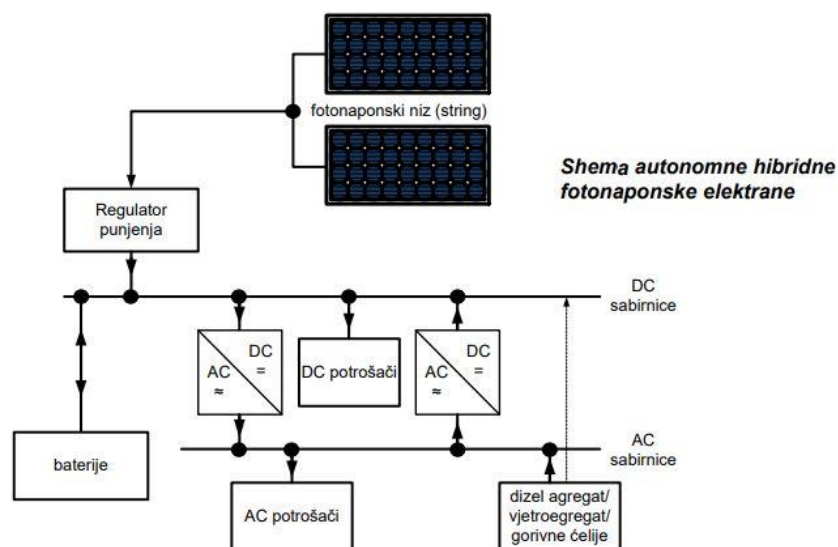
(vremenske prilike), u većini slučajeva je nužno imati baterije ili neke druge spremnike energije, osim u slučaju da se koriste za potrošače koji koriste električnu energiju samo onda kada je ona dostupna. Osnovni dijelovi autonomne fotonaponske elektrane su:

- Baterije i/ili izmjenjivači
- Tragač maksimalne snage
- Regulator punjenja
- Modul nadzora i upravljanja (kontrolna ploča)



Sl. 2.10. Autonomni (off-grid) fotonaponski sustav [5]

Zbog visokih cijena baterija, u autonomni sustav je moguće dodati još jedan izvor energije, najčešće vjetroagregat, dizel agregat ili gorive ćelije. Takav sustav se naziva hibridni sustav.



Sl. 2.11. Hibridni FN sustav [5]

2.9 Prosumer – kupac sa vlastitom proizvodnjom

Prosumer (eng.) – osoba koja i konzumira i proizvodi neki proizvod ili uslugu. [11] U energetsom smislu, hrvatski naziv bi bio kupac sa vlastitom proizvodnjom. Definicija HEP-a glasi: „Kupac s vlastitom proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu koju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu.“ [12]

Kupac s vlastitom elektranom je korisnik mreže koji na istom obračunskom mjernom mjestu ima odobrenu priključnu snagu u smjeru potrošnje i priključnu snagu u smjeru proizvodnje. Preuzimanje električne energije od kupaca s vlastitom proizvodnjom se uređuje ugovorom o opskrbi krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom koji zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- Imaju status povlaštenog proizvođača električne energije,
- Ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu,
- Ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW,
- Priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom kao proizvođača ne prelazi snagu kao kupca.

Za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača električne energije iz stavka utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom C_i u obračunskom razdoblju i na sljedeći način:

$$C_i = 0,9 \cdot P_{KCi} \quad (2-5)$$

ako za obračunsko razdoblje i vrijedi $E_{pi} \geq E_{ii}$, i

$$C_i = 0,9 \cdot P_{KCi} \cdot \frac{E_{pi}}{E_{ii}} \quad (2-6)$$

ako za obračunsko razdoblje i vrijedi $E_{pi} < E_{ii}$,

pri čemu je:

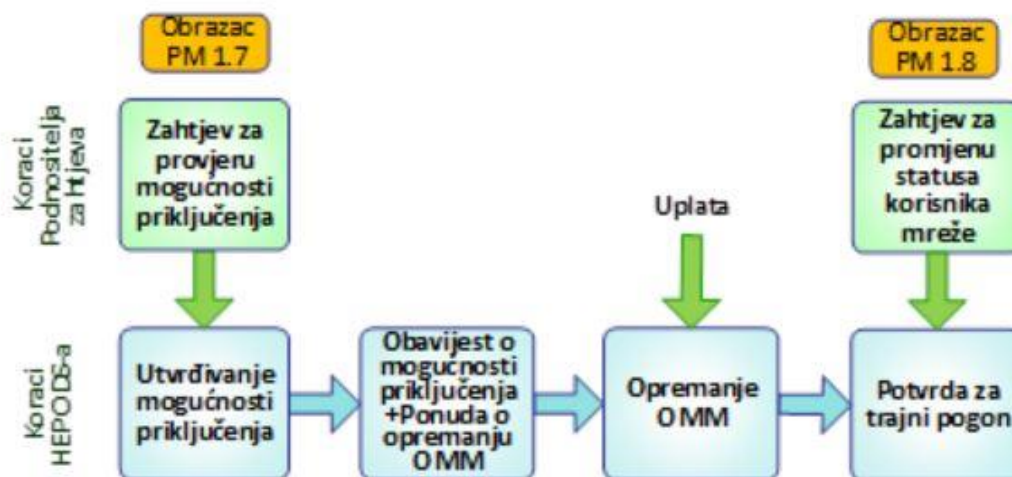
E_{pi} – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja i , izražena u kn/kWh;

E_{ii} – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja i , izražena u kn/kWh;

P_{KCI} – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja i, izražena u kn/kWh. [13]

U slučaju da postojeći krajnji kupac kategorije kućanstvo traži priključenje proizvodnog postrojenja na svoju postojeću instalaciju, instalirane snage proizvodnog postrojenja do iznosa priključne snage obračunskog mjernog mjesta na koje se priključuje proizvodno postrojenje, postupak se provodi prema sljedećim koracima:

- Podnošenje zahtjeva za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja
- Izdavanja obavijesti o mogućnosti priključenja, ponude za opremanje obračunskog mjernog mjesta i prijedloga novog ugovora o korištenju mreže
- Uplate troškova za opremanje obračunskog mjernog mjesta
- Izvođenje radova na opremanju obračunskog mjernog mjesta
- Sklapanje ugovora o korištenju mreže i podnošenje zahtjeva za promjenu statusa korisnika mreže
- Izdavanje potvrde za trajni pogon [14]



Sl. 2.12. Koraci HEP ODS-a i podnositelja zahtjeva [14]

3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE FERIT 1

3.1 O programskom paketu PV Sol premium

PV Sol Premium je programski paket tvrtke Valentin-software, koji služi za projektiranje i simulaciju svih fotonaponskih sustava. Od sustava s malim krovom i samo nekoliko modula do veliki samostojećih solarnih elektrana snage do 3MW. Program omogućuje 3-D vizualizaciju svih uobičajenih vrsta sustava sa do 10 000 modula. Izrada 3-D modela je dosta pojednostavljena te se sastoji od 6 dijelova:

- Pogled na teren
- Pogled na objekt
- Pokrivenost modula
- Montažu modula
- Konfiguraciju modula i izmjenjivača
- Plan kabela

Na samom početku potrebno je odabrati klimatske podatke koji su nužni za nastavak projekta, tj. lokaciju objekta iz baze, putem interaktivne karte ili se mogu ručno odabrati za željeno područje. Također je potrebno definirati odmah na početku vrstu sustava, a izabrati se može između:

- Mrežni fotonaponski sustav (eng. On-Grid)
- Mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima i pohranom energije
- Mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima i električnim vozilima
- Mrežni fotonaponski sustav s električnim uređajima, električnim vozilima i baterijama
- Samostojeći fotonaponski sustav
- Samostojeći fotonaponski sustav s generatorom

Nakon odabira vrste sustava, potrebno je unijeti potrošnju električne energije objekta na koji se ugrađuje fotonaponski sustav. Potrošnja se može unijeti ručno kao ukupna godišnja ili po mjesecima, ali se može i učitati dokument sa mjerenjima potrošnje električne energije u raznim vremenskim intervalima od jedne minute do jednog dana. Nakon unosa potrošnje potrebno je pomoću 2-D ili 3-D vizualizacije odrediti pokrivenost neke površine ili objekta modulima, odabrati module, izmjenjivače, te ih spojiti i napraviti plan kabela. Izbor fotonaponskih modula moguće je izvesti na nekoliko načina:

- Određivanje broja modula i vizualizacija područja modula pomoću fotografije

- Automatsko postavljanje modula nekoga krova u 2-D okruženju
- Planiranje fotonaponskog sustava u 3-D okruženju

U programu je moguće nakon unosa financijskih podataka o investiciji, tarifama, troškovima održavanja, i drugim podacima, pomoću simulacije dobiti detaljnu analizu isplativosti sa rokovima povrata investicije, te detaljnim podacima o proizvodnji i potrošnji električne energije za neki objekt. Također je moguće kreirati konačno izvješće/projekt sa svim detaljnim podacima o elektrani na osnovu čega se može pristupiti gradnji same elektrane. [15] [16]

3.2 Opis fotonaponske elektrane FERIT 1

Investitor Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Kneza Trpimira 2B, 31000 Osijek, namjerava izgraditi građevinu FOTONAPONSKA ELEKTRANA FERIT 1, na lokaciji Kneza Trpimira 2B, Osijek, k.č.br. 5989/9, k.o. Osijek, na krovu postojeće građevine (zgrada fakulteta). Namjena građevine je proizvodnja električne energije koja će se koristiti za vlastite potrebe na mjestu proizvodnje, a višak proizvedene električne energije će se predavati u NN mrežu operatora (HEP-ODS). [17]



Sl. 3.1. Lokacija elektrane, k.č.br. 5989/9, k.o. Osijek [17]

Potrebno je postaviti novu fotonaponsku elektranu priključne snage 80kW na krovu zgrade, uz izmjешtanje postojeće elektrane 10kW „ETFOS1“ i 20 kW baterijskog sustava (ukupna zakupljena snaga u smjeru predaje je 116 kW). Namjena elektrane je pokrivanje vlastite potrošnje, i predaja viška električne energije u mrežu. Elektranu će raditi paralelno s distribucijskom mrežom, uz mogućnost otočnog rada dijela elektrane.

Biti će ugrađeno ukupno 270 fotonaponskih panela SUNCECO SEM 320W, ukupna vršna snaga modula je 86 400W.

Model	SEM 320
Pri STC: 1000 W/m2, 25°, AM 1,5	
Maksimalna snaga (P_{MPP})	320 W
Radni napon (U_{MPP})	33,87 V
Radna struja (I_{MPP})	9,45 V
Napon praznog hoda (V_{OC})	41,30 V
Struja kratkog spoja (I_{SC})	9,97 A
Učinkovitost (η)	19,67%
Pri NOCT: 800 W/m2, 20°, AM 1,5, brzina vjetra 1m/s	
Maksimalna snaga (P_{MPP})	235 W
Radni napon (U_{MPP})	31,14 V
Radna struja (I_{MPP})	7,55 A
Napon praznog hoda (V_{OC})	38,40 V
Struja kratkog spoja (I_{SC})	7,95 A
Tolerancija snage	0/+5 W
Maximalni napon sustava	1000 V
Temperaturne karakteristike	
Temp. Koef. pri Pmax	-0,393%/°C
Temp. Koef. pri Voc	-0,31%/°C
Temp. Koef. pri Isc	0,041%/°C
Nominalna temperatura ćelije	45±2°C
Radna temperatura	-40°C do 85°C

Tablica 3.1. Električne karakteristike modula SUNCECO SEM 320W pri STC [18]

Koristiti će se sljedeći izmjenjivači:

- 2 x FRONIUS SYMO 10.0-3-M
- 2 x FRONIUS SYMO 20.0-3-M
- 4 x FRONIUS SYMO HYBRID 5.0-3-S

Potrebno je ugraditi četiri baterijska sustava: Fronius Symo GEN24 5.0 Plus + BYD B-Box Premium HVS10.2 (10,24 kWh).

ULAZNI PODACI		IZLAZNI PODACI	
Broj MPP tragača	2	AC nazivna snaga (P_{AC})	20 kW
Max. ulazna struja ($I_{dc \max}$)	33,0 / 27,0 A	Max. izlazna snaga ($P_{AC \max}$)	20 kVA
Max. struja kratkog spoja niza	49,5 / 40,5 A	AC izlazna struja ($I_{AC \text{NOM}}$)	28,9 A
DC raspon ulaznog napona ($U_{dc \text{MIN}} - U_{dc \text{MAX}}$)	200 - 1000 V	Spoj sa mrežom ($U_{AC,R}$)	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
DC startni napon ($U_{DC \text{START}}$)	200 V	AC raspon napona ($U_{\text{MIN}} - U_{\text{MAX}}$)	150 - 280 V
Nominalni ulazni voltage ($U_{DC,R}$)	600 V	Frekvencija (f_R)	50 / 60 Hz
MPP raspon napona ($U_{MPP,\text{MIN}} - U_{MPP,\text{MAX}}$)	420 - 800 V	Raspon frekvencije ($f_{\text{MIN}} - f_{\text{MAX}}$)	45 - 65 Hz
Iskoristivi MPP raspon napona	200 - 800 V	THD	1,30%
Broj DC ulaza	3 + 3	Faktor snage ($\cos \varphi_{AC,R}$)	0 - 1 ind./cap,
Max. snaga PV generatora ($P_{dc \max}$)	30 kW _{peak}	UČINKOVITOST	
OPĆENITO		Max. učinkovitost (PV - grid)	98,10%
Težina	43,4 kg	Europska učinkovitost (η_{EU})	97,90%
Širina	510 mm		
Visina	725 mm		
Dubina	225 mm		
Stupanj zaštite	IP 66		
Klasa zaštite	1		

Tablica. 3.2. Tehničke karakteristike izmjenjivača Fronius Symo 20.0-3-M [19]

ULAZNI PODACI		IZLAZNI PODACI	
Broj MPP tragača	2	AC nazivna snaga ($P_{ac,r}$)	10 kW
Max. ulazna struja ($I_{dc \max}$)	27,0 / 16,5 A	Max. izlazna snaga ($P_{ac \max}$)	10 kVA
Max. struja kratkog spoja niza	40,5 / 24,8 A	AC izlazna struja ($I_{ac \text{nom}}$)	14,4 A
DC raspon ulaznog napona ($U_{dc \text{min}} - U_{dc \text{max}}$)	200 - 1000 V	Spoj sa mrežom ($U_{ac,r}$)	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
DC startni napon ($U_{dc \text{start}}$)	200 V	AC raspon napona ($U_{\text{min}} - U_{\text{max}}$)	150 - 280 V
Nominalni ulazni voltage ($U_{dc,r}$)	600 V	Frekvencija (f_r)	50 / 60 Hz
MPP raspon napona ($U_{mpp \text{min}} - U_{mpp \text{max}}$)	270 - 800 V	Raspon frekvencije ($f_{\text{min}} - f_{\text{max}}$)	45 - 65 Hz
Iskoristivi MPP raspon napona	200 - 800 V	THD	1,80%
Broj DC ulaza	3 + 3	Faktor snage ($\cos \varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind./cap,
Max. snaga PV generatora ($P_{dc \max}$)	15 kW _{peak}	UČINKOVITOST	
OPĆENITO		Max. učinkovitost (PV - grid)	98%
Težina	34,8 kg	Europska učinkovitost (η_{EU})	97,40%
Širina	510 mm		
Visina	725 mm		
Dubina	225 mm		
Stupanj zaštite	IP 66		
Klasa zaštite	1		

Tablica. 3.3. Tehničke karakteristike izmjenjivača Fronius Symo 10.0-3-M [20]

ULAZNI PODACI		IZLAZNI PODACI	
Broj MPP tragača	1	AC nazivna snaga (Pac,r)	5000 W
Max. ulazna struja (Idc max)	1 x 16 A	Max. izlazna snaga (Pac max)	5000 VA
Max. struja kratkog spoja niza	24 A	AC izlazna struja (Iac nom)	8,3 A
DC raspon ulaznog napona (Udc min - Udc max)	150 - 1000 V	Spoj sa mrežom (Uac,r)	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
DC startni napon (Udc start)	200 V	AC raspon napona (Umin - Umax)	150 - 280 V
Nominalni ulazni voltage (Udc,r)	595 V	Frekvencija (fr)	50 / 60 Hz
MPP raspon napona (Umpp min - Umpp max)	320 - 800 V	Raspon frekvencije (fmin - fmax)	45 - 65 Hz
Iskoristivi MPP raspon napona	150 - 800 V	THD	< 3 %
Broj DC ulaza	2	Faktor snage (cos φac,r)	0,85 - 1 ind./cap,
Max. snaga PV generatora (Pdc max)	8000 W	UČINKOVITOST	
OPĆENITO		Max. učinkovitost (PV - grid)	97,90%
Težina	19,9 kg	Europska učinkovitost (ηEU)	96,00%
Širina	431 mm	BATERIJSKI ULAZI	
Visina	645 mm	Max. Izlazna snaga prema bateriji	Ovisno o bateriji
Dubina	204 mm	Max. Ulazna snaga iz baterije	Ovisno o bateriji
Stupanj zaštite	IP 65		
Klasa zaštite	1		

Tablica. 3.4. Tehničke karakteristike izmjenjivača Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S [21]

ULAZNI PODACI		IZLAZNI PODACI	
Broj MPP tragača	2	AC nazivna snaga (Pac,r)	5000 W
Max. ulazna struja (Idc max)	12,5 A / 12,5 A	Max. izlazna snaga (Pac max)	5000 VA
Max. struja kratkog spoja niza	18,75 A / 18,75 A	AC izlazna struja (Iac nom)	8,0 A
DC raspon ulaznog napona (Udc min - Udc max)	80-1000 V	Spoj sa mrežom (Uac,r)	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
DC startni napon (Udc start)	80 V	AC raspon napona (Umin - Umax)	154 - 280 V
Nominalni ulazni voltage (Udc,r)	610 V	Frekvencija (fr)	50 / 60 Hz
MPP raspon napona (Umpp min - Umpp max)	210-800 V	Raspon frekvencije (fmin - fmax)	45 - 66 Hz
Iskoristivi MPP raspon napona	80-800 V	THD	< 3,5 %
Broj DC ulaza	2+1	Faktor snage (cos φac,r)	0,7 - 1 ind./cap,
Max. snaga PV generatora (Pdc max)	5200 W	UČINKOVITOST	
OPĆENITO		Max. učinkovitost (PV - grid)	98,20%
Težina	19,35 kg	Europska učinkovitost (ηEU)	97,50%
Širina	474 mm	BATERIJSKI ULAZI	
Visina	530 mm	Max. Ulaz/izlaz snaga	5200 W
Dubina	165 mm	Max. ulazna struja (Idc max)	12,5 A
Stupanj zaštite	IP 66	Broj DC ulaza	1

Tablica. 3.5. Tehničke karakteristike izmjenjivača Fronius Symo GEN24 Plus 5.0 [22]

HVS 10.2	
Baterijski modul	HVS (2,56 kWh, 102,4 V, 38 kg)
Broj modula	4
Korisna energija	10,24 kWh
Max izlazna struja	25 A
Vršna izlazna struja	50A, 5s
Nazivni napon	409 V
Radni napon	320-480 V
Dimenzije (V/Š/D)	1178x585x298 mm
Težina	167kg

Tablica 3.6. Tehničke karakteristike baterijskog sustava Battery Box Premium HVS 10.2 [23]

3.3 Izrada projekta u programskom paketu PV Sol Premium

3.3.1 Osnovni podaci o projektu

Izrada projekta u programskom paketu PV Sol Premium započinje tako što se nakon pokretanja programa prvo otvori početna stranica dobrodošlice na kojoj se nalaze obavijesti i novosti programa. Kako bi se započela izrada projekta, potrebno je kliknuti na *New Project* u gornjem desnom kutu programa, nakon čega se otvara prozor *Project Data*. U ovom prozoru se unose osnovni podaci o projektu poput broja ponude, imena projektanta, podataka o investitoru, ime projekta, kratki opis projekta, adresa instalacije, te planirani početak rada elektrane.

The screenshot shows the 'Project Data' window in the PV Sol Premium software. The window has a menu bar with 'File', 'Databases', 'Options', 'Language', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area is divided into several sections:

- Project Data:** Includes fields for 'Offer Number' (Ferit1), 'Project Designer' (Mario Kucej), 'Start of Operation' (01.09.2021), 'Project Name' (Ferit 1), and 'Project Image' (empty).
- Customer Details:** Includes fields for 'Customer Number', 'Contact Person', 'Company', 'Phone', 'Fax', 'E-Mail', and 'Address'.
- Project Description:** Includes a text area with the description: 'Diplomski rad - projektiranje i izgradnje fotonaponske elektrane Ferit1 u okviru Rescue projekta'.
- Address of Installation:** Includes an empty text area.

Buttons for 'Load' and 'Delete' are visible below the 'Project Image' field.

Sl. 3.2. Prozor *Project Data* u programu PV Sol Premium

3.3.2 Definiranje vrste sustava i klimatskih podataka

Klikom na sljedeću ikonicu u gornjem izborniku programa, otvara se prozor *System Type, Climate and Grid*. U ovom prozoru definira se vrsta sustava koji se želi projektirati, da li se želi koristiti 3D model, način simulacije, klimatske podatke za željeno područje te podatke o izmjeničnoj mreži.

Za izradu ovog projekta odabran je 3D model, te Fotonaponski sustav spojen na mrežu s električnim uređajima i sustavom baterija (*3D, Grid-connected PV System with Electrical*

Appliances and Battery Systems). Odabran je 1-minutni interval simulacije jer su rezultati precizniji. Za klimatske podatke odabrana je Hrvatsku. Pod lokacijom je odabran Slavonski Brod, jer je to najbliža lokacija Osijeku koja se može odabrati, a podaci su dovoljno točni.

System Type, Climate and Grid

Type of System
3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery Systems

Type of Design
 Use 3D Design

Climate Data

Country	Croatia	Location	SLAVONSKI BROD (1991-2010)
Latitude	45° 9' 35" (45,16°)	Annual sum of global irradiation	1301 kWh/m ²
Longitude	18° 0' 0" (18°)	Annual Average Temperature	11,9 °C
Time zone	UTC+1		
Time Period	1991 - 2010		

[Simulation Parameters](#)

Time step of simulation
 1 Hour (faster simulation)
 1 Minute (more precise simulation)

AC Mains

Voltage (N-L1)	230 V
Number of Phases	3-phase
cos φ	1
Maximum Feed-in Power Clipping	No

Sl. 3.3. Unos vrste sustava i klimatskih podataka

3.3.3 Unos potrošnje električne energije

Sljedeći važan korak je unos potrošnje pod karticom *Consumption*. Potrošnju je moguće unijeti ručno po mjesecima ili cjelokupnu godišnju potrošnju koju zatim program sam rasporedi po mjesecima. Osim toga, moguće je učitati stvarna mjerenja potrošnje što je prikazano na slici 3.4.:

Import and load Load Profile

Name: _____
 Comment: _____

Time interval: 60 Min
 Number of days: 365
 Profile start date: 1. 1.2021.
 Number of values: 8760
 Units: kWh
 Number Format File: ###,##
 Table Format File: One value per line

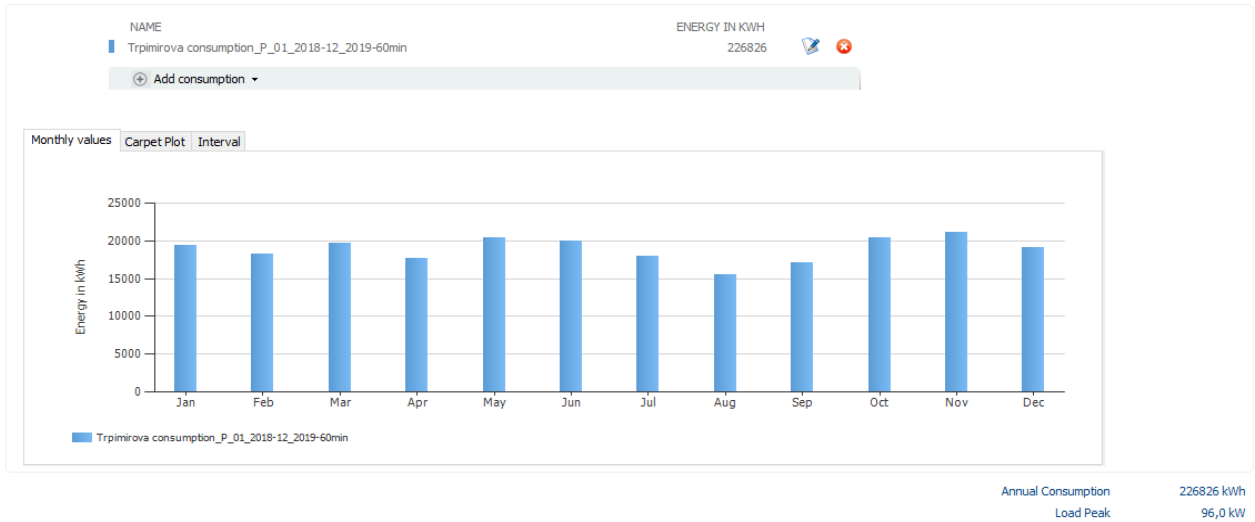
File: _____

OK Close

Sl. 3.4. Učitavanje profila potrošnje iz dokumenta (stvarna mjerenja)

Za izradu ovog projekta korišteni su izmjereni podaci potrošnje električne energije u periodu od 01.01.2018. do 31.12.2018. godine. Unesene su prosječne satne vrijednosti djelatne energije u kWh. Nakon uspješnog učitavanja potrošnje, program prikazuje profil potrošnje po mjesecima, što je prikazano na slici 3.5.:

Consumption



Sl. 3.5. Grafički prikaz potrošnje električne energije zgrade fakulteta u 2018. godini

Ukupna potrošena električna energija u 2018. godini iznosi 226.826 kWh, dok je najveća vršna snaga iznosila 96 kW. Može se primijetiti kako je najveća potrošnja bila u studenom dok je najmanja potrošnja električne energije bila u kolovozu. Također se može prikazati i godišnju potrošnju električne energije po danima, sl. 3.6.:



Sl. 3.6. Prikaz potrošnje električne energije zgrade fakulteta po danima u 2018. godini

3.3.4 3D Model i pokrivenost površine modulima

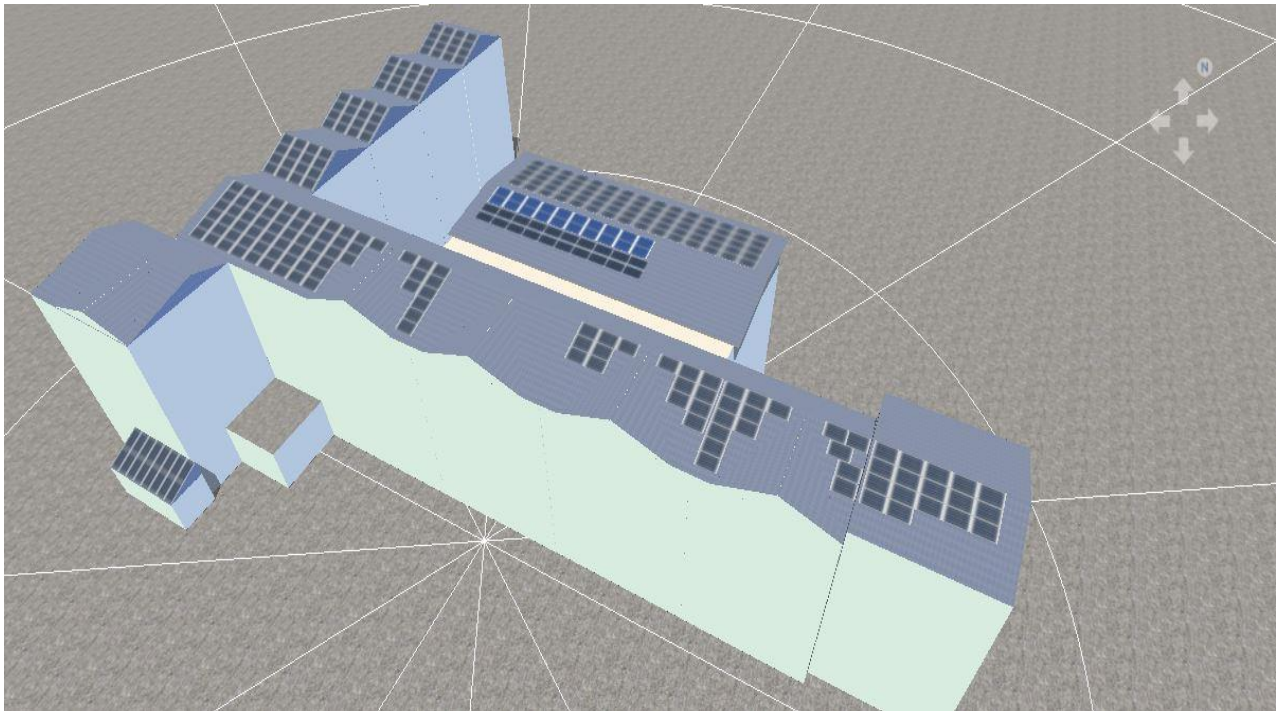
Pod karticom *3D Design* klikom na *Edit* otvara se novi prozor pod imenom *3D Visualisation*. Sastoji se od 6 kartica: pogled na teren, pogled na objekt, pokrivenost modula, montaža modula, konfiguraciju modula i plan kabela.

Pod karticom *Terrain view* napravljen je 3D model zgrade fakulteta u stvarnim dimenzijama, sa stvarnim nagibima krovova. Zbog ograničenja programa, zgrada je napravljena iz 14 zasebnih blokova, kako bi imali stvarne oblike i nagibe krovova, što je bitno za rezultate simulacije i procjenu buduće proizvodnje elektrane.



Sl. 3.7. Sučelje za podešavanje visina i nagiba krova

Nakon što je zgrada modelirana po nacrtima, pod karticom *Object View* moguće je detaljnije urediti neki objekt, npr. postaviti dimnjake ili krovne prozore na krov. Sljedeća kartica *Module Coverage* je kartica u kojoj je definirana pokrivenost krova modulima te njihov raspored. Ovdje je prvo potrebno iz baze odabrati fotonaponski modul te orijentaciju postavljanja modula koji će se koristiti stoga je odabran SUNCECO SEM 320W. Postavljanje modula po površini je moguće napraviti ručno, modul po modul, ili automatskom ispunom površine gdje program maksimalno ispunji odabranu površinu odabranim modulima. U ovom projektu moduli su postavljani ručno jer se ne koristi cijela površina krova zgrade fakulteta. 3D model zgrade sa postavljenim modulima na krovu prikazani su na slici 3.8.:



Sl. 3.8. 3D model zgrade sa postavljenim FN modulima

3.3.5 Konfiguracija modula

Sada kada su svi moduli postavljeni na željene pozicije, potrebno ih je konfigurirati. Konfiguriranje modula se radi tako što se prvo označe moduli koji se žele konfigurirati, zatim desni klik miša te se odabere *Configure*. Drugi način konfiguriranja modula je da se klikne na ikonicu *Configure all unconfigured modules* ukoliko se žele konfigurirati svi nekonfigurirani moduli u 3D modelu, ili *Configure all unconfigured modules in this mounting surface* ukoliko se žele konfigurirati samo nekonfigurirani moduli na trenutno odabranoj površini. Otvara se novi prozor u kojemu je potrebno odabrati željene izmjenjivače te rasporediti module po izmjenjivačima. U ovom projektu odabrani su sljedeći izmjenjivači:

- 2 x Fronius Symo 10.0-3-M
- 2 x Fronius Symo 20.0-3-M
- 4 x Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S

Na svaki izmjenjivač, pod njegove MPP ulaze, spojen je optimalan broj modula u nizovima, u serijsko-paralelnoj kombinaciji. Na slici 3.9. prikazana je konfiguracija jednog izmjenjivača Fronius Symo 20.0-3-M sa spojenih 75 modula, iznad predavaonice 2-31.

Suggest Configuration
(using [Selection](#)) - Inverters: Suitable: 0 / Selection: 0

Select Configuration

CHECK	VALUES	POWER
✓	CONFIGURATION: 2-31-Roof Area North	
	INVERTER 1: <input checked="" type="checkbox"/> Polystring Configuration	
✓	1 x Fronius International FRONIUS Symo 20.0-3-M	24 kWp
	<input type="checkbox"/> Power Optimizer	
	Type of Operation: MPP 1, MPP 2	
✓	MPP 1: 3 Strings x 15 Modules in series	
	+ Add Row	
✓	MPP 2: 2 Strings x 15 Modules in series	
	+ Add Row	
	+ New Inverter	

Module Area:

2-31-Roof Area North 75 x SEM 320 W HC = 24 kWp

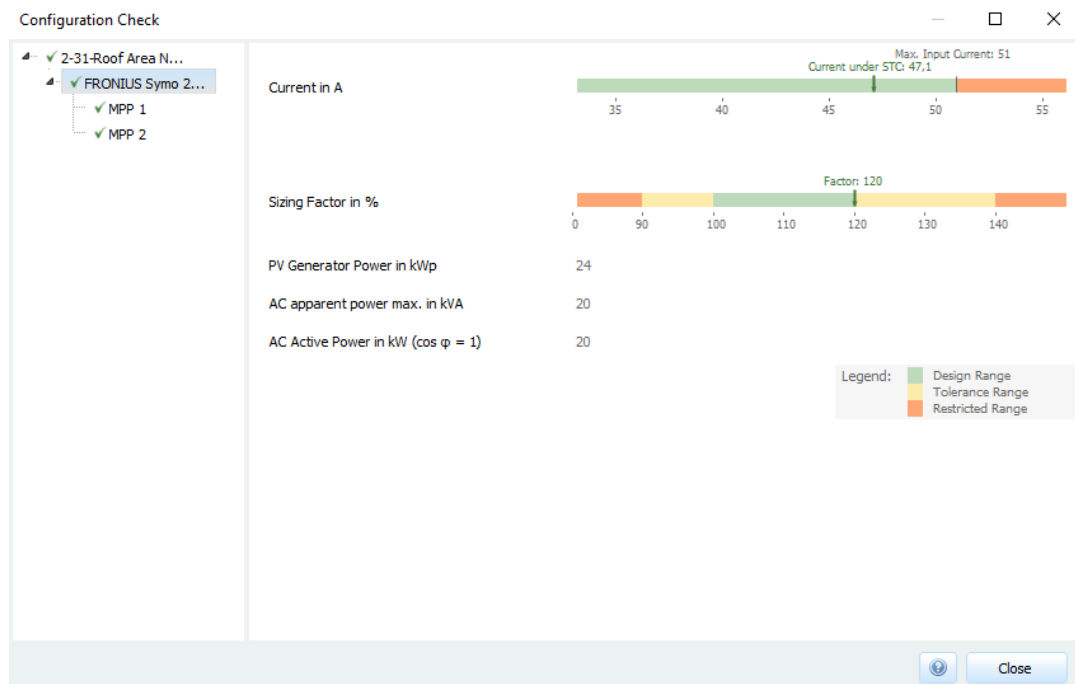
Options: [Check System](#)
[Configuration Limits](#)
 Choose inverters only from [Favorites](#)

Configured

75 PV Modules

Sl. 3.9. Konfiguracija izmjenjivača sa 75 FN modula iznad predavaonice 2-31

Na slici 3.9. možemo vidjeti kako su pod ulaz MPP1 spojena paralelno spojena 3 niza sa po 15 modula u seriji, dok su na ulaz MPP2 paralelno spojena 2 niza sa po 15 modula u seriji. Kako bi se provjerilo da li je izmjenjivač dobro konfiguriran, klikom na *Check System* otvara se novi prozor pod imenom *Configuration Check* u kojemu su prikazani parametri izmjenjivača.



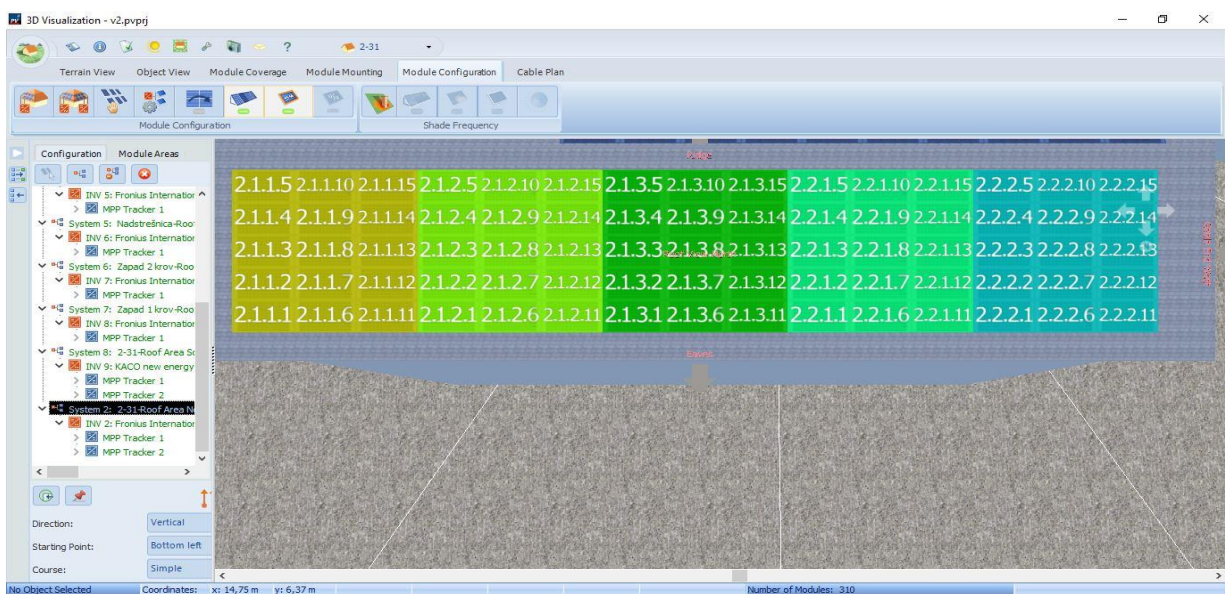
Sl. 3.10. Parametri izmjenjivača Fronius Symo 20.0-3-M sa spojenih 75 modula

Također je moguće za svaki ulaz posebno provjeriti važne parametre poput napona u točki maksimalne snage, napona otvorenog kruga, struje i snage. Klikom na jedan od ulaza MPP1 ili MPP2, prikazuju se spomenuti parametri za taj ulaz.



Sl. 3.11. Prikaz parametara FN nizova spojenih pod MPP1 ulaz u izmjenjivač

Na slikama 3.10. i 3.11. može se primijetiti kako se svi parametri nalaze u zelenom području, tj. području predviđenom za optimalan rad izmjenjivača, što znači da je izmjenjivač dobro konfiguriran i opterećen. Žuto područje je područje tolerancije, a narančasto je područje izvan dozvoljenih granica izmjenjivača i u tom području ne smije raditi. Slika 3.12. prikazuje kako su moduli fizički spojeni po ulazima u izmjenjivač.



Sl. 3.12. Prikaz načina spoja FN modula iznad predavaonice 2-31 na izmjenjivač

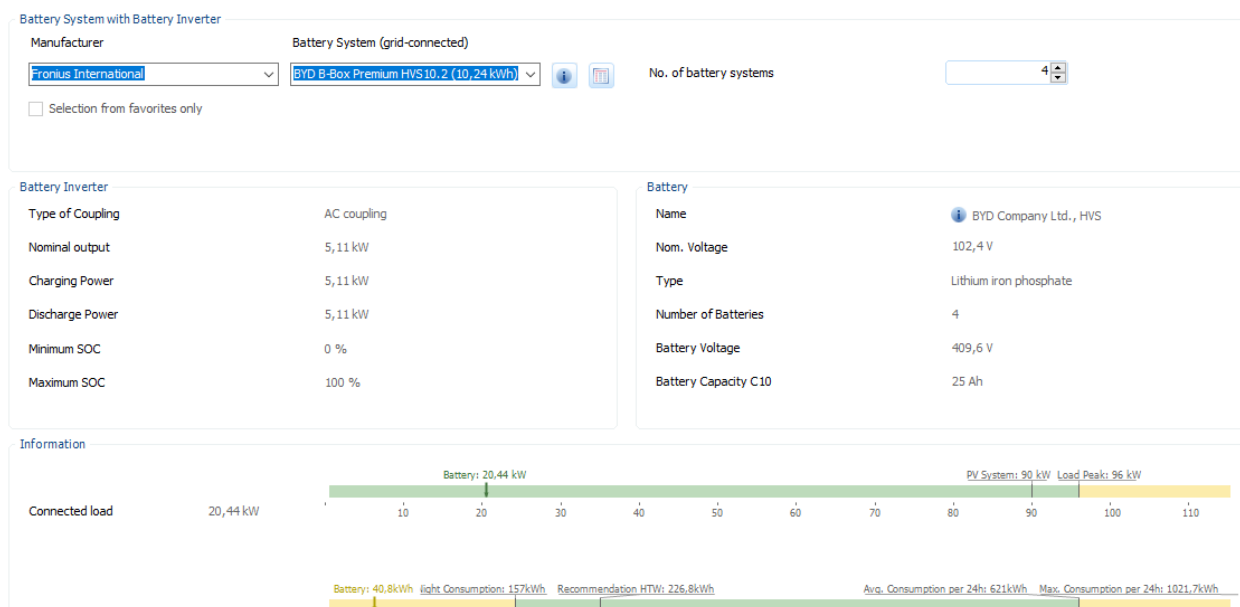
Pod karticom *Cable plan* napravljeno je kabliranje (spajanje) modula sa inverterima, te su unesene duljine kabela za svaki izmjenjivač, kao i presjeci tako da gubici na AC strani ne prelaze 1,0%. Nakon plana kabela, završeno je konfiguriranje 3D modula, te se može izaći iz 3D vizualizacije i nastaviti sa projektom.

3.3.6 Baterijski sustav

U sljedećoj kartici „*Battery System*“ odabire se baterijski sustav (baterija+izmjenjivač) koji se želi koristiti. U ovom projektu korištena su četiri identična baterijska sustava: Fronius Symo GEN24 5.0 Plus + BYD B-Box Premium HVS10.2 (10,24 kWh). Tehničke karakteristike dane su iznad u opisu elektrane.

Zbog ograničenja programa, nije bilo moguće spojiti po jedan baterijski sustav na svaki od četiri hibridna izmjenjivača na DC strani, stoga se moralo spojiti četiri ovakva baterijska sustava sa izmjenjivačem na AC stranu što program dozvoljava, kako bi se dobili približno jednaki rezultati simulacije.

Nakon odabira baterijskog sustava, u istom prozoru su odmah prikazani tehnički podaci o bateriji i izmjenjivaču, te informacije o ukupnoj snazi baterijskog sustava u odnosu na snagu elektrane.



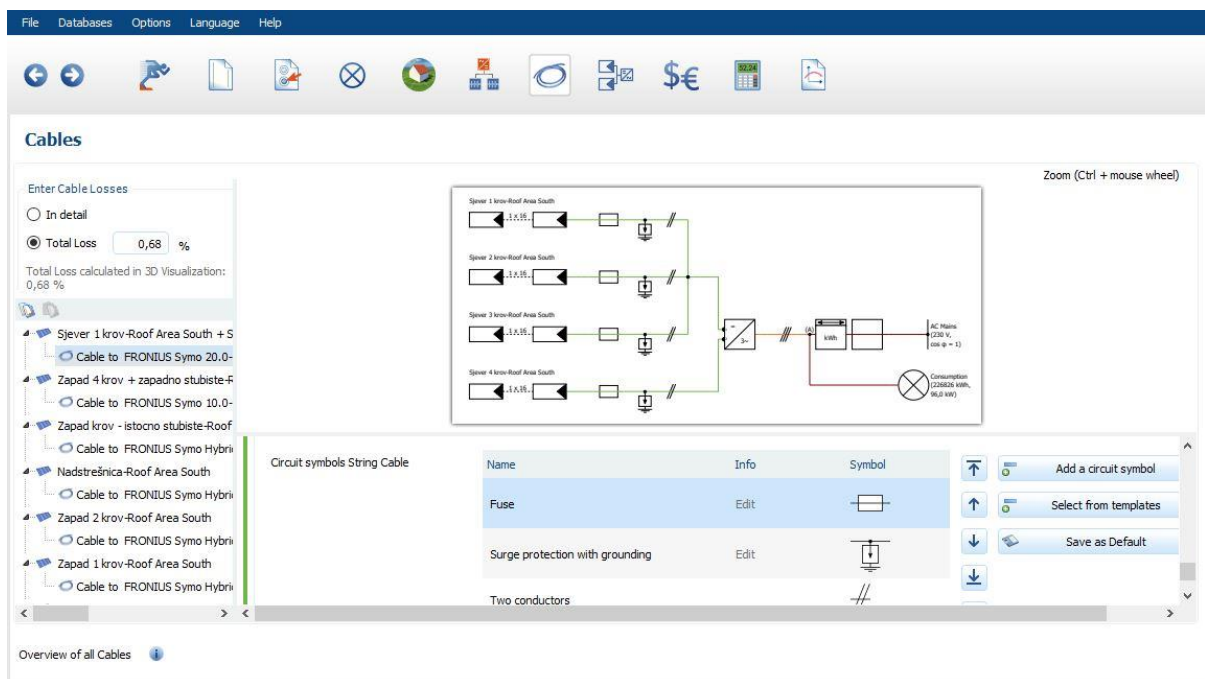
Sl. 3.13. Prikaz informacija o spojenim baterijskim sustavima

Na slici 3.13. može se vidjeti kako se u odabrane baterije može spremiti 40,8 kWh, što neće biti dovoljno da pokrije noćnu potrošnju (vrijeme kada fotonaponska elektrana ne proizvodi) koja

iznosi 157 kWh. Program odmah preporučuje korištenje ukupnog baterijskog sustava koji bi mogao spremati 226,8 kWh električne energije. To znači da bi se trebalo ugraditi 22 ovakva baterijska sustava kako bi se pokrio preporučeni kapacitet, dok bi za pokriće minimalne noćne potrošnje trebalo ugraditi 16 identičnih baterijskih sustava.

3.3.7 Kabeli

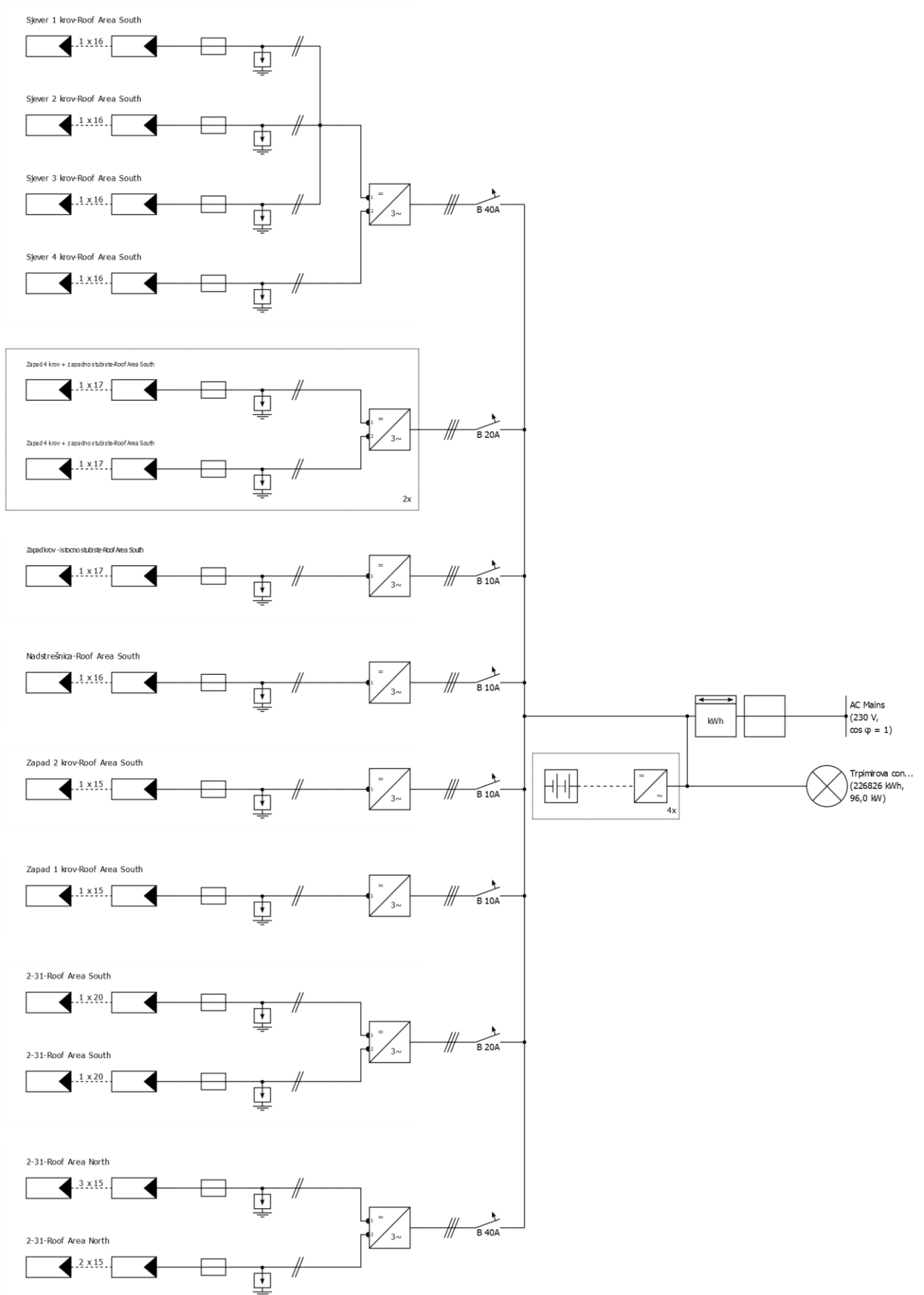
Sljedeća kartica *Cables* omogućuje da se za cijeli sustav, u shemi doda na željenim mjestima zaštitne i mjerne uređaje, kao i informacije o kabelima. Slika 3.19. prikazuje kako to izgleda za 20kW izmjenjivač, na koji su spojeni moduli na sjevernom krovu.



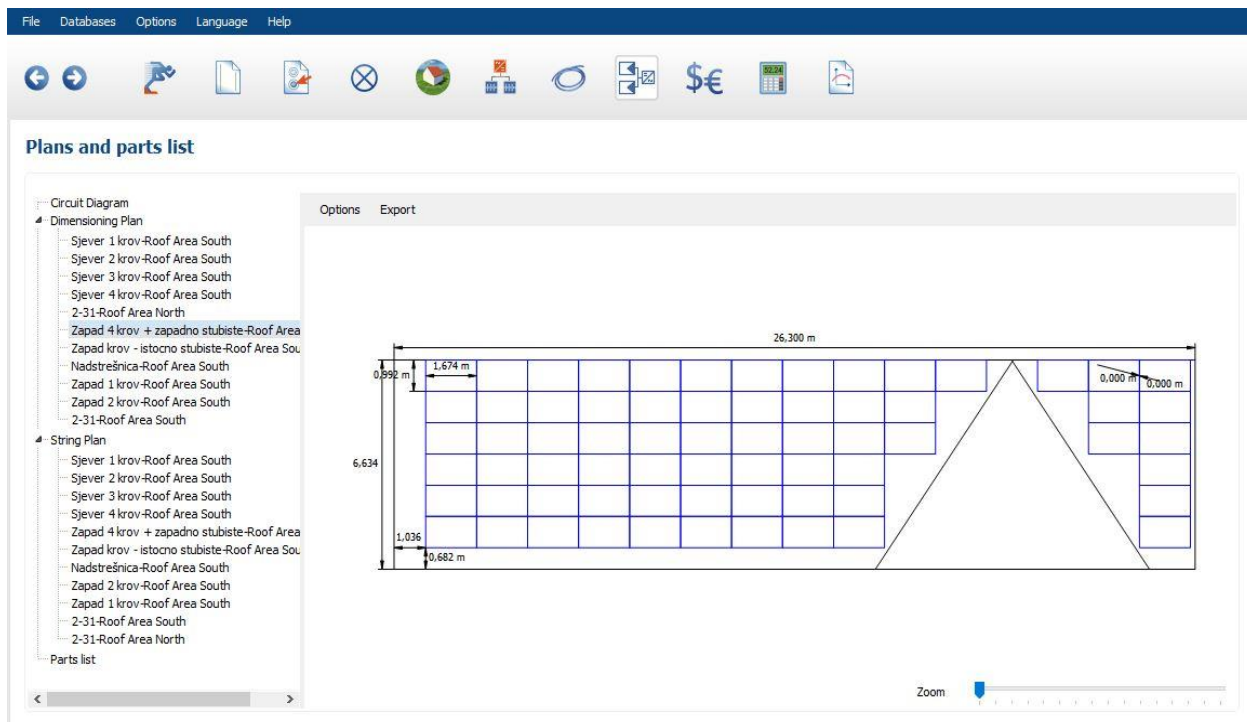
Sl. 3.14. Prikaz dodavanja zaštitnih i mjernih uređaja za 20kW izmjenjivač

3.3.8 Sheme i liste dijelova

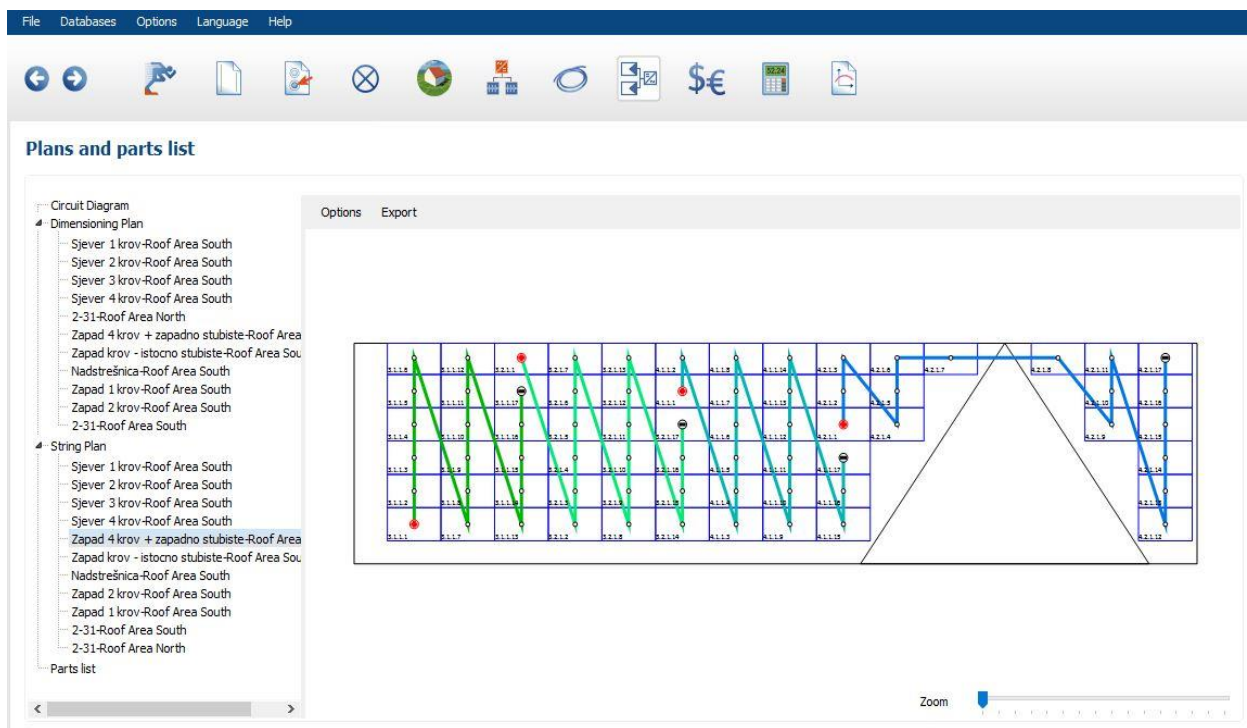
Kartica *Plans and parts list* omogućuje pregled jednopolne sheme elektrane, pregled dimenzija elektrane po dijelovima krova, plan spajanja nizova, te listu dijelova/opreme (vrlo korisno i olakšava naručivanje opreme), što je prikazano na slikama 3.15., 3.16., 3.17. i 3.18.



Sl. 3.15. Jednopolna shema FN elektrane FERIT 1



Sl. 3.16. Dimenzijski plane elektrane za dio krova Zapad 4 krov + zapadno stubište



Sl. 3.17. Prikaz spajanja modula u nizove za dio krova Zapad 4 krov + zapadno stubište

Position number	Type	Item number	Manufacturer	Name	Quantity
1	PV Module	Edit.	Sunceco	SEM 320 W HC	270
2	PV Module	Edit.	BISOL	BISOL BMO/BSO/BLO-255 Lumina	20
3	PV Module	Edit.	BISOL	BISOL BMU/BSU/BLU-250 Lumina	20
4	Inverter	Edit.	Fronius International	FRONIUS Symo 20.0-3-M	2
5	Inverter	Edit.	Fronius International	FRONIUS Symo 10.0-3-M	2
6	Inverter	Edit.	Fronius International	FRONIUS Symo Hybrid 5.0-3-S	4
7	Inverter	Edit.	KACO new energy	blueplanet 10.0 TL3 - INT	1
8	Battery System	Edit.	Fronius International	Symo GEN24 3.0_to_5.0 Plus + BYD B-Box Premium HVS10.2 (10,24 kWh)	4
9	Components	Edit.		Bidirectional Meter	1
10	Components	Edit.		House connection	1
11	Components	Edit.		Circuit Breaker B 40A	2
12	Components	Edit.		Fuse	12
13	Components	Edit.		Surge protection with grounding	12
14	Components	Edit.		Circuit Breaker B 20A	3
15	Components	Edit.		Circuit Breaker B 10A	4

Sl. 3.18. Popis opreme

3.3.9 Financijska analiza

Nakon što su definirani svi tehnički parametri elektrane, na sljedećoj kartici „*Financial Analysis*“, unose se ekonomski parametri. Klikom na *Edit* otvara se novi prozor: *Economic Efficiency Calculation*, koji se sastoji od 4 kartice: Osnovni parametri, prihodi i rashodi, financiranje, i porez.

Period promatranja odabran je za 21 godinu. Vrijednost investicije je 859.181,2 kn, godišnji trošak održavanja je 2% investicije, a inflacija je postavljena na 2%.

Drugi dio financijske analize su tarifne stavke, gdje potrebno detaljno unijeti cijene kupnje električne energije iz mreže za višu i nižu tarifu, te cijenu prodaje viška električne energije u mrežu. Također je potrebno definirati vremena više i niže tarife po mjesecima. Postavljene vrijednosti za ovaj projekt su prikazane na slici 3.24. Trošak EE u višoj tarifi iznosi 0,86 kn, a u nižoj tarifi 0,51 kn, dok je naknada za prodaju viška električne energije u mrežu 0,356 kn ukoliko vrijedi uvjet da je količina preuzete električne energije u promatranom razdoblju veća od količine predane električne energije u mrežu.

From-grid Tariff

Country: Croatia (Local Name: Hrvatska)

City:

Energy Supplier: Example

Name: New Tariff

Available

Version: 2

Created at: 18.9.2021. 10:16:00

User ID: mario

Consumption Type: Residential Corporation

Minimum quantity: 0 kn/Year

Base Price: 0,0000 kn/Month

Number of chronologically different tariff periods: 2

VT (1) NT (2)

From (energy in kWh/year)	Energy Price in kn/kWh
0,00	0,86230

At a consumption-dependent kWh price Zone tariff Sliding-scale tariff

Number of different tariff period definitions: 1

Setting of tariff period definitions

Tariff Periods Definition

	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
a	a	a	a	a	a	a	a

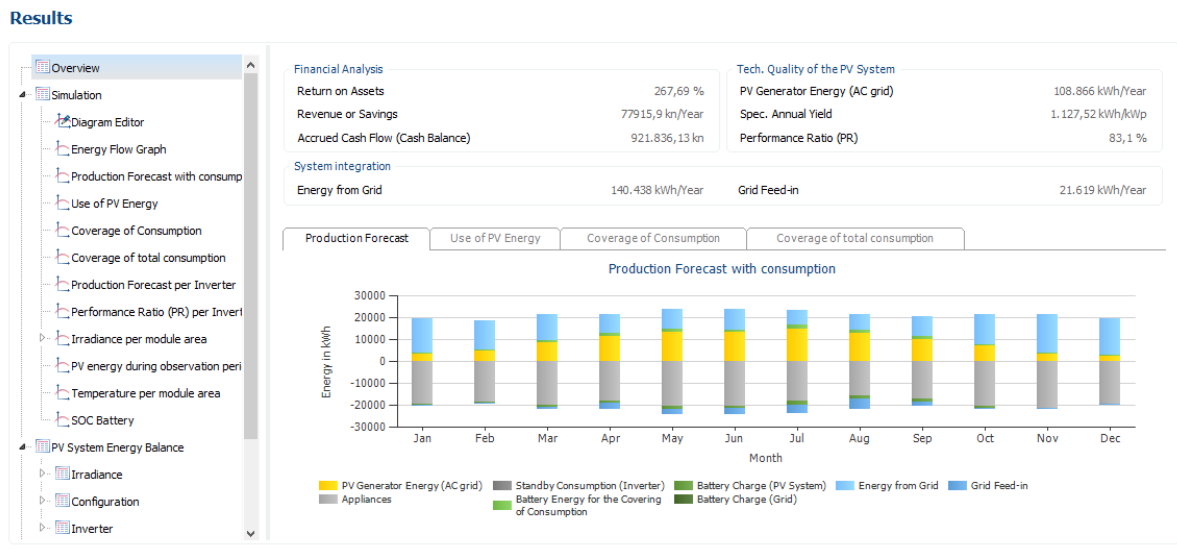
Tariff period definition a

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Jan	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Feb	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Mar	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Apr	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
May	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Jun	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Jul	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Aug	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Sep	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Oct	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Nov	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Dec	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2

Sl. 3.19. Tarifne stavke

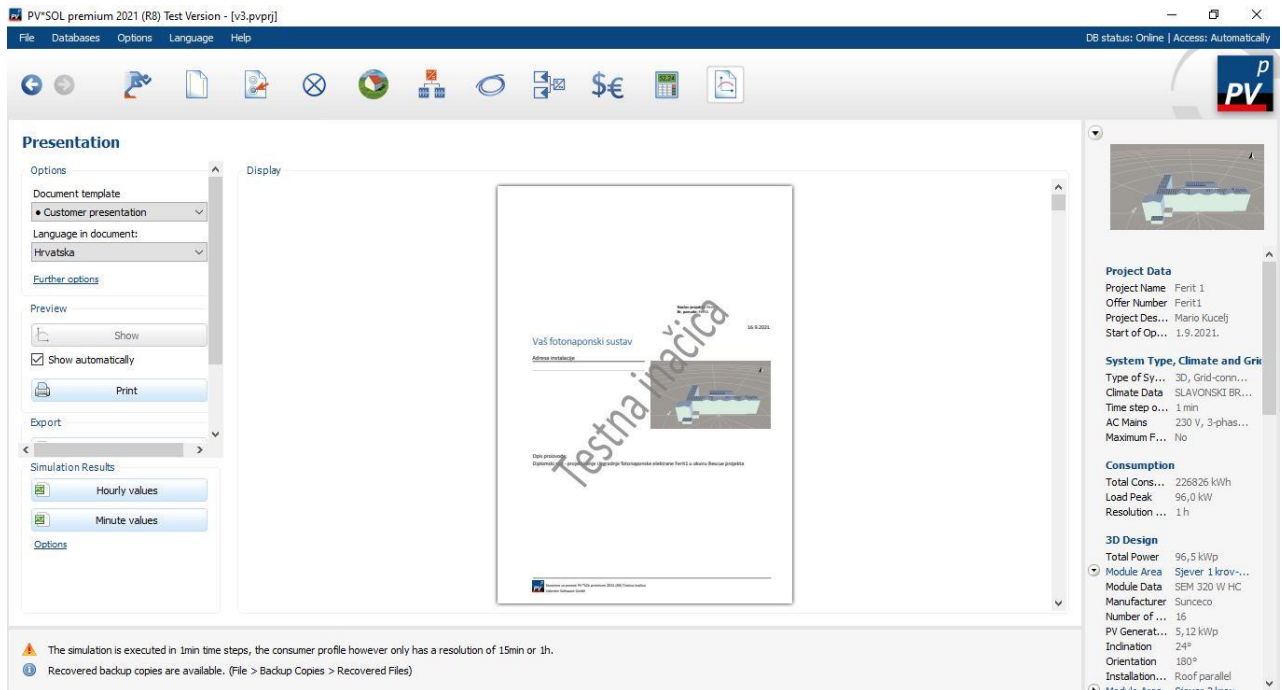
3.3.10 Rezultati

Kada su definirane tarifne stavke i finansijski podaci, klikom na ikonu *Results* pokreće se simulacija programa. Simulacija je rađena sa postavljenim vremenskim intervalom od 1 min, jer je puno preciznija. Nakon što simulacija završi pojavljuje se prikaz najvažnijih rezultata kao na slici 3.25., dok je sa lijeve strane izbornik preko kojega se može dobiti jako puno podataka poput: grafa toka energije, predviđanje proizvodnje sa potrošnjom, predviđanje proizvodnje po izmjenjivaču, podaci o gubicima, finansijska analiza, ušteta,...



Sl. 3.20. Prikaz rezultata simulacije

Klikom na ikonu *Presentation* rezultati simulacije se mogu prikazati kao prezentacija za kupca ili kao dokumentacija u .pdf ili .doc formatu. Prezentaciju je moguće kreirati na različitim jezicima koji su u bazi podataka. Osim toga, također se mogu izdvojiti u tabličnom prikazu svi rezultati simulacije za svaki sat odnosno minutu.



Sl. 3.21. Prezentacija

4. ANALIZA ISPLATIVOSTI

U programskom paketu PV Sol Premium, napravljen je projekt fotonaponske elektrane FERIT 1. Nova fotonaponska elektrana je vršne snage 80 kW sa dodatnim baterijskim sustavom snage 20 kW. U projekt je dodana i „stara“ elektrana ETFOS 1, snage 10 kW. Elektrana se nalazi na krovu zgrade fakulteta FERIT u ulici Kneza Trpimira, za zauzima gotovo cijelu površinu krova zgrade uz još 16 modula koji se nalaze na nadstrešnici za bicikle pokraj ulaza u zgradu. Elektrana će raditi paralelno s mrežom, proizvoditi će električnu energiju za vlastite potrebe, te će višak električne energije predavati u mrežu. Cijena investicije elektrane sa baterijskim sustavom iznosi 859.181,20 kn, što je detaljnije prikazano u tablici 4.1.:

Vrijednost investicije elektrane FERIT 1 sa baterijskim sustavom [kn]		
Stavka	Količina	Cijena
FN modul	270 kom	249.750,00 kn
Aluminijska podkonstrukcija	1 kompl	10.000,00 kn
Inverter 20kW	2 kom	30.000,00 kn
Inverter 10kW	2 kom	30.000,00 kn
Nadstrešnica za bicikle	1 kompl	10.000,00 kn
Hibridni inverter 5kW	4 kom	44.000,00 kn
Baterijski spremnici	4 kom	129.200,00 kn
Samostojeći razdjelnici	3 kom	30.000,00 kn
DC ormari	3 kom	7.500,00 kn
DC kabele	1.000 m	8.000,00 kn
AC kabele	825 m	60.250,00 kn
Kabel za izjednačavanje potencijala	650 m	11.000,00 kn
Mrežni kabel	800 m	12.000,00 kn
Konektori za spajanje modula	100 kom	2.500,00 kn
Instalacijski pribor	1 kompl	5.000,00 kn
Smart logger	1 kom	5.000,00 kn
Meteorološka postaja	1 kom	3.500,00 kn
Zaštitna oprema i uzemljenje	1 kompl	8.000,00 kn
Montaža i puštanje u rad	1 kompl	7.644,96 kn
Uređaj za mjerenje isporučene EE	6 kom	24.000,00 kn
Ukupno bez PDV-a		687.344,96 kn
UKUPNO		859.181,20 kn

Tablica 4.1. Troškovnik fotonaponske elektrane FERIT 1 sa baterijskim sustavom

Cijena investicije elektrane bez baterijskog sustava iznosi 690.246,10 kn, što je detaljnije prikazano u tablici 4.2.:

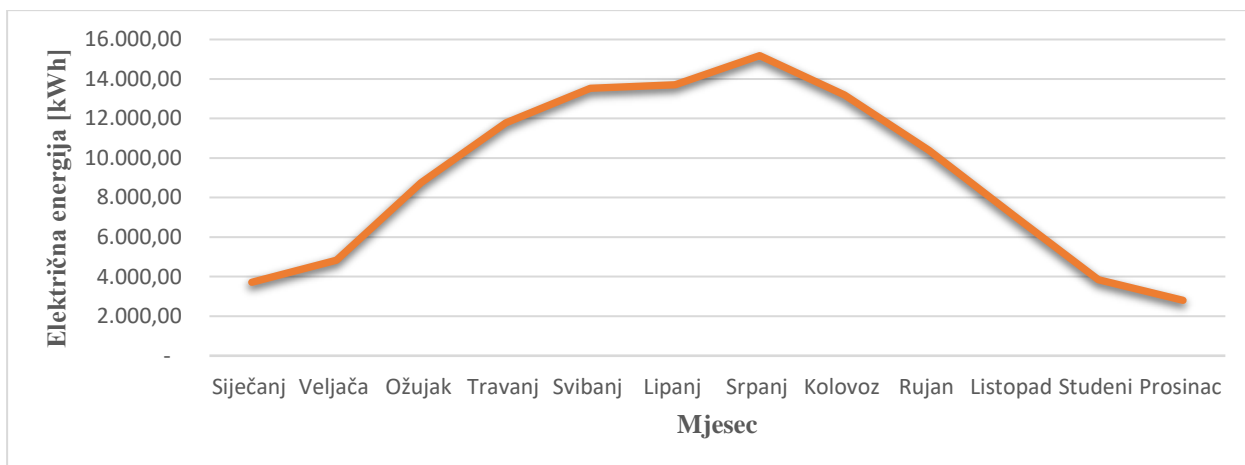
Vrijednost investicije elektrane FERIT 1 [kn]		
Stavka	Količina	Cijena
FN modul	270 kom	249.750,00 kn
Aluminijska podkonstrukcija	1 kompl	10.000,00 kn
Inverter 20kW	2 kom	30.000,00 kn
Inverter 10kW	2 kom	30.000,00 kn
Nadstrešnica za bicikle	1 kompl	10.000,00 kn
Inverter 5kW	4 kom	40.000,00 kn
Samostojeći razdjelnici	3 kom	30.000,00 kn
DC ormari	3 kom	7.500,00 kn
DC kabele	1.000 m	8.000,00 kn
AC kabele	825 m	60.250,00 kn
Kabel za izjednačavanje potencijala	650 m	11.000,00 kn
Mrežni kabel	800 m	12.000,00 kn
Konektori za spajanje modula	100 kom	2.500,00 kn
Instalacijski pribor	1 kompl	5.000,00 kn
Smart logger	1 kom	5.000,00 kn
Meteorološka postaja	1 kom	3.500,00 kn
Zaštitna oprema i uzemljenje	1 kompl	8.000,00 kn
Montaža i puštanje u rad	1 kompl	5.696,88 kn
Uređaj za mjerenje isporučene EE	6 kom	24.000,00 kn
Ukupno bez PDV-a		552.196,88 kn
UKUPNO		690.246,10 kn

Tablica 4.2. Troškovnik fotonaponske elektrane FERIT 1 bez baterijskog sustava

U nastavku će biti napravljena analiza isplativosti elektrane sa baterijskim sustavom i bez baterijskog sustava za tri slučaja:

- Izgradnja elektrane sa bez subvencije za investiciju
- Izgradnja elektrane sa 40% subvencioniranog iznosa investicije
- Izgradnja elektrane sa 100 % subvencioniranog iznosa investicije

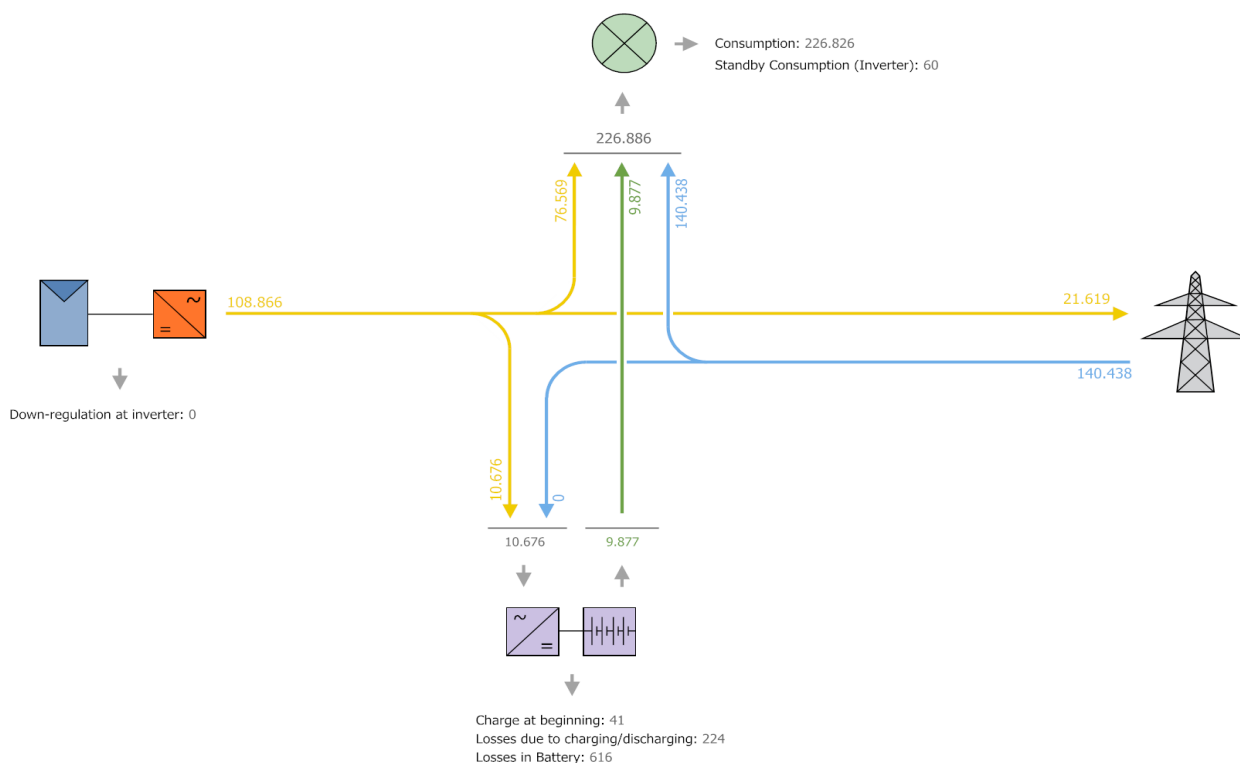
Na slici 4.1. prikazan je graf proizvodnje EE fotonaponske elektrane FERIT 1:



Sl. 4.1. Proizvodnja EE fotonaponske elektrane FERIT 1 na godišnjoj razini

4.1 Analiza isplativosti izgradnje elektrane sa baterijskim sustavom

Prema simulaciji u programu, elektrana će proizvoditi 108.866 kWh električne energije godišnje, od toga će se 76.569 kWh direktno potrošiti u zgradi, 10.676 kWh će se potrošiti na punjenje baterija dok će se 21.619 kWh isporučiti u mrežu. Potrošnja električne energije zgrade iznosi 226.826 kWh, te je namirena sa 76.569 kWh direktno iz fotonaponske elektrane, 140.438 kWh iz mreže i 9.877 kWh iz baterija. Može se primijetiti kako gubici u baterijskom sustavu iznose 799 kWh. Navedeno se može vidjeti u grafičkom prikazu tokova energije na slici 4.2.:



Sl. 4.2. Tok energije elektrane FERIT 1 sa baterijskim sustavom

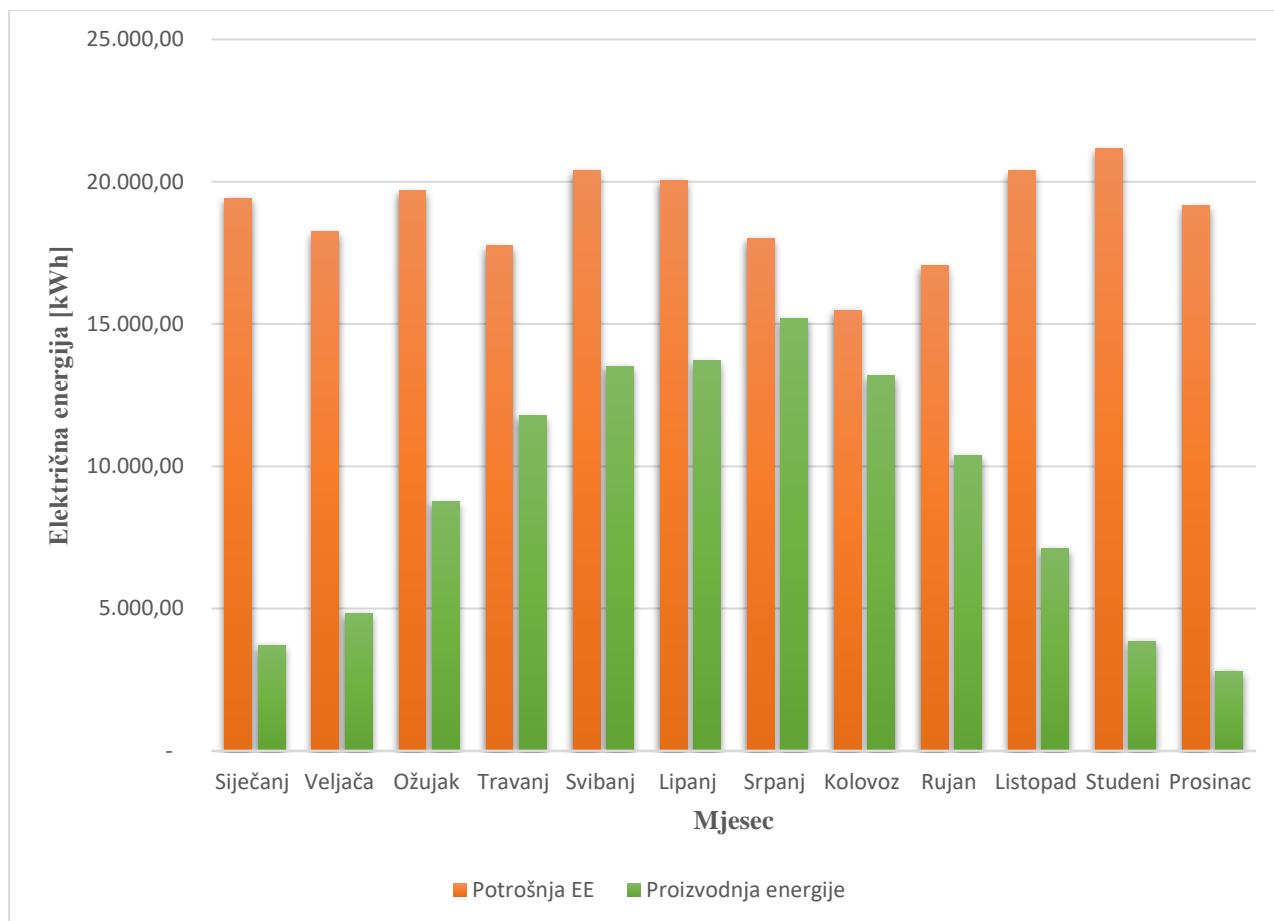
U proračune su uvršteni troškovi održavanja elektrane u iznosu od 2% investicije godišnje, te stopa inflacije također od 2% godišnje.

Tablica 4.3. prikazuje mjesečni tok električne energije za prvu godinu rada elektrane:

Mjesec	Potrošnja EE [kWh]	Neto preuzeta EE [kWh]	Proizvedena EE [kWh]	Ušteda EE [kWh]
Siječanj	19.416,74	15.706,06	3.710,68	3.710,68
Veljača	18.247,52	13.411,37	4.836,15	4.836,15
Ožujak	19.692,71	10.942,84	8.749,87	8.749,87
Travanj	17.750,60	5.970,19	11.780,41	11.780,41
Svibanj	20.387,89	6.865,73	13.522,16	13.522,16
Lipanj	20.056,52	6.351,80	13.704,72	13.704,72
Srpanj	18.023,70	2.841,48	15.182,22	15.182,22
Kolovoz	15.488,46	2.305,76	13.182,70	13.182,70
Rujan	17.056,09	6.671,49	10.384,60	10.384,60
Listopad	20.386,21	13.290,04	7.096,17	7.096,17
Studeni	21.159,23	17.306,84	3.852,39	3.852,39
Prosinac	19.160,32	16.356,69	2.803,63	2.803,63
Ukupno	226.826,00	118.020,29	108.805,69	108.805,70

Tablica 4.3. Mjesečni tok električne energije za prvu godinu rada

Iz priložene tablice 4.3. vidljivo je kako je najveća potrošnja u svibnju (20.387,89 kWh) i studenom (21.159,23 kWh), dok je najveća proizvodnja u srpnju (15.182,22 kWh). Najveća ušteda električne energije ostvaruje se u kolovozu, kada se iz mreže preuzima samo 2.305,76 kWh. U studenom kada zgrada troši najviše EE u godini, proizvodnja je gotovo najmanja. To se bolje vidi iz priloženog grafa na slici 4.3.



Sl. 4.3. Grafički prikaz toka električne energije za prvu godinu rada

Iz priloženog grafa može se vidjeti da niti jedan mjesec elektrana nije proizvela više EE od vlastite potrošnje zgrade, iako je ta razlika najmanja u srpnju i kolovozu, kada su ostvarene i najveće uštede EE.

4.1.1 Analiza isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom bez subvencije za investiciju

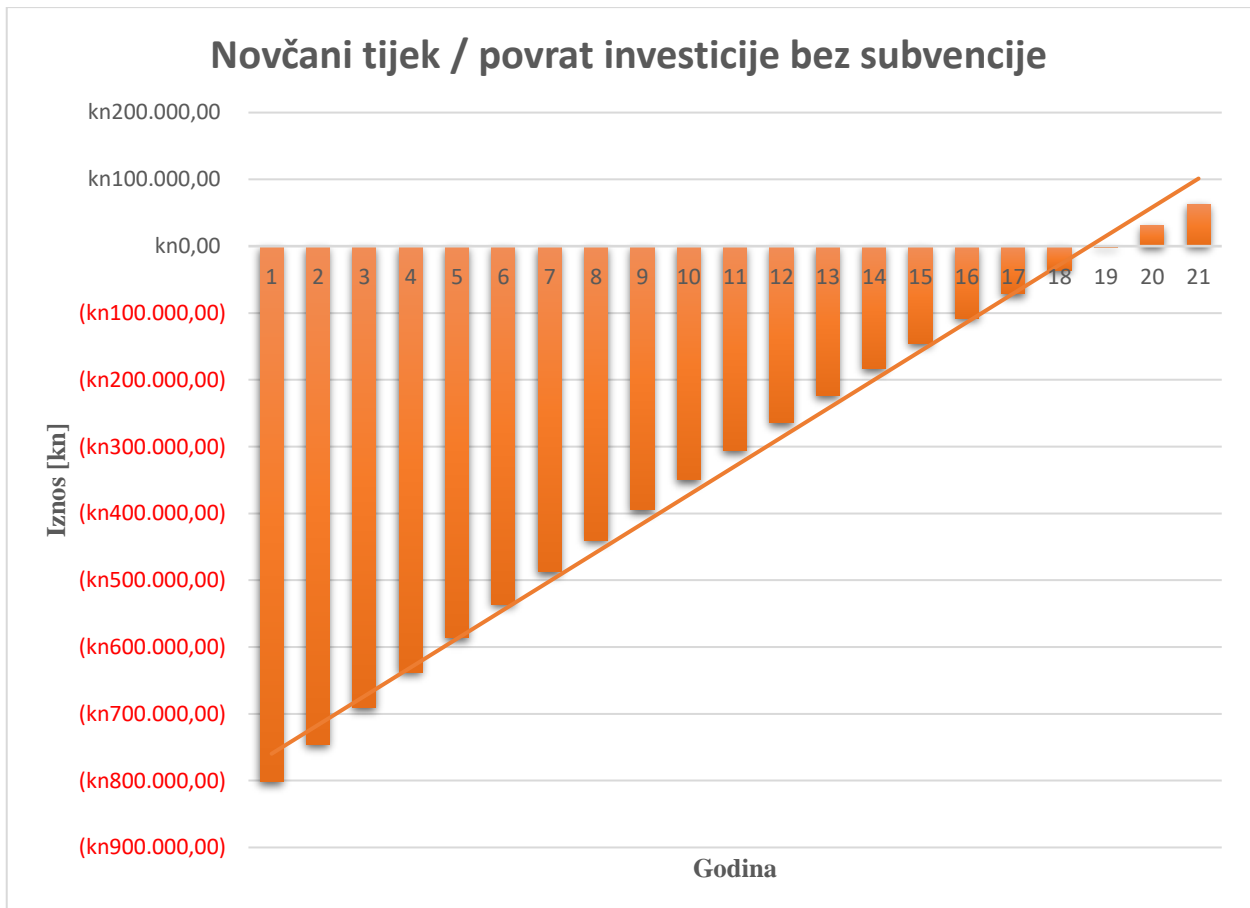
U prvom slučaju analizira se isplativost izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 1 ukoliko nema subvencije. Simulacijom u programskom paketu PV Sol Premium, nakon unosa bitnih parametara poput troška električne energije, vrijednosti investicije te troškova održavanja, u kombinaciji sa proračunom proizvodnje električne energije, dobiveni su sljedeći rezultati:

Godina	Investicija	Troškovi održavanja	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energije	Godišnja tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-859.181,20 kn	-16.365,36 kn	7.434,79 kn	66.770,87 kn	-801.340,90 kn	-801.340,90 kn
2	0,00 kn	-15.897,77 kn	7.223,67 kn	64.863,13 kn	56.189,03 kn	-745.151,87 kn
3	0,00 kn	-15.443,55 kn	7.018,55 kn	63.009,90 kn	54.584,89 kn	-690.566,98 kn
4	0,00 kn	-15.002,31 kn	6.819,25 kn	61.209,62 kn	53.026,56 kn	-637.540,42 kn
5	0,00 kn	-14.573,67 kn	6.625,61 kn	59.460,76 kn	51.512,70 kn	-586.027,72 kn
6	0,00 kn	-14.157,28 kn	6.437,47 kn	57.761,90 kn	50.042,09 kn	-535.985,63 kn
7	0,00 kn	-13.752,79 kn	6.254,67 kn	56.111,53 kn	48.613,42 kn	-487.372,21 kn
8	0,00 kn	-13.359,85 kn	6.077,07 kn	54.508,38 kn	47.225,60 kn	-440.146,62 kn
9	0,00 kn	-12.978,14 kn	5.904,50 kn	52.950,96 kn	45.877,33 kn	-394.269,29 kn
10	0,00 kn	-12.607,34 kn	5.736,84 kn	51.438,11 kn	44.567,62 kn	-349.701,67 kn
11	0,00 kn	-12.247,13 kn	5.573,94 kn	49.968,42 kn	43.295,23 kn	-306.406,44 kn
12	0,00 kn	-11.897,21 kn	5.415,66 kn	48.540,75 kn	42.059,21 kn	-264.347,23 kn
13	0,00 kn	-11.557,29 kn	5.261,88 kn	47.153,90 kn	40.858,49 kn	-223.488,74 kn
14	0,00 kn	-11.227,08 kn	5.112,46 kn	45.806,65 kn	39.692,03 kn	-183.796,71 kn
15	0,00 kn	-10.906,31 kn	4.967,29 kn	44.497,88 kn	38.558,87 kn	-145.237,85 kn
16	0,00 kn	-10.594,70 kn	4.826,24 kn	43.226,49 kn	37.458,04 kn	-107.779,81 kn
17	0,00 kn	-10.291,99 kn	4.689,20 kn	41.991,47 kn	36.388,67 kn	-71.391,14 kn
18	0,00 kn	-9.997,93 kn	4.556,04 kn	40.791,69 kn	35.349,80 kn	-36.041,34 kn
19	0,00 kn	-9.712,28 kn	4.426,67 kn	39.626,22 kn	34.340,61 kn	-1.700,72 kn
20	0,00 kn	-9.434,79 kn	4.300,97 kn	38.494,05 kn	33.360,23 kn	31.659,51 kn
21	0,00 kn	-9.165,22 kn	2.766,44 kn	37.394,21 kn	30.995,43 kn	62.654,93 kn

Tablica 4.4. Tijek novca za FN elektranu FERIT 1 u slučaju bez subvencije

Tablica 4.4. prikazuje novčani tok fotonaponske elektrane FERIT 1. Iznos investicije je 859.181,20 kn i nije subvencioniran. Troškovi održavanja su 2% investicije godišnje. Može se primijetiti kako ušteda ostvarena na kupnji električne energije iz mreže pada kroz godine zbog

starenja opreme i sve manje proizvodnje električne energije, te u konačnici iznosi 1.065.576,89 kn. Iznos dobiven za predaju EE u mrežu se također smanjuje kroz godine zbog starenja opreme i sve većih gubitaka i iznosi 117.429,21 kn. Povrat investicije ostvaren je kroz period od 19 godina, te na kraju promatranog perioda od 21 godine, fotonaponska elektrana je zaradila 62.654,93 kn. Na slici 4.4. grafički je prikazan period povrata investicije:



Sl. 4.4. Grafički prikaz novčanog tijeka / povrata investicije sa 0% subvencije

4.1.2 Analiza isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom uz 40% subvencije

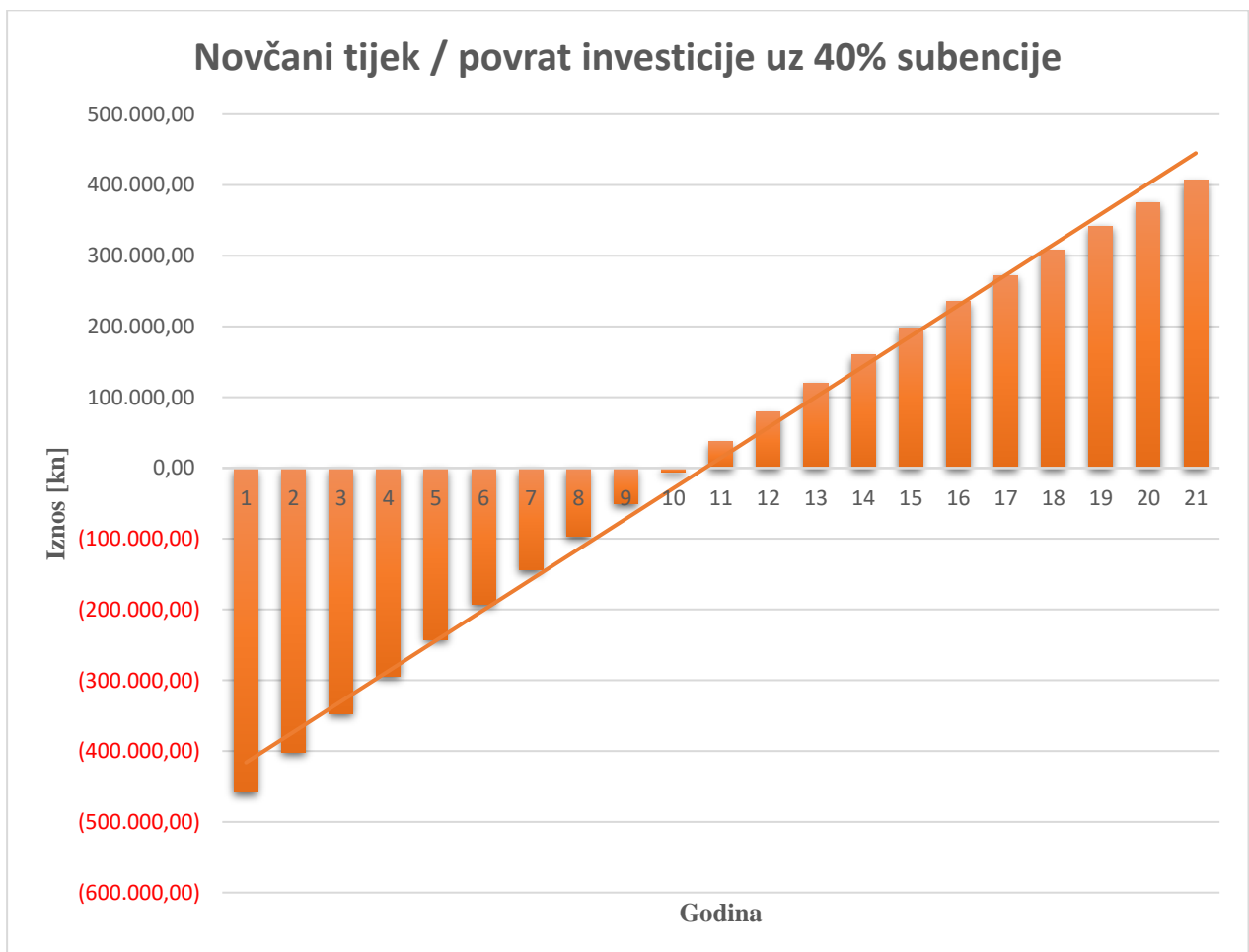
U drugom slučaju analizira se isplativost izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 1 uz državnu subvenciju u iznosu od 40% iznosa investicije. Simulacija je također rađena u programskom paketu PV Sol Premium. Svi ostali parametri su ostali isti kao u prethodnom slučaju. Dobiveni su sljedeći rezultati simulacije:

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 40% investicije	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energije	Godišnja tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-859.181,20 kn	-16.365,36 kn	343.672,48 kn	7.434,79 kn	66.770,87 kn	-457.668,42 kn	-457.668,42 kn
2	0,00 kn	-15.897,77 kn	0,00 kn	7.223,67 kn	64.863,13 kn	56.189,03 kn	-401.479,39 kn
3	0,00 kn	-15.443,55 kn	0,00 kn	7.018,55 kn	63.009,90 kn	54.584,89 kn	-346.894,50 kn
4	0,00 kn	-15.002,31 kn	0,00 kn	6.819,25 kn	61.209,62 kn	53.026,56 kn	-293.867,94 kn
5	0,00 kn	-14.573,67 kn	0,00 kn	6.625,61 kn	59.460,76 kn	51.512,70 kn	-242.355,24 kn
6	0,00 kn	-14.157,28 kn	0,00 kn	6.437,47 kn	57.761,90 kn	50.042,09 kn	-192.313,15 kn
7	0,00 kn	-13.752,79 kn	0,00 kn	6.254,67 kn	56.111,53 kn	48.613,42 kn	-143.699,73 kn
8	0,00 kn	-13.359,85 kn	0,00 kn	6.077,07 kn	54.508,38 kn	47.225,60 kn	-96.474,14 kn
9	0,00 kn	-12.978,14 kn	0,00 kn	5.904,50 kn	52.950,96 kn	45.877,33 kn	-50.596,81 kn
10	0,00 kn	-12.607,34 kn	0,00 kn	5.736,84 kn	51.438,11 kn	44.567,62 kn	-6.029,19 kn
11	0,00 kn	-12.247,13 kn	0,00 kn	5.573,94 kn	49.968,42 kn	43.295,23 kn	37.266,04 kn
12	0,00 kn	-11.897,21 kn	0,00 kn	5.415,66 kn	48.540,75 kn	42.059,21 kn	79.325,25 kn
13	0,00 kn	-11.557,29 kn	0,00 kn	5.261,88 kn	47.153,90 kn	40.858,49 kn	120.183,74 kn
14	0,00 kn	-11.227,08 kn	0,00 kn	5.112,46 kn	45.806,65 kn	39.692,03 kn	159.875,77 kn
15	0,00 kn	-10.906,31 kn	0,00 kn	4.967,29 kn	44.497,88 kn	38.558,87 kn	198.434,63 kn
16	0,00 kn	-10.594,70 kn	0,00 kn	4.826,24 kn	43.226,49 kn	37.458,04 kn	235.892,67 kn
17	0,00 kn	-10.291,99 kn	0,00 kn	4.689,20 kn	41.991,47 kn	36.388,67 kn	272.281,34 kn
18	0,00 kn	-9.997,93 kn	0,00 kn	4.556,04 kn	40.791,69 kn	35.349,80 kn	307.631,14 kn
19	0,00 kn	-9.712,28 kn	0,00 kn	4.426,67 kn	39.626,22 kn	34.340,61 kn	341.971,76 kn
20	0,00 kn	-9.434,79 kn	0,00 kn	4.300,97 kn	38.494,05 kn	33.360,23 kn	375.331,99 kn
21	0,00 kn	-9.165,22 kn	0,00 kn	2.766,44 kn	37.394,21 kn	30.995,43 kn	406.327,41 kn

Tablica 4.5. Tijek novca za FN elektranu FERIT 1 u slučaju sa 40% subvencije

Tablica 4.5. prikazuje novčani tok fotonaponske elektrane FERIT 1. Iznos investicije je 859.181,20 kn i subvencioniran je sa 40%. Iznos državne subvencije je 343.672,48kn. Kao i u prethodnom slučaju, troškovi održavanja su 2% investicije godišnje. Također, može se primijetiti

kako ušteda ostvarena na kupnji električne energije iz mreže kao i zarada ostvarena na predaji viške EE u mrežu, pada kroz godine zbog starenja opreme i sve manje proizvodnje električne energije, i u konačnici iznosi isto kao i u prethodnom slučaju ukupno 1.183.006,10 kn. Povrat investicije ostvaren je kroz period od 10,1 godina, te na kraju promatranog perioda od 21 godine, fotonaponska elektrana je zaradila 406.327,41 kn. Slika 4.5. grafički prikazuje tijek novca, odnosno period povrata investicije:



Sl. 4.5. Grafički prikaz novčanog tijeka / povrata investicije sa 40% subvencije

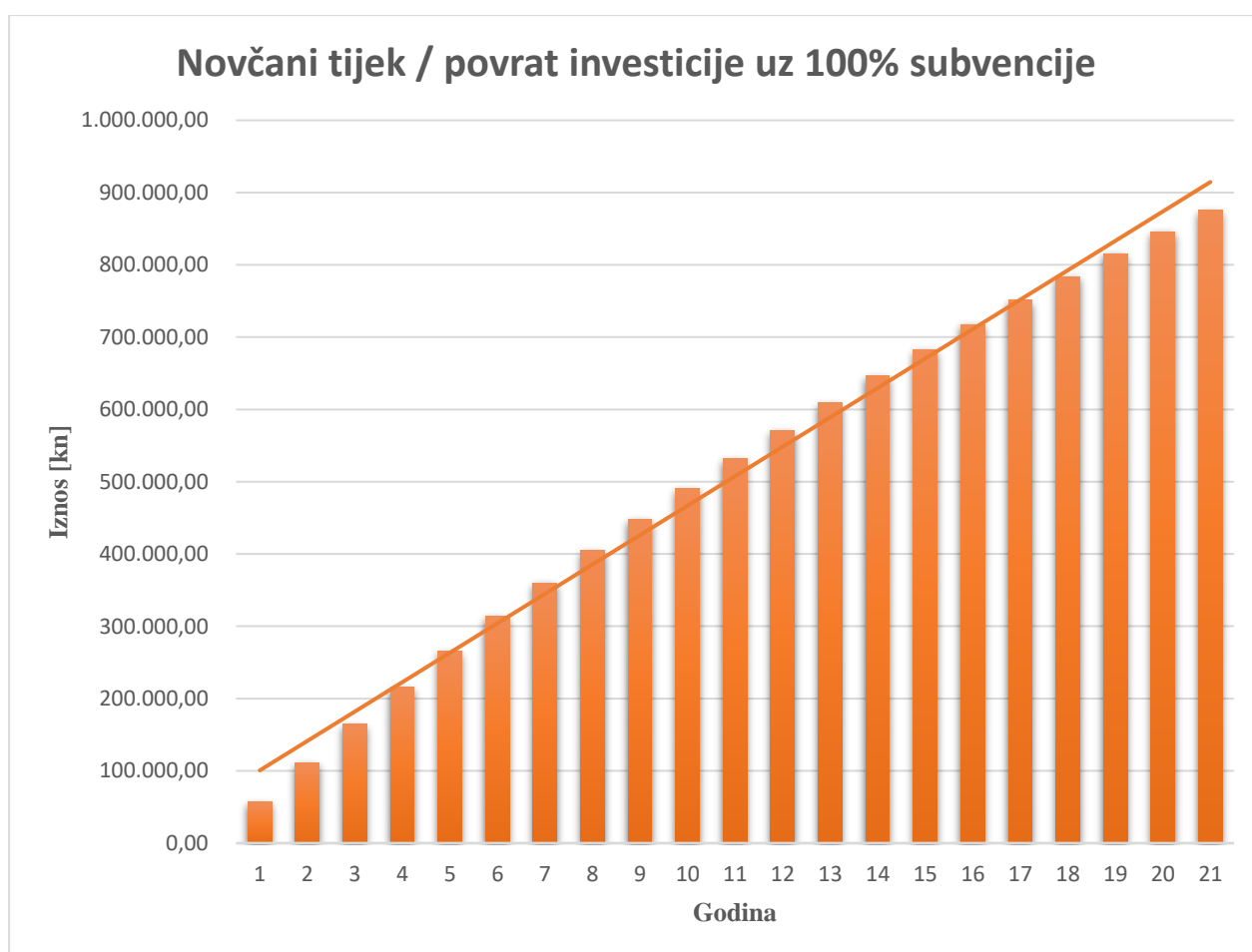
4.1.3 Analiza isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom uz 100% subvencije

U trećem slučaju analizirana je isplativost izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 1 uz državnu subvenciju u iznosu od 100% iznosa investicije. Ova slučaj zapravo najbolje opisuje elektranu FERIT 1 jer je ona potpuno subvencionirana preko EU fondova u okviru Rescue projekta, kao što to govori i sam naziv diplomskog rada. Simulacija je i za ovaj slučaj rađena u programskom paketu PV Sol Premium. Svi ostali parametri su ostali isti kao u prethodnom slučaju. Dobiveni su sljedeći rezultati simulacije:

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 40% investicije	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energije	Godišnja tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-859.181,20 kn	-16.365,36 kn	859.181,20 kn	7.434,79 kn	66.770,87 kn	57.840,30 kn	57.840,30 kn
2	0,00 kn	-15.897,77 kn	0,00 kn	7.223,67 kn	64.863,13 kn	56.189,03 kn	114.029,33 kn
3	0,00 kn	-15.443,55 kn	0,00 kn	7.018,55 kn	63.009,90 kn	54.584,89 kn	168.614,22 kn
4	0,00 kn	-15.002,31 kn	0,00 kn	6.819,25 kn	61.209,62 kn	53.026,56 kn	221.640,78 kn
5	0,00 kn	-14.573,67 kn	0,00 kn	6.625,61 kn	59.460,76 kn	51.512,70 kn	273.153,48 kn
6	0,00 kn	-14.157,28 kn	0,00 kn	6.437,47 kn	57.761,90 kn	50.042,09 kn	323.195,57 kn
7	0,00 kn	-13.752,79 kn	0,00 kn	6.254,67 kn	56.111,53 kn	48.613,42 kn	371.808,99 kn
8	0,00 kn	-13.359,85 kn	0,00 kn	6.077,07 kn	54.508,38 kn	47.225,60 kn	419.034,58 kn
9	0,00 kn	-12.978,14 kn	0,00 kn	5.904,50 kn	52.950,96 kn	45.877,33 kn	464.911,91 kn
10	0,00 kn	-12.607,34 kn	0,00 kn	5.736,84 kn	51.438,11 kn	44.567,62 kn	509.479,53 kn
11	0,00 kn	-12.247,13 kn	0,00 kn	5.573,94 kn	49.968,42 kn	43.295,23 kn	552.774,76 kn
12	0,00 kn	-11.897,21 kn	0,00 kn	5.415,66 kn	48.540,75 kn	42.059,21 kn	594.833,97 kn
13	0,00 kn	-11.557,29 kn	0,00 kn	5.261,88 kn	47.153,90 kn	40.858,49 kn	635.692,46 kn
14	0,00 kn	-11.227,08 kn	0,00 kn	5.112,46 kn	45.806,65 kn	39.692,03 kn	675.384,49 kn
15	0,00 kn	-10.906,31 kn	0,00 kn	4.967,29 kn	44.497,88 kn	38.558,87 kn	713.943,35 kn
16	0,00 kn	-10.594,70 kn	0,00 kn	4.826,24 kn	43.226,49 kn	37.458,04 kn	751.401,39 kn
17	0,00 kn	-10.291,99 kn	0,00 kn	4.689,20 kn	41.991,47 kn	36.388,67 kn	787.790,06 kn
18	0,00 kn	-9.997,93 kn	0,00 kn	4.556,04 kn	40.791,69 kn	35.349,80 kn	823.139,86 kn
19	0,00 kn	-9.712,28 kn	0,00 kn	4.426,67 kn	39.626,22 kn	34.340,61 kn	857.480,48 kn
20	0,00 kn	-9.434,79 kn	0,00 kn	4.300,97 kn	38.494,05 kn	33.360,23 kn	890.840,71 kn
21	0,00 kn	-9.165,22 kn	0,00 kn	2.766,44 kn	37.394,21 kn	30.995,43 kn	921.836,13 kn

Tablica 4.6. Tijek novca za FN elektranu FERIT 1 u slučaju sa 100% subvencije

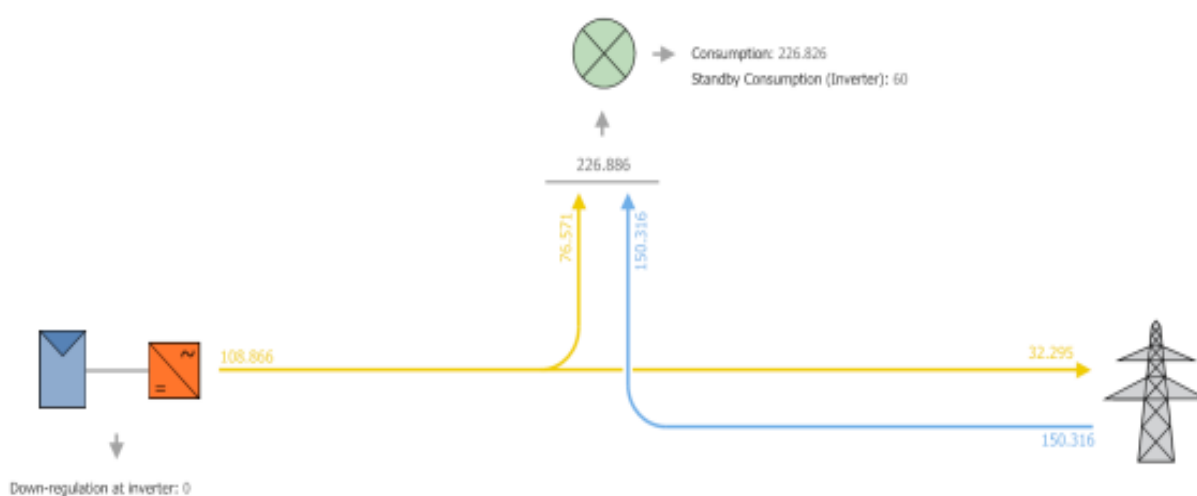
Tablica 4.6. prikazuje novčani tok fotonaponske elektrane FERIT 1. Iznos investicije je 859.181,20 kn i subvencioniran je sa 100%. Kao i u oba prethodna slučaja, troškovi održavanja su 2% investicije godišnje. Ukupna ušteda ostvarena na kupnji i prodaji viška električne energije iznosi isto kao i u prethodna dva slučaja, 1.183.006,10 kn. Povrata investicije nema, tj. iznosi 0 godina jer je fotonaponska elektrana u potpunosti subvencionirana. Na kraju promatranog perioda od 21 godine, fotonaponska elektrana je zaradila 921.836,13 kn. Na slici 4.6. grafički je prikazan tijek novca, odnosno period povrata investicije:



Sl. 4.6. Grafički prikaz novčanog tijeka / povrata investicije sa 100% subvencije

4.2 Analiza isplativosti izgradnje elektrane bez baterijskog sustava

U ovom poglavlju promatra se isplativost izgradnje ukoliko elektrana nema baterijski sustav. Prema simulaciji u programu, elektrana proizvodi kao i u prethodnom slučaju, 108.866 kWh električne energije godišnje, od toga će se 76.571 kWh direktno potrošiti u zgradi, dok će se 32.295 kWh isporučiti u mrežu. Potrošnja električne energije zgrade iznosi 226.886 kWh, te je namirena sa 76.571 kWh direktno iz fotonaponske elektrane i 150.316 kWh iz mreže. Navedeno se može vidjeti u grafičkom prikazu tokova energije na slici 4.8.:



Sl. 4.7. Tok energije fotonaponske elektrane FERIT 1 bez baterijskog sustava

U proračune su uvršteni troškovi održavanja elektrane u iznosu od 2% investicije godišnje, te stopa inflacije također od 2% godišnje.

U Tablici 4.3. ranije u radu, prikazan je mjesečni tok električne energije za prvu godinu rada elektrane sa baterijskim sustavom. Zbog ograničenja programa, koji uštedu električne energije računa kao razliku ukupno potrošene energije u zgradi i ukupno proizvedene energije u elektrani, rezultati po programu su identični i za slučaj bez baterija, iako je stvarna razlika ta da je u mrežu predano 32.295 kWh, a povučeno iz mreže 150.316 kWh, što odgovara razlici koliko je ušlo odnosno izašlo iz baterija

4.2.1 Analiza isplativosti FN elektrane bez baterijskog sustava i bez subvencije za investiciju

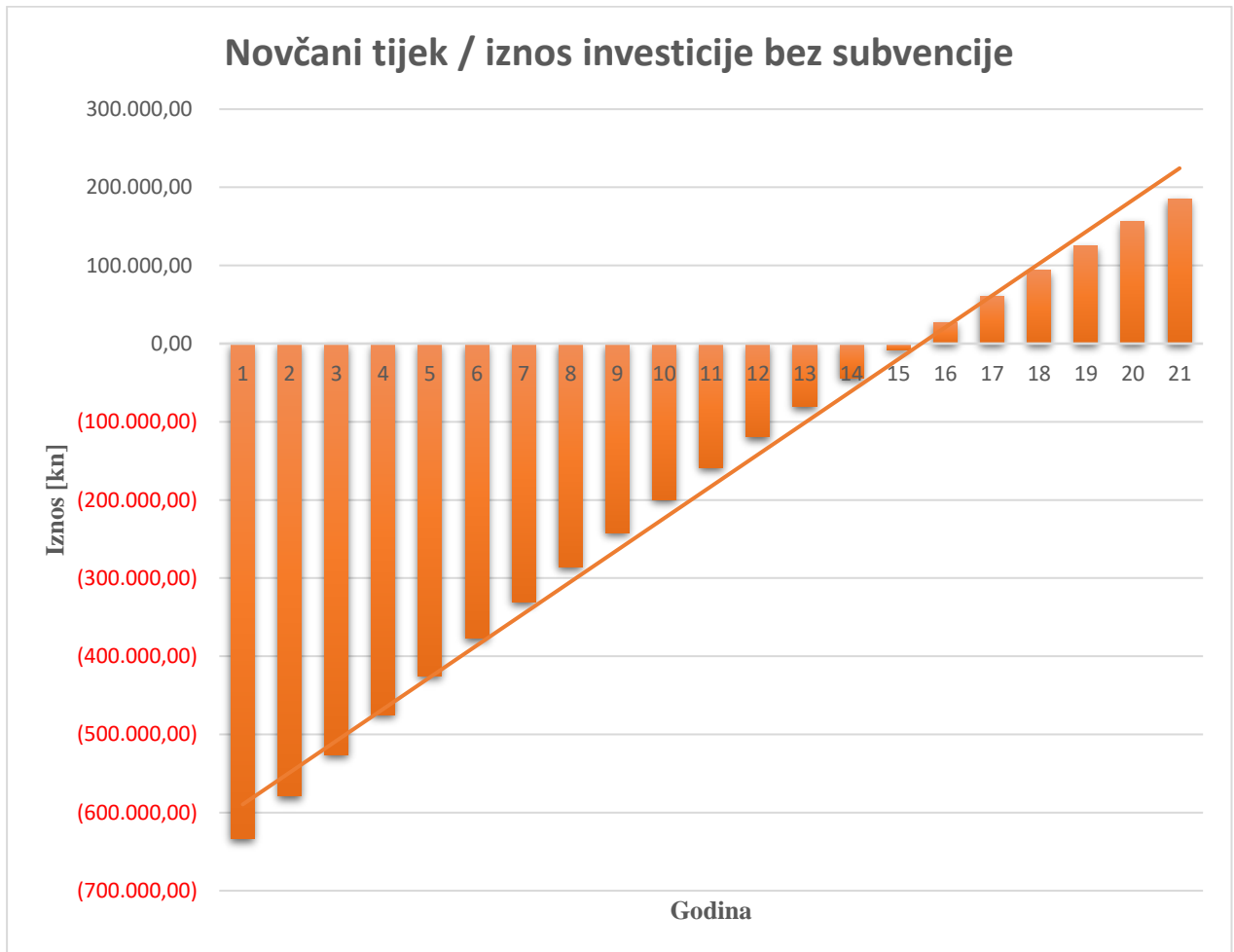
U prvom slučaju analizira se isplativost izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 1 ukoliko nema subvencije. Simulacijom u programskom paketu PV Sol Premium, nakon unosa bitnih parametara poput troška električne energije, vrijednosti investicije te troškova održavanja, u kombinaciji sa proračunom proizvodnje električne energije, dobiveni su sljedeći rezultati:

Godina	Investicija	Troškovi održavanja	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energije	Godišnja tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-690.246,10 kn	-13.147,54 kn	10.965,02 kn	58.766,74 kn	-633.661,89 kn	-633.661,89 kn
2	0,00 kn	-12.771,90 kn	10.442,87 kn	57.087,69 kn	54.758,66 kn	-578.903,22 kn
3	0,00 kn	-12.406,99 kn	9.945,59 kn	55.456,62 kn	52.995,22 kn	-525.908,00 kn
4	0,00 kn	-12.052,50 kn	9.471,99 kn	53.872,14 kn	51.291,63 kn	-474.616,37 kn
5	0,00 kn	-11.708,15 kn	9.020,95 kn	52.332,93 kn	49.645,73 kn	-424.970,64 kn
6	0,00 kn	-11.373,63 kn	8.591,38 kn	50.837,72 kn	48.055,47 kn	-376.915,18 kn
7	0,00 kn	-11.048,67 kn	8.182,26 kn	49.385,19 kn	46.518,78 kn	-330.396,39 kn
8	0,00 kn	-10.732,99 kn	7.792,63 kn	47.974,21 kn	45.033,85 kn	-285.362,54 kn
9	0,00 kn	-10.426,33 kn	7.421,55 kn	46.603,49 kn	43.598,71 kn	-241.763,83 kn
10	0,00 kn	-10.128,44 kn	7.068,15 kn	45.271,99 kn	42.211,70 kn	-199.552,13 kn
11	0,00 kn	-9.839,05 kn	6.731,57 kn	43.978,48 kn	40.870,99 kn	-158.681,13 kn
12	0,00 kn	-9.557,94 kn	6.411,02 kn	42.721,95 kn	39.575,03 kn	-119.106,10 kn
13	0,00 kn	-9.284,86 kn	6.105,73 kn	41.501,34 kn	38.322,22 kn	-80.783,88 kn
14	0,00 kn	-9.019,57 kn	5.814,98 kn	40.315,60 kn	37.111,00 kn	-43.672,88 kn
15	0,00 kn	-8.761,87 kn	5.538,08 kn	39.163,72 kn	35.939,92 kn	-7.732,95 kn
16	0,00 kn	-8.511,53 kn	5.274,36 kn	38.044,74 kn	34.807,57 kn	27.074,62 kn
17	0,00 kn	-8.268,35 kn	5.023,20 kn	36.957,76 kn	33.712,62 kn	60.787,23 kn
18	0,00 kn	-8.032,11 kn	4.784,00 kn	35.901,81 kn	32.653,70 kn	93.440,93 kn
19	0,00 kn	-7.802,62 kn	4.556,19 kn	34.876,05 kn	31.629,62 kn	125.070,55 kn
20	0,00 kn	-7.579,69 kn	4.339,23 kn	33.879,59 kn	30.639,13 kn	155.709,69 kn
21	0,00 kn	-7.363,12 kn	4.132,60 kn	32.911,60 kn	29.681,07 kn	185.390,76 kn

Tablica 4.7. Tijek novca za FN elektranu FERIT 1 u slučaju bez subvencije

U tablici 4.7. prikazan je novčani tok fotonaponske elektrane FERIT 1. Vrijednost investicije iznosi 690.246,10 kn i nije subvencionirana. Ušteda ostvarena na kupnji električne energije iznosi 937.841,36 kn. Zarada na prodaji viška električne energije iznosi 147.613,35 kn. Troškovi

održavanja su 2% investicije godišnje. Period povrata investicije iznosi 15,2 godina, te na kraju promatranog perioda od 21 godine, fotonaponska elektrana je zaradila 185.390,76 kn. Na slici 4.8. grafički je prikazan period povrata investicije:



Sl. 4.8. Grafički prikaz novčanog tijeka / povrata investicije sa 0% subvencije

4.2.2 Analiza isplativosti FN elektrane bez baterijskog sustava uz 40% subvencije

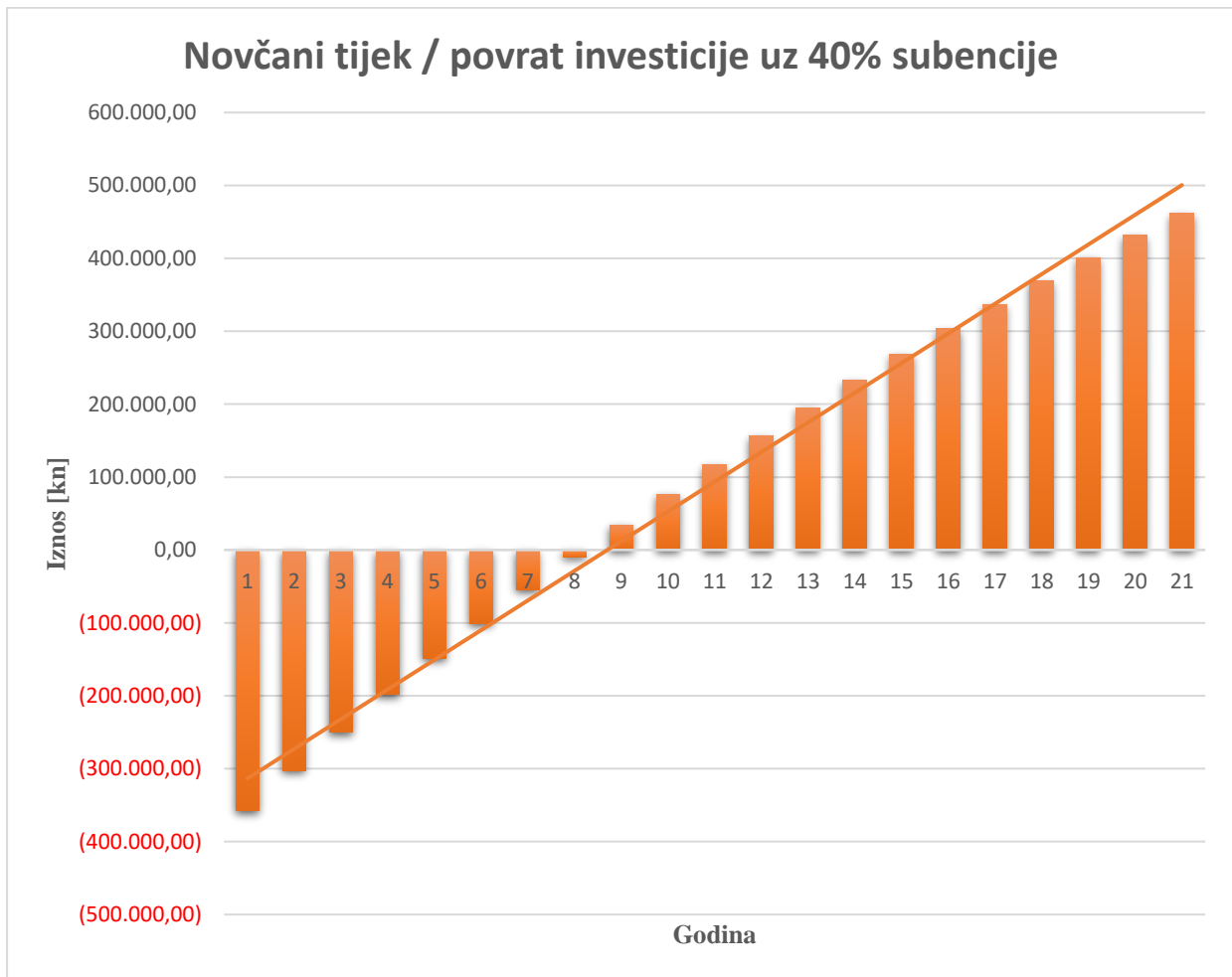
U drugom slučaju analizira se isplativost izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 1 bez baterijskog sustava uz državnu subvenciju u iznosu od 40% iznosa investicije. Simulacija je također rađena u programskom paketu PV Sol Premium. Svi ostali parametri su ostali isti kao u prethodnom slučaju. Dobiveni su sljedeći rezultati simulacije:

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 40% investicije	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energije	Godišnja tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-690.246,10 kn	-13.147,54 kn	276.098,44 kn	10.965,02 kn	58.766,74 kn	-357.563,45 kn	-357.563,45 kn
2	0,00 kn	-12.771,90 kn	0,00 kn	10.442,87 kn	57.087,69 kn	54.758,66 kn	-302.804,78 kn
3	0,00 kn	-12.406,99 kn	0,00 kn	9.945,59 kn	55.456,62 kn	52.995,22 kn	-249.809,56 kn
4	0,00 kn	-12.052,50 kn	0,00 kn	9.471,99 kn	53.872,14 kn	51.291,63 kn	-198.517,93 kn
5	0,00 kn	-11.708,15 kn	0,00 kn	9.020,95 kn	52.332,93 kn	49.645,73 kn	-148.872,20 kn
6	0,00 kn	-11.373,63 kn	0,00 kn	8.591,38 kn	50.837,72 kn	48.055,47 kn	-100.816,74 kn
7	0,00 kn	-11.048,67 kn	0,00 kn	8.182,26 kn	49.385,19 kn	46.518,78 kn	-54.297,95 kn
8	0,00 kn	-10.732,99 kn	0,00 kn	7.792,63 kn	47.974,21 kn	45.033,85 kn	-9.264,10 kn
9	0,00 kn	-10.426,33 kn	0,00 kn	7.421,55 kn	46.603,49 kn	43.598,71 kn	34.334,61 kn
10	0,00 kn	-10.128,44 kn	0,00 kn	7.068,15 kn	45.271,99 kn	42.211,70 kn	76.546,31 kn
11	0,00 kn	-9.839,05 kn	0,00 kn	6.731,57 kn	43.978,48 kn	40.870,99 kn	117.417,31 kn
12	0,00 kn	-9.557,94 kn	0,00 kn	6.411,02 kn	42.721,95 kn	39.575,03 kn	156.992,34 kn
13	0,00 kn	-9.284,86 kn	0,00 kn	6.105,73 kn	41.501,34 kn	38.322,22 kn	195.314,56 kn
14	0,00 kn	-9.019,57 kn	0,00 kn	5.814,98 kn	40.315,60 kn	37.111,00 kn	232.425,56 kn
15	0,00 kn	-8.761,87 kn	0,00 kn	5.538,08 kn	39.163,72 kn	35.939,92 kn	268.365,49 kn
16	0,00 kn	-8.511,53 kn	0,00 kn	5.274,36 kn	38.044,74 kn	34.807,57 kn	303.173,06 kn
17	0,00 kn	-8.268,35 kn	0,00 kn	5.023,20 kn	36.957,76 kn	33.712,62 kn	336.885,67 kn
18	0,00 kn	-8.032,11 kn	0,00 kn	4.784,00 kn	35.901,81 kn	32.653,70 kn	369.539,37 kn
19	0,00 kn	-7.802,62 kn	0,00 kn	4.556,19 kn	34.876,05 kn	31.629,62 kn	401.168,99 kn
20	0,00 kn	-7.579,69 kn	0,00 kn	4.339,23 kn	33.879,59 kn	30.639,13 kn	431.808,13 kn
21	0,00 kn	-7.363,12 kn	0,00 kn	4.132,60 kn	32.911,60 kn	29.681,07 kn	461.489,20 kn

Tablica 4.8. Tijek novca za FN elektranu FERIT 1 u slučaju sa 40% subvencije

U tablici 4.8. prikazan je novčani tijek fotonaponske elektrane FERIT 1. Iznos investicije je 690.246,10 kn i subvencioniran je sa 40%. Iznos državne subvencije je 276.098,44kn. Kao i u prethodnom slučaju, troškovi održavanja su 2% investicije godišnje. Također, može se primijetiti

kako ušteda ostvarena na kupnji električne energije iz mreže kao i zarada ostvarena na predaji viške EE u mrežu, pada kroz godine zbog starenja opreme i sve manje proizvodnje električne energije, i u konačnici iznosi isto kao i u prethodnom slučaju ukupno 1.085.006,10 kn. Period povrata investicije iznosi 8,2 godine, te na kraju promatranog perioda od 21 godine, fotonaponska elektrana je zaradila 461.489,20 kn. Slika 4.9. grafički prikazuje tijek novca, odnosno period povrata investicije:



Sl. 4.9. Grafički prikaz novčanog tijeka / povrata investicije sa 40% subvencije

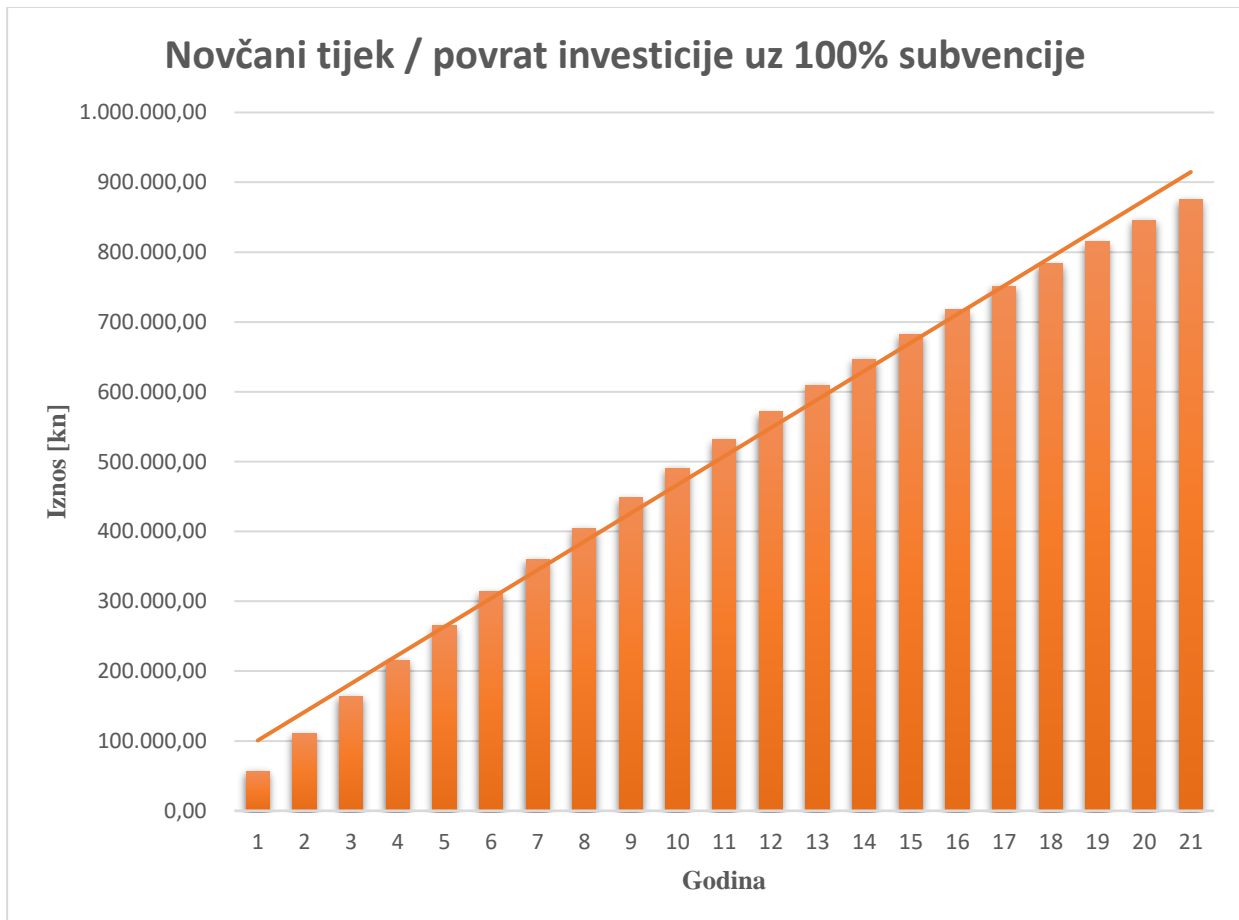
4.2.3 Analiza isplativosti FN elektrane bez baterijskog sustava uz 100% subvencije

U trećem slučaju napravljena je analiza isplativost izgradnje fotonaponske elektrane FERIT 1 bez baterijskog sustava uz državnu subvenciju u iznosu od 100% iznosa investicije. Svi ostali parametri su ostali isti kao u prethodnom slučaju. Dobiveni su sljedeći rezultati simulacije:

Godina	Investicija	Troškovi rada	Subvencija 40% investicije	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energije	Godišnja tijek novca	Kumulativni novčani tijek
1	-690.246,10 kn	-13.147,54 kn	690.246,10 kn	10.965,02 kn	58.766,74 kn	56.584,21 kn	56.584,21 kn
2	0,00 kn	-12.771,90 kn	0,00 kn	10.442,87 kn	57.087,69 kn	54.758,66 kn	111.342,88 kn
3	0,00 kn	-12.406,99 kn	0,00 kn	9.945,59 kn	55.456,62 kn	52.995,22 kn	164.338,10 kn
4	0,00 kn	-12.052,50 kn	0,00 kn	9.471,99 kn	53.872,14 kn	51.291,63 kn	215.629,73 kn
5	0,00 kn	-11.708,15 kn	0,00 kn	9.020,95 kn	52.332,93 kn	49.645,73 kn	265.275,46 kn
6	0,00 kn	-11.373,63 kn	0,00 kn	8.591,38 kn	50.837,72 kn	48.055,47 kn	313.330,92 kn
7	0,00 kn	-11.048,67 kn	0,00 kn	8.182,26 kn	49.385,19 kn	46.518,78 kn	359.849,71 kn
8	0,00 kn	-10.732,99 kn	0,00 kn	7.792,63 kn	47.974,21 kn	45.033,85 kn	404.883,56 kn
9	0,00 kn	-10.426,33 kn	0,00 kn	7.421,55 kn	46.603,49 kn	43.598,71 kn	448.482,27 kn
10	0,00 kn	-10.128,44 kn	0,00 kn	7.068,15 kn	45.271,99 kn	42.211,70 kn	490.693,97 kn
11	0,00 kn	-9.839,05 kn	0,00 kn	6.731,57 kn	43.978,48 kn	40.870,99 kn	531.564,97 kn
12	0,00 kn	-9.557,94 kn	0,00 kn	6.411,02 kn	42.721,95 kn	39.575,03 kn	571.140,00 kn
13	0,00 kn	-9.284,86 kn	0,00 kn	6.105,73 kn	41.501,34 kn	38.322,22 kn	609.462,22 kn
14	0,00 kn	-9.019,57 kn	0,00 kn	5.814,98 kn	40.315,60 kn	37.111,00 kn	646.573,22 kn
15	0,00 kn	-8.761,87 kn	0,00 kn	5.538,08 kn	39.163,72 kn	35.939,92 kn	682.513,15 kn
16	0,00 kn	-8.511,53 kn	0,00 kn	5.274,36 kn	38.044,74 kn	34.807,57 kn	717.320,72 kn
17	0,00 kn	-8.268,35 kn	0,00 kn	5.023,20 kn	36.957,76 kn	33.712,62 kn	751.033,33 kn
18	0,00 kn	-8.032,11 kn	0,00 kn	4.784,00 kn	35.901,81 kn	32.653,70 kn	783.687,03 kn
19	0,00 kn	-7.802,62 kn	0,00 kn	4.556,19 kn	34.876,05 kn	31.629,62 kn	815.316,65 kn
20	0,00 kn	-7.579,69 kn	0,00 kn	4.339,23 kn	33.879,59 kn	30.639,13 kn	845.955,79 kn
21	0,00 kn	-7.363,12 kn	0,00 kn	4.132,60 kn	32.911,60 kn	29.681,07 kn	875.636,86 kn

Tablica 4.9. Tijek novca za FN elektranu FERIT 1 u slučaju sa 100% subvencije

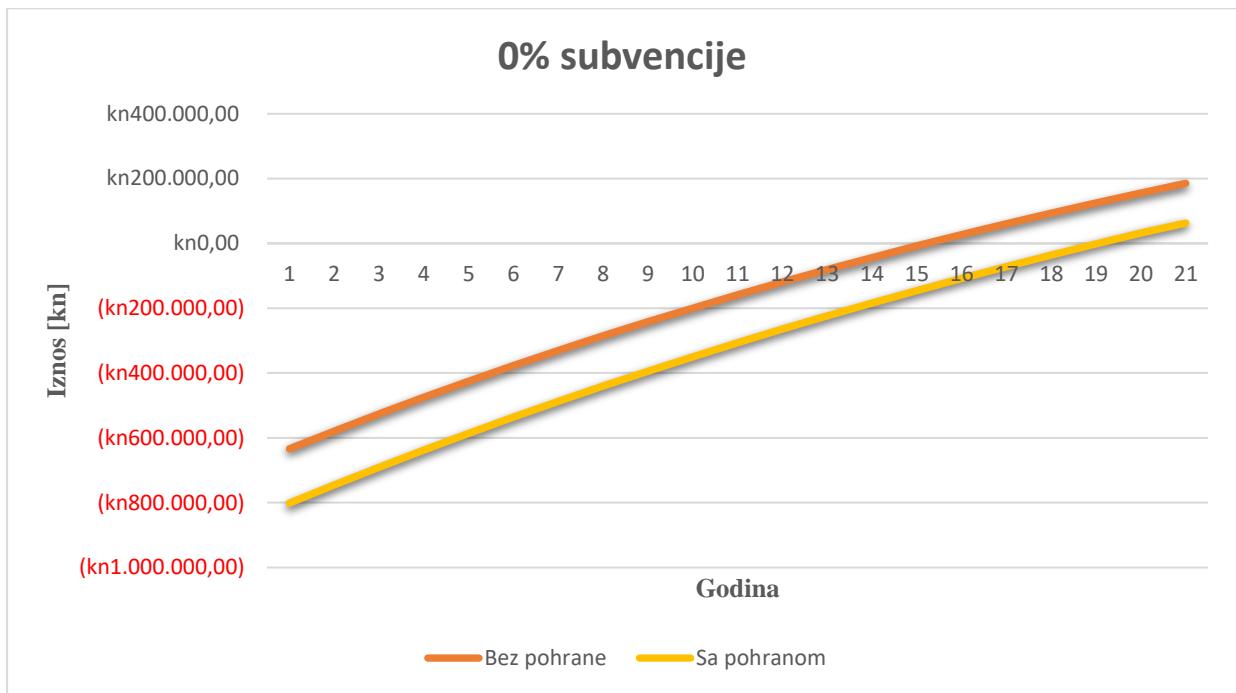
Tablica 4.9. prikazuje novčani tijek fotonaponske elektrane FERIT 1 bez baterijskog sustava. Iznos investicije je 859.181,20 kn i subvencioniran je sa 100%. Kao i u oba prethodna slučaja, troškovi održavanja su 2% investicije godišnje. Ukupna ušteda ostvarena na kupnji i prodaji viška električne energije iznosi isto kao i u prethodna dva slučaja, 1.085.454,71 kn. Povrata investicije nema, tj. iznosi 0 godina jer je fotonaponska elektrana u potpunosti subvencionirana. Na kraju promatranog perioda od 21 godine, fotonaponska elektrana je zaradila 875.636,86 kn. Na slici 4.10. grafički je prikazan tijek novca, odnosno period povrata investicije:



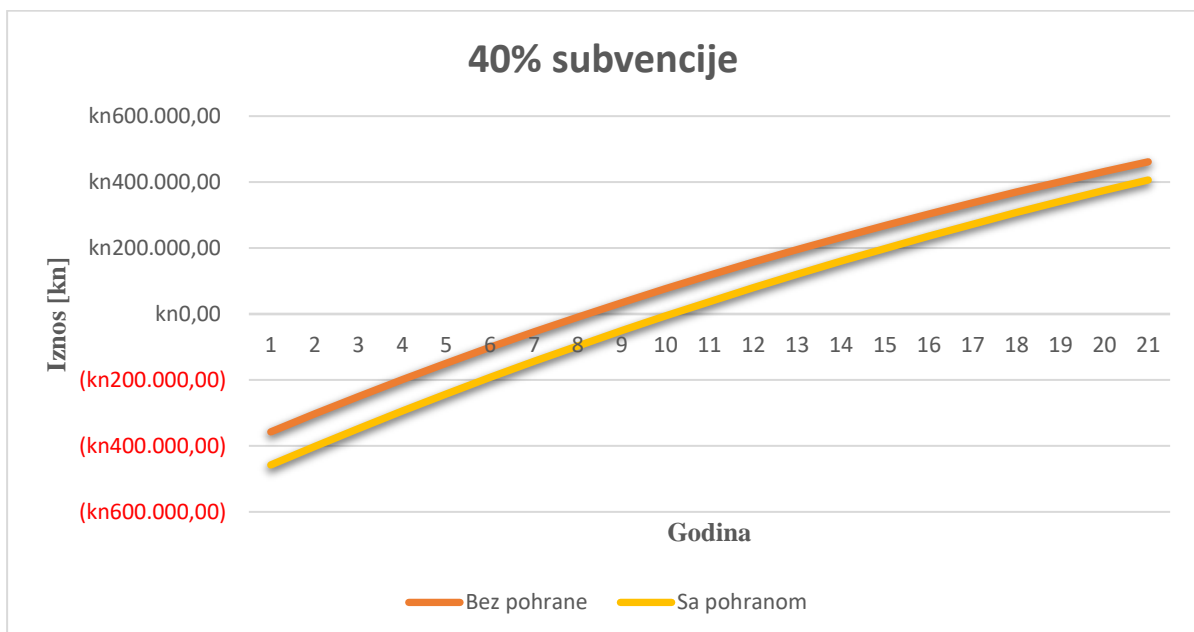
Sl. 4.10. Grafički prikaz novčanog tijeka / povrata investicije uz 100% subvencije

4.3 Usporedba isplativosti FN elektrane sa baterijskim sustavom u odnosu na elektranu bez baterijskog sustava

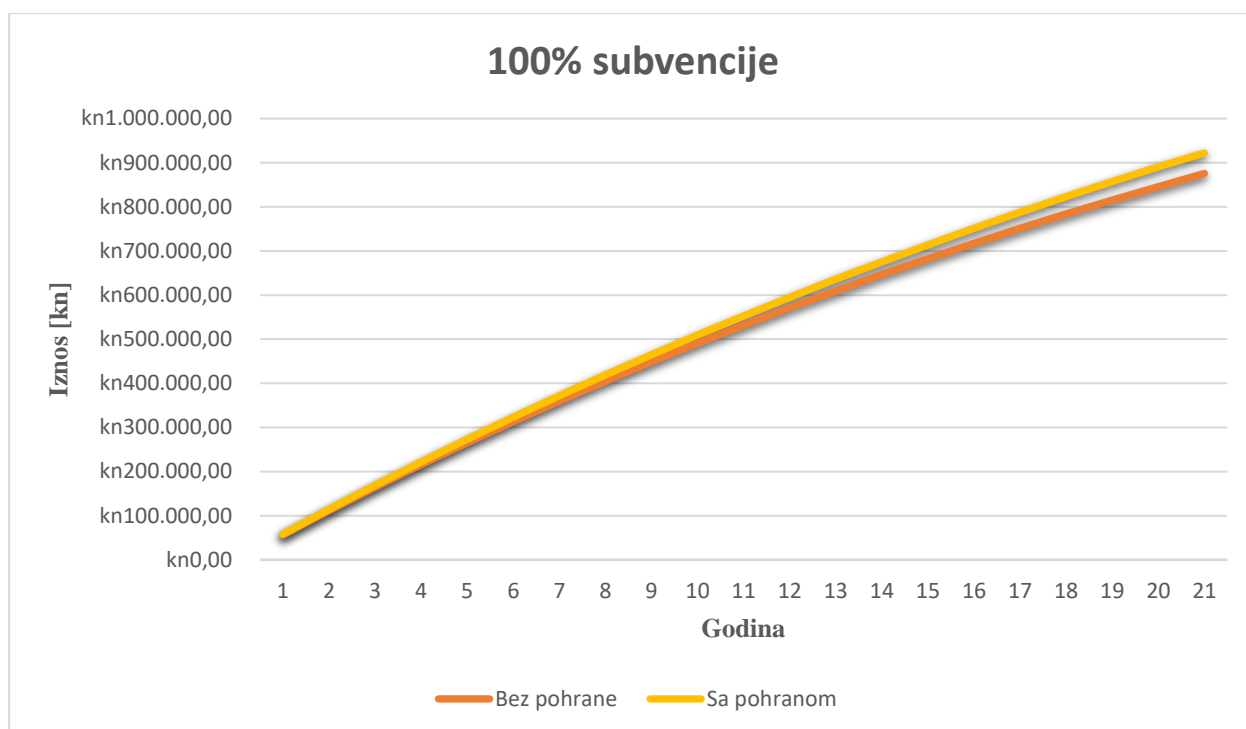
U prethodna dva podpoglavlja napravljena je analiza isplativosti fotonaponske elektrane FERIT 1 sa baterijskim sustavom u odnosu na elektranu bez baterijskog sustava, i to za slučajeve sa 0%, sa 40% i sa 100% subvencije.



Sl. 4.11. Usporedba povrata investicije uz 0% subvencije



Sl. 4.12. Usporedba povrata investicije uz 40% subvencije



Sl. 4.13. Usporedba povrata investicije uz 100% subvencije

Na slikama. 4.11, 4.12. i 4.13. prikazane se usporedbe roka povrata investicije za elektranu sa baterijskim sustavom u odnosu na elektranu bez baterijskog sustava uz 0%, 40% i 100% subvencije. Iako te linije izgledaju gotovo potpuno paralelno, u slučaju sa 100% subvencije se najbolje vidi kako elektrana sa baterijskim sustavom štedi/zarađuje više, te će kumulativno na kraju promatranog perioda zaraditi /uštediti 44.943,18 kn (nakon troškova održavanja) više u odnosu na elektranu bez baterijskog sustava. Prema rezultatima simulacije u programu, taj iznos je jednak za sva tri slučaja, pa se može zaključiti da je razlog manjeg roka povrata investicije elektrane bez baterijskog sustava, upravo niža cijena početne investicije.

5. ZAKLJUČAK

Rast potrošnje električne energije u zadnjih nekoliko desetljeća uzrokovao je pretjeranu upotrebu fosilnih goriva, te naša generacija već svjedoči klimatskim promjenama koje su se počele događati. Kako bi se to pokušalo zaustaviti velika većina država u svijetu sve se više okreće obnovljivim izvorima energije, od kojih najveći potencijal iskorištenja energije ima Sunce. Sunce svakoga sata na površinu Zemlje dozrači dovoljno energije za godišnju svjetsku potrošnju električne energije. U današnje vrijeme pojeftinila je tehnologija fotonaponskih modula te joj se povećala učinkovitost pa je sve više korištenje ovog izvora energije logično. Republika Hrvatska upravo doživljava veliki porast broja fotonaponskih elektrana, kako na objektima tako i samostojećih.

Zadatak ovog diplomskog rada bio je u prvom dijelu, u programskom paketu PV Sol Premium, projektirati fotonaponsku elektranu FERIT 1, vršne snage 80kW + 20kW baterijskog sustava uz spajanje „stare“ elektrane ETFOS 1 snage 10kW, što daje ukupnu vršnu snagu od 110kW. Izrada projekta opisana je korak po korak. Program PV Sol Premium pruža mogućnost da se dosta detaljno razradi cijela elektranu, od detaljnog unosa potrošnje zgrade, 3D modeliranja zgrade, detaljnog konfiguriranja fotonaponskog sustava (razmještaj modula po krovu, spajanje u nizove, spajanje nizova na izmjenjivače, plan kabela), odabir baterijskih sustava iz velike baze, te detaljan unos financijskih podataka koji su potrebni za analize isplativosti elektrane. Iako je program ograničen u nekim izborima, ima impresivnu izradu simulacije fotonaponskog sustava sa predviđanjima proizvodnje i može kreirati detaljan konačni izvještaj.

U drugom dijelu rada, zadatak je bio napraviti analizu isplativosti fotonaponske elektrane sa baterijskim sustavom i bez baterijskog sustava, za tri slučaja: bez subvencije, sa 40% subvencije te sa 100% subvencioniranog iznosa investicije. Analiza je također napravljena u programu PV Sol Premium. Rezultati simulacije su pokazali da će elektranu proizvoditi 108.866 kWh električne energije godišnje. Potrošnju koje je unesena prema stvarnim mjerenjima potrošnje za 2018. godinu iznosi 226.826 kWh što govori da će iz mreže biti preuzeto 140.438 kWh za elektranu sa baterijama, te 150.316 kWh za elektranu bez baterija, dok će se u mrežu predati 21.619 kWh za elektranu sa baterijama, te 32.295 kWh električne energije godišnje za elektranu bez baterija. Gubici u izmjenjivačima su 60 kWh godišnje. Najveća proizvodnja je u srpnju i iznosi 15.182,22 kWh dok je najveća potrošnja u studenom i iznosi 21.159,23 kWh. Najveća ušteda energije preuzete iz mreže ostvarena je u kolovozu. Elektranu niti jedan mjesec nije proizvela više EE nego što je zgrada preuzela iz mreže.

Analiza isplativosti elektrane u prvom slučaju gdje je subvencija investicije 0%, rezultira rokom povrata investicije od 15,5 godina za elektranu bez baterija dok je taj rok za elektranu sa baterijama 19 godina. Razlika u cijeni investicije za elektranu sa baterijama je 168.935,10 kn, dok je ušteda na kupnji odnosno prodaji električne energije 97.551,39 kn. Iz ovoga se može zaključiti kako za promatrani period od 21 godine, u slučaju bez subvencije, ne isplati se ulagati u baterije.

Drugi slučaj analize isplativosti za subvenciju od 40% pokazuje da je rok povrata investicije 8,2 godine za elektranu bez baterija, te 10,1 godina za elektranu sa baterijama. Nakon subvencija od 40%, cijena investicije za elektranu sa baterijama je 101.361,06 kn viša u odnosu na cijenu izgradnje elektrane bez baterija. S obzirom da će elektrana sa baterijama uštediti na kupnji odnosno prodaji električne energije 97.551,39 kn, i za ovaj slučaj se može zaključiti kako je u promatranom periodu od 21 godine, elektrana sa baterijama neisplativija.

U trećem slučaju analize isplativosti za subvenciju od 100%, rok povrata investicije je 0 godina, tj. ne postoji, jer se obje elektrane subvencionirane u punom iznosu. Na kraju promatranog perioda elektrana sa baterijama će zaraditi 97.551,39 kn, odnosno nakon uračunatih troškova održavanja 44.943,18 kn više, definitivno je isplativija elektrana sa baterijskim sustavom. Ovo je zapravo savršeni primjer elektrane FERIT 1, jer je ona subvencionirana u 100%-tnom iznosu u okviru Rescue projekta.

Analizirajući ove slučajeve može se zaključiti da je izgradnja elektrane sa baterijama neisplativa za slučaj državne subvencije od 40%, a pogotovo za slučaj bez subvencije, jer ušteda koju bi baterije donijele je dosta manja od vrijednosti povećanja investicije. Slučaj elektrane FERIT 1 sa baterijskim sustavom, koji je sufinanciran sa 100% (u okviru Rescue projekta) je potpuno isplativ, te bi elektrana u periodu od 21 godine fakultetu trebala donijeti zaradu od 921.836,13 kn. U skorijoj budućnosti će to sve biti još isplativije jer cijene novijih tehnologija padaju, učinkovitost se povećava, a cijene energenata rastu. Dodatan poticaj je i pomisao da se može nešto poduzeti kako bi se zaustavile klimatske promjene.

LITERATURA

- [1] Eko Sustav, "Sunčeva solarna energija", Eko Sustav, 2020. [Mrežno]. Dostupno na: eko-sustav.hr/strucni-clanci/sunceva-solarna-energija/. [Pokušaj pristupa 15 9 2021].
- [2] Centar Energetske Efikasnosti, "Činjenice o solarnoj energiji", Centar Energetske Efikasnosti, [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.cee.hr/cinjenice-solarnoj-energiji/>. [Pokušaj pristupa 15 9 2021].
- [3] L. Majdandžić, "Fotonaponski sustavi", Zagreb: Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu.
- [4] D. Topić, D. Šljivac, "Obnovljivi izvori električne energije", Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018.
- [5] D. Šljivac, "OIelen_2019_2020_2 poglavlje.pdf", predavanja, Osijek: Damir Šljivac, 2019/2020.
- [6] Silicon Solar, "STC", Silicon Solar, [Mrežno]. Dostupno na: www.siliconsolar.com/what-are-standard-test-conditions-stc/. [Pokušaj pristupa 18 09 2021].
- [7] Coulee Limited, "Standard test conditions of PV module", Coulee Limited, 2021. [Mrežno]. Dostupno na: couleenergy.com/standard-test-conditions-of-pv-module/. [Pokušaj pristupa 18 09 2021].
- [8] ABB, "Photovoltaic plants", ABB, *Technical Application Papers, No. 10*, 2014..
- [9] Solar Monsters, "Best batteries for solar", Solar Monsters, 16 9 2021. [Mrežno]. Dostupno na: solarmonsters.com/best-batteries-for-solar/. [Pokušaj pristupa 19 9 2021].
- [10] Solar Monsters, "How to size battery bank for solar" 11 6 2021. [Mrežno]. Dostupno na: solarmonsters.com/how-to-size-battery-bank-for-solar/. [Pokušaj pristupa 19 9 2021].
- [11] Wikipedia, "Prosumer", [Mrežno]. Dostupno na: en.wikipedia.org/wiki/Prosumer. [Pokušaj pristupa 17 09 2021].
- [12] HEP OPSKRBA, "Kupac s vlastitom proizvodnjom", HEP OPSKRBA, 2016. [Mrežno]. Dostupno na: www.hep.hr/opskrba/poduzetnistvo/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/1534. [Pokušaj pristupa 16 09 2021].
- [13] HEP ODS, "Kupac s vlastitom proizvodnjom" HEP ODS, [Mrežno]. Dostupno na: www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29. [Pokušaj pristupa 17 9 2021].
- [14] HEP ODS, "Priklučenje na mrežu", HEP ODS, [Mrežno]. Dostupno na: hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/proizvodjaci-185/185. [Pokušaj pristupa 17 9 2021].
- [15] "PV Sol Premium", Valentin Software, [Mrežno]. dostupno na: valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/. [Pokušaj pristupa 17 9 2021].
- [16] Ž. Jeršek, Diplomski rad, "Projektiranje fotonaponskog sustava za potrebe kućanstva", Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2019.
- [17] D. Fridl, "Glavni projekt sunčane elektrane b.o. 065/1/2020", Našice: EPIK d.o.o., 2020.
- [18] Sunceco, "Mono-crystalline Solar Module SEM 320W", 2021. [Mrežno]. Dostupno na: sunceco.com/sem-300-320w/. [Pokušaj pristupa 17 9 2021].

- [19] Fronius, "Fronius Symo 20.0-3-M", Fronius, [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.fronius.com/ar-ae/middle-east/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m>. [Pokušaj pristupa 19 9 2021].
- [20] Fronius, "Fronius Symo 10.0-3-M", Fronius, [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.fronius.com/ar-ae/middle-east/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-10-0-3-m>. [Pokušaj pristupa 19 9 2021].
- [21] Fronius, "Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S" Fronius, [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo-hybrid/fronius-symo-hybrid-5-0-3-s>. [Pokušaj pristupa 19 9 2021].
- [22] Fronius, "Fronius Symo GEN24 Plus 5.0", Fronius, [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo-gen24-plus/fronius-symo-gen24-5-0-plus>. [Pokušaj pristupa 19 09 2021].
- [23] Europe Solarstore, "BYD Battery Box Premium HVS datasheet", Europe Solarstore [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.europe-solarstore.com/download/byd/BYD-Battery-Box-Premium-HVS-datasheet.pdf>. [Pokušaj pristupa 19 9 2021].

SAŽETAK

Svrha ovog diplomskog rada, nakon kratkog izlaganja teorije o foto naponu, bila je napraviti projekt fotonaponske elektrane FERIT 1 u programskom paketu PV Sol Premium. Fotonaponska elektrana je vršne snage 80kW + 20kW baterijskih sustava, uzevši u obzir i „staru“ elektranu ETFOS 1 snage 10kW, ukupna vršna snaga elektrane je 110kW. Nakon izrade projekta bilo je potrebno napraviti analizu proizvodnje fotonaponske elektrane u odnosu na potrošnju zgrade fakulteta, te zatim napraviti analizu isplativosti za tri slučaja: sa punim iznosom investicije – bez subvencije, sa subvencijom u iznosu od 40% investicije, te sa subvencijom u iznosu od 100% investicije za elektranu sa baterijskim sustavom i za elektranu bez baterijskog sustava. Elektrana godišnje proizvede 108.866 kWh električne energije. Vrijednost investicije je 859.181,20 kn, odnosno 690.246,10 kn za slučaj bez baterija. Rok povrata investicije u prvom slučaju (bez subvencije) iznosi 19 godina, odnosno za elektranu bez baterija 15,2 godine. U drugom slučaju sa 40% subvencije iznosi 10,1, odnosno 8,5 godina, dok u trećem slučaju sa 100% subvencije rok povrata investicije iznosi 0 godina za obje elektrane.

Ključne riječi: Električna energija, fotonaponski sustav, fotonaponska elektrana, analiza isplativosti, baterijska pohrana, projektiranje fotonaponskog sustava, investicija.

ABSTRACT

The purpose of this thesis, after a brief presentation of the theory of photovoltaics, was to design a project of the photovoltaic power plant FERIT 1 in the software package PV Sol Premium. The photovoltaic power plant has a peak power of 80kW + 20kW of battery systems, with included "old" ETFOS 1 power plant with a power of 10kW, the total peak power of the power plant is 110kW. After finishing project, it was necessary to analyze the production of the photovoltaic power plant according to consumption of faculty building, and then make a cost-effectiveness analysis for three cases: with the full amount of investment - no subsidy, with a subsidy of 40% investment, and with a subsidy of 100% investment for power plants with battery system and for power plants without battery system. The power plant annually produces 108,866 kWh of electricity. The value of the investment is HRK 859,181.20, or 690,246.10 for the case without a battery. The payback period in the first case (without subsidies) is 19 years, or for a power plant without batteries 15,2 years. In the second case with 40% subsidy is 10,1 and 8,5 years, while in the third case with 100% subsidy the payback period is 0 years for both power plant facilities

Keywords: Electricity, photovoltaic system, photovoltaic power plant, cost-effectiveness analysis, battery storage, photovoltaic system design, investment.

ŽIVOTOPIS

Mario Kucelj rođen je 30.07.1989. godine u Osijeku. Završio je osnovnu školu „OŠ Kneževi Vinogradi“ u Kneževim Vinogradima. Nakon završene osnovne škole, upisuje Prvu srednju školu Beli Manastir u Belom Manastiru, smjer elektrotehničar, koju završava 2008. godine. Iste godine upisuje stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika, na Elektrotehničkom fakultetu Osijek, koji završava 2012. godine sa temom završnog rada „Pokretanje i reverziranje asinkronog pogona upotrebom PLC-a“. 2014. godine zapošljava se u tvrtki Agrokor Energija d.o.o. gdje radi kao operater i tehničar na održavanju bioplinskih postrojenja. 2015. godine upisuje Razlikovne obveze na Elektrotehničkom fakultetu Osijek, koje završava 2019. godine, te iste godine upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika, izborni blok B. U svibnju 2021. godine polaže stručni ispit za uklopničara u elektroenergetskom postrojenju, u Savezu energetičara Osijek. U Kolovozu 2021. godine postaje voditelj održavanja pet bioplinskih postrojenja u vlasništvu tvrtke Energija Gradec d.o.o. (nekada Agrokor Energija d.o.o.). Tijekom rada, stekao je vrlo dobro znanje engleskog jezika u govoru i pismu, kao i mnoge druge strojarske i elektrotehničke vještine.