

Uporaba Sunny Design (SMA) softvera za projektiranje sunčane elektrane

Gavranić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:200:169445>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**UPORABA SUNNY DESIGN (SMA) SOFTVERA ZA
PROJEKTIRANJE SUNČANE ELEKTRANE**

Diplomski rad

Ivana Gavranić

Osijek, 2023.

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

Osijek, 24.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Ime i prezime Pristupnika:	Ivana Gavranić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	D-1400, 07.10.2021.
OIB studenta:	84375713132
Mentor:	Prof.dr.sc. Marinko Stojkov
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	prof. dr. sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva 1:	Prof.dr.sc. Marinko Stojkov
Član Povjerenstva 2:	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Naslov diplomskog rada:	Uporaba Sunny Design (SMA) softvera za projektiranje sunčane elektrane
Znanstvena grana diplomskog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Opis načina projektiranja solarne elektrane uporabom Sunny Design softvera korak po korak. Razrada projekta solarne elektrane s primjerom na objekt hale (snaga elektrane definirana raspoloživom površinom). Prikaz izlaznih rezultata proračuna softverom. Zaključak. Tema je rezervirana za Ivanu Gavranić.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
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: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	24.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

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

Osijek, 30.09.2023.

Ime i prezime studenta:

Ivana Gavranić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1400, 07.10.2021.

Turnitin podudaranje [%]:

12

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Uporaba Sunny Design (SMA) softvera za projektiranje sunčane elektrane**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Marinko Stojkov

i sumentora ,

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	2
2. OPĆENITO O SOLARNIM SUSTAVIMA	2
2.1. Fotonaponska ćelija	2
2.1.1. Princip rada fotonaponske ćelije	4
2.2. Fotonaponski moduli	6
2.3. Pretvarač.....	8
2.4. Vrste solarnih sustava.....	8
2.4.1. Samostalni solarni sustav.....	9
2.4.2. Mrežni solarni sustav.....	10
3. PROJEKTIRANJE SUNČANE ELEKTRANE NAZIVNE SNAGE 15 kW	11
3.1. Općenito o softveru Sunny Design.....	11
3.2. Unos podataka o projektu	12
3.3. Konstrukcija fotonaponskog sustava	17
3.3.1. Ručno podešenje krova.....	18
3.3.2. Vizualno podešenje krova	23
3.4. Efikasnost sustava	25
3.5. Rezultati	28
3.6. Projektna dokumentacija.....	33
3.7. Provjera maksimalnog i minimalnog napona.....	33
3.8. Strujno dimenzioniranje kabela i osigurača.....	35
4. ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA	37
SAŽETAK.....	38
ABSTRACT	38
PRILOZI.....	39
ŽIVOTOPIS.....	52

1. UVOD

Sunčeva energija je postala vrlo prihvatljiv izvor energije i glavni nositelj ekološki održive energetike. Iskoristiva količina sunčeve energije koja pada na plohe neke građevine, nakon odgovarajuće pretvorbe u toplinsku i električnu često može biti veća nego su to energetske potrebe same građevine. U ovom diplomskom radu projektirana je sunčana elektrana i analizirana je isplativost investicije u istu. Detaljna analiza provedena je u softveru Sunny Design. Softver Sunny Design omogućuje jednostavno planiranje i projektiranje fotonaponskih sustava. Što je najvažnije lak je za korištenje i može se registrirati i koristiti besplatno.

Opis drugog poglavlja temelji se na pretvorbi sunčeve energije u električnu energiju te su dana osnovna objašnjenja o fotonaponskoj ćeliji, modulima, pretvaračima i vrstama solarnih sustava.

U 3. poglavlju projektirana je sunčana elektrana pomoću softvera Sunny Design. Dan je sam opis softvera te su detaljno opisani svi koraci kroz projektiranje sunčane elektrane na hali. Svaki korak pri projektiranju je jednostavan za shvatiti. Softver sam izbacuje prijedloge prilikom odabira nekih elemenata koji su potrebni za sunčanu elektranu, što uvelike olakšava projektiranje. Nakon provedenih svih koraka, na kraju su još prikazani proračuni.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Opis načina projektiranja solarne elektrane uporabom Sunny Design softvera korak po korak. Razrada projekta solarne elektrane s primjerom na objekt hale (snaga elektrane definirana raspoloživom površinom). Prikaz izlaznih rezultata proračuna softverom.

2. OPĆENITO O SOLARNIM SUSTAVIMA

Globalni zahtjev za energijom kao i poticanje održivog napretka rezultirali su do velikog tehnološkog razvoja u obnovljivim izvorima. Isti imaju sve veću važnost u dobivanju energije pa tako i električne. Razlog tome je i u rastućim troškovima fosilnih goriva njihove cijene i potrošnje. Bitan faktor za primjenu obnovljivih izvora je i veliko onečišćenje okoliša od uporabe fosilnih goriva, a koje utječe na klimatske promjene.

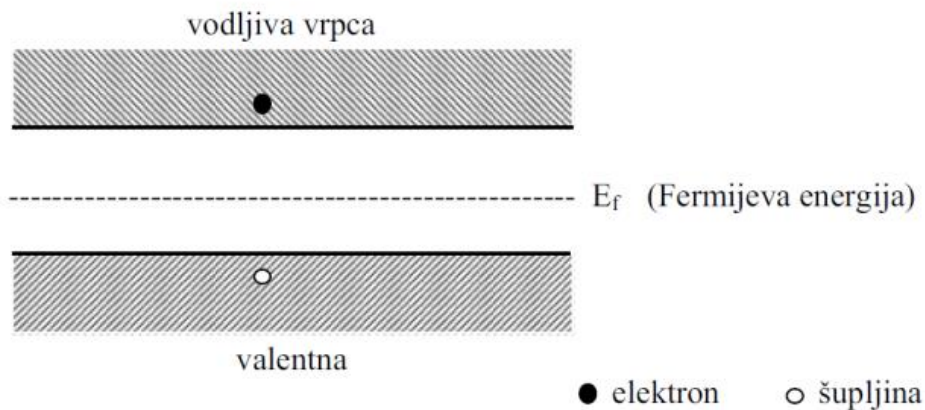
Postoje tri glavna načina uporabe Sunčeve energije:

- Pretvorbom u toplinsku energiju
- Pretvorbom u biomasu
- Pretvorbom u električnu energiju.

Neposredna pretvorba putem fotonaponskih (sunčanih) ćelija je najosnovniji način uporabe.

2.1. Fotonaponska ćelija

Poluvodička dioda odnosno PN-spoj je zapravo osnova fotonaponske ćelije. PN-spoj nastaje spajanjem dijelova kristala čistog poluvodiča s primjesama. Na jednom dijelu dodajemo primjese s trovalentnim akceptorskim svojstvima, stvarajući P-tip poluvodiča, dok na drugom dijelu dodajemo peterovalentne donorske primjese, stvarajući N-tip poluvodiča. Na spoju tih dvaju područja, zbog razlika u koncentraciji, dolazi do difuzije elektrona iz N-područja prema P-području i šupljine iz P-područja prema N-području. Fermijeva energetska razina E_f smještena je na sredini, jer je broj elektrona u vodljivoj vrpci izjednačen s brojem šupljina u valentnoj vrpci, slika 2.1. [1].



Sl. 2.1. Prikaz Fermijeve energijske razine, izvor kao [1]

Bitna karakteristika PN-spoja je njegovo ispravljačko djelovanje, gdje se olakšava prolazak struje kada je P-područje pozitivno, a N-područje negativno. To rezultira naponom u propusnom smjeru, dok je suprotno, nakon u zapornom smjeru. Dakle, PN-spoj djeluje poput diode, omogućujući protok struje samo u jednom smjeru. Ako spojimo vanjski izvor napona u propusnom smjeru, tako da je pozitivan pol na P-strani i negativan na N-strani, elektroni se prenose iz N-područja prema P-području, dok šupljine migriraju iz P-područja prema N-području [1].

I-U karakteristika diode predstavlja vezu između vanjskog napona U i jakosti struje I_d , a može se prikazati jednadžbom (2-1) prema [1]:

$$I_d = I_z(e^{eU/kT} - 1) \quad (2-1).$$

Opis korištenih simbola jednadžbe (2-1):

I_d – jakost struje kroz PN-spoj [A]

I_z – struja zasićenja [A]

e – elementarni naboj ($1,602176462 \cdot 10^{-19}$ C)

U – električni napon [V]

k – Boltzmannova konstanta ($1,3806 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T – termodinamička temperatura [K].

2.1.1. Princip rada fotonaponske ćelije

Fotonaponska ćelija je elektronička komponenta koja pretvara Sunčevu energiju, koja pada na površinu panela, u električnu energiju putem fotonaponskog efekta. Fotonaponski efekt je prvi opisao francuski fizičar Alexandre Edmond Becquerel 1839. godine te se na toj osnovi zasniva rad fotonaponskih ćelija. Kada fotonaponska ćelija upije sunčevu svjetlost, elektromotorna sila (napon) se stvara na krajevima ćelija koristeći fotonaponski efekt. Time fotonaponska ćelija postaje izvor električne energije.

Snop čestica koje nastaju pri analiziranju apsorpcije i emisije sunčeva zračenja nazivaju se fotoni. Svaki pojedini foton nosi određenu količinu energije te je za izračun fotoelektrične struje fotonaponske ćelije potrebno promotriti protok fotona. Elektromagnetskim spektrom nazivamo raspon zračenja koji se pojavljuje u svemiru. Kretanjem električnih naboja u elektromagnetskom polju nastaje svjetlost. Ukoliko je neki elektron atoma potaknut energijom izvana, taj atom će odašiljati svjetlost te zračenje tako pobuđenih elektrona može se iskazati valom. Valna duljina je veća i frekvencija je manja ako svjetlost ima manje energije, no ona s više energije ima manju valnu duljinu te veću frekvenciju.

Stoga, fotoni su neutralne čestice koje se kreću brzinom svjetlosti c_o . Einsteinovom jednadžbom može se prikazati energija fotona (2-2):

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c_o}{\lambda} \quad (2-2).$$

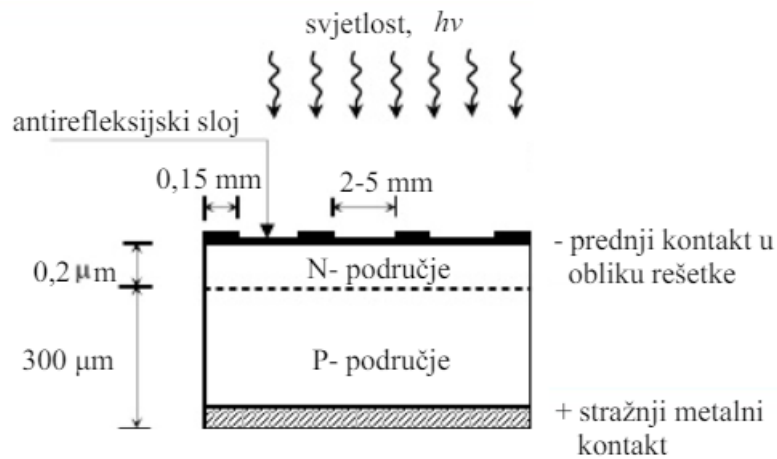
Gdje je:

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

ν – frekvencija elektromagnetskog zračenja [1/s]

c_o – brzina svjetlosti ($3 \cdot 10^8$ m/s)

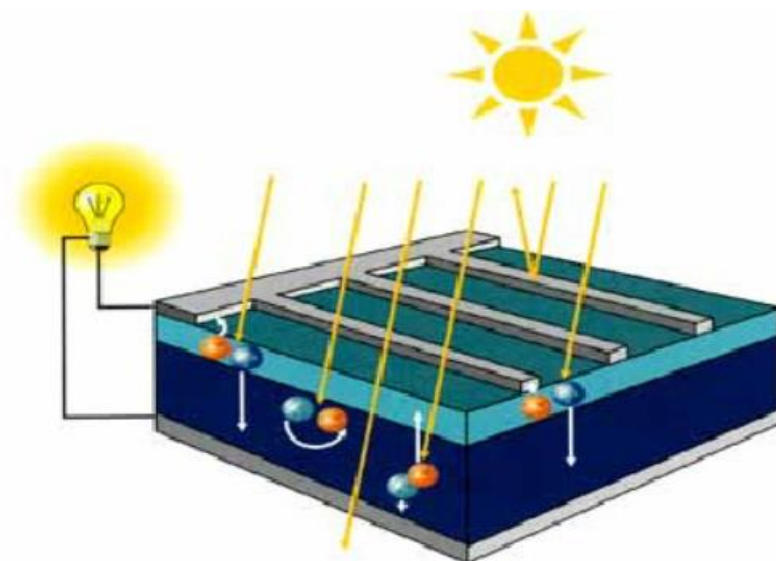
λ – valna duljina [m].



Sl. 2.2. Prikaz silicijeve fotonaponske ćelije, izvor kao [1]

Slika 2.2 prikazuje presjek kroz pločicu fotonaponske ćelije napravljene od silicija, koja ima dva različito nabijena sloja. Fosforom je podupiran gornji sloj koji ima višak elektrona i negativni naboj, a oblikuje se odmah ispod antirefleksnog sloja i kontaktnih vodova. Donji sloj, ujedno i deblji sloj, podupiran je borom i ima manjak elektrona i pozitivan naboj. U sredini se oblikuje neutralan sloj od čistog silicija [2].

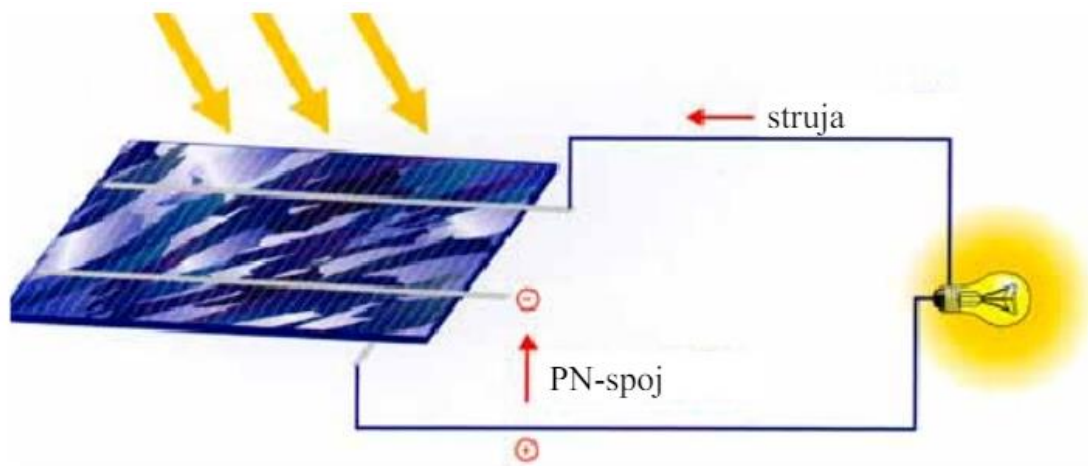
Elektromotorna sila (napon) nastaje na krajevima fotonaponske ćelije kada je izložena svjetlu, što je ranije spomenuto. Fotonaponska ćelija se tada ponaša kao ispravljački sloj, a to znači da samo u jednom pravcu propušta struju. Apsorbirani fotoni prilikom osvjetljenja fotonaponske ćelije proizvode parove elektron–šupljina, što je ilustrirano slikom 2.3. [1].



Sl. 2.3. Nastanak parova elektron–šupljina u fotonaponskoj ćeliji, izvor kao [1]

Ukoliko apsorpcija nastane u blizini ili unutar fotonaponske ćelije dolazi do odvajanja nastalih elektrona i šupljina, a do odvajanja dolazi zbog unutrašnjeg električnog polja koje se nalazi u osiromašenom području. U tom slučaju elektron se kreće prema N-strani, dok se šupljina kreće prema P-strani, što rezultira suprotnim djelovanjem i stvaranjem elektromotorne sile (napona) na krajevima fotonaponske ćelije. Međutim, nastali par elektron-šupljina može se i rekombinirati ako se apsorpcija dogodi daleko od fotonaponske ćelije.

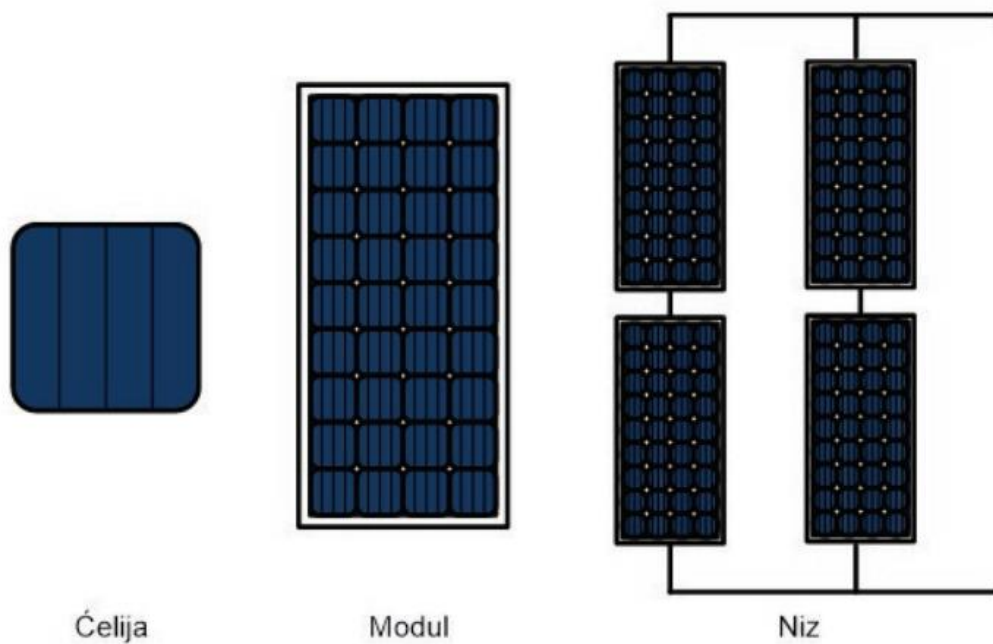
Prilikom osvjetljenja fotonaponske ćelije pozitivan kontakt bit će onaj na P-strani dok će negativan kontakt biti na N-strani. Kada se nekakvo vanjsko trošilo spoji na kontakte ćelije tada fotonaponska ćelija postaje izvorom električne energije jer u tom trenutku dolazi do protoka električne energije. Sljedećom slikom (2.4.) prikazan je ta situacija [1].



Sl. 2.4. Fotonaponska ćelija kao izvor električne energije, izvor kao [1]

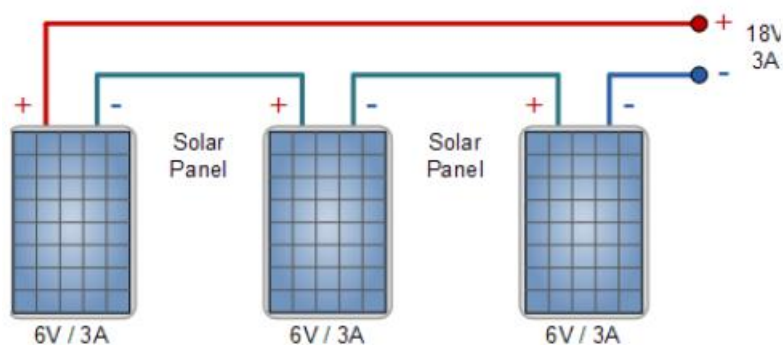
2.2. Fotonaponski moduli

Na jednoj solarnoj ploči od silicija izloženoj sunčevoj svjetlosti formira se napon od 0,6 V. Kako bi se postigao veći napon, pločice se povezuju serijski u niz odnosno string. Spajanjem pločica serijskom i paralelnom kombinacijom postiže se željeni izlazni napon osnovnog modula, a kombinacijom više takvih modula formira se fotonaponski uređaj određenog napona [2].



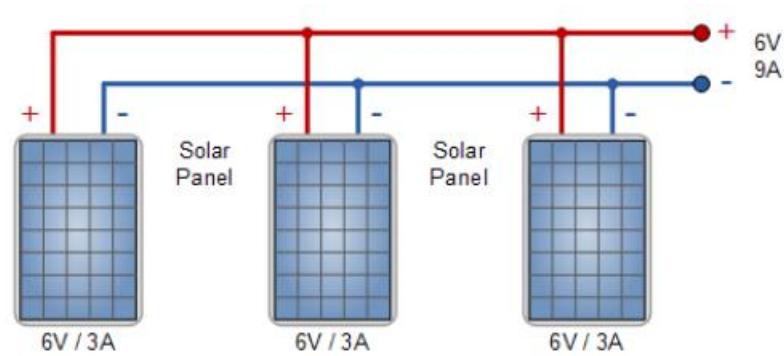
Sl. 2.5. Od fotonaponske ćelije do niza [4].

Kod fotonaponskih ćelija spojenih u seriju naponi se zbrajaju, a struja je jednaka struji jedne ćelije. Većinom se koriste serije od 36, 60 i 70 ćelija u modulu. Najjednostavniji prikaz serijskog spoja fotonaponskih modula prikazan je na slici 2.7. [3].



Sl. 2.6. Serijski spoj fotonaponskih modula, izvor kao [1]

Slika 2.7. prikazuje paralelni spoj fotonaponskih modula [3]. Kod paralelno spojenih ćelija struje ćelija se zbrajaju dok je napon jednak naponu jedne ćelije. Paralelno spajanje ćelija u modulima rjeđe se koristi.



Sl. 2.7. Paralelni spoj fotonaponskih modula, izvor kao [1]

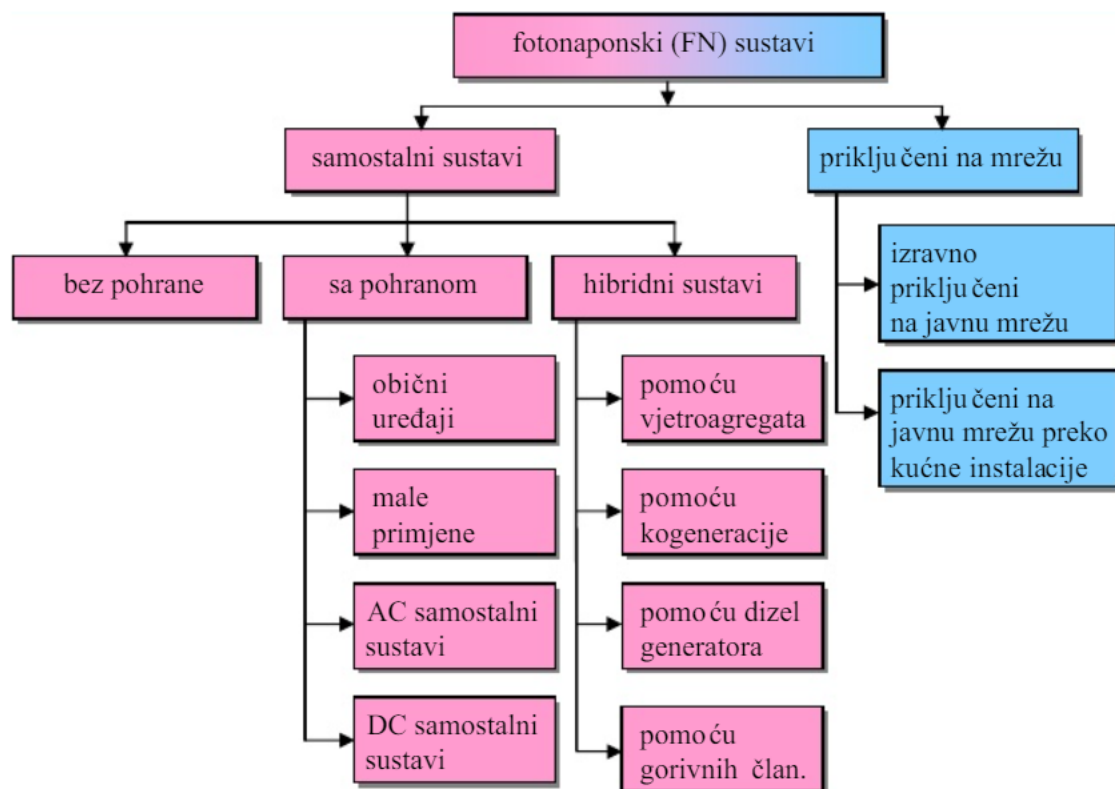
2.3. Pretvarač

Pretvarač (izmjenjivač) DC/AC ima ulogu transformirati istosmjerni napon koji dolazi iz fotonaponskih modula u izmjenični napon $3 \times 230/400 \text{ V } 50 \text{ Hz}$. Pri ovoj pretvorbi, izlazni napon mora ispunjavati potrebne karakteristike, bez obzira na promjene ulaznog DC napona. Istovremeno, cilj je postići maksimalnu učinkovitost u procesu pretvaranja DC u AC napon..

2.4. Vrste solarnih sustava

Solarni (fotonaponski) sustavi predstavljaju sklop sastavljen od fotonaponskih modula, pretvarača, instalacije i ostalih potrebnih komponenata. Različite vrste solarnih sustava određuju se prema načinu njihova djelovanja:

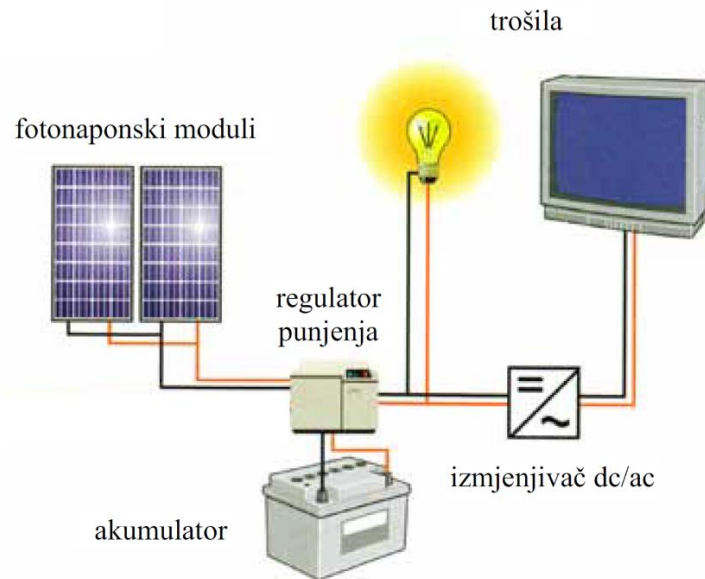
1. samostalni, otočni sustavi
2. sustavi spojeni na mrežu.



Sl. 2.8. Podjela fotonaponskih sustava [1].

2.4.1. Samostalni solarni sustav

Samostalni odnosno otočni solarni sustavi ne ovise o javnoj mreži, što je njihova glavna prednost. No, upravo takvi sustavi moraju imati pohranu. Kako bi pohranili električnu energiju potrebo je imati akumulator (bateriju). Za vrijeme sunčanih dana pohrani se višak električne energije kako bi se moglo opskrbiti energijom u periodu kada nastupe tmurni i oblačni dani ili kada se proizvede manje električne energije nego što je potrošaču potrebno. Za potrebe punjenja i pražnjenja baterije potrebno je imati i regulator punjenja. Još jedna važna komponenta ovakvog sustava je izmjenjivač koji omogućuje korištenje potrošača kao što su hladnjaci, perilice, mali kućanski aparati te ostala trošila kojima je potrebna izmjenična električna energija.



Sl. 2.9. Prikaz samostalnog solarnog sustava [3].

2.4.2. Mrežni solarni sustav

Solarni sustavi povezani s javnom mrežom ili integrirani u kućnu instalaciju nazivaju se mrežni sustavi. Izmjenjivač je važna komponenta mrežnog sustava koji ima ulogu preoblikovati istosmjernu struju u izmjeničnu struju kako bi se mogla napajati trošila ili kako bi mogao raditi paralelno s javnom mrežom. Ako se proizvede višak električne energije u odnosu na potrebe potrošača, taj višak prelazi u elektroenergetsku mrežu. Potrošač će se opskrbiti iz mreže u slučaju kada je proizvedena električna energija manja od one koja je potrebna potrošaču.



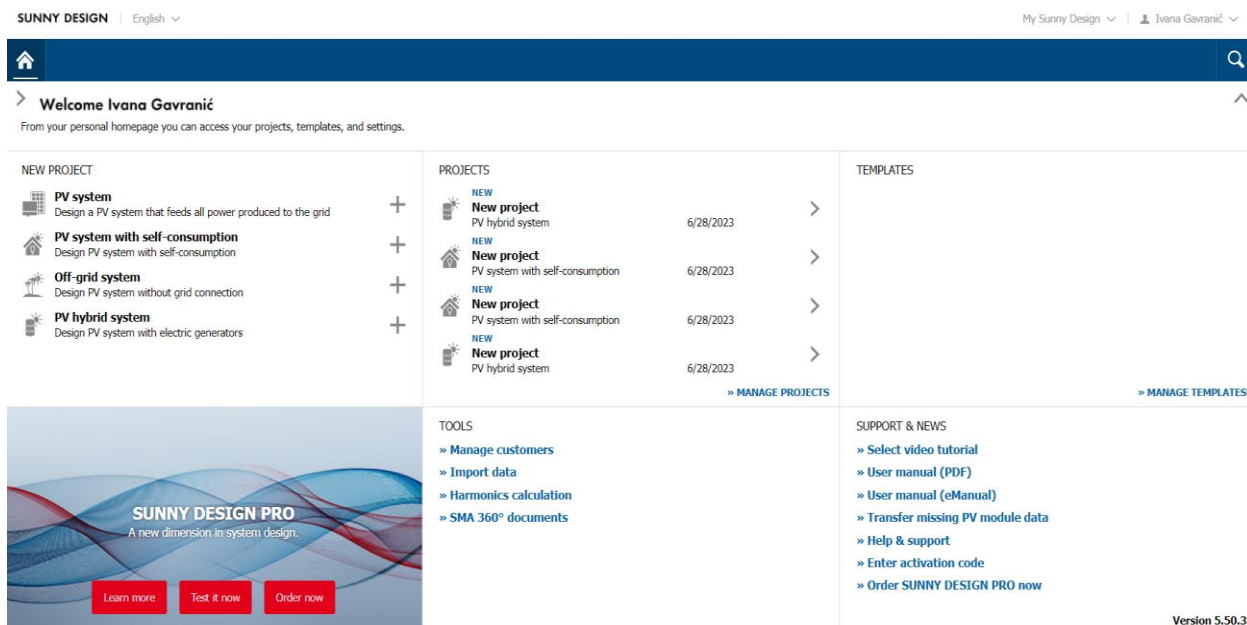
Sl. 2.9. Prikaz mrežnog solarnog sustava [3].

3. PROJEKTIRANJE SUNČANE ELEKTRANE NAZIVNE SNAGE 15 kW

U ovom poglavlju izvedeno je projektiranje sunčane elektrane s primjerom na objekt hale pomoću softvera Sunny Design. Sunčana elektrana orijentirana je prema istoku. Nazivna izlazna snaga elektrane je 15 kW, koristi se snaga koju može dati pretvarač. Proizvedena električna energija koristit će se za vlastitu potrošnju. U nastavku ovog diplomskog rada bit će objašnjene sve mogućnosti, korak po korak, koje pruža softver Sunny Design.

3.1. Općenito o softveru Sunny Design

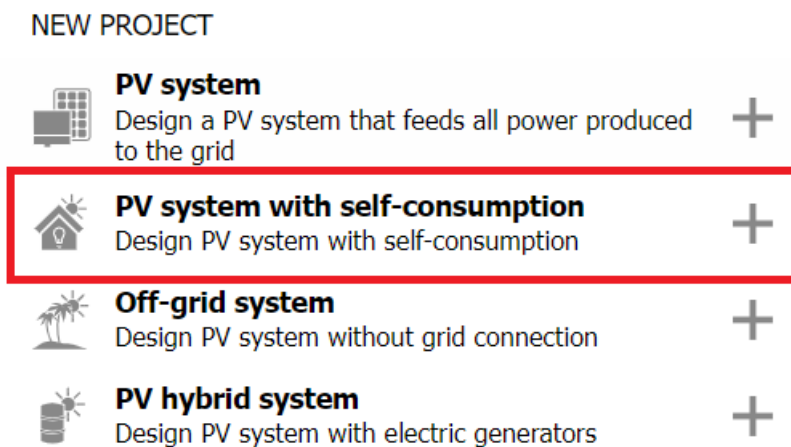
Sunny Design je softver koji omogućuje planiranje i projektiranje fotonaponskih sustava. Ima opciju projektiranja sustava koji su povezani s javnom mrežom (eng. on-grid) i tu postoji mogućnost kada vlastita potrošnja nije uzeta u obzir i onda kada je uzeta u obzir, sustava koji pak nisu priključeni na javnu mrežu (eng. off-grid) te hibridnih fotonaponskih sustava. Također, Sunny Design predlaže kombinaciju fotonaponskih modula i pretvarača koji zadovoljavaju energetske prinos i učinkovitost. Kako bi se mogle koristiti opcije koje nudi Sunny Design, potrebno je kreirati korisnički račun. Početna stranica nakon kreiranja korisničkog računa prikazana je na slici 3.1. [5].



Sl. 3.1. Početna stranica softvera Sunny Design.

Na slici 3.2. prikazane su sve vrste projekta koje su dostupne u softveru, no u ovom diplomskom radu odabrana je druga opcija koja je označena na slici. U radu je projektirana sunčana elektrana

koja koristi električnu energiju za vlastite električne potrebe, čime djeluje i kao proizvođač i kao potrošač.



Sl. 3.2. Opcije projektiranja sustava.

3.2. Unos podataka o projektu

Nakon odabira željene opcije pojavljuje se prozor u kojem je potrebno unijeti osnovne podatke o projektu. Neki od njih su naziv projekta, lokacija građevine, razina napona, vrsta opterećenja te godišnja potrošnja energije, no detalji o mogućim opcijama prikazani su u nastavku.

Prvo treba obratiti pozornost na glavnu navigacijsku traku koja prikazuje korake za planiranje projekta. Sastoji se od podataka o projektu, sustava, efikasnosti, rezultata i projektne dokumentacije. Moguće je svaku opciju pojedinačno odabrati tek kada su svi koraci izvršeni.



Sl. 3.3. Izgled glavne navigacijske trake.

Na slici 3.4. prikazana su polja u koja se unose naziv projekta, status projekta te kupac. Polje u kojem se upisuje kupac, u ovom slučaju, ostaje prazno.

Project data

Project name * Images

Project status

Customer

Sl. 3.4. Naziv i status projekta.

Građevina na kojoj se projektira sunčana elektrana nalazi se u Ulici Eugena Kumičića 57a u Slavonskom Brodu. Lokacija i krov građevine prikazani su na slici 3.5. Za podešenje napona (eng. Voltage level) postoje dvije mogućnosti:

1. Niski napon
2. Srednji napon.

U ovom projektu odabran je niski napon. Za priključak predmetnog mjernog mjesta sa sunčanom elektranom predviđa se trofazno brojilo, a vrijednost je također prikazana na slici.

Location of the building

Address search or coordinates (longitude, latitude) * Site for meteorological data *

Information: the address can be changed by moving the marking or by clicking with the right mouse button in the map.

Map

Voltage level *

Inverter grid connection

Preferred minimum nominal power ratio %

Sl. 3.5. Lokacija građevine i podaci o naponu.

U sljedećem koraku potrebno je odabrati vrstu i profil opterećenja te upisati godišnju potrošnju električne energije koja u ovom slučaju iznosi 15.724 kWh. Klikom na vrstu profila opterećenja (eng. Type of load profile) prikažu se četiri opcije koje se mogu odabrati, a to su:

1. Privatno kućanstvo
2. Komercijalno poslovanje
3. Industrijsko poduzeće
4. Vlastiti profil opterećenja.

U ovom radu odabire se Vlastiti profil opterećenja te je u tom slučaju potrebno kreirati novi profil opterećenja klikom na polje koje je označeno na slici 3.6.

Private household
Commercial business
Industrial company
Own load profile

+ New load profile

Load profile *
New profile

Annual energy consumption
< 15724 > kWh

Sl. 3.6. Detalji profila.

Slika 3.7. prikazuje prozor koji se otvori kada se odabere opcija označena na prethodnoj slici. Za kreiranje novog profila opterećenja potrebno je upisati naziv i ponovno unijeti godišnju potrošnju električne energije. Također, moguće je proizvoljno podesiti trajanje ljeta i zime. Još jedna pogodnost koju pruža softver je unos potrošnje električne energije, za svaki sat, u dnevni dijagram opterećenja prikazanog na slici 3.8. Sunčana elektrana troši više energije preko dana te je u tom slučaju namješteno da je tada potrošnja električne energije najveća dok je preko noći svedena na minimum.

You can enter the data for the new load profile here. You can import a file with consumption data or create a load profile yourself. The first day in the load profile is a Monday. Fields marked with an asterisk (*) are mandatory.

Name * Description

Default setting "annual energy consumption" kWh


The load profiles can be assigned to different seasons. Here you can adapt the seasons. To do this, select the dates for the beginning and end of summer and winter. Spring and fall will automatically be the seasons in between.

Breakdown of seasons into months

Summer to

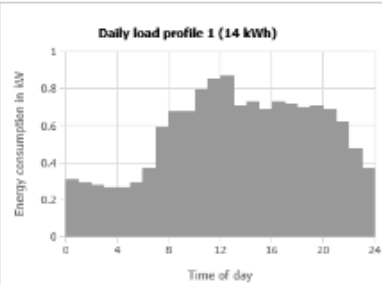
Spring/fall

Winter to



Here you can create the load profile for a single day. If multiple load profiles have been created, you can assign the load profiles to different days and seasons. Click on the appropriate diagram to edit the daily load profile.

Daily load profile 1 (14 kWh)



Summer

Spring/fall

Winter

Sl. 3.7. Kreiranje novog profila opterećenja.

Cancel
Daily load profile
Save load profile

Here you can edit the load profile for the selected day. Select the time interval and enter the average consumption for each time interval. Fields marked with an asterisk (*) are mandatory.

Select template
Set profile value

Name *

Time interval [minutes] *

Daily load profile 1

Time of day	Energy consumption in kW *
12:00 AM	0.02
1:00 AM	0.04
2:00 AM	0.10
3:00 AM	0.10
4:00 AM	0.10
5:00 AM	0.20
6:00 AM	0.30
7:00 AM	0.50
8:00 AM	0.58
9:00 AM	0.60
10:00 AM	0.90
11:00 AM	0.97

Time of day	Energy consumption in kW *
12:00 PM	1.00
1:00 PM	0.99
2:00 PM	0.96
3:00 PM	0.93
4:00 PM	0.89
5:00 PM	0.80
6:00 PM	0.79
7:00 PM	0.70
8:00 PM	0.40
9:00 PM	0.30
10:00 PM	0.10
11:00 PM	0.03

Sl. 3.8. Unos potrošnje električne energije za svaki sat.

Projektiranje sunčane elektrane nastavlja se odabirom polja sa slike 3.9.

Next steps

You have selected the project data and changed them if necessary. In the next step, you can define the system consisting of PV system, battery system and energy management components.

Configuration of the PV system

Sl. 3.9. Polje za nastavak projektiranja.

3.3. Konstrukcija fotonaponskog sustava

Nadalje, otvara se mogućnost podešenja nagiba krova te azimut. Postoje dva načina kako to napraviti. Jedan način je ručno podešenje, a drugi način daje satelitski prikaz krova gdje je potrebno unijeti dužinu i širinu krova, nagib, visinu strehe i slično.

No, prije tih koraka potrebno je izabrati fotonaponski modul. Pri projektiranju sunčane elektrane korišten je modul SV 144-455 E HC9B proizvođača SOLVIS d.o.o. sa sjedištem u Hrvatskoj. Električne karakteristike fotonaponskih modula mjerene su standardnim testnim uvjetima (eng. Standard Test Conditions, STC) gdje je temperatura ćelije 25 °C, snaga ozračenja $G = 1000 \text{ W/m}^2$ te optička masa zraka prema normi EN 60904-3 1,5 g. Podaci o fotonaponskom modulu prikazani su u sljedećim tablicama [6].

Tablica 3.1. Vrijednosti pod standardnim testnim uvjetima (STC)

<i>Model</i>		<i>SV 144-455 E HC9B</i>
<i>Vršna snaga P_{MPP}</i>	[W]	455
<i>Dopuštena varijacija</i>	[W]	-0/+5
<i>Struja kratkog spoja I_{SC}</i>	[A]	11,29
<i>Napon praznog hoda U_{OC}</i>	[V]	49,94
<i>Nazivna struja I_{MPP}</i>	[A]	10,66
<i>Nazivni napon U_{MPP}</i>	[V]	42,69
<i>Dopuštena varijacija napona i struje</i>	[%]	± 3
<i>Efikasnost modula</i>	[%]	20,93 %

Tablica 3.2. Temperaturna svojstva

<i>Temperaturni postotak snage P_{MPP}</i>	[%/K]	-0,338
<i>Temperaturni postotak struje I_{SC}</i>	[%/K]	0,047
<i>Temperaturni postotak napona U_{OC}</i>	[%/K]	-0,268

Tablica 3.3. Mehanički podaci

<i>Dimenzije ($V \times \check{S} \times D$)</i>	[mm]	2094 × 1038 × 35
<i>Masa</i>	[kg]	25
<i>Količina i tip ćelija</i>		144 ćelija, monokristalični Si, 166 x 83 mm +/- 1 mm
<i>Omotač ćelija</i>		Etilen-vinil acetat (EVA)
<i>Staklo</i>		3,2 mm kaljeno sunčano staklo
<i>Podloga</i>		Višeslojna poliesterska folija
<i>Okvir</i>		Okvir od anodiziranog aluminijskog s dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu
<i>Razvodna kutija</i>		IP67 s 3 Bypass diode
<i>Razvodni kablovi</i>		Kabel 4 mm ² , dužine >= 1000 mm

Tablica 3.4. Uvjeti rada

<i>Temperaturno područje</i>	[°C]	-40 do +85
<i>Maksimalni napon sustava</i>	[V]	1500
<i>Maksimalna dozvoljena prekidna struja osigurača po nizu fotonaponskih modula</i>		20 A
<i>Maksimalna dopuštena reverzna struja</i>		15 A
<i>Maksimalno opterećenje</i>		2400 Pa
<i>Tolerancija na udar</i>		Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s

3.3.1. Ručno podešenje krova

Ovaj način podešenja krova je brži i jednostavniji. Prvo je potrebno kreirati fotonaponski modul koji se koristi u ovom radu zato što takav tip modula nije ponuđen u softveru. Zatim odrediti od koliko modula se sastoji sunčana elektrana. Kako je poznato da je maksimalna snaga koju daje pretvarač 15 kW te vršna snaga modula 455 W, dijeljenjem te dvije vrijednosti dobije se broj 33.

Na krovu građevine predviđen je parni broj modula pa se uzima iznos 34, stoga se sunčana elektrana sastoji od 34 fotonaponska modula. Zadnji korak ovakvog načina podešenja je odrediti vrstu montaže, kut azimuta i nagiba krova. Elektrana je u odnosu na jug orijentirana za mali kut prema istoku (azimut 5°) sa postavljenim panelima koji prate nagib krova od 8°. Detaljniji prikaz podešenja svih parametara dan je na sljedećim slikama.

Slika 3.10. prikazuje polje je potrebno odabrati kako bi se kreirao modul SV144-455 E HC9B.

Sl. 3.10. Korak u kreiranju modula.

Sl. 3.11. Prikaz unesenih parametara za zadani modul iz prethodnih tablica.

Cancel

Number of PV modules and peak power

OK

You have selected the Solvis d.o.o. SV144-455 E HC9B* PV module with 455.00 Wp power. Please enter the desired number of PV modules or the peak power for this PV array.

Change all PV arrays

Number of PV modules

<
34
>

Peak power

<
15,47
>

kWp
▼

Sl. 3.12. Unos broja modula.

Vršna snaga, koja u ovom slučaju iznosi 15,47 kWp, mijenja se promjenom broja modula.

Cancel


Change orientation or mounting type


OK


You can change the azimuth and the tilt angle of the PV module here, or select whether the PV module will track the sun. The mounting type influences the heating of the PV cells compared to the ambient temperature.


Change all PV arrays

Mounting type



 Ground mount


 Roof


 Facade


 Integrated

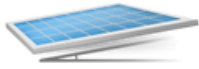
Azimuth angle



<
5
>
°

tracked

Tilt angle

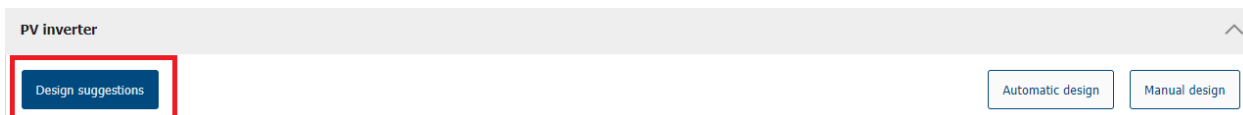


<
8
>
°

tracked i

Sl. 3.13. Podešenje vrste montaže, kut azimuta te nagiba krova.

Dalje je potrebno odabrati pretvarač. Klikom na označeno polje na slici 3.14. softver izbacuje sve pretvarače koje posjeduje. Pri odabiru potrebno je paziti na snagu koju pretvarač može dati, u ovom slučaju ona iznosi 15 kW.



Sl. 3.14. Korak za odabir pretvarača.

Number of inverters	Nominal power ratio	Energy yield / rating	Profitability	Nominal AC power
<input checked="" type="checkbox"/> 1 x STP 15000TL-30	99 %	100 %		15.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 15-50	99 %	99.8 % 0.2 %		15.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 20000TL-30	132 %	100 % 0 %		20.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 20-50	132 %	99.7 % 0.3 %		20.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 15000TL-10	99 %	99.8 % 0.2 %		15.00 kW
<input type="checkbox"/> 2 x SB6.0-1AV-41	81 %	98.9 % 1.1 %		12.00 kW
<input type="checkbox"/> 2 x STP8.0-3AV-40	105 %	99.6 % 0.4 %		16.00 kW
<input type="checkbox"/> 2 x STP10.0-3AV-40	132 %	99.7 % 0.3 %		20.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP8.0-3AV-40	94 %			16.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP8.0-3AV-40	120 %	99.7 % 0.3 %		16.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 12-50	96 %			15.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP3.0-3AV-40	115 %	99.3 % 0.7 %		15.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 12-50	100 %			16.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP4.0-3AV-40	131 %	99.2 % 0.8 %		16.00 kW
<input type="checkbox"/> 1 x STP 15000TL-30	120 %			18.00 kW

Sl. 3.15. Prikaz odabira optimalnog pretvarača.

Karakteristike pretvarača SMA Sunny TriPower STP15000TL-30 [7] prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 3.5. Karakteristike pretvarača

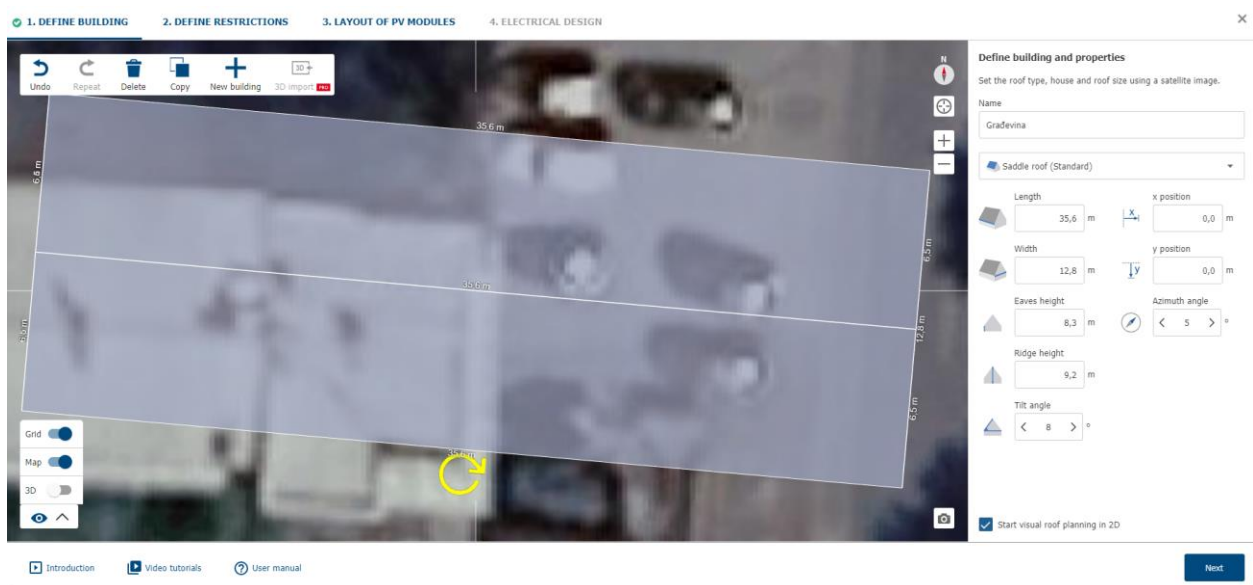
<i>Dimenzije ($\check{S} \times V \times D$)</i>	[cm]	66,1 × 68,2 × 26,4
<i>Masa</i>	[kg]	61
<i>Stupanj zaštite</i>		IP65
ULAZNE KARAKTERISTIKE		
<i>Maksimalna DC snaga</i>	[Wp]	15330
<i>Maksimalni DC napon</i>	[V]	1000
<i>MPP-napon</i>	[V]	240-800
<i>Maksimalna ulazna struja (MPP1/MPP2)</i>	[A]	33/33
<i>Broj nezavisnih MPP ulaza</i>		2
<i>Minimalni početni napon DC</i>	[V]	150
IZLAZNE KARAKTERISTIKE		
<i>Nazivna AC snaga</i>	[kW]	15000
<i>Nazivni AC napon</i>	[V]	3 × 230/400
<i>Maksimalna izlazna struja</i>	[A]	29
<i>Nazivna izlazna struja</i>	[A]	21,7
<i>Efikasnost</i>	[%]	98
<i>Vlastita potrošnja – noćni rad</i>	[W]	1

3.3.2. Vizualno podešenje krova

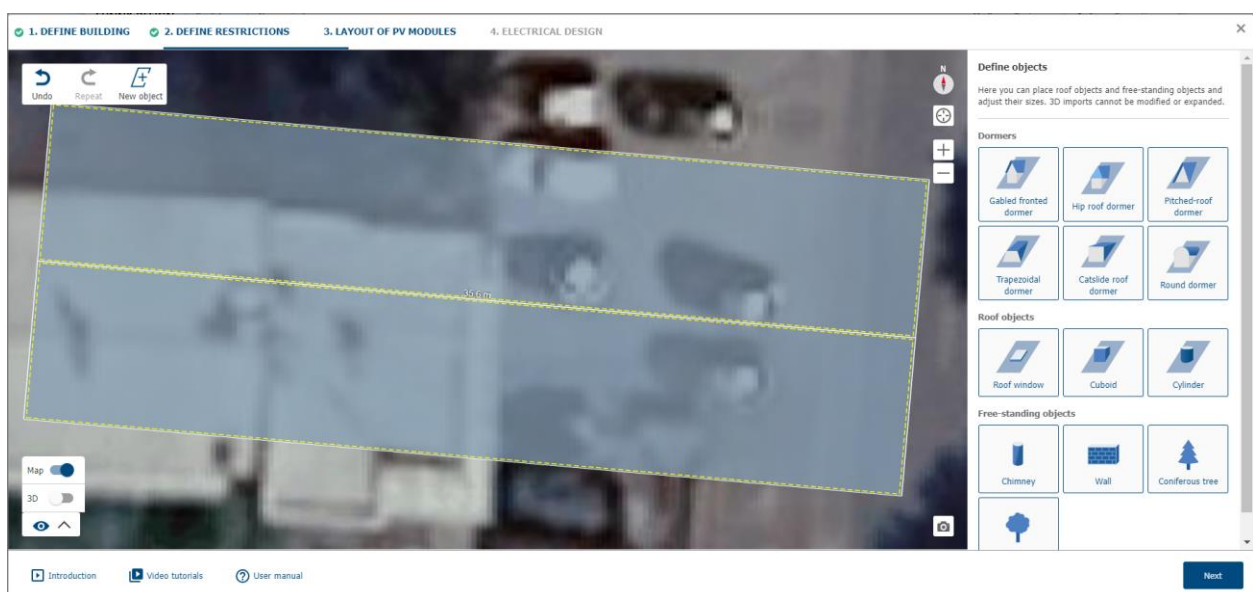
Sastoji se od četiri koraka:

1. Definiranje zgrade
2. Definiranje ograničenja
3. Raspored fotonaponskih modula
4. Električni dizajn

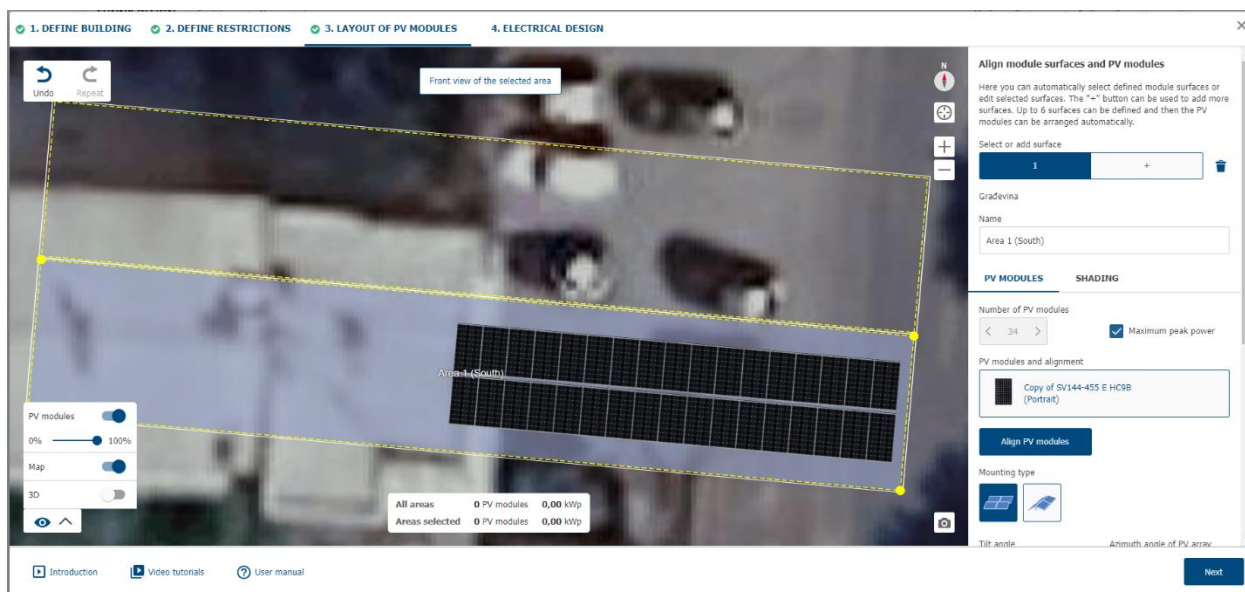
Kako su svi podaci o građevini već poznati, ovaj način podešenja krova prikazan je sljedećim slikama.



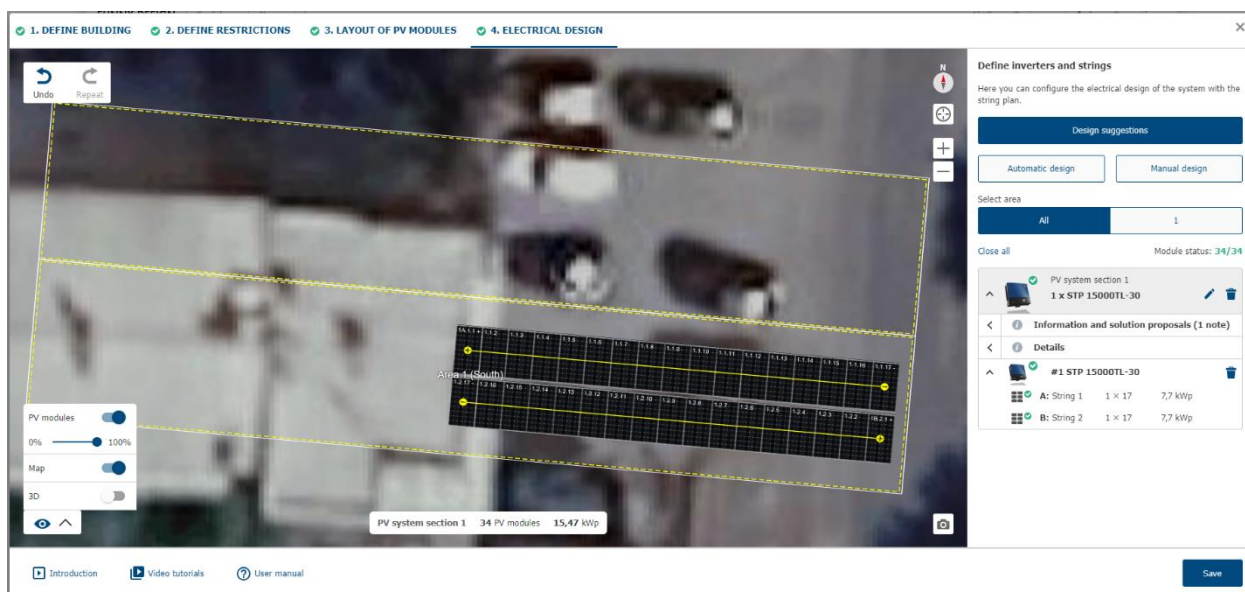
Sl. 3.14. Definiranje parametara zgrade.



Sl. 3.15. Definiranje ograničenja.

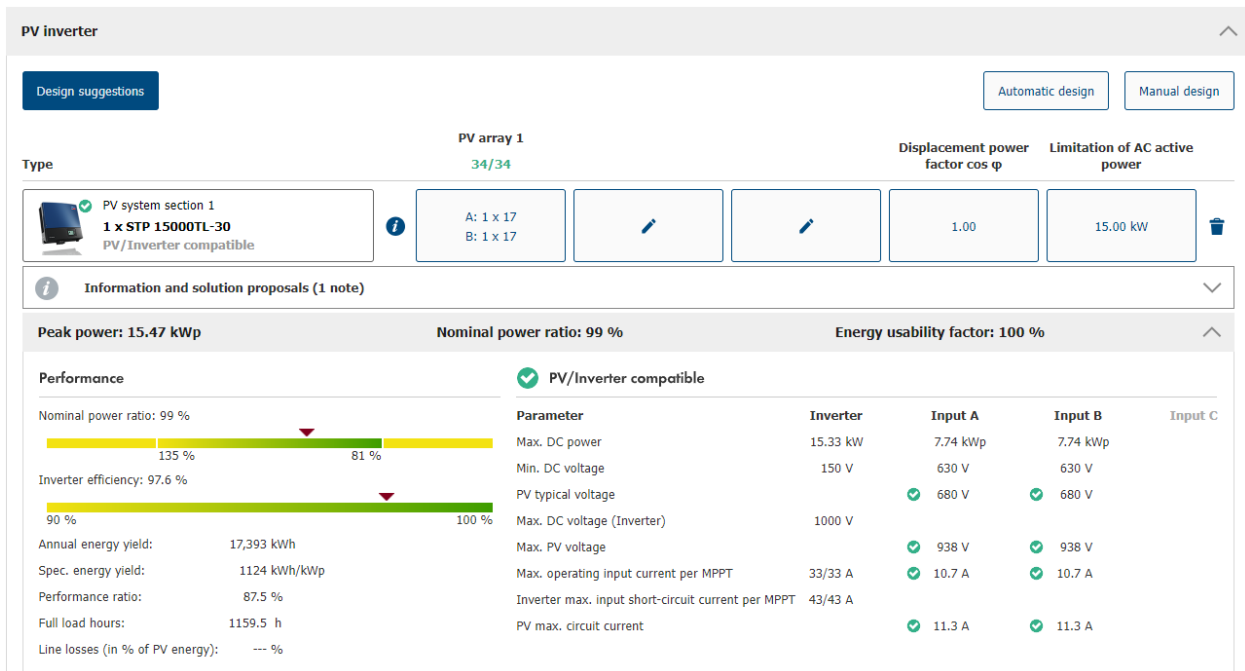


Sl. 3.16. Raspored fotonaponskih modula.



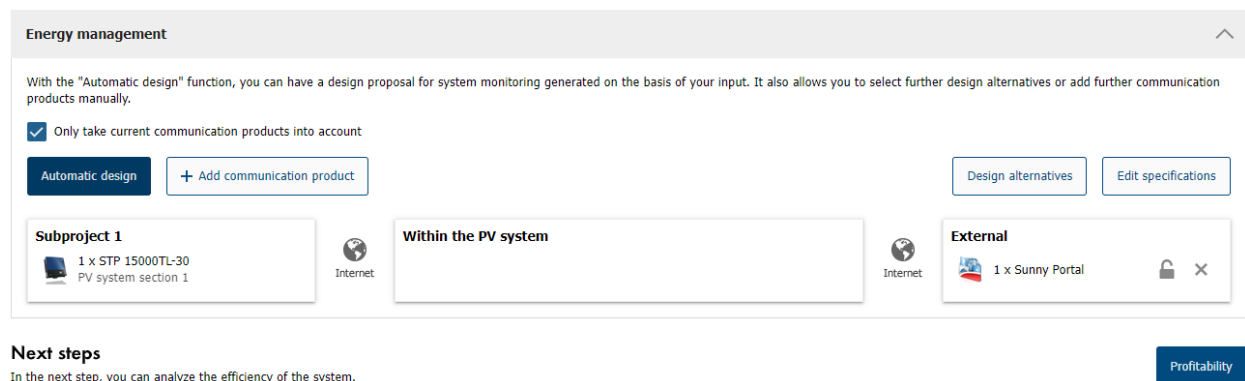
Sl. 3.17. Definiranje pretvarača i nizova.

Sunčana elektrana sastoji se od dva niza dok se svaki niz sastoji od 17 serijski spojenih fotonaponskih modula. Sa slike 3.18. vidi se da je snaga fotonaponskih nizova znatno predimenzionirana u odnosu na snagu pretvarača. Pri tome konfiguracija fotonaponskih nizova ne narušava tehničke zahtjeve pretvarača. Maksimalne vrijednosti struja i napona su u dozvoljenim granicama.



Sl. 3.18. Osnovne karakteristike pretvarača i fotonaponskih nizova.

U idućem koraku moguće je odabrati komunikacijske proizvode za upravljanje energijom. Klikom na automatski dizajn (eng. Automatic design) program automatski generira prijedlog dizajna na temelju dosadašnjeg unosa parametara. U ovom koraku dobiva se pregled komunikacijskih proizvoda koji se koriste u projektu i vrsti prijenosa podataka. Za ovaj projekt dodatni komunikacijski proizvodi nisu potrebni.



Sl. 3.19. Upravljanje energijom.

3.4. Efikasnost sustava

Nadalje je moguće urediti detalje o strukturi troškova te razmotriti analizu učinkovitosti sustava. Na slici 3.20. moguće je birati između pojednostavljenog unosa troškova (eng. Simplified costs

entry) i detaljnog unosa troškova (eng. Detailed costs entry). Za ovaj projekt izabran je pojednostavljeni unos te je u tom slučaju moguće unijeti standardne troškove za fotonaponski sustav, ostale troškove i standardne godišnje fiksne troškove kao udio kapitalnih izdataka. Ukupna investicija za ovu sunčanu elektranu iznosi 20.111,00 eura.

Costs ^

Project costs

Here you can determine the investment and operating costs of the project. A simplified entry of costs is available, which allows a quick calculation based on specific costs. Each individual cost item can be entered in the detailed cost entry as well as an offer created. You can define the introduction text and final text under "My Sunny Design" > "Settings" > "Offers". Fields marked with an asterisk (*) are mandatory.

Fixed price

	Specific costs	Number	Total
PV system	1300,00 EUR/kWp	× 15.47 kWp	20,111.00 EUR
Other costs	EUR		---
Total investment			20,111.00 EUR
Fixed cost			
Annual fixed costs (as percentage of capital expenditure)	1,50 %		301.67 EUR

Sl. 3.20. Troškovi.

U sljedećem odjeljku prikazani su troškovi električne energije kao i ušteda na troškovima električne energije. Ušteda troškova električne energije promatrana u prvoj godini izračunava se iz razlike godišnjih troškova električne energije sa i bez sunčane elektrane. Iz slike 3.21. vidljivo je da ona iznosi 2.664 eura. Ukupna ušteda tijekom 20 godina, čiji je iznos 56.016 eura, sastoji se od ukupnih ušteda troškova električne energije i naknade za napajanje. Od toga se oduzimaju kapitalni izdaci, troškovi financiranja te operativni izdaci. Stopa rasta cijene električne energije uključena je u troškove električne energije. Nadalje, degradacija fotonaponskih modula uzima se u obzir u naknadi za napajanje.

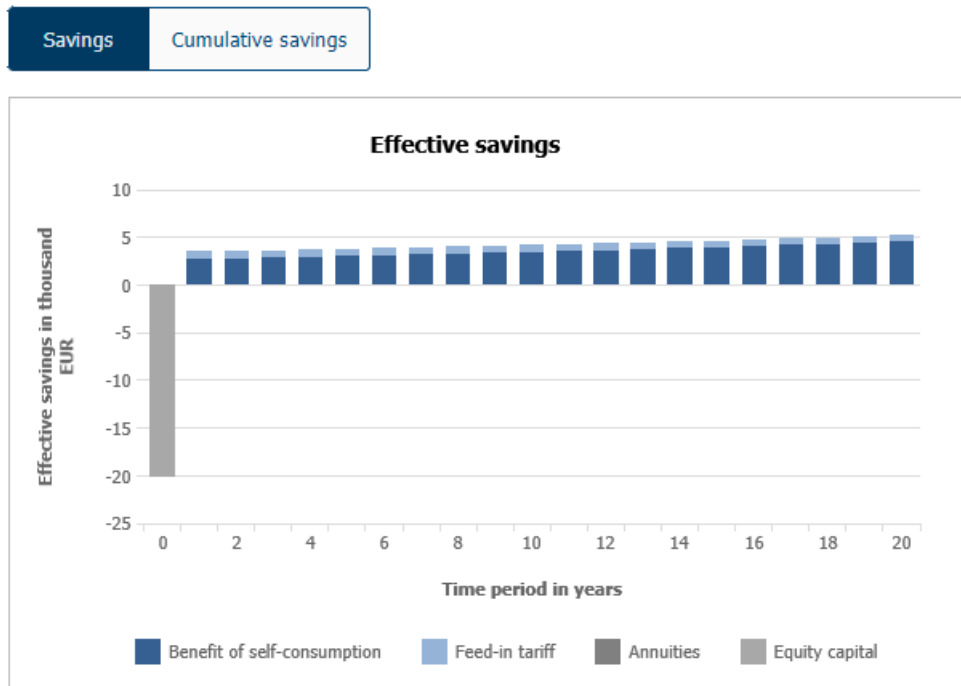
Results ^

In this overview you can view the results of the efficiency of the system. [Edit tariff](#)

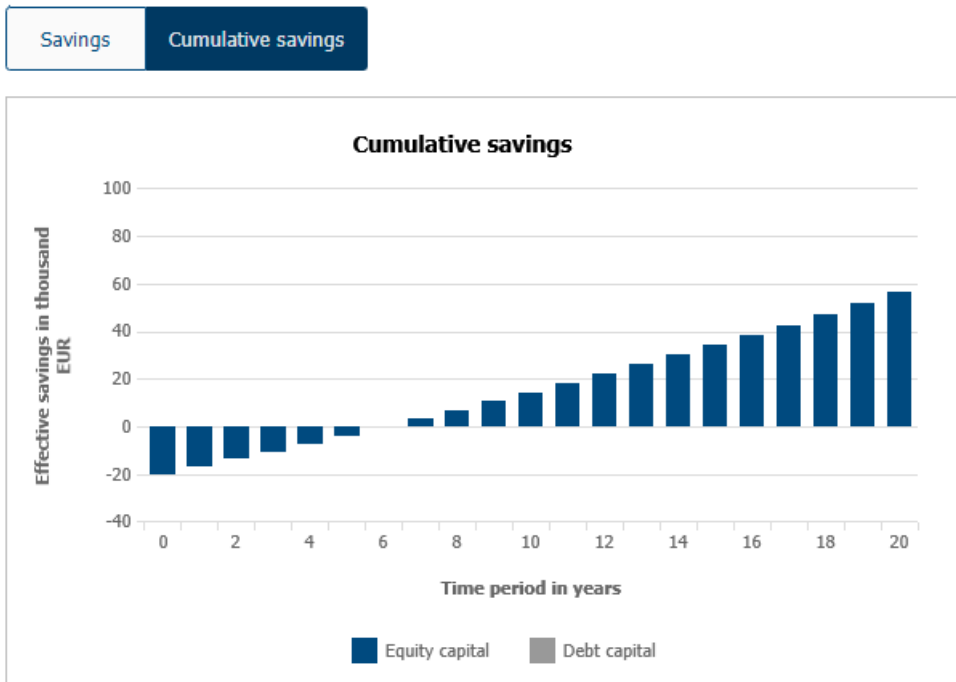
<p>Annual electricity costs</p> <p>4,403 EUR Without PV system in the first year ⓘ</p> <p>7,720 EUR Without PV system in 20 year(s) ⓘ</p> <p>951 EUR With PV system in the first year ⓘ</p>	<p>Savings</p> <p>2,664 EUR Electricity costs saved in the first year ⓘ</p> <p>69,601 EUR Electricity costs saved after 20 year(s) ⓘ</p> <p>56,016 EUR Total savings after 20 year(s) ⓘ</p> <p>16,50 % Annual return (IRR) ⓘ</p>	<p>Further key figures</p> <p>14,632 EUR Feed-in tariff after 20 year(s)</p> <p>6.1 a Expected amortization period ⓘ</p> <p>0.144 EUR/kWh Electricity production cost over 20 year(s) ⓘ</p>
---	---	---

Sl. 3.21. Prikaz troškova i uštede električne energije.

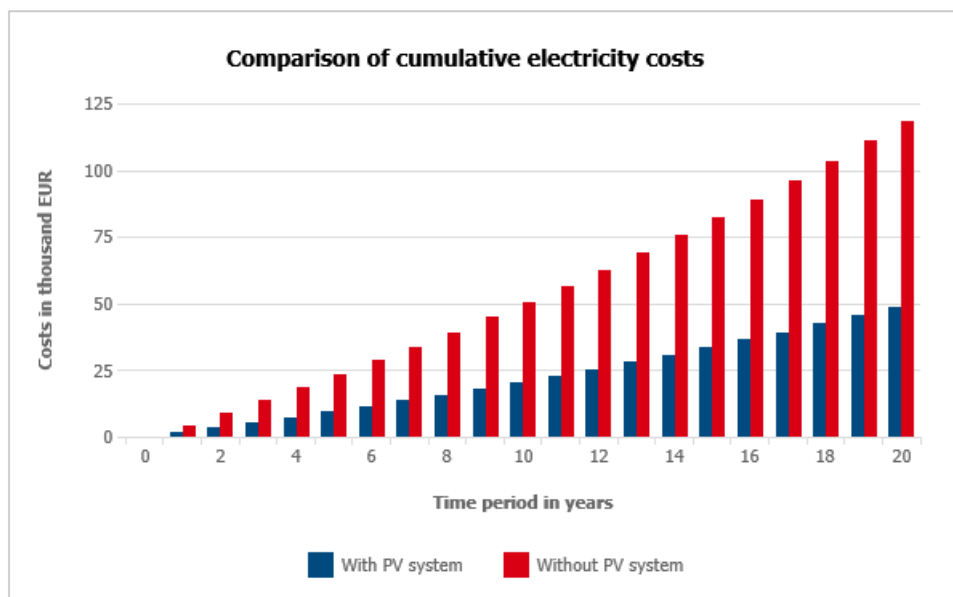
Daljnji grafovi prikazuju učinkovitu uštedu, kumulativnu uštedu te usporedbu kumulativnih troškova električne energije u promatranom razdoblju koje iznosi 20 godina.



Sl. 3.22. Učinkovita ušteda tijekom 20 godina.



Sl. 3.23. Kumulativna ušteda tijekom 20 godina.



Sl. 3.24. Usporedba kumulativnih troškova električne energije tijekom 20 godina.

Klikom na označeno polje na slici otvara se prozor sa rezultatima i informacijama o projektu.

Next steps

In the next step, you can check the entries and results in the overview.

[To the overview of results](#)

Sl. 3.25. Polje za pregled rezultata.

3.5. Rezultati

Na slikama 3.26 i 3.27 prikazane su osnovne informacije o projektu koje su u prethodnim koracima unesene, neke od njih su naziv i lokacija sunčane elektrane, vršna snaga, kut azimuta te nagib krova i drugo. Izvršenjem simulacije rada sunčane elektrane dobivene su vrijednosti proizvodnje električne energije elektrane kao i potrošnja građevine, koja se sastoji od dijela proizvedene električne energije, dijela preuzete električne energije iz mreže te količine predane električne energije u mrežu.

Iz rezultata je vidljivo da je očekivana godišnja proizvodnja električne energije elektrane instalirane snage 15 kW za vlastite potrebe 17.393 kWh, a očekivana godišnja električna energija predana u mrežu je 7.878 kWh. Naravno to je samo okvirni iznos, jer proizvodnja ovisi o vremenskim uvjetima.

Nadalje s ekološke strane izgradnja ove elektrane će smanjiti proizvodnju 4,08 tone CO₂ godišnje koliko bi se inače stvorilo ovog štetnog plina za proizvodnju ove količine električne energije (17.393 kWh x 0,00023481 t/kWh).

Project	SUNČANA ELEKTRANA	Customer	
Location	Ul. Eugena Kumičića 57, 35000, Slavonski Brod, Croatia	Address	

Project information ^

Total number of PV modules	34	Spec. energy yield	1124 kWh/kWp
Peak power	15.47 kWp	Line losses (in % of PV energy)	---
Number of PV inverters	1	Unbalanced load	0.00 VA
Nominal AC power of the PV inverters	15.00 kW	Annual energy consumption	15,724 kWh
AC active power	15.00 kW	Self-consumption	9,515 kWh
Active power ratio	97 %	Self-consumption quota	54.7 %
Annual energy yield	17,393 kWh	Self-sufficiency quota	60.5 %
Energy usability factor	100 %	CO₂ reduction after 20 years	117 t
Performance ratio	87.5 %		

System overview ^

[Upload images](#)

PV arrays: 34 x Solvis d.o.o. SV144-455 E HC9B (PV array 1)
Azimuth angle: 5 °, Tilt angle: 8 °, Mounting type: Roof, Peak power: 15.47 kWp

PV inverter: 1 x STP 15000TL-30

Energy management: Sunny Portal

Information (0 warnings, 0 errors) ^

- ✔ **SUNČANA ELEKTRANA** ^
- ✔ **Subproject 1 (0 warnings, 0 errors)** ^
- ✔ PV array 1
- ✔ 1 x STP 15000TL-30
PV system section 1 You get this inverter including SMA ShadeFix. SMA ShadeFix is a patented inverter software that automatically optimizes the yield of PV systems in any situation. Even under shading conditions.

Sl. 3.26. Informacije o projektu.

Energy & Environment ^

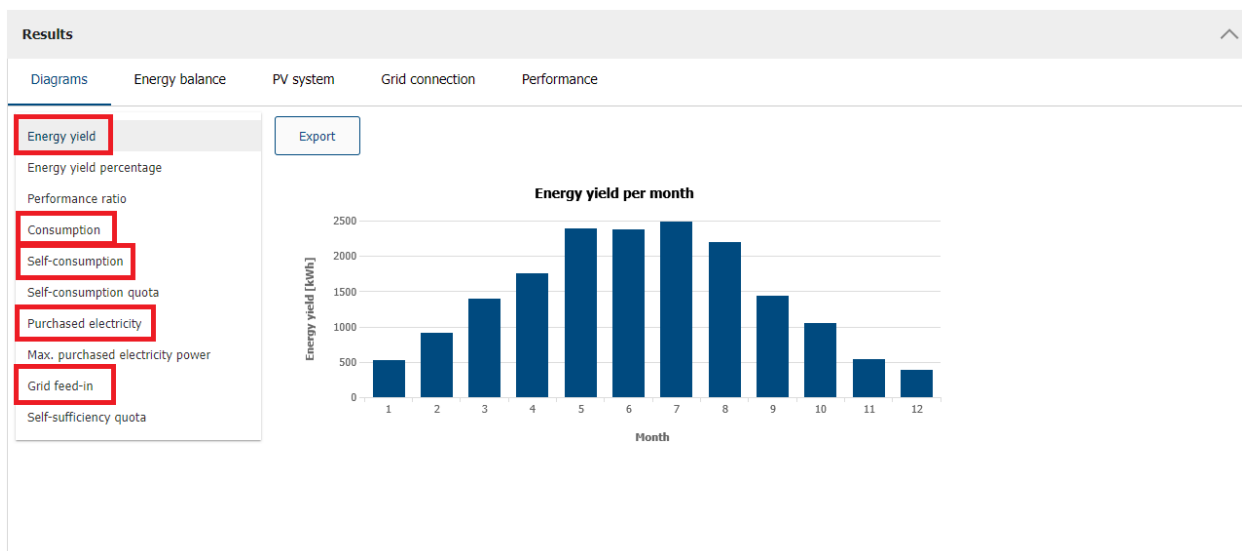
Distribution of PV energy

Details

Annual energy consumption	15,724 kWh
Annual energy yield	17,393 kWh
Grid feed-in	7,878 kWh
Purchased electricity	6,209 kWh
Max. purchased electricity power	4.11 kW
Self-consumption	9,515 kWh
Self-consumption quota (in % of PV energy)	54.7 %
Self-sufficiency quota (energy consumption in %)	60.5 %

Sl. 3.27. Proizvodnja električne energije.

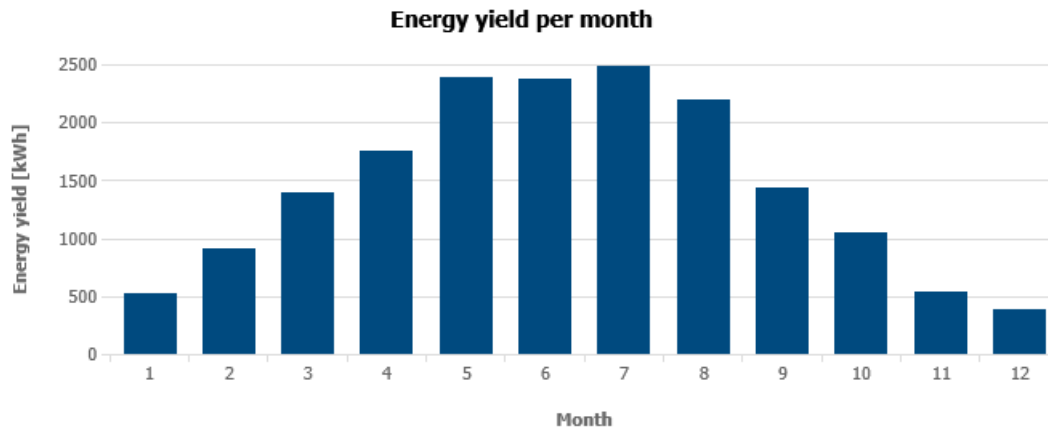
Dalje su prikazani dijagrami i rezultati simulacije rada sunčane elektrane. Kako točne vrijednosti nisu prikazane na dijagramima, klikom na polje eng. Export izvezene su tablice sa točnim vrijednostima za svaki mjesec. U ovom projektu prikazane su tablice za označena polja sa slike 3.28.



Sl. 3.28. Rezultati simulacije i dijagrami.

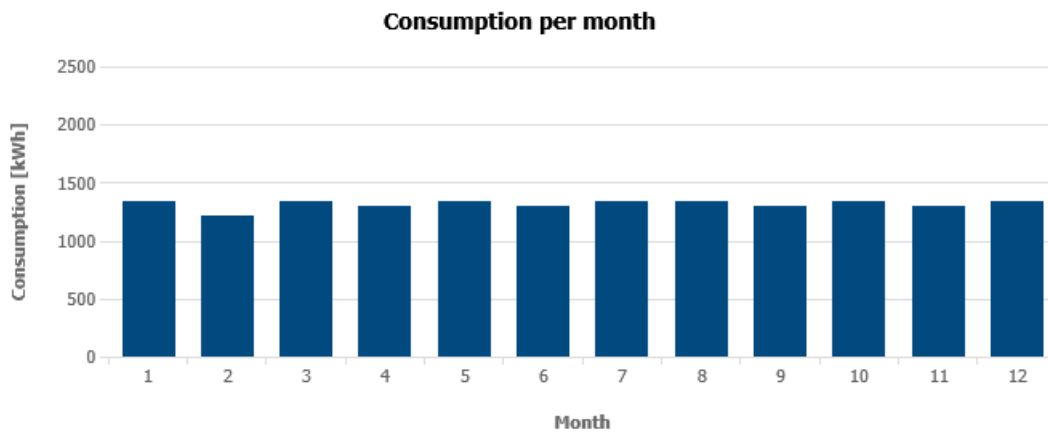
Tablica 3.6. Rezultati simulacije rada sunčane elektrane

Mjesec	Proizvedena električna energija iz sunčane elektrane (kWh)	Modelirana potrošnja (kWh)	Energija potrošena na objektu (kWh)	Električna energija preuzeta iz mreže (kWh)	Višak proizvedene električne energije (kWh)
01	519	1335	446	888	72
02	908	1211	625	581	282
03	1389	1335	837	498	552
04	1750	1292	938	354	811
05	2385	1335	1069	267	1316
06	2373	1292	1058	234	1315
07	2481	1335	1111	225	1371
08	2193	1335	1048	288	1146
09	1426	1292	864	428	562
10	1040	1335	715	621	325
11	542	1292	444	849	99
12	387	1335	360	976	27
Ukupno	17.393	15.724	9.515	6.209	7.878

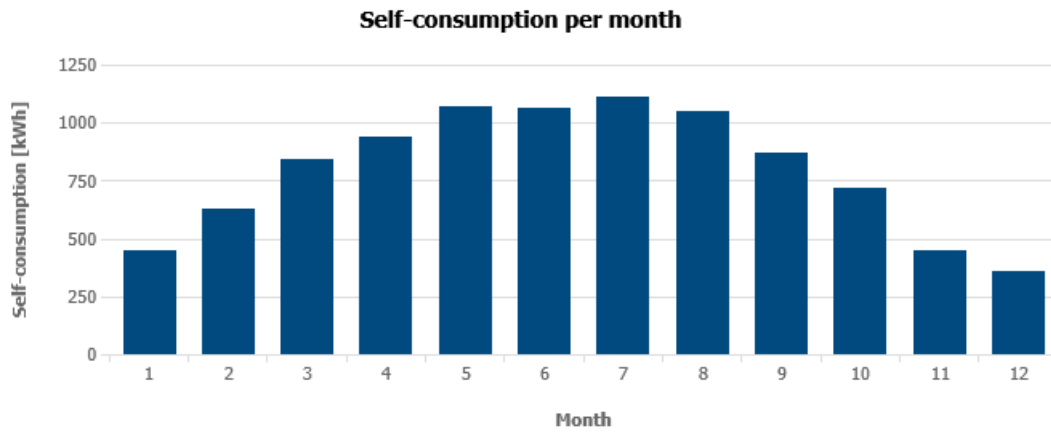


Sl. 3.29. Proizvedena električna energija iz sončane elektrane.

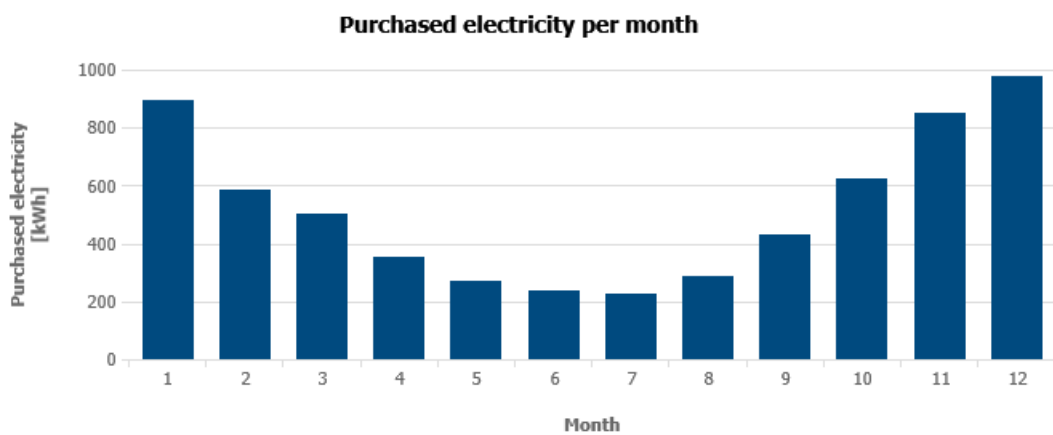
Prema slici 3.29. vidi se kako je najveća proizvodnja električne energije u srpnju te ona iznosi 2.481 kWh, dok je najmanja proizvodnja u prosincu i to 387 kWh.



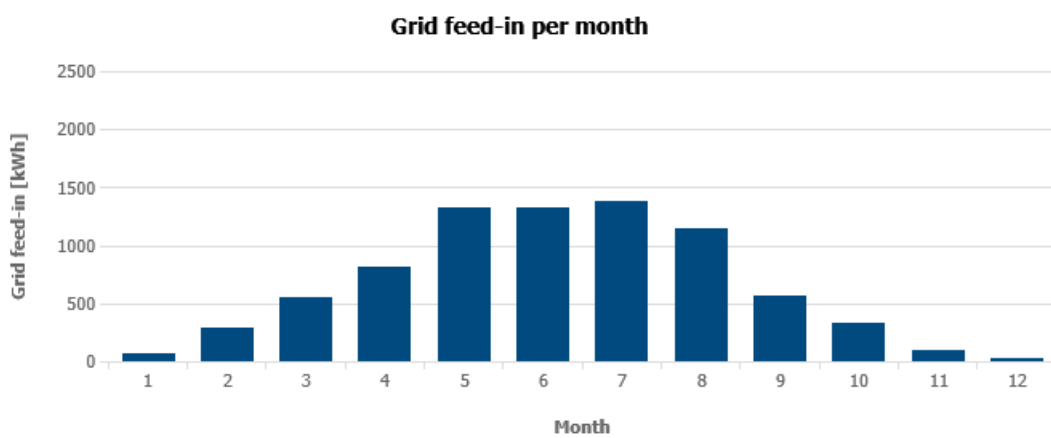
Sl. 3.30. Modelirana potrošnja.



Sl. 3.31. Električna energija potrošena na objektu.



Sl. 3.32. Električna energija preuzeta iz mreže.

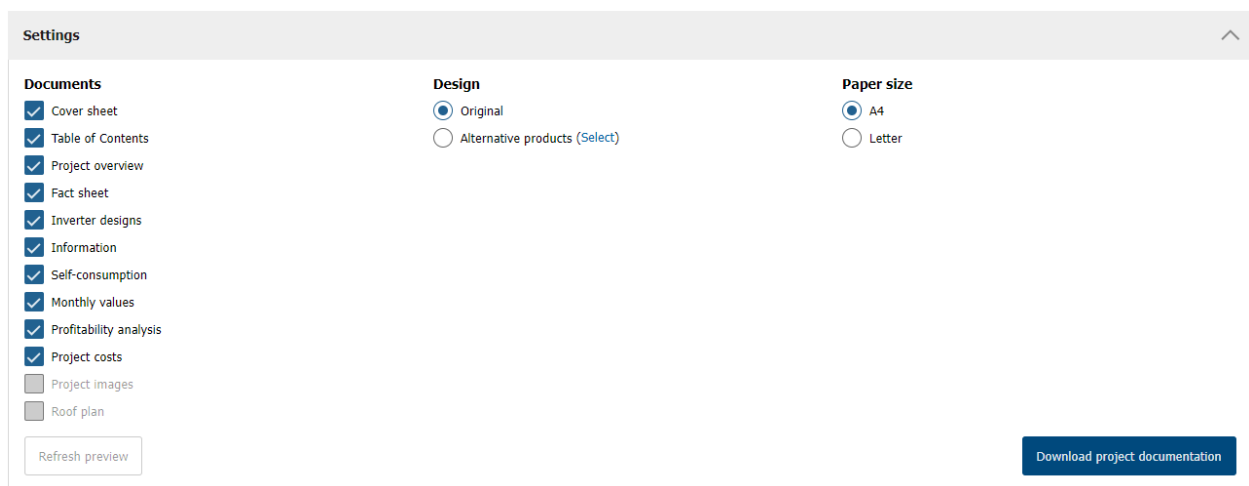


Sl. 3.33. Višak proizvedene električne energije.

Prema proračunu može se vidjeti da je najveća predaja viška električne energije u ljetnim danima, kada je i najveća proizvodnja. Najveći dio proizvedene električne energije odmah se troši lokalno, a višak se predaje u mrežu. Međutim kako pretvarač ima mogućnost uključanja „prioritetnih trošila“ (npr. klima uređaja ili grijača za pripremu tople vode i sl.) kada se pojavi višak električne energije, na taj način bi se trošila gotovo sva proizvedena električna energija na objektu dok postoji proizvodnja, čime bi se ujedno smanjila i količina električne energije preuzete iz mreže.

3.6. Projektna dokumentacija

U sljedećem koraku softver omogućuje ispis projektne dokumentacije kao PDF datoteku.



Sl. 3.34. Odabir dokumenata.

3.7. Provjera maksimalnog i minimalnog napona

Maksimalni napon se provjerava u situacijama kada su moduli u otvorenom krugu i temperatura ćelija je niska. Također, izvodi se vrše na $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vrijednosti napona modula uzete sa natpisne pločice ili iz tehničkih podataka (tablice 3.1. i 3.2.) odnose se na standardne uvjete rada (zračenje 1000 W/m^2 , AM 1,5 i temperaturu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Proračun maksimalnog napona vrši se prema formuli (3.1.):

$$U_{PHmax} = U_{PH} \cdot n \cdot \left(1 - (T - 25) \cdot \frac{\Delta V\%}{100} \right) \quad (3-1).$$

Gdje je :

$U_{PH} = U_{OCSTC}$ – napon otvorenog kruga pod standardnim uvjetima rada [V],

n – broj modula u seriji,

$\Delta V\%$ – temperaturni koeficijent modula,

T – temperatura pri kojoj se vrši proračun ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Vrijednost napona otvorenog kruga (praznog hoda) pri standardnim uvjetima rada iznosi 49,94 V, a temperaturni koeficijent modula $-0,268\text{ } \%/K$. Ovi podaci su prikazani u obliku tablica 3.1. i 3.2. Sa slike 3.17. vidljivo je kako je broj modula u seriji za jedan niz 17. Kako su poznate sve vrijednosti koje su potrebne za izračun maksimalnog napona, uvrštavanjem u formulu (3.1.) dobije se:

$$U_{PHmax} = 49,94 \cdot 17 \cdot \left(1 - (-10 - 25) \cdot \frac{0,268}{100} \right) = 928,6\text{ V} \quad (3-2).$$

Dobiveni napon od 928,6 V manji je od maksimalnog napona na ulazu u pretvarač, koji iznosi 1000 V (tablica 3.5.), što znači da pretvarač zadovoljava.

Minimalni napon dobiva se u slučaju kada se moduli nalaze u MPP točki i pri visokoj temperaturi ćelija. Temperatura koja se koristi pri ovom slučaju iznosi $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]. Formula za minimalni napon glasi:

$$U_{min} = U_{MPP} \cdot n \cdot \left(1 - (T - 25) \cdot \frac{\Delta V\%}{100} \right) \quad (3-3).$$

Gdje je:

U_{MPP} – napon fotonaponskog modula u MPP točki [V],

n – broj modula u seriji,

$\Delta V\%$ – temperaturni koeficijent modula,

T – temperatura pri kojoj se vrši proračun ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Uvrštavanjem vrijednosti iz već spomenutih tablica u formulu (3.3), iznos minimalnog napona je:

$$U_{min} = 42,69 \cdot 17 \cdot \left(1 - (60 - 25) \cdot \frac{0,268}{100} \right) = 657,7\text{ V} \quad (3-4).$$

Raspon MPP napona pretvarača iznosi 240-800 V, što je vidljivo u tablici 3.5. Stoga, je vrijednost minimalnog napona u dozvoljenim granicama.

3.8. Strujno dimenzioniranje kabela i osigurača

Maksimalna struja modula jednaka je maksimalnoj struji kratkog spoja modula I_{sc} . Kabele i osigurače treba prilagoditi toj istoj struj. Ako se primjenjuju, osigurači serija modula su topivi tipa gPV, za prekidanje DC struja u sustavima do 1000 V.

Moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

1. $I_{sc} < I_o < I_d$
2. $1,4 \cdot I_{sc} \leq I_o \leq 2,4 \cdot I_{sc}$

Gdje je:

I_{sc} – struja kratkog spoja fotonaponskog modula [A],

I_o – nazivna struja osigurača [A],

I_d – stalna dopuštena struja u vodu [A],

I_n – struja u vodu [A].

Tablica 3.7. Strujno dimenzioniranje

Dionica kabela		Tip i presjek		MPP struja	Max. struja	Struja osigurača	Faktor polaganja	Nazivna dozvoljena struja	Dozvoljena struja	Uvjet 1	Uvjet 2
od	do	kabela [mm ²]		I_{MPP} [A]	I_{sc} [A]	I_o [A]		[A]	I_d [A]	$I_{sc} < I_o < I_d$	$1.4 \cdot I_{sc} \leq I_o \leq 2.4 \cdot I_{sc}$
Pretvarača	Prvog niza	2xPV1F-	6,0	10,66	11,29	16	0,5	70	35	DA	DA
Pretvarača	Drugog niza	2xPV1F-	6,0	10,66	11,29	16	0,5	70	35	DA	DA

Dozvoljena struja I_d dobije se množenjem faktora polaganja i nazivne dozvoljene struje, dok se ostali parametri iščitaju iz specifikacija modula i kabela. Iz izračuna u tablici 3.7. vidljivo je da su oba uvjeta zadovoljena.

4. ZAKLJUČAK

Globalno zatopljenje zbog emisije stakleničkih plinova i nestašice fosilnih goriva potaknulo je gotovo sve zemlje svijeta da traže alternativu za proizvodnju električne energije. Energetski resursi kao što su sunce, vjetar, geotermalna energija i energija valova, razmatraju se kao zamjena jer uzrokuju zanemarivo onečišćenje okoliša u usporedbi s energijom temeljenom na fosilnim gorivima. Solarna energija postaje popularan izvor budući da je neograničena opskrba energijom koja pomaže u smanjenju emisija stakleničkih plinova. Dostupnost električne energije znatno utječe na ekološki i društveni razvoj.

Prije projektiranja sunčane elektrane opisane su glavne komponente solarnog sustava, a to su fotonaponska ćelija, fotonaponski modul te pretvarač. Fotonaponska ćelija sastoji se od jednog ili dva sloja materijala, najčešće silicija. Osvjetljenjem fotonaponske ćelije preko slojeva se stvara električno polje koje uzrokuje protok struje. Protok električne energije je veći što je svjetlost jača. Iz fotonaponskih modula generira se istosmjerna struja koju je potrebno preoblikovati u izmjeničnu te je pretvarač taj koji obavlja tu funkciju. Sklop fotonaponskih modula, pretvarača i ostalih komponenata čine cijeli solarni sustav. Razlikuju se samostalni odnosno otočni solarni sustavi te sustavi spojeni na mrežu.

Ovaj rad usmjeren je na projektiranje sunčane elektrane na hali nazivne snage 15 kW pomoću softvera Sunny Design. Sunčana elektrana koristi električnu energiju za vlastite potrebe te se zbog toga gleda da je istovremeno u funkciji i kao proizvođač i kao potrošač. Trenutna godišnja potrošnja električne energije prema energetske kartici za razdoblje od 2021. do 2022. godine prosječno je 15.724 kWh. Elektrana se sastoji od 34 fotonaponska modula izrađenih u monokristalnoj tehnologiji koji su od proizvođača Solvis tipa SV144-455 E HC9B te pretvarača od proizvođača SMA tip Sunny TriPower STP15000TL-30 i kablskih instalacija. Iz krajnjih rezultata u softveru vidljivo je da je planirana godišnja proizvodnja električne energije na elektrani 17.393 kWh. Višak proizvedene električne energije koji u ovom slučaju iznosi 7.878 kWh prenosi se u elektroenergetsku mrežu HEP-ODS-a. U budućem se periodu planira povećanje potrošnje električne energije u objektu radi instalacije novih strojeva za proširivanje proizvodnje. Najveća predaja viška električne energije je u ljetnom razdoblju kada je i najveća proizvodnja. Vrijednost godišnje proizvodnje električne energije za vlastite potrebe je 9.515 kWh, dok ukupna ušteda iznosi 60,5 %.

LITERATURA

- [1] Lj. Majdančić, „Fotonaponski sustavi“, Zagreb: Tehnička škola Ruđera Boškovića, 2009. godine
- [2] J. Zdenković, T. Toth, „Fotonaponski otočni sustavi“, Zagreb, Schrack Technik, 2017. godine
- [3] URL: <https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/fotonaponski-sustavi/>
- [4] D. Šljivac, D. Topić: „Obnovljivi izvori električne energije“, FERIT Osijek, 2018. godine
- [5] URL: <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/Home>
- [6] SOLVIS d.o.o. https://solvis.hr/wp-content/uploads/2022/03/LQSOLVIS-DS-HR-SV144_E_HC9B-2094x1038x35-435-455-20210222.pdf
- [7] URL: <https://www.europe-solarstore.com/download/sma/sunny-tripower/STP25000TL-30-DEN1622-V30web.pdf>
- [8] URL: https://strukturnifondovi.hr/wpcontent/uploads/2019/03/07_Prilog7_Glavni_projekt.pdf

SAŽETAK

Danas najrasprostranjenija tehnologija u proizvodnji obnovljive energije su fotonaponske solarne elektrane koje tijekom godina imaju sve veći rast. Upravo zato je cilj ovog diplomskog rada projektiranje sunčane elektrane nazivne snage 15 kW, korak po korak, sa naglaskom na softver Sunny Design. Prvo se obratila pozornost na solarne sustave općenito, na njegove komponente te kratkog opisa komponenata. Drugi dio rada odnosi se na detaljan prolaz kroz svaki korak koji nudi softver. Nakon unosa osnovnih podataka o građevini, od kojih su najvažniji lokacija, godišnja potrošnja električne energije, nagib krova, azimut, tip fotonaponskih modula te pretvarača, softver izbacuje podatke o troškovima, očekivanoj godišnjoj proizvodnji i potrošnji električne energije te ukupnoj uštedi električne energije.

Ključne riječi: komponente fotonaponskih sustava, sunčana elektrana, softver Sunny Design, električna energija.

ABSTRACT

Today, the most widespread technology in the production of renewable energy is photovoltaic solar power plants, which have been growing steadily over the years. The goal of this thesis is to design a solar power plant with a rated power of 15 kW using Sunny Design software. First, attention was paid to photovoltaic systems in general, to its components, and to a brief description of the components. The second part of the paper refers to a detailed passage through each step offered by the software. After entering basic data about the building, the most important of which are location, annual electricity consumption, roof pitch, azimuth, type of photovoltaic modules and converters, the software outputs data on costs, expected annual electricity production and consumption, and total electricity savings.

Key words: components of photovoltaic systems, solar power plant, Sunny Design software, electricity.

PRILOZI

Prilog 1. Projektna dokumentacija



/ Project documentation

SUNČANA ELEKTRANA

Any Company
Any Street 21
54321 Any Town
Tel.: +49 123 456-0
Fax: +49 123 456-100
E-Mail: info@any-company.de
Internet: www.any-company.de

Project number: ---
Location: Croatia / Slavonski Brod
Date: 9/5/2023

Created with Sunny Design 5.50.3
© SMA Solar Technology AG 2023

Prilog 1. Projektna dokumentacija

/ Table of Contents

Project overview	3
Fact sheet	4
Inverter designs	6
Information	7
Self-consumption (electricity)	8
Monthly values	9
Profitability analysis	10
Cost estimate (non binding)	12

Any Company
Any Street 21
54321 Any Town

Tel.: +49 123 456-0
Fax: +49 123 456-100
E-Mail: info@any-company.de
Internet: www.any-company.de

Any Company • Any Street 21 • 54321 Any Town

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod
Grid voltage: 230V (230V / 400V)

System overview

34 x Solvis d.o.o. SV144-455 E HC9B (PV array 1)

Azimuth angle: 5 °, Tilt angle: 8 °, Mounting type: Roof, Peak power: 15.47 kWp



1 x SMA STP 15000TL-30

PV design data

Total number of PV modules:	34	Spec. energy yield*:	1124 kWh/kWp
Peak power:	15.47 kWp	Line losses (in % of PV energy):	---
Number of PV inverters:	1	Unbalanced load:	0.00 VA
Nominal AC power of the PV inverters:	15.00 kW	Annual energy consumption:	15,724 kWh
AC active power:	15.00 kW	Self-consumption:	9,515 kWh
Active power ratio:	97 %	Self-consumption quota:	54.7 %
Annual energy yield*:	17,393 kWh	Self-sufficiency quota:	60.5 %
Energy usability factor:	100 %	CO ₂ reduction after 20 years:	117 t
Performance ratio*:	87.5 %		

*Important: The yield values displayed are estimates. They are determined mathematically. SMA Solar Technology AG accepts no responsibility for the real yield value which can deviate from the yield values displayed here. Reasons for deviations are various external conditions, such as soiling of the PV modules or fluctuations in the efficiency of the PV modules.

Your energy system at a glance

/ Project: SUNČANA ELEKTRANA

Any Company
Any Street 21
54321 Any Town
Tel.: +49 123 456-0
Fax: +49 123 456-100
E-Mail: info@any-company.de
Internet: www.any-company.de

Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

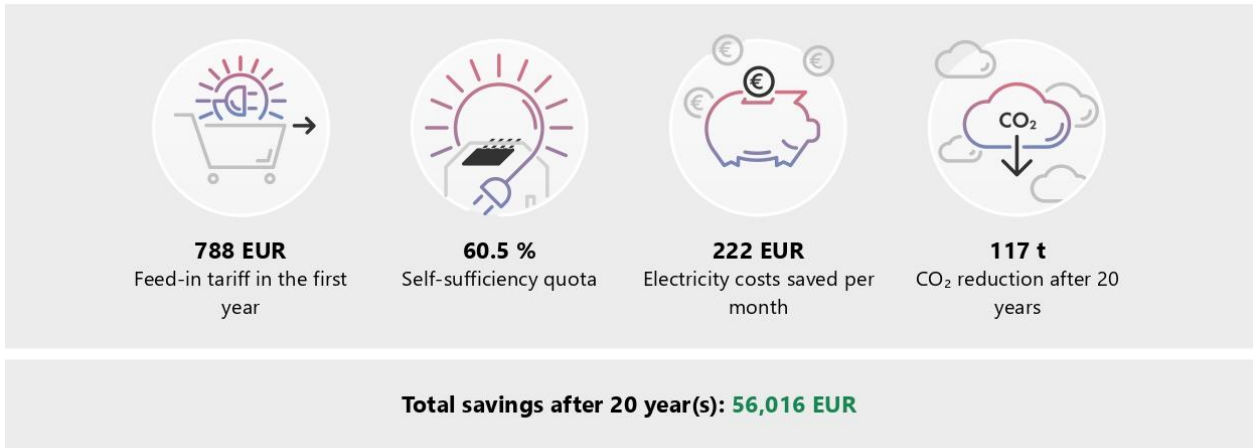
Date: 9/5/2023

Created with Sunny Design 5.50.3
© SMA Solar Technology AG 2023

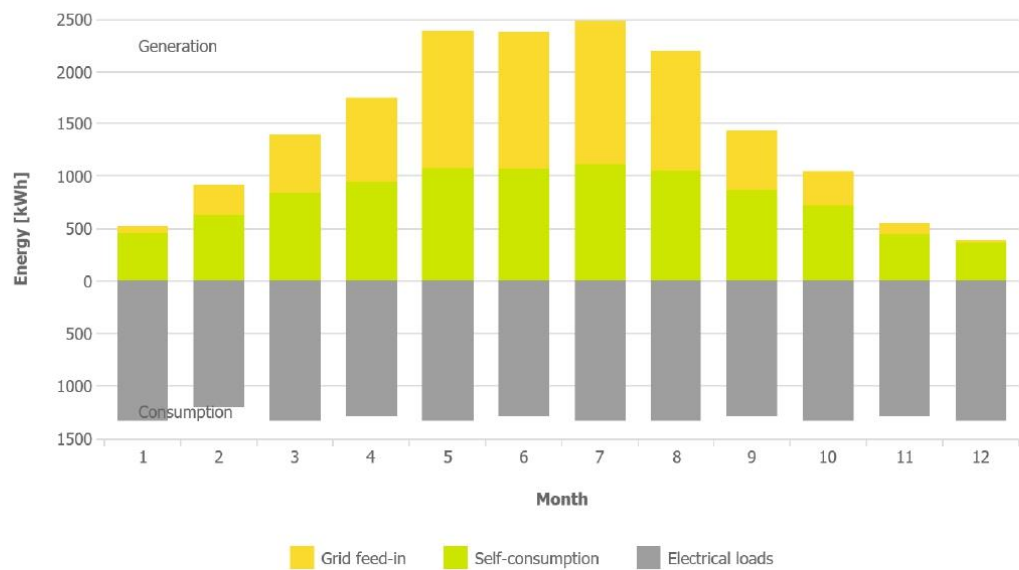
/ Energy system

PV system	PV inverter 1 x SMA STP 15000TL-30	PV arrays 34 x Solvis d.o.o. SV144-455 E HC9B
Additional components	Energy management 1 x Sunny Portal	
System size	PV system 15.47 kWp	

/ Benefits



/ Energy balance



Inverter designs

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---
Location: Croatia / Slavonski Brod

Ambient temperature:
 Annual extreme low temperature: -14 °C
 Average high Temperature: 21 °C
 Annual extreme high temperature: 37 °C

/ Subproject Subproject 1

1 x SMA STP 15000TL-30 (PV system section 1)

Peak power:	15.47 kWp
Total number of PV modules:	34
Number of PV inverters:	1
Max. DC power (cos φ = 1):	15.33 kW
Max. AC active power (cos φ = 1):	15.00 kW
Grid voltage:	230V (230V / 400V)
Nominal power ratio:	99 %
Dimensioning factor:	103.1 %
Displacement power factor cos φ:	1
Full load hours:	1159.5 h



PV design data

Input A: PV array 1

17 x Solvis d.o.o. SV144-455 E HC9B, Azimuth angle: 5 °, Tilt angle: 8 °, Mounting type: Roof

Input B: PV array 1

17 x Solvis d.o.o. SV144-455 E HC9B, Azimuth angle: 5 °, Tilt angle: 8 °, Mounting type: Roof

	Input A:	Input B:
Number of strings:	1	1
PV modules:	17	17
Peak power (input):	7.74 kWp	7.74 kWp
Inverter min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V
PV typical voltage:	✓ 680 V	✓ 680 V
Min. PV voltage:	630 V	630 V
Max. DC voltage (Inverter):	1000 V	1000 V
Max. PV voltage	✓ 938 V	✓ 938 V
Inverter max. operating input current per MPPT:	33 A	33 A
Max. MPP current of PV array:	✓ 10.7 A	✓ 10.7 A
Inverter max. input short-circuit current per MPPT:	43 A	43 A
PV max. circuit current	✓ 11.3 A	✓ 11.3 A

PV/Inverter compatible

You get this inverter including SMA ShadeFix. SMA ShadeFix is a patented inverter software that automatically optimizes the yield of PV systems in any situation. Even under shading conditions.

Information

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

✓ **SUNČANA ELEKTRANA**

✓ **Subproject 1**

✓ **1 x SMA STP 15000TL-30 (PV system section 1)**

! You get this inverter including SMA ShadeFix. SMA ShadeFix is a patented inverter software that automatically optimizes the yield of PV systems in any situation. Even under shading conditions.

Self-consumption (electricity)

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

/ Result

Information on self-consumption

Load profile: **novi**
 Annual energy consumption: **15,724 kWh**

Increased self-consumption

Without increased self-consumption

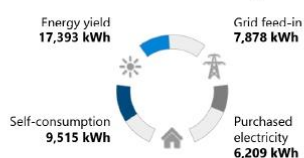
Self-sufficiency quota



Self-consumption quota



Distribution of PV energy



Details

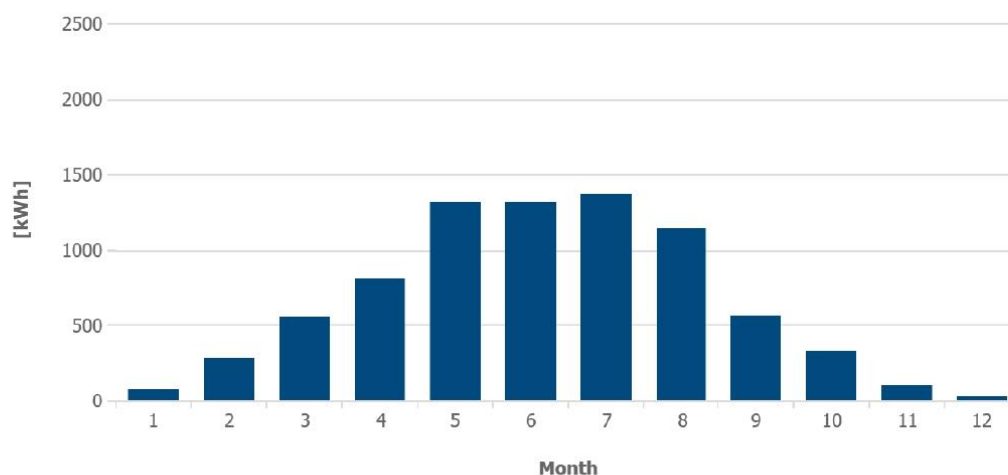
Annual energy consumption	15,724 kWh
Annual energy yield	17,393 kWh
Grid feed-in	7,878 kWh
Purchased electricity	6,209 kWh
Max. purchased electricity power	4.11 kW
Self-consumption	9,515 kWh
Self-consumption quota (in % of PV energy)	54.7 %
Self-sufficiency quota (energy consumption in %)	60.5 %

Monthly values

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

/ Grid feed-in



Month	Energy yield [kWh]	Self-consumption [kWh]	Grid feed-in [kWh]	Purchased electricity [kWh]
1	519 (3.0 %)	446	72	889
2	908 (5.2 %)	625	282	581
3	1389 (8.0 %)	837	552	498
4	1750 (10.1 %)	938	811	354
5	2385 (13.7 %)	1069	1316	267
6	2373 (13.6 %)	1058	1315	234
7	2481 (14.3 %)	1111	1371	225
8	2193 (12.6 %)	1048	1146	288
9	1426 (8.2 %)	864	562	428
10	1040 (6.0 %)	715	325	621
11	542 (3.1 %)	444	99	849
12	387 (2.2 %)	360	27	976

Profitability analysis

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

/ Annual electricity costs

Without PV system in the first year

4,403 EUR

Without PV system in 20 year(s)

7,720 EUR

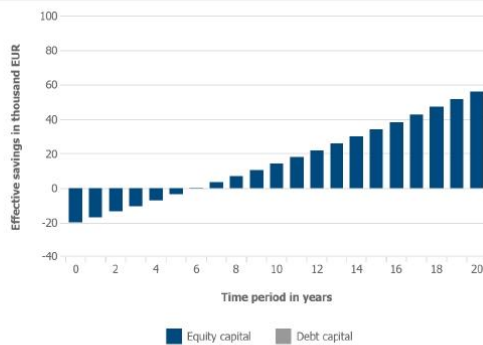
With PV system in the first year

951 EUR

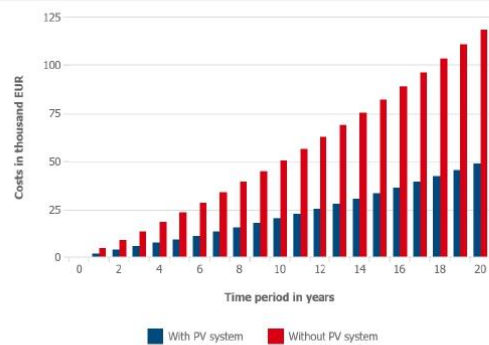
/ Details

Electricity costs saved in the first year	2,664 EUR
Total savings after 20 year(s)	56,016 EUR
Electricity costs saved after 20 year(s)	69,601 EUR
Feed-in tariff after 20 year(s)	14,632 EUR
Expected amortization period	6.1 a
Electricity production cost over 20 year(s)	0.144 EUR/kWh
Annual return (IRR)	16.50 %
Total investment	20,111.00 EUR

Cumulative savings



Comparison of cumulative electricity costs



Profitability analysis

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

/ Financing

The currency is **EUR**

The equity ratio is **100 %**

The debt ratio is **0 %**

The grant amount is **0.00 EUR**

The inflation rate is **3.00 %**

The analysis period of profitability is **20 Years**

/ Electricity purchase costs and feed-in tariff

The electricity purchase price is **0.28000 EUR/kWh**

The basic price is **0.00 EUR/Month.**

Special tariffs are not taken into account

The annual rate of electricity price increase is **3.0 %**

The feed-in tariff is **0.10000 EUR/kWh**

The duration of the feed-in tariff is **20 Years**

Deduction or feed-in tariff in case of self-consumption is **0.00000 EUR/kWh**

The selling price on expiration of the remuneration period is **0.05000 EUR/kWh.**

Cost estimate (non binding)

Project: SUNČANA ELEKTRANA
Project number: ---

Location: Croatia / Slavonski Brod

Project costs		
PV system	1,300.00 EUR/kWp x 15.47 kWp	20,111.00 EUR
Other costs		0.00 EUR
Total investment		20,111.00 EUR
Fixed cost		
Annual fixed costs (as percentage of capital expenditure)	1.50 % of investment costs	301.67 EUR

ŽIVOTOPIS

Ivana Gavranić rođena je u Slavonskom Brodu 17. ožujka 1999. godine. Pohađala je osnovnu školu Vladimir Nator, od prvog do četvrtog razreda u Gornjoj Vrbi zatim od petog do osmog razreda u Slavonskom Brodu. Nakon završene osnovne škole upisuje prirodoslovno – matematički smjer u „Gimnaziji Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu. Godine 2018. u Osijeku upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Na drugoj godini opredjeljuje se za smjer Elektroenergetika. Diplomski studij elektrotehnike upisuje 2021. godine, smjer Elektroenergetski sustavi.