

# Projektiranje fotonaponskog sustava za potrebe kućanstva

---

Jeršek, Željko

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*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:200:900094>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**

*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**

**PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA ZA  
POTREBE KUĆANSTVA**

**Diplomski rad**

**Željko Jeršek**

**Osijek, 2019**

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1 Zadatak diplomskog rada.....	1
2. DEFINICIJE I ZAKONSKE ODREDNICE.....	2
2.1 Fotonaponska pretvorba .....	2
2.2 Fotonaponski efekt .....	2
2.3 Fotonaponska ćelija .....	2
2.4 Učinkovitost fotonaponske ćelije .....	3
2.5 Fotonaponski modul .....	4
2.6 Fotonaponski niz.....	4
2.7 Vrste fotonaponskih sustava .....	5
2.8 Sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava .....	7
2.9 Kupac s vlastitom proizvodnjom .....	8
2.10 Priklučenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom .....	9
3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM.....	11
3.1. Programski paket PV SOL premium .....	12
3.1.1. Podešavanje nagiba krova .....	16
3.1.2. Pokrivenost modula .....	17
3.1.3. Izbor izmjenjivača.....	19
3.1.4. Raspored modula i izmjenjivača .....	20
3.1.5. Provjera konfiguracije izmjenjivača .....	21
3.1.6. Mjerenje profila potrošnje električne energije .....	23
3.1.7. Unos potrošnje u PV SOL premium .....	25
4. ANALIZA ISPLATIVOSTI .....	26
4.1. Fotonaponski sustav na maksimalno iskoristivoj površini krova.....	27
4.2 Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji električne energije kućanstva .....	33
4.3. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s pohranom jednog sustava baterija .....	38
4.4. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s pohranom dva sustava baterija .....	43
5. ZAKLJUČAK: .....	48
LITERATURA.....	50
SAŽETAK.....	51

ŽIVOTOPIS .....	52
PRILOZI.....	53

## **1. UVOD**

U današnje vrijeme izrazito se popularizira proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije, poglavito sunca kao njihova predstavnika. Postavljaju se pitanja isplati li se prosječnom kućanstvu u Hrvatskoj ići u investiciju u fotonaponsku elektranu, da li će se uspjeti zadovoljiti potrošnja kućanstva, hoće li se nešto i zaraditi i sl. Takvo razmišljanje dalo je glavne odrednice ovog diplomskog rada. Ovaj diplomski rad dati će odgovore, naime projektirati će se fotonaponska elektranu i analizirati će se isplativost investicije u istu. Analiza će se provesti u programskom paketu PV SOL. Programski paket PV SOL ima široku lepezu mogućnosti od projektiranja fotonaponske elektrane, pohrane, analize financija i sl. Te mogućnosti detaljnije će biti opisane u 3. poglavlju.

Na osnovu tjednog mjerenja potrošnje električne energije obiteljske kuće aproksimirala se godišnja potrošnja električne energije. Ta aproksimacija je omogućila unos godišnjeg profila potrošnje električne energije u program PV SOL i dala važan čimbenik za projektiranje fotonaponske elektrane.

Za projektiranje fotonaponske elektrane vrlo su važne cijene svih komponenti kako bi se znala vrijednost investicije. Na osnovu tih vrijednosti analizirati će se i ukupna isplativost. Postupak projektiranja fotonaponske elektrane i analize isplativosti obraditi će se za četiri karakteristična slučaja.

### **1.1 Zadatak diplomskog rada**

Kroz programski paket PV SOL projektirati fotonaponski sustav za kućanstvo i izvršiti analizu isplativosti za 4 karakteristična slučaja:

1. Postaviti fotonaponski sustav na maksimalno iskoristivu površinu krova
2. Postaviti fotonaponski sustav skaliran po potrošnji električne energije kućanstva
3. Postaviti fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s mogućnošću pohrane jednog sustava baterija
4. Postaviti fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s mogućnošću pohrane dva sustava baterija

## 2.DEFINICIJE I ZAKONSKE ODREDNICE

### 2.1 Fotonaponska pretvorba

Fotonaponska pretvorba je izravna pretvorba sunčevoga svjetla u električnu struju. Sunčeva svjetlost sastavljena je od fotona. Foton je čestica koja nema masu, a u vakuumu se giba brzinom svjetlosti.

Energija fotona je umnožak Planckove konstante i frekvencije fotona definirano u izrazu (2-1).

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

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

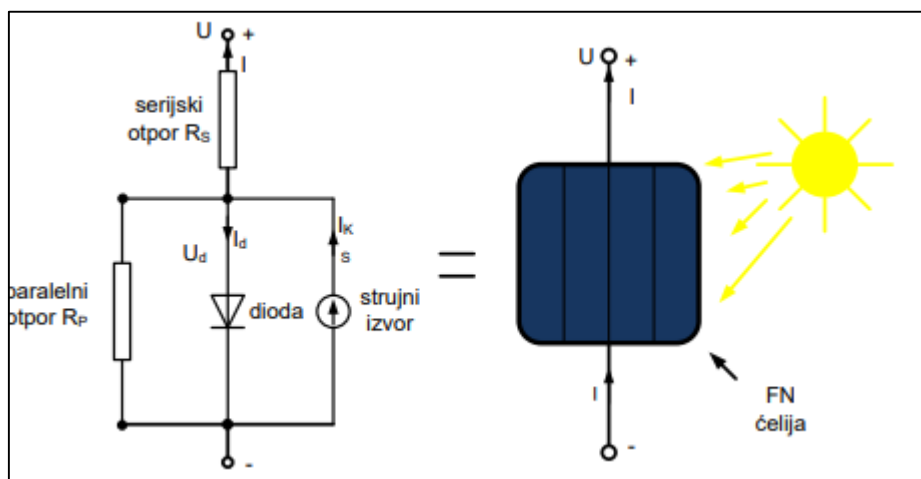
$\nu$  – frekvencija fotona koja je obrnuto proporcionalna valnoj duljini [1]

### 2.2 Fotonaponski efekt

Kada fotoni pogode fotonaponsku ćeliju, oni se mogu odbiti od nje, proći kroz nju ili biti apsorbirani. Pojava kada apsorbirani fotoni daju energiju za oslobađanje elektrona i proizvodnju električne struje naziva se fotonaponski efekt. [1]

### 2.3 Fotonaponska ćelija

Fotonaponska ćelija je pasivan fotokemijski pretvarač jer je za gibanje oslobođenih elektrona potreban vanjski izvor energije. Električna energija ovisi o intenzitetu sunčeva zračenja. Fotonaponska ćelija je poluvodički element koji omogućuje izravnu pretvorbu sunčeve svjetlosti u električnu energiju na osnovi fotonaponskog efekta. Ona je zapravo strujni izvor. Na slici 2.1. je prikazana nadomjesna shema fotonaponske ćelije.



Slika 2.1. Nadomjesna shema fotonaponske ćelije [1]

Serijski otpor  $R_s$  je omski otpor na koji nailazi struja kroz ćeliju, te kroz površinu ćelije prema omskim kontaktima. Paralelni otpor ćelije  $R_p$  je otpor uzrokovan defektima u PN spoju. Fotonaponske ćelije rade se u različitim tehnologijama. Neke od tih tehnologija su:

- Monokristalni i polikristalni silicij
- Tanki filmovi (amorfn silicij)
- Višeslojne ćelije
- Novi koncepti; niža cijena/veća učinkovitost (engl. *Quantum dots, dye sensitized*)

Cilj svake od tih tehnologija je napraviti fotonaponsku ćeliju što veće učinkovitosti [1].

## 2.4 Učinkovitost fotonaponske ćelije

Učinkovitost fotonaponske ćelije ili stupanj korisnog djelovanja definiran je omjerom električne snage koju može ostvariti fotonaponska ćelija i umnoška sunčevog zračenja i površine fotonaponske ćelije [1]:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A} \quad (2-2)$$

Gdje su:

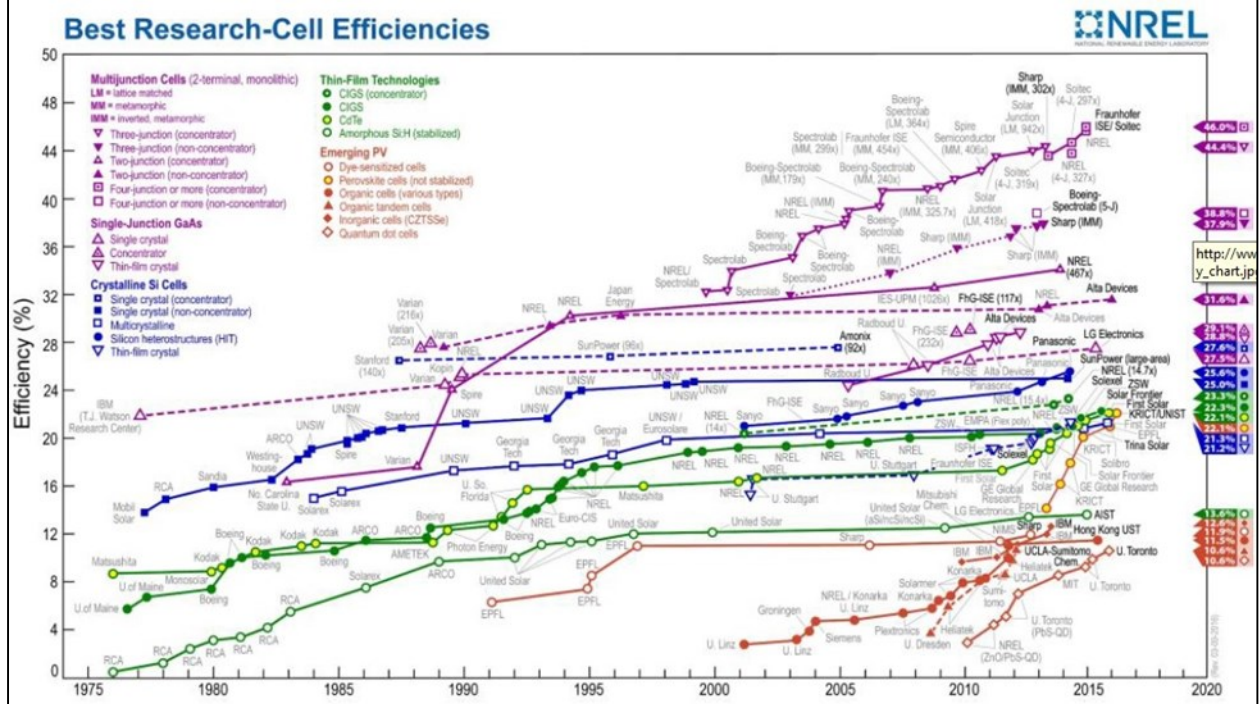
$\eta$  – učinkovitost fotonaponske ćelije [%]

$P_{MPP}$  – točka maksimalne snage [W]

$G$  – snaga sunčevog zračenja [ $W/m^2$ ]

$A$  - površina fotonaponske ćelije [ $m^2$ ]

## Učinkovitost FN ćelija u laboratorijskim istraživanjima do 2016.



Slika 2.2 Učinkovitost fotonaponskih ćelija u laboratorijskim istraživanjima do 2016. godine [2]

## 2.5 Fotonaponski modul

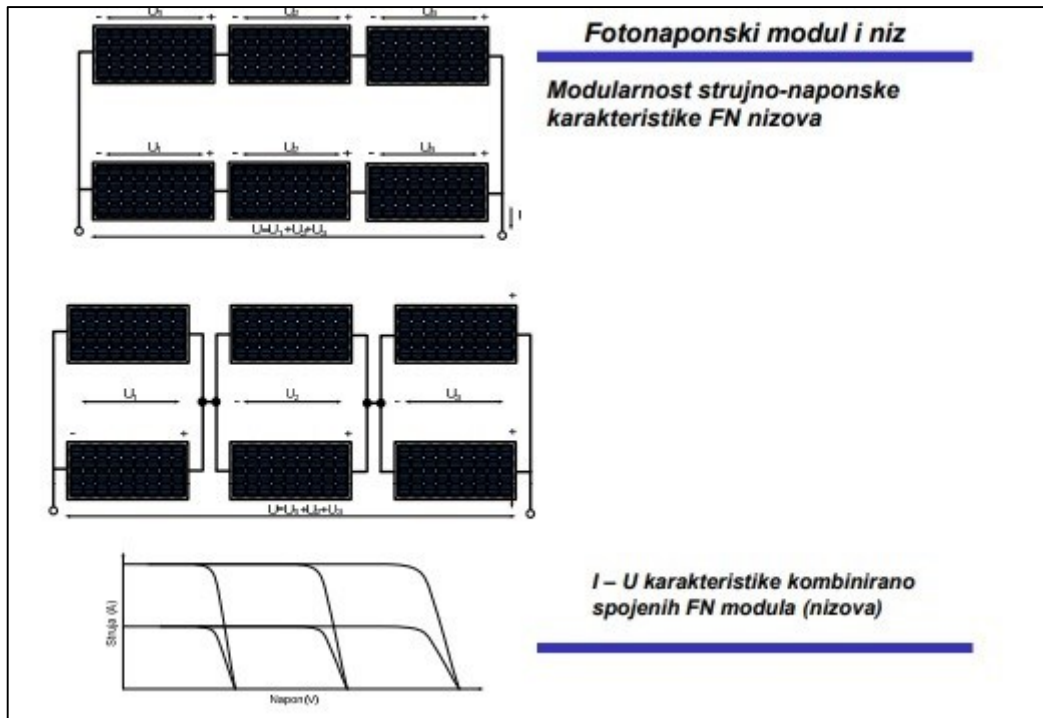
Kako je napon jedne ćelije 0,6 V, ćelije se povezuje u modul radi postizanja željenog izlaznog napona. Modul je serijsko paralelni spoj ćelija konstruktivno napravljen tako da bi bio zaštićen od atmosferskih utjecaja. Modul za promatrani slučaj je konstruiran od 60 ćelija monokristaličnog silicija.[1]

## 2.6 Fotonaponski niz

Moduli se dalje spajaju u niz (engl. *String*). Niz čini serijsko paralelni spoj modula. Ovisno o predviđenoj snazi u niz se slaže potreban broj modula.[1]

Na slici 2.3. nalaze se primjeri modula i nizova, te strujno naponske karakteristike





Slika 2.3. Fotonaponski moduli, nizovi i njihove strujno - naponske karakteristike [2]

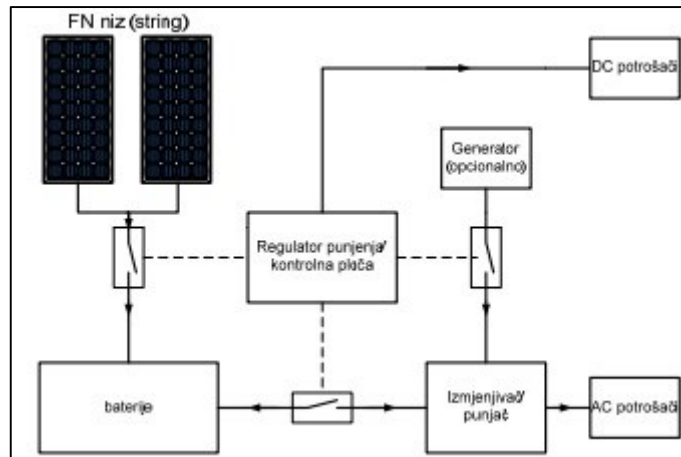
## 2.7 Vrste fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustav ili fotonaponska elektrana uz module sastavljeni su i od drugih komponenti kao što su: konstrukcije (nosača modula) primjereno usmjerene, tragač maksimalne snage i uređaje za regulaciju, komponenti pohrane (baterije), izmjenjivač i dr.

Ovisno o načinu rada fotonaponski sustavi mogu biti:

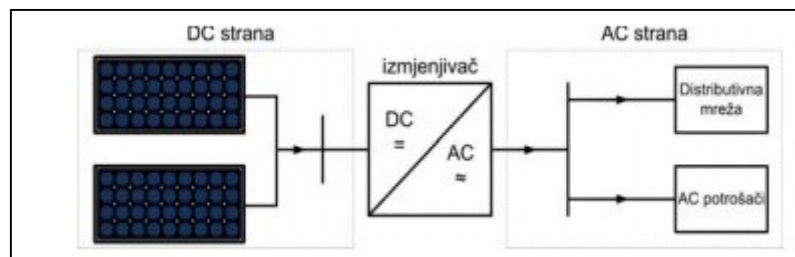
- Samostojeći (autonomni) fotonaponski sustavi (engl. *off grid, stand alone*)
- Mrežni (umreženi) fotonaponski sustavi (engl. *on grid, grid connected*)

Samostojeći fotonaponski sustavi su oni sustavi koji svoje potrošače opskrbljuju električnom energijom neovisno o mreži. Njihova je zadaća u potpunosti pokriti potrebu potrošača. Zbog navedenih razloga takvi sustavi moraju imati pohranu. Pohrana služi kako bi primila višak električne energije za vrijeme sunčanih dana, a opskrbljivala energijom potrošače za vrijeme oblačnih, tmurnih dana ili kad bi zahtjevi potrošača bili veći od proizvedene električne energije. Karakterističan primjer samostojećeg fotonaponskog sustava prikazan je slikom 2.4.



Slika 2.4 Samostojeći fotonaponski sustav [2]

Mrežni fotonaponski sustavi su oni sustavi koji su direktno spojeni na mrežu. U slučaju veće proizvodnje električne energije nego što zahtjeva potrošač, višak se energije predaje u mrežu i obrnuto, ukoliko je potreba za električnom energijom veća od proizvedene električne energije sustava, tada će se potrošači opskrbiti iz električne mreže. Karakterističan primjer mrežnog fotonaponskog sustava prikazan je slikom 2.5. [2]



Slika 2.5. Mrežni fotonaponski sustav [2]

## 2.8 Sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi obično se nalazi na krovovima kuća, te je zbog tog položaja vjerojatnost udara groma veća nego da se sustav nalazi primjerice u razini tla. Stoga, na fotonaponski sustav treba provesti određene sigurnosne mjere. Te mjere moraju biti u skladu s normama Europske unije. Norme su: EN 60364-7-712 (električna instalacija fotonaponskog sustava), EN 61173 (zaštita od prenapona nastalih u fotonaponskom sustavu), EN 62305 (gromobrani) i EN 62305-2 (očekivani rizici oštećenja fotonaponskih sustava). Zadatak gromobranske instalacije je prihvatiti struju groma i na siguran je način odvesti u zemlju. Može biti postavljeno jedan ili više odvoda ovisno veličini objekta. Uz gromobransku instalaciju često se provodi mjera izjednačenja potencijala kako bi se spriječili mogući preskoci s odvoda na primjerice vodovodne ili plinske instalacije. Izjednačenje potencijala je galvansko povezivanje svih metalnih masa, a izvodi se na način kako bi se spriječila pojava razlike potencijala u objektu. Na sabirnicu za izjednačenje potencijala dovode se svi vodiči koji povezuju sve metalne mase u objektu. (PE, PEN, uzemljenja, cijevi, ograde na stubištima). Još jedna mjera sigurnosne zaštite su i odvodnici prenapona. Odvodnici prenapona na istosmjernoj DC strani štite mrežni izmjenjivač od atmosferskih pražnjenja koja se mogu pojaviti na okvirima fotonaponskih modula. Odvodnici prenapona na izmjeničnoj AC strani štite izmjenjivač i sva ostala trošila u objektu od prenapona koji dolaze iz električne mreže. Uzemljivači i sustavi uzemljenja također su sigurnosna mjera koja je važna za fotonaponski sustav. Za ispunjenje svoje zadaće važno je da otpor uzemljivača bude što manji, kako bi što bolje odveo struju atmosferskog pražnjenja u zemlju. Prolaskom struje kroz uzemljivač i njezino daljnje rasprostiranje kroz zemlju, stvara na zemlji potencijalni ljevak. Potencijalni ljevak je oblik raspodjele potencijala uzrokovanog strujom atmosferskog pražnjenja. [3]

## 2.9 Kupac s vlastitom proizvodnjom

Po Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji definirani su sljedeći pojmovi koji su korišteni u ovom radu:

- Krajnji kupac električne energije na čiju je instalaciju priključeno proizvodno postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije kojom se podmiruju potrebe krajnjeg kupca i s mogućnošću isporuke viška proizvedene električne energije u prijenosnu ili distribucijsku mrežu“.
- Povlašteni proizvođač električne energije – elektroenergetski subjekt, odnosno druga pravna ili fizička osoba čije postrojenje ispunjava uvjete određene odredbama ovoga Zakona te je stekao status povlaštenog proizvođača.
- Proizvodno postrojenje koje koristi obnovljive izvore energije – proizvodno postrojenje koje koristi obnovljive izvore energije za proizvodnju električne i/ili toplinske energije.
- Neto isporučena električna energija – količina električne energije koju je proizvodno postrojenje ili proizvodna jedinica predala u elektroenergetsku mrežu, a koja je proizvedena u proizvodnom postrojenju ili proizvodnoj jedinici koja koristi obnovljive izvore energije ili kogeneracijskom postrojenju i umanjena za vlastitu potrošnju proizvodnog postrojenja, a u slučaju kupca s vlastitom proizvodnjom umanjena za svu potrošnju krajnjeg 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  $C_i$  obračunskom razdoblju  $i$  na sljedeći način:

$$C_i = 0,9 \cdot P_{KCi} \quad (2-3)$$

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

$$C_i = 0,9 \cdot P_{KCi} \cdot \frac{E_{pi}}{E_{ii}} \quad (2-4)$$

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.

Ovim se Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji u pravni poredak Republike Hrvatske prenose sljedeće direktive Europske unije:

1. Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, koja je posljednji put izmijenjena Direktivom Vijeća 2013/18/EU od 13. svibnja 2013. o prilagodbi Direktive 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora zbog pristupanja Republike Hrvatske (tekst značajan za EGP), i

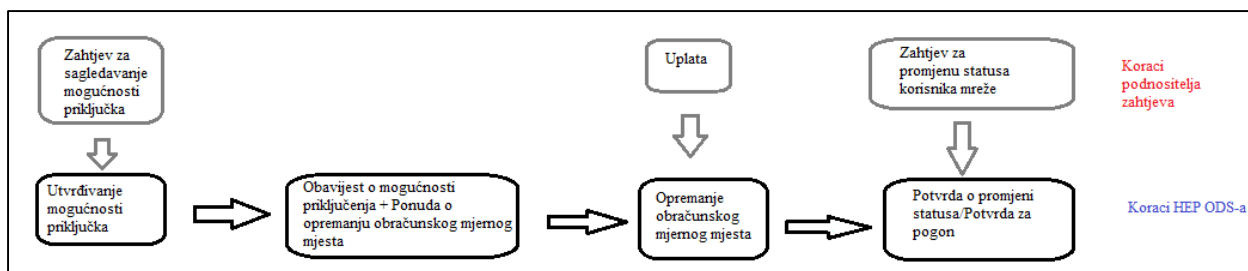
2. Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 25. listopada 2012. o energetskej učinkovitosti, izmjeni direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU i stavljanju izvan snage direktiva 2004/8/EZ i 2006/32/EZ (Tekst značajan za EGP). [4]

## **2.10 Priklučenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom**

Postupak kada postojeći kupac električne energije kategorije kućanstvo traži priključenje elektrane na svoju postojeću instalaciju je sljedeći:

- podnošenje zahtjeva za provjeru mogućnosti priključenja elektrane na postojeću instalaciju
- izdavanja obavijesti o mogućnosti priključenja i prijedloga novog ugovora o korištenju mreže
- uplate troškova za opremanje obračunskog mjernog mjesta
- radovi na opremanju obračunskog mjernog mjesta
- sklapanja ugovora o korištenju mreže i podnošenje zahtjeva za promjenu statusa korisnika mreže
- izdavanja potvrde za trajni pogon.

Osnovni koraci koje podnosi kupac i osnovni koraci HEP ODS-a su prikazani slikom 2.6.



Slika 2.6. Osnovni koraci za priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom [5]

Iz tablice 2.1. mogu se vidjeti iznosi tarifnih stavki za opskrbu kupaca kategorije kućanstvo u sustavu javne usluge – bez naknade za korištenje mreže

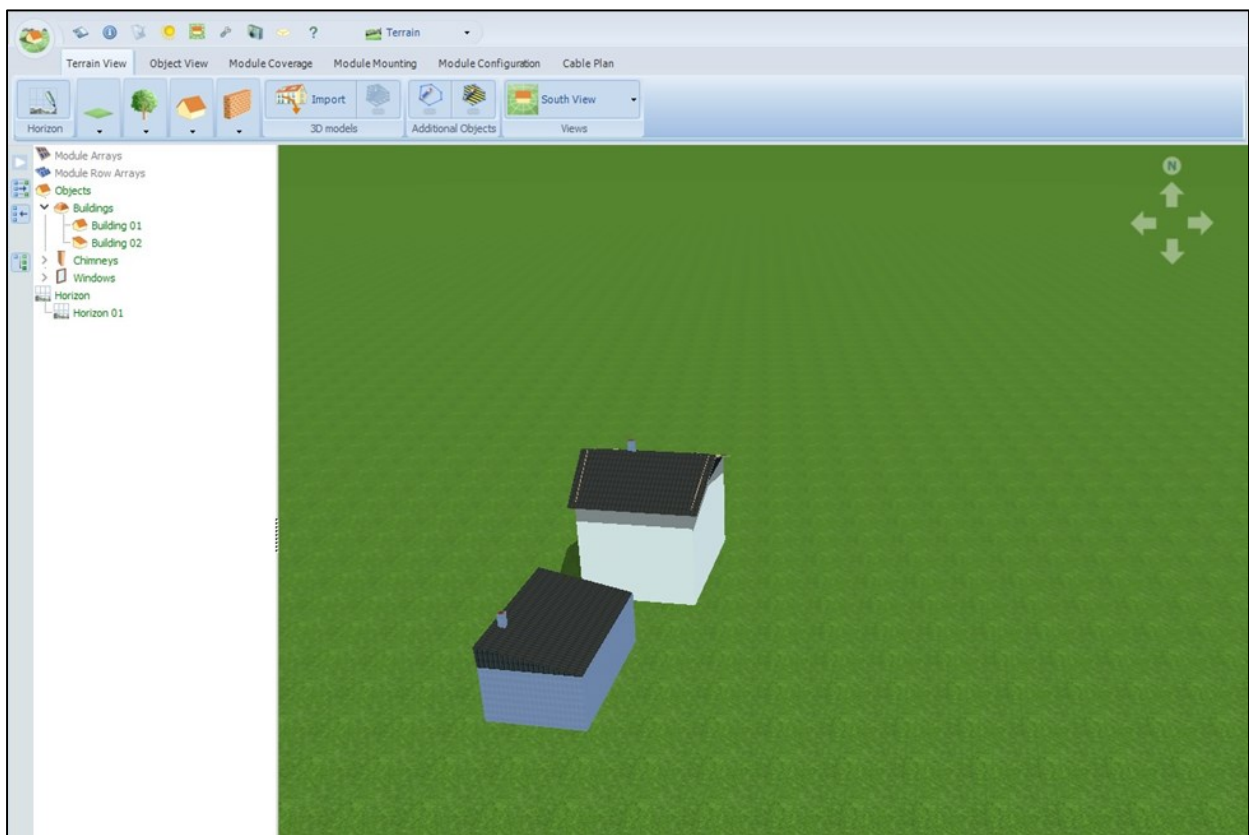
Tablica 2.1. : Iznos tarifnih stavki za opskrbu kupaca kategorije kućanstvo u sustavu javne usluge – bez naknade za korištenje mreže; u primjeni od 1. siječnja 2016. godine [7]

Kategorija		Tarifni model	Tarifni element			
			Radna energija			Naknada za opskrbu
			JT [kn/kWh]	VT [kn/kWh]	NT [kn/kWh]	[kn/mj.]
Kućanstvo	Niski napon	Plavi	0,46			7,4
			[0,52]			[8,36]
		Bijeli		0,49	0,24	7,4
				[0,55]	[0,27]	[8,36]
		Crveni		0,49	0,24	7,4
				[0,55]	[0,27]	[8,36]
		Crni	0,19			0,4
			[0,21]			[0,45]

### 3. PROJEKTIRANJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM

Za projektiranje fotonaponske elektrane korištena su dva objekta, obiteljska kuća i dvorišni stan. Koristile su se dostupne krovne površine, „južna“ strana obiteljske kuće i „istočna“ strana dvorišnog stana. Projektiranje je izvedeno u programskom paketu PV SOL premium. U nastavku će biti pojašnjene mogućnosti PV SOL-a koje su korištene pri izradi ovog diplomskog rada.

Na slici 3.1. prikazane su krovne površine na kojima će se projektirati fotonaponska elektrana.



Slika 3.1. Dostupne površine krova za projektiranje fotonaponske elektrane

### 3.1. Programski paket PV SOL premium

Programski paket PV SOL premium daje korisnicima mogućnosti poput dizajniranja i vizualizacije integriranih krovnih i samostojećih sunčanih elektrana snage do 3 MW. Jednostavna 3D navigacija izbornika podijeljena je na šest dijelova pogleda na teren, pogled na objekt, pokrivenost modula, montažu modula, konfiguraciju modula i plan kabela.

Klimatski podaci mogu se jednostavno odabrati putem interaktivne karte ili ih ručno odabrati za pojedino područje. U nekoliko jednostavnih koraka dolazi se do lokacije objekta, položaja i izgleda krova i drugih predradnji prije nego se krene u konfiguraciju modula. Kada se dimenzioniranje krova završi vrši se pozicioniranje krovnih prozora, dimnjaka, antena i sl. Pokrivenost krovne površine s maksimalno mogućim brojem modula izvodi se automatski ili ručno odabirom prekrivenih područja. Softver omogućuje optimizaciju sustava preko strujno – naponske karakteristike za svaki vremenski korak simulacije, kao i dijagram toka energije za cijeli sustav, uključujući i sustav pohrane (baterije i električna vozila).

Softver omogućuje različite simulacije, primjerice:

- Simulacija u satnoj i minutnoj rezoluciji,
- Simulacija s baterijskim sustavima i električnim vozilima,
- Simulacija fotonaponskih sustava izvan mreže (engl. *Off Grid*),
- Planiranje fotonaponskih sustava s vlastitom potrošnjom / viškom napajanja, opcionalno s baterijama.

Izbor unosa fotonaponskih modula može se izvesti na slijedeće načine:

- Određivanje broja modula i vizualizaciju područja modula pomoću fotografije,
- Automatsko postavljanje modula bilo kog krova u 2D okruženju,
- Planiranje fotonaponskog sustava u 3D okruženju.

Optimalna procjena i prikaz rezultata omogućuje:

- Detaljnu analizu profitabilnosti s povratom ulaganja, razdobljem povrata investicije, itd.
- Dokumentaciju projekta koja se može konfigurirati i izvesti: naslovna stranica, pregled, itd.
- Detaljne rezultate simulacije.

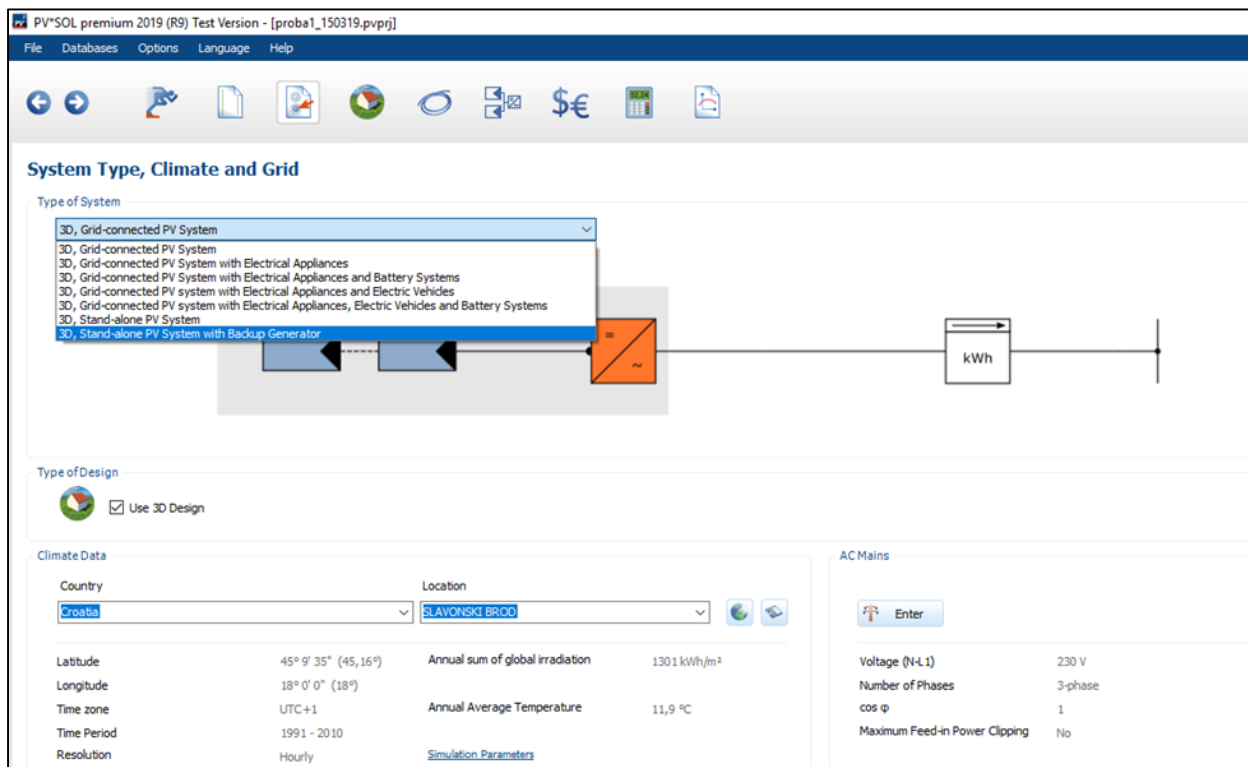
Prije početka rada u PV SOL premium potrebno je definirati tip sustava i klimatske podatke. Softver daje klimatske podatke za Slavonski Brod. To je najbliža referentna točka mjestu (Josipovac), gdje će fotonaponska elektrana biti projektirana. Pri izboru tipa sustava može se izabrati nekoliko tipova:

- Fotonaponski sustav spojen na mrežu (engl. *On Grid*)
- Fotonaponski sustav spojen na mrežu s električnim uređajima



- Fotonaponski sustav spojen na mrežu s električnim uređajima i sustavom baterija
- Fotonaponski sustav spojen na mrežu električnim uređajima i električnim vozilima
- Fotonaponski sustav spojen na mrežu s električnim uređajima, električnim vozilima i sustavom baterija
- Samostojeći fotonaponski sustav
- Samostojeći fotonaponski sustav s potporom generatora

Na slici 3.2. prikazan je navedeni izbornik tipa sustava i klimatskih podataka.



Slika 3.2. Izbornik tipa sustava i klimatskih podataka

Pri projektiranju fotonaponske elektrane korišten je modul hrvatskog proizvođača tipa SOLVIS d.o.o. SV60-300 E 300 W.

Tehnički podaci i karakteristike prikazani su u tablicama 3.1., 3.2. i 3.3.

Tablica 3.1. Parametri modula pri STC i NOCT uvjetima

Model		STC	NOCT
	Jed.	SV60-300 E	SV60-300 E
Vršna snaga $P_{MPP}$	[W]	300	219.4
Dozvoljeno odstupanje	[W]	-0/+4.9	-0/+4.9
Struja kratkog spoja $I_{SC}$	[A]	9,73	7,81
Napon praznog hoda $U_{OC}$	[V]	40,14	36,9
Nazivna struja $I_{MPP}$	[A]	9,13	7,31
Nazivni napon $U_{MPP}$	[V]	33,03	30
Dozvoljeno odstupanje napona i struje	[%]	± 3	
Učinkovitost modula	[%]	18,44	
NOCT	[°C]	46	46

Gdje su:

STC – Standardni testni uvjeti (engl. *Standard Test Conditions*) gdje su  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura ćelije  $25^\circ\text{C}$ , optička masa zraka prema normi EN60904-3 Am 1,5 g.

NOCT – Normalna radna temperatura ćelije (engl. *Nominal Operating Cell Temperature*) gdje su  $G = 800 \text{ W/m}^2$ ,  $20^\circ\text{C}$  ambijentalna temperatura i 1 m/s brzina vjetrova.

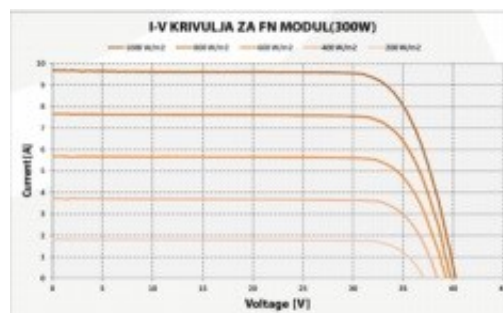
Tablica 3.2. Mehanički parametri modula

Mehanički parametri		
Model		SV60-300 E
Dimenzije (V x Š x D)	[mm]	1640 x 992 x 40
Masa	[kg]	18,3
Broj i vrsta ćelija		60 ćelija monokristalični Si (PERC)
Enkapsulacija ćelija		Etilen-vinil acetat (EVA)
Staklo		3,2 mm kaljeno sunčano staklo
Pozadina		Višeslojna poliesterska folija
Okvir		Anodizirani Al s dvostrukom stjenkom
Priključna kutija		IP67 s 3 bypass diode
Priključni kabeli		4 mm <sup>2</sup> , dužine 1000 mm

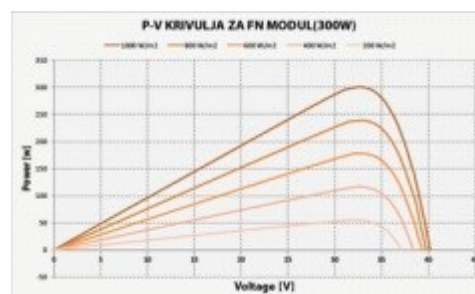
Tablica 3.3. Radni uvjeti i temperaturna svojstva modula

<b>Radni uvjeti</b>		
Temperaturno područje	[°C]	-40 do +85
Maksimalni napon sustava	[V]	1000
Najveća dopuštena prekidna struja osigurača po nizu fotonaponskih modula	[A]	15
Najveća dopuštena reverzna struja	[A]	15
Maksimalno opterećenje	[Pa]	5400 Pa prednja strana, 2400 Pa stražnja strana
Otpornost na udar		Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s
<b>Temperaturni koeficijent</b>		
Snage $P_{MPP}$	[%/K]	-0.42
Struje $I_{SC}$	[%/K]	-0.05
Napona $U_{OC}$	[%/K]	-0.33

Krivulje struja-napon ( $I-V$  krivulja) i snaga-napon ( $P-V$  krivulja) prikazane su na slikama 3.3. i 3.4.



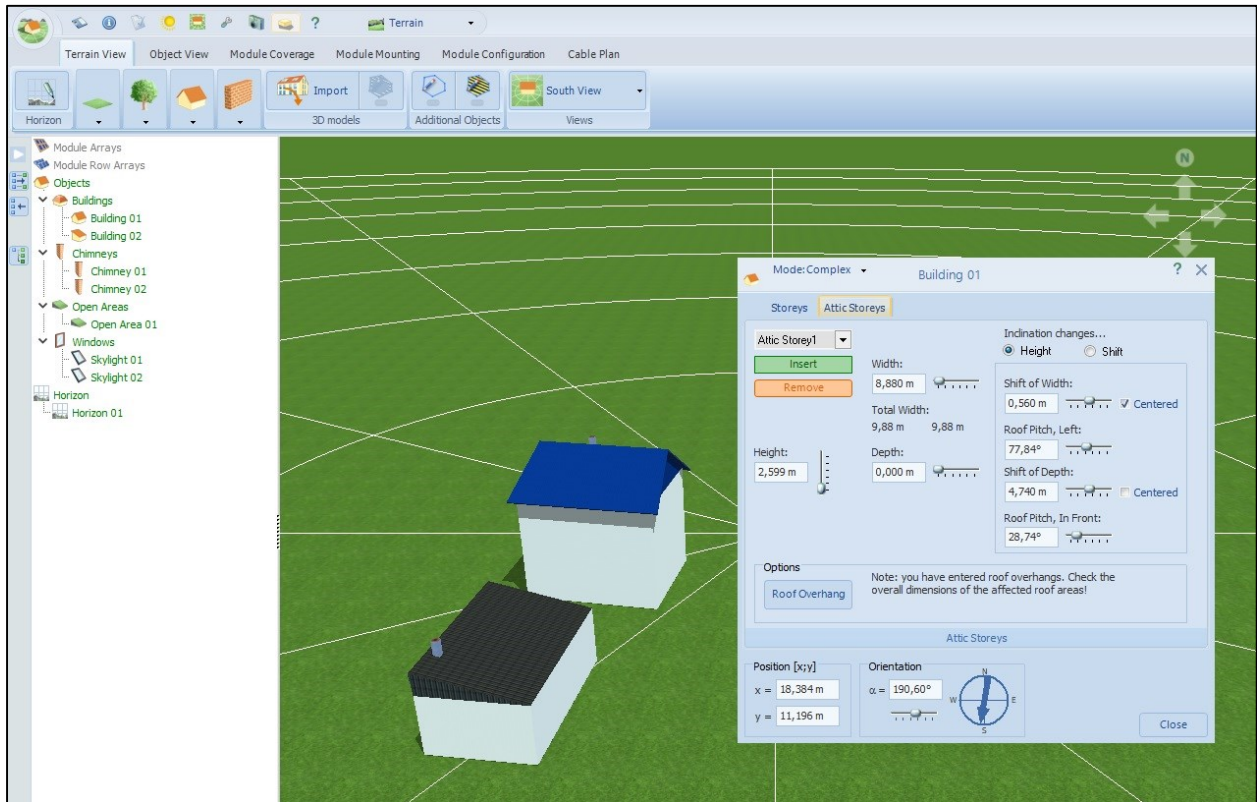
Slika 3.3.  $I-V$  krivulja



Slika 3.4.  $P-V$  krivulja

### 3.1.1. Podešavanje nagiba krova

U ovom dijelu dati će se naputak kako odrediti nagib krova na koji će se postavljati fotonaponski moduli. Upute će se dati na primjeru krova kuće. U izborniku građevine izabere se krov najbližiji objektu na kojem će se postaviti fotonaponska elektrana, zatim se uz poznate dimenzije krova urede pojedinosti nagib krova, pomak dubine, visina sljemena (engl. *Shift of depth*, *Roof Pitch*, *Height*) i slično. Detaljniji prikaz podešavanja dan je slikom 3.5.

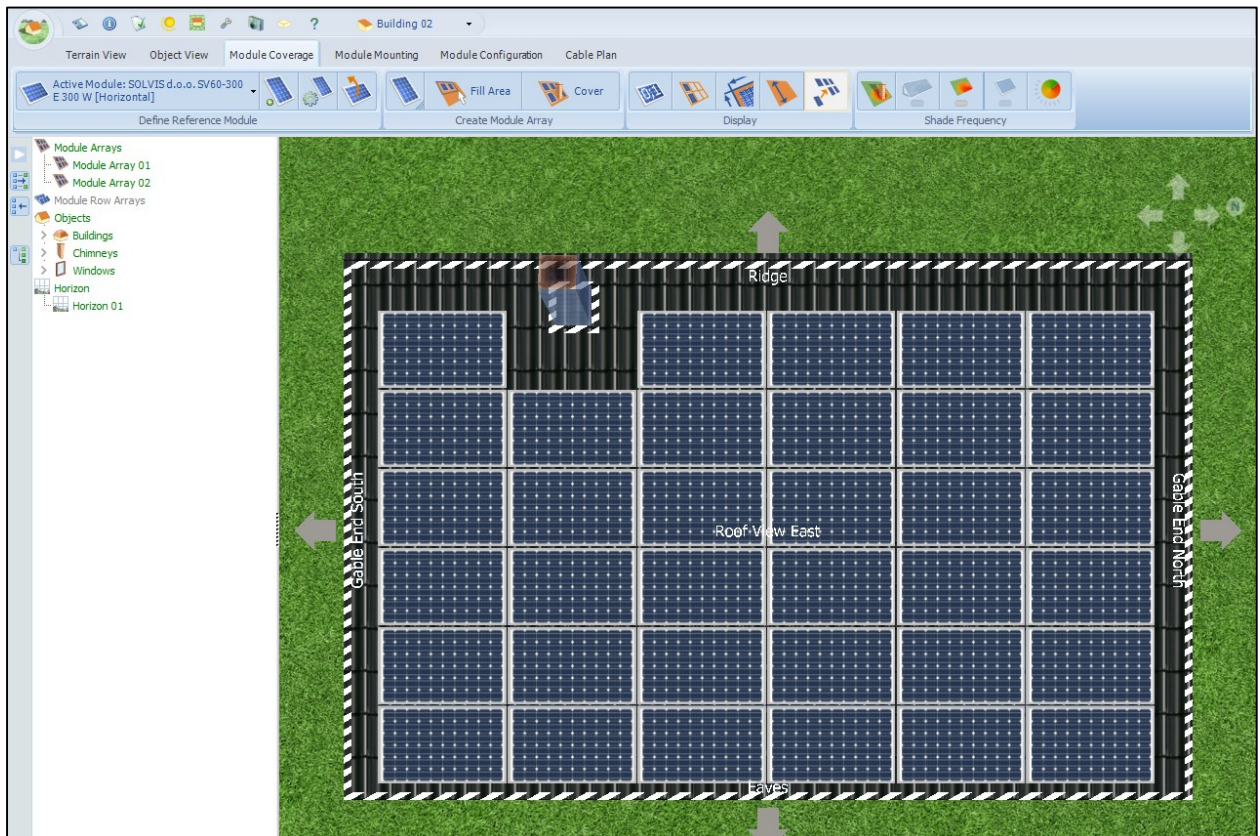


Slika 3.5. Podešavanje nagiba krova

Na sličan način postavljen je nagib krova i na stanu. Promjena u odnosu na kuću je ta što se na početku izabrao drugačiji objekt građevine. Za kuću izabran je dvostrešni model (engl. *Building with Gabled Roof*), dok je za stan izabran jednostrešni model (engl. *Building with Pitched Roof*). Program nudi i mogućnosti stvaranja objekta iz tlocrta zgrade, ali u ovom radu to nije obrađeno. Nakon podešavanja nagiba krova, na krovnu površinu dodaju se elementi koji se u stvarnosti nalaze na krovu, primjerice, dimnjaci, krovni prozori, antene i sl. Ti elementi imaju mogućnost podešavanja po poziciji, visini i širini. Jako je važno što preciznije definirati te elemente jer će oni svojom dimenzijom utjecati na zasjenjenje fotonaponskih modula. Uz elemente koji doista pripadaju krovnoj površini na zasjenjenje mogu utjecati i elementi koji se ne nalaze na krovu, kao npr. visoka stabla, te okolne građevine. Oni također imaju mogućnost pozicioniranja i podešavanja po visini i širini. Pogled na stvorenu građevinu moguć je iz različitih smjerova (strane svijeta) i s pogledom od gore (engl. *Overhead view*). Kad se završi pozicioniranje građevine s utjecajem zasjenjenja na istu može se krenuti na postavljanje fotonaponskih modula.

### 3.1.2. Pokrivenost modula

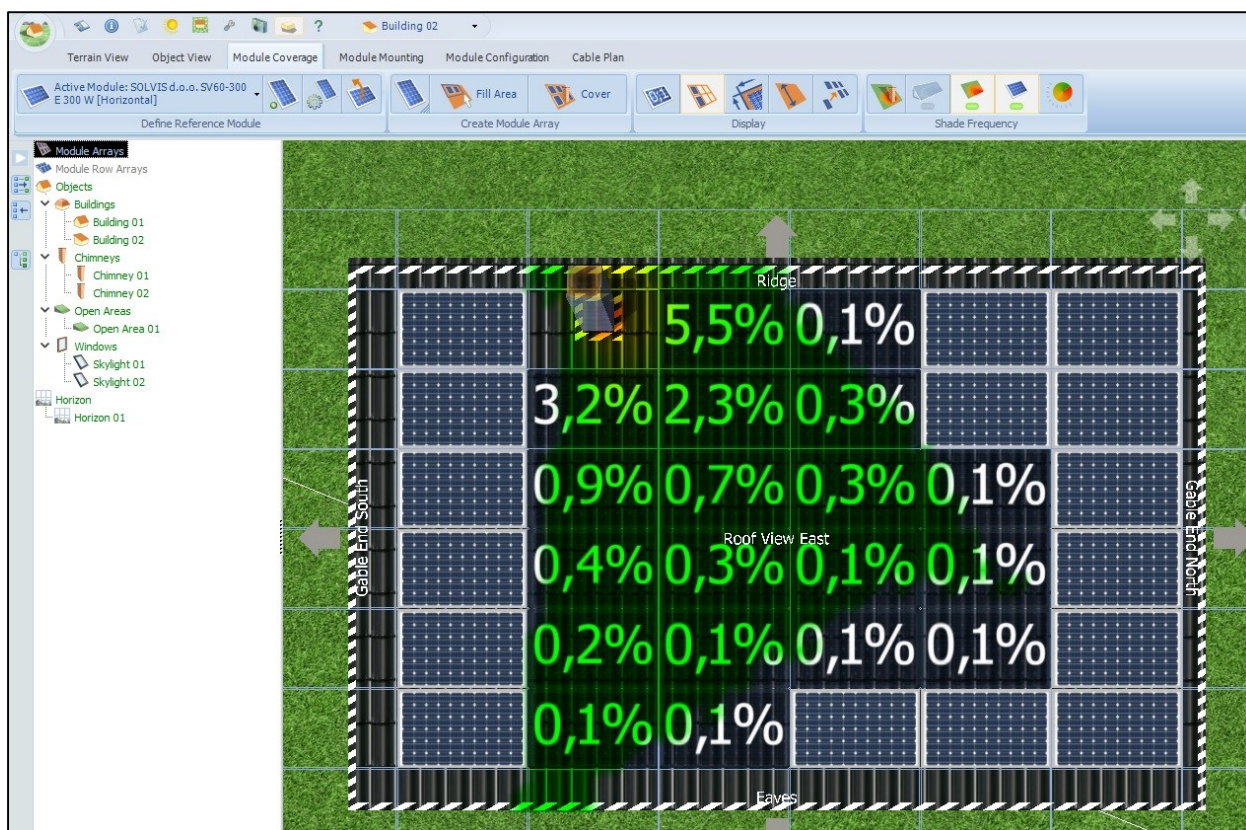
U izborniku se izabere opcija pokrivenost modula (engl. *Module Coverage*), te se izabere tip modula koji će se postaviti. Postoji mogućnost postavljanja modula u horizontalnom i vertikalnom položaju. Kad se izabere tip modula i njegov položaj može se krenuti u postavljanje modula na predviđenu površinu. Korisniku se nude mogućnosti ručnog postavljanja modula i to pojedinačnog modula ili cijele grupe modula i automatskog raspoređivanja modula po površini. Prikaz izbornika s automatskim raspoređivanjem modula dan je slikom 3.6.



Slika 3.6 Automatsko raspoređivanje modula na površini krova stana

Nadalje, nude se mogućnosti uvida u dimenzije površine krova, prikaz redaka i stupaca u mreži za postojeće nizove modula, te pomoć za integraciju nizova. Na kraju ovog izbornika dan je prikaz frekvencije zasjenjenja (engl. *Shade Frequency*)

Postotak zasjenjenja na koje izravno utječe dimnjak na krovu stana prikazan je slikom 3.7.



Slika 3.7. Postotak zasjenjenja na krovu stana

### 3.1.3. Izbor izmjenjivača

Izmjenjivač (engl. *Inverter*) je uređaj energetske elektronike koji povezuje istosmjerni i izmjenični električni sustav. Smjer energije je iz istosmjernog sustava ka izmjeničnom. Za izbor izmjenjivača važni su slijedeći 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 AC strani  $U_{AC}$  [V]
- nazivna frekvencija  $f$  [Hz]
- faktor snage  $\cos \varphi$
- maksimalan učinkovitost  $\eta_{maks}$  [%]
- europska učinkovitost  $\eta_{eu}$  [%]

Kako bi se na pravilan način izabrao izmjenjivač, potrebno je provjeriti da li karakteristike fotonaponskog niza odgovaraju karakteristikama izmjenjivača na koji se fotonaponski niz priključuje. Koraci provjere su slijedeći:

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

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

2. Je li minimalni napon vršne snage fotonaponskog niza  $U_{MPP,n,min}$  veći od minimalnog napona vršne snage izmjenjivača  $U_{izmj,mi}$ .

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

3. Je li maksimalni napon vršne snage fotonaponskog niza  $U_{MPP,n,maks}$  manji od minimalnog napona vršne snage izmjenjivača  $U_{izmj,maks}$ .

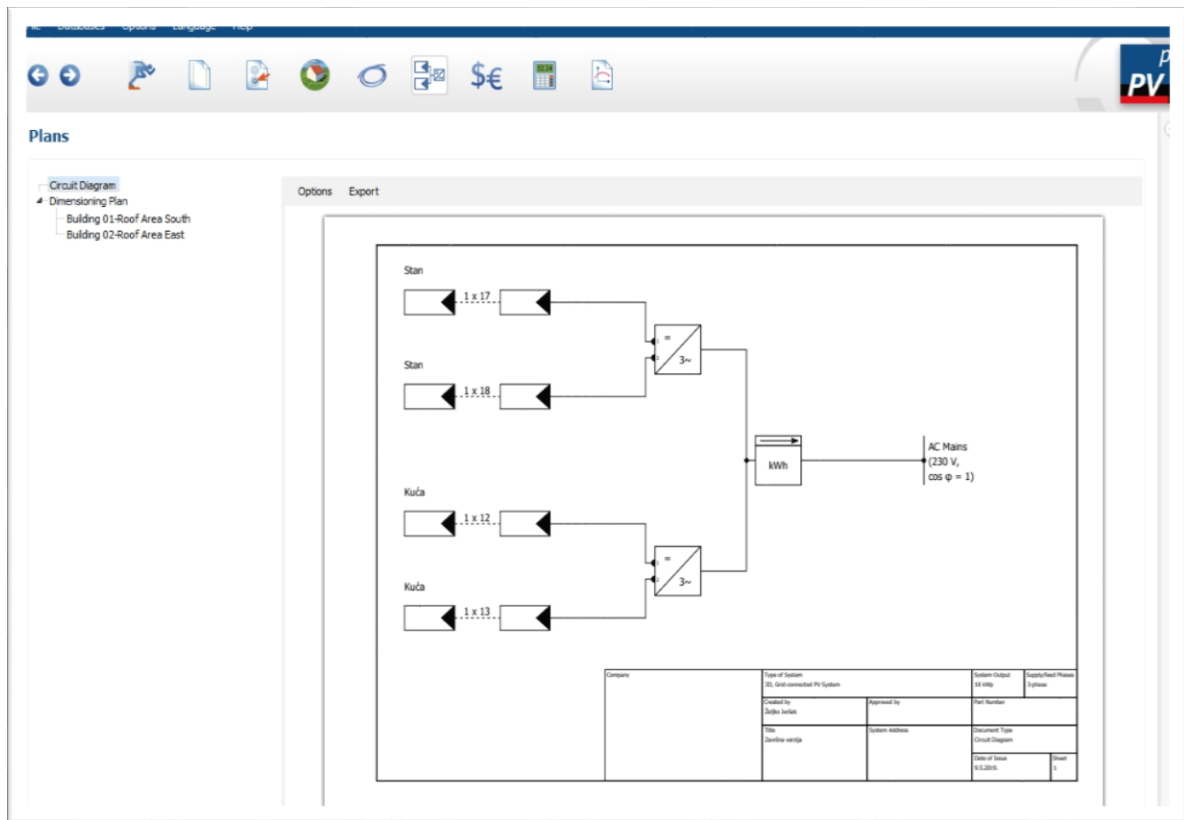
$$U_{MPP,n,maks} < U_{izmj,maks}$$

4. Je li maksimalna struja fotonaponskog niza  $I_{ks,maks}$  manja od maksimalne dozvoljene ulazne struje na DC strani izmjenjivača  $I_{DC,maks}$ .

$$I_{ks,maks} < I_{DC,maks} \quad [1]$$

### 3.1.4. Raspored modula i izmjenjivača

Krovne površine za projektiranje nalaze se na dva objekta. Krov stana je podijeljen na dva niza. Prvi niz čini 17 modula, a drugi 18 modula. Izabrani izmjenjivač za stan je SMA Solar Technology AG Sunny Tripower 10000TL-20. Na krovu kuće predviđeno je 25 modula podijeljenih u dva niza (engl. *String*). Prvi niz čini 12 modula, a drugi 13 modula. Izabrani izmjenjivač za kuću je SMA Solar Technology AG Sunny Tripower 7000TL-20. Shematski prikaz dan je slikom 3.8.

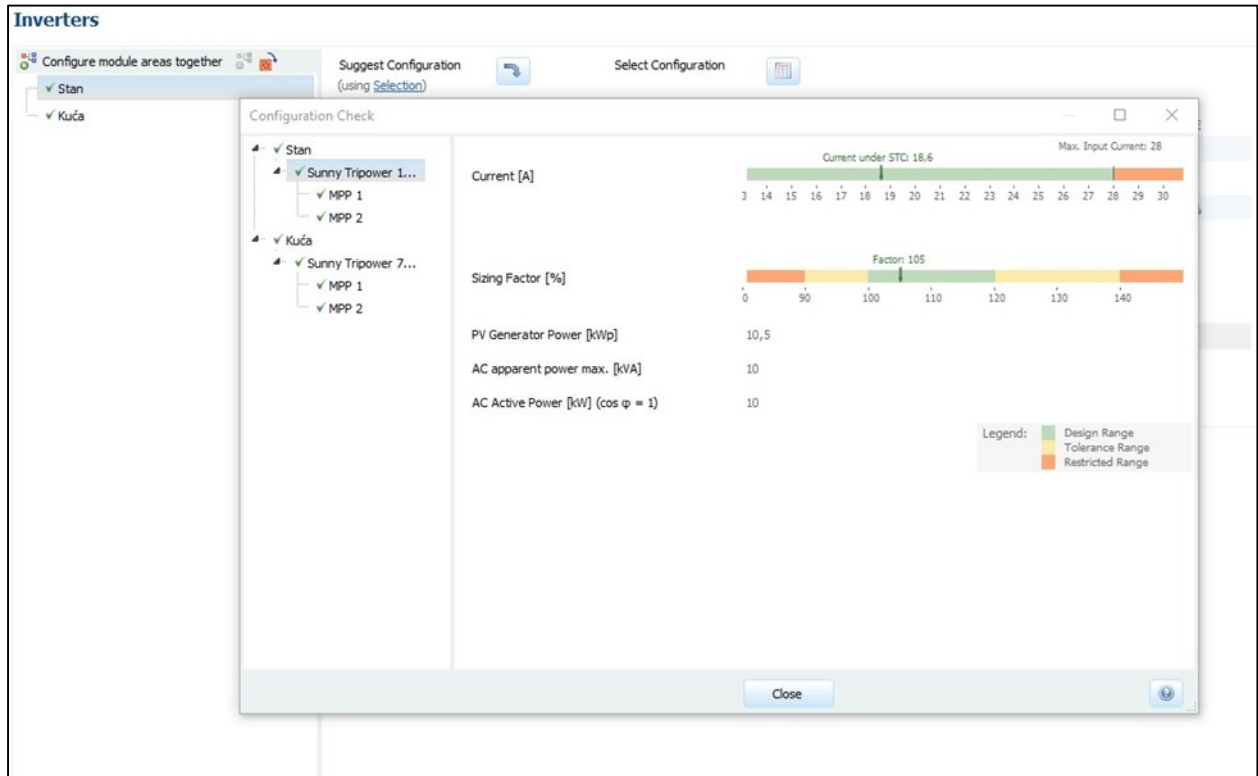


Slika 3.8. Raspored modula i izmjenjivača



### 3.1.5. Provjera konfiguracije izmjenjivača

Provjera konfiguracije, odnosno provjera dobrog odabira izmjenjivača radi se pomoću opcije provjera sustava (engl. *Check System*). Birajući tu opciju na ekranu će se pojaviti slika 3.9. na kojoj se nalaze parametri izmjenjivača.

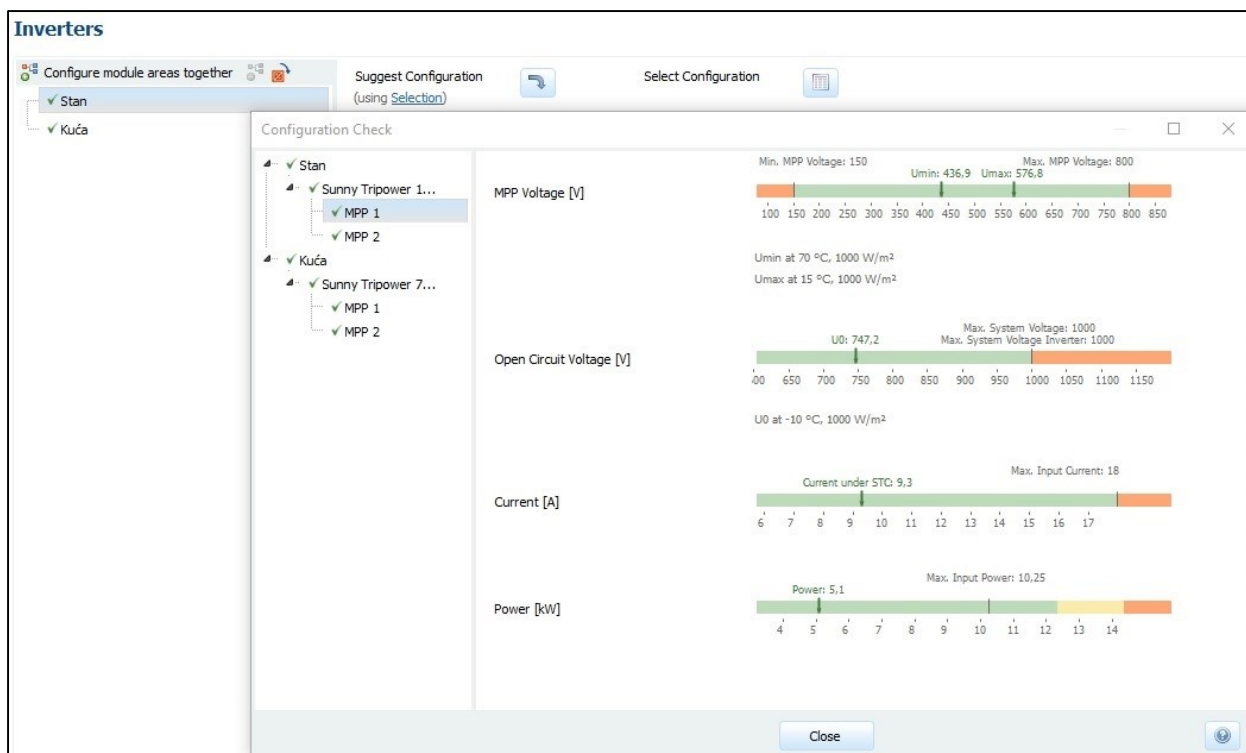


Slika 3.9. Parametri izmjenjivača Sunny Tripower 10000TL-20

Klikom na direktorij MPP 1 dobivaju se i važni parametri kao što su :

- Napon u točki maksimalne snage
- Napon otvorenog kruga (napon praznog hoda)
- Struja
- Snaga

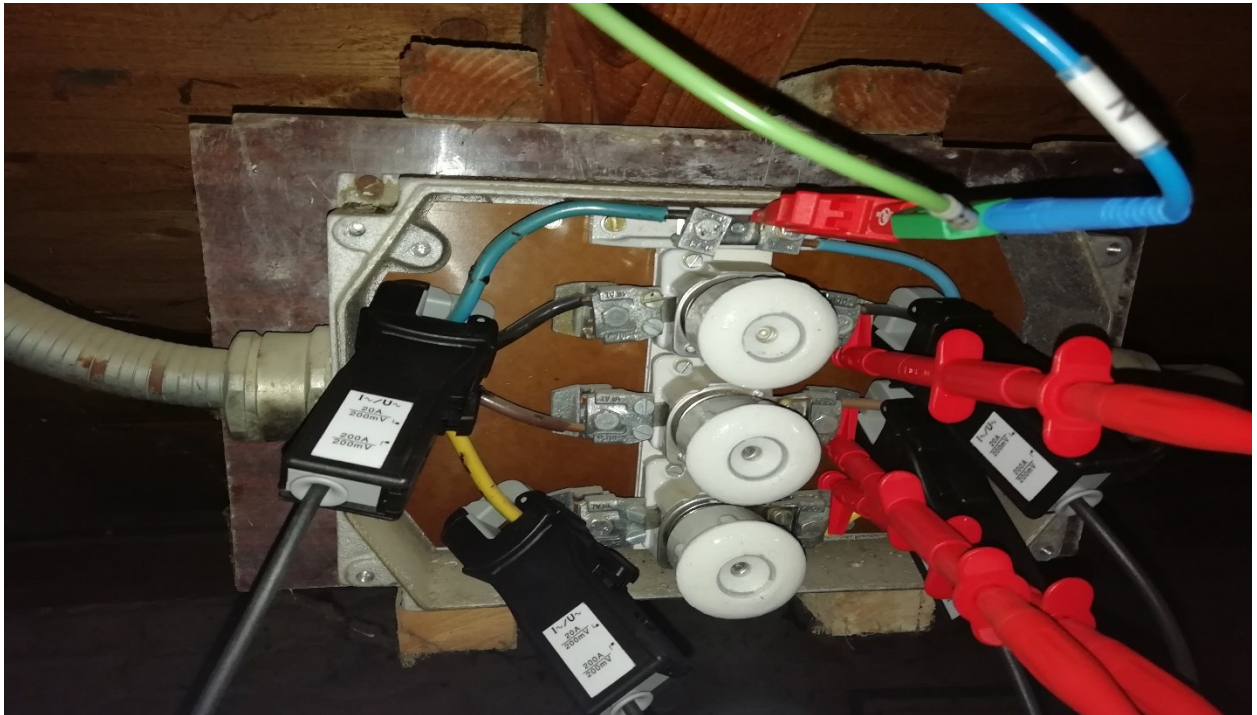
Na slici 3.10. može se uočiti kako izabrani izmjenjivač svojim karakteristikama u potpunosti zadovoljava uvjete fotonaponske elektrane. Naime, svi parametri nalaze se u zelenom području, odnosno području predviđenog rada izmjenjivača. Žuta boja daje prikaz područja tolerancije, dok narančasta boja daje prikaz područja van granica predviđenog rada izmjenjivača.



Slika 3.10. Prikaz parametara fotonaponskog niza

### 3.1.6. Mjerenje profila potrošnje električne energije

Na objektu je izvršeno tjedno mjerenje potrošnje električne energije uređajem A.Eberle PQ Box 200. Uređaj je bilježio potrošnju električne energije na bazi *10 minutnih vrijednosti*. Na osnovu tih mjerenja učinjena je aproksimacija potrošnje električne energije za cijelu godinu. Aproksimacija je rađena na način da se tjedna potrošnja pomnožila s brojem tjedana u godini (52 puta 7) i dodao jedan dan, kako bi se dobio broj 365 koliko ima dana u jednoj godini. Važno je istaknuti kako se izvršena aproksimacija ne razlikuje značajno od iznosa računa za potrošenu električnu energiju. Iznos kilovat sati po računu je 5276 kWh, a izvršene aproksimacije 5709 kWh. Razlika je u postocima manja od 8%, što se može smatrati prihvatljivim na ovoj razini razmatranja. Slijedeće slike 3.11. i 3.12. prikazuju način spajanja mjernih sonde i mjerni uređaj.



Slika 3.11. Priključak mjernih sonde na tavanskim osiguračima



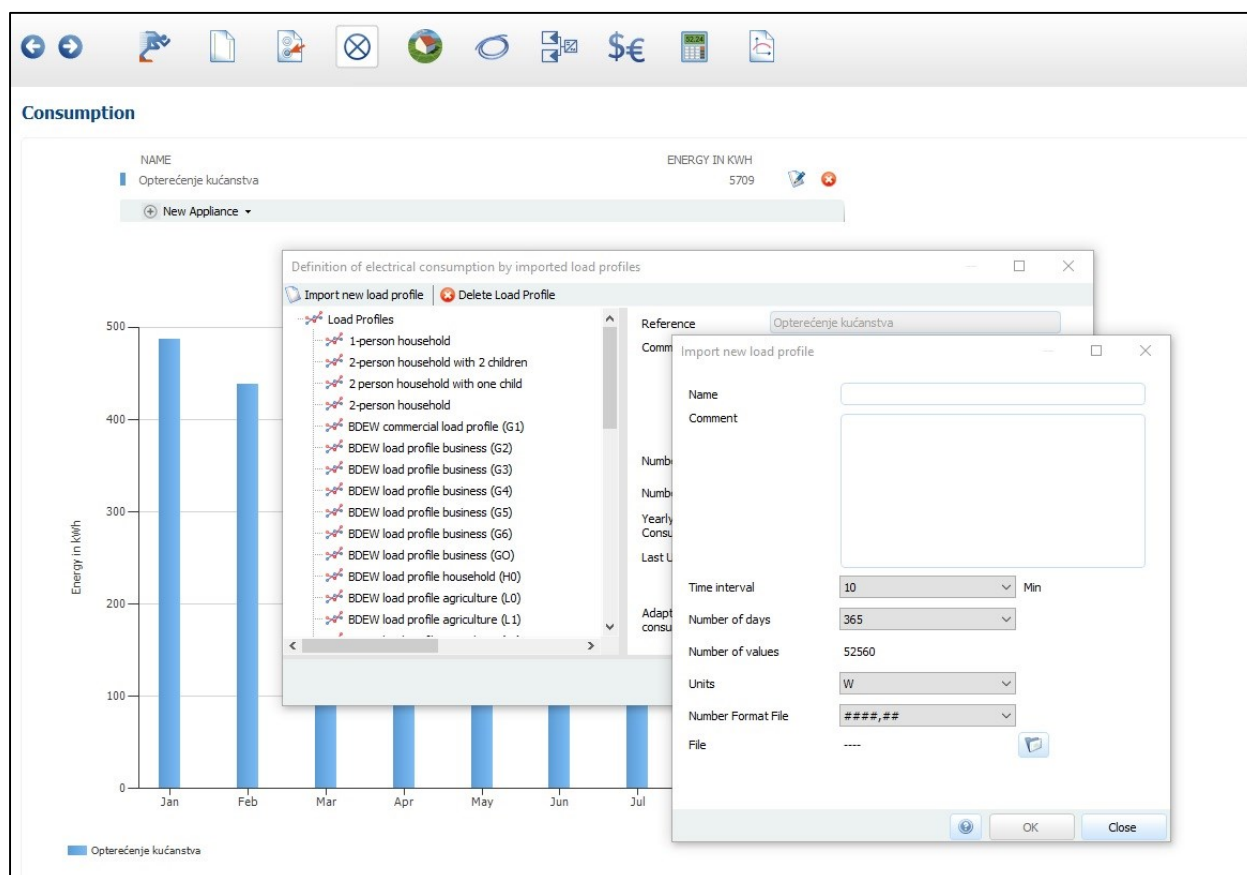
Uz tjednu mjerenu potrošnju električne energije i kako bi se dali što precizniji podaci, uspoređena je potrošnja električne energije po računima za istu. Prikaz potrošnje električne energije dan je tablicom 3.4.

Tablica 3.4. Potrošnja električne energije po računima

Potrošnja el. energije po očitanjima brojila				
	jed. mjere	količina	jed. mjere	Iznos
svibanj-listopad	kWh	2252	kn	2152,83
studeni-travanj	kWh	3024	kn	3342,44
<b>Ukupno</b>	<b>kWh</b>	<b>5276</b>	<b>kn</b>	<b>5495,27</b>

### 3.1.7. Unos potrošnje u PV SOL premium

Postupak unosa potrošnje električne energije detaljno je opisan u nastavku. U izborniku Novi profil (engl. *New Appliance*) izabere se mogućnost Unos novog profila potrošnje (engl. *Import new load profile*). Tada se profil potrošnje imenuje, izabere se vremenski interval, broj dana, jedinica i format datoteke mjerene potrošnje. Nakon toga izabere se i učita datoteka mjerene potrošnje električne energije. Način ovog postupka unosa potrošnje prikazan je slikom 3.14.



Slika 3.14. Unos potrošnje u PV SOL premium

#### 4. ANALIZA ISPLATIVOSTI

Prije same analize potrebno je odrediti cijene pojedinih komponenti koji predstavljaju ulazne podatke, odnosno cijenu ulaganja u sustav. Analiza je učinjena na četiri slučaja:

1. Fotonaponski sustav na maksimalno iskoristivoj površini krova
2. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji električne energije kućanstva
3. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s pohranom jednog sustava baterija
4. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s pohranom dva sustava baterija.

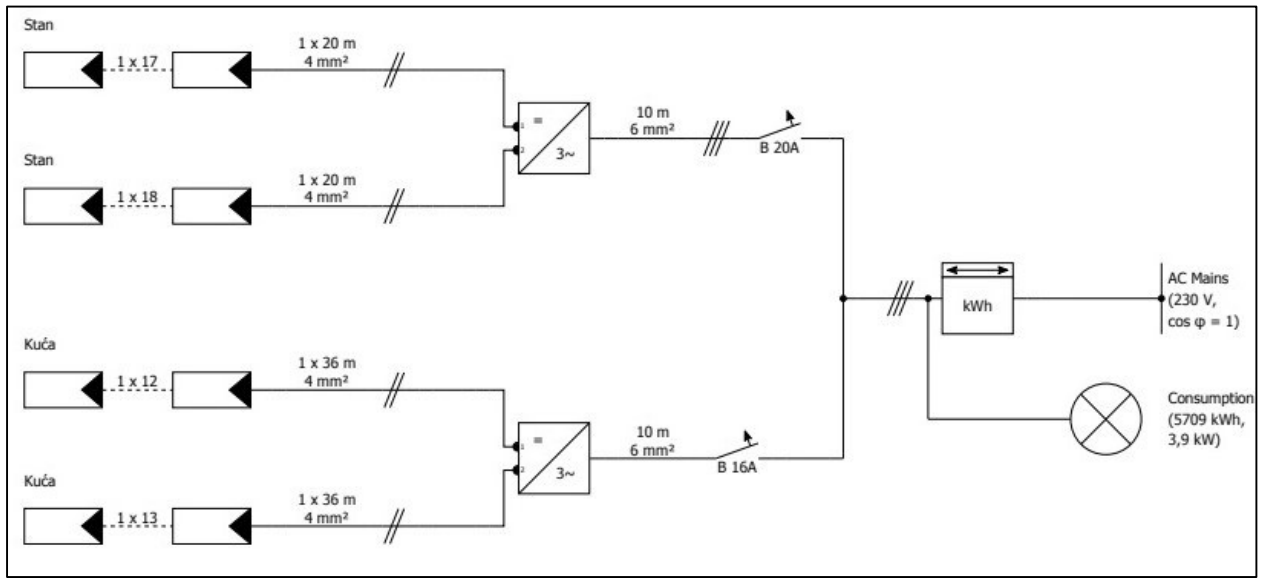
Cijene su skalirane u odnosu na trenutno stanje na tržištu. Prikaz cijena dan je tablicom 4.1.

Tablica 4.1. Cijene po komponentama

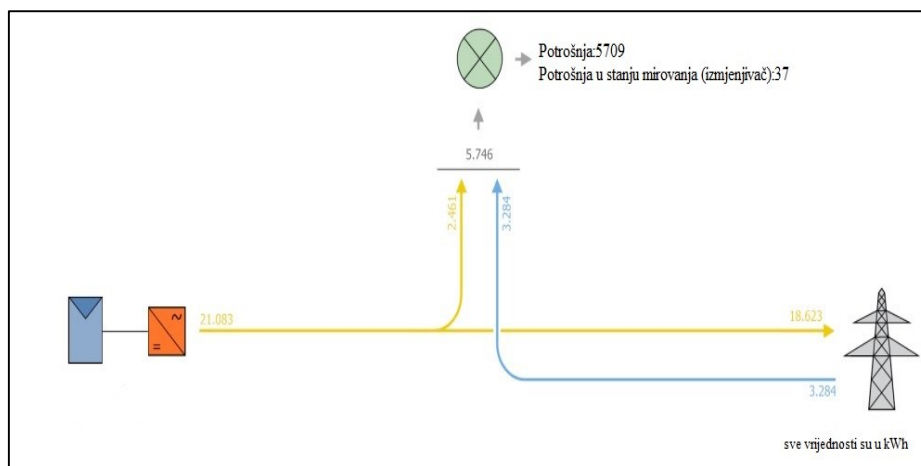
Stavka	Investicija [kn]			
	Maksimalno 18 kW	Skalirano 4,5 kW	4,5 kW i 1 baterijski sustav	4,5 kW i 2 baterijski sustav
FN modul	51000	12750	12750	12750
Izmjenjivač	16650	4162,5	4162,5	4162,5
Podkonstrukcija	19200	4800	4800	4800
DC ormarić	2556	639	639	639
AC ormarić	2844	711	711	711
Kabeli	11340	2835	2835	2835
Projektna dokumentacija	9000	2250	2250	2250
Priključak	10440	2610	2610	2610
Montaža	16875	4218,75	4218,75	4218,75
Održavanje (čišćenje)	2700	675	675	675
Pohrana			29250	58500
UKUPNO	142605	35651,25	64901,25	94151,25

## 4.1. Fotonaponski sustav na maksimalno iskoristivoj površini krova

U ovome slučaju fotonaponski sustav postavljen je na „južnu“ stranu krova kuće i „istočnu“ stranu krova stana. Ukupna snaga sustava iznosi 18 kW. Izabrani izmjenjivač za stan je SMA Solar Technology AG Sunny Tripower 10000TL-20, dok je izabrani izmjenjivač za kuću SMA Solar Technology AG Sunny Tripower 7000TL-20. Jednopolna shema fotonaponskog sustava dana je na slici 4.1., dok je na slici 4.2. prikazan godišnji tok električne energije za promatrani sustav.



Slika 4.1. Jednopolna shema fotonaponskog sustava snage 18 kW



Slika 4.2 Godišnji tok električne energije za sustav za fotonaponskom elektranom instalirane snage 18 kW

Pomoću simulacija u programskom paketu PV SOL premium izračunati su mjesečni tokovi energije te tok novca za promatrani sustav. Tablica 4.2. prikazuje mjesečni tok električne energije, dok Tablica 4.3. prikazuje mjesečni tok novca za promatrani sustav.



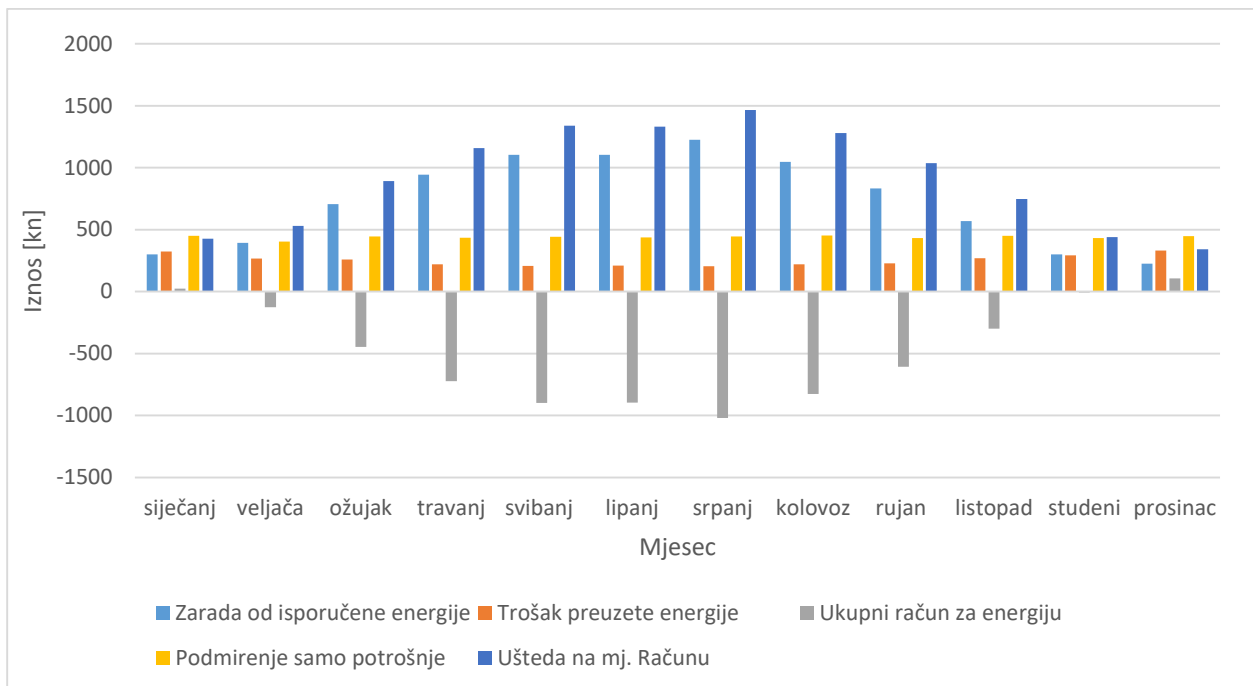
Tablica 4.2. Fotonaponski sustav snage 18 kW mjesečni tok električne energije

Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Potrošnja	kWh	486,66	437,79	482,44	471,49	478,07	473,25	481,29	490,02	467,42	486,66	468,73	485,2	5709,02
Proizvodnja energije	kWh	776,58	984,26	1702,17	2241,08	2604,99	2596,77	2867,04	2479,54	1994,39	1404,69	792,37	603,3	21047,18
Neto preuzeta energija	kWh	-289,92	-546,48	-1219,74	-1769,59	-2126,92	-2123,53	-2385,75	-1989,52	-1526,97	-918,03	-323,64	-118,11	-15338,2
Preuzeto iz mreže $E_{pi}$	kWh	350,86	287,94	280,4	239,67	223,43	227,25	221,64	237,47	246,92	292,42	317,67	358,78	3284,45
Isporučeno u mrežu $E_{ij}$	kWh	640,78	834,42	1500,1	2009,3	2350,3	2350,8	2607,4	2227	1773,9	1210,4	641,31	476,89	18622,6

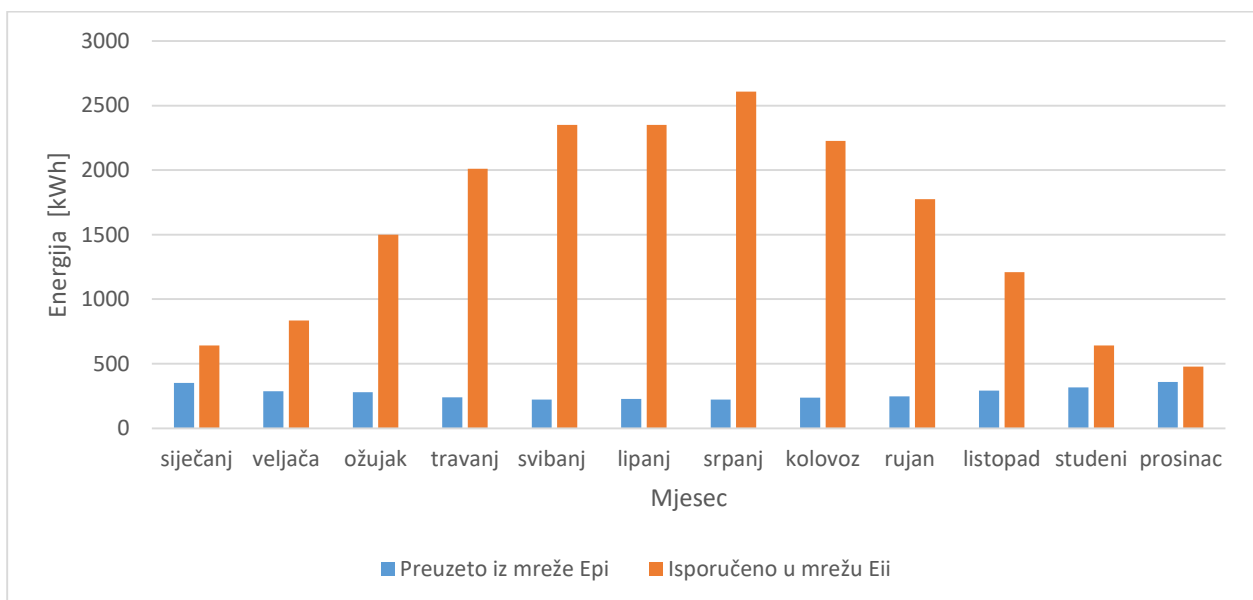
Tablica 4.3. Fotonaponski sustav snage 18 kW mjesečni tok novca

Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Zarada od isporučene energije	kn	301,17	392,18	705,05	944,37	1104,64	1104,88	1225,48	1046,69	833,73	568,89	301,42	224,14	8752,62
Trošak preuzete energije	kn	323,84	265,77	258,81	221,22	206,23	209,75	204,57	219,18	227,91	269,90	293,21	331,15	3031,54
Ukupni račun za energiju	kn	22,68	-126,41	-446,24	-723,16	-898,41	-895,12	-1020,9	-827,50	-605,83	-298,98	-8,21	107,02	11784,2
Podmirenje samo potrošnje	kn	449,19	404,08	445,29	435,18	441,26	436,81	444,23	452,29	431,43	449,19	432,64	447,84	5269,43
Ušteda na mj. Računu	kn	426,51	530,49	891,53	1158,34	1339,67	1331,93	1465,13	1279,79	1037,26	748,17	440,84	340,82	10990,5

Slika 4.3. prikazuje mjesečni tok novca za sustav snage 18 kW, dok Slika 4.4. prikazuje mjesečni tok električne energije.



Slika 4.3. Mjesečni tok novca za sustav snage 18 kW

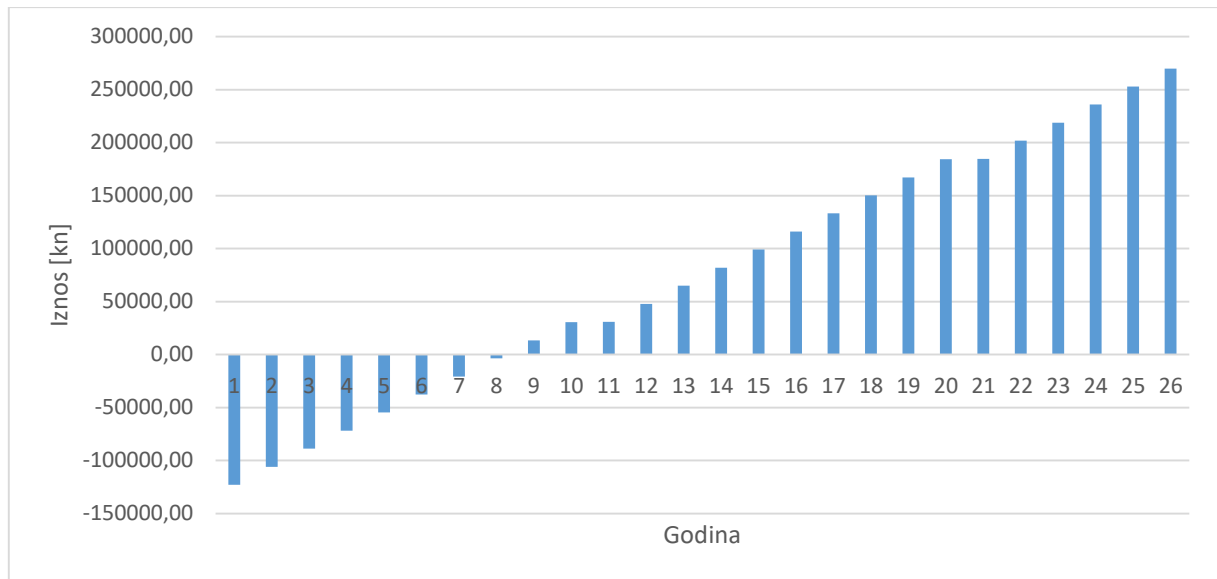


Slika 4.4. Mjesečni tok električne energije za sustav snage 18 kW

Tablica 4.4. Neto sadašnja vrijednost za sustav snage 18 kW

Maksimalno 18 kW				
Godina	Investicija	Zarada	Ušteda	Neto sadašnja vrijednost
1	-142605,00	8752,62	10990,50	-122861,88
2	-2700,00	8752,62	10990,50	-105818,76
3	-2700,00	8752,62	10990,50	-88775,63
4	-2700,00	8752,62	10990,50	-71732,51
5	-2700,00	8752,62	10990,50	-54689,39
6	-2700,00	8752,62	10990,50	-37646,27
7	-2700,00	8752,62	10990,50	-20603,15
8	-2700,00	8752,62	10990,50	-3560,02
9	-2700,00	8752,62	10990,50	13483,10
10	-2700,00	8752,62	10990,50	30526,22
11	-19350,00	8752,62	10990,50	30919,34
12	-2700,00	8752,62	10990,50	47962,47
13	-2700,00	8752,62	10990,50	65005,59
14	-2700,00	8752,62	10990,50	82048,71
15	-2700,00	8752,62	10990,50	99091,83
16	-2700,00	8752,62	10990,50	116134,95
17	-2700,00	8752,62	10990,50	133178,08
18	-2700,00	8752,62	10990,50	150221,20
19	-2700,00	8752,62	10990,50	167264,32
20	-2700,00	8752,62	10990,50	184307,44
21	-19350,00	8752,62	10990,50	184700,56
22	-2700,00	8752,62	10990,50	201743,69
23	-2700,00	8752,62	10990,50	218786,81
24	-2700,00	8752,62	10990,50	235829,93
25	-2700,00	8752,62	10990,50	252873,05
26	-2700,00	8752,62	10990,50	269916,17

Slika 4.5. prikazuje povrat investicije za sustav snage 18 kW.

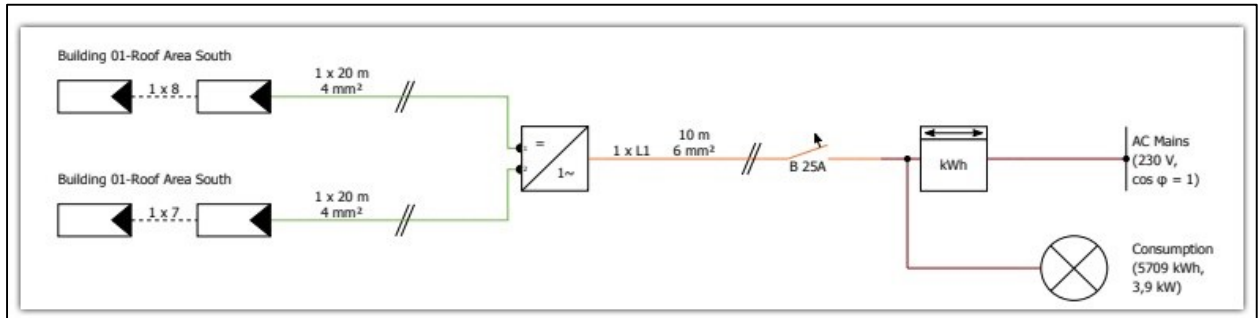


Slika 4.5. Povrat investicije za sustav snage 18 kW

Za sustav snage 18 kW iz godišnjeg toka energije vidljivo je fotonaponski sustav proizveo 21083 kWh električne energije, od toga je na zadovoljenje potrošnje otišlo 2461 kWh, dok je ostatak 18623 kWh predan u mrežu. Da bi se zadovoljila potrošnja 5746 kWh, 3284 kWh je preuzeto iz mreže. Najveća ušteda na mjesečnom računu je od ožujka do listopada. Ukupna investicija u sustav iznosi 142605 kn. Povrat investicije je za devet godina. Nakon desete godine mijenja se izmjenjivač što je prikazano u tablici 4.4. kao porast investicije u jedanaestoj i dvadeset i prvoj godini rada sustava.

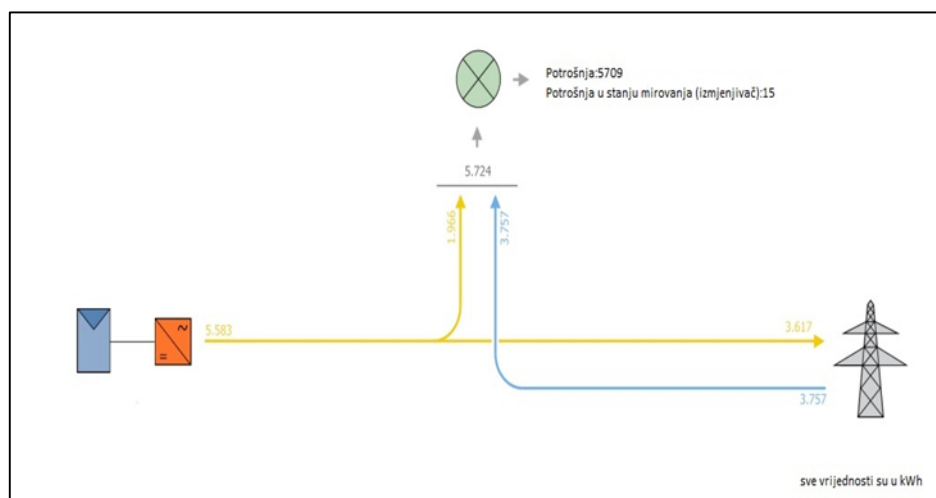
## 4.2 Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji električne energije kućanstva

U ovom slučaju instaliran je fotonaponski sustav čija godišnja proizvodnja električne energije odgovara potrošnji kućanstva. Fotonaponski sustav je snage 4,5 kW. Moduli su postavljeni na krovu kuće. Ukupno ih je 15 komada, pojedinačne snage 300 W. Postavljeni su horizontalno. Izabrani izmjenjivač za ovakav sustav je SMA Solar Technology AG Sunny Boy 4000TL-21.



Slika 4.4. Shematski prikaz fotonaponskog sustava snage 4,5 kW

Slika 4.5 prikazuje tok energije za sustav snage 4,5 kW



Slika 4.5. Tok energije 4,5 kW

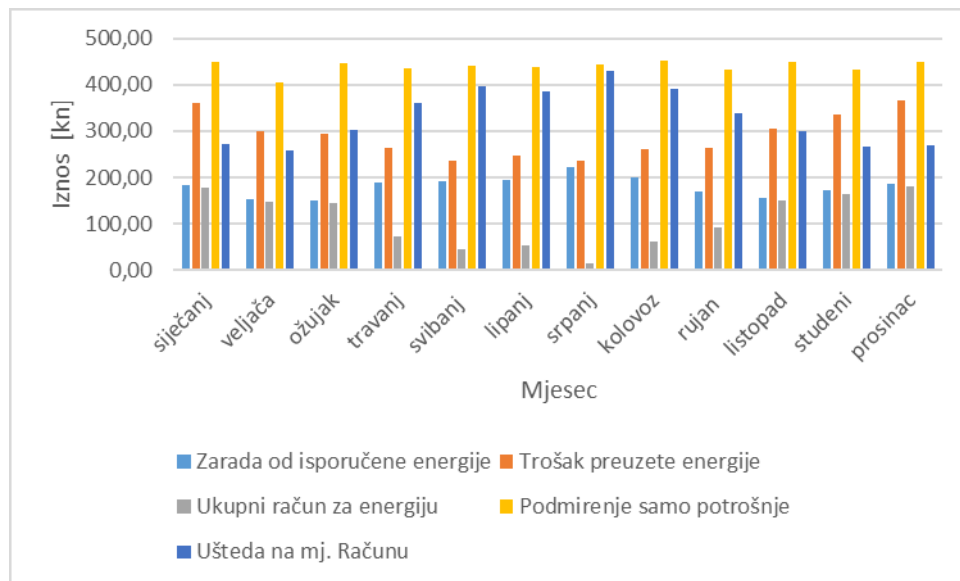
Tablica 4.5. Fotonaponski sustav snage 4,5 kW mjesečni tok električne energije

Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Potrošnja	kWh	486,66	437,79	482,44	471,49	478,07	473,25	481,29	490,02	467,42	486,66	468,73	485,2	5709,02
Proizvodnja energije	kWh	765,26	972,75	1691,7	2231,63	2596,4	2588,12	2858,67	2470,75	1984,8	1393,09	778,56	590,55	20922,28
Neto preuzeta energija	kWh	235,19	142,5	10,18	-118,13	-150,26	-146,38	-213,43	-142,33	-78,52	81,6	225,42	294,89	140,73
Preuzeto iz mreže $E_{pi}$	kWh	390,66	323,89	317,97	285,64	256,93	267,93	256,19	281,03	284,71	330,92	364,62	397,45	3757,4
Isporučeno u mrežu $E_{ij}$	kWh	155,47	181,39	307,79	403,77	407,19	413,77	469,62	423,36	363,23	249,32	139,2	102,56	3616,67

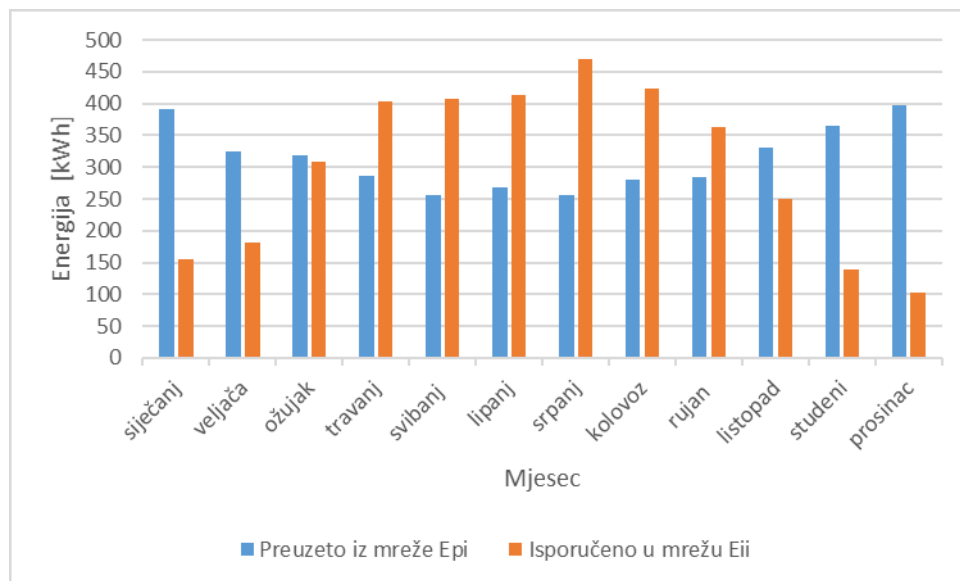
Tablica 4.6. Fotonaponski sustav snage 4,5 kW mjesečni tok novca

Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Zarada od isporučene energije	kn	183,61	152,23	149,45	189,77	191,38	194,47	220,72	198,98	170,72	155,53	171,37	186,80	2165,03
Trošak preuzete energije	kn	360,58	298,95	293,49	263,65	237,15	246,80	236,46	259,39	262,79	305,44	336,54	366,85	3468,08
Ukupni račun za energiju	kn	176,97	146,72	144,04	73,87	45,77	52,33	15,74	60,41	92,07	149,91	165,17	180,04	1303,05
Podmirenje samo potrošnje	kn	449,19	404,08	445,29	435,19	441,26	436,81	444,23	452,29	431,43	449,19	432,64	447,84	5269,43
Ušteda na mj. računu	kn	272,22	257,36	301,25	361,31	395,49	384,48	428,49	391,88	339,36	299,28	267,46	267,79	3966,38

Slika 4.6. prikazuje mjesečni tok novca za sustav snage 4,5 kW, dok slika 4.7. prikazuje mjesečni tok električne energije za sustav snage 4,5 kW.



Slika 4.6. Mjesečni tok novca za sustav snage 4,5 kW



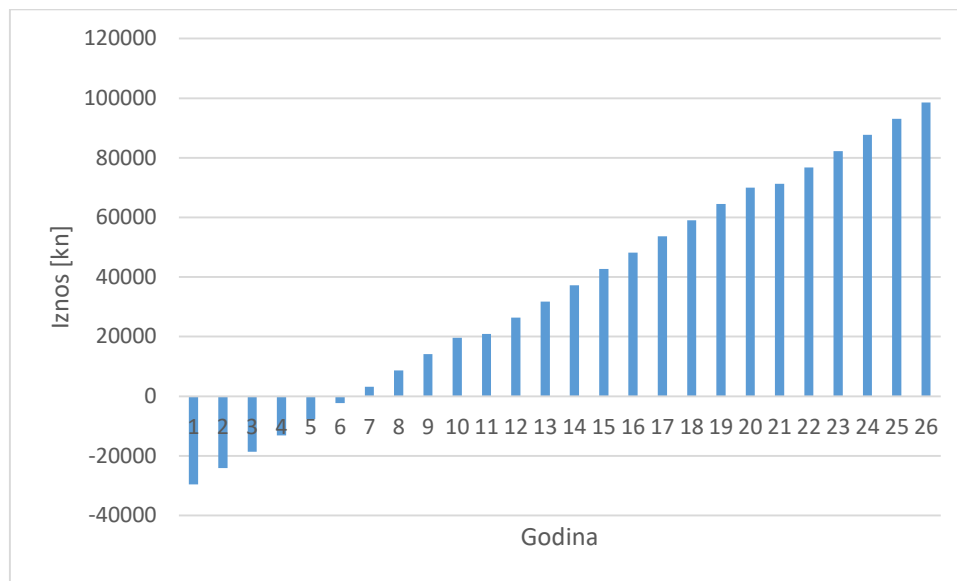
Slika 4.7. Mjesečni tok električne energije za sustav snage 4,5 kW

Tablica 4.7. Neto sadašnja vrijednost za 4,5 kW

Sustav snage 4,5 kW				
Godina	Investicija	Zarada	Ušteda	Neto sadašnja vrijednost
1	-35651,30	2165,03	3966,38	-29519,84
2	-675,00	2165,03	3966,38	-24063,43
3	-675,00	2165,03	3966,38	-18607,03
4	-675,00	2165,03	3966,38	-13150,62
5	-675,00	2165,03	3966,38	-7694,21
6	-675,00	2165,03	3966,38	-2237,80
7	-675,00	2165,03	3966,38	3218,61
8	-675,00	2165,03	3966,38	8675,02
9	-675,00	2165,03	3966,38	14131,42
10	-675,00	2165,03	3966,38	19587,83
11	-4837,50	2165,03	3966,38	20881,74
12	-675,00	2165,03	3966,38	26338,15
13	-675,00	2165,03	3966,38	31794,56
14	-675,00	2165,03	3966,38	37250,97
15	-675,00	2165,03	3966,38	42707,37
16	-675,00	2165,03	3966,38	48163,78
17	-675,00	2165,03	3966,38	53620,19
18	-675,00	2165,03	3966,38	59076,60
19	-675,00	2165,03	3966,38	64533,01
20	-675,00	2165,03	3966,38	69989,42
21	-4837,50	2165,03	3966,38	71283,32
22	-675,00	2165,03	3966,38	76739,73
23	-675,00	2165,03	3966,38	82196,14
24	-675,00	2165,03	3966,38	87652,55
25	-675,00	2165,03	3966,38	93108,96
26	-675,00	2165,03	3966,38	98565,36



Slika 4.8. prikazuje povrat investicije za sustav snage 4,5 kW



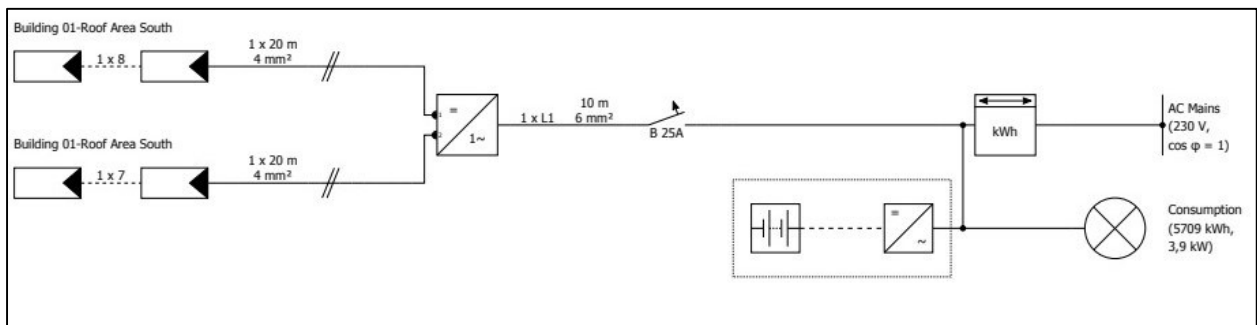
Slika 4.8. Povrat investicije za sustav snage 4,5 kW

Za sustav snage 4,5 kW iz godišnjeg toka energije vidljivo je fotonaponski sustav proizveo 5583 kWh električne energije, od toga je na zadovoljenje potrošnje otišlo 1966 kWh, dok je ostatak 3757 kWh predan u mrežu. Da bi se zadovoljila potrošnja 5724 kWh, 3757 kWh je preuzeto iz mreže. Najveća ušteda na mjesečnom računu je u ljetnim mjesecima, iako je ona kroz cijelu godinu u rasponu od 257 do 428 kn. Ukupna investicija u sustav iznosi 35651,25 kn. Povrat investicije je za sedam godina. Nakon desete godine mijenja se izmjenjivač što je prikazano u tablici 4.7. kao porast investicije u jedanaestoj i dvadeset i prvoj godini rada sustava.

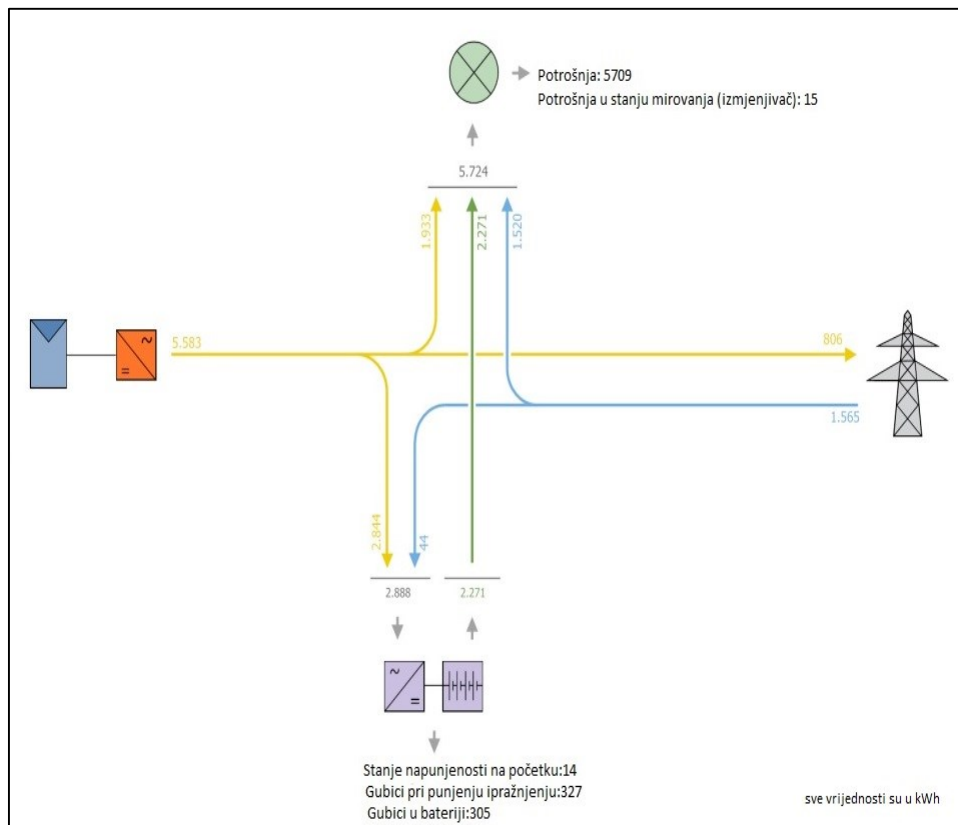
### 4.3. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s pohranom jednog sustava baterija

Ovo poglavlje opisuje slučaj kad je instaliran sustav čija godišnja proizvodnja električne energije odgovara potrošnji kućanstva i dodana mu je pohrana od jednog baterijskog sustava. PV SOL za jedan baterijski sustav uzima energiju od 14,4 kWh. Vidljivo je da pohrana poskupljuje cijeli sustav. Također se primjećuje i da je rok otplate gotovo udvostručen u odnosu na sustav bez pohrane.

Slika 4.9. daje shematski prikaz fotonaponskog sustava snage 4,5 kW s pohranom 1 baterijski sustav, dok slika 4.10. prikazuje tok energije za sustav snage 4,5 kW s pohranom 1 baterijski sustav



Slika 4.9. Shematski prikaz fotonaponskog sustava snage 4,5 kW s pohranom 1 baterijski sustav



Slika 4.10. Tok energije za sustav snage 4,5 kW s pohranom 1 baterijski sustav

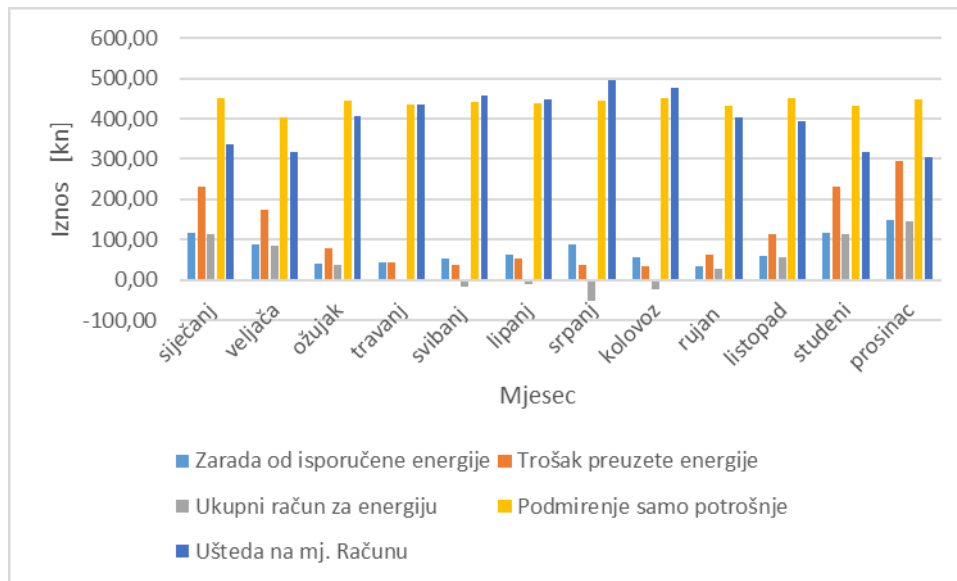
Tablica 4.8. Fotonaponski sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane mjesečni tok električne energije

Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Potrošnja	kWh	486,66	437,79	482,44	471,49	478,07	473,25	481,29	490,02	467,42	486,66	468,73	485,20	5709,02
Proizvodnja energije	kWh	251,46	295,29	472,25	589,63	628,33	619,62	694,73	632,35	545,94	405,06	243,31	190,31	5568,28
Neto preuzeta energija	kWh	235,20	142,50	10,18	-118,14	-150,26	-146,38	-213,43	-142,33	-78,52	81,60	225,42	294,89	140,73
Preuzeto iz mreže $E_{pi}$	kWh	251,67	189,23	84,89	48,43	39,71	58,56	41,47	37,67	69,61	124,84	252,33	319,09	1517,50
Isporučeno u mrežu $E_{ii}$	kWh	3,53	11,48	20,01	94,78	111,63	134,76	189,76	122,40	76,48	7,01	4,73	2,26	778,83

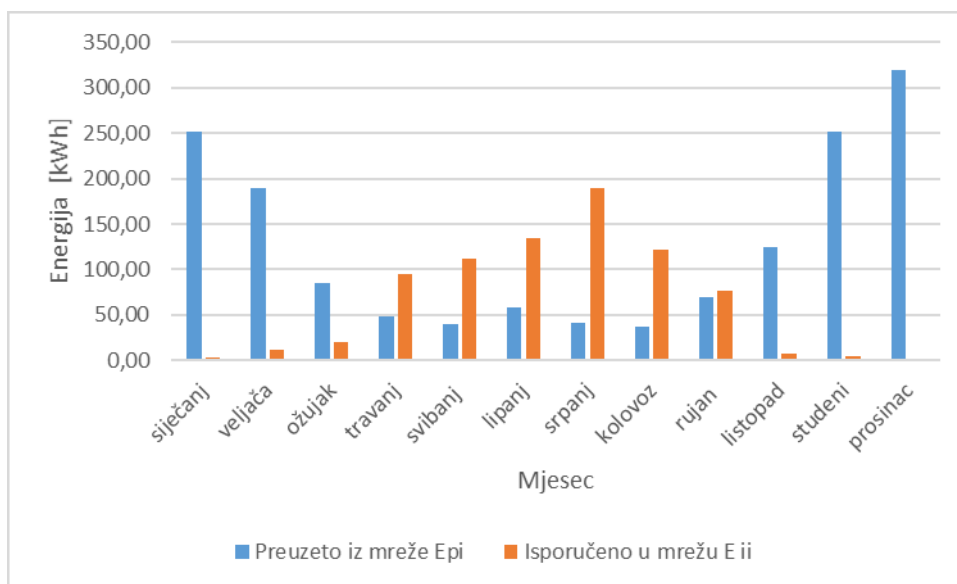
Tablica 4.9. Fotonaponski sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane mjesečni tok novca

Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Zarada od isporučene energije	kn	118,28	88,94	39,90	44,55	52,47	63,34	89,19	57,53	35,94	58,67	118,60	149,97	917,37
Trošak preuzete energije	kn	232,29	174,66	78,36	44,70	36,65	54,05	38,27	34,77	64,25	115,23	232,90	294,52	1400,65
Ukupni račun za energiju	kn	114,01	85,72	38,46	0,16	-15,82	-9,29	-50,91	-22,76	28,30	56,55	114,31	144,55	483,27
Podmirenje samo potrošnje	kn	449,19	404,08	445,29	435,19	441,26	436,81	444,23	452,29	431,43	449,19	432,64	447,84	5269,43
Ušteda na mj. računu	kn	335,18	318,36	406,84	435,03	457,08	446,10	495,14	475,05	403,12	392,63	318,33	303,29	4786,15

Slika 4.11. prikazuje mjesečni tok novca za sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane, dok slika 4.12. prikazuje mjesečni tok električne energije za sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane.



Slika 4.11. Mjesečni tok novca za sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane

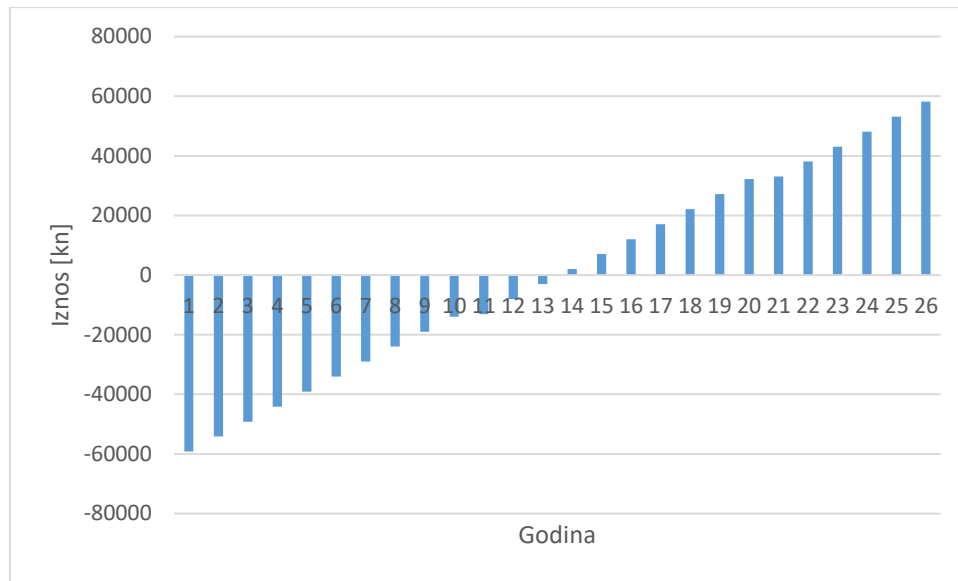


Slika 4.12. Mjesečni tok električne energije za sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane

Tablica 4.10. Neto sadašnja vrijednost za 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane

Sustav snage 4,5 kW i 1 baterijski sustav pohrane				
Godina	Investicija	Zarada	Ušteta	Neto sadašnja vrijednost
1	-64901,30	917,37	4786,15	-59197,72
2	-675,00	917,37	4786,15	-54169,20
3	-675,00	917,37	4786,15	-49140,67
4	-675,00	917,37	4786,15	-44112,14
5	-675,00	917,37	4786,15	-39083,62
6	-675,00	917,37	4786,15	-34055,09
7	-675,00	917,37	4786,15	-29026,56
8	-675,00	917,37	4786,15	-23998,03
9	-675,00	917,37	4786,15	-18969,51
10	-675,00	917,37	4786,15	-13940,98
11	-4837,50	917,37	4786,15	-13074,95
12	-675,00	917,37	4786,15	-8046,43
13	-675,00	917,37	4786,15	-3017,90
14	-675,00	917,37	4786,15	2010,63
15	-675,00	917,37	4786,15	7039,15
16	-675,00	917,37	4786,15	12067,68
17	-675,00	917,37	4786,15	17096,21
18	-675,00	917,37	4786,15	22124,73
19	-675,00	917,37	4786,15	27153,26
20	-675,00	917,37	4786,15	32181,79
21	-4837,50	917,37	4786,15	33047,82
22	-675,00	917,37	4786,15	38076,34
23	-675,00	917,37	4786,15	43104,87
24	-675,00	917,37	4786,15	48133,40
25	-675,00	917,37	4786,15	53161,92
26	-675,00	917,37	4786,15	58190,45

Slika 4.13. prikazuje povrat investicije za 4,5 kW s pohranom 1 baterijski sustav



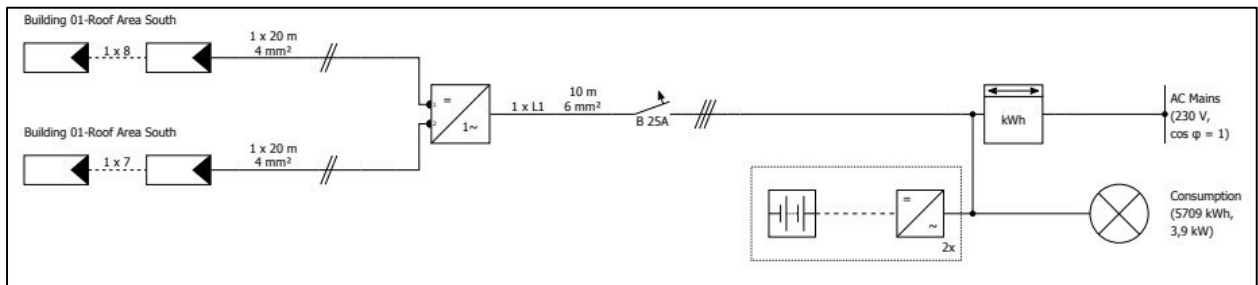
Slika 4.13. Povrat investicije za 4,5 kW s pohranom 1 baterijski sustav

Za sustav snage 4,5 kW plus 1 baterijski sustav pohrane iz godišnjeg toka energije vidljivo je; fotonaponski sustav proizveo 5583 kWh električne energije, od toga je na zadovoljenje potrošnje otišlo 1933 kWh, dok je dio 806 kWh predan u mrežu, a dio u pohranu 2844 kWh. U pohranu je iz mreže došlo i 44 kWh. Da bi se zadovoljila potrošnja 5724 kWh, 1520 kWh je preuzeto iz mreže, a dio iz pohrane 2271 kWh. Najveća ušteda na mjesečnom računu je u ljetnim mjesecima, iako je ona varira kroz cijelu godinu u rasponu od 303 do 475 kn. Ukupna investicija u sustav iznosi 64901,25 kn. Povrat investicije je za četrnaest godina. Nakon desete godine mijenja se izmjenjivač što je prikazano u tablici 4.10. kao porast investicije u jedanaestoj i dvadeset i prvoj godini rada sustava.

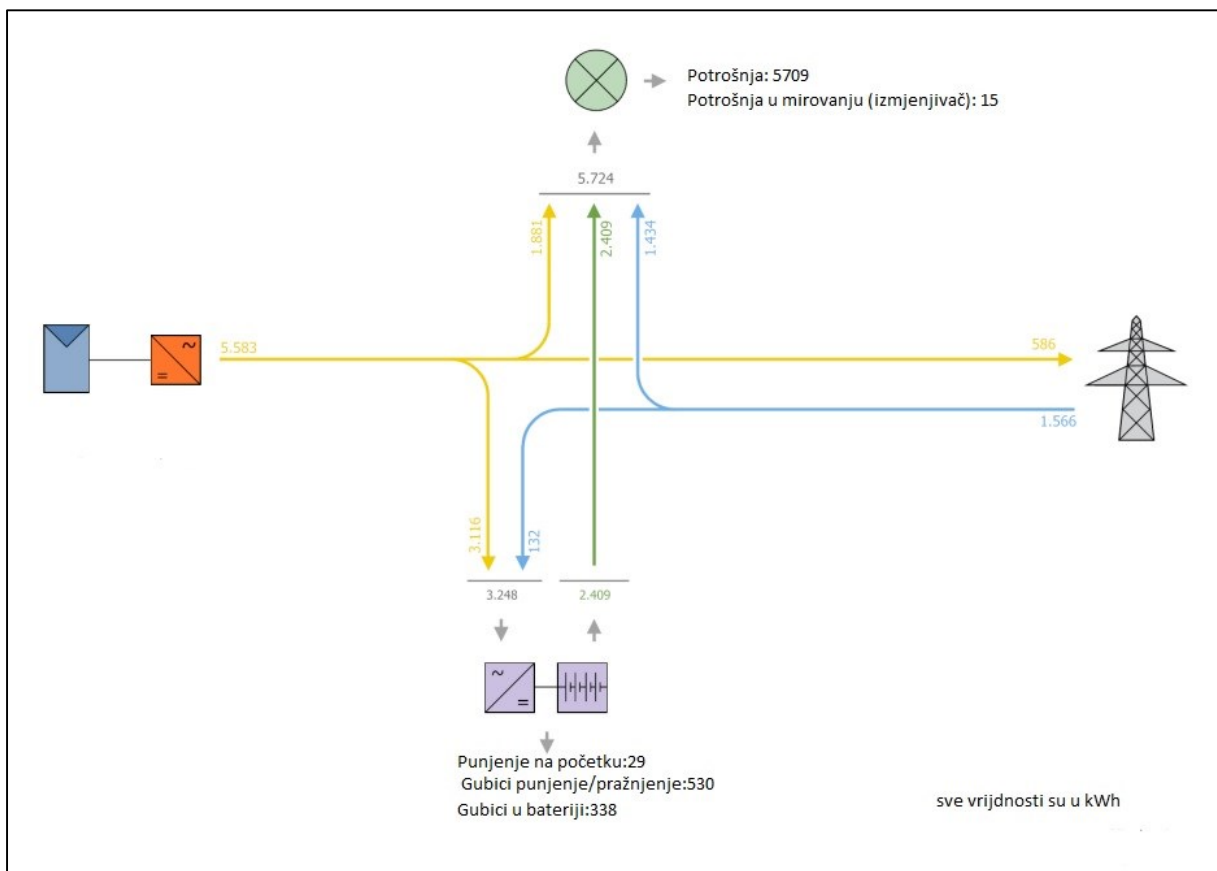
#### 4.4. Fotonaponski sustav skaliran po potrošnji s pohranom dva sustava baterija

Posljednji promatrani slučaj je instaliranje sustava skaliranog prema potrošnji uz dodana dva sustava pohrane. Pohrana je udvostručena u odnosu na prethodni slučaj i iznosi 28,8 kWh. Smisao pohrane je stvoriti potpuno neovisan sustav u odnosu na mrežu. Može se zaključiti da tamo gdje nije neophodna ta neovisnost ipak je isplativiji ići na sustav vezan na mrežu.

Slika 4.14. daje shematski prikaz fotonaponskog sustava snage 4,5 kW s pohranom 2 baterijski sustav, dok slika 4.15. prikazuje tok energije 4,5 kW s pohranom 2 baterijski sustav.



Slika 4.14. Shematski prikaz fotonaponskog sustava snage 4,5 kW s pohranom 2 baterijski sustav



Slika 4.15. Tok energije 4,5 kW s pohranom 2 baterijski sustav

Tablica 4.11. Fotonaponski sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane mjesečni tok električne energije

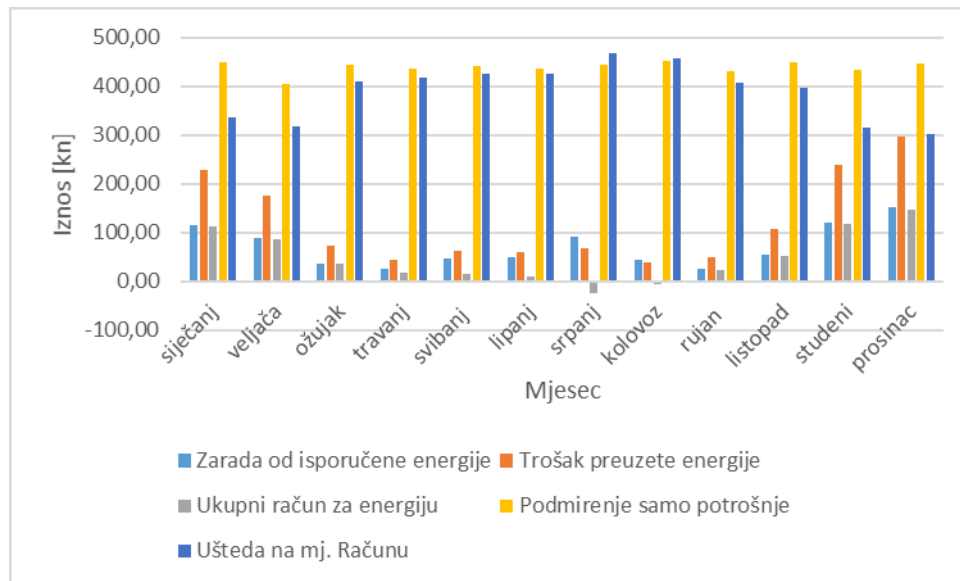
Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Potrošnja	kWh	486,66	437,79	482,44	471,49	478,07	473,25	481,29	490,02	467,42	486,66	468,73	485,20	5709,02
Proizvodnja energije	kWh	251,46	295,29	472,25	589,63	628,33	619,62	694,73	632,35	545,94	405,06	243,31	190,31	5568,28
Neto preuzeta energija	kWh	246,44	189,58	78,92	-7,42	-33,57	-41,35	-121,19	-53,81	24,68	117,81	258,04	322,19	980,31
Preuzeto iz mreže $E_{pi}$	kWh	246,44	189,58	78,93	48,74	68,22	65,01	74,87	42,52	53,87	117,81	258,04	322,19	1566,21
Isporučeno u mrežu $E_{ij}$	kWh	0,00	0,00	0,01	56,16	101,79	106,36	196,06	96,33	29,18	0,00	0,00	0,00	585,90

Tablica 4.12. Fotonaponski sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane mjesečni tok novca

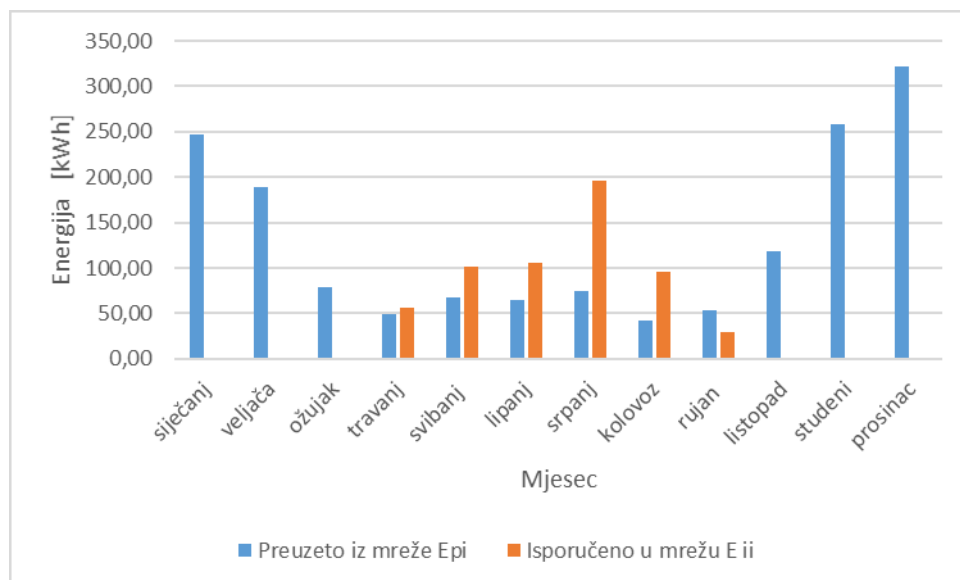
Mjesec	Jed.	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Ukupno
Zarada od isporučene energije	kn	115,83	89,10	37,10	26,39	47,84	49,99	92,15	45,28	25,32	55,37	121,28	151,43	857,07
Trošak preuzete energije	kn	227,46	174,98	72,86	44,99	62,96	60,00	69,11	39,24	49,72	108,74	238,17	297,38	1445,61
Ukupni račun za energiju	kn	111,64	85,88	35,76	18,59	15,12	10,01	-23,04	-6,03	24,40	53,37	116,89	145,95	588,54
Podmirenje samo potrošnje	kn	449,19	404,08	445,29	435,19	441,26	436,81	444,23	452,29	431,43	449,19	432,64	447,84	5269,43
Ušteda na mj. računu	kn	337,55	318,20	409,54	416,59	426,14	426,80	467,27	458,32	407,03	395,82	315,75	301,89	4680,89



Slika 4.16. prikazuje mjesečni tok novca za sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane, dok slika 4.17. prikazuje mjesečni tok električne energije za sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane.



Slika 4.16. Mjesečni tok novca za sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane

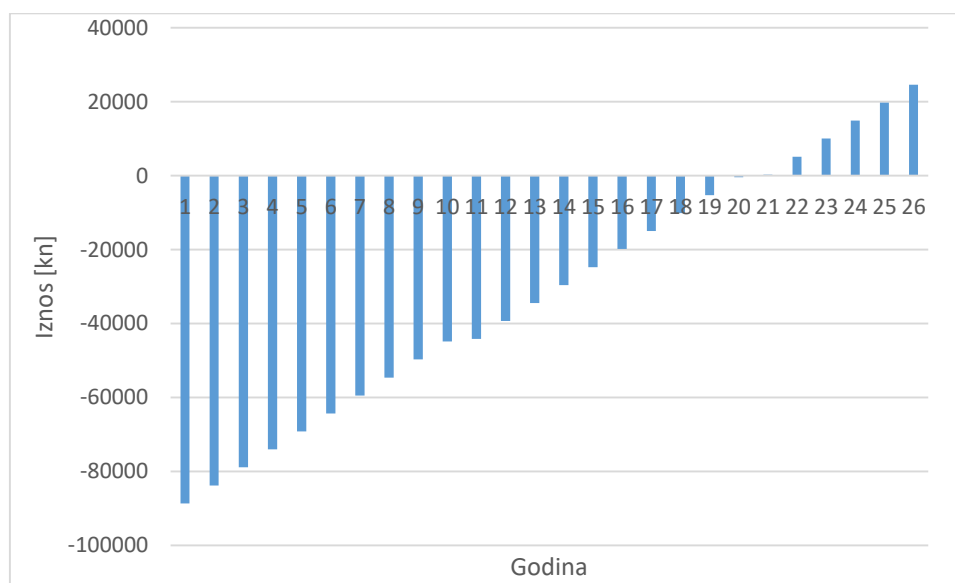


Slika 4.17. Mjesečni tok električne energije za sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane

Tablica 4.13. Neto sadašnja vrijednost za 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane

Sustav snage 4,5 kW i 2 baterijski sustav pohrane				
Godina	Investicija	Zarada	Ušteda	Neto sadašnja vrijednost
1	-94151,30	857,07	4680,89	-88613,29
2	-675,00	857,07	4680,89	-83750,33
3	-675,00	857,07	4680,89	-78887,37
4	-675,00	857,07	4680,89	-74024,41
5	-675,00	857,07	4680,89	-69161,45
6	-675,00	857,07	4680,89	-64298,50
7	-675,00	857,07	4680,89	-59435,54
8	-675,00	857,07	4680,89	-54572,58
9	-675,00	857,07	4680,89	-49709,62
10	-675,00	857,07	4680,89	-44846,66
11	-4837,50	857,07	4680,89	-44146,20
12	-675,00	857,07	4680,89	-39283,24
13	-675,00	857,07	4680,89	-34420,28
14	-675,00	857,07	4680,89	-29557,32
15	-675,00	857,07	4680,89	-24694,36
16	-675,00	857,07	4680,89	-19831,41
17	-675,00	857,07	4680,89	-14968,45
18	-675,00	857,07	4680,89	-10105,49
19	-675,00	857,07	4680,89	-5242,53
20	-675,00	857,07	4680,89	-379,57
21	-4837,50	857,07	4680,89	320,89
22	-675,00	857,07	4680,89	5183,85
23	-675,00	857,07	4680,89	10046,81
24	-675,00	857,07	4680,89	14909,77
25	-675,00	857,07	4680,89	19772,73
26	-675,00	857,07	4680,89	24635,69

Slika 4.18 prikazuje povrat investicije za 4,5 kW s pohranom 2 baterijski sustav



Slika 4.18. Povrat investicije za 4,5 kW s pohranom 2 baterijski sustav

Za sustav snage 4,5 kW plus 2 baterijski sustav pohrane iz godišnjeg toka energije vidljivo je; fotonaponski sustav proizveo 5583 kWh električne energije, od toga je na zadovoljenje potrošnje otišlo 1881 kWh, dok je dio 586 kWh predan u mrežu, a dio u pohranu 3116 kWh. U pohranu je iz mreže došlo i 132 kWh. Da bi se zadovoljila potrošnja 5724 kWh, 1434 kWh je preuzeto iz mreže, a dio iz pohrane 2409 kWh. Najveća ušteda na mjesečnom računu je u ljetnim mjesecima, iako je ona varira kroz cijelu godinu u rasponu od 301 do 467 kn. Ukupna investicija u sustav iznosi 94151,25 kn. Povrat investicije je za dvadeset i jednu godinu. Nakon desete godine mijenja se izmjenjivač što je prikazano u tablici 4.13. kao porast investicije u jedanaestoj i dvadeset i prvoj godini rada sustava.

## 5. ZAKLJUČAK:

Potreba za energijom u cijelom svijetu raste. U svrhu očuvanja okoliša, zdravlja i staništa svih živih bića cilj je da ta energija bude iz obnovljivih izvora. Obnovljivi izvori energije nisu više samo trend, oni postaju ozbiljni čimbenici u ukupno proizvedenoj energiji. Napredovanjem tehnologije omogućilo se brže i učinkovitije integriranje sustava temeljenih na obnovljivoj energiji. Ovaj diplomski rad dao je primjer na koji način bi se jedno prosječno obiteljsko kućanstvo moglo uključiti u cijelu tu priču. U programskom paketu PV SOL premium postavljeni su parametri krova (nagib, orijentacija i sl.). Cilj takvog podešavanja je približiti izgled projektne površine stvarnom stanju. Obuhvaćena su četiri karakteristična slučaja: maksimalno dostupna krovna površina, zatim skalirani fotonaponski sustav čija godišnja proizvodnja električne energije odgovara potrošnji kućanstva, te dva sustava s pohranom, jedan se energijom pohrane 14,4 kWh i drugi dvostruko veći 28,8 kWh. Za sva četiri slučaja napravljena je analiza za tokove energije, tok novca i računala se neto sadašnja vrijednost.

Prvi slučaj: Instalacija fotonaponskog sustava izvedena je na maksimalno dostupnoj površini krova. Snaga takvog sustava iznosi 18 kW. Godišnji tok energije je slijedeći: Fotonaponski sustav proizveo je 21083 kWh električne energije. Za potrebe potrošnje je predano 2461 kWh, dok je u mrežu predano 18623 kWh. Preostali dio električne energije, potreban za zadovoljenje potrošnje preuzet je iz mreže i iznosi 3284 kWh. Ukupna godišnja potrošnja kućanstva iznosi 5709 kWh. Na gubitke u izmjenjivaču otpada 37 kWh, pa ukupni tokovi električne energije prema potrošnji kućanstva iznose 5746 kWh. Investicija u ovaj fotonaponski sustav iznosi 142605 kn uz dodatak redovnog godišnjeg održavanja koje iznosi 2700 kn. Predviđeni rad sustava je 25 godina, te neto sadašnja vrijednost za taj period iznosi 252873,05 kn. Povrat investicije je za devet godina.

Drugi slučaj: Fotonaponski sustav čija godišnja proizvodnja odgovara potrošnji kućanstva. Snaga takvog sustava iznosi 4,5 kW. Godišnji tok energije je slijedeći: Fotonaponski sustav proizveo je 5583 kWh električne energije. Za potrebe potrošnje je predano 1966 kWh, dok je u mrežu predano 3617 kWh. Preostali dio električne energije, potreban za zadovoljenje potrošnje preuzet je iz mreže i iznosi 3757 kWh. Ukupna godišnja potrošnja kućanstva iznosi 5709 kWh. Na gubitke u izmjenjivaču otpada 15 kWh, pa ukupni tokovi električne energije prema potrošnji kućanstva iznose 5724 kWh. Investicija u ovaj fotonaponski sustav iznosi 35651,30 kn uz dodatak redovnog godišnjeg održavanja koje iznosi 675 kn. Predviđeni rad sustava je 25 godina, te neto sadašnja vrijednost za taj period iznosi 93108,96 kn. Povrat investicije je za sedam godina.

Treći slučaj: Fotonaponski sustav čija godišnja proizvodnja odgovara potrošnji kućanstva s sustavom pohrane od 1 baterije energije 14,4 kWh. Godišnji tok energije je slijedeći: Fotonaponski sustav proizveo je 5583 kWh električne energije. Za potrebe potrošnje je predano 1933 kWh, dok je u mrežu predano 806 kWh. U pohranu je otišlo 2844 kWh. Preostali dio električne energije, potreban za zadovoljenje potrošnje preuzet je iz mreže i iznosi 1520, dok je također iz pohrane preuzeto 2271 kWh. Pohrana je iz mreže preuzela 44 kWh. Ukupna godišnja potrošnja kućanstva iznosi 5709 kWh. Na gubitke u izmjenjivaču otpada 15 kWh, pa ukupni tokovi električne energije prema potrošnji kućanstva iznose 5724 kWh. Investicija u ovaj fotonaponski sustav iznosi 64901,30 kn uz dodatak redovnog godišnjeg održavanja koje iznosi 675 kn. Predviđeni rad sustava je 25 godina, te neto sadašnja vrijednost za taj period iznosi 53161,92 kn. Povrat investicije je za četrnaest godina.

Četvrti slučaj: Fotonaponski sustav čija godišnja proizvodnja odgovara potrošnji kućanstva s sustavom pohrane od 2 baterije energije 28,8 kWh. Godišnji tok energije je slijedeći: Fotonaponski sustav proizveo je 5583 kWh električne energije. Za potrebe potrošnje je predano 1881 kWh, dok je u mrežu predano 586 kWh. U pohranu je predano 3116 kWh. Preostali dio električne energije, potreban za zadovoljenje potrošnje preuzet je iz mreže i iznosi 1434, dok je također iz pohrane preuzeto 2409 kWh. Pohrana je iz mreže preuzela 132 kWh. Ukupna godišnja potrošnja kućanstva iznosi 5709 kWh. Na gubitke u izmjenjivaču otpada 15 kWh, pa ukupni tokovi električne energije prema potrošnji kućanstva iznose 5724 kWh. Investicija u ovaj fotonaponski sustav iznosi kn uz dodatak redovnog godišnjeg održavanja koje iznosi 675 kn. Predviđeni rad sustava je 25 godina, te neto sadašnja vrijednost za taj period iznosi 19772,73 kn. Povrat investicije je za dvadeset i jednu godinu.

Analiziravši ova četiri moguća slučaja može se donijeti slijedeći zaključak: U ovom trenutku pokazatelji su na strani sustava koji je instaliran prema potrošnji kućanstva, a to je sustav snage 4,5 kW za potrošnju kućanstva 5709 kWh i vršne snage 3,9 kW. Proizvodnja iz fotonaponskog sustava zadovoljava potrošnju, a višak predaje u mrežu ili ako nema dovoljnu proizvodnju ostatak energije uzima iz mreže. Fotonaponski sustav instaliran na maksimalno dostupnoj površini krova (18 kW), također se može smatrati prihvatljivim iako je početna investicija skoro pet puta skuplja u odnosu na onu prema skaliranoj potrošnji. No, otplata investicije je samo dvije godine dulja. Analizirajući sustave s pohranom dolazimo do činjenice da je u sadašnjim uvjetima još uvijek preskupa. Može se ipak naslutiti kako će tehnološki razvoj dati ovom sustavu jak vjetar u leđa za buduću primjenu.

## LITERATURA

- [1] D. Šljivac, D. Topić „Obnovljivi izvori električne energije“ Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, fakultet elektrotehnike , računarstava i informacijskih tehnologija Osijek 2018. godina.
- [2] Predavanja OIelen\_2017\_2018\_3poglavlje.pdf prof.dr.sc. D. Šljivac 2018/2019.
- [3] Ljubomir Majdančić „Fotonaponski sustavi“ tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu 2009.godine
- [4] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji NN 100/18 i NN 111/18
- [5] HEP-ODS <http://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/prikljucenje-kucanstva-s-vlastitom-proizvodnjom/185>
- [6] SOLVIS d.o.o. [https://solvis.hr/wp-content/uploads/2019/04/LQSOLVIS-DS-HR-SV60\\_E\\_5BB-1640x992x40-290-310-20190125-1.pdf](https://solvis.hr/wp-content/uploads/2019/04/LQSOLVIS-DS-HR-SV60_E_5BB-1640x992x40-290-310-20190125-1.pdf)

## SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je kroz programski paket PV SOL premium projektirati fotonaponski sustav za kućanstvo i provesti analizu isplativosti za četiri karakteristična slučaja. Prvi promatrani slučaj bio je da se na dostupnu krovnu površinu instalira sustav maksimalne snage. Takav sustav za promatrane objekte iznosi 18 kW. U drugom slučaju podloga za projektiranje fotonaponskog sustava bila je mjerenje potrošnje električne energije. Ovisno o potrošnji električne energije skaliran je fotonaponski sustav. Snaga skaliranog sustava iznosi 4,5 kW. Za potrebe ovog rada analiziralo se i kako pohrana utječe na investiciju i isplativost sustava. Tu su se promatrala dva sustava pohrane jedan snage 14,4 kWh i jedan dvostruko veći 28,8 kWh. Zaključno se može reći da su sustavi za pohranu u ovom trenutku skupi, dok je analiza pokazala kako najbrži rok povrata investicije ima skalirani sustav prema potrošnji od 4,5 kW. Investicija iznosi cca 35000 kn, a njen povrat je za sedam godina.

**Ključne riječi:** fotonaponski sustav, električna energija, analiza isplativosti, pohrana, investicija, mjerenje potrošnje.

## ABSTRACT

The target of this paper was to design a photovoltaic system for the household and to conduct cost-benefit analysis for four distinct cases through the PV SOL program package. The first observed case was to install the maximum power system on the available roof surface. Nominal power of such system is 18 kW. In the second case, base for photovoltaic system design was measurements of household electricity consumption. Nominal power of such system is scaled according to the electricity consumption. Nominal power of such photovoltaic system is 4.5 kW. Furthermore, it is analyzed how energy storage influences the investment and cost effectiveness of the system. Two different systems were analyzed, first with one battery system of 14.4 kWh second with twice as big energy storage capacity of 28.8 kWh. To conclude, storage systems are currently unprofitable, while the analysis has shown that the fastest return time of investment is achieved for the system of 4.5 kW. The investment amounts to approximately 35,000 kn, while return of investment is seven years.

Key words: photovoltaic system, electrical energy, cost-benefit analysis, storage, investment, electricity consumption measurement.

## ŽIVOTOPIS

Željko Jeršek rođen je 19. kolovoza 1977 godine u Osijeku. Završio je osnovnu školu „OŠ Josipovac“ u Josipovcu. Nakon toga upisuje i završava Prvu tehničku školu u Osijeku, smjer elektrotehnika. U rujnu 2009. godine završava stručni studij elektrotehnike s temom završnog rada (tada diplomski rad) Projekt uzemljenja TS 10/0,4 kV na betonskom stupu korištenjem CYMGRD alata. U međuvremenu radi kao zaposlenik Osječke pivovare gdje je 7. lipnja 2016. položio stručni ispit za strojara kompresorske stanice. Tijekom školovanja stekao je znanje njemačkog jezika na višoj razini znanja u govoru i pismu. Pohađa tečaj engleskog jezika. Trenutačno radi na Zavodu za elektroenergetiku na radnom mjestu laborant. U listopadu 2017. godine upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika, modul Održiva elektroenergetika. U travnju 2018. godine položio je državni ispit za stručnjaka zaštite na radu II stupnja. Ima iskustvo rada u programskim paketima Relux, Thorium A+, DIgSilent, Easy Power i PV Sol.



## PRILOZI

### Prilog P.3.1. Prikaz dijela rezultata mjerenja potrošnje

Vrijeme	Maksimalna ukupna snaga	Usrednjena 10 minutna vrijednost snage	Ukupni $\cos\varphi$	Ukupni PF	Minimalna ukupna snaga
17.3.19. 0:00	400,275	251,077	0,97827	0,552997	128,053
17.3.19. 0:10	262,378	172,694	0,995136	0,52431	127,793
17.3.19. 0:20	267,351	172,336	0,995027	0,525254	127,593
17.3.19. 0:30	1433,16	205,943	0,996646	0,490342	127,444
17.3.19. 0:40	1769,35	342,904	0,874706	0,608688	200,41
17.3.19. 0:50	458,55	371,165	0,830979	0,668926	324,113
17.3.19. 1:00	385,756	192,529	0,997819	0,534095	125,968
17.3.19. 1:10	259,299	168,998	0,995451	0,52255	123,84
17.3.19. 1:20	256,927	165,564	0,995659	0,517574	119,65
17.3.19. 1:30	255,122	163,59	0,995527	0,515897	118,647
17.3.19. 1:40	1871,14	209,089	0,982554	0,480218	117,034
17.3.19. 1:50	481,937	394,98	0,799007	0,631027	344,872
17.3.19. 2:00	405,839	320,619	0,831839	0,538423	203,115
17.3.19. 2:10	337,482	242,623	0,913254	0,431703	196,972
17.3.19. 2:20	1466,36	292,257	0,871703	0,392848	194,344
17.3.19. 2:30	396,912	306,785	0,853482	0,386884	261,94
17.3.19. 2:40	390,938	292,163	0,857641	0,387069	253,647
17.3.19. 2:50	1762,75	300,11	0,864525	0,552718	190,335
17.3.19. 3:00	381,044	280,944	0,869932	0,585919	175,54
17.3.19. 3:10	247,169	156,746	0,996052	0,506087	111,507
17.3.19. 3:20	248,713	156,566	0,995805	0,503846	111,181
17.3.19. 3:30	246,556	156,148	0,995865	0,502137	110,685
17.3.19. 3:40	246,688	155,775	0,995596	0,499714	110,672
17.3.19. 3:50	1790,41	227,213	0,948153	0,509038	110,775
17.3.19. 4:00	382,217	290,018	0,862409	0,588725	240,379