

Modeliranje fotonaponskog sustava prema potrošnji kućanstva

Mikulić, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:200:001448>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

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



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

Stručni studij

**MODELIRANJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA PREMA
POTROŠNJI KUĆANSTVA**

Završni rad

Mario Mikulić

Osijek, 2020.

1.UVOD	1
2.SUNCE	2
2.1 Uloga Sunca na Zemlji	2
3. FOTONAPONSKI SUSTAV	3
3.1 Fotonaponska pretvorba	3
3.2 Fotonaponska ćelija.....	3
3.3 Vrste fotonaponskih ćelija i njihova učinkovitost.....	4
3.4 Fotonaponski moduli	5
3.5 Zasjenjenje fotonaponske ćelije	6
3.6 Vrste fotonaponskih sustava.....	7
4. MODELIRANJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA.....	9
4.1 Programski paket PV- SOL Premium	9
4.2 Osnovni koraci potrebni za modeliranje fotonaponskog sustava.....	11
4.3 Projektiranje obiteljske kuće – Mikulić	12
4.4 Izbor izmjenjivača	17
4.5 Plan i odabir kabela	18
4.6 Energetska analiza za slučaj A	19
4.7 Modeliranje solarnog generatora i energetska analiza za slučaj B.....	23
4.8 Modeliranje solarnog generatora i energetska analiza za slučaj C.....	26
5. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA:	31
SAŽETAK	32
ABSTRACT.....	32
ŽIVOTOPIS	33

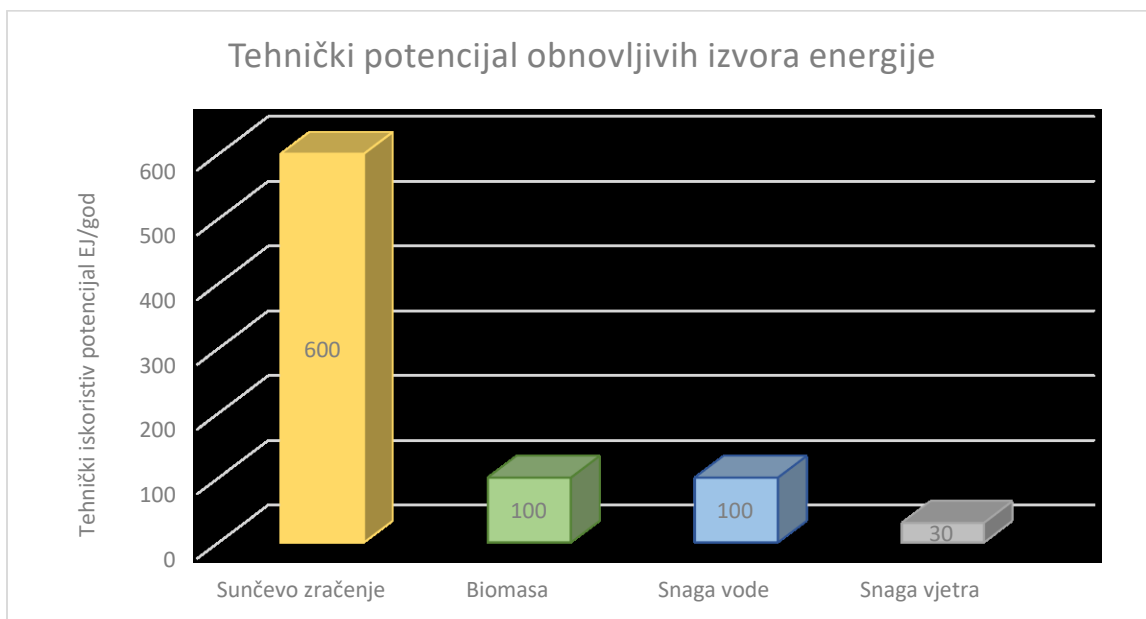
1.UVOD

U današnje vrijeme obnovljivi izvori energije postaju sve popularniji u proizvodnji električne energije. Sunce kao obnovljivi izvor energije, te pretvorba njegove energije u električnu, bit će jedan od temeljnih pojmova ovoga rada. Kako se vrši pretvorba sunčeve energije, od kojih uređaja se sastoji solarni generator, te kako se modelira fotonaponski sustav za potrošnju kućanstva, samo su neka od pitanja koja će biti odgovorena u ovome radu. Biti će prikazan detaljan postupak modeliranja solarnog generatora u programskom paketu PV-SOL Premium. To je software koji omogućuje modeliranje solarnih generatora, te pruža detaljnu financijsku i energetska analizu. Fokus ovog rada biti će na energetska analizi, te praćenju toka električne energije. S obzirom da se radi o modeliranju solarnog generatora za potrošnju kućanstva Mikulić, koje je priključeno na elektroenergetska mrežu, promatrat će se koliko električne energije će proizvesti solarni generator, te koliko energije uzima i predaje u elektroenergetska mrežu. Analiza će biti prikazana po slučajevima, te će se na posljetku odabrati odgovarajući slučaj sa detaljnom analizom toka energije za obiteljsko kućanstvo Mikulić.

2.SUNCE

2.1 Uloga Sunca na Zemlji

Kao što je poznato, Sunce je nebesko tijelo, zvijezda najbliža Zemlji, koja se nalazi u središtu Sunčeva sustava, a oko njega kruži osam planeta. Ono je vrlo bitno za Zemlju jer joj šalje ogromnu količinu energije. Također, Sunce igra veliku ulogu u životu svakog bića, jer je bez njega nemoguće opstati na Zemlji. Jedan od primjera koji dokazuju kako je Sunce vrlo važno u životu svakog bića i opstanku prirode same, je proces pod nazivom fotosinteza. U tom procesu, ključnu ulogu igra Sunce. Dakle, pomoću Sunčeve energije, biljke proizvode kisik, koji je neophodan za život svakog pojedinca. Njezina količina izuzetno je velika, u tolikoj mjeri da je nekoliko puta veća od svih ostalih, Zemljinih obnovljivih izvora energije. Drugim riječima, sva iskoristiva energija na Zemlji potječe upravo od prethodno spomenutog Sunca. Nadalje, Sunce je također neophodno za hidrološki ciklus, jer konstantno isparava vodu u atmosferu. Kao posljedica toga, nastaje kiša ili snijeg. Sa sigurnošću se može reći kako je Sunce, s obzirom da igra veliku i ključnu ulogu u svemu što se nalazi na Zemlji, jedno od glavnih čimbenika za opstanak.



Slika 1. Prikaz tehničkog potencijala obnovljivih izvora energije

3. FOTONAPONSKI SUSTAV

3.1 Fotonaponska pretvorba

Fotonaponska pretvorba temelji se na fotonaponskom učinku, odnosno na direktnoj pretvorbi svjetlosne energije koja dolazi od sunca u električnu energiju. Sunčeva svjetlost sastoji se od čestica koje nazivamo fotoni. Davne 1905. godine, Albert Einstein je pojam fotona objasnio kao elementarne čestice koje nemaju masu mirovanja, a u vakuumu se gibaju brzinom svjetlosti. Energija fotona ovisi o njegovoj valnoj duljini, odnosno o frekvenciji i definira se kao umnožak Planckove konstante i frekvencije fotona.

$$E = h \cdot \nu$$

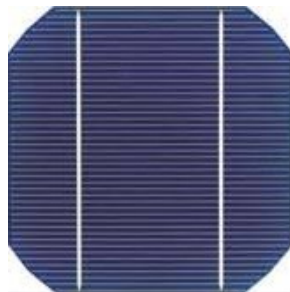
Gdje je: E – Energija fotona

h – Planckova konstanta, iznosi $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Js]

ν – Frekvencija fotona [1]

3.2 Fotonaponska ćelija

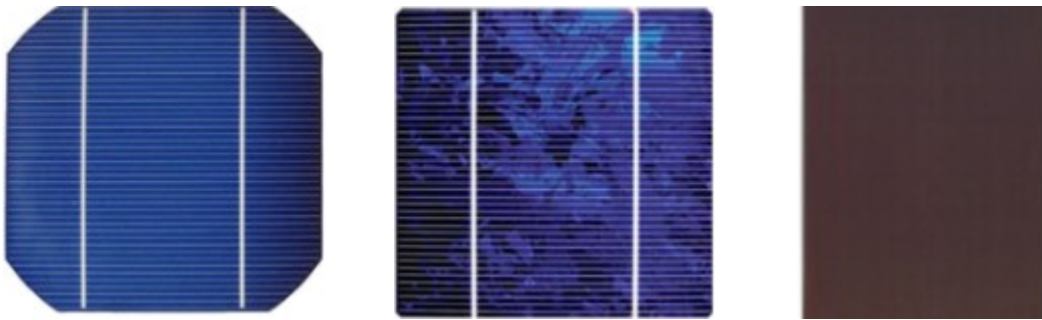
Osnovni dio od kojeg se sastoji fotonaponski sustav, je fotonaponska ćelija. Fotonaponska ćelija je, u principu, jednostavan poluvodički uređaj koji svjetlost pretvara u električnu energiju. [2] Fotonaponske ćelije većinom se izrađuju od silicija, no ponekada i od drugih polimera, koji također dolaze u obliku monokristala, polikristala ili amorfnih tvari.



Slika 2. Prikaz fotonaponske ćelije [2]

3.3 Vrste fotonaponskih ćelija i njihova učinkovitost

Općenito govoreći, kristali su čvrste tvari, čiji su atomi posloženi na način da tvore kristalnu rešetku. Monokristalne ćelije imaju takav naziv jer su načinjene iz samo jednog kristala. S druge strane, ukoliko se u procesu rasta kristala većih dimenzija formira više kristala, te iz takva kristalnog bloka izreže pločica za izradu solarne ćelije, onda se takve ćelije nazivaju polikristalnim.[3] Nadalje, amorfne tvari, za razliku od monokristala i polikristala, ne posjeduju pravilan raspored atoma. U današnjici zbog niže cijene, fleksibilnosti i manje težine sve popularnije postaju tehnologije tankog filma. Glavni cilj svih ovih tehnologija je postići što veću učinkovitost fotonaponske ćelije.



Slika 3. Monokristalna, polikristalna fotonaponska ćelija i tanki film [3]

Učinkovitost fotonaponskih ćelija definirana je kao omjer maksimalne električne snage fotonaponske ćelije, i umnoška sunčevog zračenja i površine ćelije [1] :

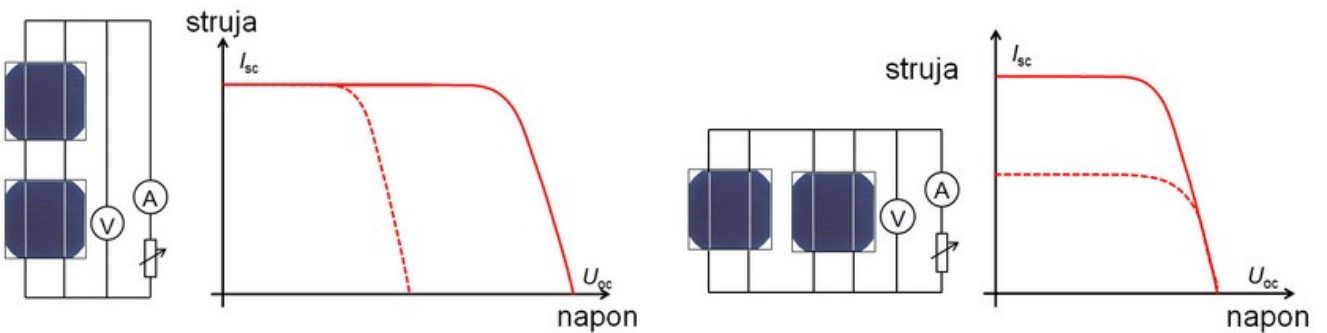
$$\eta = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A}$$

Gdje je:

η – učinkovitost fotonaponske ćelije	[%]
P_{MPP} – točka maksimalne snage	[W]
G – snaga sunčevog zračenja	[W/m ²]
A - površina fotonaponske ćelije	[m ²]

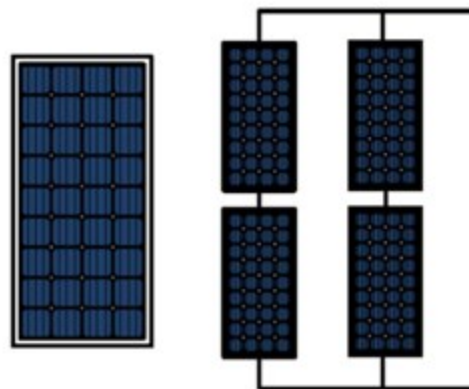
3.4 Fotonaponski moduli

Zbog vrlo malog napona, koju proizvodi jedna fotonaponska ćelija (0,6V), one se u većini slučajeva serijski spajaju u fotonaponske module. Fotonaponski modul se sastoji od serijski spojenih fotonaponskih ćelija. S obzirom da napon jedne ćelije iznosi 0,6 V, fotonaponski modul od npr. 60 ćelija imati će izlazni napon od 36 V. Serijskim spojem raste napon niza ćelija uz zadržavanje struje, dok paralelnim spojem niza ćelija struja se zbraja, a napon ćelija ostaje isti.



Slika 4. Serijski i paralelni spoj fotonaponskih ćelija u fotonaponske module [4]

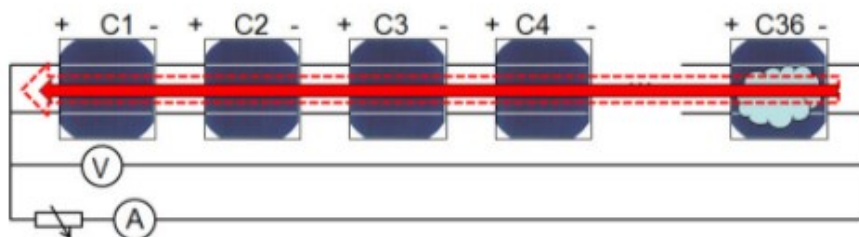
Više spojenih fotonaponskih modula čini fotonaponski sustav.



Slika 5. Prikaz fotonaponskog modula i fotonaponskog niza [5]

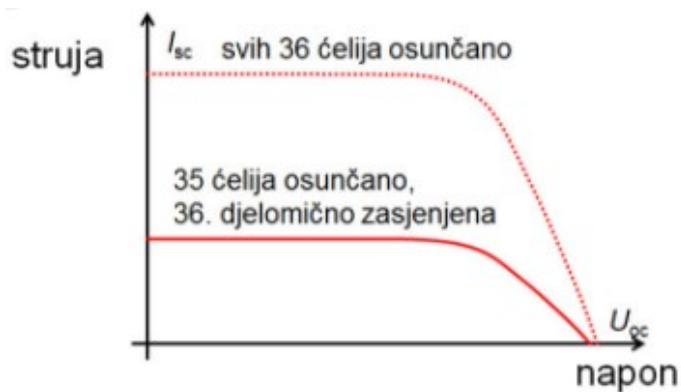
3.5 Zasjenjenje fotonaponske ćelije

Pri korištenju fotonaponskog sustava, često dolazi do pojave zasjenjenja fotonaponske ćelije na površini modula. Do tog problema najčešće dolazi tijekom zime zbog učestalog padanja snijega, ili jeseni zbog opadanja lišća. Zasjenjenje fotonaponske ćelije nedostatak je zbog kojeg se ograničava struja cijelog fotonaponskog modula, ako je više modula spojeno u niz, tada se također ograničava struja cijelog niza fotonaponskih modula. Ograničenje struje znači i ograničenje snage. Razgleda li se to u vremenu to znači da se ujedno ograničava i proizvedena energija.



Slika 6. Prikaz zasjenjenja 36. fotonaponske ćelije na fotonaponskom modulu[4]

Crvena isprekidana strelica prikazuje struju koja bi protjecala, da nije došlo do zasjenjenja ćelije, dok ispunjena crvena strelica prikazuje struju koju propušta zasjenjena fotonaponska ćelija.



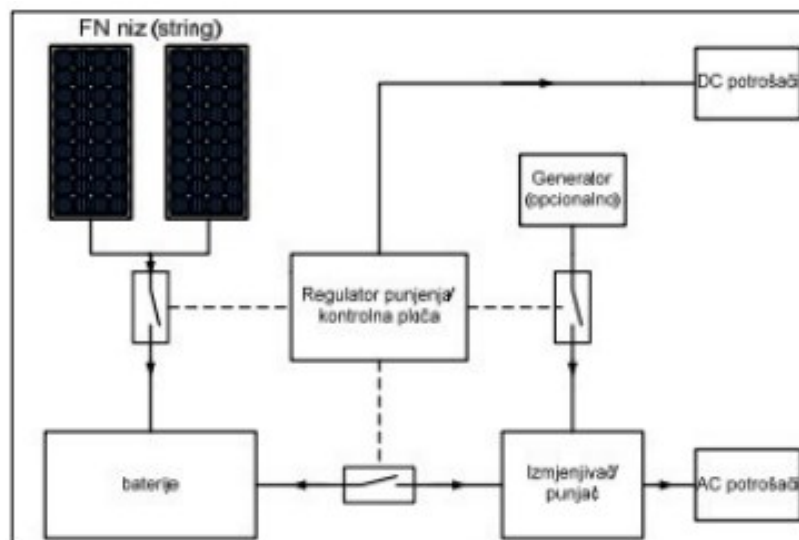
Slika 7. U-I karakteristika nezasjenjenog fotonaponskog modula i modula sa zasjenjenom 36. fotonaponskom ćelijom[4]

Ukoliko dođe do potpunog zasjenjenja fotonaponske ćelije, tada ćelija više ne proizvodi fotoelektričnu struju i postaje obična dioda.

3.6 Vrste fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti u dvije skupine. Prvoj skupini pripadaju fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. *off grid*), a naziv im je 'samostalni ili autonomni sustavi', dok u drugu skupinu pripadaju 'umreženi fotonaponski sustavi' koji su priključeni na elektroenergetsku mrežu (engl. *on-grid*).

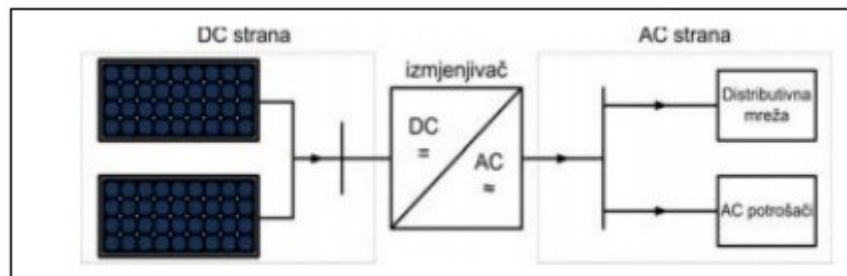
Samostalni ili autonomni fotonaponski sustavi služe za samostalno zadovoljavanje vlastite potrošnje el. energije, bez priključenja na elektroenergetsku mrežu. Poznato je kako proizvedena električna energija u svakom trenutku mora biti jednaka njezinoj potrošnji, no kako to kod autonomnih sustava nije slučaj, zbog toga se koristi spremnik električne energije (akumulator). Akumulator se koristi jer tijekom sunčanih dana proizvodnja električne energije ponekad bude veća od potrošnje, stoga se električna energija pohranjuje u akumulator. Naime, tijekom godine također dolaze oblačni i tmurniji dani, snijeg, te je samim time proizvodnja el. energije manja, a potrošnja veća. U tom slučaju uzima se el. energija iz akumulatora.



Slika 8. Autonomni fotonaponski sustav[5]

Mrežni fotonaponski sustavi spojeni su na elektroenergetsku mrežu. Također, koriste se za proizvodnju električne energije kako bi pokrili vlastitu potrošnje objekta na kojem se 'solarni generator' nalazi. S obzirom da kod autonomnih ili samostalnih sustava za skladištenje el. energije se koristi akumulator, kod mrežnih to nije slučaj. Naime, kada je proizvodnja el. energije kod mrežnih fotonaponskih sustava veća od potrošnje, te se zadovolje vlastite potrebe, ostatak el.

energije se predaje u elektroenergetsku mrežu. Isto tako kada proizvodnja el. energije, npr. tijekom zime ili tmurnih dana ne zadovoljava potrebe potrošnje, uzima se energija iz mreže. Mrežni sustavi proizvode istosmjernu struju, te se zbog toga koriste izmjenjivači, koji pretvaraju istosmjernu struju u izmjeničnu kako bi je mogli predati u mrežu, te koristiti u kućanstvu.



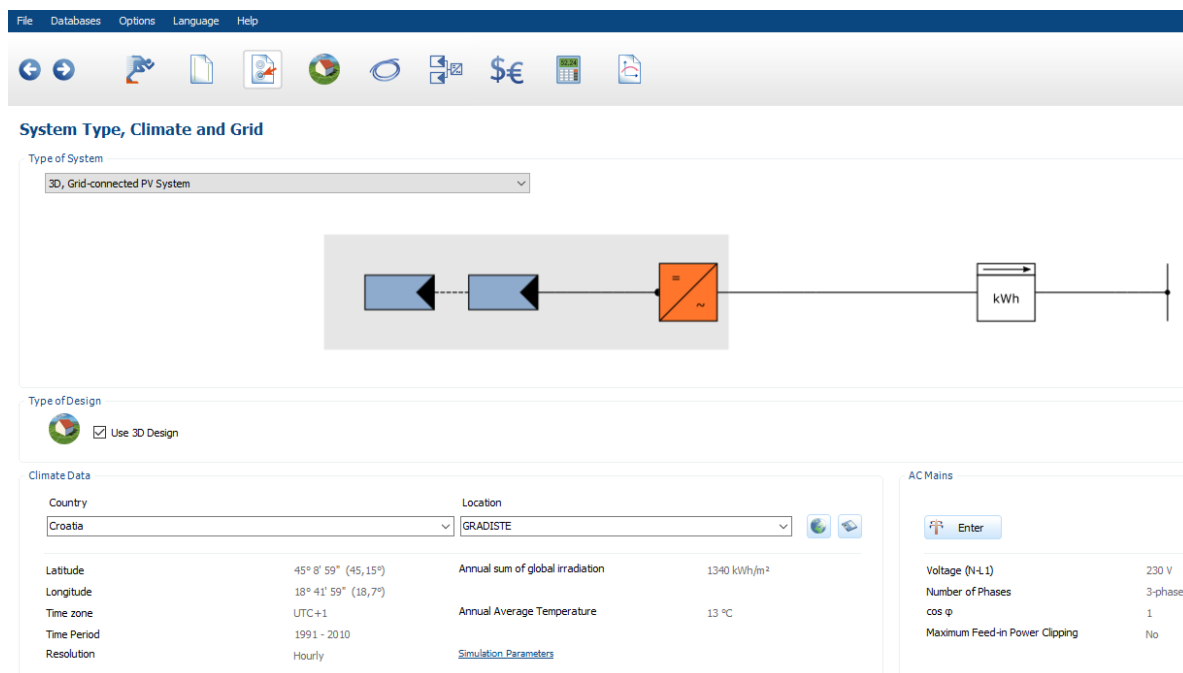
Slika 9. Mrežni fotonaponski sustav[8]

4. MODELIRANJE FOTONAPONSKOG SUSTAVA

4.1 Programski paket PV- SOL Premium

U ovome radu fokus će biti na analiziranju potrebne, proizvedene i potrošene električne energije, te one koja se predaje u elektroenergetsku mrežu, u razdoblju od jedne godine. Spomenuta analiza biti će prikazana po mjesecima tijekom godine. Za modeliranje fotonaponskog sustava prema potrošnji kućanstva, koristiti će se programski paket pod nazivom PV-SOL Premium.

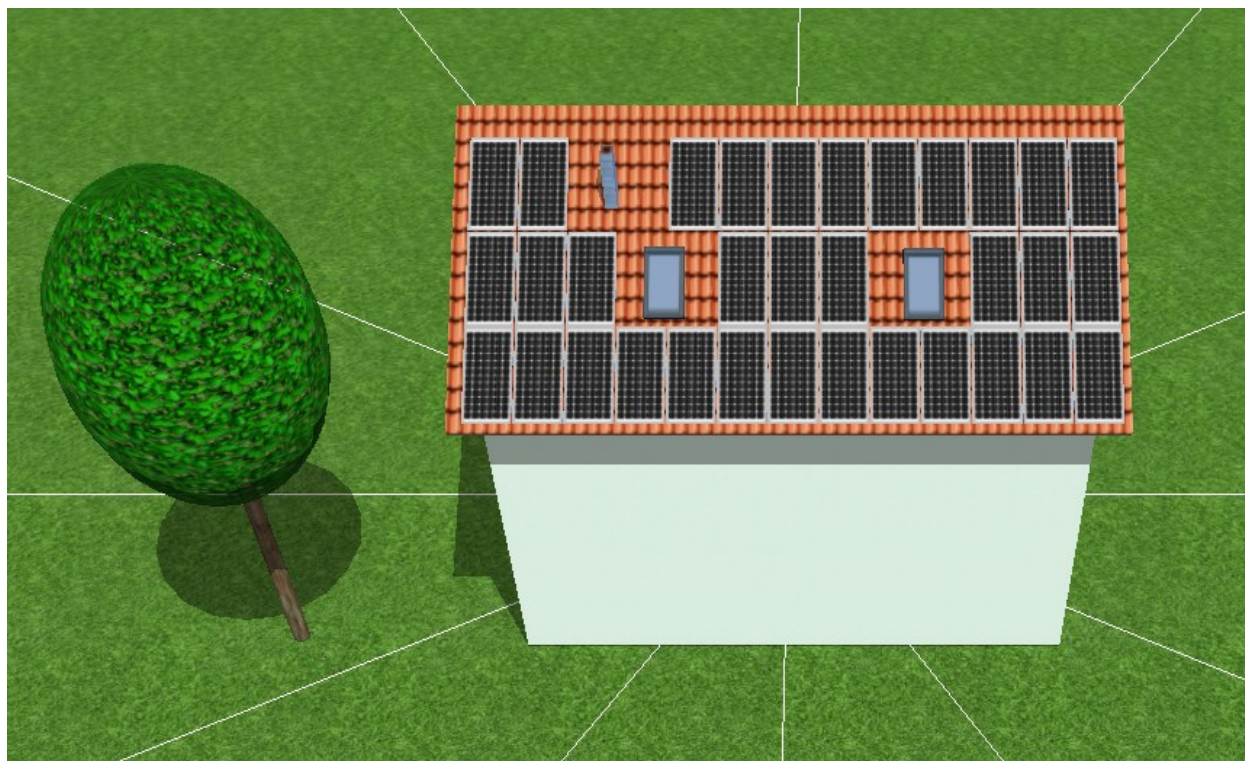
PV-SOL je dinamički simulacijski program za fotonaponske sustave, koji se može koristiti za modeliranje i optimizaciju fotonaponskih sustava sa mogućnostima pohrane podataka. PV-SOL pruža mogućnost dizajniranja i simuliranja svih vrsta modernih FN sustava. Od malog krovnog sustava s nekoliko modula, sustava srednje veličine na komercijalnim krovovima, pa sve do velikih solarnih elektrana. U 3D-u, mogu se vizualizirati sve uobičajene vrste sustava. Vrlo jednostavno, ručno ili putem interaktivne karte odabiru se klimatski podatci za određeno područje na kojem će se modelirati fotonaponski sustav.[8]



Slika 10. Izbornik klimatskih podataka i tipa u programskom paketu PV-SOL Premium

Prije nego se započne konfiguracija modula, potrebno je odrediti položaj i izgled krova na kojem će se nalaziti moduli. Naime, s obzirom da paket sadrži interaktivnu kartu, unosom adrese kućanstva ili samo imena grada u kojem se nalazi kućanstvo, može se pronaći točan i potpuni

izgled krova. Samim time daje informaciju, nalazi li se uz kuću na kojoj se vrši modeliranje, u blizini još koje kućanstvo ili stambena zgrada, pa čak i drvo, koje bi moglo utjecati na zasjenjenje krova, te samih modula. Nakon definiranja potpunog izgleda krova, ažurira se pozicioniranje dimnjaka, krovnih prozora i svega što bi moglo utjecati na zasjenjenje modula. Pozicioniranje modula vrši se ručno po izboru ili automatski. Programski paket omogućuje potpunu optimizaciju sustava, praćenje toka energije, simulaciju s baterijskim sustavima, detaljnu analizu isplativosti i druge korisne mogućnosti.










Slika 11. Primjer 3D simulacije FN- sustava u programskom paketu PV-SOL Premium




4.2 Osnovni koraci potrebni za modeliranje fotonaponskog sustava

Modeliranje u programskom paketu PV-SOL premium dovoljno je pojednostavljeno u nekoliko bitnih i osnovnih koraka, kako bi se što lakše došlo do željenog projekta i ostvarile određene analize.



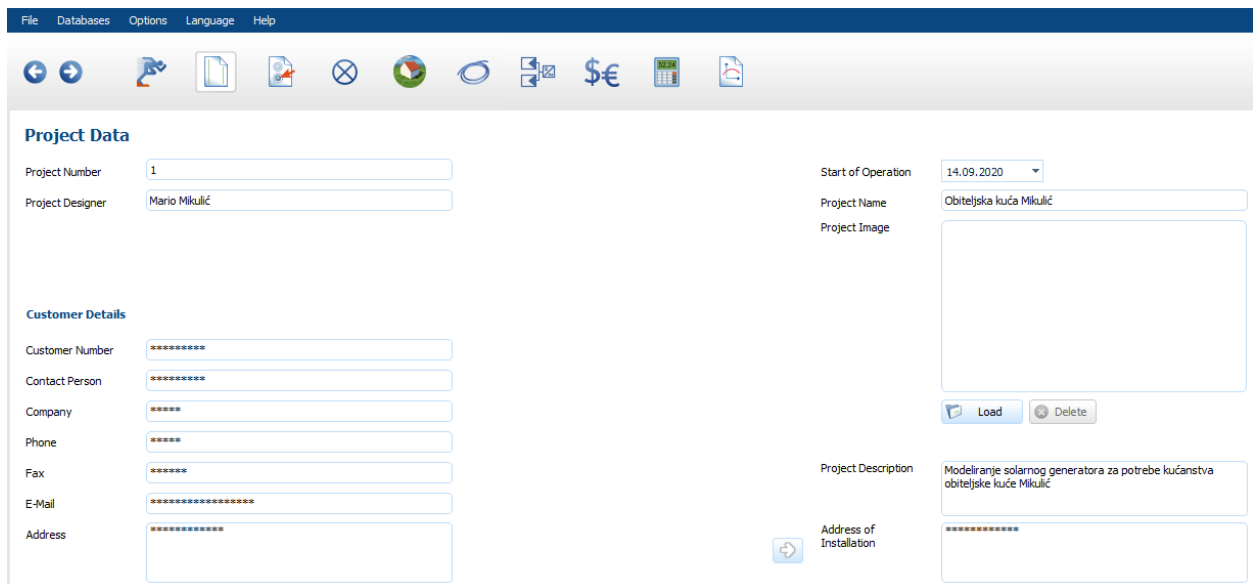
Slika 12. Osnovni koraci u programskom paketu PV-SOL premium

Osnovni koraci :	
	1. Welcome – Uvodna stranica koja govori novosti o programskom paketu, pruža edukacijske videozapise, te osnove kako se koristiti i napredovati u istom.
	2. Project Data – Sučelje na kojem se unose osnovne informacije o samom projektu, kao što su ime projekta, tko ga projektira, datum početka projekta...
	3. System Type, Climate and Grid – Sučelje na kojem se određuje tip solarnog generatora kojeg projektiramo, te klimatski podaci za pojedino područje u kojem se objekt nalazi
	4. Consumption – Sučelje u kojem se definira potrošnja objekta kojeg projektiramo
	5. 3D Design – Glavno sučelje za 3D vizualizaciju objekta i okoline, dizajniranje solarnog generatora, izbor izmjenjivača, odabir plana kabela, te postavljanje samih dimenzija objekta
	6. Cables – Prikazuje shemu cijelog projekta povezanog kabelima, gubitke i presjeke kabela od izvora do potrošača
	7. Plans and parts list – Sučelje koje prikazuje dimezije cijelog projekta kao što su dimenzije modula, krova, razmak između modula, te sve komponente koje smo koristili u samom projektu

	<p>8. Financial Analysis – Sučelje u kojem se unose potrebne informacije za izračune i analize koje slijede u idućem koraku kao što je npr. cijena el. energije, procjena godišnje isplativosti itd.</p>
	<p>9. Results – Simulacija cijelog projekta kroz 365 dana u godini, koja prikazuje za koliko godina će se investicija isplatiti, praćenje isplativosti, proizvodnje i potrošnje po mjesecima u godini, te prikaz svih shema, grafova i dijagrama koji su nam potrebni.</p>
	<p>10. Presentation – Završna prezentacija koja prikazuje sve potrebne informacije o cjelokupnom projektu. Prikazuje sve korake koji su prethodno opisani u jednoj prezentaciji.</p>

4.3 Projektiranje obiteljske kuće – Mikulić

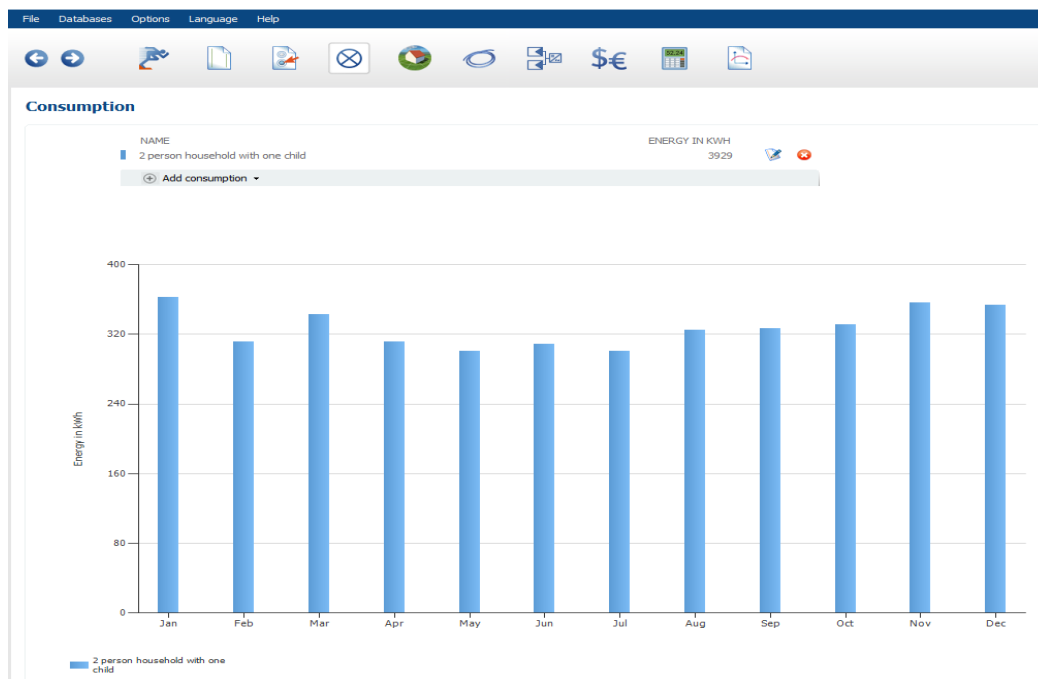
Na samom početku izrade vlastitog projekta, potrebno je unijeti osnovne informacije o projektu, kao što su ime projekta, broj projekta, projektant, itd.



Slika 13. Sučelje Project data

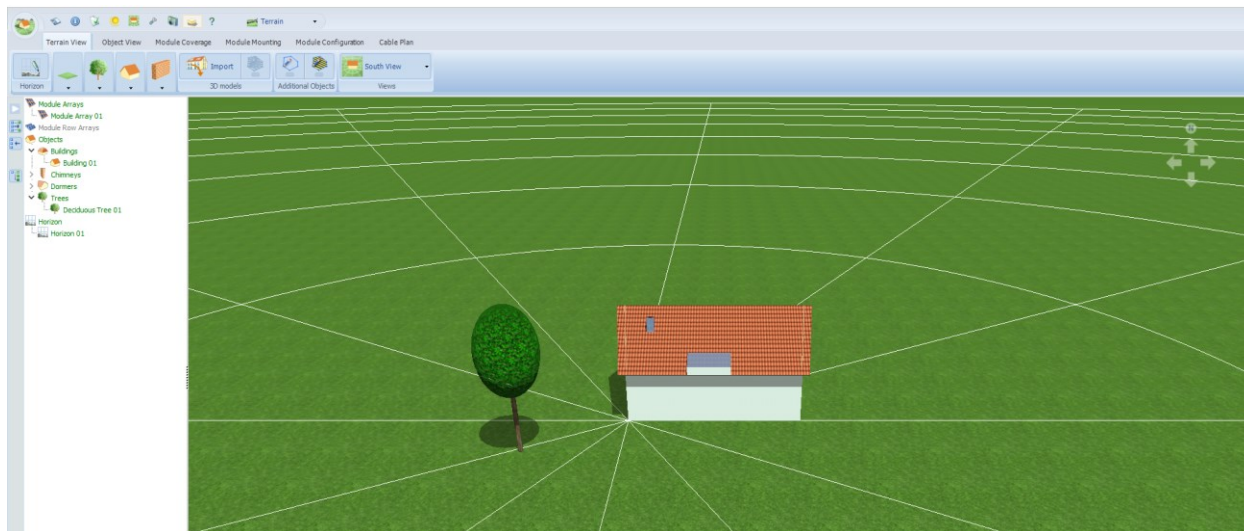
Nakon unesenih potrebnih informacije o samom projektu, odabire se željeni tip solarnog generatora. S obzirom da se radi o kućanstvu koje je spojeno na elektroenergetsku mrežu, odabran je tip 'Grid connected'. Odabrani sustav koristi energiju proizvedenu u solarnom generatoru za vlastite potrebe kućanstva, a višak proizvedene el. energije predaje u mrežu. Također, u obratnom slučaju kada solarni generator ne proizvede dovoljno el. energije da pokrije potrošnju, uzima potrebnu el. energiju iz mreže.

U sljedećem koraku potrebno je definirati potrošnju kućanstva. Zadana obiteljska kuća ima godišnju potrošnju od 4000 kWh. U programskom paketu postoji mogućnost definiranja broja članova kućanstva, te on sam definira prosječnu potrošnju po mjesecima u godini. S obzirom da se zadano kućanstvo sastoji od dvije odrasle osobe i jednog djeteta, prosječna potrošnja je 3929 kWh.



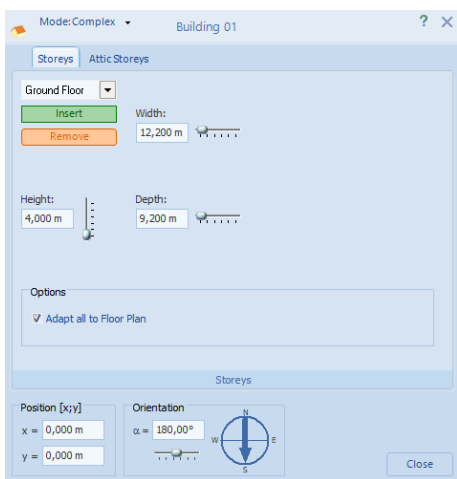
Slika 14. Prikaz godišnje potrošnje kućanstva po mjesecima za dvije odrasle osobe i jedno dijete

Potrošnja kućanstva je sada definirana. Slijedeći korak je 3D modeliranje kućanstva. Na samom početku modeliranja u programskom paketu, potrebno je dodati kuću, te bližnje objekte koji bi mogli utjecati na zasjenjenje istog.

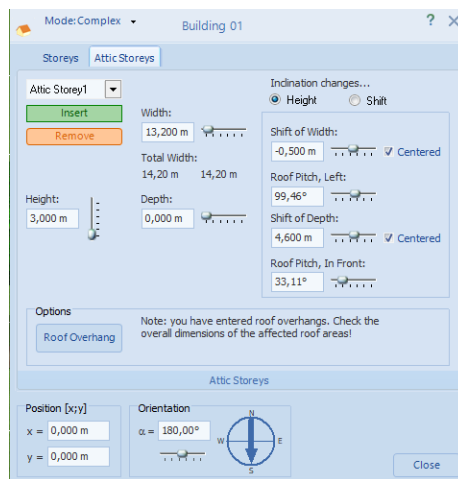


Slika 15. 3D model obiteljske kuće Mikulić

Također, vrlo je važno definirati dimenzije kuće, te samog krovišta i dimnjaka. Položaj krova, odnosno kut nagiba, jedna je od ključnih informacija koju je potrebno unijeti kako bi se preciznije mogla definirati proizvodnja same el. energije.



Slika 16. Definiranje dimenzija kuće

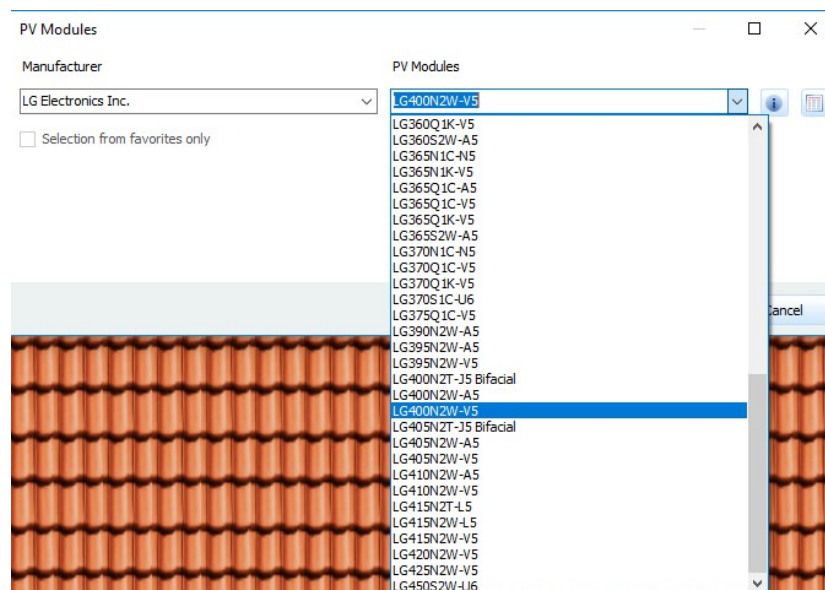


Slika 17. Definiranje dimenzija krovišta

Kut nagiba krova definira se preko Pitagorinog poučka za pravokutni trokut. Spusti se okomica sa vrha krovišta, duljina krova na kojoj se postavljaju moduli predstavlja hipotenuzu, a preostale dvije

stranice predstavljaju katete. Zatim preko kosinusa kuta (nasuprotna stranica kroz hipotenuza) definiramo nagib krova. U slučaju obiteljske kuće Mikulić kut nagiba krova iznosi $33,11^\circ$, a površina južne strane krova iznosi 66 m^2 .

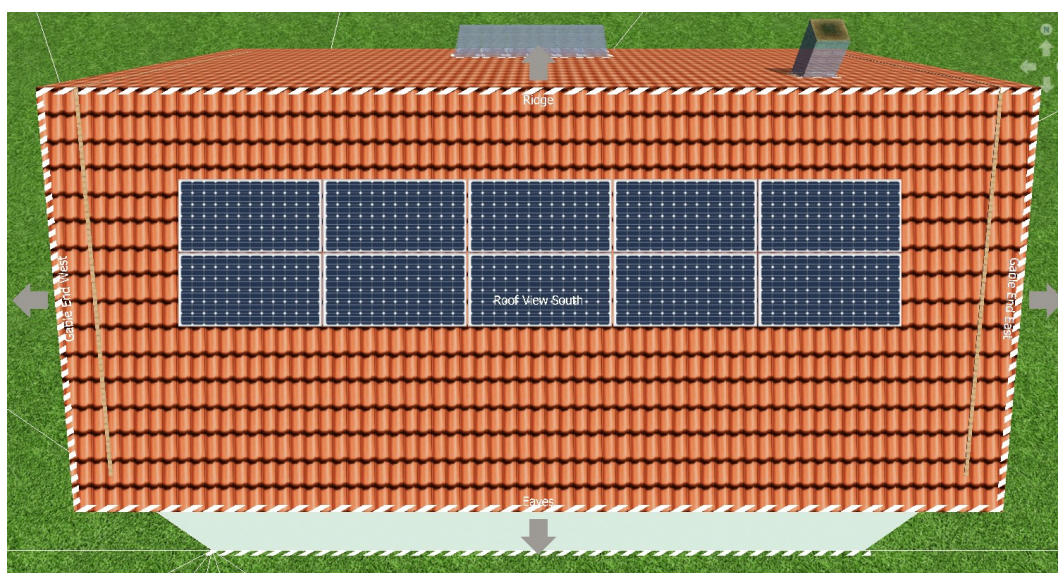
Nakon što je kućanstvo modelirano, unijete dimenzije kuće i krovista, te definiran nagib istog, započinje se sa odabirom i postavljanjem fotonaponskih modula. S obzirom da je potrošnja kućanstva definirana na 4000 kWh, pokušat će se zadovoljiti solarnim generatorom snage 4 kW, prilikom odabira modula potrebno je zadovoljiti taj uvjet. U ovom slučaju odabran je model poznatog proizvođača LG Electronics Inc. pod modelom LG400N2W-V5. Odabran je modul snage 400 W kako bi sa 10 fotonaponskih modula mogli u potpunosti pokriti potrošnju kućanstva.



Slika 18. Odabir fotonaponskog modula

Programski paket pruža mogućnost automatskog popunjavanja krovista sa fotonaponskim modulima, također moduli se mogu postaviti i proizvoljno.

Na primjeru obiteljske kuće Mikulić, fotonaponski moduli postavljeni su na južnoj strani krova. S obzirom da je dimnjak postavljan na sjevernoj strani krova, on neće predstavljati problem zasjenjenja modula tijekom dana, također postavljanje solarnog generatora na južnu stranu krova pruža veću efikasnost nego sjeverna strana. Moduli su postavljeni horizontalno, jer kako tijekom zime dolazi do učestale pojave snijega, te zadržavanja istog na krovovima, postoji mogućnost da prikupljeni snijeg prekrije dio fotonaponskog modula. U slučaju da je modul postavljen vertikalno i snijeg prekrije donji dio modula, cijeli modul prestaje biti od koristi, jer prekriva u svakom stupcu po jedan red ćelija. Ako su moduli postavljeni horizontalno kao u ovom slučaju, ako dođe do nakupljanja snijega na dnu modula, samo jedan red fotonaponskih ćelija prestaje proizvoditi el. energiju.



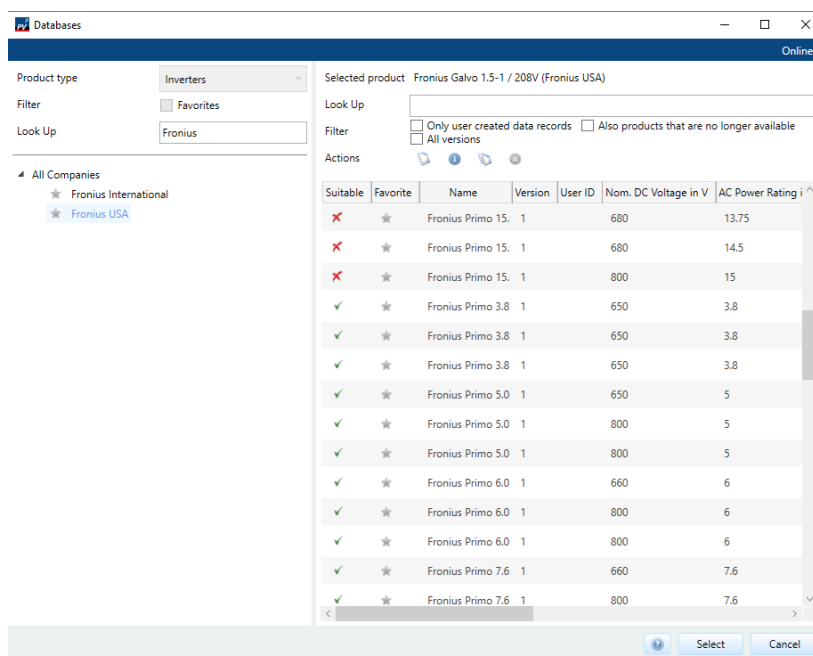
Slika 19. Postavljanje fotonaponskih modula

4.4 Izbor izmjenjivača

Nakon postavljenih fotonaponskih modula na krovno, sledi izbor izmjenjivača. S obzirom da solarni generator proizvodi istosmjernu struju, a većina naših trošila zahtjeva izmjenični izvor napajanja, potrebno je postaviti izmjenjivač, također i zbog predaje viška el. energije u mrežu. Pri izboru izmjenjivača potrebno je paziti na sljedeće tehničke podatke:

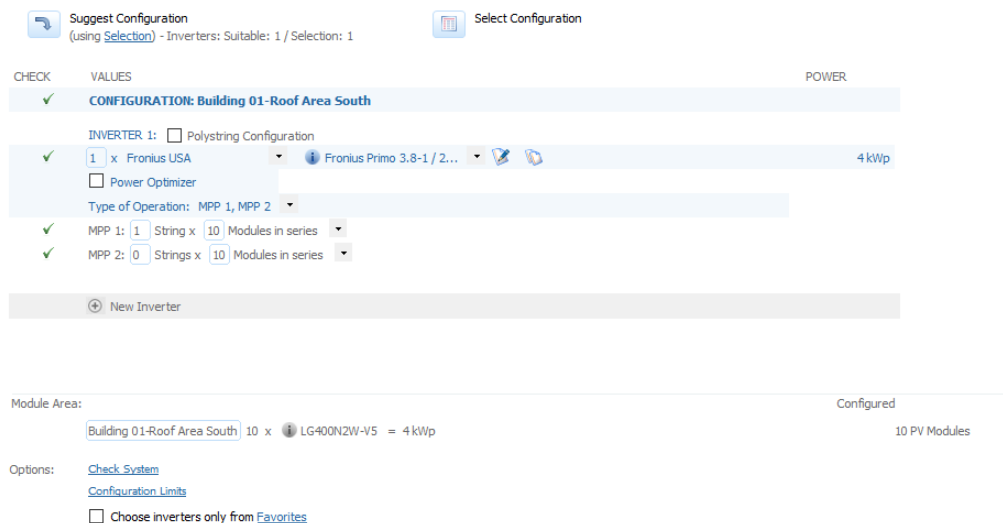
- Ulazna nazivna snaga P_{DC} [W]
- Područje rada na DC strani [V]
- Maksimalni ulazni napon na DC strani [V]
- Maksimalna ulazna struja na DC strani [A]
- Izlazna nazivna snaga P_{AC} [W]
- Nazivni napon na DC strani U_{AC} [V]
- Nazivna frekvencija f [Hz]
- Faktor snage $\cos \varphi$
- Maksimalna učinkovitost η_{max} [%] [4]

Pri izboru izmjenjivača odabran je model Fronius Galvo snage 3,8 kW.



Slika 20. Odabir izmjenjivača

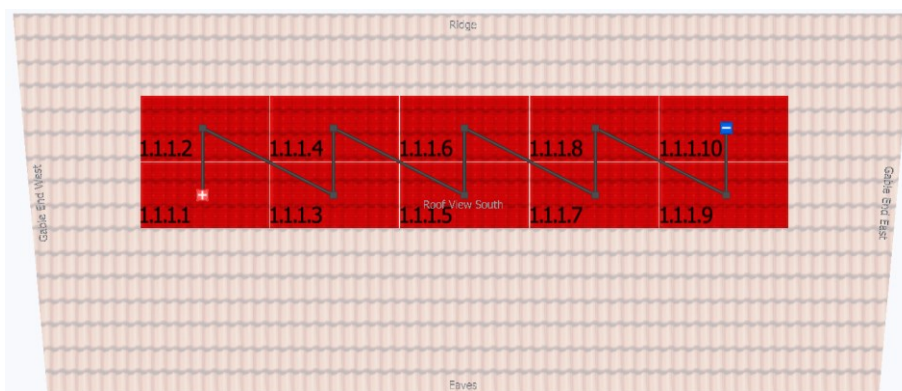
U programskom paketu se ne može pogriješiti pri izboru snage izmjenjivača jer su neprihvatljivi izmjenjivači označeni crvenom oznakom 'X', dok su prihvatljivi izmjenjivači označeni zelenom potvrdom kvačicom.



Slika 21. Prikaz odabira izmjenjivača

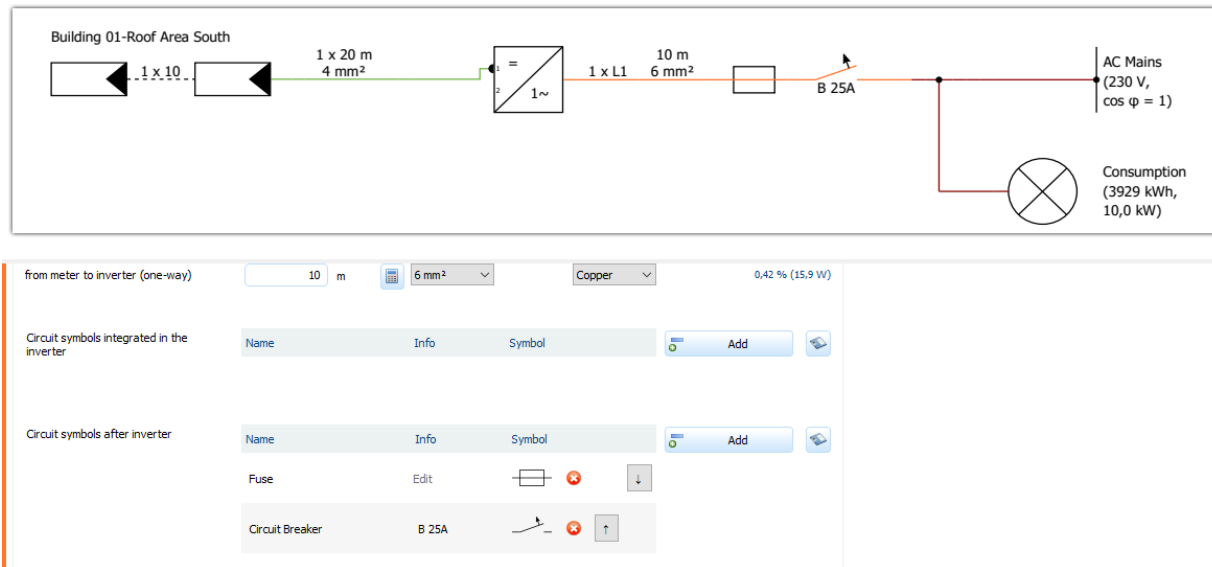
4.5 Plan i odabir kabela

Tek kada su svi uvjeti ispunjeni programski paket prihvaća izmjenjivač i može se krenuti na posljednji korak pri modeliranju kućanstva. Sljedeći korak je međusobno povezivanje fotonaponskih modula pomoću kabela. Također, program ima mogućnost povezati module automatski ili ručno. Pri modeliranju obiteljske kuće Mikulić, plan kabela postavljen je na sljedeći način.



Slika 22. Prikaz položaja kabela

Nakon postavljenih kabela, potrebno je definirati duljine i presjeka kabela. U strujni krug potrebno je dodati osigurač i sklopku, jer ukoliko dođe do kvara na pojedinom dijelu kruga, sklopka se isklopi, te se na siguran način može pristupiti i utvrditi kvar ili prilikom obavljanja potrebnih servisa na pojedinim dijelovima strujnog kruga.



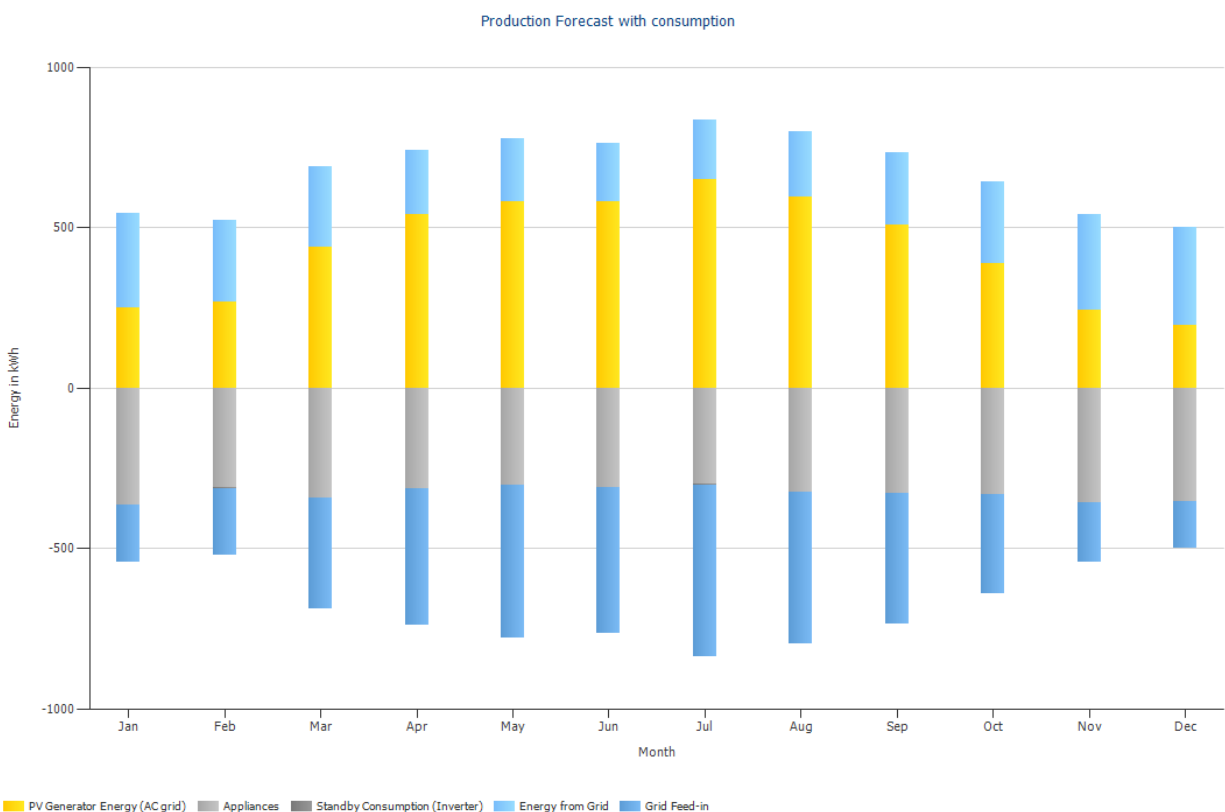
Slika 23. Odabir parametara kabela

Odabir dimenzija i presjeka kabela ujedno je i posljednji korak pri modeliranju fotonaponskog sustava za zadano kućanstvo Mikulić.

4.6 Energetska analiza za slučaj A

Nakon modeliranja samog kućanstva, te samog solarnog generatora, na red dolazi analiza. Programski paket PV SOL premium pruža mogućnost financijske analize u kojoj se unose potrebne tarife cijena za pojedinu zemlju u kojoj se nalazi kućanstvo. Financijska analiza govori kolike su potrebne investicije za izradu modeliranog solarnog generatora, detaljno prikazuje uštedu po mjesecima, te isplativost same investicije kroz niz od nekoliko godina. S obzirom da cijene tarifa variraju svakih nekoliko mjeseci u godini, te je potrebna detaljna procjena stručnjaka koji se time bave, fokus ovog rada bit će na analizi toka energije. Preciznije, analiza toka energije pruža nam detaljan uvid u proizvodnju električne energije iz solarnog generatora, govori koliko proizvedene el. energije ide na potrošnju vlastitog kućanstva, a koliko energije prima i predaje u mrežu. Detaljna analiza toka energije prikazana je prema mjesecima u godini.

Za obiteljsko kućanstvo Mikulić na čijem krovu je modeliran solarni generator od 4 kW (10x400 W), vrijedi sljedeća analiza:



Slika 24. Prikaz proizvedene el. energije solarnog generatora sa potrošnjom

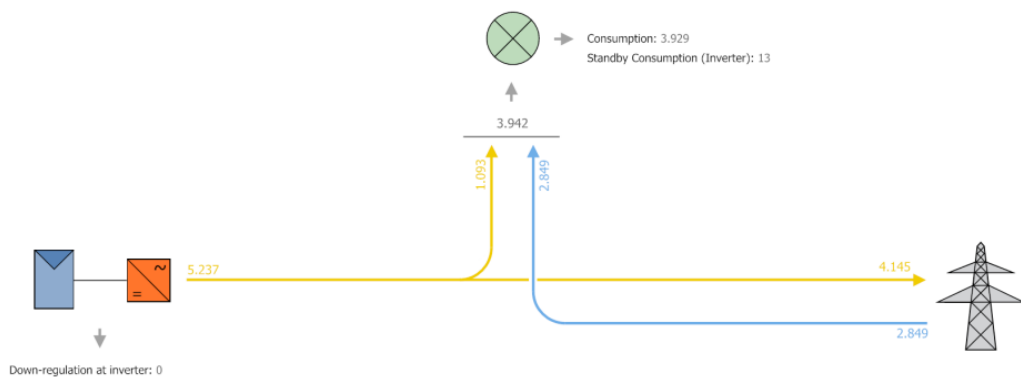
Za početak, iz dijagrama se može uočiti kako se ukupna proizvodnja el. energije solarnog generatora razlikuje po mjesecima tijekom godine. U zimskim mjesecima proizvodnja el. energije je znatno manja, a posljedica toga su tmurni dani, te tijekom zimskih mjeseci dani su kraći, a noći duže što također utječe na samo proizvodnju. U proljetnom dijelu godine dani su duži u odnosu na zimu i dolazi do pojave vedrijih dana u kojima je ozračenost modula znatno veća, te samim time se povećava i proizvodnja električne energije. Vrhunac proizvodnje el. energije može se uočiti u ljetnom dijelu godine, preciznije u Srpnju, kada proizvodnja iznosi 649,01 kWh. U tom dijelu godine dani su najduži a sunčeva ozračenost najveća, dok su noći znatno kraće. Kako dani prolaze, dolaskom jeseni ponovno dolazi do djelomično tmurnijih dana i učestale pojave kiše, te samim time i proizvodnja električne energije postepeno opada.

	Proizvodnja (kWh)	Potrošnja (kWh)	El. energija predana u mrežu (kWh)	El. energija preuzeta iz mreže (kWh)
Siječanj	248,4	362,7	179,4	294,9
Veljača	267,8	311,2	210	254,4
Ožujak	439,2	342,6	345,8	250,2
Travanj	541	311,7	427,3	199
Svibanj	581,6	301	476,6	197,1
Lipanj	581,6	308,7	454,1	182,4
Srpanj	649,1	300,2	533,8	186,1
Kolovoz	596,4	324,5	472,1	201,1
Rujan	506,5	326,5	405,9	226,9
Listopad	389,9	330,8	309,1	251,1
Studeni	241,3	355,9	185,5	301
Prosinac	194,5	353,3	144,9	304,9
UKUPNO	5237	3929,1	4144,5	2849

Tablica 1. Prikaz proizvedene, potrošene, predane i preuzete el. energije u kWh prema mjesecima u godini

Iz priložene tablice i prethodno postavljenog grafa vrlo je jednostavno uočiti kako je potrošnja kućanstva tijekom zimskih mjeseci najveća, a samim time proizvodnja el. energije najmanja. Upravo to je razlog zbog čega je el. energija preuzeta iz mreže u tom periodu godine najveća. Također tijekom zimskih mjeseci energija predana u mrežu je najmanja, dok je tijekom ljetnih mjeseci najveća.

Energy Flow Graph
Project: Obiteljska kuća Mikulić



Slika 25. Godišnji tok el. energije fotonaponskog sustava za kućanstvo Mikulić

Solarni generator obiteljske kuće Mikulić u razdoblju od jedne godine proizveo je 5237 kWh električne energije. Od ukupne el. energije koju je proizveo, u mrežu je predao 4144,5 kWh, dok je na vlastitu potrošnju kućanstva utrošeno 1093 kWh. S obzirom da je u pojedinim mjesecima potrošnja bila veća od proizvodnje solarnog generatora, tijekom godine iz mreže je preuzeto 2849 kWh električne energije. Također, kućanstvo preuzima energiju iz mreže i tijekom mjeseci gdje je proizvedena električna energija solarnog generatora veća od potrošnje kućanstva. Razlog toga je što solarni generator ne proizvodi el. energiju tijekom noći, te kako bi se zadovoljile potrebe potrošnje tijekom noćnih sati, kućanstvo preuzima energiju iz mreže. S obzirom na procijenjenu potrošnju kućanstva od 4000 kWh i definiranog solarnog generatora od 4 kW, da se uočiti kako solarni generator sačinjen od 10 fotonaponskih modula po 400 W, ipak tijekom godine proizvede nešto više el. energije nego što je potrebno. Upravo to govori razlika između predane el. energije u mrežu i el. energije koja je preuzeta iz elektroenergetske mreže.

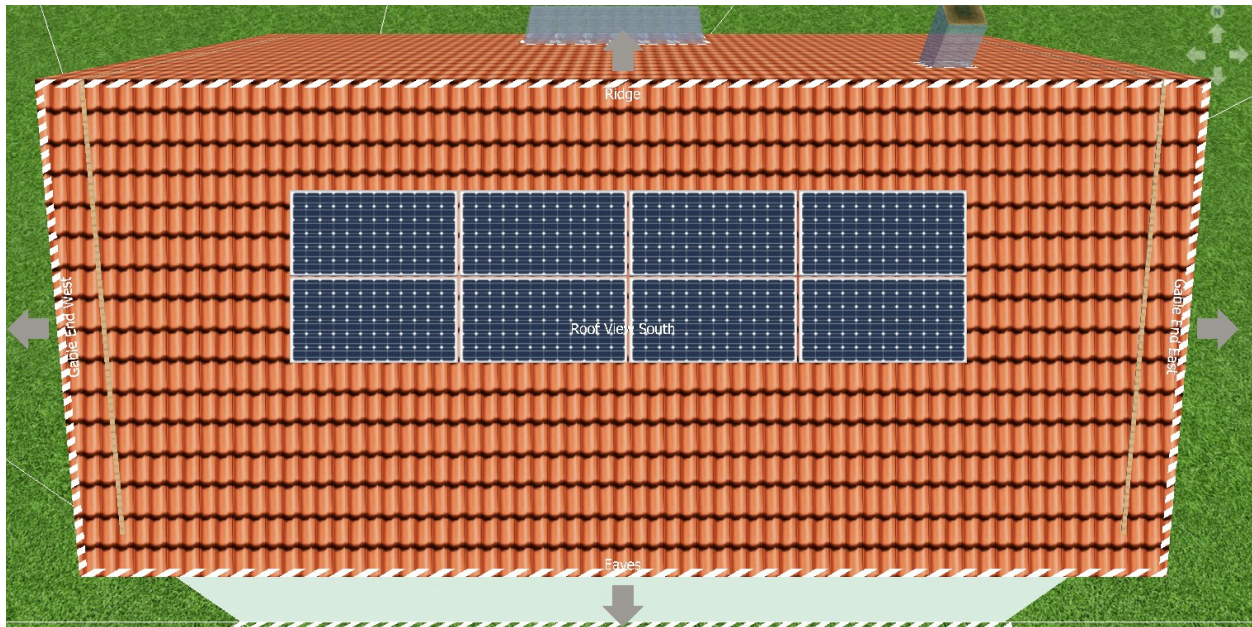
El. energija predana u mrežu > El. energija preuzeta iz mreže

4145 kWh > 2849 kWh

Idealna proizvodnja električne energije bila bi u slučaju kada bi se iznos predane i preuzete el. energije izjednačili. Upravo taj omjer približit će se idealnom (1:1) prilikom smanjenja fotonaponskih modula. Stoga prethodno modeliran solarni generator imati će naziv 'Slučaj A'.

4.7 Modeliranje solarnog generatora i energetska analiza za slučaj B

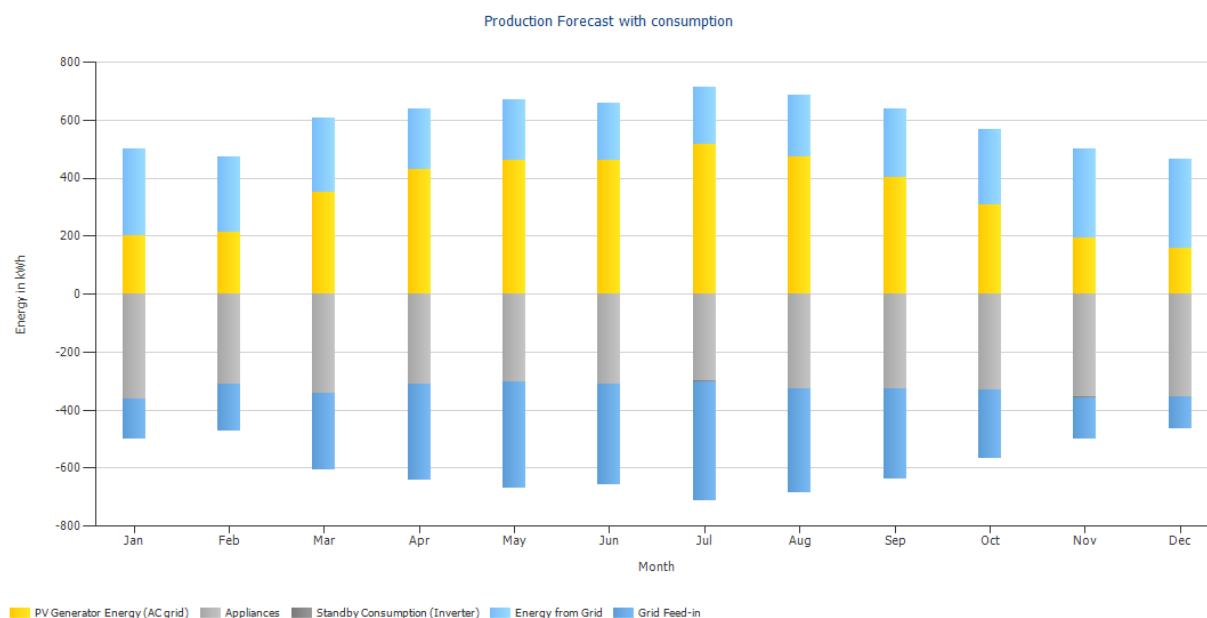
Prilikom ponovnog modeliranja, te postavljanja 8 fotonaponskih modula na krovnište kućanstva Mikulić, sljedeći solarni generator biti će nazvan 'Slučaj B'. Nakon modeliranja novog solarnog generatora, analizom toka energije potrebno je usporediti 'Slučaj A' i 'Slučaj B', te utvrditi koji od solarnih generatora više odgovara kućanstvu Mikulić.



Slika 26. Solarni generator snage 'Slučaj B'

Solarni generator 'Slučaj B' modeliran je snagom 3,2 kW, sa 8 fotonaponskih modula od kojih svaki ima snagu 400 W. Smanjenjem broja modula, smanjila se i ukupna snaga, te je stoga potrebno izabrati i odgovarajući izmjenjivač. Pri izboru izmjenjivača ponovno je odabran izmjenjivač marke Fronius Galvo, modela 3.1-1 / 208V, te snage 2,93 kW.

Simulacijom toka energije dobiven je sljedeći graf:



Slika 27. Prikaz proizvedene el. energije solarnog generatora za 'Slučaj B' sa potrošnjom

U navedenom grafu za 'Slučaj B' da se primijetiti kako se proizvodnja solarnog generatora smanjila, a potrošnja kućanstva ostala ista. Samim time smanjenjem proizvodnje el. energije smanjila se i energija koja se predaje u elektroenergetsku mrežu. Detaljniju analizu prikazati će tablica vrijednosti proizvedene, predane i preuzete el. energije te potrošnje zadanog kućanstva.

	Proizvodnja (kWh)	Potrošnja (kWh)	El. energija predana u mrežu (kWh)	El. energija preuzeta iz mreže (kWh)
Siječanj	199,9	362,7	137,1	300,9
Veljača	211,9	311,2	161	261,1
Ožujak	349,4	342,6	264,4	258,4
Travanj	430,6	311,7	327,1	209
Svibanj	462,8	301	366,8	205,8
Lipanj	463	308,7	347,9	194,4
Srpanj	516,1	300,2	410,6	195,6
Kolovoz	474,4	324,5	361,3	212
Rujan	402,8	326,5	310,8	235,2

Listopad	308,3	330,8	236,6	260
Studeni	192,8	355,9	142,8	306,7
Prosinac	157,3	353,3	111,8	308,9
UKUPNO	4169	3929,1	3178	2948

Tablica 2. Prikaz proizvedene, potrošene, predane i preuzete el. energije u kWh prema mjesecima u godini za solarni generator 'Slučaj B'

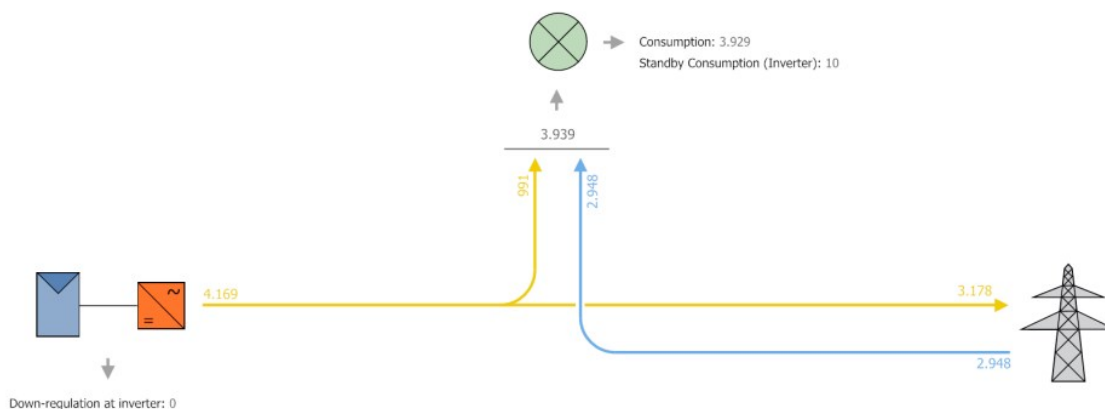
Iz priložene tablice vrijednosti da se uočiti kako se iznos ukupne preuzete i predane el. energije približno izjednačio. Trenutna razlika između preuzete i predane električne energije je 230 kWh, dok za 'Slučaj A' spomenuta razlika iznosi 1295,5 kWh.

$$\text{El. energija predana u mrežu} > \text{El. energija preuzeta iz mreže}$$

$$3178 \text{ kWh} > 2948 \text{ kWh}$$

Energy Flow Graph

Project: Obiteljska kuća Mikulić



Slika 27. Godišnji tok el. energije fotonaponskog sustava za kućanstvo Mikulić 'Slučaj B'

Primjenom solarnog generatora 'Slučaj B' možemo primijetiti da se također smanjila predaja električne energije solarnog generatora u kućanstvo, a povećala preuzeta energija iz mreže. Spomenuta razlika koju solarni generator predaje manje kućanstvu je 102 kWh, a preuzeta energija iz mreže koja se povećala iznosi upravo za tih 102 kWh, što je razumljivo. Primjenom 'Slučaja B',

električna energija koju predajemo u mrežu, smanjila se za vrlo velikih 967 kWh, što se može primijetiti iz sljedeće tablice:

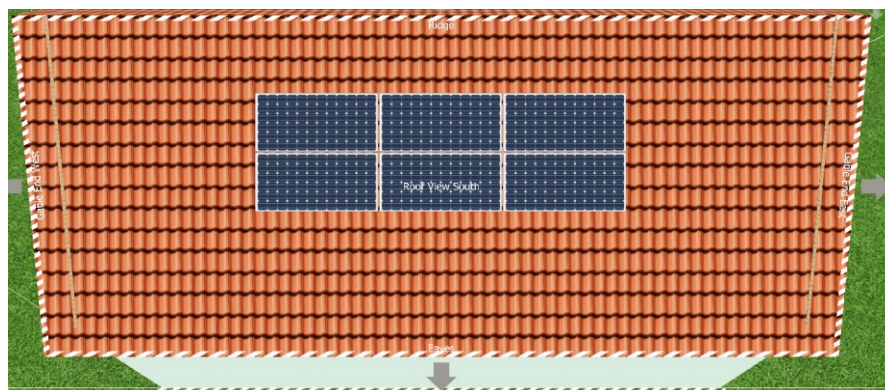
	Slučaj A	Slučaj B
Proizvedena el. energija [kWh]	5237	4169
El. energija solarnog generatora predana kućanstvu [kWh]	1093	991
El. energija solarnog generatora predana u mrežu [kWh]	4145	3178
El. energija preuzeta iz mreže [kWh]	2849	2948

Tablica 3. Prikaz usporedbe toka energije između Slučaja A i B

Usporedbom toka energije između slučajeva A i B izvlači se zaključak kako obiteljskom kućanstvu Mikulić nije potreban solarni generator od 4 kW, te mu u potpunosti odgovara solarni generator 'Slučaj B' koji se sastoji od 8 fotonaponskih modula po 400 W, ukupne snage 3,2 kW.

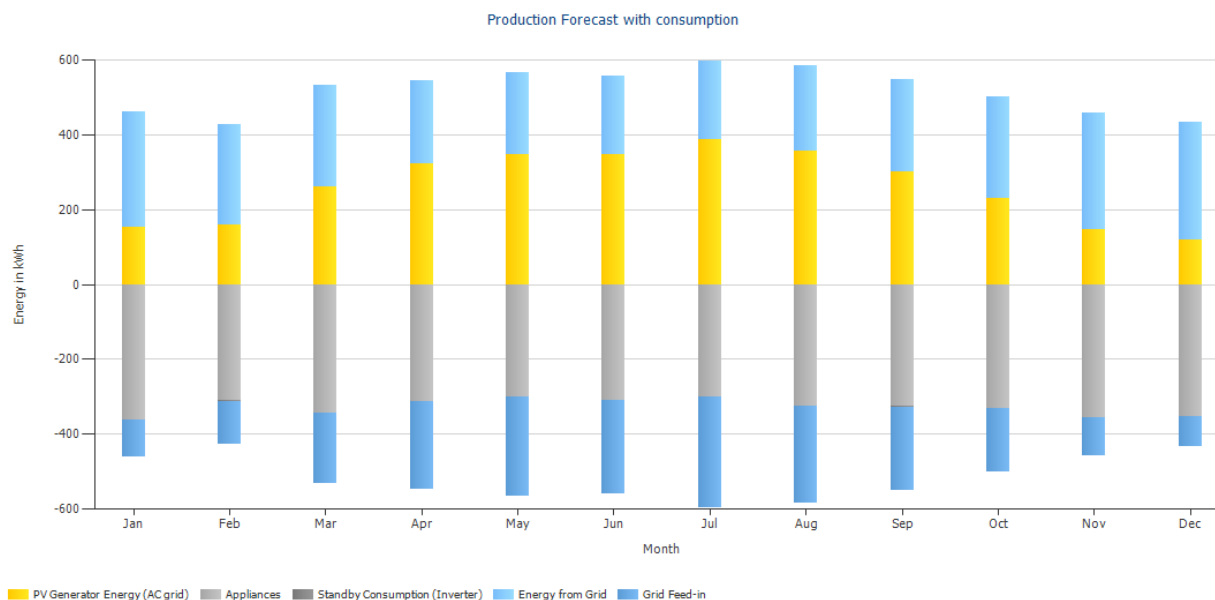
4.8 Modeliranje solarnog generatora i energetska analiza za slučaj C

Što bi se dogodilo, ukoliko bi se broj fotonaponskih modula na krovu kućanstva Mikulić smanjio na šest? Taj slučaj nazvan je 'Slučaj C'. Solarni generator sa šest fotonaponskih modula bit će snage 2,4 kW (6x400 W). Pri modeliranju solarnog generatora 'Slučaja C' krov kućanstva će izgledati na sljedeći način:



Slika 28. Prikaz solarnog generatora 'Slučaj C' snage 2,4 kW

Također kao i u prethodnim slučajevima, promjenom snage solarnog generatora potrebno je prilagoditi izmjenjivač istom. U ovom slučaju odabran je izmjenjivač Fronius Galvo 2.0 izmjenične snage 2 kW. Nakon definiranog izmjenjivača i postavljanja plana i odabira kabela pokreće se simulacija kroz 365 dana u godini.



Slika 29. Prikaz proizvedene el. energije solarnog generatora za 'Slučaj C' sa potrošnjom

	Proizvodnja (kWh)	Potrošnja (kWh)	El. energija predana u mrežu (kWh)	El. energija preuzeta iz mreže (kWh)
Siječanj	151,9	362,7	97,8	309,7
Veljača	159,3	311,2	115,9	268,7
Ožujak	262,4	342,6	189	270,1
Travanj	323,6	311,7	234,4	223,3
Svibanj	347,6	301	264,7	218,9
Lipanj	348	308,7	249,6	211,2
Srpanj	388	300,2	296,4	209,5
Kolovoz	356,6	324,5	259,2	227,9
Rujan	302,6	326,5	222,6	247,4
Listopad	231,4	330,8	170	270,4

Studeni	146,5	355,9	102,6	312,9
Prosinac	118,9	353,3	80	315,6
UKUPNO	3137	3929,1	2282	3086

Tablica 4. Prikaz proizvedene, potrošene, predane i preuzete el. energije u kWh prema mjesecima u godini za solarni generator 'Slučaj C'

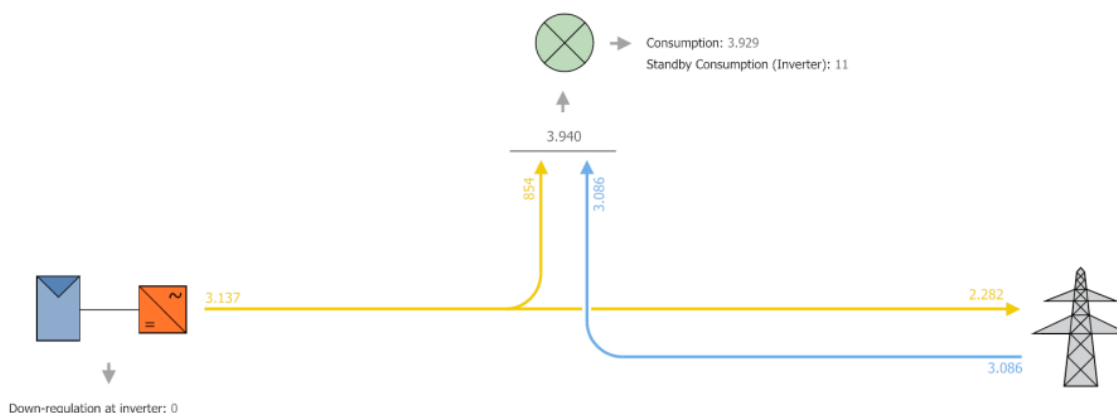
S obzirom da potrošnja električne energije za kućanstvo Mikulić u svakom od slučajeva ostaje jednaka, promatraju se vrijednosti proizvedene, preuzete i predane električne energije. Solarni generator 'Slučaj C' godišnje proizvede 3137 kWh električne energije, što nije dovoljno kako bi zadovoljili energetske potrebe za zadano kućanstvo. Upravo to možemo primijetiti usporedimo li iznose predane i preuzete električne energije iz elektroenergetske mreže. U ovom slučaju energija preuzeta iz mreže je znatno manja od energije koju predajemo u mrežu:

$$\text{El. energija predana u mrežu} < \text{El. energija preuzeta iz mreže}$$

$$2282 \text{ kWh} < 3086 \text{ kWh}$$

Energy Flow Graph

Project: Obiteljska kuća Mikulić



Slika 29. Godišnji tok el. energije fotonaponskog sustava za kućanstvo Mikulić 'Slučaj C'

Iz toka energije Slučaja C primjećuje se kako se trošilima iz solarnog generatora predaje 853 kWh električne energije, a ostatak od 2282 kWh ide u elektroenergetsku mrežu. Tijekom godine kućanstvo da bi zadovoljilo svoje potrebe povlači 3086 kWh iz električne mreže što je znatna razlika u odnosu na prethodne slučajeve, upravo to će i dokazati sljedeća tablica usporedbi slučajeva A, B i C.

	Slučaj A	Slučaj B	Slučaj C
Proizvedena el. energija [kWh]	5237	4169	3137
El. energija solarnog generatora predana kućanstvu [kWh]	1093	991	854
El. energija solarnog generatora predana u mrežu [kWh]	4145	3178	2282
El. energija preuzeta iz mreže [kWh]	2849	2948	3086

Prikazanim grafovima i analizama toka električne energije na čijem je fokusu baziran ovaj rad, donošen je zaključak, da je modeliranje solarnog generatora 'Slučaj A' modeliranog od 10 fotonaponskih modula snage 400 W, te ukupne snage 4 kW, predimenzioniran i nepotreban, dok solarni generator 'Slučaj B' sastavljen od osam fotonaponskih modula također snage 400 W, ukupne snage 3,2 kW u potpunosti odgovara potrebama obiteljskog kućanstva Mikulić. Daljnjom analizom i usporedbama slučajeva, također je zaključeno da je solarni generator 'Slučaj C' sačinjen od šest fotonaponskih modula snage 400 W čija snaga iznosi 2,4 kW nedovoljan i neisplativ. Dakle, za obiteljsko kućanstvo Mikulić potreban je solarni generator od 3,2 kW.

5. ZAKLJUČAK

Električna energija u današnjici jedan je od elemenata bez kojeg svijet ne bi mogao funkcionirati. Kako bi se proizvela električna energija, ljudi koriste obnovljive izvore energije, kao što su sunčeva energija, energija valova, vjetra i biomasa. Stoga, u ovome radu jasno je pojašnjen postupak proizvodnje električne energije dobivene putem Sunca. Definirani su uređaji koji sunčevu energiju pretvaraju u električnu, te kako spajanjem fotonaponskih ćelija u fotonaponske module, a zatim povezivanjem fotonaponskih modula, se dobiva veća proizvodnja električne energije. Upravo takav jedan sustav nazva se solarni generator, koji ljudi danas postavljaju na svoja kućanstva, kako bi pokrili što više vlastite potrošnje električne energije, koju njihovo kućanstvo zahtjeva. Za takav postupak potrebni su stručni ljudi, koji se bave upravo proračunima i projektiranjem solarnih generatora. Programski paket PV – SOL Premium upravo pojednostavljuje i pruža 3D modeliranje solarnih generatora. U ovome radu prikazan je detaljan postupak modeliranja solarnog generatora za potrebe kućanstva Mikulić. Pri modeliranju solarnog generatora, prikazan je kriterij na koji se treba obratiti pozornost pri izboru izmjenjivača, te objašnjeno zašto se uopće koriste izmjenjivači. Na kraju samog završnog rada obrađena je detaljna analiza toka energije, koja precizno govori po pojedinim slučajevima, koliko električne energije proizvodi solarni generator prema mjesecima u godini. S obzirom da se radilo o kućanstvu priključenom na elektroenergetsku mrežu, također je obrađena analiza koliko energije se predaje i uzima iz elektroenergetske mreže, te koliko solarni generator električne energije predaje kućanstvu. Detaljno su uspoređeni slučajevi, odabran i potpuno modeliran solarni generator za obiteljsko kućanstvo Mikulić.

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] Chemistryexplained <http://www.chemistryexplained.com/Ru-Sp/Solar-Cells.html>
26.09.2020
- [3] Fotonaponski sustavi http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf
26.09.2020
- [4] Schrack technik <https://www.schrack.hr/know-how/alternativni-izvori/osnove-o-fn-celiji-i-modulu> 26.09.2020
- [5] Prirodoslovna lepeza <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/> 26.09.2020
- [8] Renvu solar https://www.renvu.com/Solar/Planning-Software/VALENTIN_SOFTWARE_PVSOL_Expert 26.09.2020

SAŽETAK

U završnom radu obrađena je teorijska tematika o modeliranju fotonaponskog sustava prema potrošnji kućanstva Mikulić. Opisana je fotonaponska pretvorba, te elementi fotonaponskog sustava kao što su fotonaponska ćelija i fotonaponski modul. Opisane su vrste fotonaponskih sustava i prikazan postupak modeliranja jednog od njih na primjeru kućanstva. U radu je objašnjen detaljan postupak 3D modeliranja solarnog generatora za potrebe kućanstva u programskom paketu PV-SOL premium. Također, obrađena je detaljna energetska analiza prema mjesecima tijekom godine, te je prikazana u nekoliko slučajeva.

Ključne riječi: energetska analiza, fotonaponska ćelija, fotonaponski modul, fotonaponski sustav, PV-SOL premium, solarni generator

ABSTRACT

In my final paper, theoretical topics on photovoltaic system was processed on the basis of Mikulic household consumption. Photovoltaic conversion, elements of photovoltaic system, like photovoltaic cell and module were described. Also, types of photovoltaic system and procedure of modeling one of them in the mentioned household were shown. Detailed procedure of 3D modeling of solar generator for the needs of the household in PV-SOL premium package was explained. Lastly, detailed energy analysis according to the months of the year was processed as well.

Keywords: energy analysis, photovoltaic cell, photovoltaic module, photovoltaic system, PV-SOL premium, solar generator

ŽIVOTOPIS

Mario Mikulić rođen je u Vinkovcima 30.01.1998 godine. Živi i odrasta u Županji gdje pohađa Osnovnu školu 'Mate Lovrak' Županja. Nakon završene osnovne škole odlučuje upisati zanimanje elektrotehničar u Tehničkoj školi u Županji. Nakon stečenog zanimanja elektrotehničar, 2016. godine upisuje preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Stručnu praksu odradio je u tvrtki Biomass to energy Županja d.o.o