

Simulacija kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom iz fotonaponske elektrane u stvarnom vremenu

Tišljar, Tomislav

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:653481>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-08**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni diplomski studij

**SIMULACIJA KUPCA ELEKTRIČNE ENERGIJE S
VLASTITOM PROIZVODNOM IZ FOTONAPONSKE
ELEKTRANE U STVARNOM VREMENU**

Diplomski rad

Tomislav Tišljar

Osijek, 2019.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 22.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite**Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

Ime i prezime studenta:	Tomislav Tišljar
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-1137, 27.09.2018.
OIB studenta:	05229081342
Mentor:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Sumentor:	Matej Žnidarec
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Danijel Topić
Naslov diplomskog rada:	Simulacija kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom iz fotonaponske elektrane u stvarnom vremenu
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	U teorijskom dijelu opisati kupce s vlastitom proizvodnjom (prosumere) u tehničkom i legislativnom smislu. U praktičnom dijelu izvršiti simulaciju kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom iz fotonaponske elektrane u stvarnom vremenu pomoću simulatora Typhoon HIL. Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing. Tema je otvorena za prijavu svim studentima smjera DEB. Kriterij dodjele: prosjek ocjena + ocjena iz kolegija OIE + Integracija OIE i NM.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	22.09.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 26.09.2019.

Ime i prezime studenta:

Tomislav Tišljar

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1137, 27.09.2018.

Ephorus podudaranje [%]:

9%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Simulacija kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom iz fotonaponske elektrane u stvarnom vremenu**

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

i sumentora Matej Žnidarec

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

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak rada	1
2. OPĆENITO O FOTONAPONU	2
2.1. Fotonaponska pretvorba	2
2.2. Fotonaponski sustavi	4
2.2.1. Mrežom vezani fotonaponski sustav	5
2.2.2. Autonomni fotonaponski sustav	5
2.2.3. Hibridni fotonaponski sustav	6
3. KUPAC S VLASTITOM PROIZVODNJOM (ENG. <i>PROSUMER</i>).....	8
3.1. Obiteljska kuća kao kupac s vlastitom proizvodnjom	10
3.2. Tvrtke kao potrošači s vlastitom proizvodnjom	11
3.3. Koncept izvođača radova kao potrošača s vlastitom proizvodnjom.....	13
3.4. Javne (državne) zgrade kao kupci s vlastitom proizvodnjom.....	15
3.5. Kupac s vlastitom proizvodnjom s upravljanjem potrošnjom	16
3.6. Stambena zgrada kao kupac s vlastitom proizvodnjom.....	18
3.7. Koncept više kupaca s vlastitom proizvodnjom sa zajedničkom pohranom	19
3.8. Koncept virtualnih elektrana (više kupaca s vlastitom proizvodnjom na tržištu električne energije)	21
4. UTJECAJ KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM NA STRUJNO-NAPONSKE PRILIKE.....	23
4.1. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na tokove snaga	23
4.2. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na naponske prilike.....	24
4.3. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na strujne prilike	25
5. PRORAČUN UTJECAJA KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM NA DISTRIBUTIVNU MREŽU	26
5.1. Osnovno o TYPHOON HIL	26
5.1.1. Shema spoja kupca s vlastitom proizvodnjom s mrežom u Schematic Editoru.....	27
5.1.2. Sustav mjerenja u HIL SCADA.....	30
5.2. Unos mjerenih podataka u Typhoon HIL	33
5.3. Rezultati simulacije	35
5.3.1. Simulacija obiteljske kuće kao kupca s vlastitom proizvodnjom	35
5.3.2. Simulacija javne (državne) zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom (zgrada fakulteta)	41
6. ZAKLJUČAK	46
POPIS LITERATURE	48

SAŽETAK.....	49
ABSTRACT.....	49
ŽIVOTOPIS	50

1. UVOD

U ovom diplomskom radu opisan je utjecaj promjene jakosti sunčeva zračenja, odnosno promjene proizvodnje fotonaponskog sustava istovremenom promjenom potrošnje u promatranom kućanstvu na mjestu spoja kupca električne energije s distributivnom mrežom. U prvom poglavlju opisana je fotonaponska pretvorba, te vrste fotonaponskih sustava, dok u drugom poglavlju opisane su vrste kupaca električne energije s vlastitom proizvodnjom. Nakon toga opisan je utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na distributivnu mrežu, kao što je utjecaj na strujne i naponske prilike, te na tokove snaga. U praktičnom dijelu na početku je ukratko opisan program u kojem je izvršena simulacije i shema sustava. Simulacija je izvršena na primjeru potrošnje kućanstva i zgrade fakulteta, isto tako mijenjajući veličinu fotonaponskog sustava.

1.1. Zadatak rada

U programskom paketu Typhoon HIL izvršiti simulaciju kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom u stvarnom vremenu. Gledati utjecaj na napone, struje i tokove snaga prilikom promjene proizvodnje količine električne energije iz fotonaponskog sustava.

2. OPĆENITO O FOTONAPONU

Najbitniji dio svega vezanog uz iskorištenje sunčevog zračenja je naravno fotonaponska elektrana. Iako se puno priča o fotonaponu i solarnoj energiji postoji puno ljudi koji te pojmove povezuju samo sa Suncem, te ne razumiju razliku između kolektora za zagrijavanje vode i fotonaponskih panela. Fotonaponski uređaji, odnosno njihov najvažniji dio, solarna ćelija, proizvodi istosmjernu struju na krajnje jednostavan način, bez pokretnih dijelova i buke. Naravno, nemoguće je ostvariti fotonaponsku pretvorbu bez Sunčevog zračenja, čija jačina ovisi o mjestu na kojem se nalazimo na Zemlji. Geografski položaj Republike Hrvatske vrlo je povoljan za korištenje fotonapona. Vrlo bitna stvar je i odabir optimalnog kuta za fiksne fotonaponske instalacije koji nam omogućuje maksimalno iskorištenje Sunčevog zračenja. Optimalni kut za područje Republike Hrvatske kreće se od 33° na sjeveru do 37° na jugu, [1].

2.1. Fotonaponska pretvorba

Sunčevo svjetlo se sastoji od fotona, odnosno, dijelova solarne energije koji sadržavaju različite količine energije koji odgovaraju različitim duljinama valova solarnog spektra. Fotoni koji dođu do fotonaponske ćelije mogu se reflektirati od ćelije, proći kroz nju ili apsorbirati. Fotonaponski efekt, odnosno proizvodnju električne struje mogu izazvati samo apsorbirani fotoni.

Fotonaponska ćelija se sastoji od tri dijela, [2]:

a) N – sloj

U tom sloju je silicij onečišćen fosforom. U vanjskim ljuskama obližnjih atoma kristalne rešetke pojavljuju se dodatni elektroni, oni izbačeni sunčevim svjetlom, u pravilu tamo gdje su ubačeni atomi fosfora. Silicij dopiran fosforom postaje negativno nabijen, a time i cijeli gornji dio ćelije.

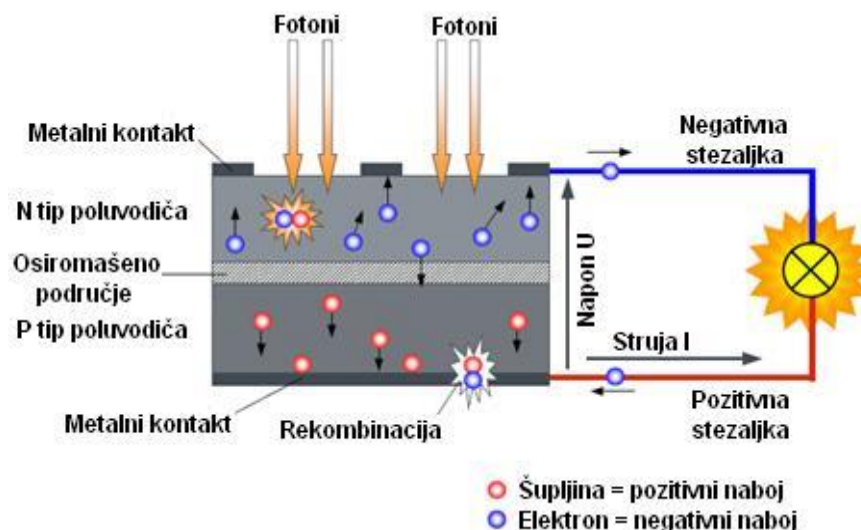
b) N/P – sloj

Srednji se sloj sastoji od čistog silicija i električki je neutralan. Međutim, silicij kao poluvodič propušta elektrone iz P-sloja prema N sloju, ali ne i u suprotnom smjeru. Time je usmjeren protok elektrona.

c) P – sloj

Tu je silicij onečišćen borom koji se uključuje u njegovu kristalnu rešetku. U tom se sloju pojavljuje manjak elektrona, pa je donji dio fotonaponske ćelije nabijen pozitivno.

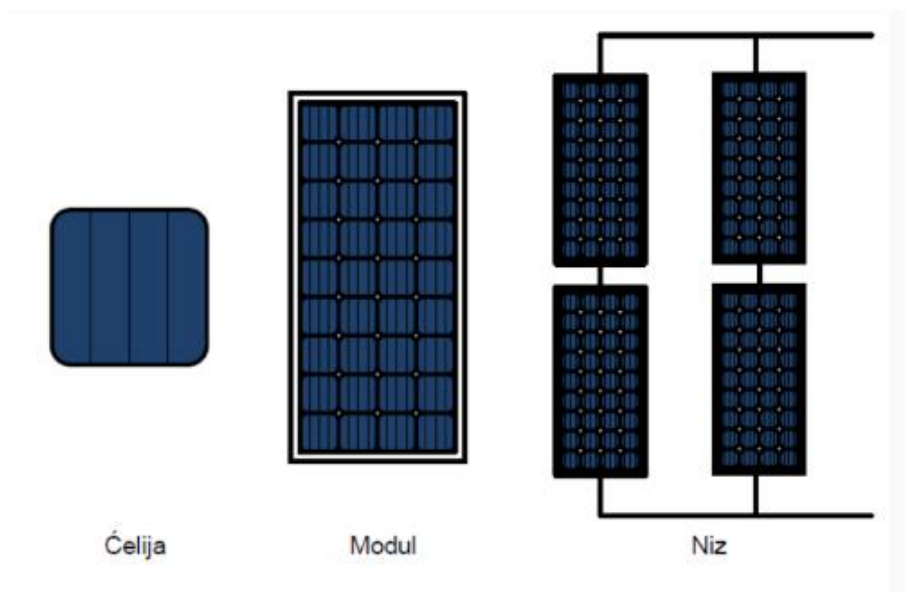
Udarom fotona u jedan od vanjskih elektrona silicijevog atoma, foton svoju energiju prenosi na elektron koji tada mijenja putanju i udaljuje se od atomske jezgre. Ako je ta energija dovoljno velika, udareni elektron postaje tzv. slobodni elektron s negativnim nabojem. Nakon što izgubi taj jedan negativni elektron, atom silicija gubi i svoj dotada uravnoteženi (neutralni) ukupni naboj, pa u odnosu na okolinu postaje pozitivan. Udarom mnoštva fotona nastaje obilje negativnih slobodnih elektrona, te jednako toliko pozitivno nabijenih atoma. Kako ne bi slobodni elektroni popunjavali rupe u vanjskoj ljusci nekog drugog atoma, čime bi se nakon određenog vremena uspostavilo početno stanje, potrebno je slobodne elektrone odvesti iz kristala, odnosno odvesti prema polu s kojega ćemo ih izvući u obliku struje. U tu svrhu koriste se atomi fosfora koji se lako priključuju na silicijsku kristalnu rešetku, ali u vanjskoj ljusci imaju jedan elektron više od silicija. Taj višak negativnih elektrona omogućuje da se u tom sloju na vanjskoj strani fotonaponske ćelije oblikuje negativni pol. U P-sloju silicij je onečišćen malom količinom atoma bora, te kod njih u vanjskoj ljusci kruži jedan elektron manje nego u silicijevom atomu. Tako se u ovom sloju oblikuje manjak negativnih elektrona i tako se oblikuje pozitivan pol. Između gornjeg i donjeg sloja kristalne silicijske pločice pojavljuje se razlika u naponu, te kad se spoji negativni pol i pozitivni pol proteći će struja od minus pola prema plus polu sve dok se na pozitivnoj strani silicijske ćelije nenadoknadi manjak elektrona. Proizvodnja struje traje sve dok ima dovoljno fotona koji izbijaju elektrone iz vanjske ljuske silicijskog atoma. Učinak fotonaponske ćelije postupno opada slabljenjem sunčevog zračenja, a noću, kada nema fotona dolazi do nedostatka slobodnih elektrona, te minus pol gubi svoj značaj, uspostavlja se ravnoteža i mir, [2].



Slika 2.1. Princip rada fotonaponske ćelije [3]

Pošto takva jedna fotonaponska ćelija je relativno malih dimenzija, te proizvodi samo 1 ili 2W, uz napon od oko 0.6V, što je za većinu primjena premalo, električno se povezuju u modul, koji je

zaštićen od atmosferskih utjecaja. Nadalje, moduli se serijski-paralelno povezuju kako bi oblikovali niz, što je prikazano na slici 2.2., [1].



Slika 2.2. FN ćelija, modul, niz [1]

2.2. Fotonaponski sustavi

Pod pojmom fotonaponski sustavi podrazumijevaju se svi uređaji, oprema i jedinice koje čine fotonaponsku instalaciju koja je potrebna za njegov ispravan rad. Fotonaponski sustav je projektiran da primarnu Sunčevu energiju izravno pretvara u konačnu električnu energiju.

Uz fotonaponski niz moramo također imati, [1].

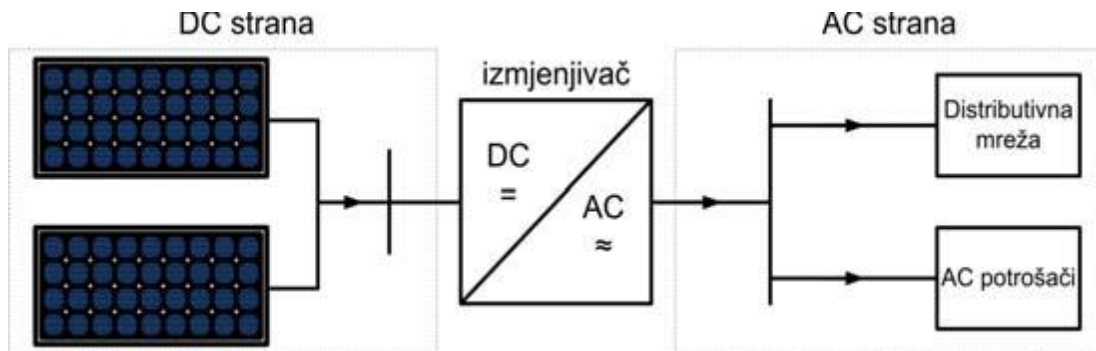
- Strukturu za postavljanje
- Tragač maksimalne snage i uređaj za regulaciju
- Komponente koje prihvataju istosmjernu struju proizvedenu od uređaja
- Pretvarač, ako potrošač zahtijeva izmjeničnu struju, ili ako je sustav spojen na mrežu
- Eventualne dodatne izvore električne energije

U pogledu spoja na mrežu postoje dvije vrste fotonaponskih sustava:

1. Mrežom vezani (umreženi) fotonaponski sustav (eng. *on grid, grid connected*)
2. Autonomni (samostojeći) fotonaponski sustav (eng. *off grid, stand alone*)

2.2.1. Mrežom vezani fotonaponski sustav

Mrežom vezani fotonaponski sustavi su spojeni na elektroenergetsku mrežu. Proizvedena istosmjerna struja se pomoću izmjenjivača pretvara u izmjeničnu, koja se tada koristi za pokrivanje potrošnje, te se višak proizvedene električne energije predaje u distributivnu mrežu. Pošto je sustav spojen na mrežu punjači i baterije nisu potrebni. Primjer mrežom vezanog fotonaponskog sustava prikazan je na slici 2.3.



Slika 2.3. Mrežom vezani fotonaponski sustav, [1].

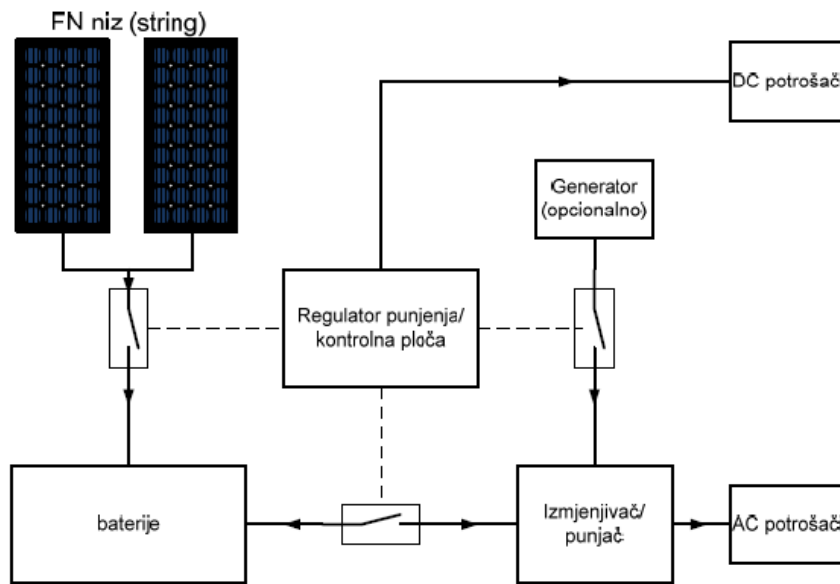
Ovisno o načinu spajanja fotonaponskog niza mogu se razlikovati sljedeće izvedbe mrežnih fotonaponskih elektrana: [1]

- Izvedbe s jednim (centralnim) izmjenjivačem
- Izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki fotonaponski niz
- Izvedbe s više izmjenjivača

2.2.2. Autonomni fotonaponski sustav

Autonomni (otočni) fotonaponski sustav je sustav koji nije električki spojen s distributivnom mrežom. Radi toga, sustav mora samostalno pokriti cjelokupnu potrebu potrošača za električnom energijom. Pošto je Sunčevo zračenje, kao primarni izvor za proizvodnju električne energije vrlo promjenjivog intenziteta, potrebni su spremnici energije.

Na slici 2.4. prikazan je autonomni sustav kojemu su glavne komponente fotonaponski modul, regulator punjenja, baterije, trošila i izmjenjivač.

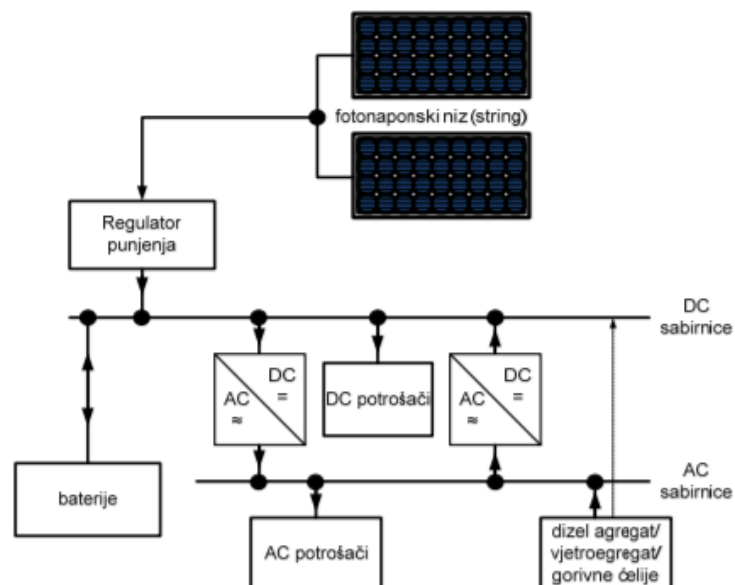


Slika 2.4. Autonomni fotonaponski sustav, [1].

2.2.3. Hibridni fotonaponski sustav

Hibridni sustavi su autonomni sustavi s još jednim dodanim izvorom energije. Razlog dodavanje dodatnog izvora je u cijeni baterija, koja je još uvijek izrazito visoka. Uz fotonaponsku elektranu kao dodatni izvor najčešće se koriste vjetroagregati, dizel agregati ili gorive ćelije.

Na slici 2.5. prikazan je primjer hibridnog fotonaponskog sustava.



Slika 2.5. Hibridni fotonaponski sustav, [1].

U sustavu s vjetroagregatom, tijekom noćnih sati kada nema proizvodnje iz fotonapona, postoji određena vjerojatnost da će biti određene količine vjetra. Ako je proizvodnja vjetroagregata veća od opterećenja, energija se može pohranjivati i tijekom noći.

Kada dodatni izvor predstavlja dizel agregat, potrebno je voditi računa da ga se optereti iznad 70 – 80%, jer pri nižim opterećenjima nisu učinkoviti. Koriste se za pokrivanje vršne potrošnje sustava.

Kod izvedbe s gorivim ćelijama, višak proizvedene električne energije iz fotonaponskog sustava osim spremanja u baterije, koristi se i u postupku elektrolize za dobivanje vodika. Kada nema dovoljno sunčeve energije koristimo vodik u gorivim ćelijama za proizvodnju električne energije.

3. KUPAC S VLASTITOM PROIZVODNjom (ENG. *PROSUMER*)

Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinskoj kogeneraciji [4] kupac s vlastitom proizvodnjom (eng. *prosumer*) je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu/e koju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu. Kupac s vlastitom proizvodnjom je korisnik mreže koji na istom obračunskom mjernom mjestu ima odobrenu priključnu snagu u smjeru kupca i priključnu snagu u smjeru proizvodnje. Opskrbljivači električne energije su dužni preuzeti viškove električne energije od kupca s vlastitom proizvodnjom koji zadovoljavaju sljedeće uvjete:

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

Ako kupac s vlastitom proizvodnjom ne zadovoljava neke od gore navedenih uvjeta, on može zatražiti sklapanje ugovora s bilo kojim tržišnim otkupljivačem. Za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom C_i u obračunskom razdoblju, na sljedeći način, [4]:

- $C_i = 0,9 * PKC_i$, ako za obračunsko razdoblje i vrijedi $E_{pi} \geq E_{ii}$
- $C_i = 0,9 * PKC_i * E_{pi} / E_{ii}$, ako za obračunsko razdoblje i vrijedi $E_{pi} < E_{ii}$,

Pri čemu je:

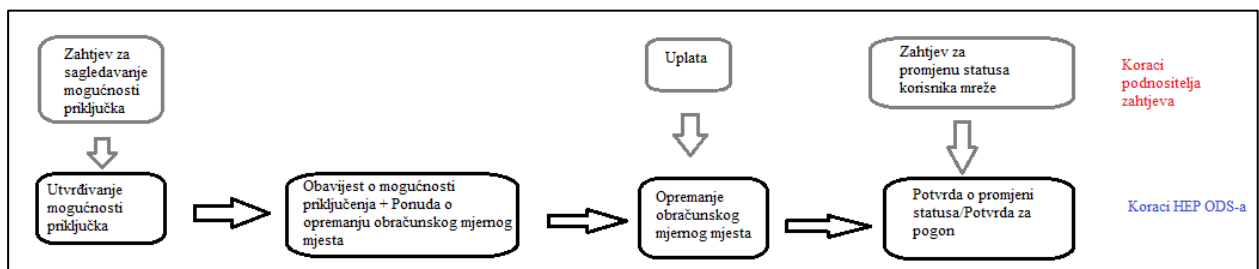
E_{pi} – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja i , izražena u kn/kWh

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

PKC_i – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknade za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja i , izražena u kn/kWh.

Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom je postupak kada postojeći kupac električne energije kategorije kućanstvo traži priključenje elektrane na svoju postojeću instalaciju. Postupak se provodi prema sljedećim koracima (Slika 3.1.), [7]:

- 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



Slika 3.1. Koraci za priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom, [7]

Kada se spomene pojam kupac s vlastitom proizvodnjom (eng. *prosumer*), najčešće se smatra da kao proizvodnju koristi fotonaponski sustav, priključen na kućne instalacije, te tako napaja vlastitu potrošnju. I naravno, sve je to spojena na distributivnu mrežu u koju se predaje višak proizvedene električne energije ili iz koje se uzima električna energija ako proizvodnja ne pokriva potrošnju. Prema nekim istraživanjima [5] došlo se je do zaključka da se u Europi koristi osam različitih rješenja, odnosno podjela kupca s vlastitom proizvodnjom. Uz svaku od tih vrsta može se dodati i pohrana energije u obliku baterija ili nekih drugih tehničkih rješenja.

Vrste kupca s vlastitom proizvodnjom, [5]:

1. Obiteljske kuće
2. Tvrtke kao investitori (npr. industrija, uslužni sektor i dr.)
3. Koncept izvođača radova (npr. investitora koji iznajmljuje krov ili drugu površinu za instalacije)
4. Javne (državne) zgrade (ili druge građevine)

5. Kupac s vlastitom proizvodnjom s upravljanjem potrošnjom
6. Stambene zgrade kao kupac s vlastitom proizvodnjom
7. Koncept više kupaca s vlastitom proizvodnjom sa zajedničkom pohranom
8. Koncept virtualnih elektrana (više kupaca s vlastitom proizvodnjom na tržištu električne energije)

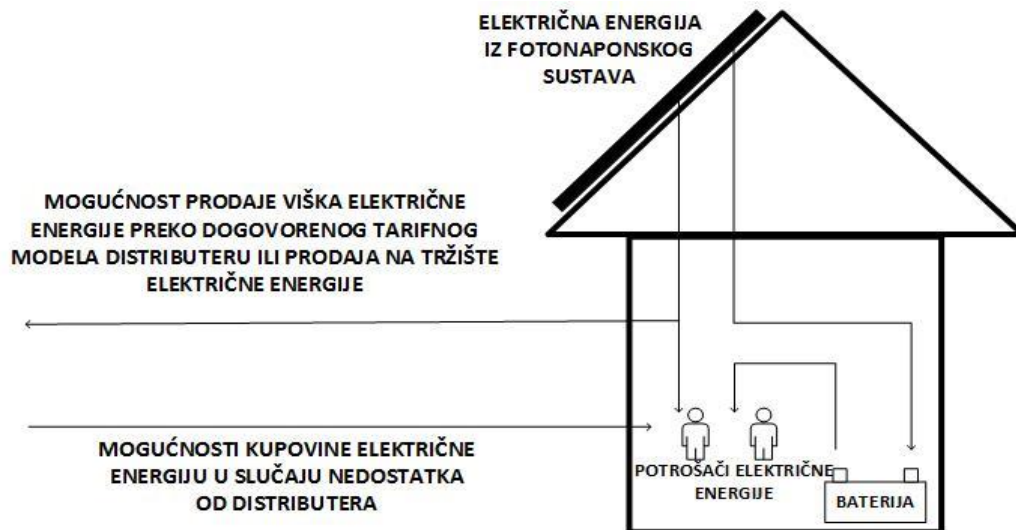
3.1. Obiteljska kuća kao kupac s vlastitom proizvodnjom

Proizvedena električna energija iz fotonaponskog sustava troši se kad god je to moguće u samoj kući. Najbolje rješenje je da postoji pohrana električne energije kako bi se višak proizvedene energije pohranjivao, te trošio u vrijeme kad je proizvodnja mala, ili noću, kada uopće nema proizvodnje. Ukoliko bi baterije bile puno, potrošnja mala a proizvodnja velika, tada bi se višak proizvedene električne energije predavao u mrežu.

Elementi sustava:

- PV moduli
- PV pretvarač
- Pohrana električne energije
- Sustav za upravljanje energijom
- Potrošnja
- Mrežni priključak

Slika 3.2. prikazuje obiteljsku kuću s fotonaponskim sustavom na krovu kuće. Proizvedena električna energija se koristi za pokrivanje potrošnje u samoj kući, te za punjenje baterija. Višak proizvedene energije se prodaje distributeru ili u slučaju nedostatka, ista se kupuje od distributera.



Slika 3.2. Obiteljska kuća kao kupac s vlastitom proizvodnjom

Prednosti obiteljske kuće kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera
- Djelomična neovisnost od distributera
- Ulaganje niskog rizika
- Doprinos u izmjeni električne energije

Nedostaci obiteljske kuće kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Ulagati mogu samo vlasnici kuće
- Visoki troškovi ulaganja (naročito cijena baterija)
- Baterija nema nužno pozitivan utjecaj na elektroenergetski sustav

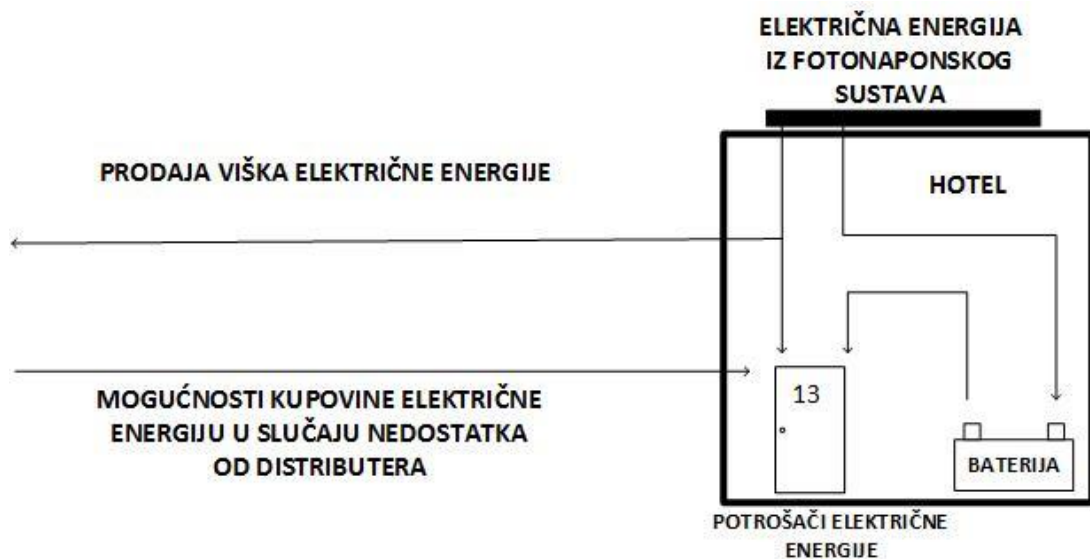
3.2. Tvrtnke kao potrošači s vlastitom proizvodnjom

Ovo rješenje je dobro za tvrtke koje plaćaju velike račune za električnu energiju, te investicija u fotonaponske module može biti vrlo isplativa. Odgovarajući sustav pohrane može povećati neovisnost o mreži, te može služiti za „peglanje“ vrhova potrošnje kada u mreži nedostaje električne energije, te na taj način donositi profit tvrtki ne samo u energiji nego dodatno i u smanjenju zakupa vršne (angažirane) snage, npr. u skladu s tarifnim modelima u Hrvatskoj. Hoteli, poslovne zgrade, trgovački centri, farme i industrijska postrojenja su idealna mjesta za izgradnju fotonaponskih sustava.

Elementi sustava:

- PV moduli
- PV pretvarači
- Uređaji za praćenje Sunca
- Baterija s baterijskim sustavom upravljanja
- Baterijski pretvarači
- Sustav upravljanja energijom
- Mjerna oprema
- Potrošnja
- Električno vozilo (izborno, može služiti i kao pohrana električne energije)

Na slici 3.3. prikazan je primjer hotela kao kupca s vlastitom proizvodnjom. Slučaj je isti kao i kod obiteljske kuće kao kupca s vlastitom proizvodnjom, proizvedena električna energija se troši kada god je to moguće, višak se pohranjuje, te kad je i pohrana puna, ostatak se predaje u mrežu. Investitor u ovakav sustav je vlasnik tvrtke.



Slika 3.3. Tvrтка kao potrošač s vlastitom proizvodnjom

Prednosti tvrtke kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera

- Djelomična neovisnost od distributera
- Smanjenje vršne potražnje za električnom energijom
- Mogućnost rezerve u slučaju kvara mreže
- Poboljšanje reputacije tvrtke zbog razvoja održivosti okoliša
- Doprinos u izmjeni električne energije
- Povećanje tržišne vrijednosti zgrade, odnosno tvrtke

Nedostatci tvrtke kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

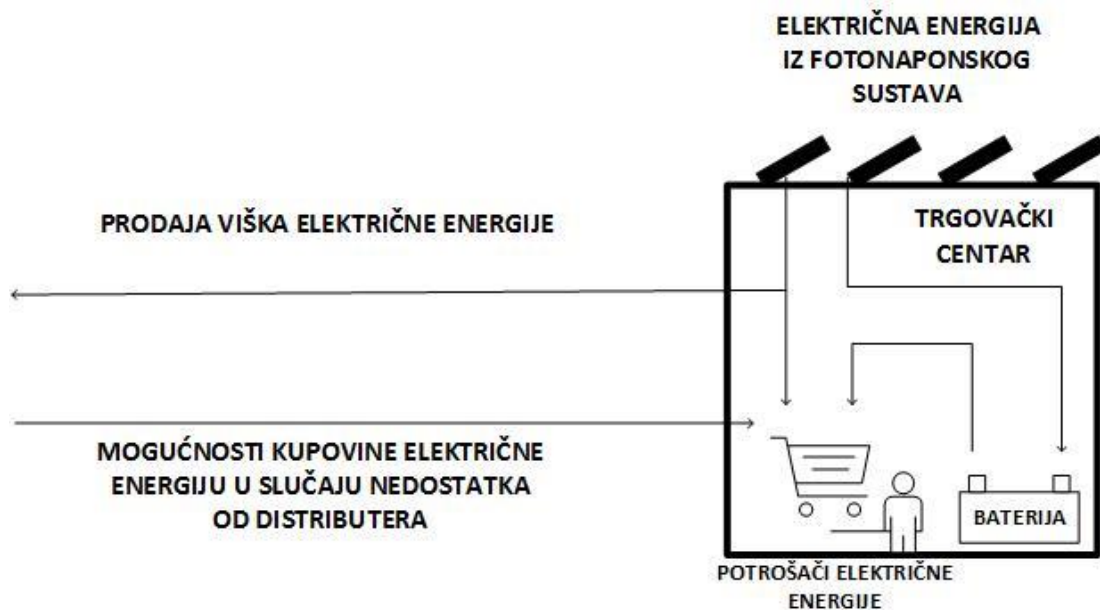
- Visoki troškovi ulaganja (iako su cijene u konstantnom padu)
- Dug period povrata investicije

3.3. Koncept izvođača radova kao potrošača s vlastitom proizvodnjom

Tvrtke koje ne žele samostalno investirati u fotonaponske sustave mogu profitirati pomoću koncepta izvođača radova kao kupca s vlastitom proizvodnjom. Treća osoba, investitor, ulaže u fotonaponski sustav na objekte u vlasništvu tvrtke, te proizvedenu električnu energiju prodaje tvrtki a ostatak predaje u mrežu. Tvrtka ima uštede jer cijena električne energije je povoljnija od cijene koju bi plaćali distributeru. Investitor ima profit jer prodaje električnu energiju tvrtki i distributeru.

Elementi sustava su isti kao u prošlom slučaju, kada je tvrtka samostalno investirala u fotonaponski sustav.

Koncept izvođača radova kao kupca s vlastitom proizvodnjom prikazan je na slici 3.4. Proizvedena električna energije prodaje se vlasniku nekretnine na kojoj se nalazi fotonaponski sustav, uz povoljnije financijske uvjete. Ukoliko imamo višak proizvedene električne energije, uz punu pohranu, višak se predaje u mrežu. Ako proizvodnja nije dovoljna da pokrije potrošnju, manjak će se nadoknaditi iz mreže.



Slika 3.4. Koncept izvođača radova kao kupca s vlastitom proizvodnjom

Prednosti kupca s vlastitom proizvodnjom (tvrtke):

- Nema financijskog rizika
- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera
- Djelomična neovisnost od distributera, stabilna cijena električne energije
- Smanjenje vršne potražnje za električnom energijom
- Mogućnost rezerve u slučaju kvara mreže
- Poboljšanje reputacije tvrtke zbog razvoja održivosti okoliša
- Doprinos u izmjeni električne energije

Prednosti kupca s vlastitom proizvodnjom (investitora):

- Ostvaruje profit prodajom električne energije krajnjem korisniku i predajom energije u mrežu

Nedostaci kupca s vlastitom proizvodnjom (tvrtke i investitora):

- Visoki troškovi ulaganja
- Dug period povrata investicije
- Samo neizravna štednja

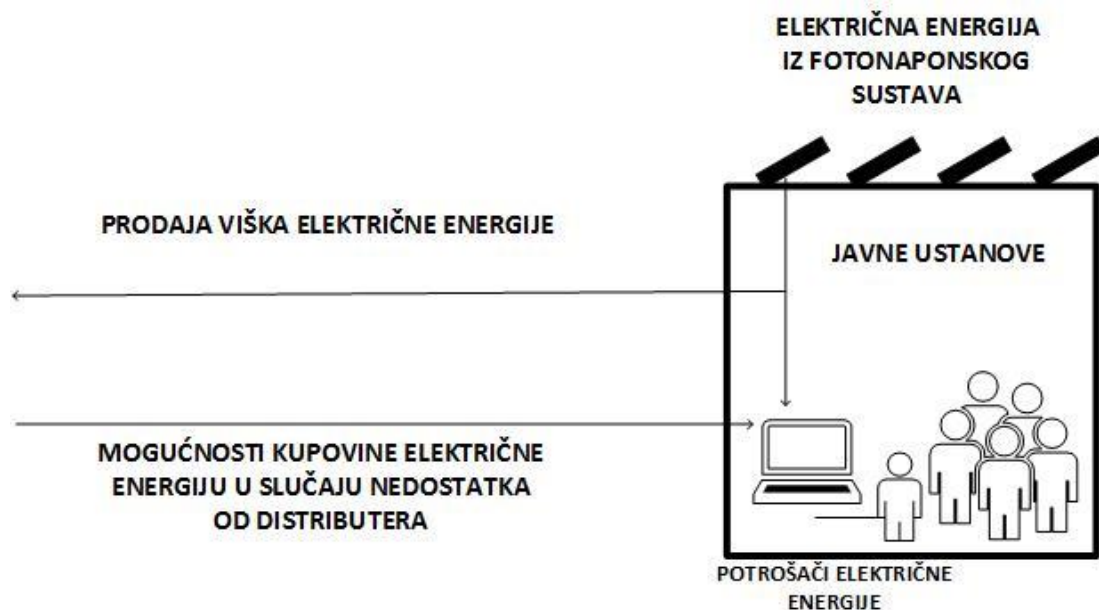
3.4. Javne (državne) zgrade kao kupci s vlastitom proizvodnjom

Postavljanje fotonapona na zgrade u vlasništvu države, gradova ili općina rješava se na iste načine kako je navedeno u prethodnim primjerima. Drugačiji je samo financijski dio, jer objekt nije u privatnom vlasništvu, tako da postoji mogućnost dužeg vremena otplate investicije. Ovaj koncept je namijenjen školama, bolnicama i ostalim ustanovama u državnom vlasništvu.

Elementi sustava:

- PV moduli
- Uređaji za praćenje Sunca
- PV pretvarači
- Baterijski pretvarači
- Baterija s baterijskim sustavom upravljanja
- Mjerna oprema
- Sustav upravljanja energijom
- Potrošnja

Slika 3.5. prikazuje primjer fotonaponskog sustava instaliranog na javnu zgradu. Tehnički opis je isti kao i u prethodnim slučajima.



Slika 3.5. Državne zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom

Prednosti javne zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera
- Djelomična neovisnost od distributera
- Ulaganje niskog rizika
- Doprinos u izmjeni električne energije

Nedostatci javne zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Visoki troškovi ulaganja
- Dug period povrata investicije s obzirom na to da nema potrošnje električne energije za vrijeme neradnih dana

3.5. Kupac s vlastitom proizvodnjom s upravljanjem potrošnjom

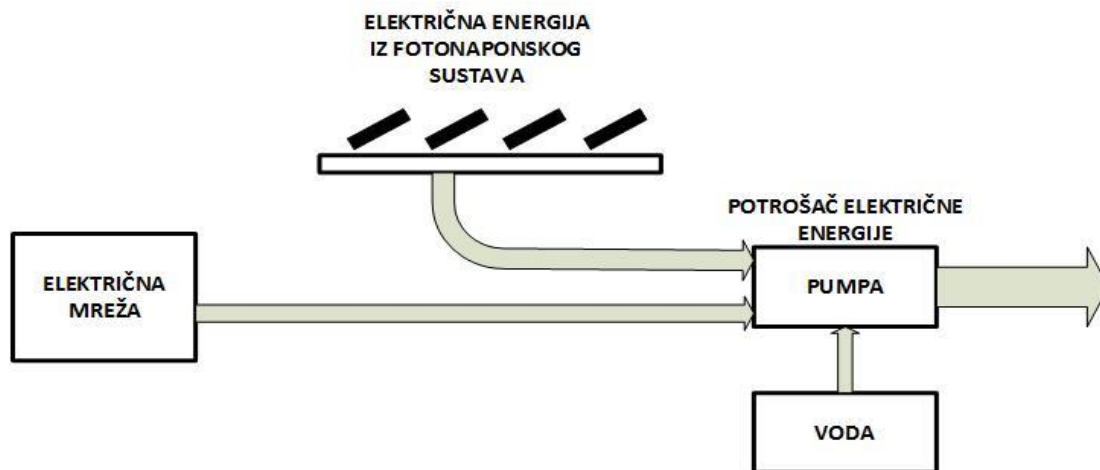
Investitori su upravitelji opterećenjima koje mogu kontrolirati. Potrošnja se kontrolira tako da prati količinu proizvedene električne energije, odnosno maksimizira se za vrijeme jakog sunčevog zračenja. Isto tako potrošnja se smanjuje za vrijeme slabe proizvodnje električne energije i praznih baterija. Ako su zahtjevi za potražnjom električne energije veći od raspoložive energije iz fotonaponskog sustava i baterija, potrebna energija se nadoknađuje iz mreže. Isto tako višak proizvedene električne energije se može predati u mrežu.

Elementi sustava:

- PV moduli
- Uređaji za praćenje Sunca
- PV pretvarači
- Baterijski pretvarači
- Baterija s baterijskim sustavom upravljanja
- Mjerna oprema
- Sustav upravljanja energijom
- Potrošnja

Slika 3.6. za primjer daje sustav navodnjavanja, kod kojeg nema prodaje viška električne energije u mrežu, nego se sva energija troši tako da se kontrolira opterećenje. Upravljanje potrošnjom koju možemo kontrolirati kao što su sustavi navodnjavanja ili hladnjaci mogu koristiti kao potrošači za

fotonaponski sustav. Na primjer, u jutarnje sate kada nema puno sunčevog zračenja sva proizvedena električna energija se troši na navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta, uz smanjenu frekvenciju električnih motora, odnosno pumpe nisu maksimalno opterećene. U podne, kada je maksimalna proizvodnja, pumpe za vodu rade maksimalnim kapacitetom te se pritisak vode održava u satima visokog sunčevog zračenja. U večernjim satima sustav reducira potrošnju, smanjujući snagu pumpi sve dok se sustav u potpunosti ne zaustavi.



Slika 3.6. Kupac s vlastitom proizvodnjom s upravljanjem potrošnjom, primjer sustava navodnjavanja

Prednosti kupca s vlastitom proizvodnjom s upravljanjem potrošnjom:

- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera
- Djelomična neovisnost od distributera
- Mogućnost izgradnje u ruralnim područjima bez distributivne mreže
- Gotovo bez održavanja i nadzora
- Ne doprinosi globalnom zatopljenju

Nedostatci kupca s vlastitom proizvodnjom s upravljanjem potrošnjom:

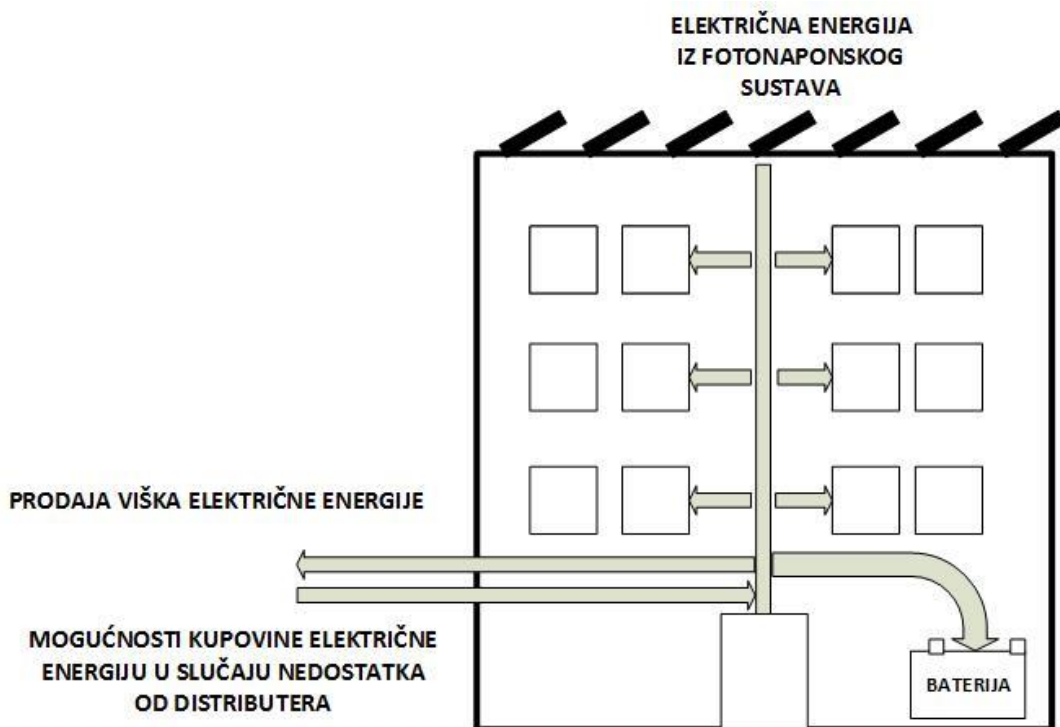
- Troškovi ulaganja su i dalje previsoki, iako konstantno opadaju

3.6. Stambena zgrada kao kupac s vlastitom proizvodnjom

Fotonaponski sustav je izgrađen na stambenoj zgradi u kojoj se troši proizvedena električna energija. Investitor u sustav je neka treća osoba, koja energiju prodaje stanarima dok višak pohranjuje u baterije i predaje u mrežu. Energija pohranjena u baterijama se troši noću kada nema proizvodnje električne energije. Sustav stambene zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom prikazan je na slici 3.7.

Elementi sustava:

- PV moduli
- Uređaji za praćenje Sunca
- PV pretvarači
- Baterijski pretvarači
- Baterija s baterijskim sustavom upravljanja
- Mjerna oprema
- Sustav upravljanja energijom
- Potrošnja



Slika 3.7. Stambena zgrada kao kupac s vlastitom proizvodnjom

Prednosti stambene zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom (stanari):

- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera
- Djelomična neovisnost od distributera, stabilna cijena električne energije
- Doprinos u izmjeni električne energije

Prednosti stambene zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom (investitori):

- Profitabilno ulaganje

Nedostatci stambene zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom:

- Može se primijeniti kod zgrada s više stanova
- Dug period povrata investicije
- Velik rizik za investitora jer stanari nisu obavezni kupiti električnu energiju proizvedenu iz fotonaponskog sustava

3.7. Koncept više kupaca s vlastitom proizvodnjom sa zajedničkom pohranom

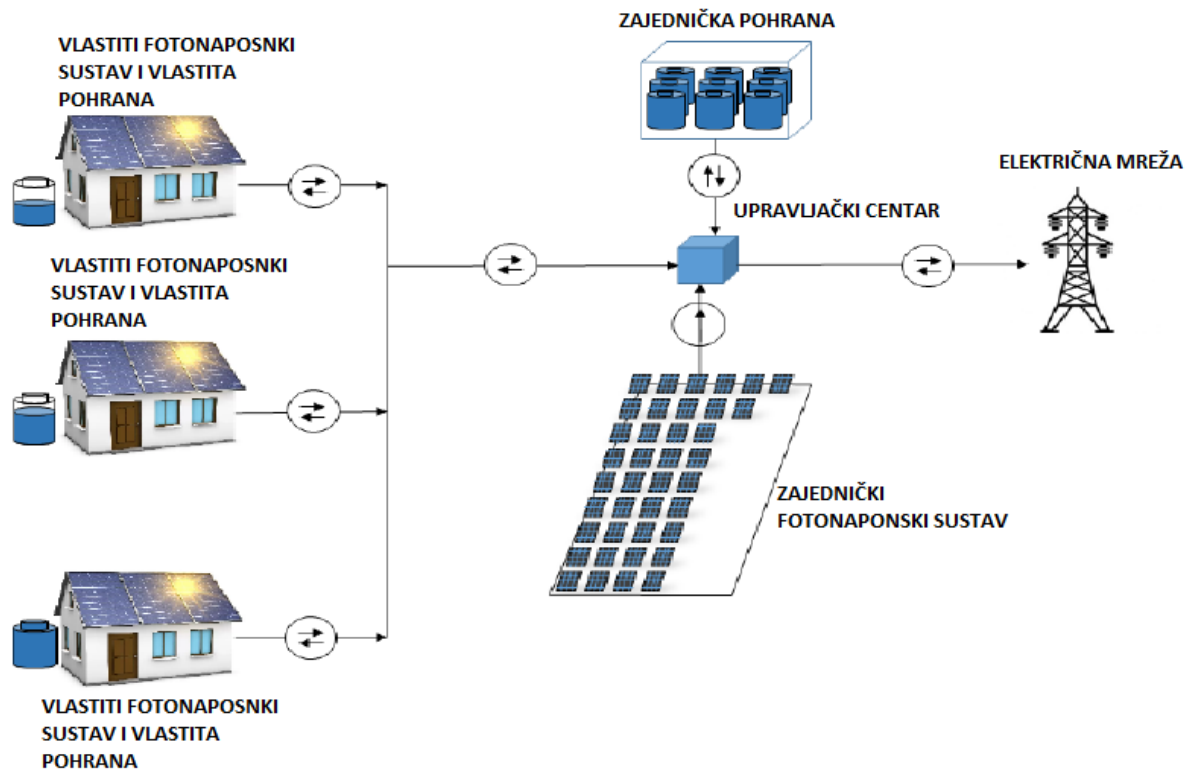
Nekoliko susjednih kućanstava može zajednički investirati u sustav za pohranu električne energije kako bi ju koristili kada nema dovoljne proizvodnje iz fotonaponskih sustava. Prednosti u odnosu na to da svaka kuća ima posebnu pohranu su da je cijena po kW sustava pohrane znatno jeftinija. Također, dodatno svaka kuća može imati i svoju manju pohranu ako ima drugačiji režim potrošnje. Ovakav sustav još nije u uporabi zbog regulatornih problema koji se moraju riješiti. Samo postoje pilot i demonstracijski projekti u Europi.

Elementi sustava:

- Zajednički ili samostalni fotonaponski sustav
- Uređaji za praćenje Sunca
- PV pretvarači
- Baterijski pretvarači
- pojedinačna pohrana
- zajednička pohrana
- mjerna oprema
- sustav upravljanja energijom i centralna kontrolna jedinica

- potrošnja

Slikom 3.8. je prikazano nekoliko susjednih kuća, svaka ima vlastiti fotonaponski sustav, vlastitu pohranu, te zajednički fotonaponski sustav i zajedničku pohranu. Ovakav sustav predstavlja duplu rezervu, energija iz mreže se kupuje jedino ako nema dovoljno proizvodnje, ako je prazna vlastita pohrana i ako je prazna zajednička pohrana.



Slika 3.8. Koncept više kupaca s vlastitom proizvodnjom s zajedničkom pohranom, [5].

Prednosti koncepta više kupaca s vlastitom proizvodnjom sa zajedničkom pohranom:

- Ušteda uzrokovana manjom potrebom za kupnjom električne energije od distributera
- Djelomična neovisnost od distributera
- Doprinos u izmjeni električne energije
- Dostupna rezerva električne energije u slučaju kvara na mreži
- Mogućnost dijeljenja troškova investicije između članova zajednice
- Jeftinija troškovi sustava pohrane

Nedostaci koncepta kupaca s vlastitom proizvodnjom sa zajedničkom pohranom:

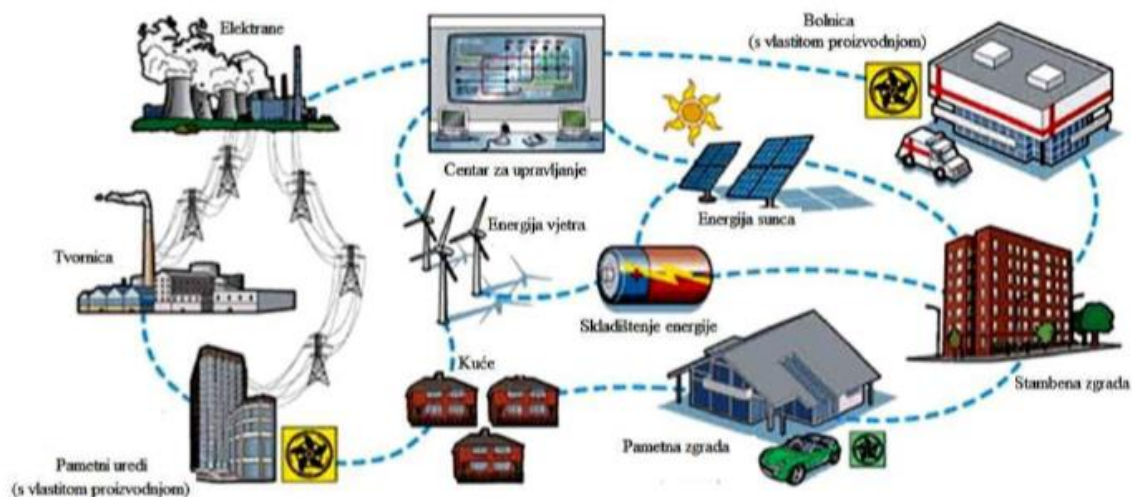
- Troškovi ulaganja su i dalje previsoki, iako konstantno opadaju i iako se dijele troškovi između članova zajednice
- Visoki porezi za instalaciju velikog fotonaponskog sustava

3.8. Koncept virtualnih elektrana (više kupaca s vlastitom proizvodnjom na tržištu električne energije)

Virtualna elektrana se može sastojati od nekoliko obnovljivih izvora energije na različitim geografskim lokacijama. Investitori koriste fleksibilnost proizvodnje električne energije iz različitih izvora kako bi prodali električnu energiju na tržištu, kao što je prikazano na slici 3.9. Drugim riječima, male elektrane se udružuju, kako bi postale konkurentne na tržištu neovisno o udaljenostima između njih.

Elementi sustava:

- Mali do srednjih veličina fotonaponskih sustava
- PV pretvarači
- Moguća potrošnja
- Brza mjerna oprema u točki priključka na mrežu
- Kontrolni (upravljajući) centar
- Mjerni uređaji
- Komunikacija s kontrolnim centrom
- Baterijski pretvarači
- Baterija s baterijskim sustavom upravljanja
- Potrošnja
- Lokalni sustav upravljanja energijom



Slika 3.9. Koncept virtualne elektrane, [6].

Prednosti koncepta virtualne elektrane:

- Vlasnik fotonaponske elektrane: optimizira troškove indirektnim sudjelovanjem na tržištu električne energije
- Vlasnik virtualne elektrane: maksimizira profit direktnim sudjelovanjem na tržištu električne energije
- Operator distributivnog sustava: optimizira rad sustava koristeći fleksibilnost virtualne elektrane
- Integracija i upravljanje velikim brojem distributivnih elektrana, realizirajući koncept kupca s vlastitom proizvodnjom

Nedostaci koncepta virtualne elektrane:

- Distribuirani i udaljeni fotonaponski sustavi, pohrana i opterećenje virtualne elektrane mogu dovesti do lokalnih problema u mreži s obzirom na visoku istovremenost
- Ugovorom je utvrđeno da vlasnik virtualne elektrane upravlja radom sustava proizvodnje ili čak i potrošnje, umjesto vlasnika elektrane
- Pouzdana komunikacijska infrastruktura je skupa i teško dostupna
- Kompliciran sustav mjerenja i naplate

4. UTJECAJ KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNjom NA STRUJNO-NAPONSKE PRILIKE

Priključivanjem kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom na distributivnu mrežu dolazi do promjena u distributivnoj mreži. Počevši od najveće promjene, promjene tokova snaga, pa do promjena strujno-naponskih prilika.

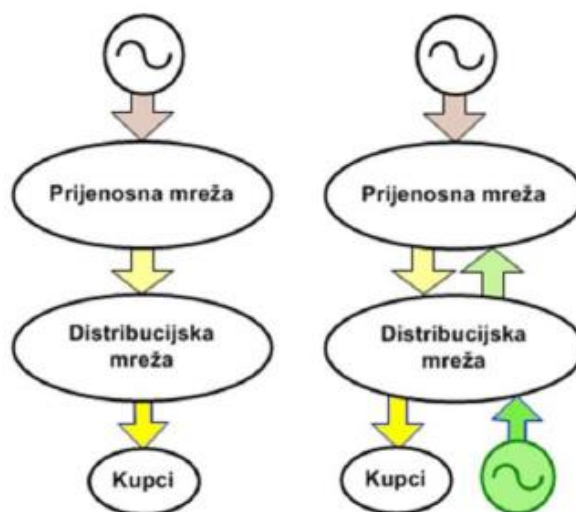
Porastom distribuirane proizvodnje, odnosno sve većim brojem priključenih kupaca s vlastitom proizvodnjom na distributivnu mrežu dolazi do sljedećih utjecaja na mrežu:

- Utjecaj na tokove snaga
- Utjecaj na naponske prilike
- Utjecaj na strujne prilike

4.1. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na tokove snaga

Integracijom distribuiranih izvora u elektroenergetski sustav distributivna mreža više nije pasivna, ona sudjeluje u proizvodnji te postaje aktivna. Snaga distribuiranog izvora mijenja tokove snaga u lokalnoj mreži, na način da oni mogu biti (Slika 4.1.): [6]

- Smanjeni – proizvodnja je manja od potrošnje, te se smanjuje tok snage kroz izvod
- Promijeniti smjer – proizvodnja je veća od potrošnje, javljaju se uzlazni tokovi snaga
- Povećani – s daljnjim porastom proizvodnje ili smanjenjem potrošnje povećavaju se uzlazni tokovi snaga



Slika 4.1. Pasivni i aktivni elektroenergetski sustav, [6].

Upravo fotonaponska elektrana je najbolji primjer utjecaja distribuirane proizvodnje na tokove snaga u mreži, jer ovisi o vremenskim uvjetima, te na distributivnom pojnom vodu može doći do više promjena smjera toka snage tijekom dana. Zbog toga je potrebno kontinuirano praćenje i analiziranje tokova snaga kako bi se moglo pravovremeno i učinkovito reagirati na učestale promjene.

Maksimalna proizvodnja iz distribuiranih izvora koja neće rezultirati neprihvatljivim preopterećenjem (uzlaznim tokom snaga kroz izvod) mora biti manja od zbroja snaga minimalne potrošnje i maksimalno dozvoljene snage (toka snage kroz izvod), [6]. Prije pojave distribuirane proizvodnje u obzir se uzimala samo maksimalna potrošnja, no sada, sve većom primjenom distribuirane proizvodnje minimalna potrošnja postaje izuzetno bitna za sustav, njegovo vođenje i planiranje. Upravo o minimalnoj potrošnji na nekom pojnom vodu ovisi koliku snagu možemo priključiti na tom mjestu u distributivnoj mreži, odnosno kolika je razina integracije.

4.2. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na naponske prilike

Priključenje distribuiranih izvora u mrežu obično ima efekt podizanja napona na mjestu priključka, što kao posljedicu može imati pojavu prenapona kod električki bliskih potrošača. Najveći problemi s porastom napona događaju se tijekom minimalnih opterećenja. Ponovo dolazimo do pojma razina integracije, koja ne smije prekoračiti vrijednost proizvodnje koju je moguće priključiti u određeni sustav a da ne dođe do neželjenih posljedica i do naponskih nestabilnosti. Regulacijom napona možemo povećati razinu integracije na određenom mjestu u distributivnoj mreži, koristeći određene metode:[6]

- Regulacija napona promjenom prijenosnog omjera transformatora
- Regulacija napona izgradnjom novih izvoda ili povećanjem presjeka postojećih izvoda / snage transformatora
- Regulacija napona regulacijom djelatne i jalove snage
- Koordinacija više metoda

4.3. Utjecaj kupca s vlastitom proizvodnjom na strujne prilike

Pod utjecajem na strujne prilike podrazumijeva se termička izdržljivost komponenata koja ne ovisi samo o toku snage, odnosno struje, nego i o okolinskim uvjetima. Sve dijelove mreže moguće je opteretiti do određene granice kako bi se očuvala stabilnost prijenosa električne energije. Proračun presjeka vodova, kabela i pripadajuće zaštite ovisi o dozvoljenoj termičkoj struji, tj. najvećoj dopuštenoj struji koja neće oštetiti komponentu kroz koju teče. U mrežama nižeg napona obično su vodovi i kabela predimenzionirani u smislu termičkih granica. Razlog predimenzioniranja je održavanje napona potrošača u granicama, te gubici energije su manji ako se koristi veći vodič. Analiza troškova investicije i troška gubitaka energije kroz životni vijek obično pogoduje predimenzioniranju. Kod transformatora je nešto složenija situacija, jer su oni odabrani da rade poprilično termički opterećeno, zbog velikih gubitaka praznog hoda i male učinkovitosti kada je slabo opterećen. Radi toga daljnja integracije distribuirane proizvodnje može biti ograničena termičkim granicama transformatora.

Metode za smanjenje strujnih opterećenja i povećanje razine integracije: [6]

- Povećanje sposobnosti opterećenja vodova, dinamička sposobnost opterećenja i izgradnja novih veza
- Dinamička uzdužna i poprečna kompenzacija
- Sustavi za upravljanje energijom
- Upravljanje potražnjom i skladištenje energije
- Prespajanje i napredna zaštita

5. PRORAČUN UTJECAJA KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

5.1. Osnovno o TYPHOON HIL

Typhoon HIL (eng. *Hardware In Loop*) kontrolni centar integrira sve standardne softverske komponente. Kontrolni centar programskog paketa Typhoon HIL na početnom zaslonu aplikacije otvara zaslon dobrodošlice (Slika 5.1.), koji sadrži prečace do svih standardnih komponenti alata.



Slika 5.1. Typhoon HIL kontrolni centar

Zaslon dobrodošlice sadrži prečace za sljedeće alate:

- Schematic Editor,
- HIL SCADA (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition*),
- TyphoonTest IDE,
- Test Suite.

Schematic Editor predstavlja dio softverskog alata Typhoon HIL u kojemu se mogu modelirati strujni krugovi, distribucijske mreže kao i upravljačke i komunikacijske mreže. Mreže izrađene u schematic editoru mogu se simulirati u realnom vremenu s vremenskim pomakom od 1 μ s.

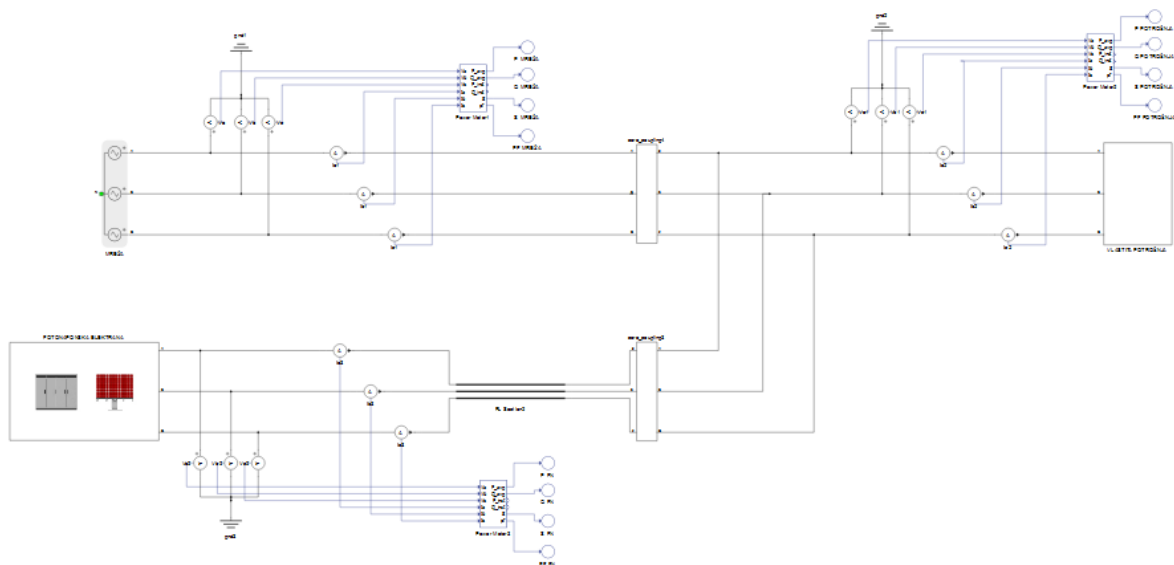
U knjižici komponenti Schematic Editor-a u može se pronaći bogata zbirka elemenata. Neki od tih elemenata su linearne, nelinearne i vremenski promjenjive pasivne komponente, strujne i naponske izvore, mjerne komponente, izvođače, prekidače, sve do višeslojnih pretvarača, višefaznih strojeva, transformatora s višestrukim namotima i razni prijenosni vodovi te još mnogo toga. Svi elementi su potpuno parametrirani i spremni za prenošenje i spuštanje u shemu.

HIL SCADA predstavlja dio softverskog alata Typhoon HIL koji olakšava kontrolu i rekonfiguriranje u hodu, vizualiziranje rezultata i izradu test procedura pomoću Python programabilnih akcijskih gumba. Uz širok raspon elemenata, HIL SCADA omogućuje stvaranje

vlastitog sučelja. Svaki pojedini element korisničkog sučelja može se slobodno uređivati, mijenjati i programirati, dajući potpunu slobodu u načinu na koji se nadzire simulaciju i kako komunicirate s njom.

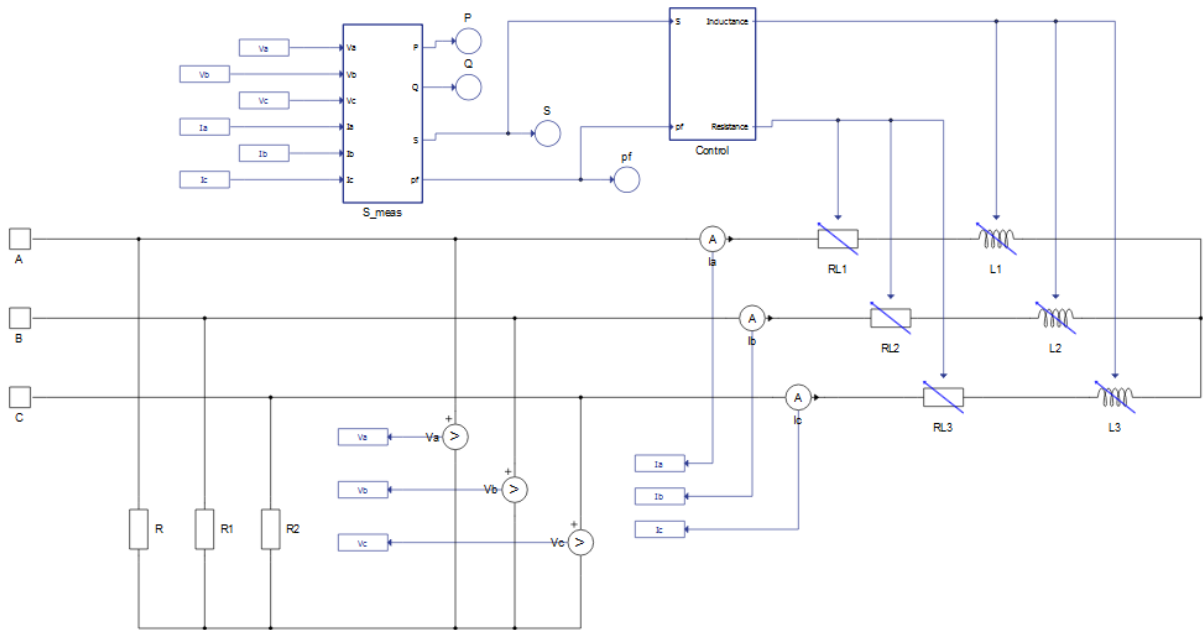
5.1.1. Shema spoja kupca s vlastitom proizvodnjom s mrežom u Schematic Editoru

Na slici 5.2. prikazana je shema spoja fotonaponske elektrane i vlastite potrošnje s distributivnom mrežom. Također su prikazana mjesta na kojima se vrše mjerenja, te nama najbitnije mjesto je spoj kupca s vlastitom proizvodnjom s mrežom (mjesto priključka). Na tom mjestu promatramo utjecaj distribuirane proizvodnje na mrežu.



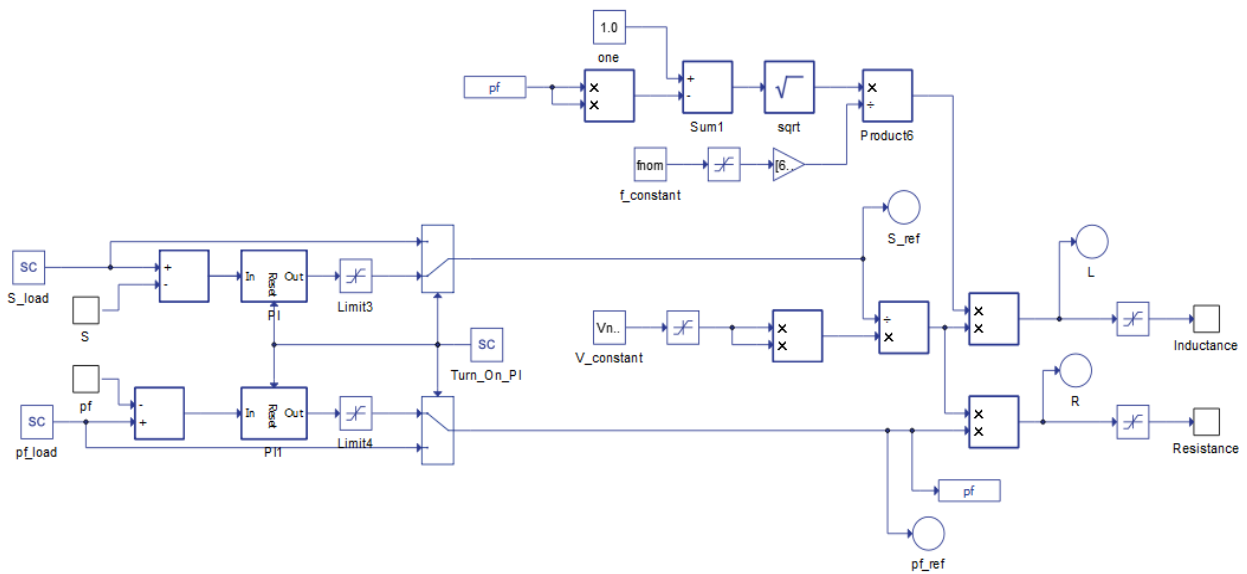
Slika 5.2. Shema spoja fotonaponske elektrane i vlastite potrošnje s mrežom

U Schematic Editoru vlastita potrošnja sustava modelirana je promjenjivim otporima i induktivitetima (Slika 5.3.) koji poprimaju vrijednost ovisno o ulaznim varijablama koje dolaze iz HIL SCADA-e, te koje smo prethodno izmjerili i unijeli u program.



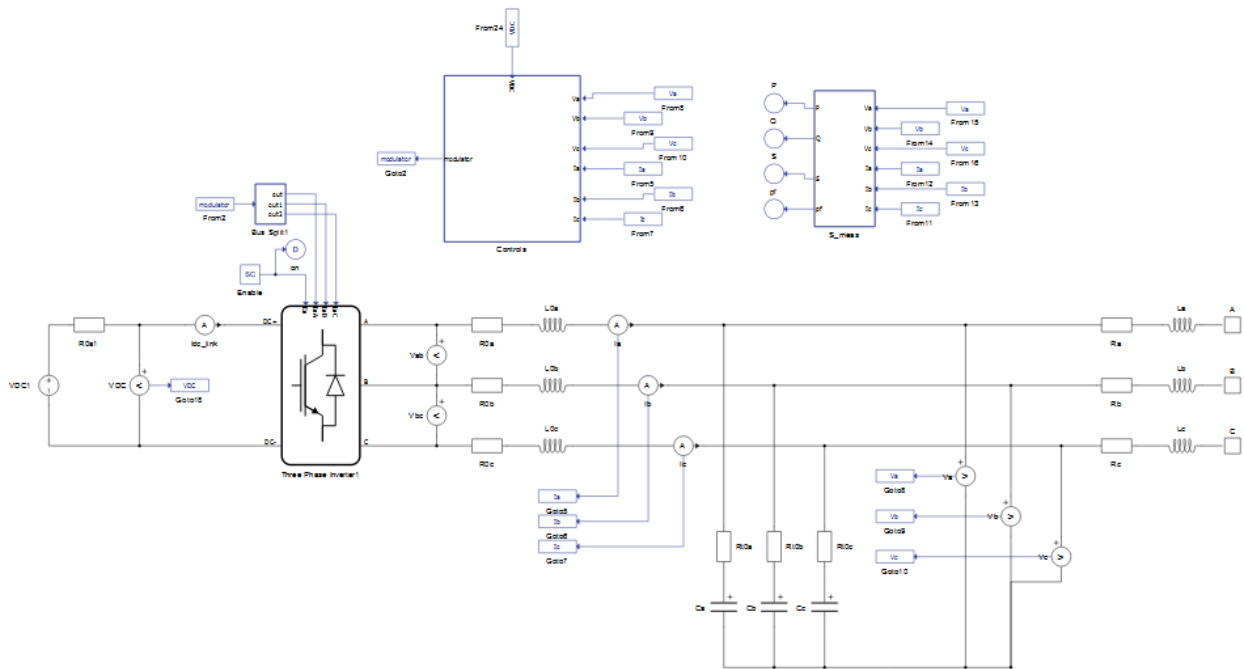
Slika 5.3. Shema vlastite potrošnje

Učitavanje podataka se vrši u kontrolnom podsustavu vlastite potrošnje koji je prikazan na slici 5.4. Iz HIL SCADA-e učitava se prividna snaga i faktor snage, nakon toga Schematic Editor matematičkim operacijama proračunava vrijednost otpora i induktiviteta. Promjenjivi otpori i induktiviteti poprimaju proračunate vrijednosti i na taj način modelirana je potrošnja kupca s vlastitom proizvodnjom.



Slika 5.4. Shema kontrolnog sustava vlastite potrošnje

Fotonaponska elektrana modelirana je modelom realnog naponskog izvora koji se sastoji od idealnog naponskog izvora i serijski spojenog otpornika koji su spojeni na trofazni izmjenjivač. Gubici u izmjenjivaču i ostali gubici modelirani su otpornicima i zavojnicama, te je modelirano umjetno zvjezdište pomoću otpornika i kondenzatora za mjerenja koja se prikazuju u SCADA – i. (Slika 5.5.).



Slika 5.5. Shema fotonaponske elektrane

Model kontrolnog sustava fotonaponske elektrane prikazan je na slici 5.6. Njegov najvažniji dio su ulazne varijable koje, kao i kod vlastite potrošnje, dobiva iz HIL SADA-e. Ulazni podaci su jakost sunčevog zračenja i površina fotonaponske elektrane. Uz to možemo još definirati stupanj učinkovitosti fotonaponske elektrane.

Slika 5.7. prikazuje prozor *Panel initialization dialog*. U početnom dijelu definiramo osnovne varijable, kao što su *counter* i *wait*. Brojač (eng. *counter*) na početku je definiran na nulu, i on broji iteracije simulacije. Čekanje (eng. *wait*) definira koliko je vrijeme čekanja između iteracija, odnosno učitavanja sljedeće vrijednosti ulaznih varijabli. Nakon toga definirana je naredba *read_csv* koja traži i otvara datoteku u kojoj se nalaze ulazne vrijednosti simulacije. Sljedeća naredba je *write_csv* koja upisuje zadane rezultate simulacije u novu datoteku. Te na kraju treba definirati imena datoteka u kojima se nalaze ulazni podaci simulacije. U ovom slučaju to je jakost sunčevog zračenja i profil potrošnje.

```

1
2 import numpy
3 SETTINGS_DIR = get_settings_dir_path()
4 counter = 0
5 counter2 = 0
6 counter3 = 0
7 wait = 0 #450 # wind speed, irradiation and capturing waiting time in seconds
8 wait2 = 0 #1800 #load profile waiting time in seconds
9 Data = [['Beginning', 'Time', 'P_fotonapon', 'P_mreza', 'P_load',
10 'I_fotonapon', 'I_mreza', 'I_load', 'Napon', 'Ending']]
11 import numpy as np
12
13 def read_csv(file_path):
14     lookup_file = open(file_path, 'r')
15     calc_res = lookup_file.readlines()
16     lookup_file.close()
17     calc_res = np.array(calc_res).astype(float)
18     return calc_res
19
20 def write_csv(file_path, data_array):
21     file = open(file_path, 'w')
22     for i in range(len(data_array)):
23         file.write(str(data_array[i]) + '\n')
24     file.close()
25     printf(SETTINGS_DIR)
26
27 file_data2 = read_csv(SETTINGS_DIR + "/solar_isolation.txt")
28 file_data3 = read_csv(SETTINGS_DIR + "/Load_profile.txt")

```

Buttons: Edit in Code Editor, Check code syntax, Run initialization script, Ok, Cancel

Slika 5.7. *Panel initialization dialog*

Nakon toga potrebno je za svaki ulazni podatak u SCADA-i prilagoditi jedan *Macro widget* element, te upisati kod za učitavanje podataka. Na slici 5.8. prikazan je upisan kod za učitavanje sunčeva zračenja koja pomoću naredbe *hil.set_scada_input_value* učitava vrijednost iz datoteke, množi ju s 1000 jer su učitane vrijednosti u kW/m², te ta vrijednost dolazi u kontrolni sustav fotonaponske elektrane (Slika 5.6.).

```

2
3 #.HIL.Control.Panel.API
4
5
6 global file_data2
7 global counter
8
9
10 hil.set_scada_input_value('PV.Controls.Irradiation', file_data2[counter]*1000.0)
11
12 #hil.wait_sec(wait)
13 #counter += 1
14
15 if counter > len(file_data3) - 1:
16     hil.set_scada_input_value('PV.Controls.Irradiation', 0)
17
18

```

On Start On Click On Timer On Stop

Edit in Code Editor Check code syntax

Slika 5.8. *Macro widget* element za učitavanje sunčevog zračenja

Slika 5.9. prikazuje *Macro widget* element koji učitava potrošnju iz datoteke. Definiran je da učitava prividnu snagu, a faktor snage upisujemo izravno u *Macro widget*. Isto kao i za jakost sunčevog zračenja, učitane podatke potrošnje učitava u kontrolni sustav vlastite potrošnje (Slika 5.4.)

```

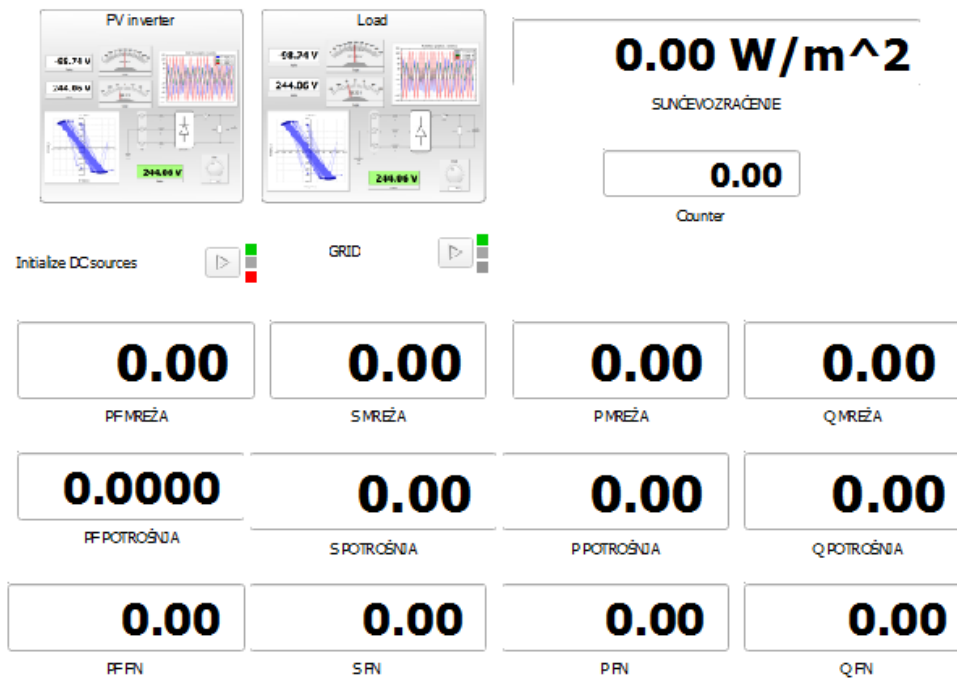
1 #.NOTE: The code specified in this handler will be executed on timer event.
2
3 #.HIL.Control.Panel.API
4
5 global file_data3
6 global counter2
7 global counter
8
9 hil.set_scada_input_value('Variable_Load.Control.pf_load', 1)
10 hil.set_scada_input_value('Variable_Load.Control.S_load', file_data3[counter])
11
12 #hil.wait_sec(wait2)
13 counter += 1
14
15 if counter > len(file_data3) - 1:
16     hil.set_scada_input_value('Variable_Load.Control.S_load', 0)

```

On Start On Click On Timer On Stop

Slika 5.9. *Macro widget* element za učitavanje vlastite potrošnje

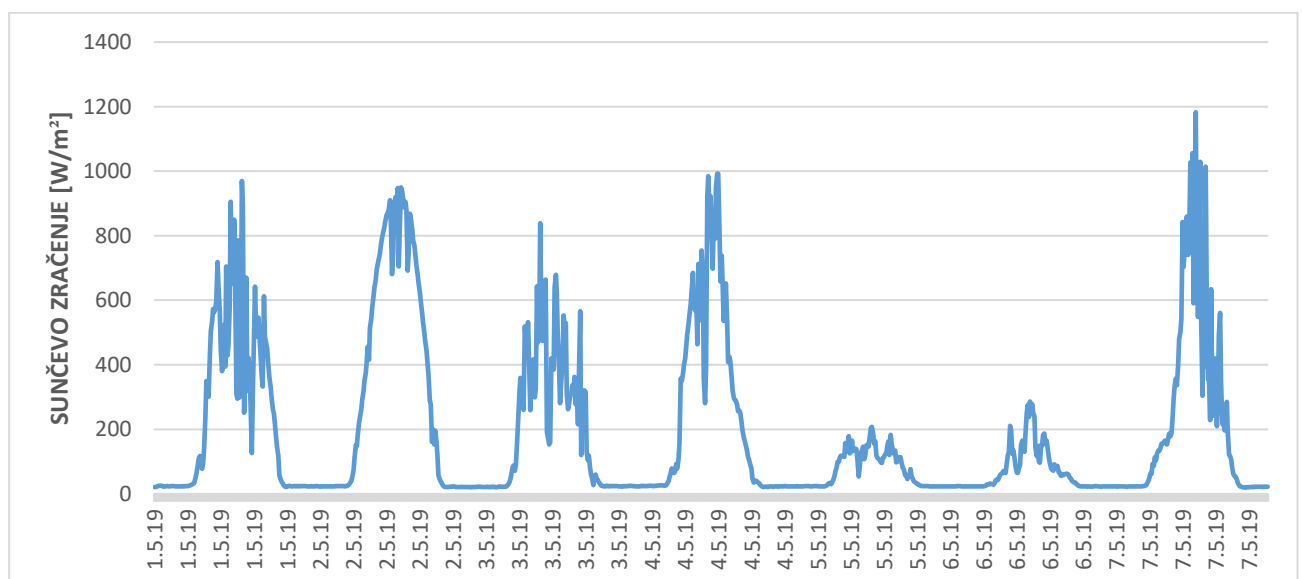
Na slici 5.10. prikazana je HIL SCADA s najbitnijim mjerenjima. Prividna, radna i jalova snaga kao i faktor snage na mjestima spoja mreže, potrošnje i fotonaponske elektrane, kao i jakost sunčevog zračenja.



Slika 5.10. Mjerenja u HIL SCADA

5.2. Unos mjerenih podataka u Typhoon HIL

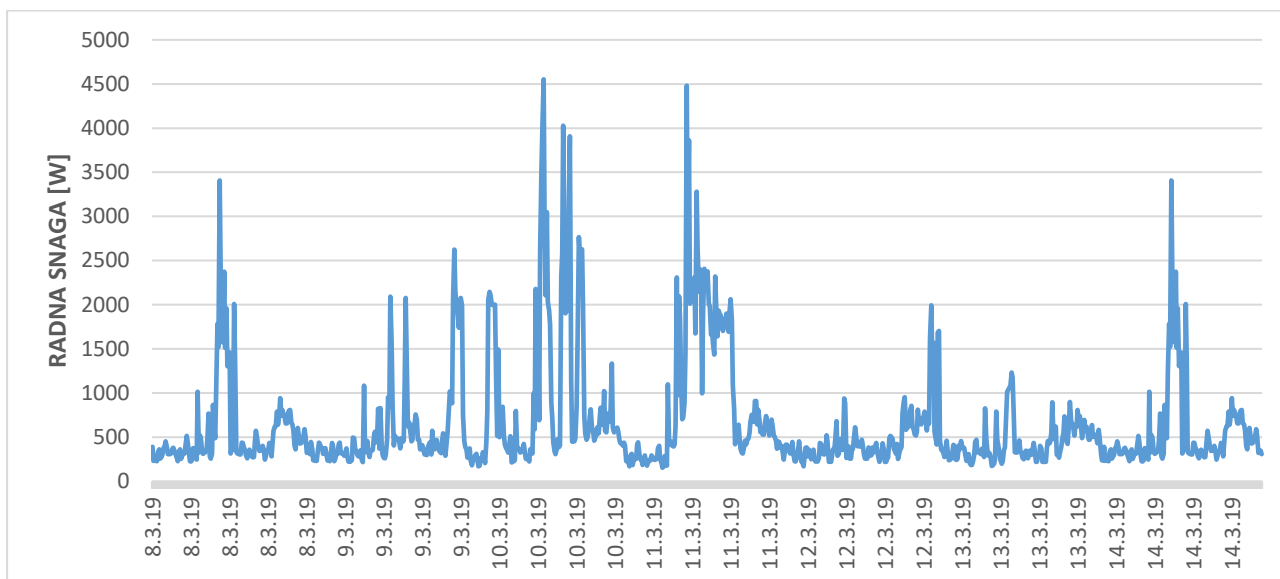
Kao podatke za mjerenje koristimo jakost sunčevog zračenja (Slika 5.11.) mjereno na fotonaponskoj elektrani koja se nalazi na zgradi fakulteta. Podaci su uzeti za tjedan dana, od 1.5.2019. do 7.5.2019. godine. Kao što se vidi na grafu, imao jedan relativno sunčan dan, četiri promjenjiva dana, te dva oblačna dana kada je najveće zračenje nešto iznad 200W/m².



Slika 5.11. Profil Sunčevog zračenja

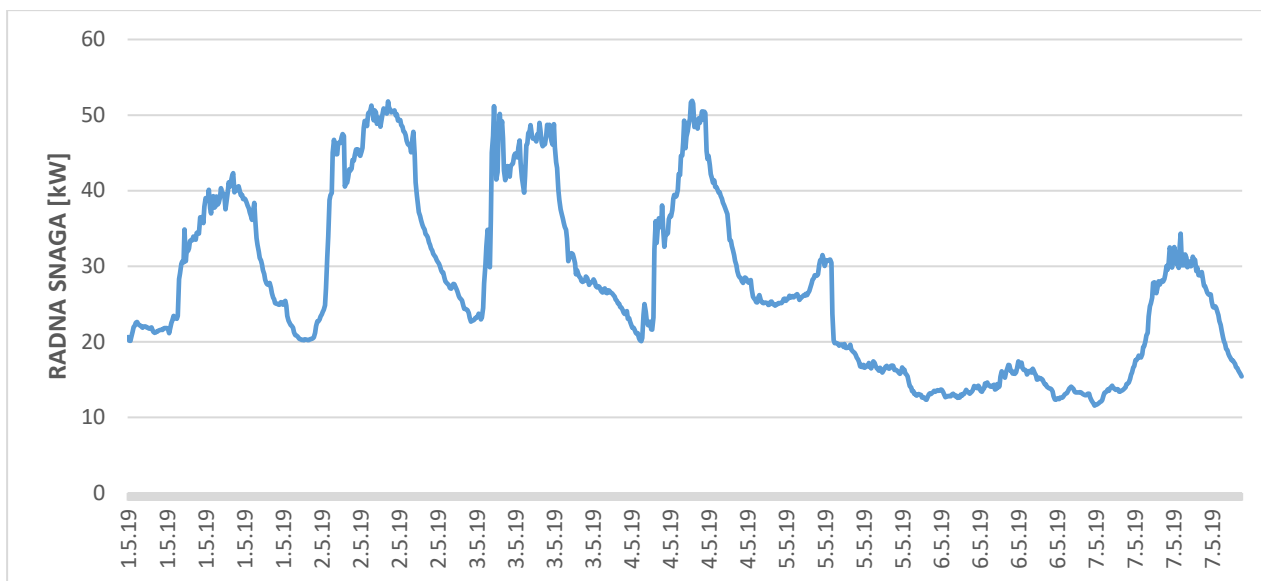
Za podatke potrošnje kućanstva uzimamo mjerene podatke potrošnje obiteljske kuće iz Osijeka (Slika 5.12.), te podatke potrošnje zgrade fakulteta čiji je profil prikazan na slici 5.13. Za navedene podatke uzeli smo srednje desetominutne vrijednosti mjerene kroz sedam dana, stoga se i simulacija izvršava tako da simulira promjenu proizvodnje fotonaponske elektrane istovremenom promjenom potrošnje kućanstva unutar sedam dana.

Profil potrošnje kućanstva kao što je prikazan na slici (Slika 5.12.) je karakterističan za većinu kućanstava, s puno skokovitih povećanja te nepredvidljivom promjenom potrošnje. Primjer je uključenje i isključenje pećnice, u jednom trenutku je potrošnja nekoliko kW, dok u drugom trenutku potrošnja može pasti na nulu. Potrošnja je mjerena od 8.3.2019. do 14.3.2019. godine.



Slika 5.12. Profil opterećenja kućanstva

Za razliku od profila potrošnje kućanstva, profil potrošnje zgrade fakulteta (Slika 5.13.) ima blaže promjene opterećenja. Potrošnja zgrade nikad ne pada ispod 10kW, zbog raznih servera koji se nalaze u zgradi i koji konstantno rade. Osim toga jasno se uočava kada u zgradi ima studenata i djelatnika, potrošnja odmah drastično raste. Vremenski period potrošnje je isti kao i za hakost sunčevog zračenja, od 1.5.2019. do 7.5.2019. godine.



Slika 5.13. Profil potrošnje zgrade fakulteta

5.3. Rezultati simulacije

U prvom slučaju snaga fotonaponskog elektrane odgovara vršnoj potrošnji kućanstva u promatranom tjednu, odnosno 4,5 kW. Učinkovitost fotonaponskog sustava je 15%, a površina fotonaponskih panela iznosi 30m². Nakon izvršavanja simulacije odabrano je tri karakteristična dana koji su detaljnije analizirani, jedan relativno sunčan dan, jedan promjenjiv dan, te oblačan dan. Drugi slučaj je simulacija fotonaponske elektrane na zgradi fakulteta s trenutnom potrošnjom zgrade. Površina elektrane iznosi 100m² te je snage 15kW.

Izlazna snaga elektrane izračunava se prema formuli, [1]:

$$P_{fn} = A \cdot G \cdot \eta \quad (5-1)$$

gdje je: A – površina fotonaponskih panela [m²],

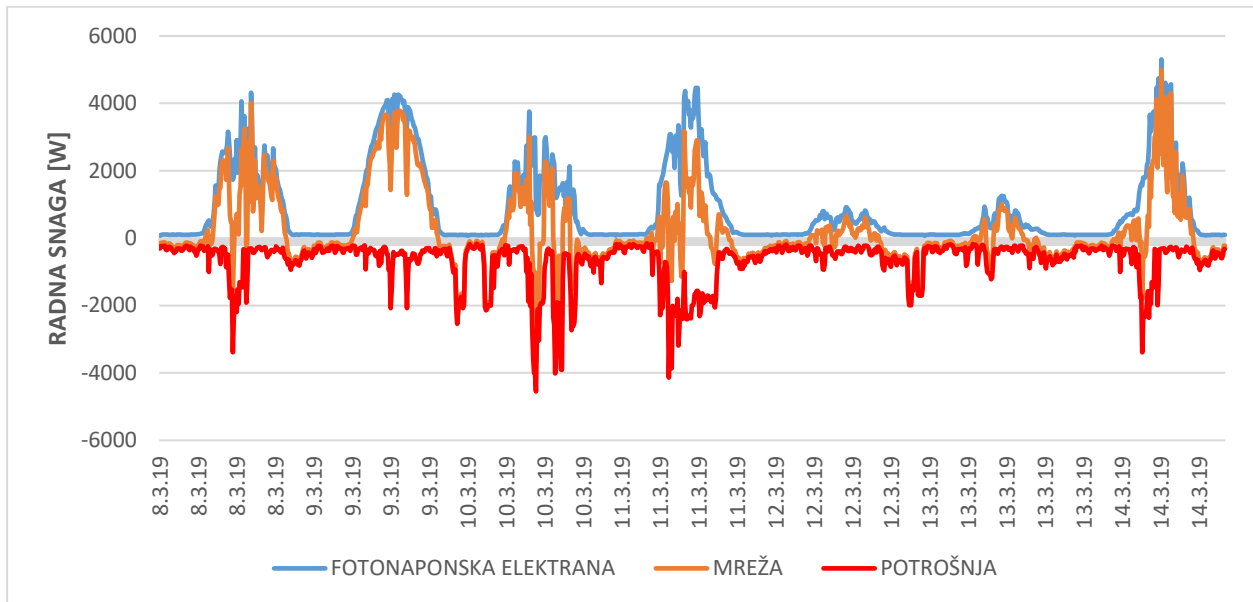
G – jakost sunčeva zračenja [W/m²],

η – stupanj iskoristivosti fotonaponskog sustava.

5.3.1. Simulacija obiteljske kuće kao kupca s vlastitom proizvodnjom

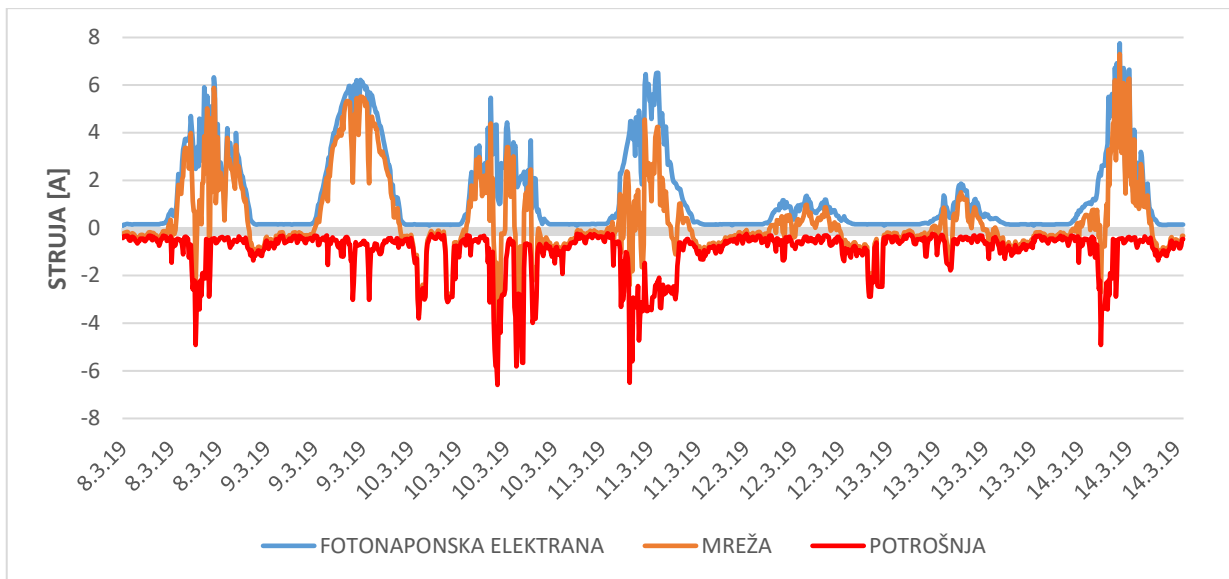
Na sljedećim slikama će biti prikazani rezultati simulacije za cijeli promatrani tjedan, a radi boljeg prikaza rezultata, pošto je vrijeme od jedan tjedan na grafu relativno veliko, detaljnije su analizirana tri karakteristična dana, sunčan, promjenjiv i oblačan dan.

Slika 5.14. prikazuje tok snaga fotonaponskog elektrane mreže i potrošnje. Potrošnja je definirana negativno, jer se energija troši, proizvodnja iz fotonaponske elektrane je definirana pozitivno jer se proizvodi energija, dok energija koja se predaje u mrežu je pozitivna, a kad se uzima iz mreže je negativna. Iz grafa se vidi da je svaki dan drugačiji, što je vrlo čest slučaj, od sunčanog dana s puno proizvodnje iz fotonaponske elektrane, pa do oblačnih dana gdje proizvodnja nije dostatna ni za pokrivanje potrošnje kućanstva.



Slika 5.14. Tok snaga kroz promatrani tjedan

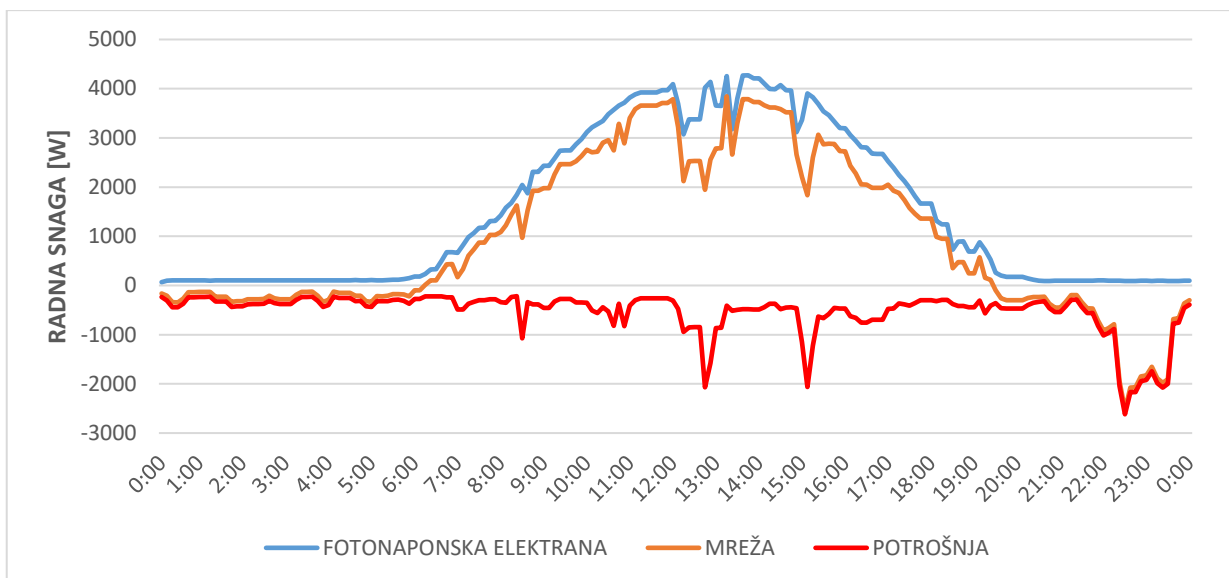
Graf promjene toka struja fotonaponske elektrane, mreže i potrošnje prikazan je na slici 5.15. Kako se mijenja potrebna snaga trošila ili proizvedena snaga fotonaponskog sustava, tako se i mijenjaju struje. Predznaci struja su identični predznacima snaga. Potrošnja troši struju pa je negativna, fotonaponska elektrana proizvodi struju stoga je struja pozitivna, te struja koja dolazi iz mreže je negativna, a kada odlazi u mrežu je pozitivna.



Slika 5.15. Promjena toka struje kroz promatrani tjedan

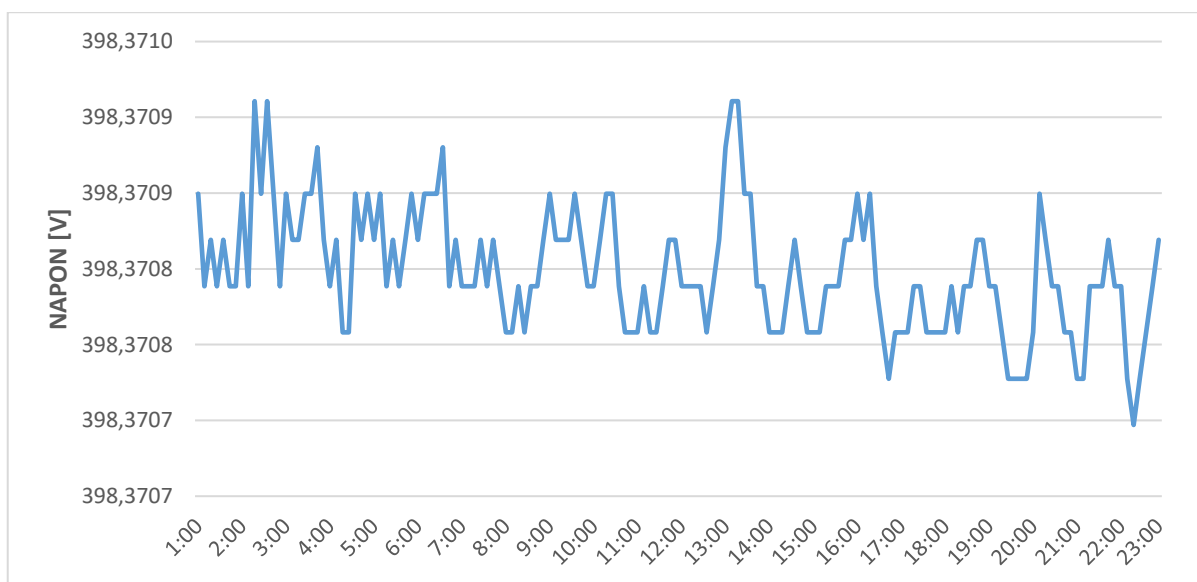
Prvi primjer je sunčan dan, kada imamo manje oscilacije proizvodnje između 12:00 i 16:00 sati. U vrijeme najvećeg sunčevog zračenja proizvodnja ne doseže 4,5kW, jer ni jakost sunčevog zračenja ne doseže vrijednost od 1000W/m². Potrošnja ima dva slučaja kada se poveća na kratko vrijeme, u 13:00 i 15:30 sati, te oko 23:00 sata kada je velika potrošnja u trajanju od otprilike jedan sat.

Slika 5.16. prikazuje tokove snaga na mjestu priključka kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom s mrežom, na izlazu iz fotonaponske elektrane i na ulazu u potrošnju. Iz grafa se vidi da u noćnim satima kada praktički nema proizvodnje sva potreba za električnom energijom se pokriva iz mreže, a za vrijeme kada imamo proizvodnju iz fotonaponske elektrane višak se predaje u mrežu. Najveća potrošnja se događa u večernjim satima, odnosno oko 23:00 sata kada nemamo proizvodnje te se ta količina energije mora pokriti iz mreže.



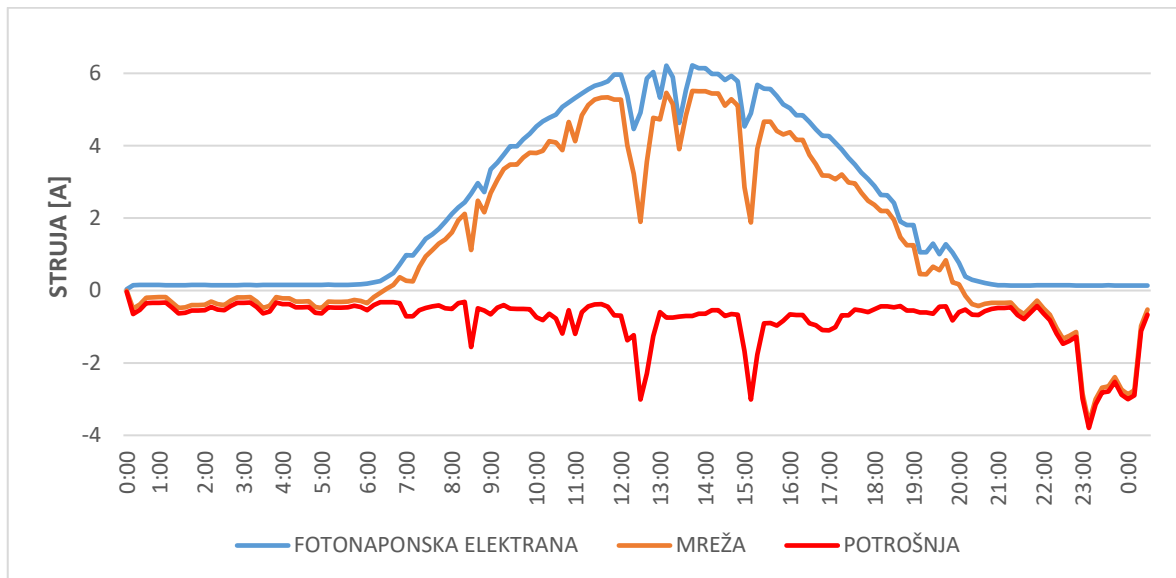
Slika 5.16. Tok snage za sunčan dan

Na slici 5.17. prokazana je promjena napona. Ovdje treba rezultate vjerojatno zanemariti jer su promjene napona minimalne, te povećanje proizvodnje odnosno uzlazni tok snage nema nikakvog utjecaja na napon u mreži. Razlog tome je nemogućnost podešenja mreže u programskom paketu Typhoon Hil, odnosno, program mrežu predstavlja beskonačno jaku, što znači da elektrana od 4,5kW nema nikakav utjecaj.



Slika 5.17. Promjena napona za sunčan dan

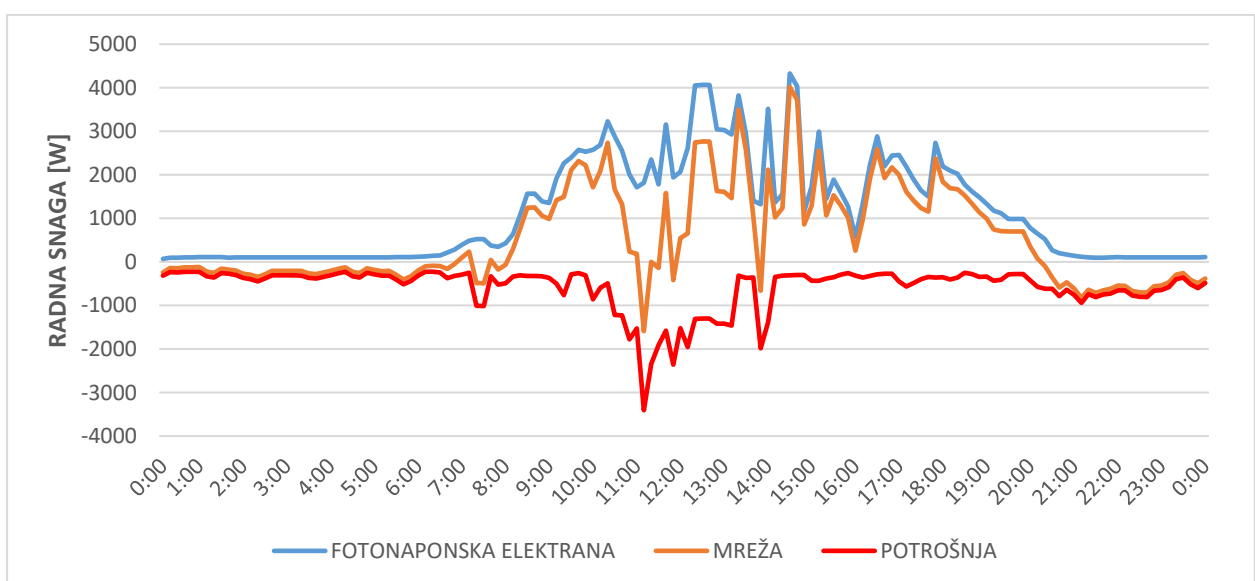
Promjena toka struje (Slika 2.18.) prati promjenu proizvodnje iz fotonaponske elektrane. Struja prilikom veće proizvodnje od potrošnje odlazi u mrežu, dok u obrnutom slučaju dolazi iz mreže da pokrije potrebe potrošača.



Slika 5.18. Promjena toka struje za sunčan dan

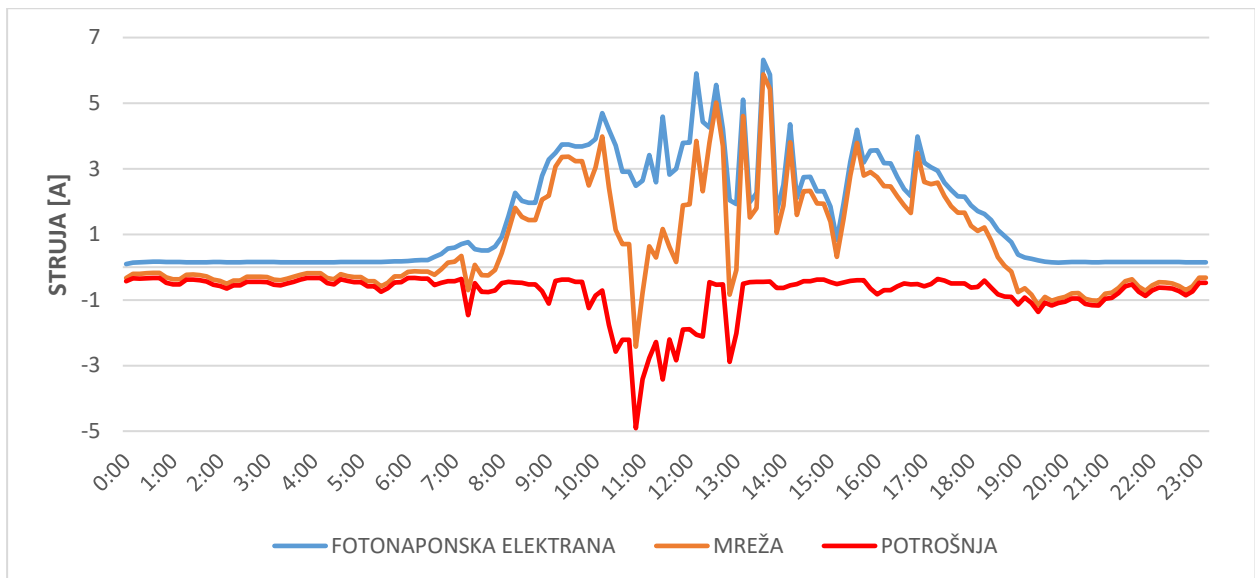
Na sljedećim slikama bit će prikazano tokovi snaga i struja za promjenjiv dan. U ovom slučaju jakost sunčevog zračenja se mijenja kroz cijeli dan, od 150W/m^2 do 850W/m^2 .

Na grafu tokova snaga (Slika 2.19.) vidimo promjenu proizvodnje, koja se mijenja od 1kW do 4kW . Oko 11:30 sati dolazi do povećane potrošnje, te potrošnja prelazi 3kW , u tom trenutku proizvodnja je ispod 2kW što znači da se nedostatak energije mora nadoknaditi iz mreže. U tom trenutku se mijenjaju tokovi snaga.



Slika 5.19. Tok snaga za promjenjiv dan

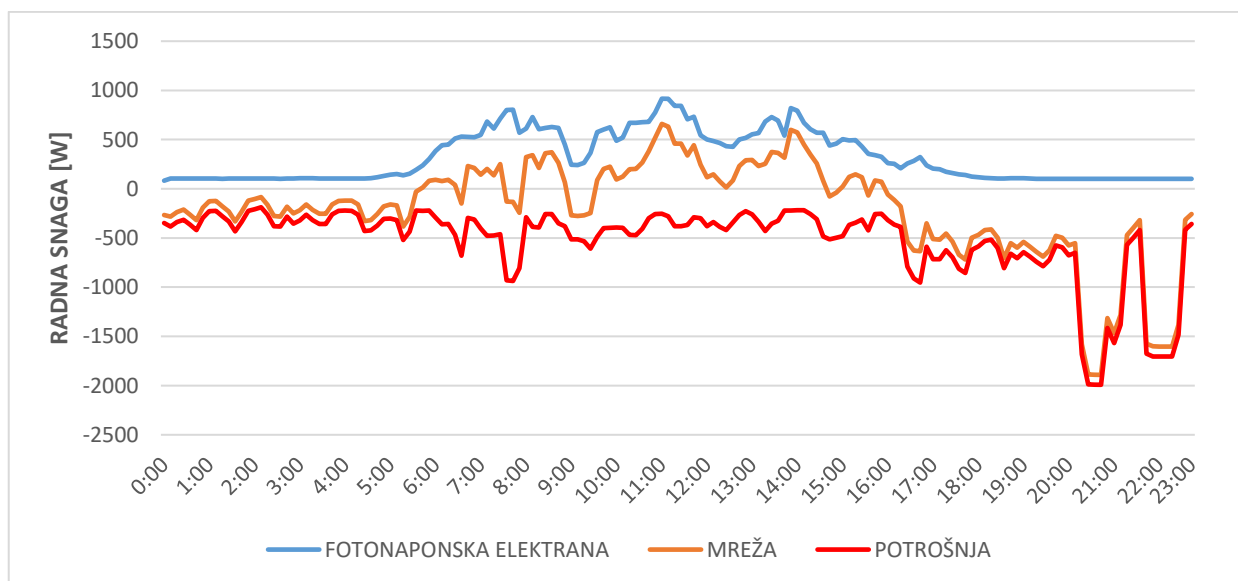
Iz slike 5.20. koja prikazuje tok struje, vidimo da struja ima puno više oscilacija nego u prošlom slučaju. Najveći vrh struje mreže je oko 14:30 sati kada imamo veliku proizvodnju struje iz fotonaponskog sustava, a malu potrošnju, što znači da puno struje se predaje u mrežu. Oko 11:30 sati dolazi do uključivanja nekog velikog potrošača, kojemu je potrebno puno struje, mala je količina proizvedene struje iz fotonaponskog sustava, pa se potrebna količina struje nadoknađuje iz mreže.



Slika 5.20. Promjena toka struje za promjenjiv dan

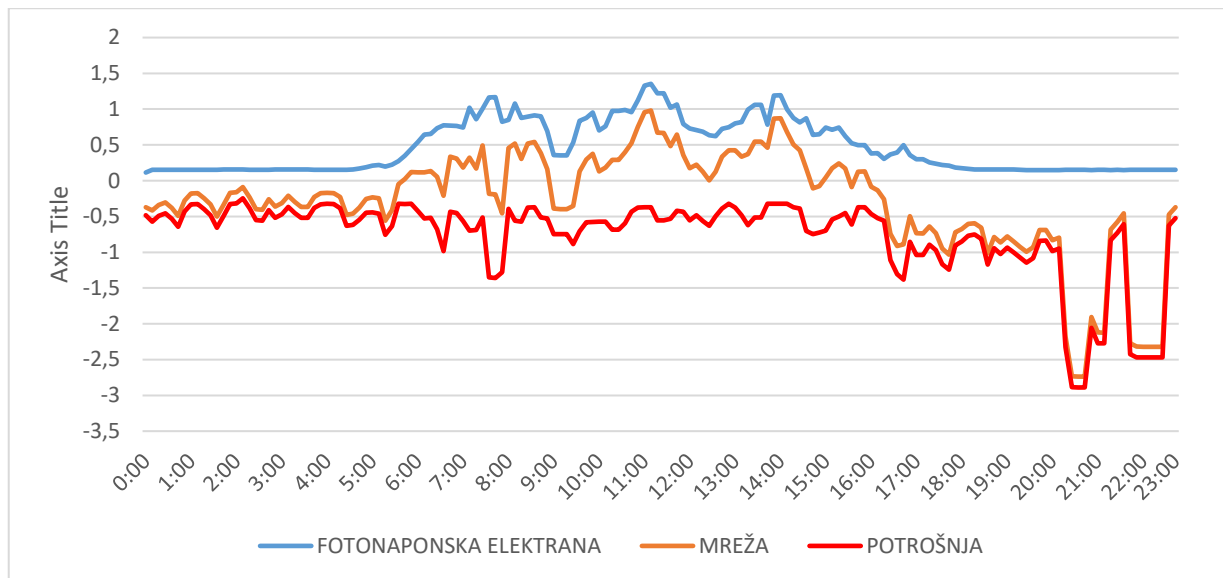
Posljednji primjer je oblačan dan, kada jakost sunčevog zračenja neprelazi 250W/m^2 .

Slika 5.21. prikazuje tokove snaga, na kojima se vidi da se tokovi mijenjaju nekoliko puta kroz dan. Za vrijeme najvećeg sunčevog zračenja proizvodnja neprelazi 1500kW . Također, ni potrošnja nije previsoka, ali već oko 16:00 sati pa nadalje potrošnja je veća od proizvodnje.



Slika 5.21. Tok snaga za oblačan dan

Na slici 5.22. primjećujemo da je vrijednost struje puno manja nego u prethodnim slučajevima. Razlog tome je što je potrošnja mala, isto tako nema velike proizvodnje iz fotonaponskog sustava što znači da je vrlo mala razlika između potrošnje i proizvodnje, te se vrlo malo struje uzima iz mreže ili predaje u mrežu.

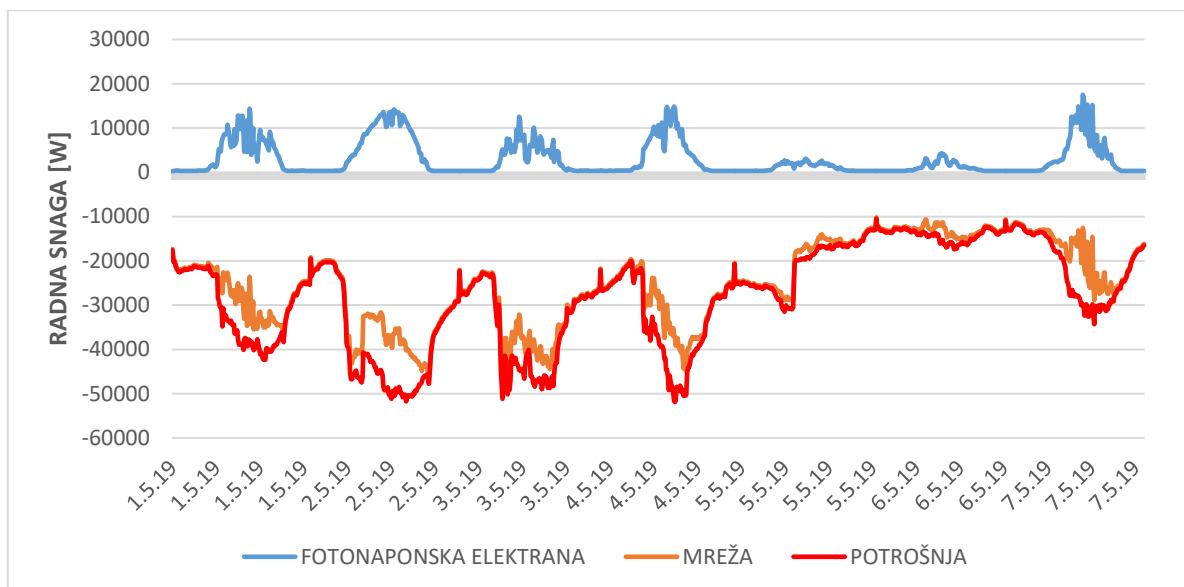


Slika 5.22. Promjena toka struje za oblačan dan

5.3.2. Simulacija javne (državne) zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom (zgrada fakulteta)

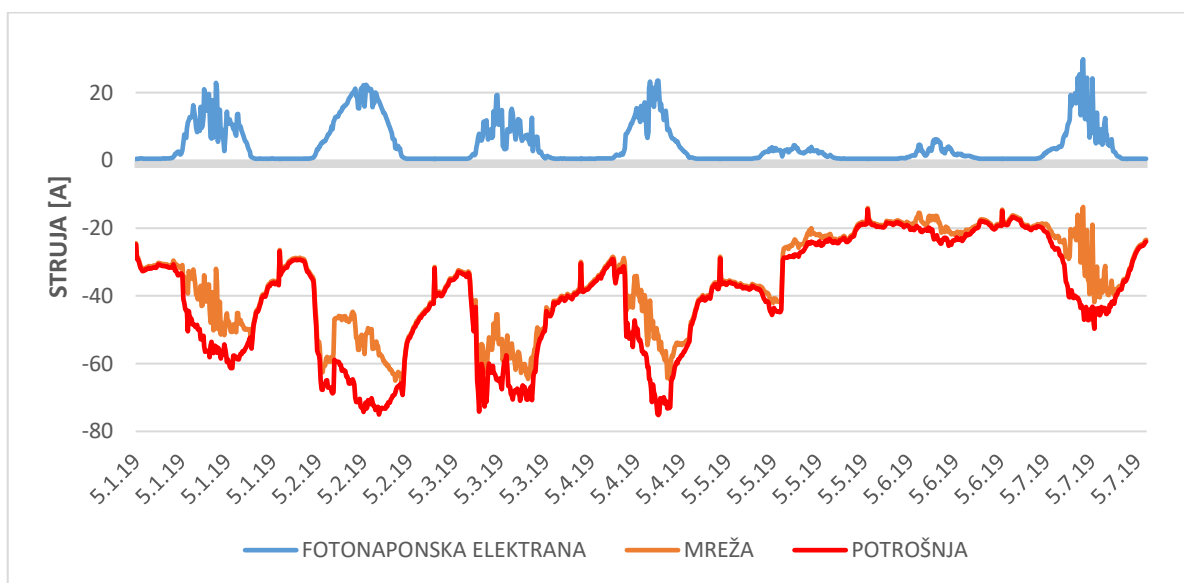
U ovom poglavlju su prikazani rezultati simulacije za promatrani tjedan potrošnje zgrade fakulteta s fotonaponskim sustavom od 15kW instalirane snage. Isto tako analizirani su karakteristični dani.

Slika 5.23. prikazuje tok snaga fotonaponskog sustava, mreže i potrošnje kroz cijeli tjedan. Kao što vidimo iz grafa, potrošnja zgrade ne pada ispod 10kW kada u zgradi nema djelatnika ni studenata. Maksimalna potrošnja u promatranom tjednu je 50kW. Proizvodnja iz fotonaponske elektrane niti u jednom trenutku nije dovoljna da pokrije potrošnju.



Slika 5.23. Tok snaga kroz promatrani tjedan

Na slici 5.24. prikazane su struje fotonaponske elektrane mreže i potrošnje. Razlika između struje potrošnje i struje koja dolazi iz mreže je jednaka struji proizvedenoj na fotonaponskoj elektrani.

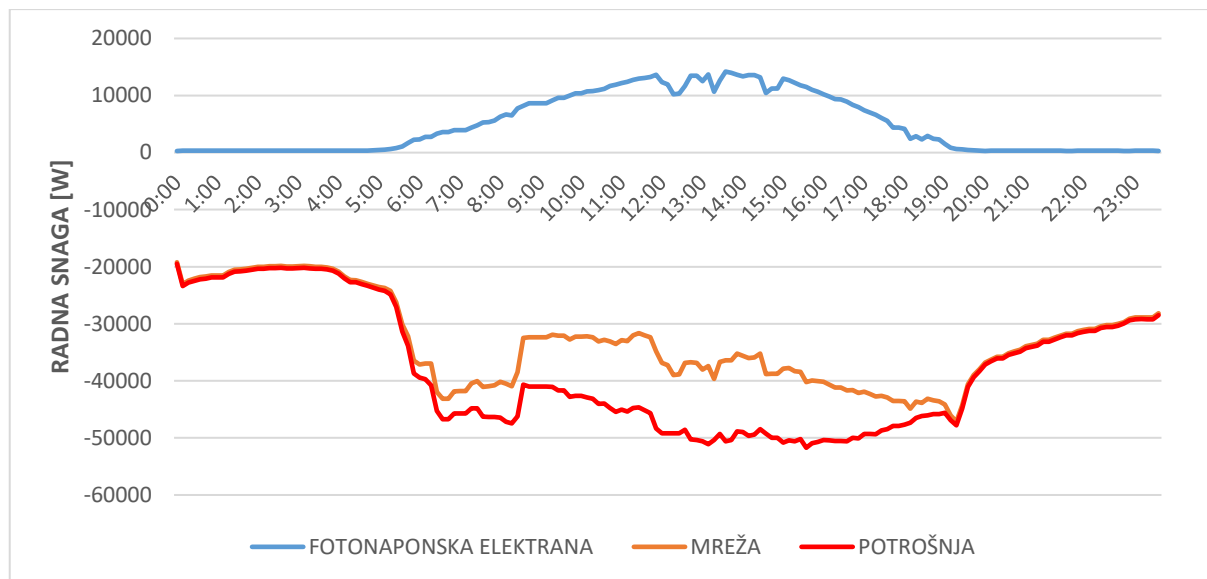


Slika 5.24. Promjena toka struje kroz cijeli tjedan

Prvi promatrani dan je sunčan dan, kada fotonaponski sustav radi blizu instalirane snage isto tako potrošnja je doseže svoj maksimum.

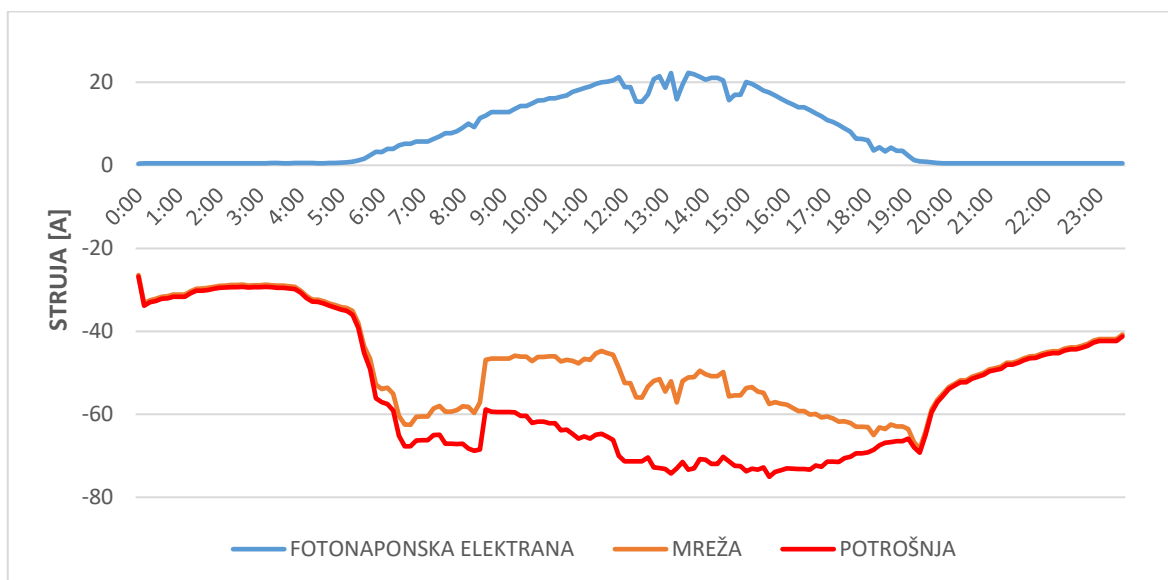
Iz grafa prikazanog na slici 5.25. vidimo da iako je sunčan dan i iako je proizvodnja blizu maksimalne, potrošnja je puno veća te se sva proizvedena snaga troši u zgradi. Jedan od razloga

velike potrošnje za vrijeme sunčanog dana mogu biti klima uređaji. Iako snaga iz fotonaponske elektrane nije ni približna potrošnji, sva proizvedena energija predstavlja uštedu, odnosno smanjene račune od opskrbljivača.



Slika 5.25. Tok snaga za sunčan dan

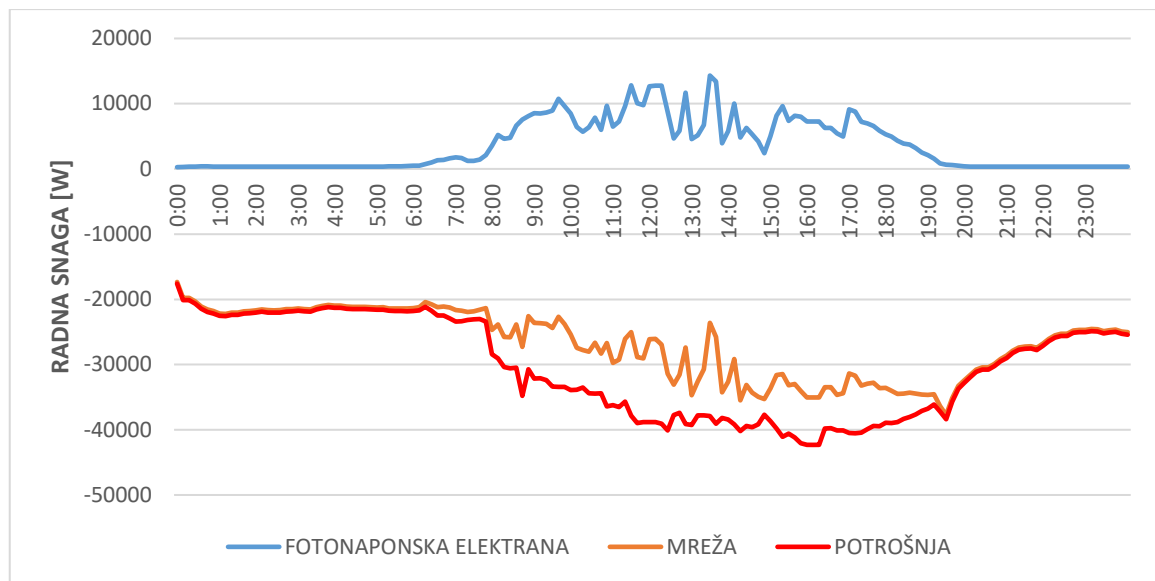
Promatrane struje prikazane su na slici 5.26. na kojoj se vidi koliko manje nam je potrebno struje iz mreže s obzirom na to da jedan dio potrošnje se pokriva iz fotonapona.



Slika 5.26. Promjena toka struje za sunčan dan

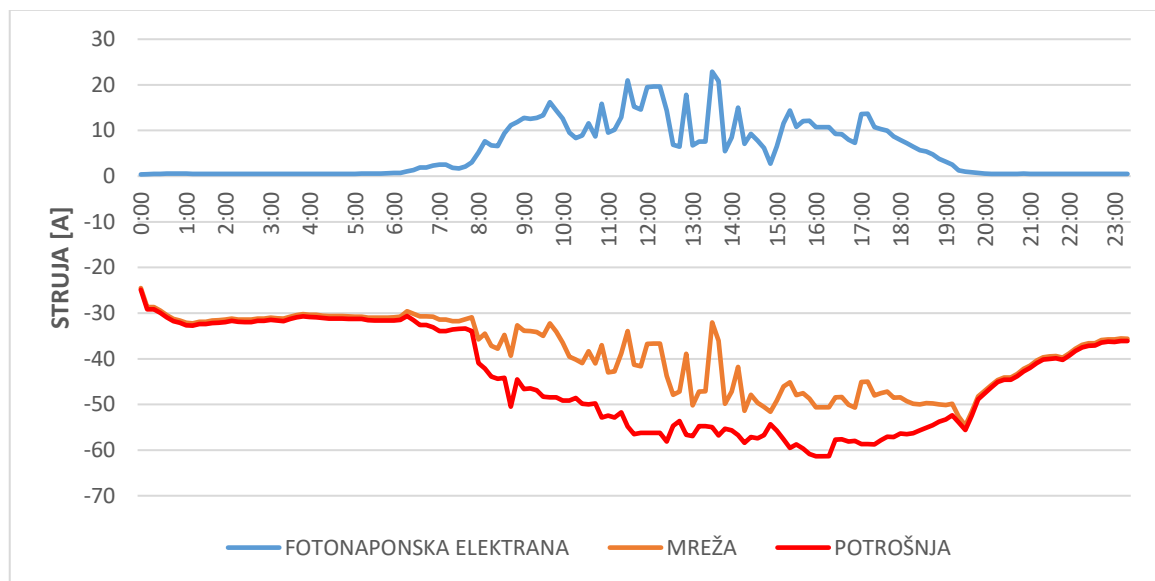
Sljedeći promatrani dan je promjenjiv dan, kada proizvodnja iz fotonaponskog sustava varira.

Slika 5.27. prikazuje tok snaga za promjenjiv dan, isto tako potrošnja zgrade je manja nego kad je sunčan dan, ali ponovo proizvodnja nije dovoljna da pokrije potrošnju. Razlog manje potrošnje može biti u smanjenoj potrebi za uključenje klima uređaja.



Slika 5.27. Tok snaga za promjenjiv dan

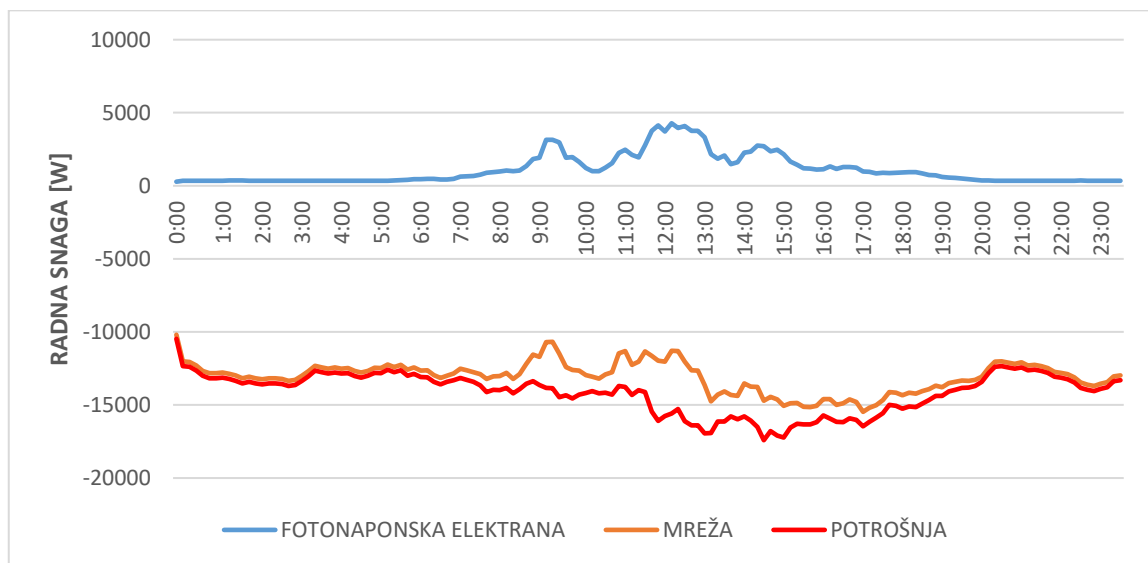
Čestom promjenom proizvedene struje, a ne tako izraženom promjenom struje potrošnje, dolazi do stalne nepredvidive promjene struje koja dolazi iz mreže. Pošto potrošnja u svakom trenutku mora biti zadovoljena, a proizvodnja varira, isto tako varira i struja iz mreže koja nadoknađuje potrebnu razliku (Slika 5.28.).



Slika 5.28. Promijena toka struje za promjenjiv dan

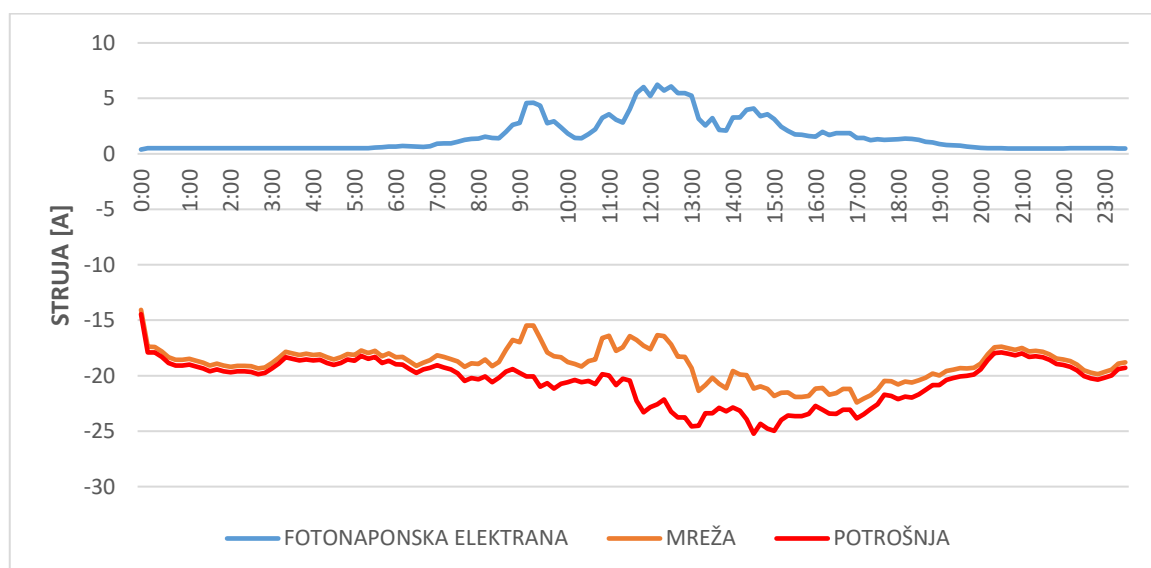
Na sljedećim slikama su prikazani tokovi snage i struja za oblačan dan, kada je proizvodnja jako mala, ali je i potrošnja manja nego u odnosu na ostale dane u promatranom tjednu.

Na grafu tokova snaga (Slika 2.29.) vidimo da proizvodnja nije iznad 5kW, isto tako i potrošnja je vrlo mala, ispod 20kW. Teorijski gledano, moguće je da se dogodi sunčan dan za vikend, kada nema velike potrošnje, te bi tada potrošnja bila manja od proizvodnje i došlo bi do promjene tokova snaga u mreži. Međutim, u ovom promatranom tjednu to nije bio slučaj, te se sva proizvedena energije trošila u zgradi.



Slika 5.29. Tok snaga za oblačan dan

Slika 5.30. prikazuje struje čije su vrijednosti manje nego u prošlim promatranim danima, zbog manje proizvodnje i manje potrošnje, te samim time i manje potrebe za strujom iz mreže.



Slika 5.30. Promjena toka struje za oblačan dan

6. ZAKLJUČAK

Povećanom potražnjom električne energije uzrokovanom brzorastućom industrijom elektroničkih uređaja te u nekoj mjeri i električnih automobila dolazi do problema proizvodnje električne energije. Zbog korištenja fosilnih goriva i raznih ekoloških katastrofa dolazi do potrebe za zelenom električnom energijom, temeljenoj na obnovljivim izvorima energije. Razvojem tehnologija dolazimo do toga da obnovljivi izvori energije postaju ozbiljan dio proizvodnje električne energije. Jedan od najvećih potencijala je energija Sunca, pogotovo jer u većini slučajeva može biti dostupna direktno kod potrošača. Padom cijena fotonaponskih modula i ostale potrebne opreme dolazi do smanjenja roka povrata investicije, te samim time do rasta broja fotonaponskih elektrana. Tu dolazi do problema kako nepredvidiva proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava djeluje na elektroenergetski sustav. Ovaj diplomski rad pokušava predložiti utjecaj na mrežu, odnosno kako se nepredvidivo mijenjaju tokovi snaga, iz mreže prema kupcu s vlastitom proizvodnjom i obrnuto. U programskom paketu Typhoon Hil je napravljen model kupca s vlastitom proizvodnjom u koji nosimo stvarne vrijednosti jakosti sunčevog zračenja i potrošnje simuliramo tokove snaga i struja fotonaponske elektrane, potrošnje i mreže u stvarnom vremenu. U radu su obuhvaćena dva slučaja, kupac s vlastitom proizvodnjom veličine kućanstva s fotonaponskim sustavom 4,5kW i kupac s vlastitom proizvodnjom veličine poslovne zgrade (fakulteta) instaliranom proizvodnjom od 15kW. Svaki slučaj je simuliran za odabrani jedan tjedan, te detaljnije analizirani karakteristični dani.

Prvi slučaj je simulacija kućanstva kao kupca električne energije s vlastitom proizvodnjom. Potrošnja kućanstva je dosta nepredvidiva isto kao i jakost sunčevog zračenja. Tijekom sunčanog dana proizvodnja je u vremenu od 6:00 do 20:00 sati veća od potrošnje te u tom razdoblju postoje uzlazni tokovi snaga prema mreži. U noćnim satima proizvodnja je vrlo mala, te se potrošnja pokriva energijom iz električne mreže. U slučaju promjenjivog dana dolazi do promjene toka snaga u mrežu, odnosno iz mreže nekoliko puta dnevno. Prilikom oblačnog dana proizvodnja nije veća od 1,5kW, što znači da imamo malu proizvodnju električne energije. Potrošnja je također manja nego ostalih dana, pa stoga struja potrošnje je manja, kao i struja proizvodnje, te samim time i struja koja odlazi ili dolazi u mrežu je manja nego ostalih dana. Ovo je dobra primjer gdje je fotonaponska elektrana isplativa, jer većinu vremena pokriva vlastitu potrošnju kupca, sama investicija nije previsoka, a u slučaju viška proizvodnje, energija se prodaju opskrbljivaču. Zbog relativno male snage, odnosno male količine električne energije koja se predaje u mrežu, mali je i utjecaj na mrežu. Također, korištenjem pohrane u obliku baterija višak proizvedene energije bi se

mogao pohranjivati i trošiti za vrijeme nedovoljne proizvodnje. Upitna je isplativost takvog sustava zbog još uvijek visokih cijena baterija.

Drugi slučaj je simulacija državne zgrade kao kupca s vlastitom proizvodnjom, gdje je ponovljen postupak kao i za kućanstvo, samo su promijenjeni parametri potrošnje i snaga elektrane iznosi 15kW. U simuliranom tjednu ne dolazi do slučaja uzlaznih tokova snaga, jer je proizvodnja u svakom trenutku veća od potrošnje. Proizvedena električna energija se troši direktno u zgradi što znači da rasterećuje mrežu i nema negativnih utjecaja na mrežu. Ovdje ne bi imalo smisla ulagati u sustav pohrane nego povećati instaliranu snagu fotonaponskog sustava.

Analizom ova dva slučaja dolazimo do zaključka da se isplati ulagati u fotonaponske elektrane kako u kućanstvu tako i u velikim zgradama, odnosno velikim potrošačima. Smanjenjem cijene početne investicije a uštedom prilikom manje kupovine električne energije od opskrbljivača i prodajom viška energije opskrbljivaču kroz nekoliko godina vraćamo uloženi novac. Ovim načinom se ne potiče predaja električne energije u elektroenergetski sustav jer se cijena znatno smanjuje, stoga je vrlo bitno dobro dizajnirati fotonaponski sustav, odnosno njegovu veličinu (instaliranu snagu). Isto tako utjecaj na mrežu nije prevelik zbog relativno malih snaga koje odlaze u mrežu, no daljnjim povećanjem broja kupaca s vlastitom proizvodnjom taj utjecaj na mrežu će se povećavati.

POPIS LITERATURE

- [1] D. Šljivac, D Topić, Obnovljivi izvori električne energije, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek, 2018.
- [2] J. Zdenković, Fotonaponski otočni sustavi, praktični priručnik, Kolorklinika, Zagreb 2019.
- [3] https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija (pristup: 28.06.2019.)
- [4] <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (pristup: 28.06. 2019.)
- [5] http://www.idistributedpv.eu/wp-content/uploads/2018/10/Deliverable_2.1_v14-1.pdf (pristup: 15.06.2019.)
- [6] D. Šljivac „Integracija OIE i napredne mreže“, materijali s predavanja, 2017./2018.
- [7] <http://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/prikljucenje-kucanstva-s-vlastitom-proizvodnjom/185> (pristup: 28.8.2019.)

SAŽETAK

Cilj ovog rada je pomoću programskog paketa Typhoon Hil simulirati stvarne promjene potrošnje i proizvodnje kupca s vlastitom proizvodnjom iz fotonaponske elektrane u stvarnom vremenu. Simulacije se izvodi za dva slučaja, kućanstvo i zgrada fakulteta, uz trajanje simulacije od tjedan dana. Prvi promatrani slučaj je simulacija kućanstva kao kupca s vlastitom proizvodnjom. Potrošnju kućanstva karakteriziraju nagle promjene potrošnje, te samim tim naglo se mijenjaju i tokovi snaga iz elektroenergetskog sustava ili u elektroenergetski sustav. Detaljnija analiza je izvršena za tri karakteristična dana, sunčani, promjenjiv i oblačan dan. Drugi slučaj je simulacija potrošnje zgrade fakulteta uz veću snagu fotonaponskog sustava nego u prvom slučaju. Zgradu karakterizira predvidljiva potrošnja, te snaga fotonaponskog sustava nije dovoljno velika da pokrije potrošnju. Zbog toga ne dolazi do promjene tokova snaga.

Ključne riječi: kupac s vlastitom proizvodnjom, električna energija, fotonaponski sustav, tokovi snaga, potrošnja

ABSTRACT

The aim of this paper is to simulate real-time changes of prosumer consumption and production of electricity from photovoltaic power plant using the Typhoon Hil software package. The simulation time is one week and simulation has two cases. The first observed case is single family house as prosumer. Household electricity consumption is characterized by sudden changes in consumption, and consequently sudden changes in power flows from the distribution network or into the distribution network. A more detailed analysis was performed for three characteristic days, a sunny, variable and cloudy day. In the second case, municipal building (faculty building) is a prosumer. The building is characterized by predictable electricity consumption, and the power of the photovoltaic system is not large enough to cover the consumption. Therefore, there are no changes in power flows.

Key words: prosumer, electrical energy, photovoltaic power plant, power flow, electricity consumption

ŽIVOTOPIS

Tomislav Tišljar rođen je u Virovitici, 24.08.1992. godine. Osnovnu školu završava u Pitomači nakon koje upisuje Srednju strukovnu školu u Đurđevcu zanimanje Tehničar za računarstvo. Nakon završetka srednje škole, 2011. godine upisuje se na Stručni studij elektrotehnike smjer Elektroenergetika na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Po završetku stručnog studija upisuje Razlikovne obveze a zatim i Diplomski studij 2017. godine smjer Održiva energetika.

U Osijeku, 28.6.2019.

Tomislav Tišljar

(Vlastoručni potpis)