

Upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom

Matasović, Marija

Master's thesis / Diplomski 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:200:334525>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-23**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**UPRAVLJANJE POTROŠNJOM U OBJEKTU KUPCA S
VLASTITOM PROIZVODNJOM**

Diplomski rad

Marija Matasović

Osijek, 2020.

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

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 12.07.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Ime i prezime studenta:	Marija Matasović
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-1186, 23.09.2019.
OIB studenta:	83525983114
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
Član Povjerenstva 1:	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
Član Povjerenstva 2:	Doc.dr.sc. Goran Knežević
Naslov diplomskog rada:	Upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Opisati tehnologiju fotonaponskih sustava. Obraditi osnove pametnih mreža te pametne kuće. Prikazati tehnike upravljanja potrošnjom te strategije upravljanja potrošnjom u kućanstvu. Na temelju stvarnih mjerenja pokazati mogućnosti upravljanja potrošnjom kod kupca s vlastitom proizvodnjom.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	12.07.2020.
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 ORIGINALNOSTIRADA**

Osijek, 21.07.2020.

Ime i prezime studenta:

Marija Matasović

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1186, 23.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada.....	1
2. TEHNOLOGIJA FOTONAPONSKIH SUSTAVA	2
2.1. Fotonaponski elementi i sustavi	2
2.1.1. Fotonaponske ćelije.....	2
2.1.2. Fotonaponski moduli i paneli	4
2.2. Tipovi fotonaponskih modula.....	6
2.3. Vrste fotonaponskih sustava.....	9
2.3.1. Samostalni fotonaponski sustavi	9
2.3.2. Mrežni fotonaponski sustavi	11
2.4. Fotonaponski sustavi u svijetu.....	12
2.5. Fotonaponski sustavi u Republici Hrvatskoj	13
2.6. Kupac s vlastitom proizvodnjom	14
3. OSNOVNO O PAMETNIM MREŽAMA	17
3.1. Dijelovi pametne mreže.....	18
3.1.1. Senzori	18
3.1.2. Pametna brojila	20
3.2. Pametna kuća	21
3.3. HAN – eng. <i>Home Area Network</i>	22
3.4. HEM – eng. <i>Home Energy Management</i>	23
4. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM	24
4.1. Tehnike upravljanja potrošnjom.....	24
4.2. Strategije upravljanja potrošnjom u kućanstvu	26
4.3. Proizvodnja FN i potrošnja kuće	27
4.3.1. Sunčan dan	29

4.3.2. Oblačan dan.....	34
5. ZAKLJUČAK	39
POPIS LITERATURE	40
SAŽETAK.....	42
ŽIVOTOPIS	43

1. UVOD

Tema je diplomskog rada prikazati upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom. Sustav upravljanja potrošnjom podrazumijeva upravljanje radom trošila, odnosno kućanskih aparata čiji se rad može odgoditi, ali bez narušavanja korisnikova komfora.

Rad se strukturno sastoji od pet poglavlja. U drugom je dijelu opisana tehnologija fotonaponskih sustava te podjela fotonaponskih sustava na dvije temeljne skupine, samostalni i mrežni fotonaponski sustavi. Također, prikazani su podaci za fotonapon u Republici Hrvatskoj te je dan presjek svjetskog tržišta fotonapona i zemalja koje ga predvode. Treće poglavlje orijentirano je na dijelove pametne mreže, osnovna obilježja pametne mreže te opis kućne mreže. U četvrtom dijelu rada opisane su tehnike upravljanja potrošnjom te su prikazane krivulje proizvodnje i potrošnje električne energije. Za dva slučaja: sunčani dan te oblačni dan, prikazani su rezultati proračuna za razdoblje kada se rad trošila u kućanstvu prebaci u vrijeme maksimalne proizvodnje električne energije iz fotonapona instaliranog na kući korisnika.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Diplomski rad za cilj ima razvijanje strategije upravljanja potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom. Potrebno je opisati tehnologiju fotonaponskih sustava te osnove pametnih mreža. Prikazati tehnike upravljanja potrošnjom te strategije upravljanja potrošnjom u kućanstvu. Na temelju stvarnih mjerenja pokazati mogućnosti upravljanja potrošnjom kod kupca s vlastitom proizvodnjom.

2. TEHNOLOGIJA FOTONAPONSKIH SUSTAVA

U okviru globalnog pogleda na energiju i zaštitu okoliša, od primarne važnosti postao je cilj smanjenja emisije stakleničkih plinova i zagađujućih tvari, a isto tako i smanjenje uporabe fosilnih goriva. Među različitim sustavima koje koriste obnovljive izvore energije, fotonaponski sustavi imaju prednosti poput besplatnog goriva, prilično jednostavnog instaliranja i održavanja te veće pouzdanosti. Sve se više teži prebacivanju na obnovljive izvore energije te korištenju Sunčevog zračenja. Sunce je zasigurno najvažniji obnovljivi izvor energije s vrlo velikim potencijalom iskorištenja energije. Ono omogućava odvijanje svih procesa, od fotosinteze pa do proizvodnje električne energije, što je vrlo značajno u energetici. Zanimljiva je činjenica da snaga dobivena od Sunčevog zračenja na Zemljinoj površini u svakom trenutku iznosi 50 000 TW, a to je za 10 000 puta više od snage koja se koristi u svijetu. [1] Odnosno, može se zaključiti da se godišnje energetske potrebe u svijetu mogu pokriti iznosom energije koju Sunce oslobađa tijekom jednog sata. Godišnje Sunčevo zračenje pedeset je puta veće od zbroja svih fosilnih i nuklearnih goriva. Ova zanimljiva činjenica pokazatelj je da budućnost proizvodnje niske emisije ugljika leži u korištenju Sunčevog zračenja. [2]

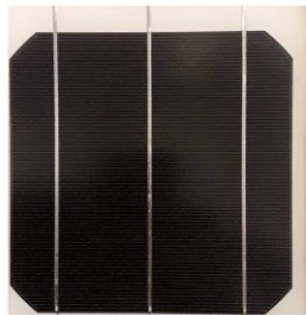
2.1. Fotonaponski elementi i sustavi

Fotonaponski sustav sastoji se od generatora, odnosno fotonaponskog panela koji predstavlja glavni dio FN sustava, od potpornog okvira pomoću kojeg se paneli montiraju na tlo, zgradu ili bilo koju drugu građevinsku konstrukciju. Sadrži i uređaje za električno povezivanje, opremu za automatsko upravljanje, sustav za kontrolu snage te sustav za skladištenje energije, odnosno baterije u kojima se pohranjuje električna energija kako bi se koristila u periodu kada Sunce ne sja. [1]

2.1.1. Fotonaponske ćelije

Fotonaponske (engl. *PhotoVoltaic – PV*) ćelije pretvaraju direktno Sunčevu energiju u električnu energiju. Pretvorba u električnu energiju odvija se bez pokretnih dijelova, tiho i bez štetnih emisija. Rad fotonaponskih ćelija zasniva se na osnovi fotonaponskog efekta.

Fotonaponski efekt otkrio je mladi francuski fizičar Alexandre Edmond Becquerel još 1839. te se zbog toga fotonaponski efekt naziva još i Becquerelov efekt. Tijekom 20. stoljeća javljaju se prve fotonaponske ćelije kao rezultat najvažniji znanstvenih spoznaja nekoliko Nobelovaca toga stoljeća. 1954. godine radom znanstvenika u Bell Laboratories u New Yorku izrađena je prva silicijeva solarna ćelija čija je učinkovitost bila 6%, no daljnjim istraživanjima sljedećih godina došlo je do povećanja električne učinkovitosti fotonaponskih ćelija. Komercijalna primjena prvih solarnih ćelija bila je u svemirskim istraživanjima na satelitima zbog njihove visoke cijene. [3]



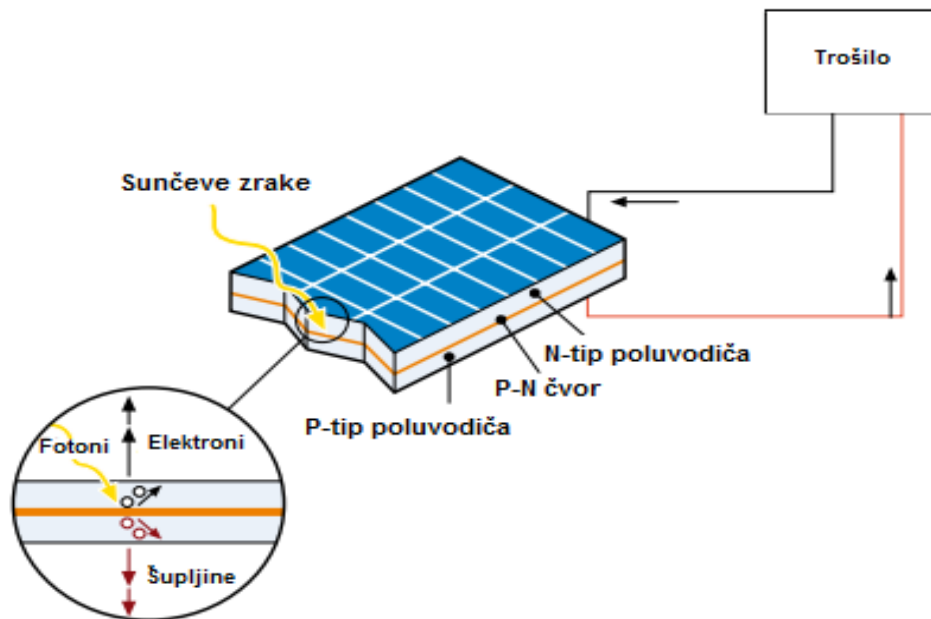
Slika 2.1. Fotonaponska ćelija

Fotonaponska ćelija konstruirana je od tankog sloja poluvodičkog materijala, a to je uglavnom silicij, pravilno obrađenog s debljinom od oko 0,3 mm te površinom sloja od 100 do 225 cm². Silicij ima četiri valentna elektrona, tetravalentan je, a dodavanjem primjese čistom vodiču nastaje PN spoj, odnosno fotonaponska ćelija. Na jednom kraju dodaju se trovalentne ili akceptorske primjese pa nastaje P-tip poluvodiča, dok se na drugom kraju dodaju peterovalentne ili donorske primjese tako stvarajući N-tip poluvodiča. Područje P-tipa poluvodiča ima višak šupljina, dok u području N-tipa ima višak elektrona.

U dodirnom području između dva sloja različito dopirani elektroni imaju tendenciju kretanja iz područja koje je bogato elektronima (N) prema području koje je osiromašeno elektronima (P) tako stvarajući akumulaciju negativnog naboja u P-području. S druge strane za šupljine dolazi do pojave stvaranja pozitivnog naboja u N-području.

Kada je ćelija izložena svjetlu zbog fotonaponskog efekta neki parovi elektron-šupljina nastaju i u N-području kao i u P-području. Unutarnje električno polje dopušta višak elektrona koji bi se

odvojio od šupljina te ih pomiče u suprotnima smjerovima u odnosu jedan prema drugome. Kao posljedica toga, elektroni koju su jednom prošli područje iscrpljivanja ne mogu se vratiti nazad jer ih polje sprječava da idu obrnutim smjerom. Spajanjem čvora sa vanjskim vodičem dobiva se zatvoreni krug u kojem struja teče iz N-sloja, koji ima veći potencijal, prema P-sloju, koji ima niži potencijal, sve dok je obasjana fotonaponska ćelija. [1]



Slika 2.2. Osnovni prikaz fotonaponske ćelije [1]

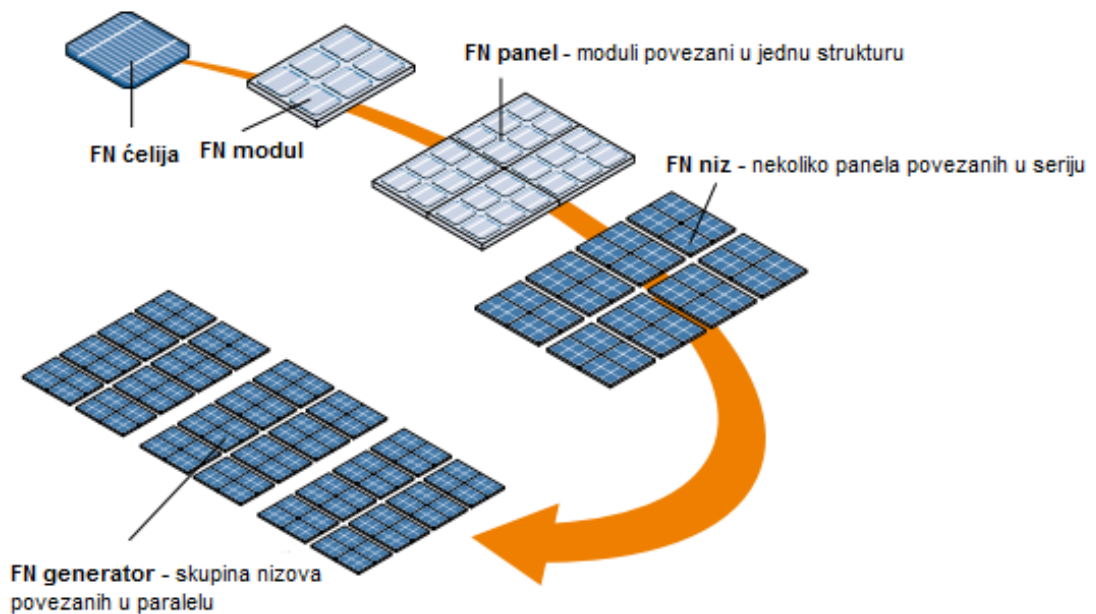
2.1.2. Fotonaponski moduli i paneli

Kako bi se dobile što veće snage, fotonaponske ćelije vežu se u veće cjeline koje se nazivaju fotonaponski moduli, a oni se radi istog cilja, odnosno dobivanja većih snaga, vežu u fotonaponske panele čija snaga seže do reda MW. Međusobno se fotonaponski paneli povezuju kako bi se ostvarilo još više električne energije te zajedno sa drugim komponentama čine cjelinu, odnosno fotonaponski sustav.

Ćelije koje tvore modul zatvorene su u sustav koji:

- električno izolira ćelije prema van
- štiti ćelije od atmosferskih uvjeta i mehaničkih naprezanja

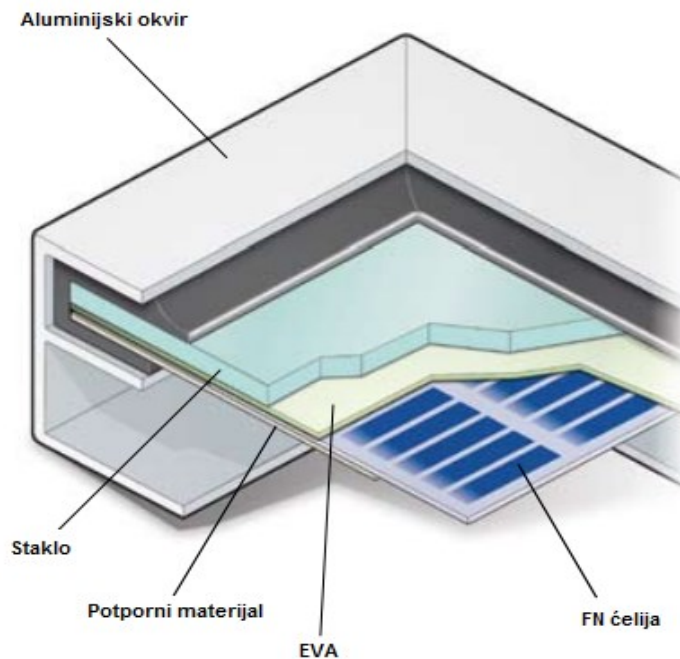
- odupire se ultraljubičastim zrakama te naglim promjenama temperature i abrazije
- lako rješava toplinu kako bi se spriječio porast temperature od smanjene snage koju napaja modul. [1]



Slika 2.3. Fotonaponski sustav [1]

Standardni fotonaponski modul sadrži nekoliko slojeva napravljenih od različitog materijala.

- Zaštitni sloj na gornjoj strani koji je izložen svjetlosti karakterizira visoka transparentnost te on štiti ćeliju od različitih vremenskih uvjeta. Za zaštitu providnog sloja najčešće se kao materijal koristi staklo
- Često korišteni materijal, etilen-vinil-acetat (eng. *Ethylene Vinyl Acetate, EVA*) nalazi se između gornjeg stakla i fotonaponske ćelije kako bi se izbjegao njihov direktan dodir. Također se primjenjuje kako bi se uklonili međuprostori zbog površinske nesavršenosti ćelija te kako bi ćelija bila električki izolirana od ostatka panela
- Na dnu presjeka nalazi se potporni materijal, odnosno podloga koja može biti izrađena od različitih materijala poput stakla, plastike ili metala
- Također, jedan od slojeva čini i metalni okvir koji je najčešće izrađen od aluminija. [1]



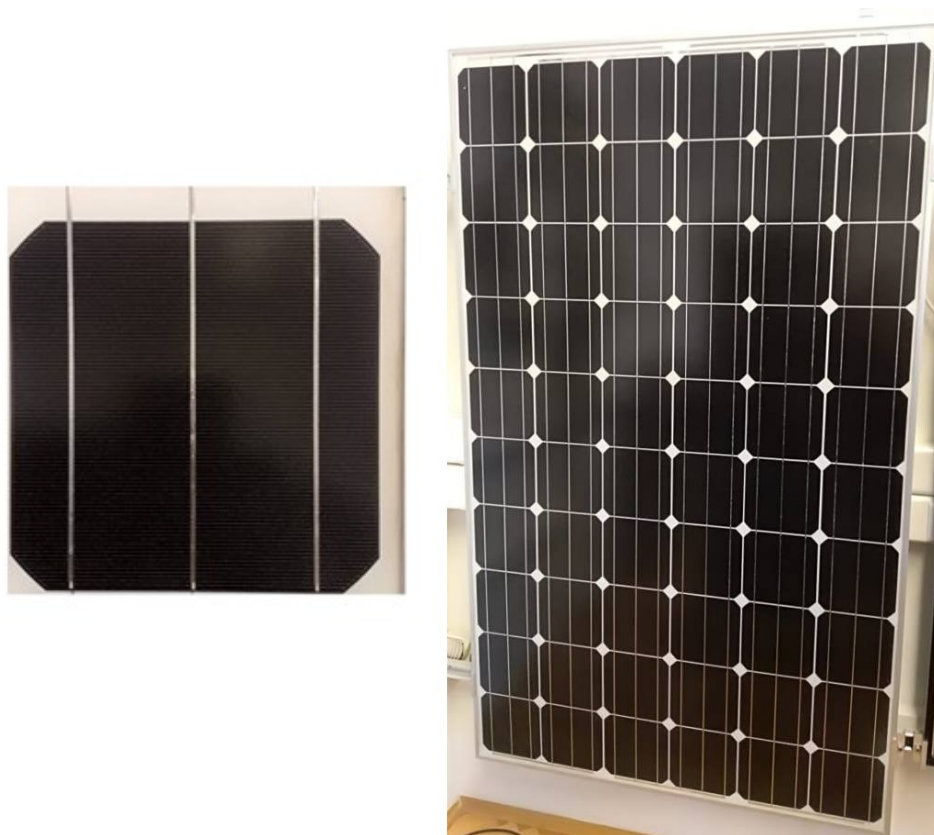
Slika 2.4. Presjek fotonaponskog modula [1]

2.2. Tipovi fotonaponskih modula

Najčešće korišteni materijal za izradu fotonaponskog modula je silicij. Silicijski paneli mogu biti kristalni (monokristalni ili polikristalni) te mogu biti izrađeni tehnologijom tankog filma (amorfni). U današnje vrijeme na tržištu su najzastupljeniji kristalni silicijski fotonaponski moduli te oni dominiraju sa 90 % udjela na tržištu. U usporedbi sa polikristalnim modulima, monokristalni posjeduju veću učinkovitost proizvodnje električne energije te će se na njima pretežno temeljiti budućnost instaliranih fotonaponskih elektrana. [4]

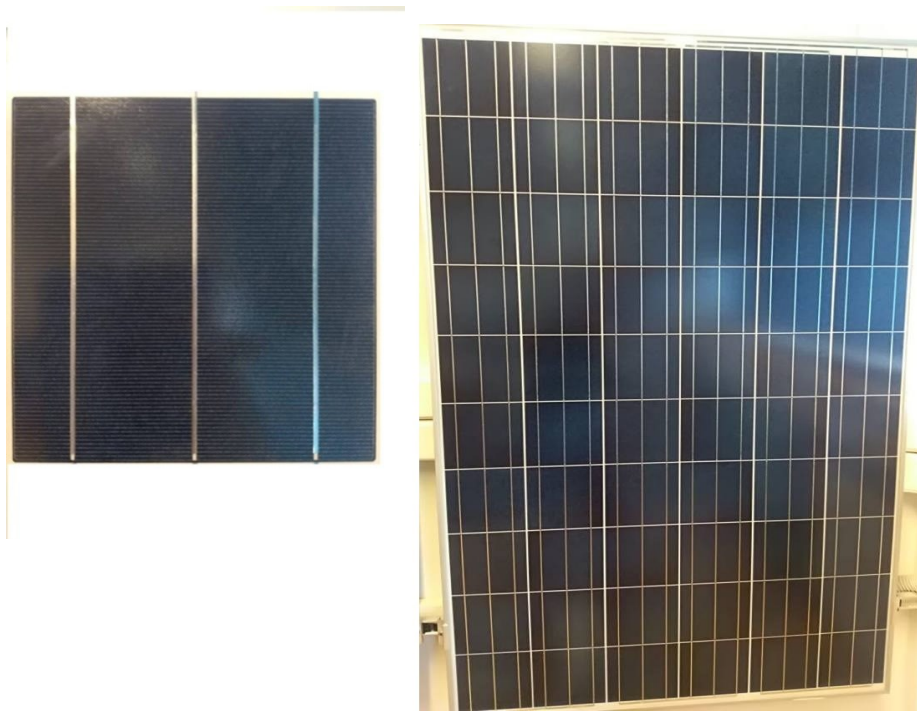
- Monokristalni fotonaponski moduli izrađeni su od kristala silicija visoke čistoće. Monokristalni štapići imaju cilindričnu formu promjera 13 – 20 cm i duljine 200 cm te se vade iz rastaljenog silicija. Zatim, režu se na tanke pločice čija debljina iznosi 200 – 250 μm . Njihova je glavna prednost visoki stupanj iskoristivosti koji iznosi 14 – 17 %. Zbog visokog stupnja iskoristivosti, složene proizvodnje te vijeka trajanja oko 20 godina, cijena

im je znatno veća. Ovakav tip modula najčešće karakteriziraju tamno plave ćelije četverokutnog oblika. [1]



Slika 2.5. *Fotonaponska ćelija i modul – monokristalni silicij*

- Polikristalni štapići dobivaju se otapanjem i lijevanjem silicija u kalup paralelopipednog oblika te su trakice obično debljine 180 – 300 μm . Učinkovitost polikristalnih modula nešto je manja u odnosu na monokristalne te ona iznosi 12 – 14 %. Također, proizvodnja je manje zahtjevna te je i cijena niža. Ono što je usporedivo sa monokristalnim modulom je vijek trajanja, imaju slične primjene te održavanje, a učinkovitost nakon 20 godina iznosi 85 %. [1]



Slika 2.6. *Fotonaponska ćelija i modul – polikristalni silicij*

- Amorfna ćelija naziva se još i tankoslojna jer se koristi tanki film amornog silicija, a obično se silicij primjenjuje kao plinska smjesa. Postoji nekoliko poluvodičkih materijala koji se koriste poput bakar-indij-galij-selenida, bakar-indij-dislenida, kadmijeva telura, ali su u masovnoj proizvodnji ćelije izrađene od tankog filma silicija. Debljina sloja poluvodičkog filma je nekoliko mikrometara u odnosu na kristalne silicijske ćelije čija je debljina nekoliko stotina mikrometara. Troškovi proizvodnje su smanjeni u usporedbi sa kristalnim silicijem (monokristalni i polikristalni), ali učinkovitost ćelija ima tendenciju da se s vremenom pogorša. Učinkovitost je vrlo niska zbog mnogih otpora s kojima se elektroni moraju suočiti u svome toku, ona iznosi 5 – 6 %. Neke od primjena su u sustavima poput satova, džepnih računala ili pak u novije vrijeme u zgradarstvu. Njihova je izvedba pogodna u slučajevima kada je potrebno smanjiti težinu modula ili ga prilagoditi zakrivljenim površinama. Omogućava širu primjenu zbog fleksibilnosti u odnosu na klasične, krute kristalne ćelije. [1]



Slika 2.7. *Fotonaponski modul – amorfni silicij*

2.3. Vrste fotonaponskih sustava

Solarni fotonaponski sustavi dijele se na dvije temeljne skupine: samostalni fotonaponski sustavi (engl. *off-grid*) i mrežni fotonaponski sustavi (engl. *on-grid*). Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (samostalni sustavi) mogu biti sa i bez pohrane energije te mogu biti hibridni sustavi (s vjetroagregatom, dizelskim generatorom, gorivnim ćelijama ili kogeneracijom). Fotonaponski sustavi priključeni na mrežu, često se nazivaju mrežni sustavi, mogu biti direktno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili preko kućne instalacije.

2.3.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Samostalni fotonaponski sustavi (eng. *stand-alone system*) su sustavi koji za svoj rad ne zahtijevaju priključak na električnu mrežu, a sastoje se od fotonaponskog panela i sustava za pohranu energije. Taj je sustav vrlo važan jer osigurava opskrbu električnom energijom u razdobljima kada je Sunčevo zračenje slabo ili kada padne mrak. Njihova je montaža jednostavna te postoji mogućnost nadogradnje sustava. Sa tehničke i financijske strane gledišta,

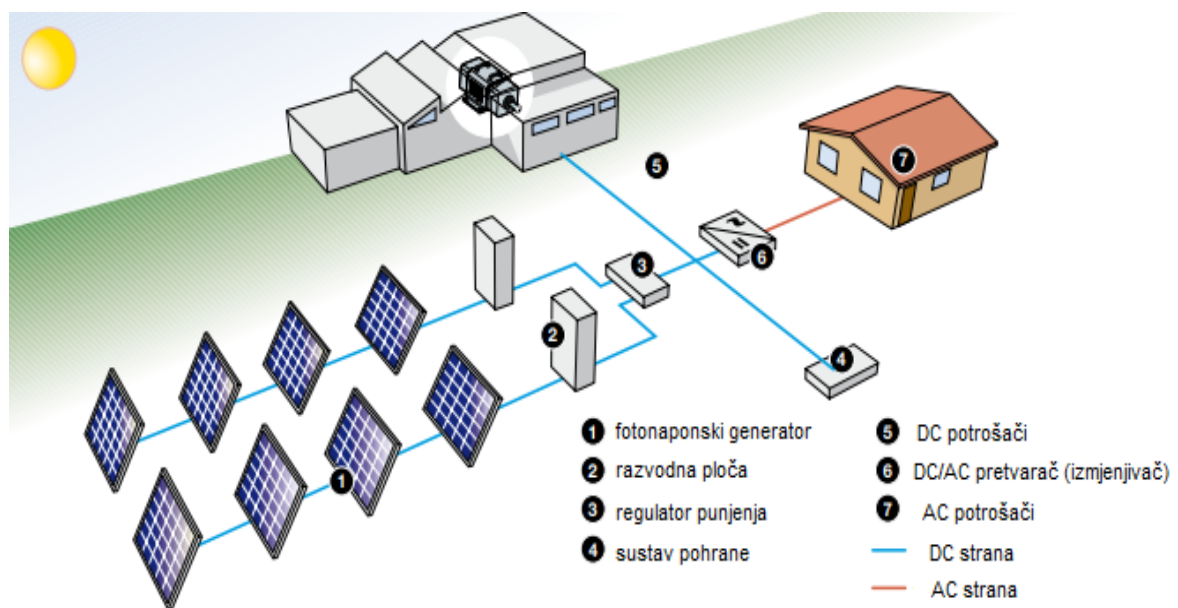
samostalni sustavi su vrlo povoljni jer mreža nije prisutna na svim mjestima i zato jer mogu zamijeniti električne generatore.

Ovakvi sustavi najčešće se koriste za napajanje:

- pumpnih sustava
- sustava rasvjete
- sustava za signalizaciju prometnica i zračnih luka
- radio prijemnika itd. [1]

Osnovne komponente samostalnog fotonaponskog sustava jesu:“

- fotonaponski moduli
- regulator punjenja
- akumulator
- trošila
- izmjenjivač“ [5]



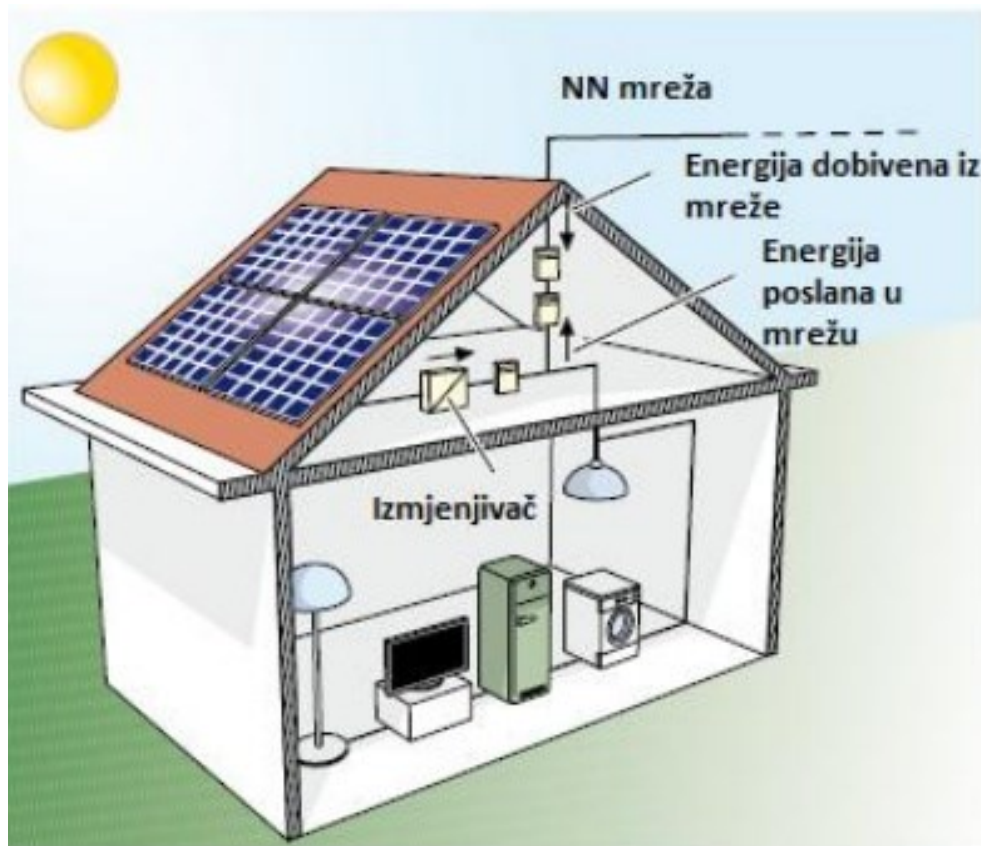
Slika 2.8. Samostalni fotonaponski sustav [1]

Samostalni fotonaponski sustavi mogu biti izvedeni i kao hibridni sustavi, odnosno sustavi koji za napajanje samostalne mreže koriste i druge izvore energije poput vjetroagregata, gorivnih

ćelija, kogeneracije ili generatora sa dizel ili biodizel gorivom. Kod ovakvih sustava najprije se trošila napajaju električnom energijom koja se proizvodi u fotonaponskim modulima ili vjetroagregatima, a višak električne energije se skladišti u sustave pohrane, odnosno baterije. [5]

2.3.2. Mrežni fotonaponski sustavi

Kada se potrebe potrošača ne mogu pokriti dovoljnom količinom energije koju proizvodi fotonaponski generator, tada u tom periodu mrežni fotonaponski sustavi koriste energiju iz mreže. Suprotno tomu, u slučaju ako fotonaponski sustav proizvodi više električne energije nego što je potrebno korisniku, taj se višak daje u mrežu. Energija proizvedena u ovakvim sustavima ima prednost nad velikim elektranama jer se energija šalje izravno u distributivnu mrežu te su smanjeni gubici u prijenosu, a samim time troškovi. Također, još jedna od prednosti je što se u periodima kada se javlja vršno opterećenje u mreži, a to je tijekom dana, tada se i najviše proizvodi energije te se ona crpi iz fotonaponskog sustava. Navečer, kada je smanjeno opterećenje u mreži, energija se crpi iz mreže i ona je puno jeftinija nego danju.



Slika 2.9. Mrežni fotonaponski sustav [1]

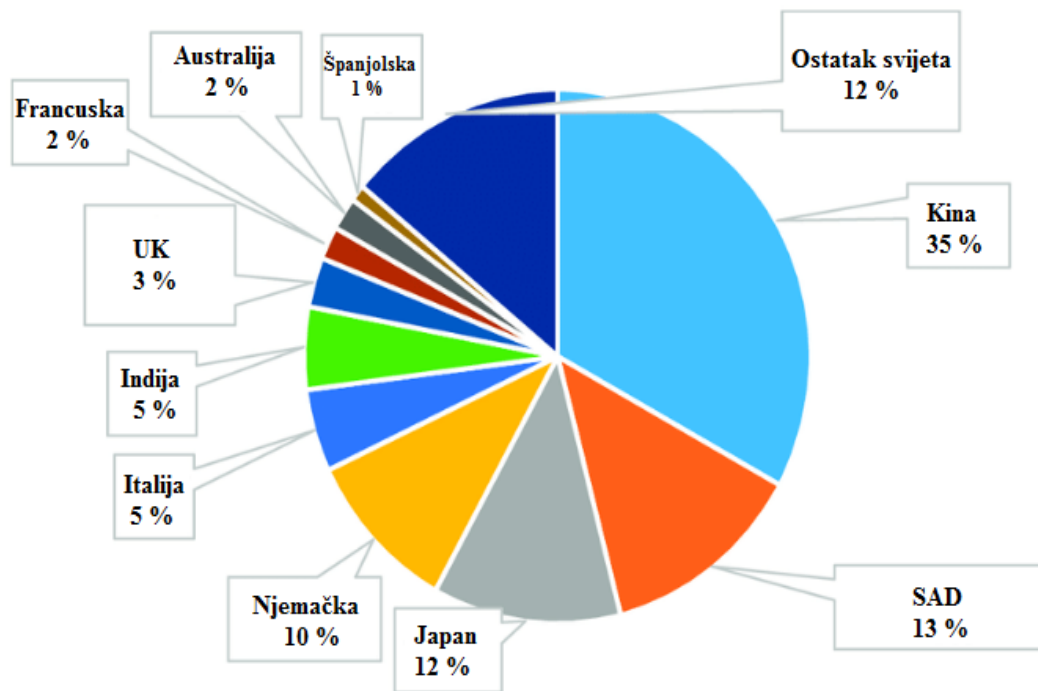
2.4. Fotonaponski sustavi u svijetu

Kako navodi IHS Markit, globalni lider u pružanju informacija i usluga za glavne industrije i tržišta koja pokreću ekonomije širom svijeta, za očekivati je da će globalna industrija solarne energije zabilježiti rast od 14% u 2020. godini u odnosu na prethodnu godinu. Dodatnih 142 GW, za koje se očekuje da će biti instalirano u 2020. godini, sedam je puta veće od ukupnog solarnog kapaciteta koji je bio instaliran 2010. godine. [6]

- Kina je najveće tržište fotonapona u svijetu sa ukupnim instaliranim kapacitetom koji je u 2018. godini iznosio 35,4 % globalnog tržišta. Te se godine dogodio značajan porast instalirane snage sa 864 MW u 2010. na 174,8 GW u 2018. sa godišnjom stopom rasta od 94,2 %. Također, izvanredna godina bila je 2017. kada je zabilježena najveća godišnja instalirana snaga od 53,2 GW. Postavljeni ciljevi od 105 GW za 2020. premašeni su još 2018. za više od 50 %. Sada je zemlja usmjerena na nove i više ciljeve, odnosno 210-270 GW ukupne instalirane snage fotonapona iste godine.
- Na drugom je mjestu svjetskog tržišta fotonapona SAD sa udjelom od 12,9 % ukupnog instaliranog kapaciteta 2018. godine. Te je godine dodano 10,6 GW instalirane snage. Predviđanja su kako će Kina i SAD i dalje nastaviti dominirati globalnim tržištem, a značajno će njemu doprinijeti druge zemlje poput Indije i Japana.
- Na trećem mjestu je Europska unija te je za očekivati da će Europa doprinijeti sa više od 24 GW na globalnom tržištu, što je povećanje od 5 % u odnosu na 2019. godinu. Vodeći izvori potražnje koji čine 63 % ukupnih europskih postrojenja su Španjolska, Njemačka, Francuska, Italija. Zahtjev je da Europa poveća svoj kapacitet sa 117 GW sa kraja 2018. na više od 630 GW do 2025. [7]

Međunarodna agencija za energiju (International Energy Agency, IAE) u središtu je globalnog dijaloga te pruža podatke, analize, političke preporuke te rješenja u stvarnom svijetu kako bi se pomoglo zemljama da osiguraju sigurnu i održivu energiju za sve. Oni navode kako se procjenjuje da je proizvodnja električne energije iz fotonapona u 2018. godini porasla za više od 30 % te da je taj udio u globalnoj proizvodnji električne energije prvi puta premašio 2 %. Tehnologija fotonapona ostaje četvrta po veličini tehnologija obnovljivih izvora električne

energije u smislu proizvodnje, nakon energije vode, energije vjetra te bioenergije. Uz veću konkurentnost troškova i kontinuiranu političku potporu, očekuje se rast instaliranih kapaciteta fotonapona u narednih pet godina, a predvode ga Kina, Sjedinjene Američke Države, Europska Unija, Indija i Japan. [8]



Slika 2.10. Postotni udjeli instaliranih kapaciteta fotonapona u svijetu [9]

2.5. Fotonaponski sustavi u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska ima vrlo povoljan geografski položaj za iskorištavanje energije fotonapona. Vrlo je važno pravilno odabrati optimalni kut jer se zbog prividnog kretanja Sunca on tijekom godine mijenja. Optimalni kut za fiksne instalacije omogućuje maksimalnu godišnju energiju, odnosno maksimalno iskorištavanje Sunčevog zračenja. Za područje Republike Hrvatske optimalni kut kreće se od 33° na sjeveru do 37° na jugu. [10]

U Republici Hrvatskoj pravna regulativa iz područja obnovljivih izvora energije i kogeneracije temelji se na: Zakonu o energiji (NN 68/18), Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 111/18) te Zakonu o tržištu električne energije (NN 52/19).

Tijekom 2019. godine sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIE i visokoučinkovitih kogeneracija reguliran je sljedećim podzakonskim aktima:

- Odluka o visini naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 87/17)
- Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 88/2012)
- Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 110/15).

Kako na svojim službenim stranicama navodi HROTE: „Povlašteni proizvođač električne energije - energetska subjekt i/ili druga pravna ili fizička osoba koja u pojedinačnom proizvodnom objektu istodobno proizvodi električnu i toplinsku energiju na visokoučinkovit način, koristi otpad ili obnovljive izvore energije na gospodarski primjeren način u skladu sa zaštitom okoliša, a koja je stekla status povlaštenog proizvođača električne energije u skladu sa odredbama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 111/18)“ [11].

Od srpnja 2007. godine, odnosno od početka uspostave sustava poticanja proizvodnje električne energije iz OIE i kogeneracije, pa do kraja 2019. godine Hrvatski Operater Tržišta Energije (HROTE) imao je ukupno 1374 ugovora o otkupu električne energije iz postrojenja koja koriste OIE, ukupne instalirane snage 877,378 MW. Do navedene 2019. godini broj postrojenja sunčanih elektrana, odnosno povlaštenih proizvođača bio 1230 sa ukupnom instaliranom snagom u iznosu od 53,434 MW. Najviše je sunčanih elektrana, ali prema snazi prednjače vjetroelektrane sa ukupnom snagom od 575,8 MW [11]

2.6. Kupac s vlastitom proizvodnjom

HEP-Operator distribucijskog sustava navodi: „Kupac s vlastitom proizvodnjom je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu/e koje koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu.“ [12] Također navode: „Kupac s vlastitom proizvodnjom je korisnik mreže koji na istom obračunskom mjestu ima odobrenu priključnu snagu u smjeru kupca i priključnu snagu u smjeru proizvodnje.“ [12] HEP na svojim službenim stranicama navodi: „Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji opskrbljivači električne

energije dužni su preuzimati viškove električne energije kupaca s vlastitom proizvodnjom koji zadovoljavaju sljedeće uvjete (članak 44.):

- imaju status povlaštenog proizvođača električne energije,
- ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu,
- ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW,
- priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom kao proizvođača ne prelazi priključnu snagu kao kupca.“ [12]

Kako se navodi na stranicama HEP-a: „Ukoliko kupac s vlastitom proizvodnjom ne zadovoljava uvjete za sklapanje ugovora o opskrbi krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom, može zatražiti sklapanje ugovora o otkupu električne energije s bilo kojim tržišnim otkupljivačem.“ [12]

Također navode: „ Za kupca s vlastitom proizvodnjom naknada za priključenje definirana je člankom 3. Pravilnika o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage.“ [12]

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

$$C_i = 0.9 * PKC_i \quad (2-1)$$

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

te

$$C_i = 0.9 * PKC_i * E_{pi}/E_{ii} \quad (2-2)$$

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 naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja i , izražena u kn/kWh.“ [12]

Kao kupac s vlastitom proizvodnjom najčešće se podrazumijeva proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava, najčešće priključena na kućne instalacije te se tako pokrivaju vlastite potrebe. Višak proizvedene električne energije predaje se u mrežu, a u slučaju ako proizvodnja ne pokriva potrošnju, ona se nadoknađuje iz mreže. Najbolje rješenje je da postoji pohrana električne energije, odnosno baterije u koje bi se pohranio višak proizvedene energije te se koristio kada je manja proizvodnja ili u slučajevima kada uopće nema proizvodnje.

3. OSNOVNO O PAMETNIM MREŽAMA

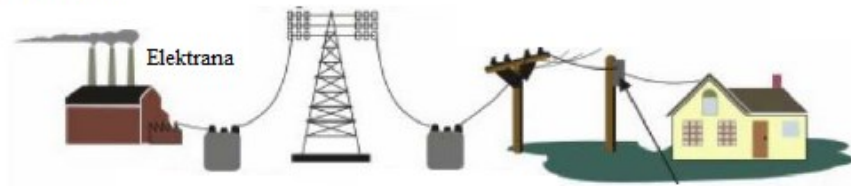
Koncept pametnih mreža još je uvijek u razvoju, no u posljednjih nekoliko godina izaziva vrlo velik interes te danas predstavlja jedno od glavnih područja istraživanja u elektroenergetici. Ono predstavlja skup automatizacijskih i komunikacijskih tehnologija primijenjenih na nadgledanje, kontrolu i održavanje električne mreže s ciljem opskrbe električnom energijom visoke kvalitete, sigurnosti i pouzdanosti. Ovaj koncept donosi promjene trenutne mreže, kao što su ugradnja senzora, komunikacija između pametnih uređaja u stvarnom vremenu, obrada podataka i slično. Osnovne razlike napredne mreže u odnosu na današnju mrežu su dvosmjerna razmjena energije te dvosmjerna komunikacija. Glavne funkcije su motiviranje potrošača, isporuka kvalitetne energije, integracija različitih vrsta proizvodnje energije i skladištenja. Neke od brojnih prednosti pametnih mreža su pouzdanost, ušteda troškova, smanjenje vršnih opterećenja, korištenje obnovljivih izvora energije te energetska neovisnost. [13]

Cilj je pametnih mreža unaprijediti postojeći elektroenergetski sustav integracijom obnovljivih izvora energije i različitih naprednih informacijskih tehnologija. Želi se poboljšati usluga opskrbe potrošača električnom energijom. Potrebno je stvoriti uvjete za dvosmjernu razmjenu informacija i energije između potrošača, odnosno korisnika i elektroenergetske mreže, a ona se ostvaruje putem pametnog brojila. Dvosmjernom komunikacijom omogućeno bi bilo bolje predviđanje potrošnje u određenom razdoblju te bi se mreža mogla optimirati ovisno o trenutnim potrebama korisnika. [14]

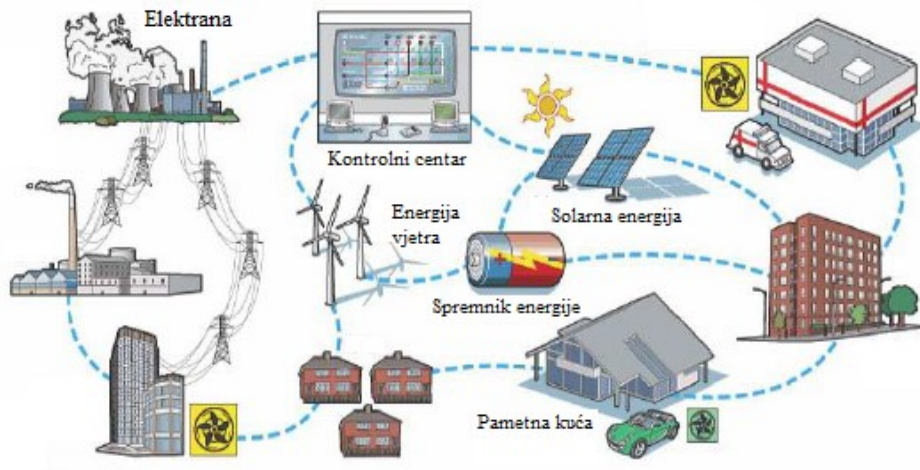
„Glavna obilježja pametne mreže su:

- dvosmjerna komunikacija,
- lokalna i decentralizirana proizvodnja,
- laka integracija obnovljivih izvora energije i drugih mikro izvora,
- veća učinkovitost,
- nadzor i mjerenje stanja električne mreže u stvarnom vremenu,
- aktivno uključanje potrošača u proces proizvodnje i potrošnje električne energije.“ [15]

Tradicionalna mreža



Napredna mreža



Slika 3.1. Usporedba tradicionalne mreže i napredne mreže [15]

3.1. Dijelovi pametne mreže

Pametna mreža sastoji se od glavne mreže, senzora, pametnih brojila i obnovljivih izvora energije koji mogu nadopunjavati dnevne potrebe za električnom energijom.

3.1.1. Senzori

Senzori predstavljaju ključ ispunjavanja potencijala naprednih mreža. Senzori pametne mreže upotrebljavaju se za daljinsko nadgledanje opreme kao što su transformatori i elektroenergetski vodovi. Oni služe za detekciju kvarova te omogućavaju komunikaciju između uređaja i pametnog brojila, pružajući vidljivost podataka o potrošnji energije u stvarnom vremenu. Elektroenergetske tvrtke mogu upotrebljavati te informacije za razvijanje cijena u stvarnom vremenu, dok ih potrošači mogu upotrijebiti za smanjenje potrošnje električne energije u razdoblju vršnog opterećenja. Mogu se koristiti i u domovima i poslovnim zgradama radi povećanja sigurnosti te povećanja energetske učinkovitosti. [16] Još jedna od primjena senzora

pametnih mreža je za nadgledanje vremenskih uvjeta i temperature vodova te se ti podaci mogu upotrijebiti za izračunavanje prijenosnog kapaciteta vodova. Mjerenjem parametara vodova i vremenskih prilika, dinamičkim procjenjivanjem vodova (eng. *Dynamic Line Rating, DLR*) može se odrediti kapacitet dijela mreže u svakom trenutku te upotrijebiti te informacije kako bi mreža funkcionirala sa maksimalnim učinkom. [17]

Senzor se sastoji od četiri osnovna dijela, a to su: mjerni pretvarač, mikroprocesor, odašiljač/prijamnik te izvor napajanja. Mjerni pretvarač generira signale na temelju električnih veličina. Mikroprocesor obrađuje i pohranjuje podatke koji su dobiveni na izlazu iz senzora. Odašiljač/prijamnik, koji može biti bežični ili žični prima naredbe iz središnjeg računala, odnosno mikroprocesora te ih šalje dalje. Napajanje senzora može biti baterijsko ili preko same mreže. [16]

U naprednoj mreži bežični su senzori daleko učinkovitiji od običnih žičanih senzora. Neke od prednosti u odnosu na žičane senzore su da imaju manju potrošnju energije, što ih čini efikasnijima te koriste baterije. Njihova je cijena manja i komunikacija je bežična što daje mnoge prednosti zbog jednostavne instalacije bez vodiča. Javljaju se, također, i različiti utjecaji na ograničenja uporabe senzora u naprednim mrežama, a oni mogu biti: kvarovi senzora, ograničen kapacitet za pohranu podataka, nepovoljni utjecaji okoline (utjecaj radiovalova, utjecaj korozije, vibracije, visoke vlage). [15]



Slika 3.2. *Senzori* [18]

3.1.2. Pametna brojila

Pametna su brojila digitalni elektronički uređaji koji putem fiksne ili mobilne mreže pružaju informacije o potrošnji električne energije te automatski šalju te podatke isporučitelju električne energije. Klasična brojila nemaju mogućnost komunikacije sa mrežom te mjere samo ukupnu potrošnju. Pametna brojila prate potrošnju svaki sat te pružajući informacije o potrošnji, pomažu u boljoj kontroli potrošnje električne energije i drugih energenata jer postoji uvid kolika je potrošnja u stvarnom vremenu i koliko to košta, a to dovodi do smanjenja troškova. [19]

Pametna brojila mjere i bilježe podatke o potrošnji električne energije. Podaci se ispisuju na digitalnom zaslonu te se šalju distributeru električne energije s kojim komuniciraju putem telekomunikacijske mreže. Zbog zahtjeva za točnošću na većim udaljenostima, antene su ponekad izvedene kao vanjske. Omogućena je dvosmjerna komunikacija te je tako ukinuta potreba za dolaskom zaposlenika za očitavanje stanja potrošnje električne energije. Pametno brojilo za svoj rad treba ispravljač. Na digitalnom kućnom zaslonu može se svakodnevno pratiti potrošnja energije koja je korisniku dostupna putem interneta, pametnog telefona ili samog pametnog brojila koji je instaliran u objektu. [15]



Slika 3.3. Pametno brojilo [20]

3.2. Pametna kuća

Pametna kuća (eng. *Smart House*) osnovna je jedinica unutar pametne mreže. Pametni dom može se definirati kao vrlo dobro dizajnirana stambena struktura s dovoljno pristupa imovini, komunikaciji, kontroli te informacijskim tehnologijama kako bi se poboljšala udobnost i kvaliteta života svih korisnika te smanjili troškovi življenja. Ta je ideja bila široko prepoznata još desetljećima prije, ali se vrlo malo ljudi zauzelo za tu ideju. Kao uzrok ovog sporog rasta često se navode pretjerano visoki troškovi.

Pametne kuće imaju potencijal za povećanje energetske učinkovitosti, smanjenje troškova korištenja energije, smanjenje emisije ugljičnog dioksida korištenjem obnovljivih izvora energije. U središtu je pametnog doma učinkovit sustav upravljanja električnom energijom koji je omogućen različitim uređajima visoke tehnologije u elektroenergetskoj mreži. Pametna stambena zgrada ima dvosmjernu komunikaciju sa elektroenergetskom mrežom koja je omogućena pametnim brojilom. Primajući signale od davatelja usluga te odgovarajući pomoću informacija o potrošnji, korisnik sa mrežom dinamički komunicira. [20]

Pametne kuće proučavaju se od 1990-ih, a primarni je fokus na udobnosti stanovanja. Pametne kuće obično imaju lokalnu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sustava, mikro kombiniranih sustava topline i energije (mikro-CHP). Istraživači diljem svijeta usredotočili su se na proučavanje pametnih domova te je tako godine 2012. započeo projekt Pametne kuće na tehničkom sveučilištu Yildiz. Predloženi koncept pametne kuće sastoji se od uređaja koji se koriste u prosječnom kućanstvu, od različitih obnovljivih izvora energije te sustava za pohranu električne energije. Pomoću pametnih utikača i senzora, podaci o temperaturi, vlazi i razini osvjetljenja preneseni su na središnje računalo. U središnjem računalu predloženi algoritam može obavljati kontrolu opterećenja s primarnim ciljem smanjenja korisnikovih računa za energiju.

Gator Tech obiteljska je pametna kuća razvijena na Sveučilištu Florida u svrhu eksperimentiranja i analiziranja primjene inteligentne tehnologije. Primarni joj je fokus bio omogućiti bolju kvalitetu života korisnicima sa posebnim potrebama i starijim osobama pomoću pametnih senzora i inteligentnih uređaja, ali ono je ujedno pogodno okruženje za svakoga. Osigurava privatnost i udobnost korisnika te obavještava korisnika za uzimanje potrebnih

lijekova i još mnogo toga. Još neki od sličnih projekata razvijanja koncepta pametne kuće su: Drexler Smart House te Matilda Smart House na Sveučilištu Florida.

Pametna kuća može postati dio pametnog grada. Demonstracijski projekt, IssyGrid usmjeren na smanjenje upotrebe energije, nalazi se u francuskom gradu Issy-Ies-Moulineaux. Sastoji se od četiri gospodarske zgrade i 200 testnih kuća. Građanima je osigurana potrošnja energije u stvarnom vremenu. Rezultati pokazuju da su troškovi na strani krajnjeg korisnika smanjeni za 10-20 %. [21]

3.3. HAN – eng. *Home Area Network*

Kućna mreža (eng. *Home Area Network*) je mreža unutar kuće koja omogućuje komunikaciju raznih uređaja unutar kućanstva sa pametnim brojilima. Koristi se za pružanje nadzora i kontrole potrošnje električne energije te omogućuje smanjenje cijene potrošnje energije unutar pojedinog kućanstva jer postoji uvid u potrošnju u stvarnom vremenu. Kućna mreža služi za prikupljanje podataka koje senzori na različitim kućanskim uređajima šalju te služi za isporuku informacija o kontroli potrošnje. Kako bi se uštedjela energija mrežnom operateru omogućeno je upravljanje grijanjem, klimatizacijom i drugim uređajima koji imaju senzore za komunikaciju, poput perilice rublja, hladnjaka te sušilica. HAN može podržavati funkcije kao što su isključenje klima uređaja za vrijeme vršnog opterećenja ili prikaz podataka o potrošnji na digitalnom kućnom zaslonu. [22]

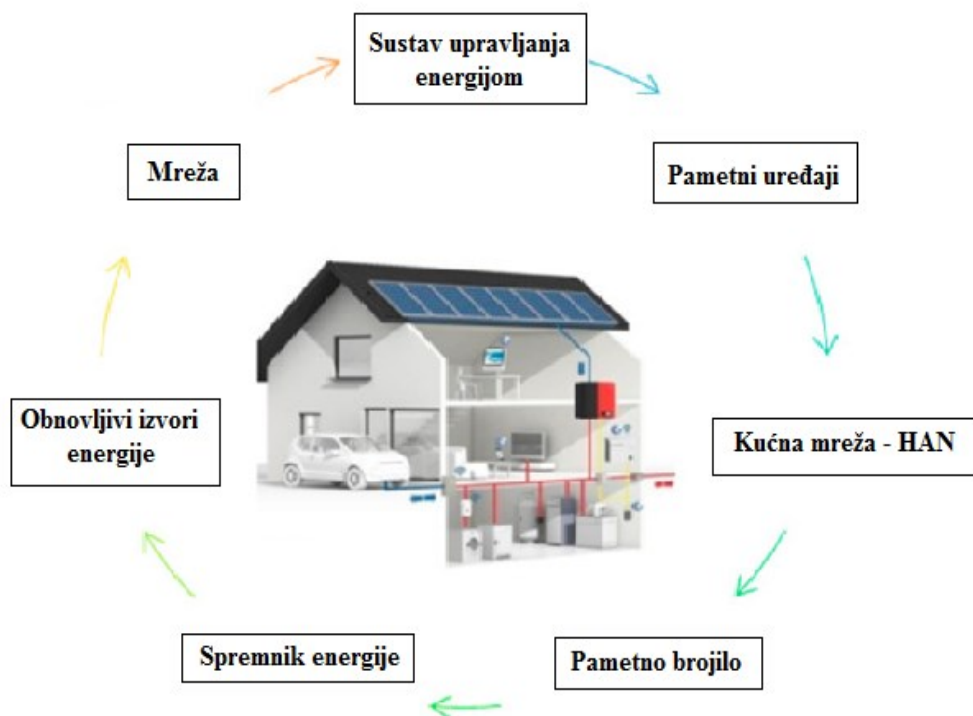
Kućna mreža sastoji se od dvije osnovne komponente: centralnog i perifernog čvora.

- Centralni čvor od perifernog čvora prima podatke o korištenju pojedinog kućanskog uređaja te prikuplja podatke o ukupno potrošenoj električnoj energiji unutar kućanstva. Te podatke sprema u ugrađenu memoriju, a zatim ih šalje distributeru. Korisnik može, kada god poželi, pristupiti tim podacima. Centralni čvor ima mogućnost, spajanjem putem modema ili routera na poslužitelj, prikupiti podatke o trenutnoj cijeni i o prognozi buduće cijene električne energije.
- Periferni čvor putem bežične veze komunicira sa centralnim čvorom te mu šalje podatke o korištenju pojedinih kućanskih uređaja na koje je spojen. Prednost je što ima modularnu građu, odnosno pomoću malih izmjena spaja se na neki drugi tip uređaja.

Ovisno na kojem je uređaju spojen, može upravljati njegovim radom te slati relevantne informacije o trenutnoj stanju uređaja. [15]

3.4. HEM – eng. *Home Energy Management*

Sustav upravljanja potrošnjom kućanstva (eng. *Home Energy Management*) za zadatak ima upravljati radom trošila, odnosno kućanskih aparata, čiji se rad može odgoditi za neki određeni vremenski period, ali komfor korisnika ne smije biti narušen. Moderan dom, opremljen sustavom upravljanja potrošnjom, značajno doprinosi poboljšanju učinkovitosti, pouzdanosti te ekonomičnosti potrošnje energije. Ovi sustavi većinom su razvijeni u svrhu kontrole potrošnje električne energije, poboljšanja razine performansi pametne mreže te optimizacije korisnikovih zahtjeva. Koncept ovog sustava nije samo u upravljanju energijom i u predlaganju novih modela za uštedu energije, nego i u stvaranju svijesti kod potrošača te njihovom motiviranju za sudjelovanju u aktivnostima vezanim za očuvanje energije. [23]



Slika 3.4. Sustav upravljanja potrošnjom kućanstva [24]

4. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM

Upravljanje potrošnjom predstavlja ključnu ulogu u sustavu upravljanja energijom u pametnoj mreži. Pruža podršku funkcionalnosti naprednih mreža na različitim područjima kao što su kontrola tržišta električne energije, upravljanje, izgradnje infrastrukture i drugo. Cilj je razviti algoritam upravljanja potrošnjom koji smanjuje vršnu potrošnju i upravlja radom uređaja prema mrežnim uputama bez narušavanja komfora pri njihovom korištenju.

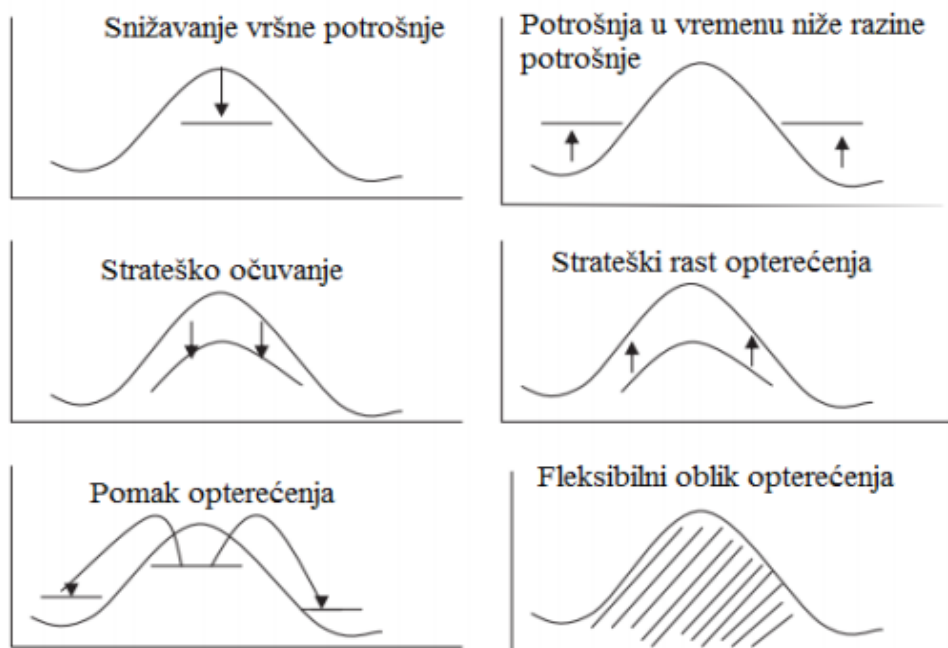
Upravljanje potrošnjom mijenja model potrošnje korisnika kako bi se stvorile željene promjene opterećenja sustava raspodjele energije. Umjesto povećanja proizvodnih kapaciteta te jačanja prijenosne i distributivne mreže, upravljanje potrošnjom usredotočuje se na korištenje tehnologija za uštedu energije, tarife električne energije te novčane poticaje. Glavne prednosti upravljanja potrošnjom su smanjenje troškova, unaprjeđenje i zaštita okoliša i društva, pouzdanost te poboljšano tržište. [13]

4.1. Tehnike upravljanja potrošnjom

Karakteristike opterećenja pokazuju dnevnu ili sezonsku potrebu za električnom energijom različitih korisnika mreže koji mogu biti u kategoriji rezidencijalnih kupaca, kupaca iz uslužnih djelatnosti ili industrijskih kupaca. Prikazuju se podaci od vršnih vremena do vremena isključenja te se oni mogu mijenjati pomoću šest različitih tehnika, a to su: ,,

- snižavanje vršne potrošnje (eng. *Peak clipping*)
- potrošnja u vremenu niže razine potrošnje (eng. *Valley filling*)
- premještanje opterećenja (eng. *Load shifting*)
- strateško očuvanje (eng. *Strategic conservation*)
- strateški rast opterećenja (eng. *Strategic load growth*)
- fleksibilni oblik opterećenja (eng. *Flexible load shape*)“ [13]

Navedenih šest tehnika upravljanja potrošnjom kojima se nastoji promijeniti krivulja opterećenja prikazani su na slici 4.1.



Slika 4.1. Tehnike upravljanja potrošnjom [13]

Tehnika strateškog rasta opterećenja optimizira svakodnevni odgovor u slučaju uvođenja velike potražnje u razdoblju vršnog opterećenja. Takav je pristup netradicionalan, a rezultat je povećana prodaja kroz razvoj novih uređaja poput električnih automobila.

Tehnika kada je potrošnja izražena u razdobljima niže razine potrošnje također se fokusira na smanjenje razlika između vršnih i dolinskih razina opterećenja kako bi se smanjila, odnosno ublažila vršna potrošnja. Izvan vršnog razdoblja, ovom se tehnikom povećava opterećenje, potrošnja energije te termalni skladišni prostori. Ovakva tehnika predstavlja tradicionalan pristup za upravljanje potrošnjom, a dugoročno gledano proizvodni su troškovi manji od prodajne cijene električne energije.

Tehnika fleksibilnog oblika opterećenja uglavnom se odnosi na pouzdanost pametne mreže koja može umanjiti korisnikovu potražnju za opterećenjem ukoliko je to potrebno. Kako bi udovoljio svojim zahtjevima, odnosno potrebama, korisnik mora proizvesti vlastitu električnu energiju ili koristi drugi izvor energije te je takav pristup netradicionalan.

Tehnika premještanja opterećenja trenutačno je najučinkovitija tehnika upravljanja potrošnjom te se ona široko primjenjuje. Ima prednosti vremenske neovisnosti i prebacuje opterećenja iz vršnih razdoblja u razdoblje izvan vrha opterećenja. Ovakav je pristup upravljanja potražnjom tradicionalan. [13]

4.2. Strategije upravljanja potrošnjom u kućanstvu

Strategija upravljanja potrošnjom koristi tehniku premještanja opterećenja (eng. *Load shifting*) kao primarnu tehniku koju može koristiti središnji operater pametne mreže te se pravi objektivna krivulja opterećenja prema ciljevima upravljanja potrošnjom. Svrha je predloženog algoritma optimizacije postići krajnju krivulju opterećenja što je bliže moguće krivulji objektivnog opterećenja. Na primjer, cilj je upravljanja potrošnjom smanjenje računa za energiju te smanjenje vršnog opterećenja, stoga, objektivna krivulja opterećenja odabrana je tako da je obrnuto proporcionalna prema cijeni električne energije na tržištu te prema maksimalnom opterećenju. Sustav upravljanja potrošnjom prima objektivnu krivulju opterećenja kao ulaz u sustav i izračunava potrebne kontrole opterećenja kako bi se ispunila željena potrošnja. Upravljanje potrošnjom provodi se na početku definiranog razdoblja, a tipično se za to uzima dan te se upravljačke radnje izvršavaju u stvarnom vremenu na temelju rezultata. Kada korisnik pritisne tipku za uključivanje nekog uređaja, zahtjev za povezivanje poslan je mrežnom operateru te mrežni operater odgovara na temelju rezultata tehnike upravljanja potrošnjom koja je unaprijed izvršena.

Strategija upravljanja potrošnjom planira raspored uključivanja uređaja čiji se rad može odgoditi u sustavu na način koji dovodi krivulju potrošnje vrlo blizu krivulji planirane potrošnje. Predviđanje dnevne potrošnje osigurava da trenutna proizvodnja električne energije bude jednaka, odnosno približno blizu, krivulji potrošnje električne energije. Time se osigurava stabilnost opskrbe električnom energijom. Matematička formulacija za tehniku premještanja opterećenja prikazana je u nastavku:

$$\sum_{t=1}^N ((\text{stvarna potrošnja}(t) - \text{planirana potrošnja}(t))^2) \quad (4-1)$$

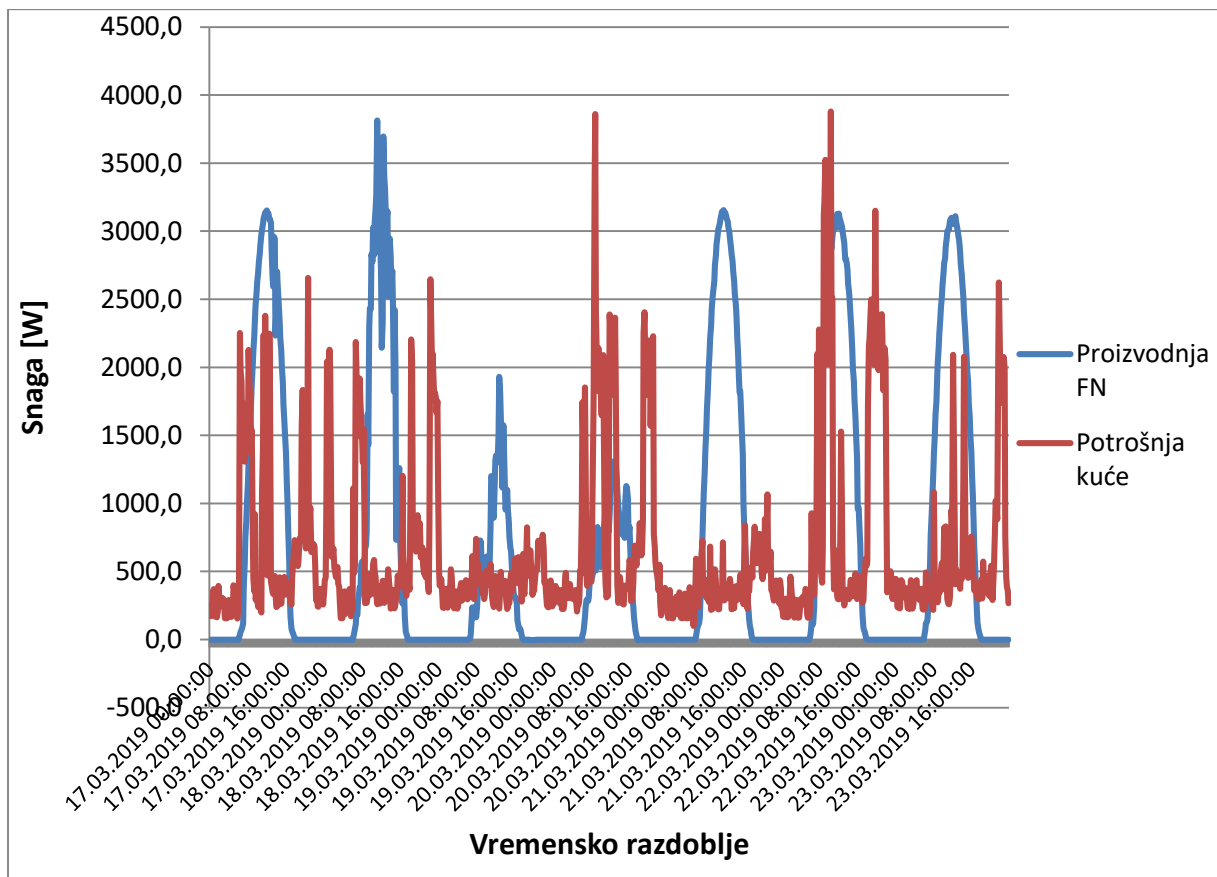
Planirana potrošnja je vrijednost planirane krivulje potrošnje za vrijeme t , a stvarna potrošnja za vrijeme t definirana je na sljedeći način:

$$\text{Stvarna potrošnja}(t) = \text{Predviđena potrošnja}(t) + \text{Povezani uređaji}(t) - \text{Nepovezani uređaji}(t) \quad (4-2)$$

Predviđena potrošnja je za vrijeme t , dok povezani i nepovezani uređaji predstavljaju opterećenja za vrijeme t tijekom perioda premještanja opterećenja. [13]

4.3. Proizvodnja FN i potrošnja kuće

Fotonaponska elektrana smještena na krovu Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku instalirana je kao 10 kW sustav. Elektrana se sastoji od 40 fotonaponskih modula snage 250 W spojenih u dva niza, a nizovi su spojeni na pretvarač. Za potrebu izrade diplomskog rada, izmjerene vrijednosti fotonaponske elektrane FERIT-a proračunom su svedene na vrijednosti elektrane nazivne snage 5 kW. Ta vrijednost predstavlja snagu fotonapona koji bi se instalirao na krov stambenog objekta, odnosno kuće, a takvi su rezultati dobiveni proračunom i mjerenjem potrošene električne energije u kući. Koristeći te podatke, na sljedećem su dijagramu prikazane krivulje proizvodnje fotonaponskog sustava te potrošnje kuće.



Slika 4.2. Dijagram proizvodnje fotonaponske elektrane i potrošnje kuće

Vremensko razdoblje u kojemu su se vršila mjerenja je od 17. ožujka 2019. u 00:00 h do 23.ožujka 2019. u 00:00 h, a vrijednosti su deset minutne. Tijekom ovog razdoblja, zabilježena

maksimalna vrijednost snage proizvodnje iznosila je 3813,2 W dana 18.3.2019. u 11:10 h, a minimalna je bila -5 W na dan 20.3.2019. u 18:00 h. Maksimalna vrijednost potrošnje iznosila je 3879,5 W dana 22.3.2019. u 10:30h, a minimalna je potrošnja iznosila 100,6 W dana 21.3.2019. u 05:40 h.

Iz danih podataka o proizvodnji električne energije te potrošnji, izračunato je koliko bi iznosila ukupna proizvedena energija unutar obračunskog razdoblja od mjesec dana 485,22 kWh dok bi ukupna potrošena energija iznosila 433,49 kWh.

Nadalje, za razdoblja u kojima je proizvodnja električne energije veća od potrošnje kućanstva, HEP Elektra plaća korisniku za predanu energiju. Taj se iznos energije računa tako da od proizvodnje oduzme potrošnja u navedenim razdobljima. Tako za razdoblje od 17.3.2019. – 23.3.2019. energija koja je isporučena u mrežu iznosi 81,374 kWh, odnosno ukupna isporučena energija unutar obračunskog razdoblja od mjesec dana iznosi $E_{ii} = 325,49$ kWh.

Kako se navodi na stranicama HEP-a: „Člankom 3. Pravilnika o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage za kupca s vlastitom proizvodnjom utvrđena je minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom C_i u obračunskom razdoblju i na sljedeći način:

$$C_i = 0.9 * PKC_i \quad (4-3)$$

ako za obračunsko razdoblje i vrijedi $E_{pi} \geq E_{ii}$ “ [12]

Budući da je $E_{pi} > E_{ii}$ u slučaju proizvodnje fotonaponske elektrane i potrošnje kuće, tada je:

$$C_i = 0.9 * 0,4900 = 0.441 \quad [\text{kn/kWh}] \text{ za višu dnevnu tarifnu stavku,} \quad (4-4)$$

odnosno,

$$C_i = 0.9 * 0.2400 = 0.216 \quad [\text{kn/kWh}] \text{ za nižu dnevnu tarifnu stavku.} \quad (4-5)$$

Za promatrano razdoblje od 17. ožujka 2019. do 23. ožujka 2019. uzima se zimsko računanje vremena što znači da su razdoblja trajanja više i niže dnevne tarife sljedeća: VT od 07-21 sat, odnosno NT od 21-07 sati.

E_{pi} predstavlja vrijednost ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja te iznosi $E_{pi} = 286,865$ kWh , a za slučaj kada je u višoj tarifi cijena koju kupac plaća formulira se na sljedeći način:

$$286,865 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 304,08 [kn] \quad (4-6)$$

Na cijenu za višu tarifu od 0,8400 kn/kWh dodaje se naknada za obnovljive izvore u iznosu od 0,105 kn/kWh te se dodaje PDV od 13%, što ukupno daje cijenu od 1,06 kn/kWh.

Električna energija preuzeta iz mreže unutar obračunskog razdoblja za vrijeme niže dnevne tarife iznosi $E_{pi} = 146,585$, kWh, a cijena koju kupac plaća može se zapisati na način:

$$146,585 [kWh] * 0,58 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 85,01 [kn] \quad (4-7)$$

Na cijenu za nižu tarifu od 0,4100 kn/kWh dodaje se naknada za obnovljive izvore u iznosu od 0,105 kn/kWh te se dodaje PDV od 13%, što ukupno daje cijenu od 0,58 kn/kWh.

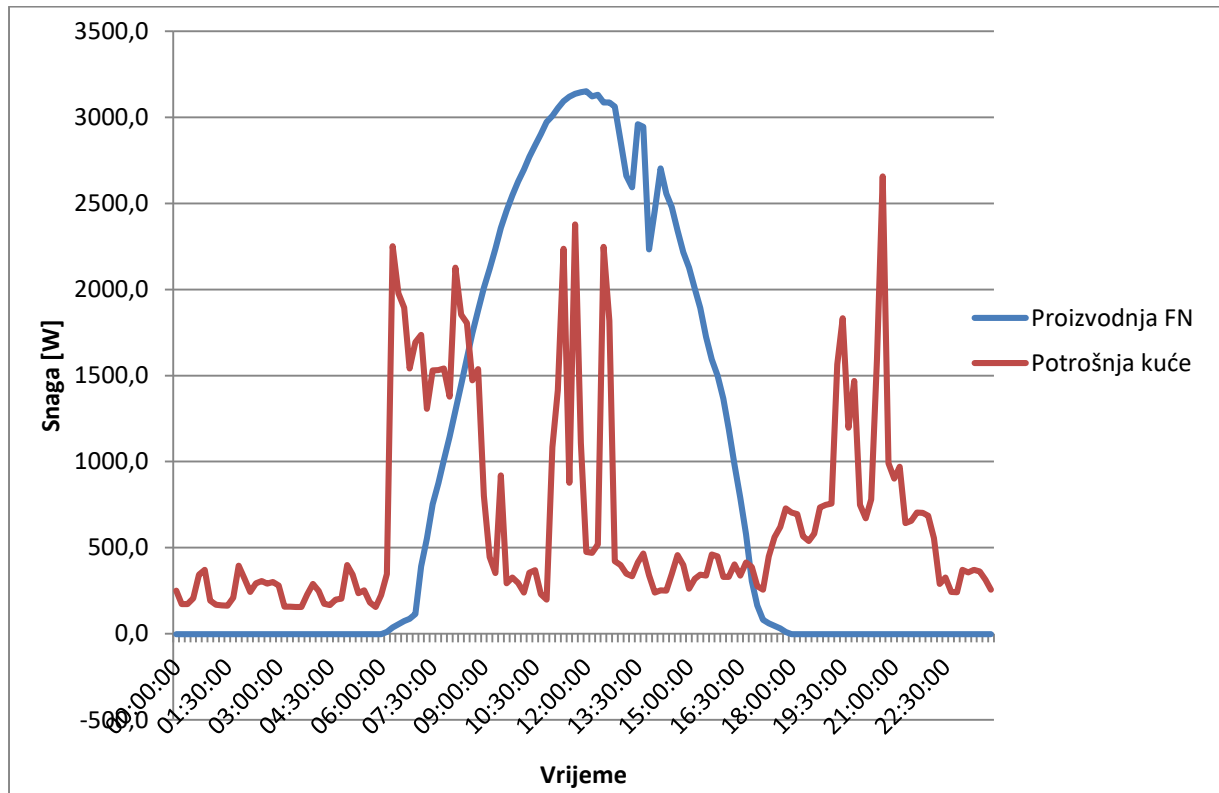
E_{ii} predstavlja vrijednost električne energije koja se isporučuje u mrežu od strane proizvodnog postrojenja kupca unutar obračunskog razdoblja od mjesec dana. Isporučena energija u mrežu predstavlja onu razliku energija kada je proizvodnja električne energije veća od potrošnje za razdoblje od mjesec dana te ona iznosi $E_{ii} = 325,496$ kWh. Budući da se sav iznos isporučene električne energije nalazi u vremenu više tarife, HEP Elektra korisniku će platiti iznos koji se može zapisati na sljedeći način:

$$325,496 [kWh] * 0,441 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 143,21 [kn] \quad (4-8)$$

4.3.1. Sunčan dan

Za primjer jednog sunčanog dana uzet je 17.3.2019. Ukupna proizvodnja električne energije toga dana iznosila je 21,351 kWh, a ukupna potrošnja toga dana iznosila je 15,911 kWh. Maksimalna proizvodnja električne energije iznosila je 3152 W u 12:00 h. Na slici 4.3. vidljivo

je kako se najveća vrijednost potrošene električne energije nalazi u trenucima kada fotonaponska elektrana ne proizvodi, odnosno potrošnja maksimum postiže u 20:40 h te iznosi 2657,24 W.



Slika 4.3. Primjer sunčanog dana (17.3.2019.)

Prema dijagramu slici 4.3. vidljivo je kako proizvodnja veća od potrošnje u razdoblju od 08:40 – 16:40 h te za to razdoblje HEP Elektra plaća korisniku za predanu energiju. Iznos te energije dobije se kao razlika krivulje proizvodnje i krivulje potrošnje u vremenu kada je proizvodnja veća od potrošnje, a može se zapisati:

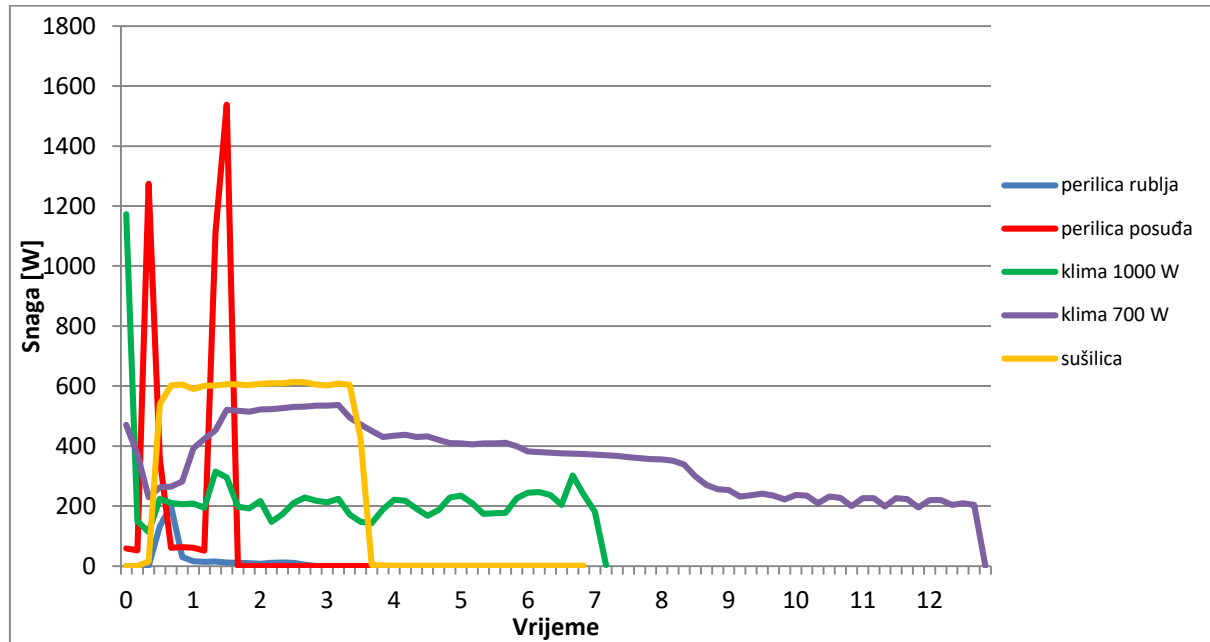
$$\Sigma \text{proizvodnja} - \Sigma \text{potrošnja} \text{ (u vremenu 08:40 h – 16:40 h)} \quad (4-9)$$

Prema gore navedenom, iznos energije predane u mrežu za ovaj sunčani dan iznosi 14,499 kWh te za tu energiju HEP Elektra plaća korisniku:

$$14,499 \text{ [kWh]} * 0,441 \text{ [kn/kWh]} = 6,39 \text{ [kn]} \quad (4-10)$$

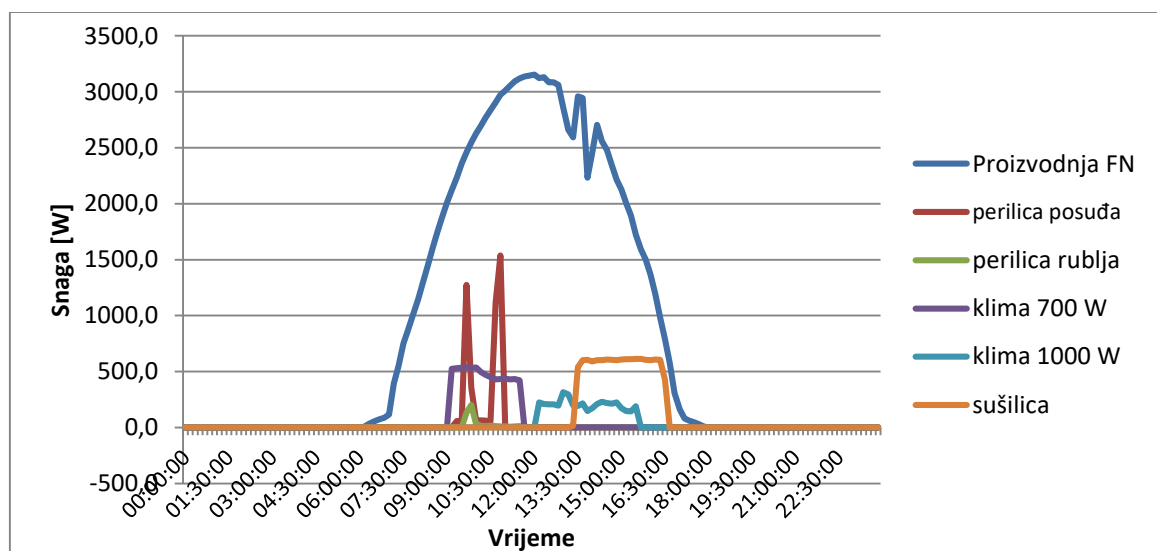
Ovaj primjer za cilj ima da potrošnju električne energije nekih kućanskih aparata, poput perilice rublja, sušilice, perilice posuđa te klima uređaja prebaci u razdoblje najveće proizvodnje

električne energije. Kao rezultat toga, iskoristit će se vlastita proizvodnja električne energije te se smanjiti potrošnja u razdobljima kada fotonaponska elektrana ne proizvodi. Ovakav model upravljanja potrošnjom stvara uštedu i smanjenje troškova za električnu energiju. Na slici 4.4. nalaze se krivulje potrošnje kućanskih uređaja čijim će se radom u ovom primjeru upravljati.



Slika 4.4. Krivulje potrošnje kućanskih uređaja

Na slici 4.5. prikazan je dijagram proizvodnje električne energije iz fotonapona te krivulje potrošnje kućanskih uređaja čiji je rad prebačen u vrijeme najveće proizvodnje električne energije.



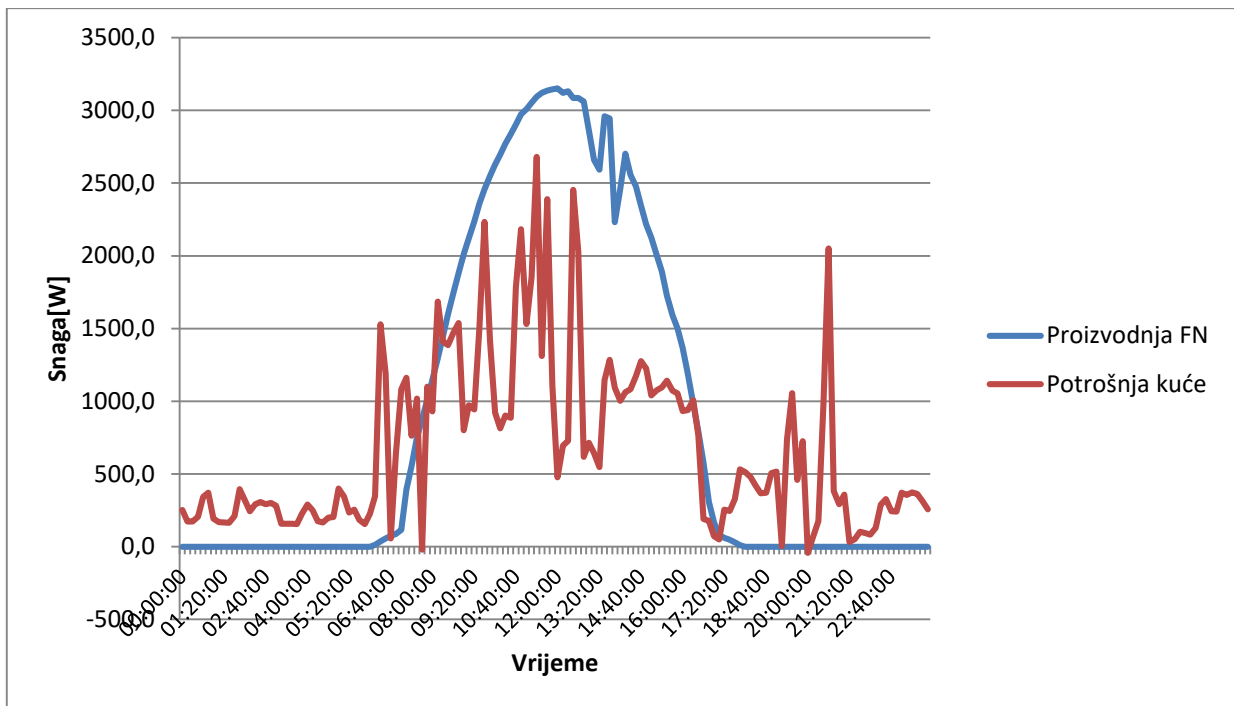
Slika 4.5. Proizvodnja FN i potrošnja kućanskih uređaja

Potrošnja kućanskih uređaja čijim se radom može upravljati prebačena je u razdoblje najveće proizvodnje električne energije. Navedenim uređajima odgođen je rad za neko drugo vrijeme, ali pri tome nije došlo do narušavanja korisnikova komfora.

- Korisnik je rad perilice posuđa snage oko 1900 W odgodio iz vremena 06:20 – 08:00 h u razdoblje kada proizvodnja ima svoj rast, odnosno u vrijeme 9:20 – 11:00 h.
- Perilica rublja snage oko 2000 W radila je u razdoblju od 06:20 – 08:20 h, no korisnik je njezin rad odgodio za razdoblje od 09:40 – 11:40 h.
- Klima uređaj snage oko 1000 W koji se nalazi u dnevnom boravku korisnika radio je u vremenu od 16:40 – 20:00 h, no ta je potrošnja premještena u vrijeme kada je proizvodnja maksimalna, odnosno u vrijeme 12:10 – 15:30 h.
- Drugi klima uređaj snage oko 700 W koji se nalazi u jednoj od soba u kući korisnika radio je u vremenu od 06:20 – 08:30 h te premješten je u vrijeme 09:10 – 11:30 h.
- Korisnik je rad sušilice za rublje koja je radila u vremenu od 18:40 – 22:10 h odgodio za rad u vremenu od 13:00 – 16:30 h.

Kako bi se dobila potrošnja unutar kućanstva skupa sa upravljivim uređajima, potrebno je potrošnju navedenih kućanskih uređaja zbrojiti sa potrošnjom kuće u onom vremenskom intervalu kada je proizvodnja električne energije iz fotonaponska veća od potrošnje. S druge strane, želi se smanjiti potrošnja kada nema proizvodnje, stoga će potrošnja upravljivih uređaja iz tog vremena biti oduzeta od potrošnje kuće tog istog vremena.

Na slici 4.6. prikazana je proizvodnja fotonaponske elektrane i ukupna potrošnja električne energije zajedno sa uređajima čiji je rad prebačen u razdoblje najveće proizvodnje. Vidljivo je kako se dio potrošnje koji je bio najveći oko 06:20 h te oko 20:40 h smanjio, odnosno prebačen je u razdoblje vlastite proizvodnje električne energije.



Slika 4.6. Proizvodnja FN elektrane i ukupna potrošnja kuće zajedno sa uređajima čiji je rad odgođen (17.3.2019.)

Razdoblje u kojemu je proizvodnja električne energije veća od potrošnje je vrijeme od 08:20 – 16:10 h te za energiju u tom razdoblju HEP Elektra plaća korisniku. Iznos te energije dobije se kao razlika proizvedene i potrošene energije u navedenom razdoblju te ona iznosi 9,863 kWh, odnosno iznos koji HEP Elektra plaća korisniku je sljedeći:

$$9,863 [kWh] * 0,441 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 4,35 [kn] \quad (4-11)$$

Potrošnja perilice posuđa za navedeni sunčani dan iznosi 0,772 kWh za vremensko razdoblje kada bi radila od 06:20 – 08:00 h. Budući da se jedan dio potrošnje obračunava po cijeni više tarife, a drugi dio po cijeni niže tarife, konačna cijena za potrošenu električnu energiju iznosi:

$$0,29 [kWh] * 0,58 \left[\frac{kn}{kWh} \right] + 0,482 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 0,679 [kn] \quad (4-12)$$

Potrošnja perilice rublja iznosi 0,081 kWh kada bi radila u vremenu od 06:20 – 08:20 h. I ovdje se jedan dio potrošnje obračunava po višoj tarifi, a drugi po nižoj, stoga konačna cijena za potrošenu električnu energiju iznosi:

$$0,06 [kWh] * 0,58 \left[\frac{kn}{kWh} \right] + 0,02 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 0,056 [kn] \quad (4-13)$$

Potrošnja klima uređaja snage 1000 W iznosi 0,880 kWh kada bi radio u vremenu od 16:40 – 20:00 h. Cijena za potrošenu električnu energiju obračunava se po cijeni više dnevne tarife te iznosi:

$$0,880 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 0,93 [kn] \quad (4-14)$$

Potrošnja klima uređaja snage 700 W iznosi 0,957 kWh kada bi radila u vremenu od 06:20 – 08:30 h. Jedan se dio potrošnje obračunava po cijeni više tarife, a drugi po cijeni niže dnevne tarife pa konačna cijena iznosi:

$$0,266 [kWh] * 0,58 \left[\frac{kn}{kWh} \right] + 0,691 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 0,89 [kn] \quad (4-15)$$

Potrošnja sušilice iznosi 1,882 kWh kada bi radila u vremenu od 18:40 – 22:10 h. Konačna cijena za potrošenu električnu energiju iznosi:

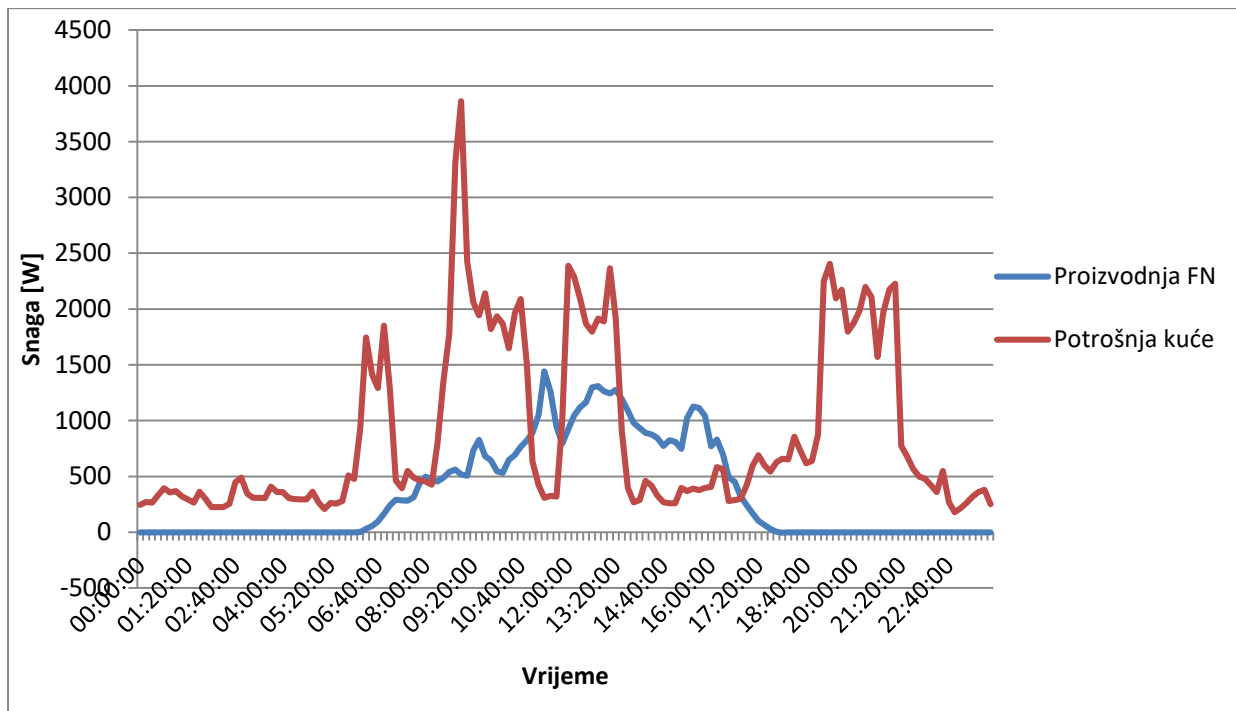
$$1,394 [kWh] * 0,58 \left[\frac{kn}{kWh} \right] + 1,097 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 1,97 [kn] \quad (4-16)$$

Kada se zbroje potrošnje navedenih uređaja dobije se iznos od 4,53 kn te ono predstavlja uštedu u ovome sunčanom danu. Kada bi se pretpostavio ovakav trend potrošnje kroz mjesec od 30 dana, ušteda bi iznosila 135,90 kn, odnosno:

$$4,53 [kn] * 30 = 135,9 [kn] \quad (4-17)$$

4.3.2. Oblačan dan

Za primjer jednog oblačnog dana uzet je 20.3.2019. Ukupna je proizvodnja toga dana bila 8,072 kWh, a potrošnja električne energija iznosila je 21,291 kWh. Na slici 4.7. vidljivo je kako potrošnja nadvisuje proizvodnju električne energije u gotovo svim trenucima. Maksimalna proizvodnja električne energije za ovaj dan bila je 1441,25 W u 11:20 h, dok je maksimalna potrošnja iznosila 3861,47 W u 09:00 h.

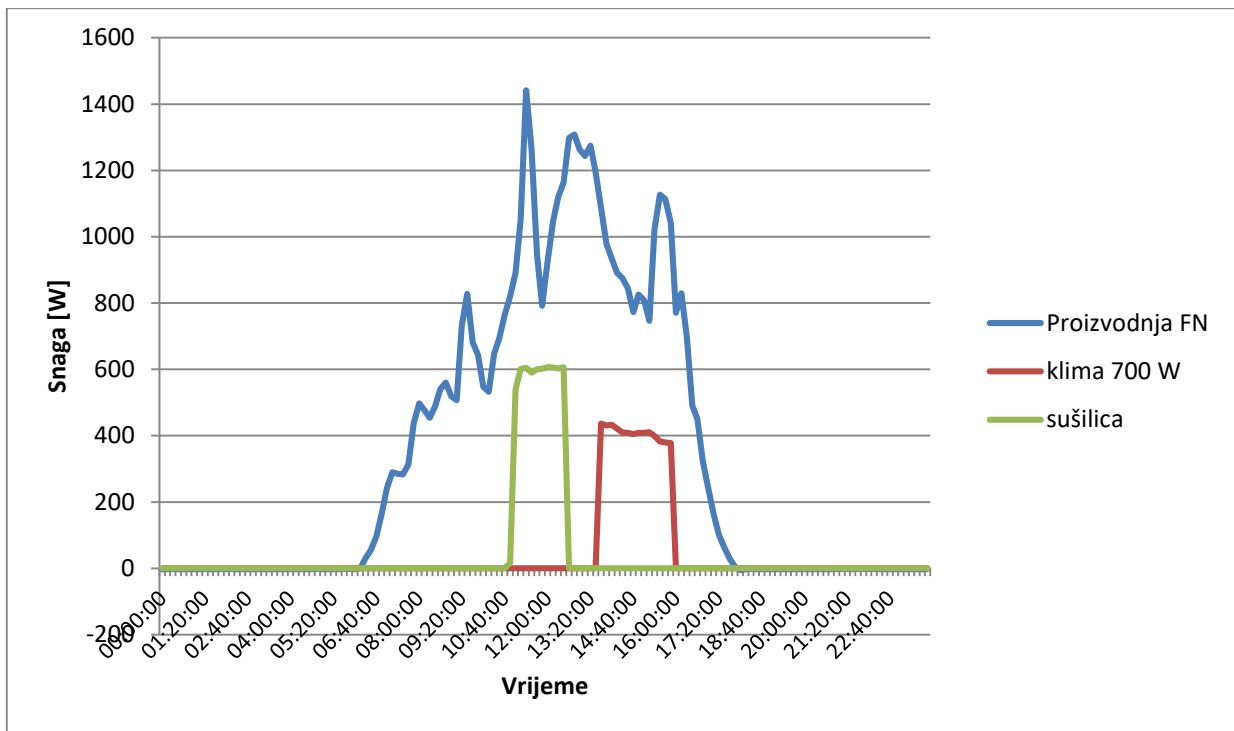


Slika 4.7. *Primjer oblačnog dana (20.3.2019.)*

Za razdoblja u kojima je proizvodnja električne energije veća od potrošnje, HEP Elektra za predanu energiju plaća korisniku. Prema slici 4.7. može se vidjeti kako su ta razdoblja u vremenu od 11:00 – 11:40 h te u vremenu od 13:30 – 16:50 h. Iznos predane energije dobije se kao razlika proizvedene energije i potrošene energije u navedenim vremenskim periodima. Za vrijeme od 11:00 – 11:40 h taj je iznos razlike jednak 0,597 kWh, dok je za razdoblje od 13:30 – 16:50 h iznos razlike proizvodnje i potrošnje jednak 1,484 kWh. Kada se to sumira, isporučena energija u ovome danu iznosi 2,082 kWh te za nju HEP Elektra plaća korisniku:

$$2,082 [kWh] * 0,441 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 0,92 [kn] \quad (4-18)$$

Na slici 4.8. prikazan je dijagram proizvodnje električne energije te potrošnja kućanskih uređaja, klime od 700 W te sušilice rublja, čiji je rad prebačen u vrijeme kada fotonaponska elektrana proizvodi više nego što je potrošnja električne energije.



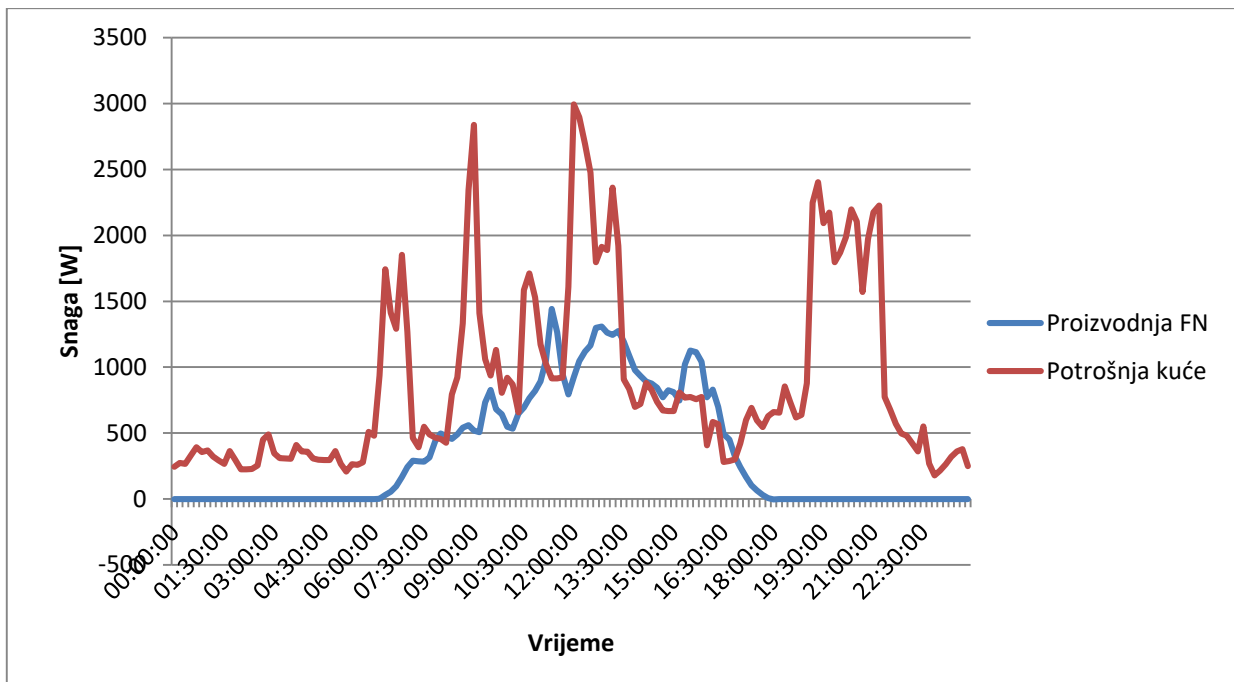
Slika 4.8. Proizvodnja FN i potrošnja kućanskih uređaja

Za primjer ovog oblačnog dana uređaji čijim će se radom upravljati su klima uređaj od 700 W te sušilica rublja.

- Korisnik će potrošnju klima uređaja od 700 W koji je radio u vremenu od 08:30 – 10:40 h prebaciti u vrijeme koje mu bolje odgovara, odnosno u vrijeme 13:40 – 15:50 h.
- Korisnik će potrošnju sušilice rublja koju je palio u vremenu od 08:20 – 10:20 h prebaciti u njemu pogodnije i potrebnije vrijeme za to, odnosno u vrijeme 10:30 – 12:30 h.

Ukupna potrošnja kućanstva za oblačni dan tada se računa tako da se potrošnja uređaja koji se prebacuju u vrijeme najveće proizvodnje električne energije zbrajaju sa potrošnjom u tom vremenskom periodu. Odnosno, potrošnja se tih uređaja oduzima od potrošnje kućanstva u vremenu izvan najveće proizvodnje električne energije.

Krivulje proizvodnje električne energije i ukupne potrošnje kućanstva sa dodanim kućanskim uređajima za primjer oblačnog dana prikazane su na slici 4.9.



Slika 4.9. Proizvodnja FN elektrane i ukupna potrošnja kuće zajedno sa uređajima čiji je rad odgođen (20.3.2019.)

Pri ovakvom slučaju, vremena u kojima je proizvodnja električne energije veća od potrošnje su u razdoblju od 11:00 – 11:40 h te u 13:30 – 16:50 h te za energiju predanu u tom razdoblju HEP Elektra plaća korisniku. Iznos te energije dobije se kao razlika proizvodnje električne energije i potrošnje kućanstva za navedene vremenske intervale. Za vrijeme od 11:00 – 11:40 h iznos razlike energija jest 0,108 kWh, dok za vrijeme od 13:30 – 16:50 h iznos razlike proizvodnje i potrošnje jest 0,651 kWh. Kada se to sumira, ukupna predana energija ovog oblačnog dana iznosi 0,759 kWh, a iznos koji će HEP Elektra platiti korisniku jest:

$$0,759 [kWh] * 0,441 [kn/kWh] = 0,33 [kn] \quad (4-19)$$

Potrošnja klima uređaja snage 700 W kada bi u oblačnom danu radio u vremenu od 08:30 – 10:40 h iznosi 0,958 kWh. Konačna cijena potrošene električne energije obračunava se po višoj dnevnoj tarifi te ona iznosi:

$$0,958 [kWh] * 1,06 [kn/kWh] = 1,02 [kn] \quad (4-20)$$

Potrošnja sušilice kada bi se u istom danu palila u vremenu od 08:20 – 10:20 h iznosi 0,996 kWh. Konačna se cijena obračunava po višoj dnevnoj tarifi te iznosi:

$$0,996 [kWh] * 1,06 \left[\frac{kn}{kWh} \right] = 1,05 [kn] \quad (4-21)$$

Kada se zbroje potrošnje navedenih uređaja u oblačnom danu to iznosi 2,07 kn te ono predstavlja uštedu u ovome oblačnom danu. Kada bi se pretpostavio ovakav trend potrošnje kroz mjesec dana, ušteda bi iznosila 62,10 kn, odnosno:

$$2,07 [kn] * 30 = 62,1 [kn] \quad (4-22)$$

5. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad predstavljeno je upravljanje potrošnjom onih uređaja u kućanstvu čiji se rad može odgoditi za neki vremenski period bez narušavanja korisnikova komfora. Rezultat primjene takvog sustava je u stvaranju ušteda te smanjenu računa za električnu energiju. Razvija se takva svijest kod korisnika da trebaju koristiti energiju u ono vrijeme kada je proizvodnja najveća, odnosno kada je energija dostupna. Naravno taj se koncept ne odnosi na one kućanske uređaje koji rade kontinuirano kao što su hladnjaci i zamrzivači. U radu su prikazani rezultati proračuna za jedan sunčan dan te za jedan oblačan dan te su dane krivulje proizvodnje i potrošnje električne energije za navedene dane. Utvrđeno je kako je za primjer sunčanog dana prebacivanje rada potrošača u razdoblje kada fotonaponska elektrana najviše proizvodi dovelo do smanjenja isporuke energije u tom danu, a time se smanjila potrošnja u vremenu kada proizvodnje nema. Isto tako i za primjer oblačnog dana, rad dvaju uređaja je premješten u razdoblje u kojem je proizvodnja veća od potrošnje kako bi se smanjila potrošnja izvan tog razdoblja.

POPIS LITERATURE

- [1] ABB, Technical Application Papers, No.10, Photovoltaic plants
- [2] M. Šipoš, M. Primorac, Z. Klaić, Demand Side Management inside a Smart House, Number 2, 2015.
- [3] Paul A. Lynne, Electricity from Sunlight, 2010., United Kingdom
- [4] Internetska stranica o fotonaponskim modulima, dostupno na:
<http://www.solarne-elektrane.hr/vrste-fn-panela-i-ucinkovitost-2/>
- [5] LJ. Majdandžić, Fotonaponski sustavi, Priručnik, Zagreb, 2010.
- [6] <https://www.smart-energy.com/renewable-energy/2020-global-solar-installations-7-times-more-than-2010-solar-capacity/>
- [7] <https://www.power-technology.com/comment/china-to-lead-global-growth-of-solar-photovoltaic-capacity-to-2030/>
- [8] <https://www.iea.org/reports/tracking-power-2019/solar-pv>
- [9] SLIKA: https://www.researchgate.net/figure/Percentage-share-of-installed-solar-photovoltaic-capacity-in-top-countries-of-the-world_fig1_331320658
- [10] D. Šljivac, D. Topić, Obnovljivi izvor električne energije, FERIT, materijali s predavanja 2017./2018.
- [11] Hrvatski operator tržišta energije (HROTE), godišnji izvještaj 2019., veljača 2020., dostupno na <http://www.hrote.hr/izvjestaji>
- [12] HEP-Operator distribucijskog sustava, dostupno na:
<https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29>
- [13] K. Swathi, K. Balasubramanian, M. Veluchamy, Residential Load Management Optimization in Smart Grid, siječanj 2016.
- [14] Laboratorij za sustave i signale, Fakulteta elektrotehnike i računarstva, Sveučilišta u Zagrebu, Sigurnost pametnih kuća, 2012. <https://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2012-04-045.pdf>

[15] Integracija OIE i napredne mreže, 5. Napredne (pametne) mreže, Izv.prof.dr.sc.Zvonimir Klaić,2019.

[16] Internetska stranica o sensorima pametne mreže, dostupno na:

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-grid-sensor>

[17] Smart Grid For Dummies, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, England, 2010. https://www.smartgrid.gov/files/documents/Smart_Grids_for_Dummies_201005.pdf

[18] Slika senzora preuzeta sa: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_powerline_sensor

[19] Internetska stranica o pametnim brojilima, dostupno na:

<https://www.which.co.uk/reviews/smart-meters/article/smart-meters-explained/what-is-a-smart-meter>

[20] National Renewable Energy Laboratory, Electric Energy Management in the Smart Home: Perspectives on Enabling Technologies and Consumer Behavior, kolovoz 2013.

[21] M. Šipoš, M. Primorac, Z. Klaić, Demand Side Management inside a Smart House, Number 2, 2015.

[22] Internetska stranica o kućnoj mreži, dostupno na:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/home-area-network>

[23] Internetska stranica o upravljanju potrošnjom kućanstva, dostupna na:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12667-019-00364-w>

[24] Article: Hybridized Intelligent Home Renewable Energy Management System for Smart Grids, Sustainability 2020.

SAŽETAK

U ovome radu zadatak je bio upravljanje potrošnjom u objektu kupca s vlastitom proizvodnjom. To podrazumijeva da se upravlja radom onih trošila čiji se rad može odgoditi za neki vremenski period kao što su perilice rublja, perilice posuđa, sušilice te klima uređaji. Njihova je potrošnja premještena u vrijeme kada je energija dostupna, odnosno kada fotonaponska elektrana proizvodi najviše. Prikazani su primjeri za jedan sunčani dan te za jedan oblačni dan te su prikazane krivulje proizvodnje električne energije te potrošnje električne energije u kućanstvu.

Ključne riječi: fotonapon, pametna mreža, upravljanje potrošnjom u kućanstvu

ABSTRACT

The goal of paper was to present load management in the consumer's facility with his own production. This implies that the operation of loads whose work may be delayed for another period of time is managed. Those loads are washing machine, dishwasher, tumble dryer and air conditioner. Their consumption is moved to the time when the energy is available, ie. when the photovoltaic power plant is produced the most. Examples are shown for one sunny day and one cloudy day, and the curves of electricity production and electricity consumption in the household are shown.

Key words: photovoltaic, smart grid, residential load management

ŽIVOTOPIS

Marija Matasović rođena je 14.11.1996. u Đakovu. Ondje završava osnovnu školu Vladimira Nazora, nakon čega upisuje opću gimnaziju Antuna Gustava Matoša u Đakovu koju završava sa odličnim uspjehom. Godine 2015. upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, koji je u međuvremenu promijenio naziv u Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na 2. godini studija opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Godine 2018. stječe akademski naziv prvostupnik elektrotehnike te iste godine upisuje diplomski studij, smjer Održiva elektroenergetika na FERIT-u. 2019. godine dodijeljena joj je nagrada na temelju prosjeka ocjena kolegija iz područja matematike na preddiplomskom sveučilišnom studiju u akademskoj godini 2018./2019.

Aktivno se bavi sportom te je svake godine predstavljala fakultet na sportskim natjecanjima te je nastupala za sveučilišnu ekipu Josipa Jurja Strossmayera na državnim natjecanjima. Godine 2020. osvaja titulu najbolje igrачice u rukometu na natjecanju svih fakulteta osječkog sveučilišta.

