

Napajanje baznih stanica telekom operatera pomoću obnovljivih izvora energije

Šarić, Đuro

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:030023>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni diplomski studij

**NAPAJANJE BAZNIH STANICA TELEKOM
OPERATERA POMOĆU OBNOVLJIVIH IZVORA
ENERGIJE**

Diplomski rad

Đuro Šarić

Osijek, godina. 2023

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

Obrazac D2: Zapisnik s diplomskog ispita

Osijek, 29.09.2023.

Studentskoj službi

Zapisnik s diplomskog ispita

Ime i prezime Pristupnika:	Đuro Šarić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	D-1426, 07.10.2021.
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
Sumentor:	Zvonimir Šimić, mag. ing. el.
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	izv. prof. dr. sc. Vanja Mandrić
Član Povjerenstva 1:	izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
Član Povjerenstva 2:	dr. sc. Matej Žnidarec
Naslov diplomskog rada:	Napajanje baznih stanica telekom operatera pomoću obnovljivih izvora energije
Kratko obrazloženje prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Diplomski ispit održan je Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek dana 29.09.2023. u 12:00 sati	
Pitanja članova Povjerenstva za diplomski ispit:	1. Koje su prednosti i nedostaci u slučaju kada se cjelokupna potrošnja energija pokriva fotonaponskim sustavima? 2. Objasniti proračun potrošnje energije? 3. Objasniti kupca s vlastitom proizvodnjom? 4. Objasniti potrošnju BS u zimskim i ljetnim mjesecima.
Mišljenje mentora o pismenom dijelu rada i Povjerenstva o tijeku diplomskog ispita:	Student je primjenom znanja stečenih na fakultetu obradio temu diplomskog rada i ispunio diplomski zadatak. Kandidat je uspješno obradio zadanu temu i odgovorio na postavljena pitanja.
Ocjena pismenog dijela ispita (diplomski rad):	Vrlo dobar (4)
Ocjena usmenog dijela ispita (diplomski ispit):	Izvrstan (5)
Ukupna ocjena na diplomskom ispitu:	Izvrstan (5)
Predsjednik Povjerenstva:	
Član 1:	
Član 2:	
Zapisničar:	
Pristupnik:	
Uspješno položenim diplomskim ispitom Pristupnik stječe stručni naziv:	
Magistar inženjer elektrotehnike smjer Elektroenergetika	

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

Osijek, 01.10.2023.

Ime i prezime studenta:

Đuro Šarić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1426, 07.10.2021.

Turnitin podudaranje [%]:

6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Napajanje baznih stanica telekom operatera pomoću obnovljivih izvora energije**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Danijel Topić

i sumentora Zvonimir Šimić, mag. ing. el.

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
2. PREGLED LITERATURE	2
3. BAZNE STANICE	3
3.1. Dijelovi baznih stanica.....	4
3.1.1. Antenski stup.....	4
3.1.2. Bazna stanica	6
3.1.3. Antena	9
3.1.4. Antenski kabel	10
3.2. Položaj bazne stanice	10
4. POTROŠNJA BAZNIH STANICA.....	13
4.1. Izračun opterećenja	15
4.1.1. Model opterećenja glavne opreme.....	15
4.1.2. Model opterećenja prijenosne i nadzorne opreme	16
4.1.3. Model opterećenja energetskog sustava	16
4.1.4. Model potrošnje opreme sustava hlađenja.....	16
4.1.5. Model potrošnje bazne stanice	17
4.2. Potrošnja baznih stanica	17
4.3. Priključak baznih stanica na mrežu.....	18
5. SUSTAV NAPAJANJA BAZNIH STANICA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE	19
5.1. Mrežno napajanje	19
5.2. Hibridno napajanje.....	21
5.3. Izvan mrežno napajanje	23
6. ODREĐIVANJE SNAGE SUSTAVA NAPAJANJA BAZNE STANICE OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE.....	28
6.1. Bazna stanica spojena na distributivnu mrežu	33
6.2. Bazna stanica u <i>off-grid</i> modelu	35
7. ZAKLJUČAK.....	40

LITERATURA	41
SADRŽAJ	43
ABSTRACT	44
ŽIVOTOPIS.....	45

1. UVOD

Bazna stanica je jedan od glavnih elemenata u sustavu prijenosa podataka između korisnika i operatera. Svako dnevno se povećava broj korisnika i zahtjevi koje korisnici traže su sve veći. Osim većeg broja korisnika tehnološki razvoj omogućuje automatizaciju procesa te njihovo upravljanje s udaljenog mjesta pomoću bežične mreže, napredne mreže, te u budućnosti i autonomnu vožnju automobila. Sve to zahtijeva povećanje trenutnog broja baznih stanica kao i kvalitete koje pružaju bazne stanice što se najčešće odnosi na brzinu prijenosa podataka. Kako je trenutna tehnologija 4G nedovoljna za buduće potrebe prelazi se postupno na 5G tehnologiju koja omogućuje povećanje brzine, a samim time i broj korisnika koji se može opsluživati. Zbog prijelaza na nove tehnologije pojavljuje se problem s napajanjem budućih baznih stanica koje u odnosu na sadašnje imaju veću potrošnju, te će doći do drastičnog povećanja potrošnje električne energije. Prema izvještaju europske komisije iz 2009. godine informacijsko komunikacijske tehnologije bile su odgovorne za potrošnju 8 % od ukupne električne energije u Europskoj uniji i za 2 % emisije ugljika [1]. Zbog prelaska na 5G tehnologiju i potrebe za većim brojem baznih stanica doći će i do povećanja potrošnje električne energije, te bi potrošnja informacijsko komunikacijskih tehnologija mogla iznositi 20 % od ukupne globalne potrošnje u 2030. godini [2]. Povećanje potrošnje baznih stanica predstavlja probleme ne samo u financijskom smislu troškova za električnu energiju, već dolazi i do povećanja opterećenja električne mreže. Većina baznih stanica koje imaju mogućnost spajanja na distributivnu mrežu napajaju se iz nje, te daljnjim povećanjem opterećenja mreža postaje preopterećena. Bazne stanice koje nemaju mogućnost napajanje iz mreže koriste agregate koji rade na dizel ili benzin te ispuštaju veliku količinu CO₂ u atmosferu. Sve više zemalja vodi politiku povećanja učinkovitosti i smanjenja emisije CO₂ u atmosferu, te je potrebno naći nove načine napajanje koji su održivi. To je moguće postići korištenjem hibridnih načina napajanja ili u potpunosti autonomnih sustava napajanja koji koriste izvore energije koji ne emitiraju CO₂ tj. obnovljive izvore energije. Neki od mogućih obnovljivih izvora za napajanje baznih stanica su fotonaponski moduli, vjetroagregat i gorive ćelije.

2. PREGLED LITERATURE

U radu [3] obrađeno je područje teorijske osnove radio komunikacije i propagacije elektromagnetskih valova u slobodnom prostoru, te kako oblik prostora utječe na njih. Osim toga u radu je navedena i sva oprema koja se nalazi na lokaciji gdje je postavljena bazna stanica i pojedinačno obrađen svaki element bazne stanice, te su još navedeni mehanički problemi koji mogu nastati prilikom montaže.

U radu [4] je teorijski opisana i softverski implementirana metoda za analizu performansi samostalnih fotonaponskih sustava, baziran na sekvencijalnoj *Monte Carlo* simulaciji. Prvo je opisan i modeliran svaki pojedini dio sustava nakon čega je napravljen algoritam za sekvencijsku *Monte Carlo* simulaciju iz koje se dobije iskoristivost fotonaponskog sustava, vrijeme koje radi dizel agregat te ostali parametri koji mogu poslužiti za ocjenu kvalitete odabranog sustava.

U radu [5] koji se bazira na hlađenje baznih stanica. Navodi se da je hlađenje klima uređajem jedan od najvećih potrošača električne energije u baznima stanicama. Navedeni su mogući načini jeftinijeg hlađenja te su oni prikazani i opisani. Dalje je napravljena simulacija temperature i protoka zraka za svaki način hlađenja, te na kraju je navedeno da bi takvi sustavi mogli značajno smanjiti potrošnju električne energije za hlađenje baznih stanica.

U radu [6] koji za cilj ima smanjenje troškova električne energije 5G baznih stanica spajanjem na obnovljive izvore energije. Prvo je izrađen model potrošnje bazne stanice koji visi o opterećenju komunikacije i temperature. Nakon čega je na temelju modela potrošnje napravljen model napajanja sa vjetroelektranom i fotonaponskim modulima te skladištenjem energije. Na kraju rada prikazana je analiza dobivenih rezultata koja potvrđuje da idealnim optimiziranjem sustava skladištenja energije se mogu značajno smanjiti troškovi električne energije baznih stanica uz istovremeno očuvanje rezervnih zahtjeva baznih stanica.

U radu [7] razmatra se komunikacijska pouzdanost 5G baze stanice i uspostavlja skladištenjem energije 5G bazne stanice. Kapacitet skladištenja energije 5G bazne stanice se izračunava na temelju vremenske varijabilnosti komunikacijskog opterećenja na različitim područjima, što za cilj ima smanjenje promjene snage u distributivnoj mreži koja ima visoku stopu integracije fotonaponskih modula u mreži. Studija pokazuje da sa korištenjem kapaciteta za skladištenje energije se mogu smanjiti promjene snage u distributivnoj mreži.

3. BAZNE STANICE

Bazna stanica mobilne telekomunikacije (BSMT) tj. bazna stanica predstavlja telekomunikacijsku opremu i uređaje za primopredaju. Telekomunikacijska oprema služi za povezivanje mobilne mreže s baznim stanicama. Naziva se još i statičnom stanicom te omogućuje rad mobilnih uređaja unutar lokalnog područja sve dok su oni povezani s pružateljem usluge. Pozicionirana je tako da je u dodiru sa svim ćelijama koje pokriva tj. u središtu površine unutar koje distribuira mrežu.

Ponekad je bazne stanice potrebno dizajnirati na način da budu neprimjetne tj. stopljene s okolinom u kojoj se nalaze. Na taj je način osigurana mobilna mreža, ali ne dolazi do narušavanja vizura dijelova grada koji su kulturna baština. Moguće je da gradovi ili stanari zgrada na koje se postavljaju bazne stanice zahtijevaju te uvjete. One se još nazivaju prekrivenim ili nevidljivim baznim stanicama.



Slika 3.1. Bazna stanica [8]

3.1. Dijelovi baznih stanica

Lokacija na kojoj se nalazi telekomunikacijska oprema i uređaju za primopredaju signala, dijele se ovisno o lokaciji na kojoj se nalaze na: one koje se nalaze na otvorenom prostoru (engl. *outdoor*) i na one koje se nalaze u zatvorenom prostoru (engl. *indoor*). Ovisno o lokaciji bazne stanice, njihovi osnovni dijelovi se mogu nešto razlikovati.

Prema [3] osnovni dijelovi svake lokacije su:

- Antenski stup s gromobranskom zaštitom
- Bazna stanica
- Antenski sustav (antene s antenskim kabelima i ostali dijelovi antenskog sustava)
- Sustav za napajanje električnom energijom (AC/DC struja, ispravljači, baterijski *backup*, napajajući kablovi)
- Sustav prijenosa (link, optika, LAN kablovi)
- Instalacijski materijali (čelični nosač, kanalica)

3.1.1. Antenski stup

Čelični elementi koji služe za montiranje antena, radio modula i ostalih dijelova antenskog sustava. Postoji nekoliko osnovnih vrsta stupova koji se koriste, a to prvenstveno ovisi o tome što se želi postići njihovom upotrebom (visina stupa, nosivost, itd.). Osnovne vrste stupova su rešetkasti stup, cjevasti stup.



Slika 3.3. Rešetkasti antenski stup [9]

Postoje i stupovi koji se namjenski prave kako ne bi došlo do narušavanja vizure okoline.

Pošto su antenski stupovi u većini slučajeva najviše točke na određenoj lokaciji izloženi su atmosferskim pražnjenjima tj. udarima groma. Stoga mora postojati gromobranska zaštita koja štiti prvenstveno ljude koji se nalaze na lokaciji bazne stanica, a tek onda opremu koja se nalazi na stupu.

3.1.2. Bazna stanica

Bazna stanica predstavlja set opreme za kontrolu, upravljanje i konekciju. Dio je radiopristupne mreže (engl. radio access network – u daljnjem tekstu RAN) i ima ulogu osigurati komunikaciju između korisničkih uređaja (mobilni uređaji, tableti, laptopi, itd.) s ostatkom mreže. Zadatak je zaprimiti signal od korisničkog uređaja, zaprimljeni signal pretvoriti u digitalni te ga prosljeđuje ostalim RAN sustavima i obrnuto. Može sadržavati jedan ili više primopredajnika, a svaki od njih je preko vlastite antene bežično povezan sa pretplatničkih stanica unutar područja koje obuhvaćaju. Bazna stanica pokriva jednu ili više ćelija.

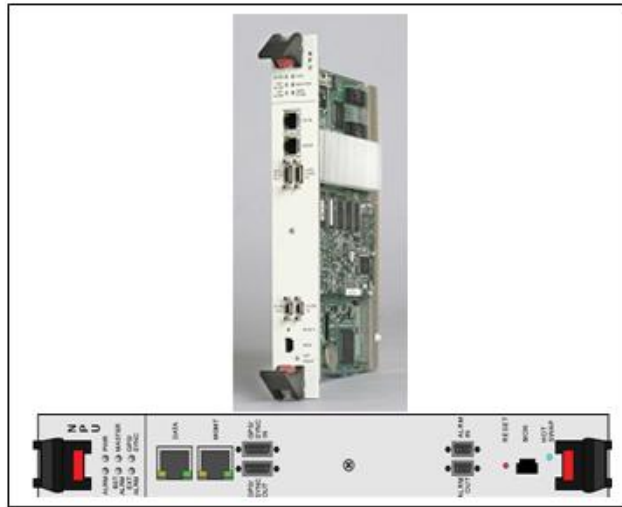


Slika 3.4. Modularna bazna stanica [10]

Prema [3] osnovni dijelovi bazne stanice su:

- Jedinica za procesiranje
- Pristupna jedinica
- Sučelje za napajanje
- Korisnički terminal

Jedinica za procesuiranje je srce bazne jedinice. Veza modula pristupnih jedinica na mrežu ostvaruje se preko NPU (engl. *neutral processing unit*) modula. Modul funkcionira isto kao i ruter, tj. prikupljeni sadržaj usmjerava od pristupnih jedinica ka jezgri mreže.



Slika 3.5. Jedinica za procesuiranje [10]

Pristupna jedinica se sastoji od dva dijela vanjske i unutarnje jedinice. Unutarnja jedinica (engl. *indoor unit* – IDU) se smješta u kućište te je moguće smjestiti više od jednog modula pristupnih jedinica u nekim verzijama čak i 7 modula. Vanjska jedinica (engl. *outdoor unit* – ODU) sastoji se od radio modula koji ima konektor za priključak i izdvojenih antena koje omogućuju korištenje horizontalne i vertikalne polarizacije.



Slika 3.6. Pristupna jedinica [10]

Modul za napajanje prihvaća vanjski izvor napajanja do 48 V istosmjerno. Pored toga modul je opremljeni i stabilizatorom napona čime se štiti bazna stanica od previsokog napona, kratkih spojeva i pogrešnog spajanja. Modul sadrži još i razne filtere.



Slika 3.7. Modul za napajanje [10]

Korisnička jedinica tj. vanjska jedinica omogućuje spajanje baznih stanica i pretplatničkih jedinica. Pretplatnička jedinica se sastoji od antene, modema i primopredajnika. Primopredajnik je uređaj koji je sa jedne strane spojen na modem, a sa druge strane na antenu. Modem predstavlja mjesto između pristupne mreže koja je širokopolasna i korisničke mreže koja je lokalna.



Slika 3.8. Korisnička jedinica [10]

3.1.3. Antena

Antena je pasivni element sustava koji služi za primanje i predaju radiovalova. Predstavlja posrednika između propagacije valova u vodovima i propagacije u slobodnom prostoru. Postoje dva načina kako se elektromagnetska energija može prenositi: zračenjem elektromagnetskog vala u slobodnom prostoru i vođenjem elektromagnetskog vala uzduž prijenosne linije ili valovoda, pri čemu u prvom slučaju nije potrebna nikakva infrastruktura između odašiljača i prijammnika. Antena ima dvije funkcije: služi kao element za prilagodbu između prijenosne linije i slobodnog prostora ili prijenosne linije i valovoda. Antene mogu biti različite geometrijske strukture koje vrlo efikasno zrače elektromagnetsku energiju. Rad svih antena se zasniva na fizikalnom zakonu o elektromagnetizmu, no polazna točka kod analize pojedinih antena su Maxwellove jednadžbe jer svaka analiza zahtjeva posebne matematičke metode. Pri različitim frekvencijama, kod istih geometrijskih oblika antena, možemo imati i različita svojstva, stoga je podjela antena prema geometrijskom obliku otežana. Svaka antena djelotvorno funkcionira samo u određenom frekvencijskom području. Antene možemo grubo podijeliti na uskopojasne, širokopojasne i rezonantne. Antene su vrlo važan element u različitim radiokomunikacijskim sustavima. [11]



Slika 3.9. Antena [12]

Zračenje treba biti usmjereno jednako u svim smjerovima tj. signal se odašilje ravnomjerno u krugu od 360 stupnjeva. Najčešće korištene antene su sektorske, omni i usmjerene. Omni antene kružno zrače po horizontalnoj osi. Sektorske antene imaju kut horizontalnog emitiranja od 75, 90, 120 i 180 stupnjeva. Sektorske antene pokrivaju uže područje od omni antena, ali i dalje imaju dovoljno veliko područje, te mogu prihvatiti dovoljno velik broj korisnika. Usmjerene antene za razliku od prethodnih imaju vrlo uski spektar zračenja, ali tako se postiže veća dobit u odnosu na ostale. Uži kut zračenja rezultirati će sa signalom bolje kvalitete i to će dati bolju dobit, ali nedostatak uskog kuta je mala pokrivenost područja što je glavni nedostatak kod usmjerenih antena. Iste vrijedi i kod vertikalnog kuta zračenja.

Parametri antena su karakteristične veličine koje opisuju svojstva antene neovisno o tom upotrebljava li se antena na odašiljačkoj ili prijamnoj strani. Glavni parametri su: dobitak, dijagram zračenja, polarizacija, impedancija, usmjerenost, efektivna površina i temperatura šuma. [11]

3.1.4. Antenski kabel

Antenski kabel služi za povezivanje antene sa baznom stanicom. Koriste se dva tipa kabela čiji izbor ovisi o duljini kabela. Kada je bazna stanica blizu antene, potrebni su kraći kabeli za spajanje, te se koriste džamperi. U slučaju da je antena udaljena od bazne stanice koriste se *fideri*.

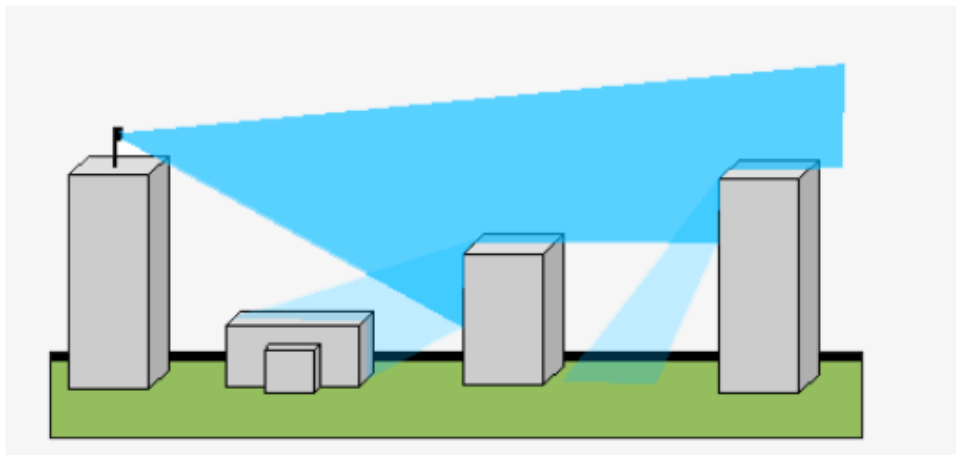
Kod antenskih kabela bitni su i konektori koji se koriste za spajanje. Na konektorima se stvaraju najveći gubici te je kvaliteta njihove izrade važna za antenske sustave.

3.2. Položaj bazne stanice

Položaj bazne stanice unutar ćelije određen je mnogim stvarima, koje uključuju topografiju i druga fizička ograničenja kao što su drveće i zgrade, kapacitet ćelije ili broj poziva za koje se očekuje da će biti napravljeni u ćeliji, te radio frekvencija na kojoj će raditi bazna stanica. Zavisno o karakteristikama terena i karakteristikama prijema, ćelije mogu biti različitih oblika šesterokutnih, kvadratnih, kružnih ili nekih drugih pravilnih oblika, ali najčešće se primjenjuju šesterokutne. Mobilni telefon mora imati stalnu vezu sa baznom stanicom tj. radio signal s telefona na baznu stanicu mora biti neprekinut.

Brda, drveće i visoke građevine mogu zakloniti ovu liniju pristupa, tako da bazne stanice moraju biti vrlo pažljivo locirane kako bi se povećala dostupnost pokrivenosti. Svakoj ćeliji dodijeljene su višestruke frekvencije koje imaju odgovarajuće radio baze.

Frekvencije se mogu ponovno upotrijebiti u drugim stanicama, ali iste frekvencije ne smiju biti korištene u susjednim stanicama. Korištenje istih frekvencija u međusobno susjednim stanicama bi uzrokovalo smetnje u zajedničkom kanalu. [13]

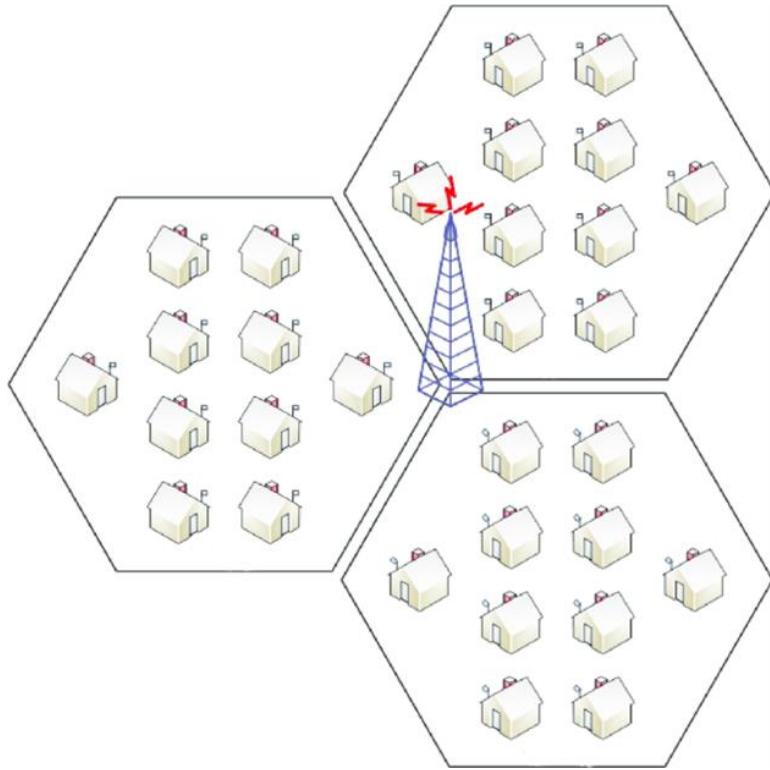


Slika 3.11. Prikaz smetnji koje nastaju zbog visokih zgrada [14]

Radio signali koji se koriste unutar pojedinih ćelija su manjih snaga, te njihov domet ne izlazi daleko izvan stanice, pa se zbog toga postoji mogućnost ponovnog korištenja u drugim ćelijama sve dok su te ćelije geografski međusobno udaljene.

Bazne stanice se postavljaju na rubove jedne ili više ćelija istovremeno i na taj način pokrivaju više ćelija signalom, a za emitiranje se koristi usmjerena antena. Potrebno je locirati mjesto gdje se tri susjedne ćelije sijeku i tu postaviti baznu stanicu koja ima tri antene pod kutom od 120 stupnjeva, tako da svaka antena pokriva jednu ćeliju.

U baznim stanicama koristi se sektorska antena koja ima plosnat oblik. Podešavanje kuta antene se mora vršiti pažljivo tako da se pokriva cijela ćelija ali ne prelazi jako u drugu ćeliju. Antena se blago naginje prema dolje kako bi se prekrilo potrebno područje. Kut nagiba antene se najčešće može podesiti elektroničkim putem, i na taj način se izbjegava slanje tehničara na teren.



Slika 3.12. postavljanje tornja na sjecištu tri ćelije [15]

Broj poziva koje jedna bazna stanica može imati je ograničen, pa zbog toga u područjima koja imaju veliku upotrebu mobilnih uređaja (poslovni prostori, područja sa visokom gustoćom ljudi, itd.) potrebno postavljanje više baznih stanica kako bi se zadovoljile potrebe korisnika. Zbog potreba za većim brojem baznih stanica na nekom području koriste se različita rješenja od postavljanja baznih stanica unutar zgrada gdje je velika gustoća korisnika do mikroćelija koje pokrivaju manja područja sa velikom gustoćom korisnika. U područjima koja imaju manju gustoću korisnika što su najčešće neka ruralna područja, bazne stanice se postavljaju na visokim stupovima ili na brdima čime se maksimizira površina koju pokriva bazna stanica.

4. POTROŠNJA BAZNIH STANICA

Snaga koju bazne stanice trebaju za siguran i pouzdan rad varira ovisno o veličini područja koje one pokrivaju i o lokaciji na kojoj se nalaze. Osim toga snaga baznih stanica značajno varira tokom dana jer mnogo parametara (broj istovremenih korisnika, vanjska temperatura, način hlađenja, učinkovitost opreme) utječu na potrošnju baznih stanica. Potrošnja baznih stanica može se podijeliti na dva dijela, dio koji je konstantan i on se ne mijenja značajno tijekom vremena i na varijabilni dio koji se mijenja značajno tijekom vremena. Pod konstantni dio spadaju trošila i oprema čija se snaga ne mijenja značajno tijekom vremena. U tu grupu trošila spada osnovna frekvencijska jedinica (engl. *base band unit* – BBU) čija snaga ovisi o vrsti bazne stanice na koju se postavlja i o izvedbi. Osim osnovne frekvencijske jedinice BBU bazna stanica ima opremu za prijenos i nadzor rada bazne stanice čija snaga ovisi o vrsti opreme i količini opreme koja se koristi za prijenos i nadzor. Pored toga postoje još i gubici koji nastaju na ispravljaču, vodovima i na ostaloj opremi čija se iznos mijenja tijekom vremena ali ne značajno. Varijabilni dio potrošnje najviše ovisi o broju korisnika koji istovremeno koriste usluge bazne stanice i hlađenu prostorije u kojoj se nalazi oprema. Potrošnja aktivne antenske jedinice (engl. *active antenna units* – AAU) ovisi o broju korisnika koji ju koriste istovremeno, te njezina potrošnja značajno varira tijekom vremena.

Tablica 4.1. Potrošnja glavne opreme bazne stanice ovisno o opterećenju komunikacije [6]

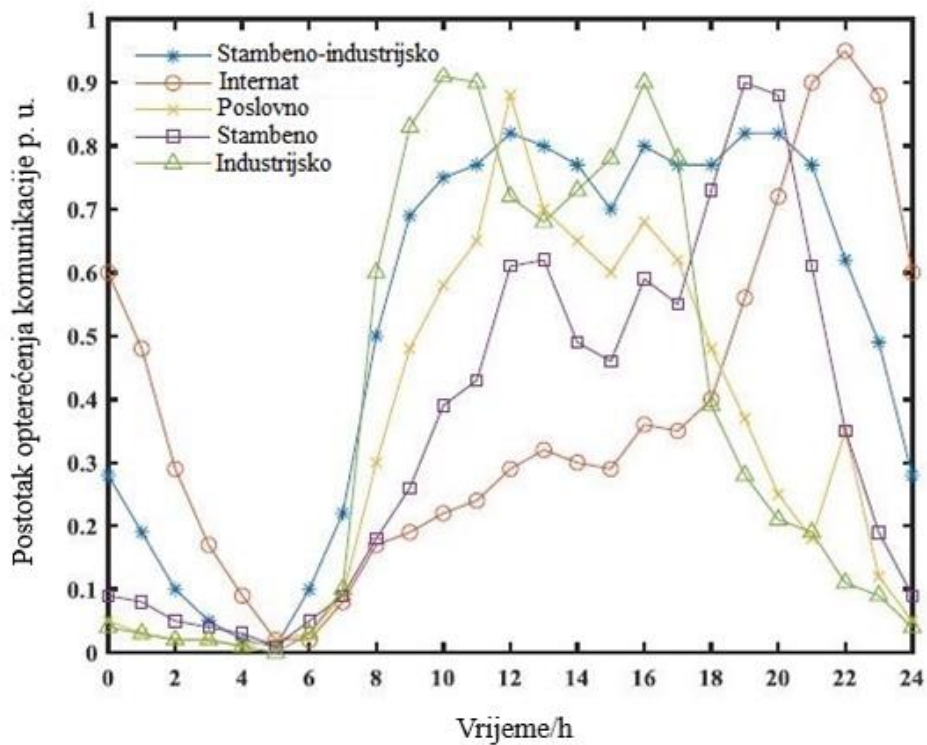
Postotak opterećenja komunikacije (%)		0	10	20	30	50	100
Prosječna snaga (W)	AAU	663	738,6	797,5	856,9	956,8	1175,4
	BBU	330	319	319	319	325,8	325,8

Postotak opterećena komunikacije ovisi o položaju bazne stanice, tako da u razdoblju od 24 sata za urbane sredine postotak se kreće između 9% i 60% u urbanim sredinama gdje je broj korisnika veći, te između 4,5% i 30% u ruralnim područjima. Iz postotaka opterećenja se vidi da većina opreme ne radi na svojem maksimumu.

Opterećenje komunikacije je različito za različite dijelove grada a samim time i potrošnja baznih stanica se razlikuje u ovisnosti o karakteristikama područja koje pokrivaju (stambeno područje, poslovno, industrijsko, itd.).

Tablica 4.2. Raspored baznih stanica u gradu [7]

Područje	Postotak
Stambeno – industrijsko	23%
Internat	8%
Poslovno	14%
Stambeno	17%
Industrijsko	38%



Slika 4.1. Opterećenje komunikacije bazne stanice [7]

Na varijabilni dio potrošnje znatno utječe još i hlađenje prostorije u kojoj se nalazi oprema. Sva oprema koja je potrebna za rad baznih stanica proizvodi toplinu i zagrijava se, te ju je potrebno prisilno hladiti kako ne bi došlo do njezinog oštećenja ili u najgorem slučaju do zapaljenja.

Koriste se dva načina hlađenja. Prvi način je korištenje klima uređaja za hlađenje prostorije, a drugi način je cirkuliranje zraka pomoću ventilatora (engl. *free cooling*). Oba sustava se ugrađuju na bazne stanice.

U pravilu se pokušava što više koristiti cirkuliranje zraka jer za taj način hlađenja potreban je samo ventilator koji pokreće elektromotor manjih snaga, te se na taj način smanjuju troškovi hlađenja. Kada je vanjska temperatura zraka visoka hlađenje pomoću ventilatora više ne daje dobre rezultate, te je potrebno uključivanje klima uređaja. Efikasnost hlađenja klima uređajima je veća što je veća razlika između vanjske i unutarnje temperature. Sustav hlađenja troši između 25% i 50% ukupne potrošnje bazne stanice što najviše ovisi o tome kakvi klimatski uvjeti vrijede na lokaciji gdje je bazna stanica postavljena, te koje je godišnje doma i doba dana. Za projektiranje sustava hlađenja potrebno je poznavanje količine topline koju proizvodi oprema te kakvi uvjeti vladaju na određenoj lokaciji.

4.1. Izračun opterećenja

Model opterećenja baznih stanica ovisi o broju korisnika koji istovremeno koriste usluge bazne stanice tj. o komunikacijskom opterećenju bazne stanice i o vanjskoj temperaturi okoline. Oprema koja troši električnu energiju u baznim stanicama prema [6] može se podijeliti u 5 kategorija.

4.1.1. Model opterećenja glavne opreme

Glavna oprema baznih stanica sastoji se od osnovne frekvencijske jedinice (BBU) i određenog broja aktivnih antenskih jedinica (AAU). Model opterećenja glavne opreme računa se prema izrazu:

$$P_{\text{MAIN}} = P_{\text{BBU}} + n \cdot P_{\text{AAU}} \quad (4-1)$$

Gdje je P_{MAIN} predstavlja snagu glavne opreme, P_{BBU} je snaga BBU, a P_{AAU} je snaga AAU, te n je broj AAU jedinica. Snaga BBU se može smatrati konstantnom dok se snaga AAU računa prema izrazu

$$P_{\text{AAU}} = a_0 \cdot U + b_0 \quad (4-2)$$

U predstavlja stopu opterećenja komunikacije, te a_0 i b_0 su konstante. Koeficijenti se dobivaju mjerenjem opterećenja AAU pri različitim opterećenjima komunikacije, te se onda koriste algoritmi linearne regresije za dobivane koeficijenata [16].

4.1.2. Model opterećenja prijenosne i nadzorne opreme

Svrha opreme za prijenos i nadzor je komunikacija između bazne stanice i operatorske centrale. Na taj način se nadzire rad bazne stanice sa udaljen lokacije. Potrošnja opreme se ne mijenja značajno tijekom vremena i ona ovisi o vrsti opreme. Najčešće se uzima kao nazivna vrijednost i označava se sa P_{PTN} .

4.1.3. Model opterećenja energetskog sustava

Potrošnja električne energije energetskog sustava najviše ovisi o efikasnosti pretvorbe i o potrošnji istosmjernje opreme u baznim stanicama

$$P_{SP} = \frac{1-\lambda}{\lambda} (P_{MAIN} + P_{PTN}) \quad (4-3)$$

P_{SP} je snaga potrošnje sustava energetske opreme, a λ je koeficijent učinkovitosti pretvorbe izmjenične u istosmjernu struju.

4.1.4. Model potrošnje opreme sustava hlađenja

Glavna funkcija sustava hlađenja baznih stanica je držanje temperature u prostoriju gdje se nalazi oprema unutar određenog raspona. Oprema za hlađenje treba imati kapacitet jednak promjeni topline unutar prostorije koju uzrokuje oprema i te vanjska temperatura okoline.

Glavna oprema u baznim stanicama i oprema za prijenos disipiraju toplinu. Disipirana toplina računa se prema izrazu:

$$P_{C-MAIN} = P_{BBU} \cdot a_1 \quad (4-4)$$

P_{C-MAIN} predstavlja toplinu disipiranu od glavne opreme, a a_1 predstavlja koeficijent pretvorbe energije BBU u toplinu.

Toplina proizvedena od opreme za prijenos i nadzor računa se prema izraz:

$$P_{C-PTN} = P_{PTN} \cdot a_2 \quad (4-5)$$

P_{C-PTN} je toplina proizvedena od sustava za prijenos i nadzor bazne stanice, a a_2 je koeficijent pretvorbe energije sustava za prijenos i nadzor u toplinu.

Gubici u pretvorbi izmjenične struje u istosmjernu i ostali gubici koji su povezani su jako mali. Disipacije topline od energetskog sustava jednaka je snazi potrošnje P_{SP} .

Prijenos topline kroz zid

Prijenos topline zgrade su kojoj se nalazi oprema računa se:

$$P_B = S \cdot K \cdot \Delta T \quad (4-6)$$

S predstavlja površinu prostorije sa opremom, K je koeficijent prijenosa topline, a ΔT je razlika između vanjske topline T_{ext} i unutarnje temperature T_{int} , $\Delta T = T_{ext} - T_{int}$.

Prijenos topline u prostoriji sa opremom pod jediničnom temperaturom se računa prema izrazu:

$$P_{B-t} = S \cdot K \quad (4-7)$$

Kada se sva toplina nastala od opreme prirodnim putem disipira kroz zgradu razlika temperatura između vanjske i unutarnje se računa prema izrazu:

$$\Delta t = \frac{P_{C-MAIN} + P_{C-PTN} + P_{SP}}{P_{B-t}} \quad (4-8)$$

Formula za izračun snage koju zahtijeva oprema za hlađenje

$$P_{COOL} = \begin{cases} 0 & , \quad T_{ext} = T_{int} - \Delta t \\ P_{C-MAIN} + P_{C-PTN} + P_{SP} - P_B & , \quad T_{int} - \Delta t < T_{ext} \leq T_{int} \\ P_{C-MAIN} + P_{C-PTN} + P_{SP} + P_B & , \quad T_{ext} > T_{int} \end{cases}$$

Snaga opreme za hlađenje iznosi:

$$P_{AC} = \frac{P_{COOL}}{\beta} \quad (4-9)$$

P_{AC} predstavlja snagu uređaja za hlađenje, P_{COL} snaga hlađenja opreme te β predstavlja koeficijent učinkovitosti opreme za hlađenje.

4.1.5. Model potrošnje bazne stanice

Model potrošnje bazne stanice predstavlja ukupnu potrošnju bazne stanice koja se sastoji od potrošnje glavne opreme koju čine osnovna frekvencijska jedinica i aktivna antenska jedinica, sustava za prijenos i nadzor bazen stanice, potrošnje energetske opreme i potrošnje sustava hlađenja bazne stanice

$$P = P_{MAIN} + P_{PTN} + P_{SP} + P_{AC} \quad (4-10)$$

4.2. Potrošnja baznih stanica

Prema [17] karakteristika baznih stanica je široka rasprostranjenost i dosta velika potrošnja. Razlog tome je povećanje potrošnje aktivne antenske jedinice (AAU). Snaga baznih stanica ovisi o njihovoj veličini (makro, mikro, piko ćelije).

Makro stanica se sastoji od jednog BBU i najčešće tri AAU. Snaga svakog AAU kreće se oko 1000 W, dok snaga BBU kreće se oko 700 W, pa ukupna snaga može iznositi preko 3700 W. Svaki prijenosni uređaj (engl. *Internet Protocol Radio Access Network* – IPRAN) doseže snagu od 600 W. Svaka bazna stanica sadrži i sustav za hlađenje prosječne snage 2000 W, te ukupna snaga dijeljene bazne stanice može iznositi 10 – 20 kW.

Mikro stanica se sastoji od jednog BBU i 3 AAU. Snaga svakog AAU i BBU je 500 W, te ukupna snaga sustava iznosi do 2000W. Snaga svakog prijenosnog uređaja (IPRAN) doseže do 600 W, te uređaj za hlađenje prosječne snage 2000 W.

Ukupna snaga dijeljene mikro stanice iznosi 6 – 8 kW. Svaka piko stanica je izrađena u obliku malog uređaja i najčešće je snage 20 – 50 W. Prosječna maksimalna snaga se kreće oko 5 kW, ali sa daljnjim razvojem tehnologije i povećanjem učinkovitosti potrošnja mogla smanjiti na 4 kW

4.3. Priključak baznih stanica na mrežu

Bazne stanice kao i svi ostali uređaji za svoj rad trebaju električnu energiju. Napajanje baznih stanica vrši se preko priključka na elektroenergetsku mrežu, a vrsta priključka ovisi o vrsti bazne stanice. Piko stanice imaju malu snagu reda 20 – 50 W i nalaze se najčešće u zatvorenom prostoru, te se kod njih priključak najčešće radi na način da se samo bazna stanica pomoću kabela priključi na običnu utičnicu. Pošto piko stanice nade na 12 V istosmjerno potrebno je koristiti odgovarajući ispravljač. Mikro stanice se nalaze u urbanim sredinama te njihov priključak na mrežu ne predstavlja značajan problem. Mikro stanice se najčešće nalaze za visokim zgradama, te se napajanje vrši priključkom na instalaciju od zgrade. Oprema za prijenos i komunikaciju radi na naponu od 48 V istosmjerno pa je potrebno koristiti ispravljač. Snaga ispravljač mora odgovarati snazi opreme koja se napaja. Mikro stanice sadrže i sustav hlađenja, pa je potrebno osigurati dodatne izvode za klima uređaj i ventilator koji rade na naponu od 230 V. Makro stanice se nalaze najčešće u rubnim dijelovima gradova, ruralnim područjima, pa čak i u zabačenim područjima što predstavlja problem prilikom priključka na mrežu. Makro stanice koje se nalaze blizu elektroenergetske mreže spajaju se iz mrežu, te najčešće imaju zaseban priključak. Makro stanice koje se ne nalaze blizu elektroenergetske mreže rade odvojen od mreže (engl. *off-grid*). U takvim slučajevima se koriste agregati (dizel ili benzin), a u novije vrijeme različiti oblici obnovljivih izvora energije. Makro stanice kao i mikro koriste 48 V istosmjerno za napajanje opreme za komunikaciju i prijenos. Također je potrebno omogućiti napajanje opreme za hlađenje. Kod makro stanica koje nisu spojena na mrežu, a koriste obnovljive izvore energije koriste se još i dodatni uređaji za dobivanje odgovarajućeg napona (izmjenjivači, naponski pretvarači). Pored toga za siguran rad makro i mikro baznih stanica potrebno je osigurati i dodatno skladištenje energije tj. sustave besprekidnog napajanja kako ne bi došlo do prekida u radu bazne stanice u slučaju nestanka napajanja iz elektroenergetske mreže. Sustav besprekidnog napajana se može raditi i za piko stanice po potrebi ili prema zahtjevima klijenata.

5. SUSTAV NAPAJANJA BAZNIH STANICA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

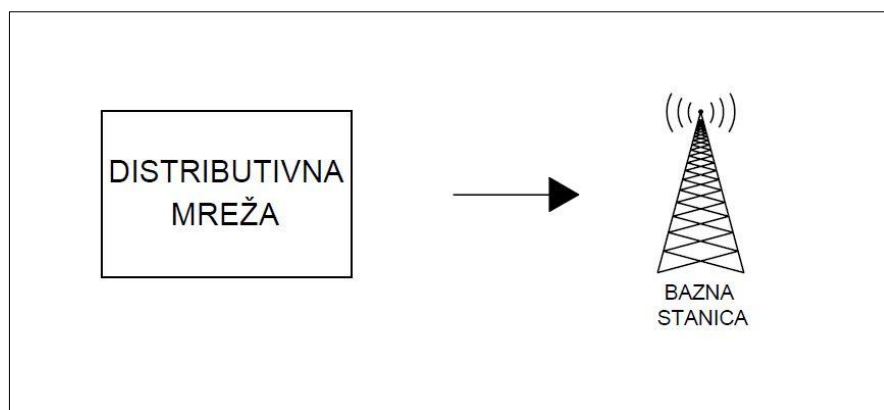
Sustav napajanja baznih stanica se znatno razlikuje zavisno o njihovom položaju. Osnovna podjela sustava napajanje bi bila prema vrsti priključka na izvore energije, te se može podijeliti na tri osnovne grupe:

- Mrežno napajanje
 - Sustav napajanja preko mreže
 - Sustav napajanja preko mreže sa baterijama
- Hibridno napajanje
 - Sustav napajanja preko mreže i OIE
 - Sustav napajanja preko mreže, OIE i baterija
- Izvan mrežno napajanje
 - Sustav napajanja preko agregata
 - Sustav napajanje preko agregata, OIE i baterija
 - Sustav napajanje preko OIE i baterija
 - Sustav napajanje preko OIE i gorivih ćelija
 - Sustav napajanje preko OIE, gorivih ćelija i baterija

Odabir sustava napajanja bazne stanice ovisi o njezinom smještaju pa tako bazne stanice koje se nalaze u urbanim sredinama će biti mrežno napajane ili hibridno napajane dok bazne stanice koje se nalaze izvan naseljenog prostora se napajaju izvan mrežno.

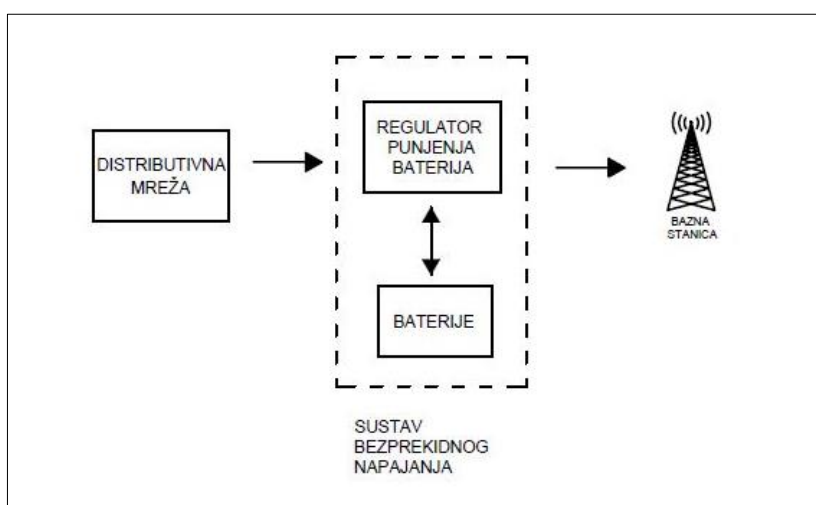
5.1. Mrežno napajanje

Sustav napajanja preko distributivne mreže je najjednostavniji način napajanja baznih stanica. Napajanje preko distributivne mreže može se koristiti za sve vrste baznih stanica neovisno o njihovoj snazi (makro, mikro, piko) jedini uvjet je da se bazna stanica nalazi dovoljno blizu distributivnog izvora električne energije. Priključak se vrši direktno na 400/230 V. Kako je već u prethodno navedeno bazna stanica se sastoji od istosmjernih i izmjeničnih trošila, te je za rad istosmjernih trošila potreban ispravljač napona na čijem izlazu dobivamo istosmjerni napon određenog iznosa. Direktni spoj bazne stanica na distributivnu mrežu napona 400/230 V prikazan je na slici 5.1.



Slika 5.1. Blok shema sustav napajanja preko mreže

Direktnim spajanjem bazne stanice na mrežu osigurava napajanje konstantne kvalitete, ali postoji mogućnost prestanka napajanja u slučaju kvara na distributivnoj mreži ili na nekom njezinom elementu što bi uzrokovalo prestanak rada bazne stanice. Kako bi se osigurao neometan rad bazne stanice (čest zahtjev korisnika) potrebno je osigurati sekundarni izvore napajanja što su najčešće baterijski sustavi.



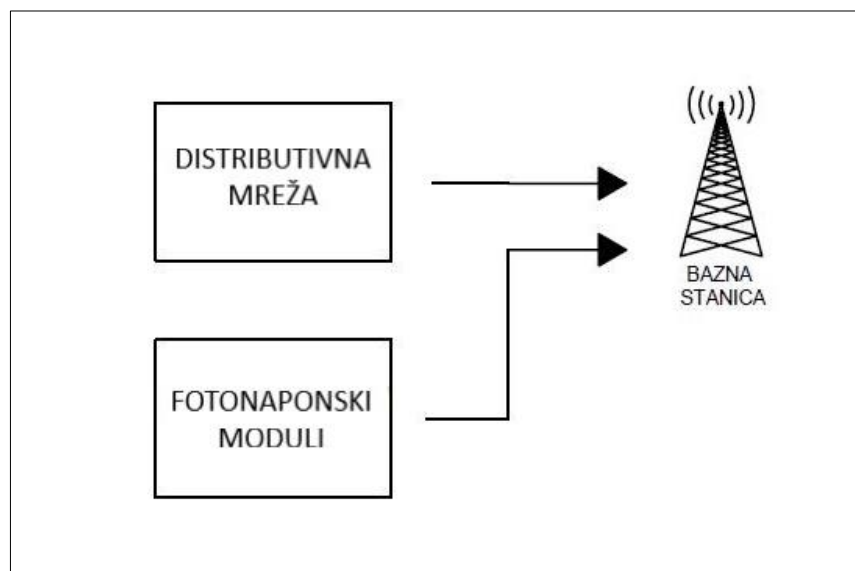
Slika 5.2. Blok shema sustav napajanje preko mreže sa baterijama

Dodavanjem baterijskog sustava omogućuje se ne prekinuto napajanje bazne stanice u slučaju da nestane glavno napajanje. Za ovakav sustav potrebno je koristiti još i ispravljač koji služi za punjenje baterija te izmjenjivač za napajanje izmjeničnih trošila preko baterije. Sustav besprekidnog napajanja pomaže i u slučaju da je bazna stanica spojena na mrežu koja ima lošu kvalitetu električne energije.

Baterijski sustavi osim za besprekidno napajanje mogu se koristiti i kao dio napredne mreže (eng. *Smart grid*). U ovom slučaju se baterije ne koriste za osiguravanje besprekidnog napajanja nego za smanjenje financijskih troškova električne energije. U trenutku kada je cijena električne energije na tržištu najniža, onda energiju kupujemo i skladištimo u baterije. Kada cijene električne energije na tržištu dosegne svoj maksimum ili se približi maksimumu za napajanje bazne stanice koristimo energiju koja je uskladištena u baterijama. I na taj način se smanjuju troškovi za električnu energiju.

5.2. Hibridno napajanje

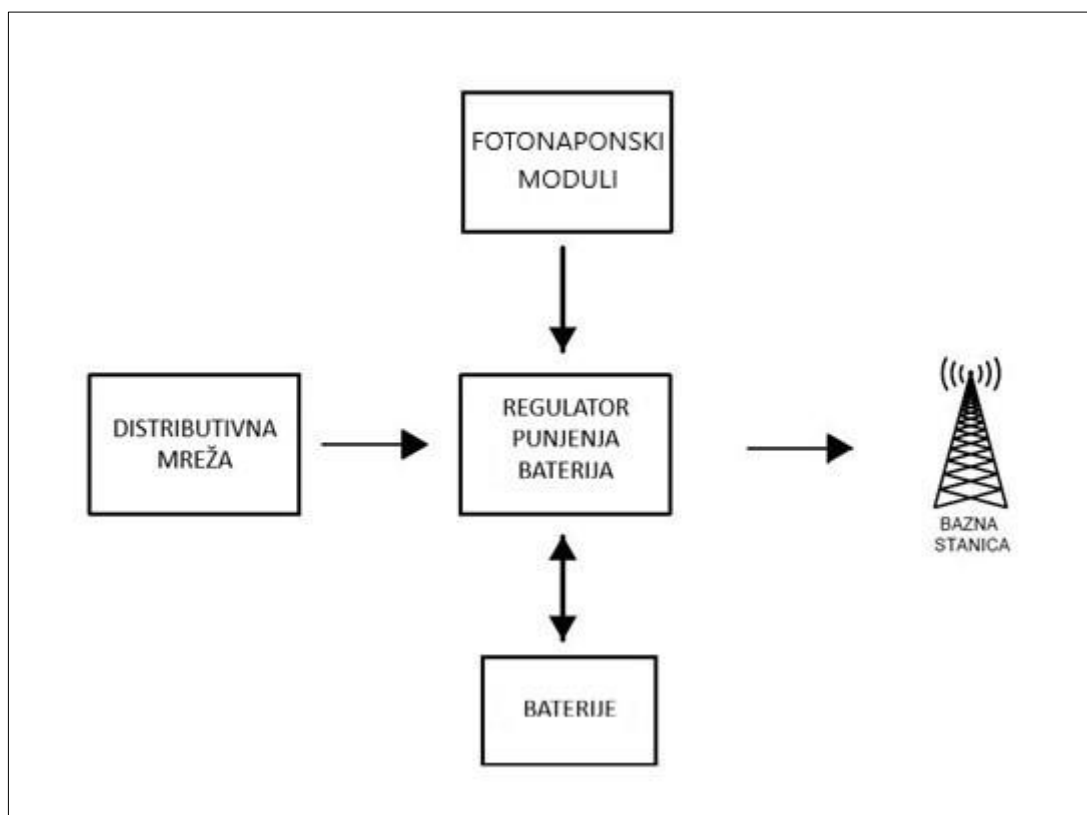
Hibridno napajanje je napajanje preko dva ili više različitih izvora napajanja.



Slika 5.3. Blokovska shema sustav napajanja preko mreže i OIE

Prema slici 5.3. sustav napajanja je izveden na hibridni način. Bazna stanica se napaja preko distributivne mreže napona 400/230 V i fotonaponskih modula. Glavni izvor napajanja je distributivna mreža, a sustavu su dodani fotonaponski moduli. Snaga fotonaponskih modula ovisi o snazi bazne stanice. Preko dana fotonaponski moduli proizvode električnu energiju koja se odmah troši na baznoj stanici. Napajanje preko distributivne mreže se koristi u trenucima kada je proizvodnja iz fotonaponskih modula nedostatna, te se preko mreže pokriva preostala razlika između potrošnje bazne stanice i proizvodnje iz fotonaponskih modula. Pošto fotonaponski moduli ne proizvode električnu energiju preko noći napajanje bazne stanice se vrši preko distributivne mreže. Na ovaj način se smanjuju troškovi za električnom energijom. Za rad ovakvog sustava potrebno je koristiti tragač maksimalne snage za fotonaponske module i izmjenjivač jer su fotonaponski moduli strujni istosmjerni izvori.

Dodavanjem baterija u prethodni sustav omogućuje se još više autonomniji sustav napajanja. U slučaju korištenja baterija koristi se veća snaga fotonaponskih modula jer cilj ovakvog sustava napajanja je da se sva potrošnja bazne stanice pokriva iz fotonaponskih modula te višak proizvodnje iz fotonaponskih modula skladišti u baterijama. U trenucima kada se smanji proizvodnja iz fotonaponskih modula napajanje bazne stanice se nastavlja iz baterija, a ne iz distributivne mreže. Distributivna mreža se koristi samo u trenucima kada nema proizvodnje iz fotonaponskih modula i kada se baterije više ne smiju prazniti (između kasnih noćnih sati i jutarnjih kada je proizvodnja još uvijek premala). Ovakvim sustavom se dodatno smanjuju troškovi za električnom energijom.



Slika 5.4. Blok shema sustav napajanja preko mreže, OIE i baterija

Ovakav sustav pored tragača maksimalne snage i izmjenjivača koristi i regulatora za punjenje baterija koji kontrolira dubinu punjenja i pražnjenja baterija što je ključno da ne dođe do kvara na njima. Također u ovom slučaju može se integrirati i manja razina napredne mreže gdje bi se baterije nakon što se isprazne do dozvoljene razine punile po nižoj tarifi električne energije. Uskladištena energije bi se koristila za napajanje bazne stanice u jutarnjim satima kada je proizvodnja iz fotonaponskih modula mala i nije dostatna za samostalno napajanje bazne stanice. Sa ovim načinom se mogu još dodatno smanjiti troškovi električne energije.

5.3. Izvan mrežno napajanje

Izvan mrežno napajanje se koristi kada se bazne stanice nalaze u ruralnim područjima i kada se nalaze daleko od distributivne mreže ili u nenaseljenim područjima kada je potrebno osigurati pristup mreži.

Najjednostavniji i najčešće primijenjeni sustav napajanja u takvim situacijama je agregat (dizel ili benzin). Korištenjem agregata kao izvora električne energije osigurava se konstantno napajanje bazne stanice neovisno o njezinoj potrošnji energije tijekom vremena jer agregat prilagođava svoju proizvodnju potrošnji.

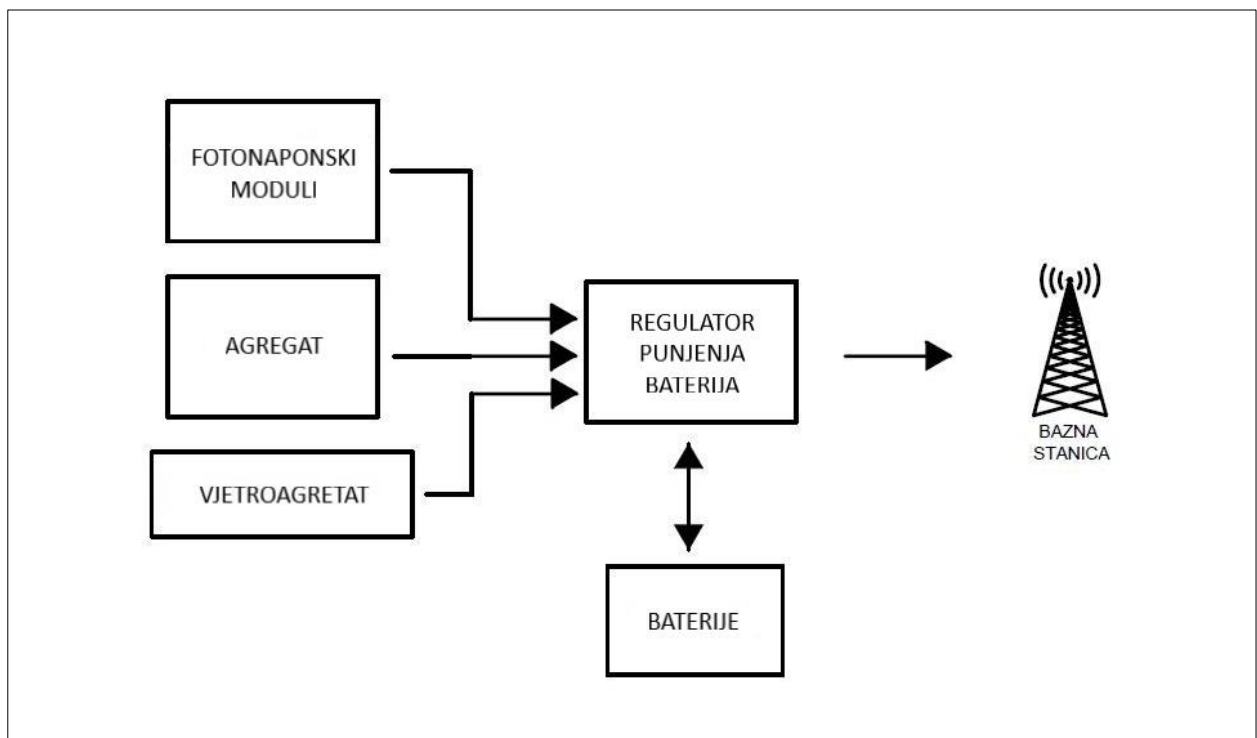


Slika 5.5. Blok shema sustav napajanja preko agregata

Za rad bazne stanice je i dalje potreban ispravljač koji napaja istosmjerna trošila, a izmjenična trošila se direktno napajaju sa agregata. Glavni nedostatak agregata je potreba za redovnim odražavanjem i nadosipanjem goriva u spremnik što zahtijeva česti odlazak na teren (mogući dodatni problemi sa teškim terenom).

Kako bi se rjeđe moralo izlaziti na teren i dosipati gorivo u spremnik moguće je dodati agregatu još dodatni izvore energije. Kao dodatni izvor energije se koristi obnovljivi izvor (fotonaponski moduli i vjetroagregat) koji su kombinirani sa baterijskim sustavom za skladištenje energije. Ovakav sustav se primarno napaja iz obnovljivih izvora koji su projektirani tako da svu energiju koju proizvedu fotonaponski moduli i vjetroagregat bazna stanica potroši, a višak proizvodnje se skladišti u baterije.

Agregat se koristi samo kada je proizvodnja iz fotonaponskih modula i vjetroagregata premala za samostalno napajanje bazne stanice, a u baterijama nema dovoljno uskladištene energije za napajanje.

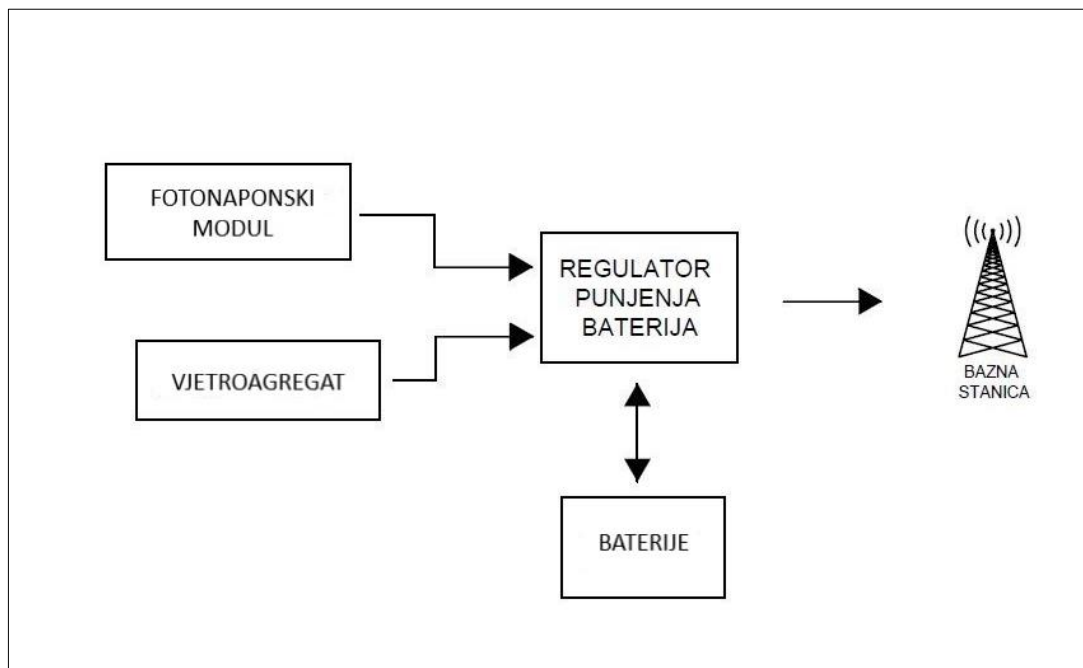


Slika 5.6. Blok shema sustav napajanje preko agregata, OIE i baterija

Agregat služi samo kao rezervno napajanje koje se koristi u kasno večernjim satima ili kada se u vremenske prilike loše neko duže vrijeme pa je proizvodnja premala. Ovakvim sustavom se smanjuje potrošnja goriva (dizel ili benzin), a samim time i potreba za čestim odlaskom na teren.

Razvojem tehnologija obnovljivih izvora i baterijskih sustava omogućen je sustav napajanja samo sa obnovljivim izvorima (fotonaponski moduli i vjetroagregat) i baterijskim sustavima. Bazna satnica se napaja samo uz pomoć fotonaponskih modula i vjetroagregata. Višak energije se skladišti u baterije i koristi kada je proizvodnja mali ili je uopće nema (fotonaponski moduli preko noći). Ovakav sustav s treba pažljivo projektirati i voditi računa o vremenskim uvjetima koji mogu biti nepovoljni za proizvodnju električne energije neko duže vremensko razdoblje (nekoliko oblačnih dana za redom).

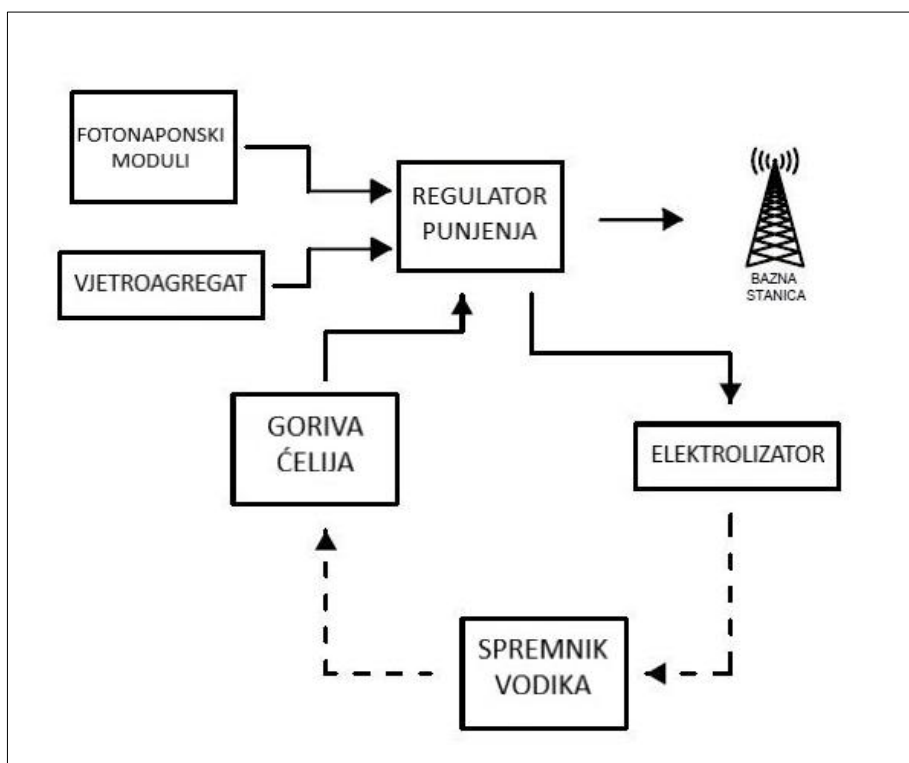
I u takvim uvjetima baznoj stanici mora biti osigurano napajanje iz baterija. Fotonaponski moduli i vjetroagregat se spajaju na regulator punjenja baterija koji kontrolira stupanj napunjenosti baterijskog sustava te na izlazu daje odgovarajuće napone za napajanje bazne stanice .



Slika 5.7. Blok shema sustava napajanje preko OIE i baterija

Nedostatak ovakvog sustava je potreba za baterijama velikog kapaciteta koje također zahtijevaju određene uvjete u koje se mogu postavljati, a osim toga problemi mogu nastati i oko dopremanja opreme na mjesto montiranja zbog nepovoljnog terena.

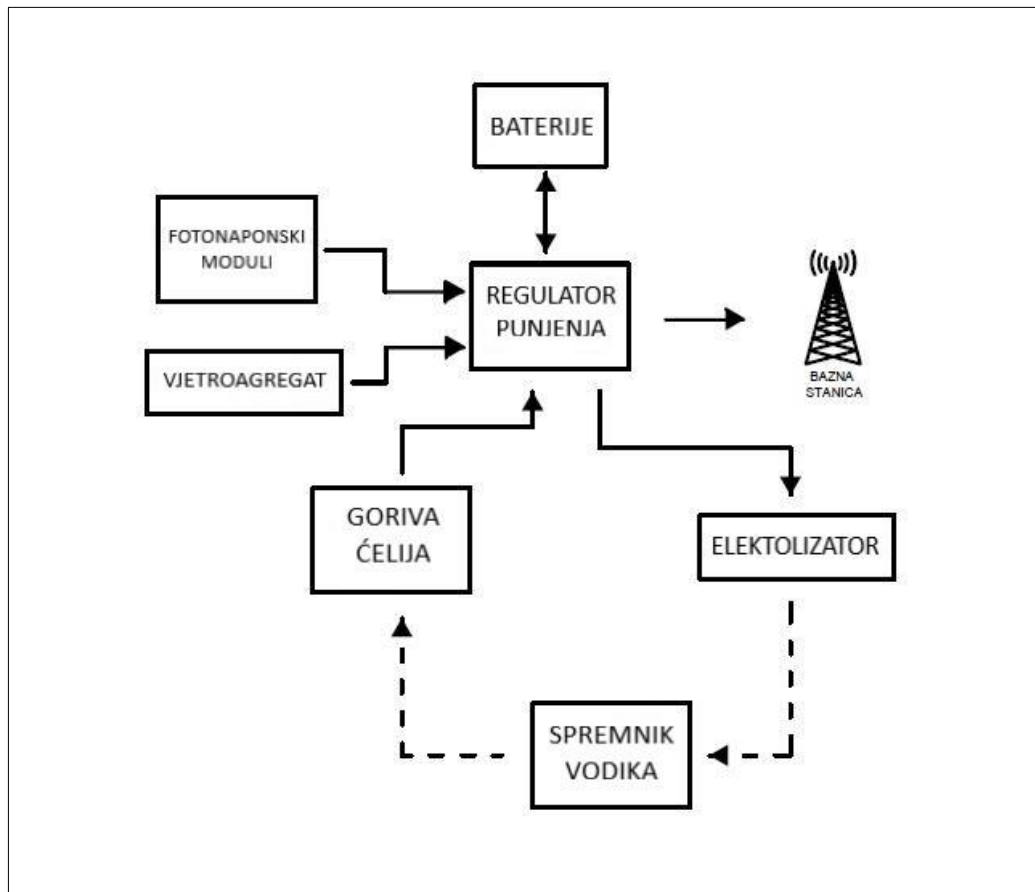
Kako je prethodno navedeno kako bi se osiguralo sigurno napajanje tijekom lošijih vremenskih uvjeta potrebno je koristiti baterijske sustave velikog kapaciteta, razvijeno je rješenje koje ne koristi baterije kao skladište energije nego se energija skladišti u obliku vodika. Primaran proizvodnja električne energije je i dalje preko obnovljivih izvora (fotonaponski moduli i vjetroagregat). Potrošnja bazne stanice se pokriva primarno energijom koju se proizvede u fotonaponskim modulima i vjetroagregatu. Višak proizvedene energije se skladišti u obliku vodika. Električna energija koja je višak se troši na elektrolizatoru koji procesom elektrolize vodu razdvaja na kisik i vodik. Vodik se skladišti u posebnim spremnicima a kisik ispušta u zrak. U trenutku kada je proizvodnja iz obnovljivih izvora mala ili je uopće nema vodik se u gorivoj ćeliji ponovno spaja sa kisikom te tijekom toga procesa nastaje električna energija koja se koristi za napajanje bazne stanice



Slika 5.8. Blok shema sustav napajanje preko OIE i gorivih ćelija

Nedostatak korištenja vodika je potreba za posebnim spremnikom koji sprječava curenje vodika i potreba za velikim tlakom u spremniku oko 600 – 700 bara. Pored toga vodik je vrlo zapaljiv i eksplozivan plin.

Kako se ne bi moralo koristiti veliki kapacitet baterija, a da sustav i dalje ostane autonoman i bude osigurano konstantno napajanje bazne stanice može se koristiti više različitih sustava skladištenja energije (baterije i vodik).



Slika 5.9. Blok shema sustav napajanje preko OIE, gorivih ćelija i baterija

Kao i kod prethodnih sustava koji koriste samo obnovljive izvore energije (fotonaponski moduli i vjetroagregat) višak proizvedene energije se skladišti u baterijama. Zbog mogućnosti da se dosegne maksimalna dozvoljena napunjenost baterija, a i dalje se proizvodi više energije nego se troši postoji mogućnost proizvodnje vodika i skladištenje energije u obliku vodika.

Ovakav sustav može koristiti baterije manjeg kapaciteta, a osim toga postoji još jedan dodatni izvor uskladištene energije koji se može koristiti u slučaju kvara na bilo kojem od sustava pohrane energije. Na taj način se dodatno povećava sigurnost opskrbe električnom energijom.

6. ODREĐIVANJE SNAGE SUSTAVA NAPAJANJA BAZNE STANICE OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

U ovome poglavlju rada biti će napravljen jednostavan izračun prosječne mjesečne potrošnje bazne stanice. Proračune je obavljen na temelju slike 4.1. koja daje prikaz postotnog opterećenja bazne stanice ovisno o njezinom položaju. U ovom slučaju odabrana je krivulja koja predstavlja stambeno područje. Podaci o snagama glavne opreme tj. snage AAU i BBU uzete su iz tablice 4.1. Temeljem podataka iz tablice 4.1. određeno je opterećenje za svaki postotni stupanj opterećenja korištenjem jednadžbe pravca kroz dvije točke čime je približno točno određena snaga za svaki stupanj opterećenja. Podaci o vrsti hlađenja i vremenu rada pojedine vrste uzeti su prema [18]. U izračunu je navedena i ostala potrošnja u koju spada potrošnja sustava za nadzor i kontrolu te gubici u energetskej elektronici.

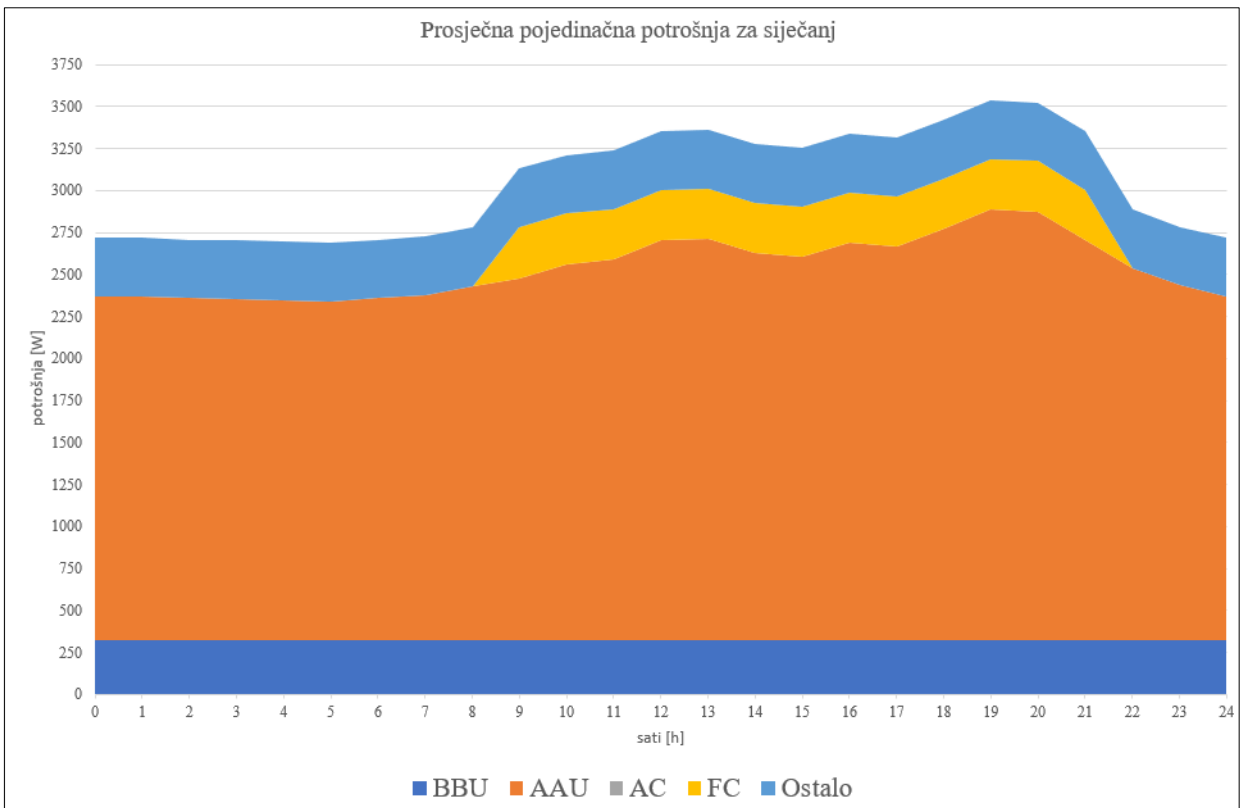
Izračun potrošnje se sastoji od 5 elemenata (aktivna antenska jedinica, osnovna bazna jedinica, hlađenje klima uređajem, hlađenje pomoću ventilatora i ostala potrošnja). Snaga aktivne antenske jedinice (AAU) za svaki postotni stupanj je izračunata pomoću jednadžbe pravca kroz dvije točke sa podacima koji se nalaze u tablici 4.1. čime su dobiveni približni podaci. U izračunu se uzelo da bazna stanica ima tri AAU. Za snagu osnovne bazne jedinice (BBU) uzeta je srednja vrijednost podataka dostupnih u tablici 4.1. i iznosi 325 W. Za snaga klima uređaja (AC) uzet je iznos od 1500 W, a za snaga sustava hlađenja pomoću ventilatora (FC) korišten je iznos od 300 W. Za ostalu potrošnju koju čine sustav za nadzor i kontrolu, te gubici u elementima bazne stanice korišten je fiksni iznos od 350 W.

Izračun potrošnje je rađen za dva mjeseca (siječanj i kolovoz). Siječanj jer je tada potrošnja sustava hlađenja najmanja, koristi se samo ventilator koji radi 55 % vremena (13 sati dnevno), a klima uređaj se i ne koristi. Dok je u kolovozu potrošnja sustava za hlađenje najveća, klima uređaj radi 38% vremena (9 sati dnevno), a ventilator radi 50 % vremena (12 sati dnevno).

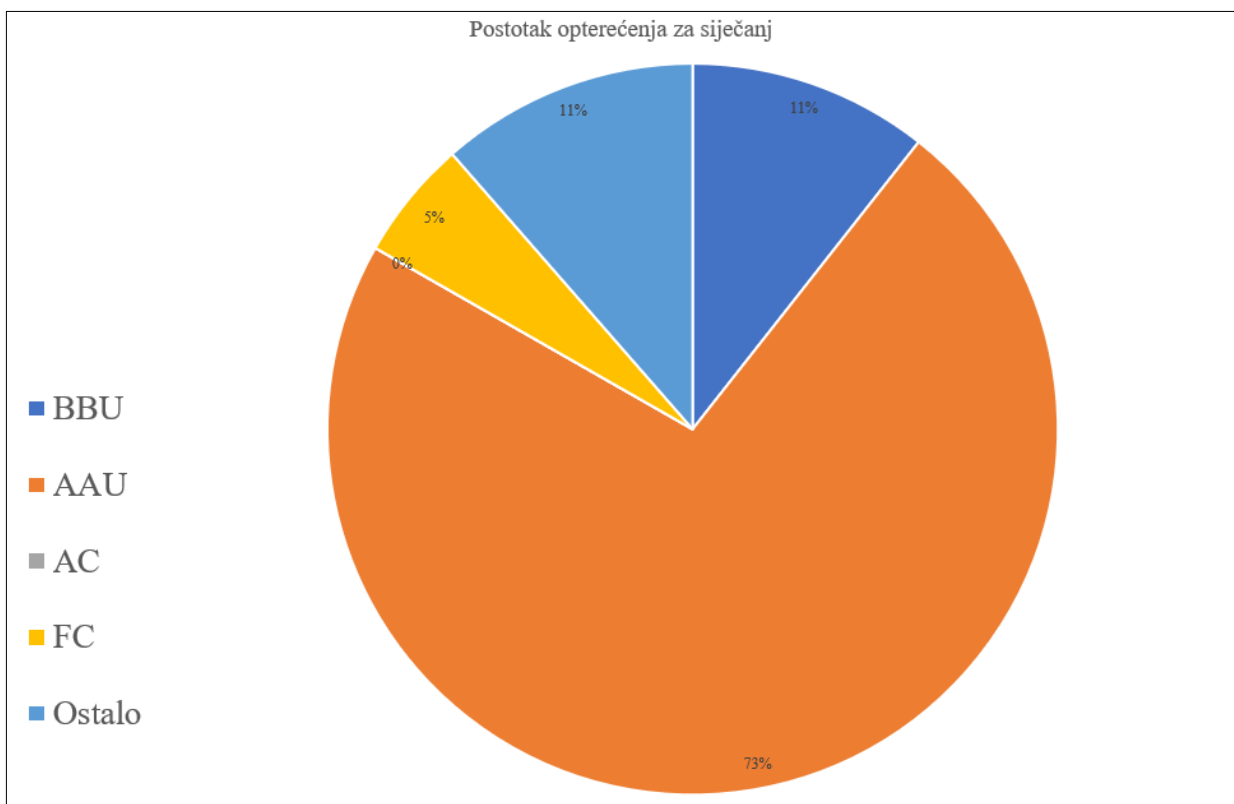
Tablica 6.1. prosječna potrošnja bazne stanice za siječanj 2020.

Sati	AAU [W]	BBU [W]	AC [W]	FC [W]	Ostalo [W]	Ukupno [Wh]
0	2046	325	0	0	350	2721
1	2046	325	0	0	350	2721
2	2033	325	0	0	350	2708
3	2027	325	0	0	350	2702
4	2020	325	0	0	350	2695
5	2014	325	0	0	350	2689
6	2033	325	0	0	350	2708
7	2052	325	0	0	350	2727
8	2103	325	0	0	350	2778
9	2154	325	0	300	350	3129
10	2237	325	0	300	350	3212
11	2262	325	0	300	350	3237
12	2377	325	0	300	350	3352
13	2384	325	0	300	350	3359
14	2301	325	0	300	350	3276
15	2282	325	0	300	350	3257
16	2364	325	0	300	350	3339
17	2339	325	0	300	350	3314
18	2447	325	0	300	350	3422
19	2562	325	0	300	350	3537
20	2549	325	0	300	350	3524
21	2377	325	0	300	350	3352
22	2212	325	0	0	350	2887
23	2110	325	0	0	350	2785
24	2046	325	0	0	350	2721

Iz tablice se može iščitati da prosječna dnevna potrošnja bazne stanica u siječnju iznosi 73,44 kWh.



Slika 6.1. Prosječna pojedinačna potrošnja za siječanj

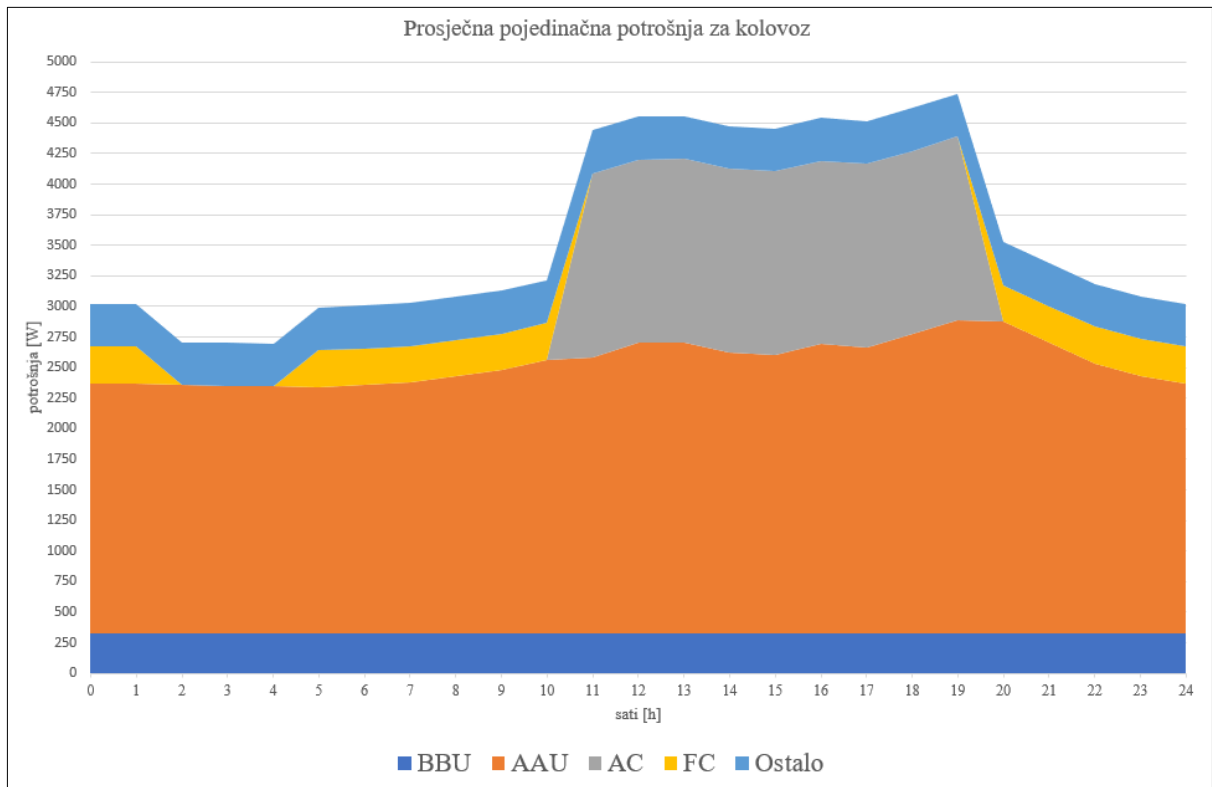


Slika 6.2. Pojedinačni postotak opterećenja za siječanj

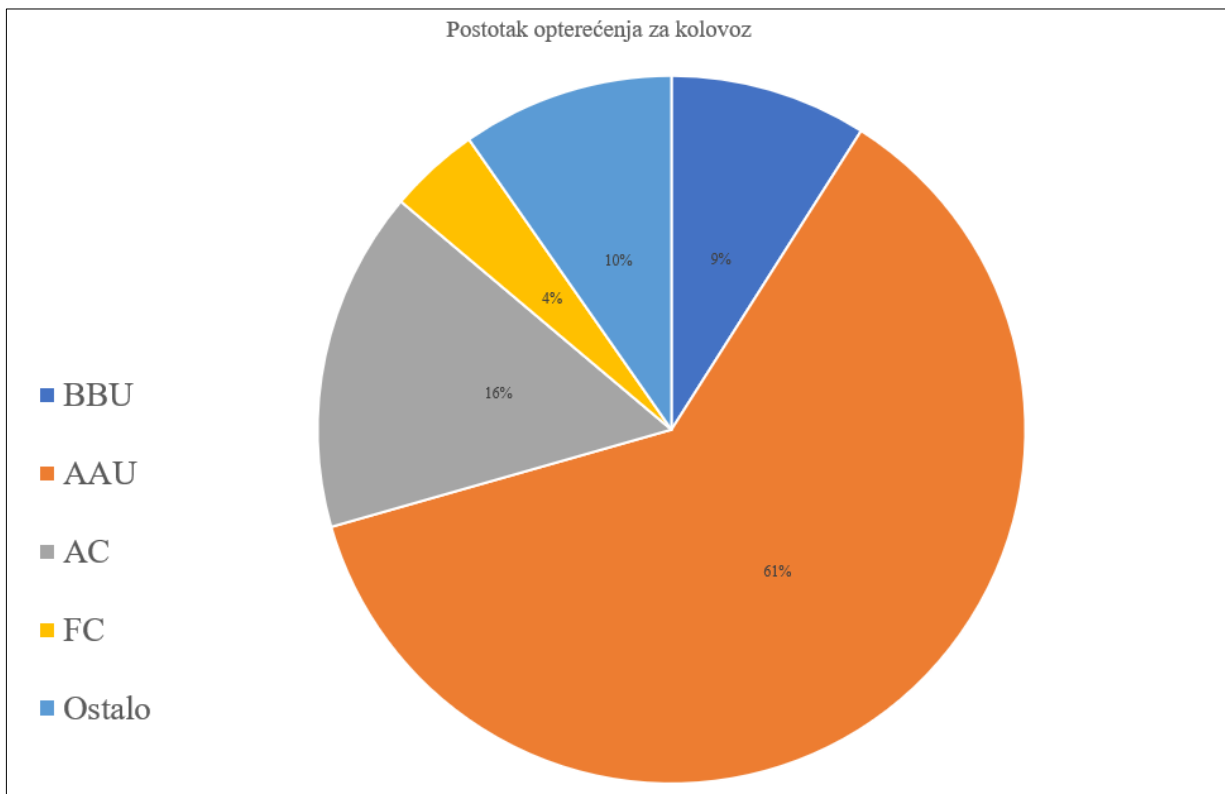
Tablica 6.2. prosječna potrošnja bazne stanice za kolovoz 2020.

Sati	AAU [W]	BBU [W]	AC [W]	FC [W]	Ostalo [W]	Ukupno [Wh]
0	2046	325	0	300	350	3021
1	2046	325	0	300	350	3021
2	2033	325	0	0	350	2708
3	2027	325	0	0	350	2702
4	2020	325	0	0	350	2695
5	2014	325	0	300	350	2989
6	2033	325	0	300	350	3008
7	2052	325	0	300	350	3027
8	2103	325	0	300	350	3078
9	2154	325	0	300	350	3129
10	2237	325	0	300	350	3212
11	2262	325	1500	0	350	4437
12	2377	325	1500	0	350	4552
13	2384	325	1500	0	350	4559
14	2301	325	1500	0	350	4476
15	2282	325	1500	0	350	4457
16	2364	325	1500	0	350	4539
17	2339	325	1500	0	350	4514
18	2447	325	1500	0	350	4622
19	2562	325	1500	0	350	4737
20	2549	325	0	0	350	3524
21	2377	325	0	300	350	3352
22	2212	325	0	300	350	3187
23	2110	325	0	300	350	3085
24	2046	325	0	300	350	3021

Iz tablice se može iščitati da prosječna dnevna potrošnja bazne stanica u kolovozu iznosi 86,64 kWh.



Slika 6.3. Prosječna pojedinačna potrošnja za kolovoz



Slika 6.4. Pojedinačni postotak opterećenja za kolovoz

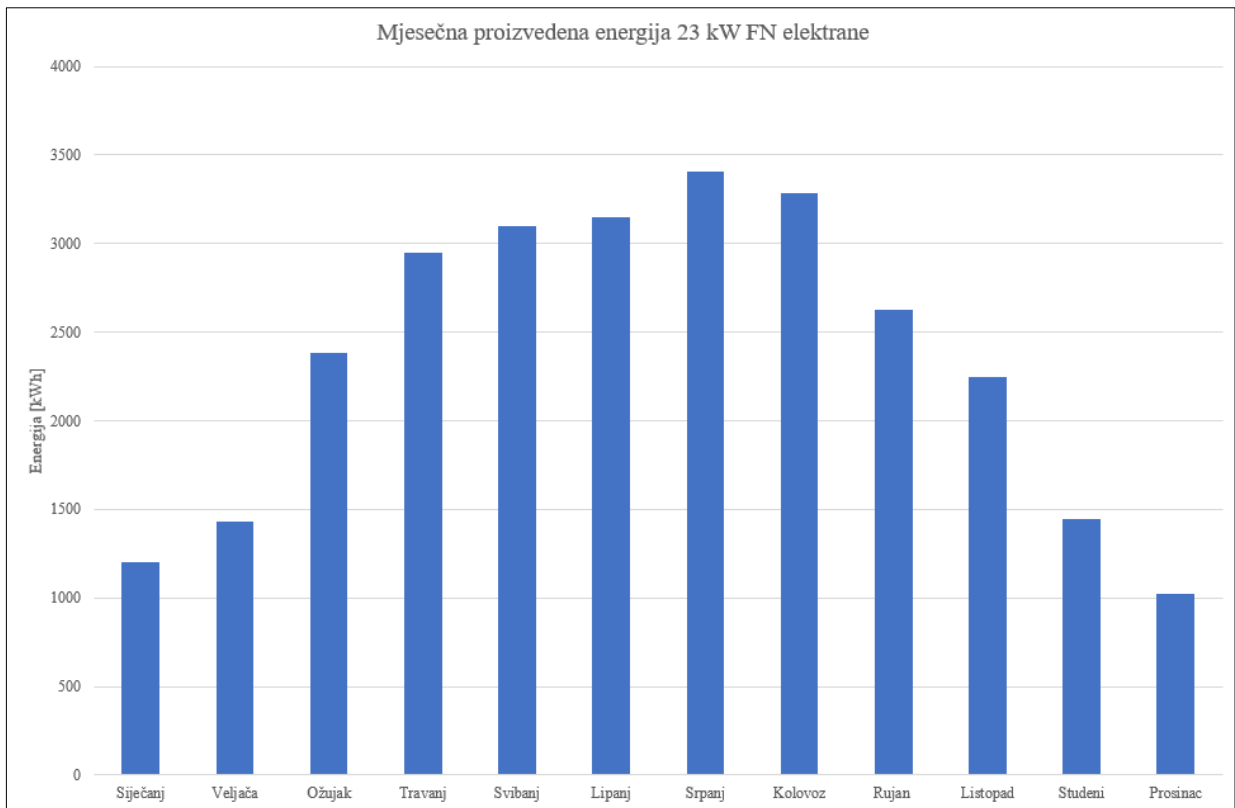
6.1. Bazna stanica spojena na distributivnu mrežu

Bazna stanica koja je spojena na distributivnu mrežu i ima vlastitu elektranu koja služi za pokrivanje potrošnje ima status kupca sa vlastitom proizvodnjom. Prema [19] kupac s vlastitom proizvodnjom je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu koju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu. Bitno je da ukupna godišnja proizvodnja elektrane bude manja od ukupne godišnje potrošnje kupca. Najveća prosječna dnevna potrošnja je u kolovozu i iznosi 86,84 kWh, a najmanja je u siječnju i iznosi 73,44 kWh. Potrošnja u svim ostalim mjesecima se nalazi između te dvije, pa je za prosječnu dnevnu potrošnju bazne stanice uzeto 80 kWh dnevno. Na temelju prosječne dnevne potrošnje izračunata je ukupna godišnja potrošnja bazne stanice koja iznosi 29200 kWh

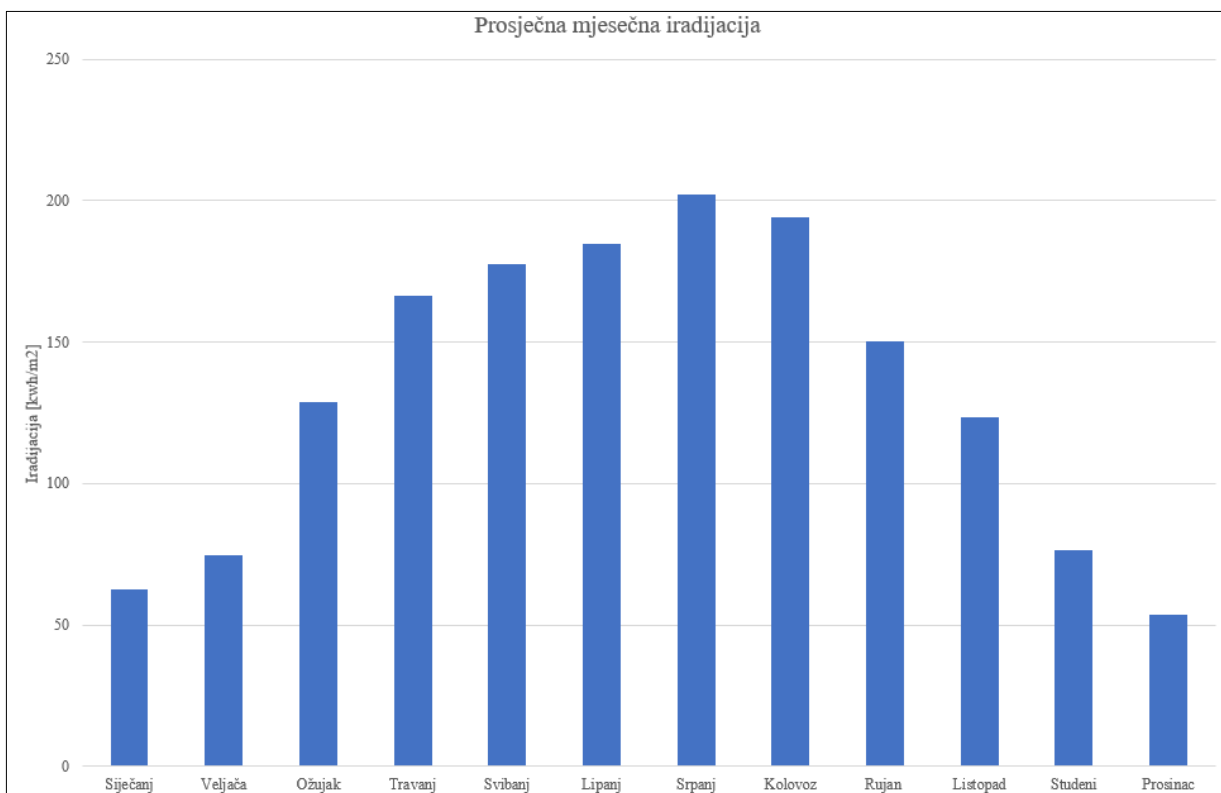
Za određivanje potrebne snage fotonaponske elektrane korišten je *online* alat pod nazivom PVGIS. PVGIS također omogućuje ispisivanje izvještaja o proizvodnji ovisno o unesenim podacima.

Za baznu stanicu koja godišnje troši 29200 kWh potrebna je fotonaponska elektrana instalirane snage od 23 kW. Iz izvještaja se može iščitati da elektrana prosječno godišnje proizvodi 28252,44 kWh, sa mogućim godišnjim odstupanjem od 1247,78 kWh. Najveća proizvodnja je tijekom ljetnih mjeseci dok najmanja tijekom zimskih mjeseci kad su moguća velika odstupanja u proizvodnji zbog ovisnosti o različitim vremenskim prilikama.

Razlika između proizvedene i potrošene energije iznosi 974,56 kWh, te je potrebno platiti samo razliku između potrošnje i proizvodnje. Nije potrebna veća instalirana snaga elektrane jer i elektrana od 23 kW može uzrokovati da proizvodnja bude veća od potrošnje čime bi kupac električne energije izgubio status kupca sa vlastitom proizvodnjom, te dobio status proizvođača električne energije.



Slika 6.5. Prosječna mjesečna proizvodnja fotonaponske elektrane



Slika 6.6. Prosječna mjesečna globalna dozračena energija Sunčevog zračenja

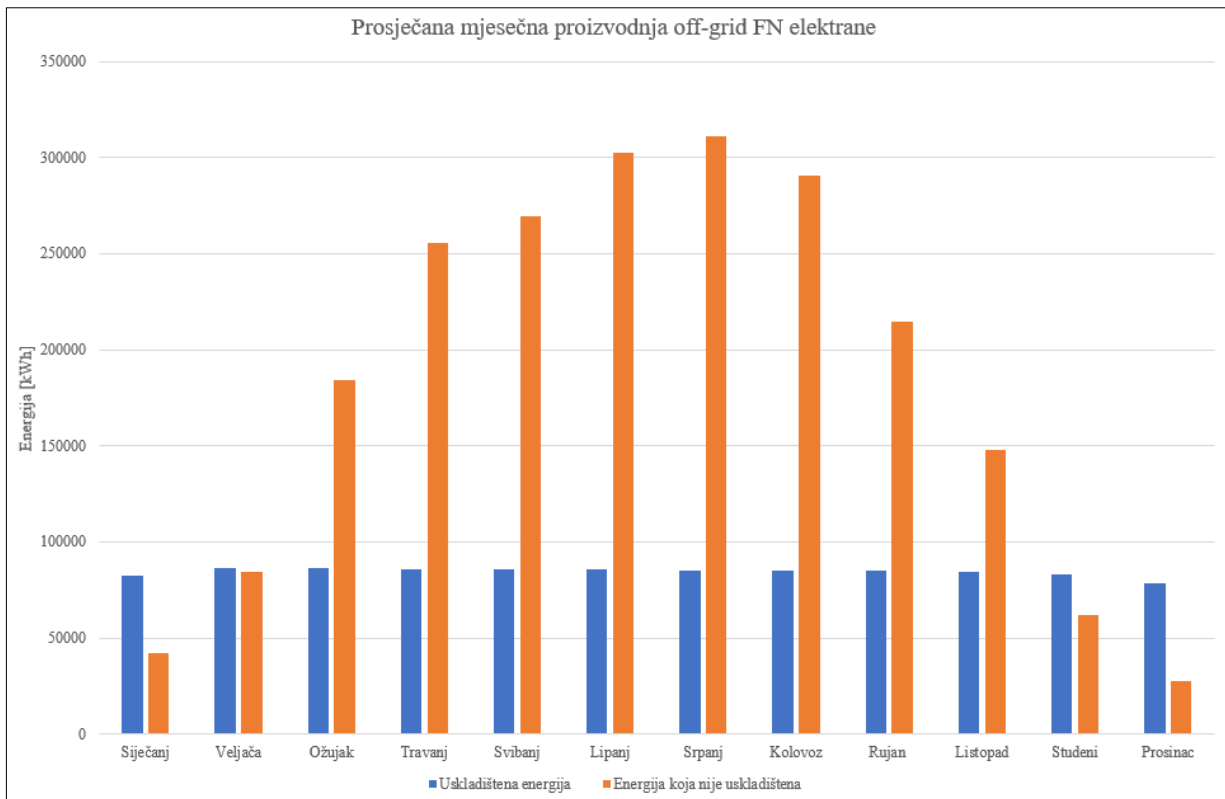
6.2. Bazna stanica u *off-grid* modelu

Bazna stanica koja nije spojena na mrežu mora imati poseban izvor električne energije koji je najčešće agregat (dizel ili benzin) određene snage. Za baznu stanicu čiji su podaci gore navedeni dovoljno je koristiti agregat nazivne snage minimalno 5 kW jer je maksimalna potrošnja iznosila 4737 W. Optimalno je da snaga agregata bude veća od potrošnje jer može doći do promjene opterećenja tijekom vremena.

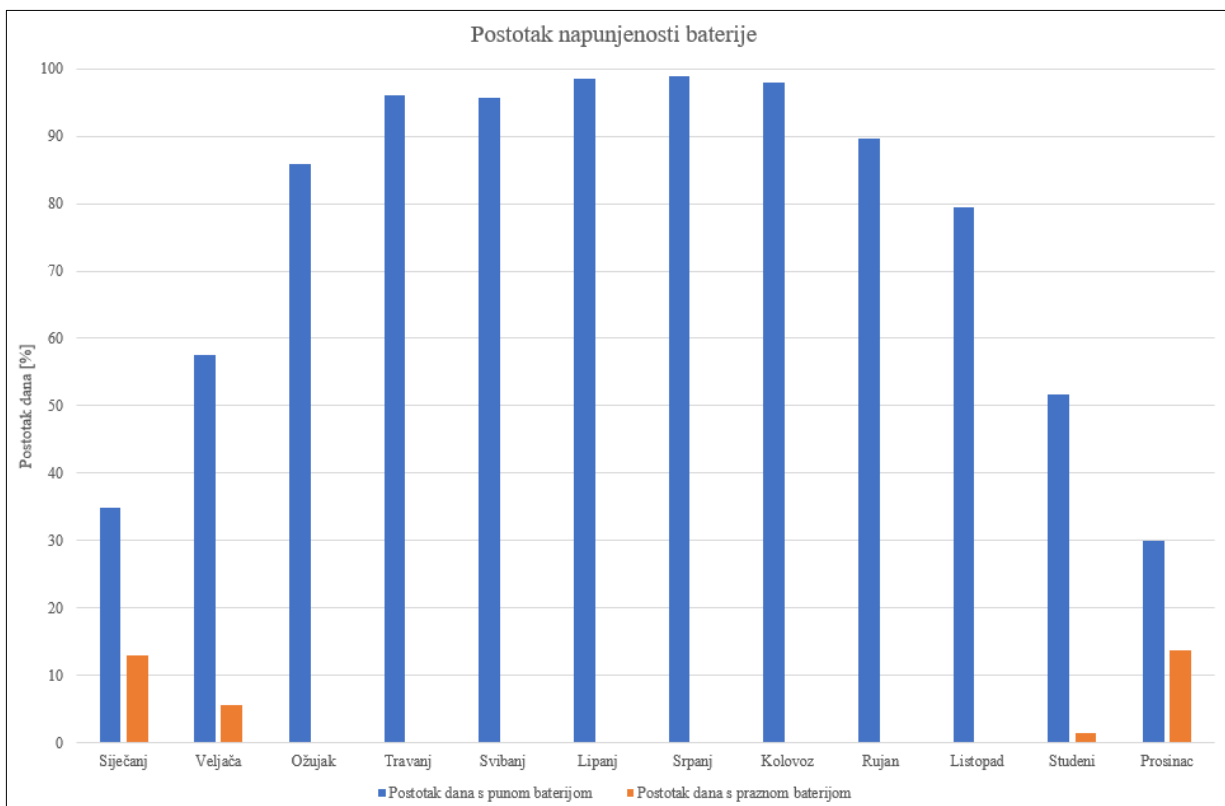
U slučaju korištenja samo fotonaponske elektrane potrebno je instalirati dovoljno veliku elektranu čija će dnevna proizvodnja električne energije pokriti cjelokupnu potrošnju. Pošto proizvodnja iz fotonaponskih modula ne prati potrošnju potrebno je koristiti sustav skladištenja električne energije tj. baterije. Kapacitet baterija mora biti dovoljan da bazna stanica može raditi i nekoliko dana samo na baterijama.

Za baznu stanicu iz uzetog primjera čija je najmanja potrošnja iznosila 73,44 kWh, potrebna je elektrana instalirane snage 90 kW, čime je prosječna najmanja proizvodnja u prosincu iznosi 78,27 kW dnevno. Prilikom određivanja kapaciteta baterije korištena je prosječna dnevna potrošnja od 80 kWh i potrebno je da bazna stanica može raditi 5 dana samo na bateriji, čime se došlo do snage od 500 kWh. U izračunu se također koristio podatka da je minimalna napunjenost baterije 20 % i da se ona ne smije prazniti ispod toga postotka. Sa sustavom koji ima instaliranu snagu elektrane od 90 kW i baterije snage 500 kWh i dalje ima dana kada je baterija ispražnjena do dopuštenog maksimuma (2,81 % vremena), ali je većinu vremena baterija u potpunosti napunjena što osigurava siguran rad bazne stanice.

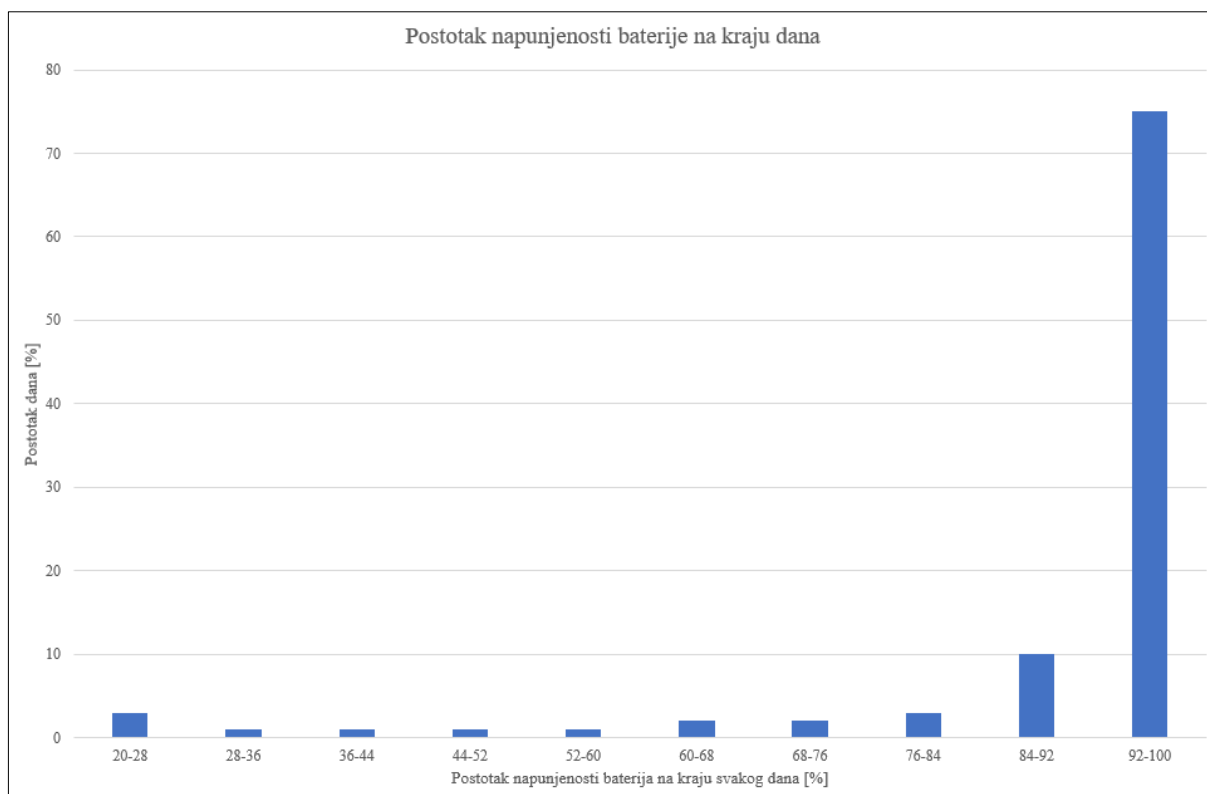
Glavni nedostatak ovakvog sustava je što je potrebna velika instalirana snaga kako bi bazna stanica sa sigurnošću mogla raditi preko zimskih mjeseci, dok ostatak godine nije potrebna toliko velika instalirana snaga fotonaponske elektrane. Pored toga javlja se i problem prevelikih financijskih izdataka za izgradnju ovakvog sustava napajanja koji nikada ne će osigurati povrat uložениh sredstava.



Slika 6.7. Prosječna mjesečna proizvodnja 90 kW *off-grid* FN elektrane



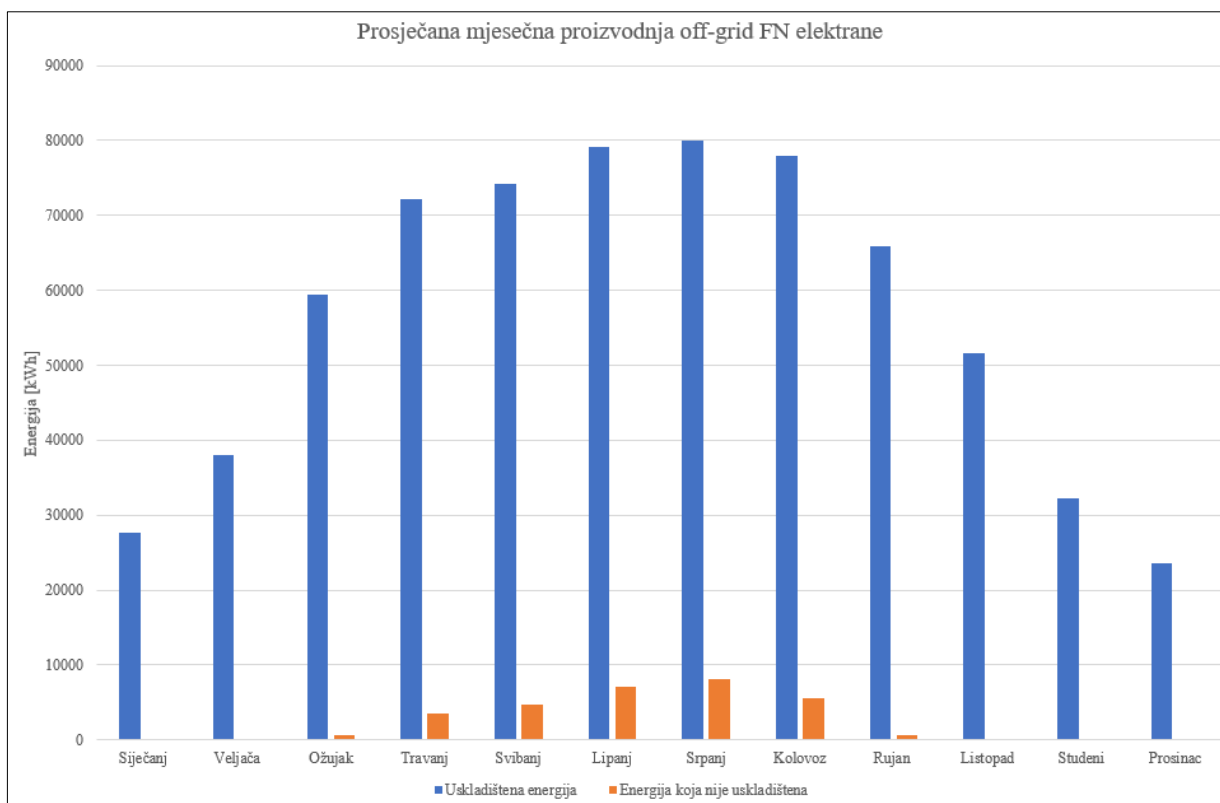
Slika 6.8. Postotak dana kada je baterija puna ili prazna



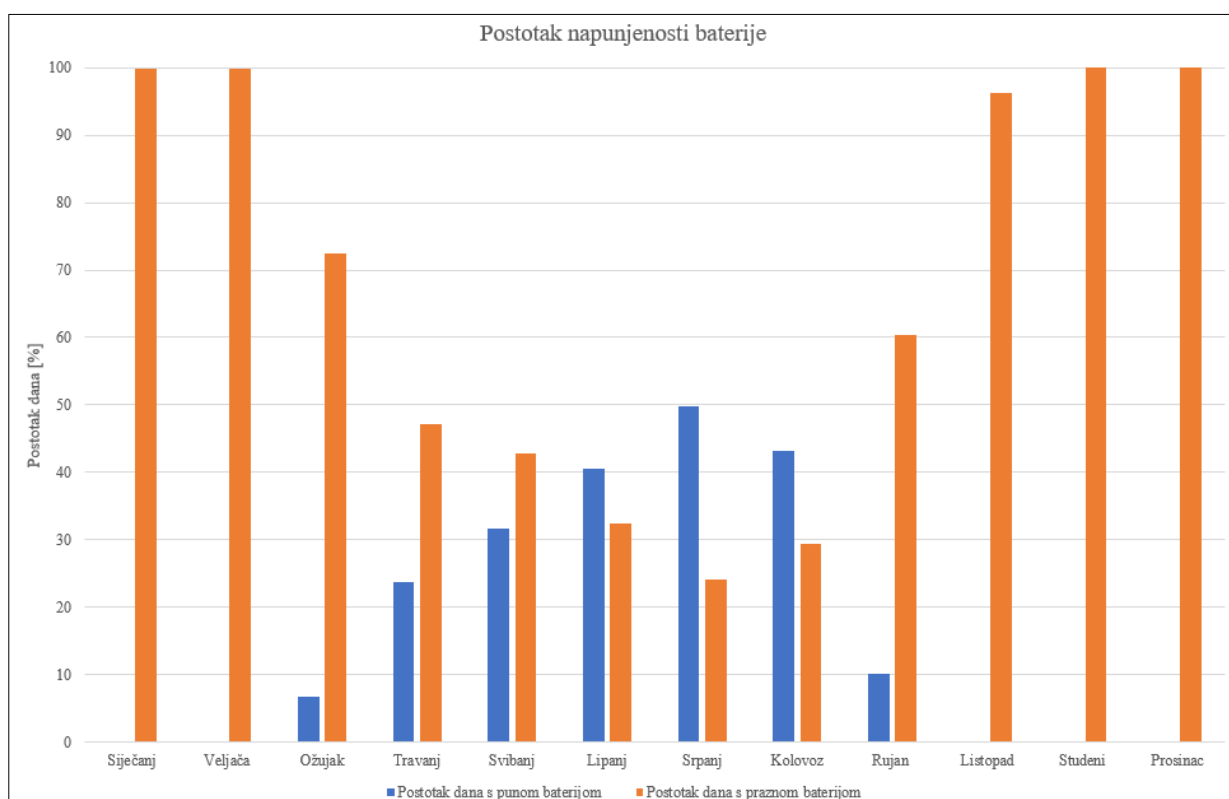
Slika 6.9. Postotak napunjenosti baterije na kraju svakog dana

Zbog navedenih nedostataka za elektranu instalirane snage 90 kW napravljen je i izračuna za fotonaponsku elektranu snage 20 kW sa baterijama od 100 kWh. Elektrana snage 20 kW niti u jednom trenutku ne proizvodi potrebnu energiju, ali pet mjeseci godišnje zadovoljava više od 85 % potreba bazne stanice, te još 2 mjeseca je proizvodnja veća od 50 % potreba. Ostatak vremena proizvodi se otprilike jedna trećina potrebne energije. Ostatak potrebne energije je mora se proizvesti iz nekog drugog izvora. Najjednostavnije i najsigurnije rješenje je koristiti agregat koji će osigurati proizvodnju tijekom zimskih dana kada je proizvodnja premala i tijekom ljeta kada je proizvodnja nedovoljna. Snaga agregata također može biti jednaka kao i u slučaju kada agregat samostalno napaja baznu stanicu.

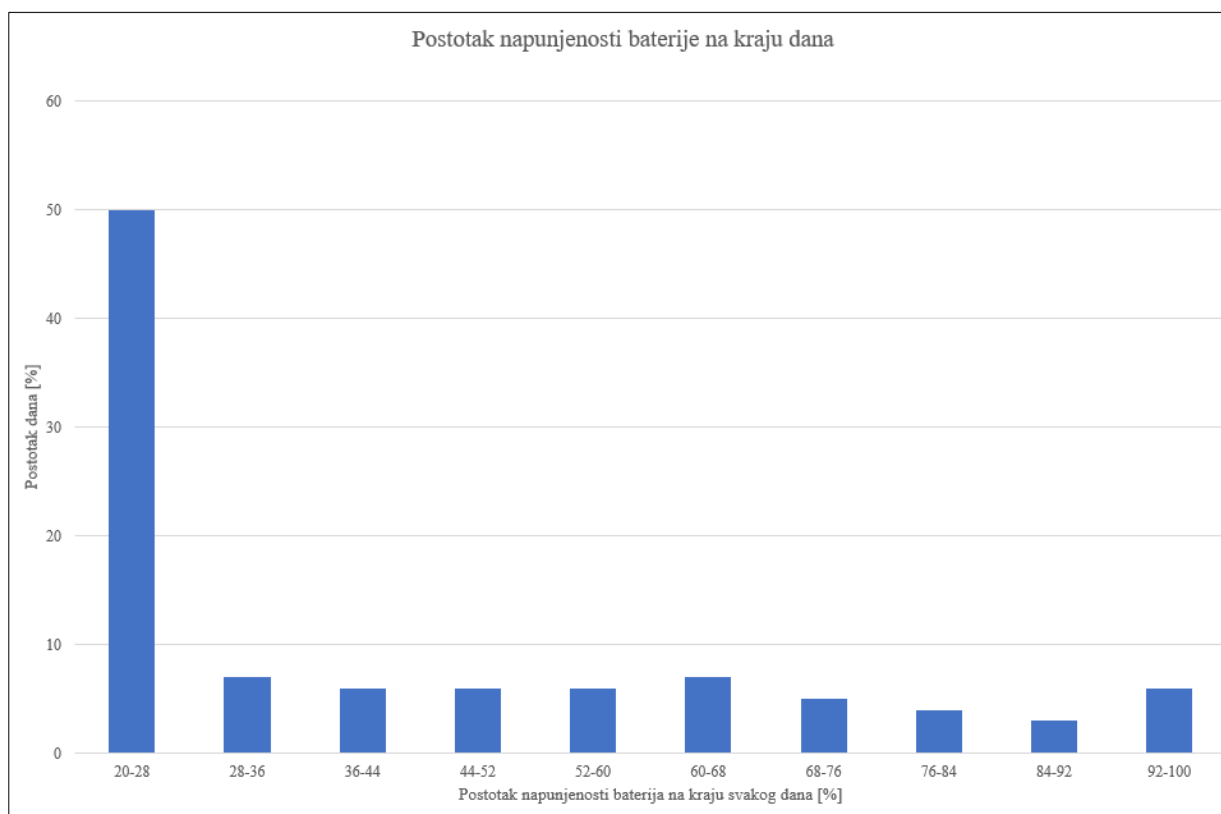
Ovakvim sustavom napajanja je jeftiniji u odnosu na sustav sa elektranom od 90 kW i pruža veću sigurnost napajanja. Pored toga proizvodnja iz fotonaponske elektrane pokriva preko 70 % godišnje potrošnje bazne stanice čime je značajno smanjenja proizvodnja iz agregata i smanjenja emisija CO₂.



Slika 6.10. Prosječna mjesečna proizvodnja 20 kW *off-grid* FN elektrane



Slika 6.11. Postotak dana kada je baterija puna ili prazna



Slika 6.12. Postotak napunjenosti baterije na kraju svakog dana

7. ZAKLJUČAK

Zbog tehnološkog napretka i sve većeg broja korisnika prelazi se na nove tehnologiju koje omogućuju veće brzine prijenosa podataka i daljnji gospodarski napredak. Nove tehnologije zahtijevaju veću količinu baznih stanica, a osim toga imaju i veću potrošnju električne energije. Bazne stanice se većinom napajaju iz distributivne mreže ili pomoću agregata (dizel ili benzin) dolazi do velike potrošnje električne energije i ispuštanja CO₂ u atmosferu kao posljedica korištenja električne energije. Pošto većina zemalja vodi politiku smanjenja emisije CO₂ u atmosferu sustav napajanja baznih stanica se počeo projektirati na način da one postanu što više CO₂ neutralne. Primjena obnovljivih izvora električne energije je su skladu sa politikom smanjenja emisije štetnih plinova u atmosferu, a pored toga smanjeni su troškovi za električnom energijom ili ih uopće nema zavisno o vrsti napajanja. Na taj način se ostvaruju dugoročne uštede na plaćanju električne energije. Izvedba napajanja pomoću obnovljivih izvora najviše ovisi o lokaciji baze stanice i vremenskim uvjetima koji vladaju na njoj. Pa tako bazne stanice većih snaga (makro i mikro) za koje je moguće izvesti direktno napajanje preko distributivne mreže najbolje koristiti hibridno oblik. Hibridni oblik sa većim kapacitetom skladištenja energije može samostalno se napajati pomoću OIE, ali ima i mogućnost napajanja se mreže u slučaju kvara ili dužih vremenskih neprilika. Bazen stanice koje nemaju mogućnost napajanja iz distributivne mreže moraju koristiti pored OIE i skladišne kapacitete ili dodatni agregat koje se koristi u slučaju nužde. Odabir odgovarajućeg autonomnog sustava jako ovisi o lokaciji i vremenskim uvjetima koje vladaju na toj lokaciji. Tako ponekada nije moguće kao izvor koristiti vjetroagregat ili fotonaponske module, te baterije kao skladištenje energije u područjima koja imaju jako hladne zime. Ponekad sustav napajanja ne može u potpunosti biti samo pomoću obnovljivih izvora energije već je potreban i agregat koje se osigurati siguran rad bazne stanice. Obnovljivi izvori omogućuju napajanje baznih stanica u područjima koja se nalaze daleko od naseljenih ljudi i širenje mreže na održiv način čime se doprinosi razvoju ne samo područja na koje se nalazi već i ostalih grana koje su vezane uz bazne stanice. Odabir odgovarajućeg sustava je složen jer ovisi o više faktora koji utječu na to, te nije moguće koristiti tipsku izvedbu za veliku količinu lokacije nego je potrebno projektirati sustav za svaku lokaciju pojedinačno. Primjena obnovljivih izvora za napajanje baznih stanica donosi neke prednosti ali ima i neke nedostatke koje je potrebno riješiti. Najveći problem oko primjene ovakvog rješenja je i dalje njegova neisplativost.

LITERATURA

- [1] E. Commission, »European Commission Report IP/09/1489,« European Commission, Brussels, 2009.
- [2] »VIAMI Solutions,« [Mrežno]. Available: <https://www.viavisolutions.com/en-us/what-5g-energy-consumption>. [Pokušaj pristupa 22 lipanj 2023].
- [3] M. Mihić i Ž. Trpovski, »Projektiranje baznih stanica,« *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, svez. 621.39, br. God.37 Br 04 (2022), 4 2022.
- [4] Č. Zeljković i P. M. i. B. Erceg, »Analiza performansi samostalnih fotonaponskih sistema za napajanje baznih stanica mobilne telefonije,« u *Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost*, Banja Luka, 2019.
- [5] E. B. Haghghi, »Displacement free cooling for telecommunication base stations,« u *2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Broadbeach, QLD, Australia, 2017.
- [6] Y. Peng, Y. Shi, J. Li i Y. Hu, »Optimal Scheduling of 5G Base Station Energy Storage Considering Wind and Solar Complementation,« u *2020 4th Asina Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)*, Chengdu, China, 2022.
- [7] W. Zhou, C. Li, L. Yang, Z. Li, T. Liu i N. An, »Control Strategy of Distributed PV-ES System Using 5G Base Station ES Backup Capacity,« u *2022 5th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE)*, Chongqing, China, 2022.
- [8] »ADR natura,« [Mrežno]. Available: <https://adr-natura.com/zracenja-baznih-stanica-mobilne-telefonije/>. [Pokušaj pristupa 24 svibanj 2023].
- [9] »Dalekovodi proizvodnja,« [Mrežno]. Available: <http://www.dalekovod-proizvodnja.com/antenski-stupovi.aspx>. [Pokušaj pristupa 2023 svibanj 23].
- [10] D. Padarić i C.-T. d. M. Kušec, »Wimax 802.16 standard,« *tehnički glasnik*, p. 56, 12 2009.
- [11] E. Zentner, *Antene i radiosustavi*, Zagreb: Graphis, 2001.
- [12] »Sanan IC,« [Mrežno]. Available: <https://www.sanan-ic.com/en/base-station>. [Pokušaj pristupa 10 9 2023].
- [13] B. -S. P. Lin, W. -H. Tsai, C. C. Wu, P. H. Hsu, J. Y. Huang i T.-H. Liu, »The Design of Cloud-Based 4G/LTE for Mobile Augmented Reality with Smart Mobile Devices,« u *2013 IEEE Seventh International Symposium on Service-Oriented System Engineering*, San Francisco, 2013.
- [14] K. Kušić, *Klasifikacija pokretnih korisničkih profila telekomunikacijske mreže metoodologijom strojnog učenja*, Zagreb, 2020.
- [15] »ResearchGate,« [Mrežno]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figure-of-a-three-cell-base-station-configuration-Using-a-three-cell-configuration-can_fig1_277196084. [Pokušaj pristupa 2023 svibanj 20].
- [16] N. C. Shuai i Z. C. Shao, *5G base station energy consumption model based on multiple linear regression algorithm*, Mobile Communication, 2020.
- [17] M. Qiu, B. Jiang, L. Kong, J. Liu, Y. Tian i P. Nie, »Design of AC and DC Power Supply System for Multi-Station Integration,« u *2021 4th International Conference on Energy Electrical and Power Engineering (CEEPE)*, Chongqing, China, 2021.

- [18] »LIVE konferencija Za gigaBITNu zelenu energiju,« u *LIVE konferencija Za gigaBITNu zelenu energiju* , Osijek, Hrvatska , 2020.
- [19] »HEP ODS,« [Mrežno]. Available: <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> . [Pokušaj pristupa 14 srpanj 2023].

SADRŽAJ

Napajanje baznih stanica telekom operatera pomoću obnovljivih izvora energije.

Zadatak rada je bio napraviti različite sustave napajanja baznih stanica koji se sastoji djelomično ili u potpunosti od obnovljivih izvora energije. Rad je podijeljen u nekoliko cjelina. Prvo je pisano o baznim stanicama i osnovnim dijelovima baznih stanica, te o tome što utječe na njihov položaj u prostoru. Nakon toga je opisana potrošnja bazne stanice te kako ono ovisi o dijelovima bazne stanice. Pored toga navedeno je kolike su okvirne snage baznih stanica ovisno o njihovoj veličini te njihov priključak na mrežu. Izrađene su blokovske sheme različitih sustava napajanja pomoću obnovljivih izvora energije, te opisan njihov način rada. U zadnjem poglavlju napravljen je jednostavni izračun potrošnje bazne stanice, te određeno kolika bi snaga fotonaponske elektrane trebala da zadovolji potrebe bazne stanice u slučaju kada je ona spojena na mrežu i kada radi u *off-grid* načinu.

Ključne riječi: bazna stanica, potrošnja bazne stanice, napajanje pomoću obnovljivih izvora energije, potrebna snaga elektrane

ABSTRACT

Powering base stations of telecom operators using renewable energy sources.

The task of the work was to create different base station power systems that consist partially or completely of renewable energy sources. The work is divided into several parts. First, it was written about base station and basic parts of base station, and what affects their position in space. After that, the consumption of the base station is described and how it depends on the parts of the base station. In addition, it is stated what the approximate power of the base stations are depending on their size and their connection to the network. Block diagrams of different power supply systems using renewable energy sources were created, and their mode of operation was described. In the last chapter, a simple calculation of the consumption of the base station was made, and it was determined how much power the photovoltaic power plant would need to meet the needs of the base station in the case when it is connected to the grid and when it works in off-grid mode.

Key words: base station, base station consumption, power supply using renewable energy sources, required power of the power plant.

ŽIVOTOPIS

Đuro Šarić rođen 28. travnja 1998. godina u Slavonskom Brodu. Pohađao je osnovnu školu Ivana Gorana Kovačić koja od 29. listopada 2019. godine nosi ime Osnovna Škola Ivana Martinovića. Nakon završetka osnovnoškolskog obrazovanja upisao je srednju školu Tehnička škola Županja, smjer Elektrotehnika. Nakon završetka srednje škole odlučio upisati se na Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. 2020. godine završavam stručni studiji Elektrotehnike, nakon čega upisujem studiji razlikovnih obveza i nastavljam školovanje na sveučilišnom diplomskom studiju Elektrotehnike.

Potpis autora