

# Usporedba performansi različitih tipova eksperimentalne mikromreže u Laboratoriju za OIE FERIT

---

Uremović, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:407336>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**

*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**

**USPOREDBA PERFORMANSI RAZLIČITIH TIPOVA  
EKSPERIMENTALNE MIKROMREŽE U  
LABORATORIJU ZA OIE FERIT**

**Diplomski rad**

**Mateo Uremović**

**Osijek, 2021.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit****Osijek, 06.09.2021.**

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Mateo Uremović
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D-1275, 06.10.2019.
<b>OIB studenta:</b>	37853558375
<b>Mentor:</b>	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
<b>Sumentor:</b>	Matej Žnidarec
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Usporedba performansi različitih tipova eksperimentalne mikromreže u Laboratoriju za OIE FERIT
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	U teorijskom dijelu opisati tehničke parametre različitih tipova eksperimentalne mikromreže instalirane u Laboratoriju za OIE FERIT a u praktičnom dijelu izvršiti mjerenja i odgovarajuće proračune. Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing,
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	06.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 26.09.2021.

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Mateo Uremović
<b>Studij:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D-1275, 06.10.2019.
<b>Turnitin podudaranje [%]:</b>	7

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Usporedba performansi različitih tipova eksperimentalne mikromreže u Laboratoriju za OIE FERIT**

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

i sumentora Matej Žnidarec

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

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MIKROMREŽA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. POJAM MIKROMREŽE</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. PODJELA MIKROMREŽA</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. PREMA NAČINU RADA.....	7
2.2.2. PREMA DISTRIBUCIJSKOM SUSTAVU .....	8
<b>2.3. PREDNOSTI I NEDOSTACI KORIŠTENJA MIKROMREŽA</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4. ELEMENTI MIKROMREŽA</b> .....	<b>12</b>
<b>3. UPRAVLJANJE I KONTROLA MIKROMREŽAMA</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1. UPRAVLJAČKE FUNKCIJE</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. RAZINE UPRAVLJANJA</b> .....	<b>17</b>
3.2.1. PRIMARNA KONTROLA .....	18
3.2.2. SEKUNDARNA KONTROLA .....	19
3.2.3. TERCIJARNA KONTROLA .....	19
<b>3.3. OSNOVNA UPRAVLJAČKA ARHITEKTURA</b> .....	<b>20</b>
3.3.1. DECENTRALIZIRANO I CENTRALIZIRANO UPRAVLJANJE .....	21
3.3.2. DISTRIBUIRANA „MULTIAGENT“ KONTROLA .....	22
<b>4. RAD S EKSPERIMENTALNIM TIPOVIMA MIKROMREŽA U LABORATORIJU ZA OIE</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1. OPIS KORIŠTENIH KOMPONENTI</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2. ISTOSMJERNA (DC) MIKROMREŽA</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3. IZMJENIČNO/ISTOSMJERNA (AC/DC) MIKROMREŽA</b> .....	<b>42</b>
<b>4.4. HIBRIDNA IZMJENIČNO/ISTOSMJERNA (AC/DC) MIKROMREŽA</b> .....	<b>46</b>
<b>4.5. ISPITIVANJE RADA RELEJA U HIBRIDNOJ MIKROMREŽI</b> .....	<b>51</b>
<b>4.6. UČINKOVITOST PHOENIX I MULTIPLUS COMPACT IZMJENJIVAČA</b> .....	<b>54</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>58</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>60</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>62</b>

**ABSTRACT ..... 63**

**ŽIVOTOPIS..... 64**

## 1. UVOD

Mikromreže predstavljaju lokaliziranu mrežu koja se u bilo kojem trenutku može odspojiti od tradicionalne mreže radi mogućnosti autonomnog rada. Budući da mogu raditi dok je glavna mreža u kvaru, mikromreže povećavaju otpornost mreže i pomažu u ublažavanju posljedica nastalih poremećaja. Zbog svojih karakteristika služe kao mrežni resurs radi bržeg odgovora i oporavka sustava. Integracijom rastućih distribuiranih izvora energije, poput obnovljivih izvora energije, mikromreže podržavaju učinkovitu i fleksibilnu električnu mrežu. Uz to, primjena lokalnih izvora energije za opskrbu lokalnih opterećenja pomaže pri smanjenju gubitaka energije u prijenosu i distribuciji, dodatno povećavajući učinkovitost sustava opskrbe električnom energijom[19].

Kroz diplomski rad biti će objašnjeni različiti tipovi i tehnički parametri eksperimentalnih mikromreža koje se nalaze u Laboratoriju za obnovljive izvore energije, a u sklopu praktičnog dijela će se prikazati mjerenja, proračuni na temelju tih mjerenja i rezultati. Rad se, uz uvod i zaključak, sastoji od 3 ključna poglavlja, koja su podijeljena na više potpoglavlja, kroz koje će se razriješiti zadatak diplomskog rada. Prvo poglavlje predstavlja uvod u problematiku diplomskoga rada. Drugo poglavlje pojašnjava pojam mikromreže, njihovu primjenu i podjelu kao i njihove osnovne sastavne dijelove. Opisane su karakteristike, prednosti i nedostaci mikromreža i njihova uloga i razvoj u današnjem tradicionalnom elektroenergetskom sustavu. U trećem poglavlju opisane su upravljačke funkcije tokom rada s mikromrežama s naglaskom na tri osnovne razine upravljanja. Opisom osnovne upravljačke arhitekture definirana je osnovna razlika između centraliziranog i decentraliziranog upravljanja. Najveće poglavlje predstavlja četvrto poglavlje koje je rezultat rada u laboratoriju. U njemu su prikazane i objašnjene tri korištene eksperimentalne mikromreže i njihove osnovne komponente. Prikazani su rezultati mjerenja u obliku grafova i proračuna učinkovitosti uz opisan postupak rada u laboratoriju. Na kraju rada nalazi se zadnje poglavlje u kojem se daje zaključak koji je rezultat teorijskog uvoda i eksperimentalnog rada u laboratoriju.

## 2. MIKROMREŽA

U godinama koje slijede, očekuje se da će klasične električne mreže koje poznajemo ići prema pametnijim, fleksibilnijim, pouzdanijim, učinkovitijim i dvosmjernim formatima što dovodi do kompleksnosti samog sustava. Sve navedene prednosti, kako bi se mogle omogućiti, bi trebale imati podršku odgovarajuće infrastrukture. U tom kontekstu, mikromreže, ali i općenito izmjenične (AC) mreže, imaju bitnu ulogu u novoj električnoj paradigmi potaknutoj sve većom integracijom distribuiranih izvora energije. Ovaj novi oblik mreže mora se nositi sa problemima koje donose distribuirani izvori u obliku varijabilnosti i nepredvidivosti kao i promjenama u lokalnoj potražnji za energijom. Prilagodljivost ovih mreža omogućava odgodu renovacije zastarjele infrastrukture koja ne može izdržati rastuću potražnju za energijom. Obrisani novih mreža, sastavljenih od nekoliko povezanih mikromreža ili nanomreža, konvencionalnih izvora energije i opterećenja stvorit će temelje za buduću održivost pametnih mreža [1].

Korištenje mikromreža donosi potencijalne ekonomske i ekološke prednosti, ali njihova primjena i implementacija podrazumijeva velike tehničke poteškoće u regulaciji, upravljanju energijom i zaštiti [1].

Poslovne opcije koje se otvaraju primjenom mikromreža uključuju [2]:

- proizvodnju na licu mjesta
- infrastruktura za punjenje električnih vozila
- pohrana električne energije
- virtualne elektrane locirane na različitim mjestima
- neprekidni izvori napajanja
- razne mjere energetske učinkovitosti
- aktivno upravljanje električnom mrežom i
- dinamički kontrolirano opterećenje.

Zbog svojih brojnih prednosti, prostora za razvoj i rješenja za probleme na koje se nailazi u sadašnjoj električnoj mreži i koji su međunarodno priznati, mikromreže nailaze na podršku država diljem svijeta. Njihov rast i daljnji razvoj potaknut je na razne načine, primjerice [2]:

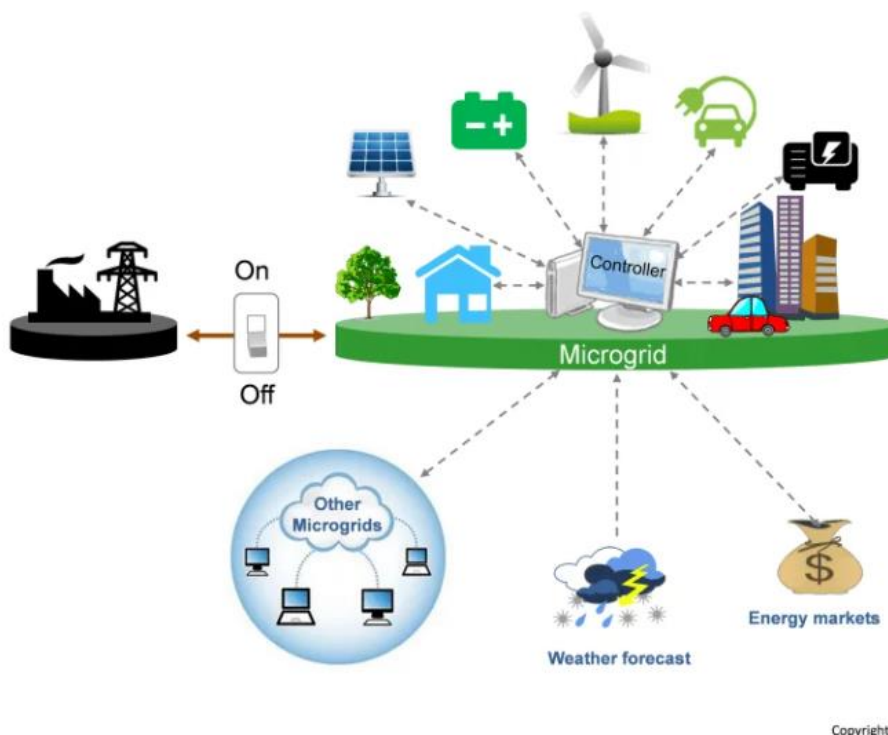
- Vladinim ciljevima za gospodarstvo s niskim udjelom ugljika
- razvojem tehnologija koje vode do smanjenja troškova distribuirane proizvodnje, električnih vozila, skladištenja električne energije, a sve to paralelno s razvojem tehnologija automatizacije i upravljanja



- organizacije koje žele postići veću sigurnost i bolju kontrolu nad svojim troškovima energije i mogućim rizicima
- fokus organizacija kako bi se postigla otpornost na utjecaje vanjskih događaja
- smanjenje tehnološkog rizika zbog široko rasprostranjene primjene.

## 2.1. POJAM MIKROMREŽE

Pojam mikromreže koristi se još od 1955. godine, a postaje izrazito popularan i poznat nakon velikih vremenskih nepogoda koje su pogodile SAD 2012. godine kada se shvatila važnost i potreba za primjenom koncepta mikromreža [3].



Slika 2-1 Ilustracija mikromreže [3]

Mikromreža predstavlja malu mrežu koja napaja lokalizirana električna opterećenja zajednice preko lokalnih izvora električne energije. Sinkronizirana je i povezana s glavnom mrežom (makrogrid), ali također može raditi i neovisno u nepovezanom načinu (otočni pogon) [3].

Mikromrežom se povezuju sredjenaponski (SN), odnosno niskonaponski (NN) distribucijski sustavi, distribuirani izvori energije (fotonaponski sustavi, gorive ćelije, mikroturbine), uređaji za skladištenje energije (baterije, zamašnjaci) i upravljiva trošila. Spoj na glavnu mrežu izveden je putem zajedničke priključne točke, a pomoću nje je definirano područje rada mikromreže:

- spoj na distribucijsku mrežu

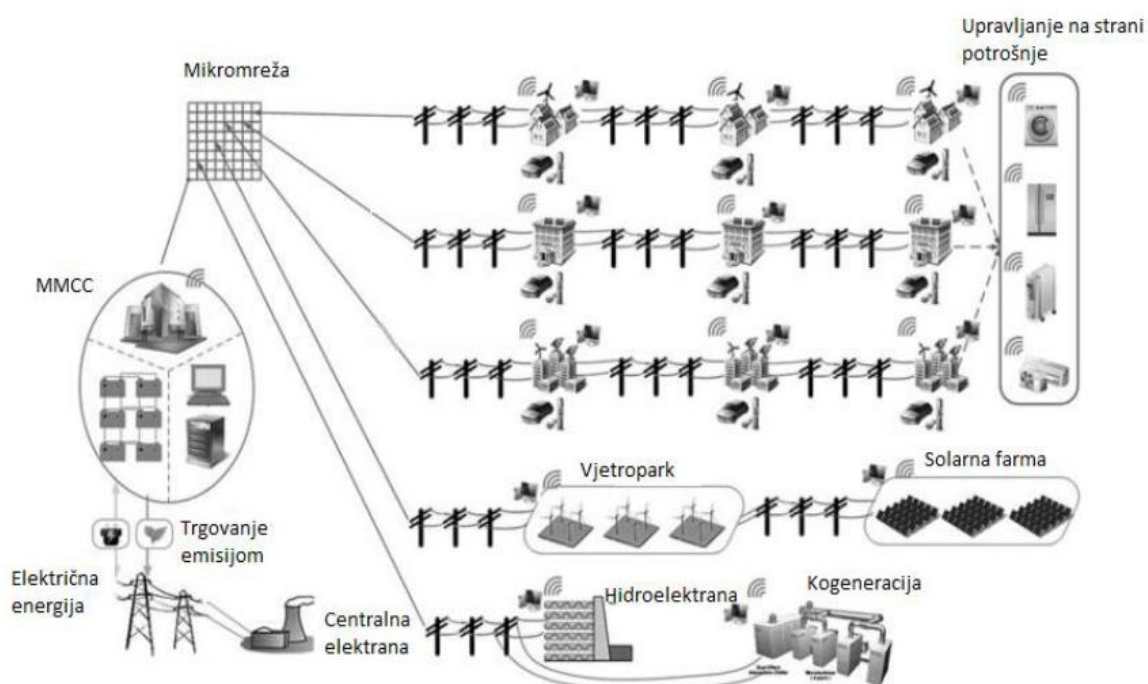
- otočni rad.

Upravo ti režimi rada, uz različite izvedbe mikromreža, omogućuju zadovoljavanje potreba krajnjih korisnika za električnom i toplinskom energijom [4].

Mikromreža mora jednako dobro raditi i kada je spojena na mrežu i u otočnom radu, u slučaju kvarova i ostalih poremećaja koji se mogu dogoditi. Većina budućih mikromreža će veći dio svoga vremena raditi u okviru glavne mreže, osim onih koje su posebno predviđene za otočni režim rada. Kako bi se omogućio dugotrajan režim otočnog rada, potrebno je ispuniti zahtjeve što se tiče mogućnosti skladištenja električne energije i korištenje odgovarajućeg mikrogeneratora koji će omogućiti neprekidnu opskrbu korisnika [4]. Mikromreža se može pojaviti na 3 razine:

- na razini NN mreže
- na razini NN napojnog voda
- na razini NN kućanstva

što je prikazano na slikama 2-2 do 2-4 [4].



Slika 2-2 Primjer mikromreže na razini NN mreže [4]



Slika 2-3 Primjer mikromreže na razini NN napojnog voda [4]



Slika 2-4 Primjer mikromreže na razini NN kućanstva [4]

Tri su ključne karakteristike kojima mikromreža može biti definirana:

- Mikromreža je lokalna

Lokalno znači da proizvodi energiju za potrošače koji se nalaze u blizini. Upravo to je glavna razlika između mikromreža i velikih centraliziranih mreža koje su osiguravale veliku većinu potreba za električnom energijom tokom prošlog stoljeća. Centralizirane mreže prenose električnu energiju iz elektrana na velike udaljenosti pomoću prijenosnih i distribucijskih vodova. Opskrba energijom na velike udaljenosti predstavlja problem jer je neučinkovita zbog toga što se dio te energije (od 8% do 15%) rasipa u prijenosu. Primjenom mikromreže problem neučinkovitosti je izbjegnuto na način da one proizvode energiju tamo gdje je ona potrebna: generatori se nalaze u blizini ili unutar zgrade, ili ukoliko se koriste solarni paneli, na krovu.

- Mikromreža je neovisna

Neovisnost mikromreže predstavlja da se ona može u svakom trenutku odspojiti od glavne mreže i nastaviti sa svojim radom neovisno o njoj. Ova karakteristika omogućuje da se napajanje potrošača nastavi i ukoliko dođe do prekida električne mreže uzrokovanih elementarnim nepogodama ili drugim nesrećama. Iako može raditi samostalno, većinu vremena radi priključena

na glavnu mrežu ( osim ako se nalazi na nekom udaljenom području gdje nema mogućnosti spoja na glavnu mrežu).

- Mikromreža je inteligentna

Ova inteligencija proizlazi iz kontrolera mikromreže. To je središnji mozak sustava koji upravlja generatorima, baterijama i okolnim energetske sustavima zgrade. Kontroler upravlja s više izvora kako bi mogao ispuniti zahtjeve koje su postavili potrošači. Kako bi postigao najnižu cijenu, najveću pouzdanost, najčišću proizvedenu energiju kontroler povećava ili smanjuje upotrebu nekog od dostupnih izvora, ili ih kombinira. Budući da je sustav softverski zasnovan, kontroler može upravljati opskrbom energijom na brojne različite načine: napredni kontroleri mogu u stvarnom vremenu pratiti cijene električne energije u središnjoj mreži. Ukoliko u bilo kojem trenutku ta cijena postane jeftinija od cijene energije mikromreže, može ju kupiti i proslijediti krajnjim potrošačima umjesto da koristi energiju iz npr. solarnih panela. Na taj način, solarni paneli korišteni u mikromreži bi mogli puniti baterija i kada cijena ponovno naraste mikromreža može koristiti energiju pohranjenu u tim baterijama [5].

Također, bitno je naglasiti što ne spada pod pojam mikromreža. Veoma često se taj pojam koristi za opis jednostavnih distribucijskih sustava, poput krovnih solarnih panela. Ključna razlika u ovom slučaju je što će mikromreža nastaviti napajati potrošača kada dođe do prekida u opskrbi, dok solarni paneli neće. Jednostavni rezervni generatori se također ne mogu nazivati mikromrežama jer oni rade samo u hitnim slučajevima dok mikromreže rade 24 sata dnevno tokom cijele godine [5].

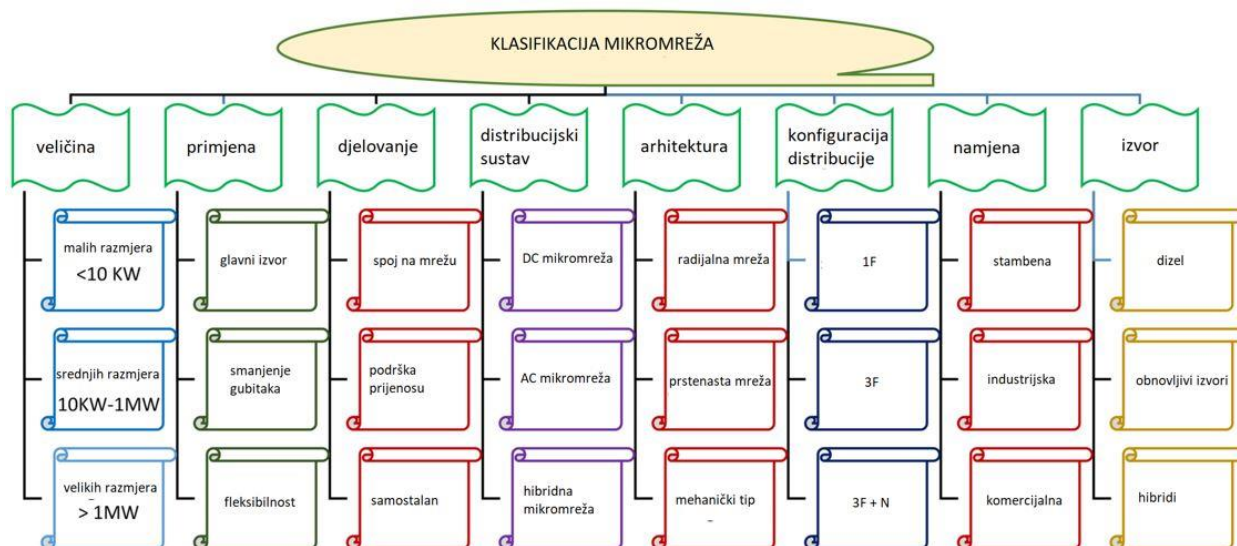
Spektar primjene ovog tipa mreža je veoma širok. Najčešće se koriste za napajanje:

- gradova
- vojnih baza
- zgrada za hitne slučajeve
- kampusa
- komercijalnih i industrijskih objekata
- škola
- sela

Primjenu u tim područjima omogućila im je isplativost i smanjenje troškova vezanih uz proizvodnju električne energije [3].

## 2.2. PODJELA MIKROMREŽA

Mikromreže se mogu svrstati prema različitim kategorijama, kao što je prikazano na slici 2-5. Fleksibilna mikromreža mora biti u mogućnosti izvesti / uvesti energiju u / iz mreže, a da pritom kontrolira aktivne i reaktivne tokove energije pomoću upravljanja skladištenjem energije [6].



Slika 2-5 Podjela mikromreža [6]

### 2.2.1. PREMA NAČINU RADA

Načini rada mikromreža definirani su na sljedeći način:

- povezana na glavnu mrežu
- udaljeni ili otočni
- način ponovnog povezivanja, koji omogućuje mikromreži da poveća pouzdanost opskrbe energijom u slučaju smanjenje kvalitete napajanja ili prekida opskrbe energijom.

U otočnom (ili samostalnom) načinu rada mikromreža mora samostalno održavati ravnotežu reaktivne snage. U korištenju ovog tipa postoje 2 problema: održavanje odgovarajuće dimenzije i frekvencije napona i održavanje ravnoteže snaga u mikromreži. Zbog toga se predlaže postavljanje optimalnog šant kondenzatora u mikromrežama koje se nalaze u distribucijskim mrežama, gdje je otočni režim upitan, a funkcija troškova se sastoji od 3 stavke:

- trošak i gubici električne energije
- trošak investicije šant kondenzatora
- troškovi potrošača u uvjetima prekida.

U otočnom režimu rada nema podrške glavne mreže, moraju se zadovoljiti potrebe potrošača i upravljanje samom mikromrežom postaje puno složenije u usporedbi sa upravljanjem kada postoji

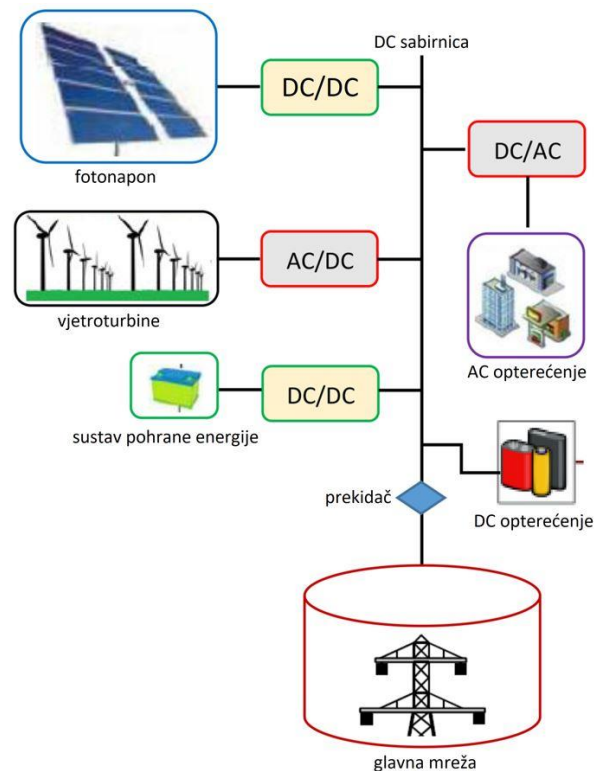
spoj na glavnu mrežu. U načinu rada kada postoji spoj sa glavnom mrežom, mikromreža može razmjenjivati snagu s vanjskom mrežom kako bi se mogla održavati opskrba lokalnog konzuma [6].

### 2.2.2. PREMA DISTRIBUCIJSKOM SUSTAVU

Prema distribucijskom sustavu mikromreže se mogu podijeliti na:

- AC sustav
- DC sustav i
- hibridni sustav, od kojih svaki ima svoje prednosti i mane.

Istosmjerna (DC) mikromreža se može primijeniti kada je način rada u spoju na glavnu mrežu ili autonoman, a njena struktura prikazana je na slici 2-6.

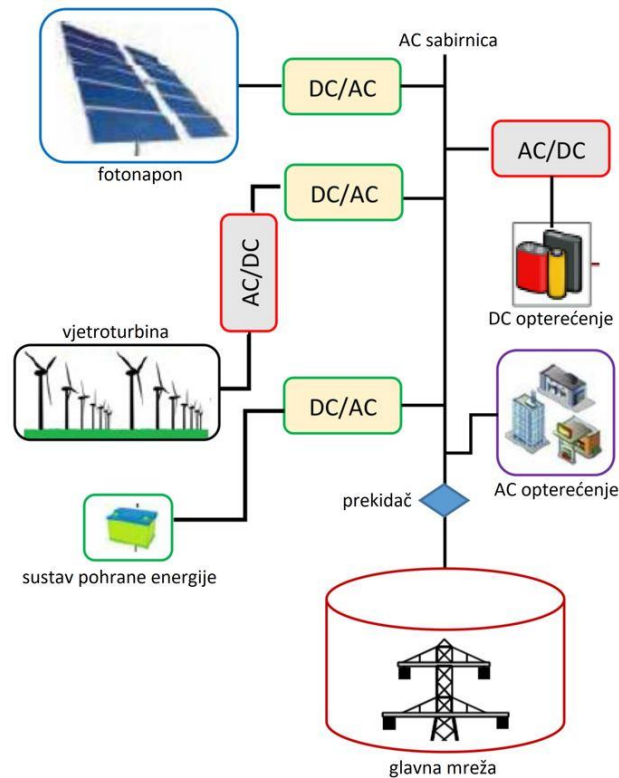


Slika 2-6 Prikaz DC mikromreže [6]

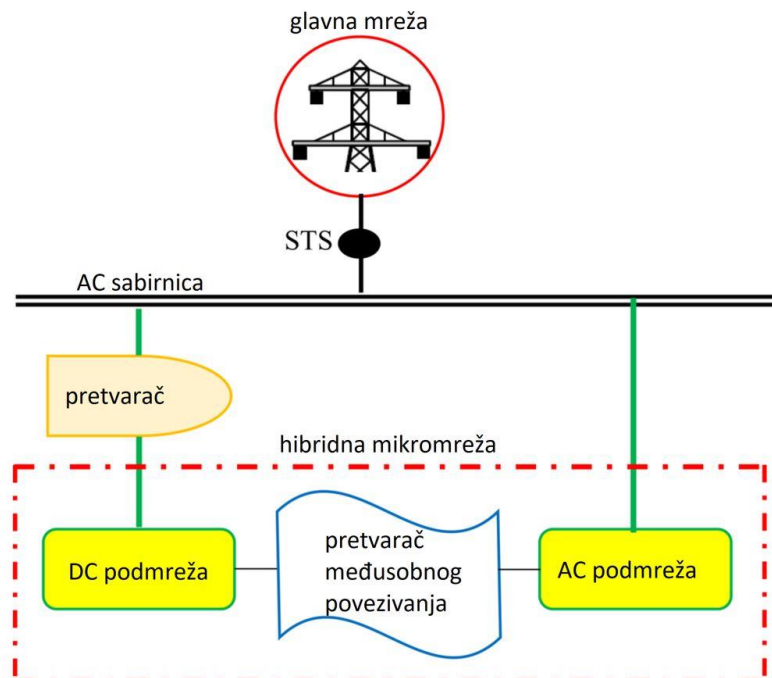
Vrste distribucijske mreže DC mikromreže mogu biti: monopolarna, bipolarna i homopolarna [6].

U izmjeničnoj (AC) mikromreži sva opterećenja i obnovljivi izvori energije su priključeni na zajednički AC sabirnicu. Glavni nedostatak ovog tipa predstavljaju poteškoće u radu i upravljanju. Slika 2-7 prikazuje strukturu jedne izmjenične mikromreže. Podjela AC mikromreža je na: jednofazne, trofazne bez vodiča neutralne točke i trofazne s vodičem neutralne točke [6].

Usporedbom DC i AC vrste mikromreže, istosmjerne imaju prednost zbog njihove pouzdanosti, učinkovitosti te mogućnosti spoja sa različitim distribucijskim izvorima energije [6].



Slika 2-7 Prikaz AC mikromreže [6]



Slika 2-8 Prikaz hibridne mikromreže [6]

Schema hibridne mikromreže prikazana je na slici 2-8. U ovom slučaju mikromreža se na glavnu mrežu spaja putem staticke sklopke za prijenos (STS). Smjer energije u ovom tipu mreže ovisi ravnoteži između proizvodnje i opterećenja. Glavni cilj izgradnje hibridnih mikromreža je

poboljšanje učinkovitosti mreže pomoću smanjenja faza pretvorbi, povećanje pouzdanosti i smanjenje troškova proizvodnje električne energije [6].

### **2.3. PREDNOSTI I NEDOSTACI KORIŠTENJA MIKROMREŽA**

Mikromrežni sustavi igraju sve važniju ulogu u elektroenergetskom sustavu iz brojnih razloga: niska cijena, sigurnost, učinkovitost, pružaju čistu energiju, održivi su i s niskim udiom ugljika. Kao i svaka tehnologija i kod mikromreža se mogu pronaći prednosti i nedostaci korištenja i razvoja istih. Neke od prednosti mikromreža su:

- Financijska korist

Mikromreže pružaju brojne financijske koristi. Jedan od primjera mogu biti solarni paneli: iako je njihov prosjek isplativosti investicije 7 do 20 godina, ovisno o državnim subvencijama i poreznim olakšicama, oni pružaju uštedu do nekoliko tisuća kuna jednom kada se otplate. Pomoću solarnih panela podiže se vrijednost objekta na kojima se nalaze i mogu biti ekonomski stabilniji od energije koja se proizvodi iz fosilnih goriva. Uz to, kada je potražnja za energijom iznimno velika, raste i cijena te energija, te se u ovom slučaju pokazuje isplativost ulaganja u mikromreže.

- Pouzdanost

Pouzdanost predstavlja jednu od najvećih prednosti korištenja mikromreža. Kada električna energija prolazi velike udaljenosti prije nego što dođe do krajnjeg potrošača, postoji stalna opasnost da će elementarne nepogode ili nesreće prekinuti prijenos te energije. Zbog toga mikromreže imaju veliku pouzdanost jer se energija generira lokalno i ne mora putovati kroz velike udaljenosti i dostupna je u svakom trenutku. Ukoliko mikromreža proizvodi energiju iz više različitih izvora, to dodaje još jedan stupanj sigurnosti. Npr. : proizvodnja se sastoji od gorivih ćelija i solarnih panela. Ukoliko nema Sunca, proizvodnja se bazira na gorivim ćelijama, a ukoliko one nisu dostupne, solarni paneli proizvode energiju potrebnu za zadovoljenje potrošača. Najbolji primjer nepouzdanosti i ranjivosti tradicionalnog elektroenergetskog sustava je uragan Sandy koji je uzrokovao prekid u opskrbi energijom 8 milijuna ljudi.

- Brza izgradnja

Izgradnja tradicionalnih elektrana je dugotrajna i potrebno je puno planiranja i financijskih resursa. Mikromreže su puno manje i mogu se izgraditi brže, čak i u mjestima gdje ne postoji elektroenergetska mreža. To čini mikromreže iznimno prihvatljivim i brzim rješenjem za probleme sve većeg širenja populacije i zadovoljenja njihovih potreba. Još jedna od ključnih prednosti



mikromreža su sve veći vladini poticaji u obliku poreznih olakšica i subvencija za sve one koji žele koristiti obnovljive izvore energije [7].

Nedostaci mikromreža mogu biti:

- Otpor distributera električnom energijom

Širenjem broja mogućnosti distribuirane proizvodnje, koncept mikromreža postaje sve složeniji. Prije je na glavnu mrežu bilo priključeno nekoliko rezervnih generatora koji bi se uključili u slučaju nestanka struje, ali tok snage je uglavnom bio jednosmjernan-od distributera do potrošača. Zahvaljujući razvoju distribuirane proizvodnje energije sada su tu obnovljivi izvori energije, baterije i gorive ćelije koje osim što smanjuju potrošnju, mogu i slati energiju u mrežu. Zbog toga dolazi do dvosmjernog toka energije. Ovom strukturom mreža se može upravljati zahvaljujući napretku IT industrije, dok je kod složenijih mikromreža potreban upravljački centar koji je sposoban automatski upravljati raznim izvorima energije i spremnicima. Sve ovo vodi do važnosti partnerstva sa distributerom jer su mikromreže spojene na glavnu mrežu i višak energije prodaju distributeru. Neki distributeri zbog toga mikromreže smatraju prijetnjama jer ugrožavaju njihov energetska monopol, pa stoga blokiraju njihovu implementaciju.

- Propisi i zakoni

Mikromreže trenutno imaju puno problema sa ispunjenjem svih propisa i zakona, zato što se tehnologija brže razvija od zakona. Problem mikromreža je cyber-sigurnost jer mikromreža može prikupljati podatke o potrošačima: adrese, količine potrošene energije i sl. Zbog toga se ispunjenje različitih odredbi smatraju jednom od najvažnijih prepreka u široj primjeni mikromreža uz zaštitu velikog broja osobnih podataka.

- Novi koncept

Iako mikromreže nisu nova tehnologija, danas se koriste na načine na koje nikad nisu bile upotrebljavane. Služe za napajanje gradova i zajednica, pružaju sigurnost opskrbe bolnicama i poduzećima, te povećavaju otpornost glavne mreže na elementarne nepogode. Zbog toga što je njihova primjena danas uvelike drugačija, dovodi do problema da mnoge tvrtke ih ne znaju koristiti. Nedostatak stručnjaka obučanih za mikromreže i pametne mreže, velik broj tvrtki koje nude instalacije solarnih panela i prodaju mikroturbina, a još uvijek ne postoje jer industrija nije uspostavljena samo su neki od dodatnih problema [7].

## 2.4. ELEMENTI MIKROMREŽA

Ovisno o svrsi i ekonomskoj situaciji mikromreže mogu imati razni broj izvedbi i oblika, a tehnički okvir mnogih mikromrežnih sustava ostaje poprilično dosljedan. Pojednostavljen sustav opremljen je s upravljivom proizvodnjom (dizel generator), neupravljivom proizvodnjom (fotonaponske ćelije, vjetroturbine) i distribuiranim sustavom za pohranu energije (baterije, superkondenzatori) kao što je prikazano na slici 2-9.



Slika 2-9 Shema mikromreže s različitim izvorima energije [6]

Općenito govoreći, 4 osnovne komponente, odnosno 5 ako se uključi veza sa distributerom, su potrebne kako bi se izgradila funkcionalna mikromreža [6,8]:

### Izvor napajanja

Prva osnovna komponenta potrebna za izgradnju bilo kojeg sustava mikromreže je izvor napajanja. Odabir odgovarajućeg izvora ovisi o zahtjevima mikromreže, poput npr. željenog proizvodnog kapaciteta. Energija iz solarnih panela postaje sve popularniji izvor za udaljene mikromreže, a razlog tomu je pad cijena fotonaponskih modula. Velik izazov u uporabi modula je njihovo održavanje, budući da se njihove performanse mogu znatno smanjiti zbog neadekvatne brige, kao i skladištenje energije. Ti razlozi su iznimno važni iz ekonomskih razloga, jer sustavi za

skladištenje energije čine glavninu troškova pri izgradnji mikromreža, a što je veći solarni kapacitet to su veći i zahtjevi za skladištenjem. Izvori koji se koriste u udaljenim ruralnim područjima mogu biti male hidroelektrane, kao i energija vjetra [8].

### **Sustav upravljanja**

Sustav upravljanja energijom upravlja prijenosom električne energije od izvora do potrošača. Ova vrsta upravljanja zahtjeva pretvorbu proizvedene energije putem pretvarača u oblik energije pogodan za funkcioniranje većine potrošačkih uređaja te povezivanje komponenata mikromreže za pohranu kako bi se uravnotežila proizvodnja i potražnja. Današnji moderni sustavi mikromreža integriraju različite softvere i upravljačke sustave ( pametna brojila) kako bi se moglo učinkovito i pouzdano upravljati radom mreže [8].

### **Sustav za pohranu energije**

Sustavi za pohranu su važni za svaku mikromrežu jer joj omogućuju da uravnoteži električnu energiju i učine ju dostupnom kada krajnji korisnik to zahtjeva. Neki od sustava za pohranu mogu biti zamašnjaci, ultrakondenzatori, baterije i gorive ćelije. U slučaju udaljenih mikromreža, baterije predstavljaju najčešće korišteni sustav za pohranu energije jer kapacitet pohrane koji je potreban ne opravdava veći trošak ostalih tehnologija skladištenja. Kod velikih sustava pohrane, poput hidroelektrana ili termalnih elektrana problem su visoki investicijski troškovi.[8] Jedinice za pohranu energije mogu izbalansirati rezerve kroz kratkoročno ili dugoročno područje primjene. Mikromreža je povezana s glavnim mrežom i može prihvaćati cjelokupnu ili djelomično potrebnu energiju. U spoju s mrežom može ili uzimati ili davati energiju što dovodi do poboljšanja mreže i rješavanja energetske krize u određenoj mjeri [6].

### **Uređaji za potrošnju električne energije**

Posljednja osnova komponenta su uređaji koji troše energiju proizvedenu u mikromrežama. Bitno je razmotriti ove uređaje jer oni diktiraju električna opterećenja i zahtjeve koji se postavljaju na mikromrežu, a to sve utječe na kapacitet proizvodnje i izvor napajanja te na zahtjeve za skladištenjem energije.

### **Mrežni spoj sa distributerom**

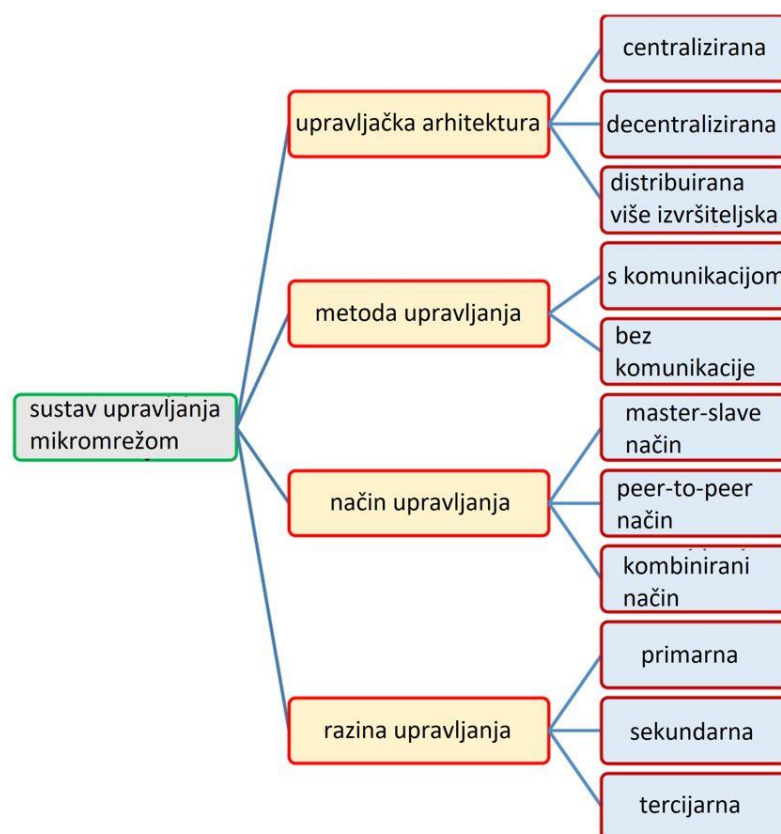
Velik broj mikromreža instaliranih u razvijenim zemljama su spojene sa glavnim mrežom. Taj spoj omogućava mikromreži razmjenu energije, ovisno o potražnji i zahtjevima potrošača. Ovaj tip je veoma čest kada postoje mikromreže namijenjene za sveučilišta, kampuse, bolnice i sl[8].

### 3. UPRAVLJANJE I KONTROLA MIKROMREŽAMA

Mikromreža predstavlja mrežni sustav s autonomnom i pouzdanom energijom visoke kvalitete promatrajući s gledišta kupca. Koordinacija različitih tipova mikroenergija u uspostavljanju stabilne naponsko i frekvencijsko kontrolirane mikromreže je izrazito težak zadatak. Upravljački ciljevi sastoje se od neovisnog upravljanja djelatnom i reaktivnom snagom, korekcije pada napona i neravnoteže sustava i ispunjavanje mrežnih zahtjeva dinamičkog opterećenja. Kako bi se osigurao ispravan rad, elektroenergetski sustavi zahtijevaju odgovarajuće upravljačke strategije. Kada se govori o upravljanju mikromrežama ono se sastoji od [6]:

- kontroler opterećenja i mikro izvora
- centralni kontroler cjelokupnog sustava mikromreže
- sustav upravljanja distribucijom

Struktura upravljanja mikromrežama prikazana je grafički na slici 3-1.



Slika 3-1 Struktura upravljačkih metoda mikromrežama [6]

Mikromreža, kao i integracija distribuiranih izvora energije, predstavljaju velik broj operativnih izazova na koje se treba fokusirati u dizajniranju sustava upravljanja i zaštite s naglaskom na osiguranje trenutne razine pouzdanosti i potpunog iskorištavanja prednosti distribuirane

proizvodnje. Neki od ovih izazova proizlaze iz netočnih pretpostavki koje se primjenjuju na konvencionalne distribucijske sustave, dok su drugi rezultat problema stabilnosti koji se do sada promatrao samo na razini prijenosnog sustava. Najvažnije prepreke u zaštiti i kontroli mikromreža su:

- Dvosmjerni tokovi snage

U početku je distribucijska mreža bila dizajnirana samo za jednosmjernan tok energije, ali integracijom distribucijskih izvora na niskonaponskoj razini dolazi do reverznog toka energije, što može uzorkovati probleme u koordinaciji zaštite, nepoželjnim tokovima energije, regulaciji napona i sl.

- Problemi sa stabilnošću

Pojava lokalnih oscilacija uzrokovane su interakcijom upravljačkih sustava jedinica distribuirane proizvodnje, što zahtjeva temeljitu analizu stabilnosti malih smetnji, ali i analizu privremene stabilnosti kako bi se osigurao nesmetan prijelaz između različitih načina rada mikromreže.

- Modeliranje

Rasprostranjenost trofaznih uvjeta, upotrebljavanje primarno induktivnih dalekovoda i opterećenja stalne snage su tipične pretpostavke prilikom modeliranja konvencionalnih elektroenergetskih sustava, međutim one ne moraju vrijediti i u sustavu mikromreža, pa je stoga iste modele potrebno revidirati.

- Niska inercija

Za razliku od velikih elektroenergetskih sustava, mikromreže mogu pokazati znakove niske inercije pogotovo ukoliko postoji raspodjela snage između elektronički povezanih jedinica distribuirane proizvodnje. Iako takva veza može poboljšati dinamičke performanse sustava, niska inercija u sustavu može dovesti do ozbiljnih odstupanja frekvencije u otočnom radu ukoliko se ne primjenjuje odgovarajući upravljački mehanizam

- Nesigurnost

Kako bi mikromreže radile ekonomično i pouzdano potrebna je određena razina koordinacije između različitih distribuiranih izvora. Uspješnost koordinacije postaje izazovna u mrežama u otočnom radu gdje kritična ravnoteža potražnje i opskrbe i veća stopa otkazivanja komponenata zahtijevaju rješavanje jako zamršenog problema uzimajući u obzir profil opterećenja i vremensku prognozu [9].

Upravljački sustav mikromreže stoga ima zadatak osigurati pouzdan i ekonomičan rad mikromreže, istodobno svladavajući prethodno navedene izazove [9].

### 3.1. UPRAVLJAČKE FUNKCIJE

Funkcije upravljanja mogu se podijeliti u 3 grupe, kako je objašnjeno u tablici 3-1.

Tablica 3-1 Pregled bitnih upravljačkih funkcija u mikromreži [10]

MREŽNO SUČELJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• odluka o otočnom režimu rada</li> <li>• sudjelovanje na tržištu</li> </ul>
MIKROMREŽNO UPRAVLJANJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• regulacija frekvencije i napona</li> <li>• regulacija reaktivne i aktivne snage</li> <li>• crni start</li> </ul>
LOKALNO UPRAVLJANJE I ZAŠTITA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zaštita</li> <li>• primarna regulacija frekvencije i napona</li> <li>• primarna regulacija reaktivne i aktivne snage</li> <li>• raspolaganje kapacitetom za pohranu energije</li> </ul>

Lokalno upravljanje i zaštita odnosi se na lokalna upravljanja i pojedinačne sastavnice mikromreže ( izvori i spremišta energije, opterećenja te razna sučelja), mikromrežno upravljanje se odnosi na upravljanje mikromreže u cjelini, a mrežno sučelje pojašnjava spoj sa nadređenom (glavnom) mrežom [10].

#### Mrežno sučelje

Bit interakcije sa glavnom mrežom je sudjelovanje na tržištima električnom energijom, točnije mikromrežne operacije uvoza i izvoza energije. Zbog iznimno male veličine mikromreža, operator električne energije ima mogućnost upravljanja velikim brojem mikromreža, u svrhu povećanja dobiti i pružanja usluga glavnoj mreži [10].

#### Mikromrežno upravljanje

Mikromrežno upravljanje odnosi se na uključivanje svih funkcionalnosti unutar neke mikromreže koji zahtijevaju kooperaciju 2 ili više sudionika. Funkcije unutar ove razine upravljanja su [10]:

- prognoziranje opterećenja i raspoloživosti obnovljivih izvora energije
- upravljanje i rasterećenje opterećenja
- dostupnost proizvodnih resursa
- sekundarna regulacija frekvencije i napona
- sekundarna regulacija reaktivne i aktivne snage
- sigurnosno nadgledanje
- crni start

### **Lokalno upravljanje i zaštita**

Na ovoj razini uključene su sve funkcionalnosti koje su lokalne i izvedene od strane distributivnog izvora, upravljivog opterećenja ili sustava za pohranu energije:

- zaštitne funkcije
- primarna regulacija frekvencije i napona
- primarna regulacija reaktivne i aktivne snage
- upravljanje pohranom

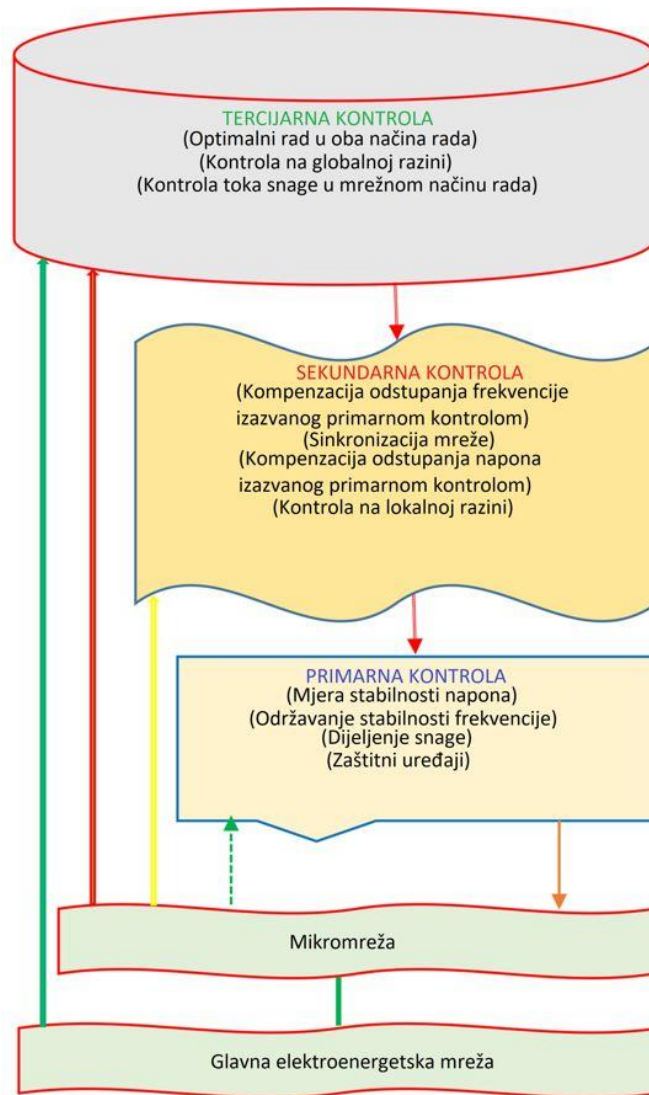
Bitno je naglasiti da su sve ove funkcionalnosti dostupne samo u normalnom pogonskom stanju dok u slučaju kritičnog stanja ili hitnih slučajeva moraju biti izmijenjene. Pod normalnim pogonskim stanjem podrazumijeva se otočni režim rada i režim rada u spoju s glavnom mrežom, ali ne i prijelaz s jednog na drugi režim rada [10].

## **3.2. RAZINE UPRAVLJANJA**

Sve vremenske ljestvice sustava moraju biti od pitanja važnosti u strategijama upravljanja. Strategije upravljanja mikromrežama podijeljene su na 3 razine:

- primarna
- sekundarna
- tercijarna,

pri čemu su prve dvije povezane sa samostalnim radom mikromreže, a treća je povezana s koordinacijom između mikromreže i glavne mreže. Tradicionalno se u postojećim električnim mrežama primjenjuje hijerarhijska kontrola za regulaciju frekvencije i napona i za održavanje ravnoteže snage. Hijerarhijska shema upravljanja mikromrežama sastoji se od 3 upravljačke razine kako je prikazano na slici 3-2. Kontrola snižavanja najčešće se koristi na primarnoj razini i predstavlja konvencionalan način raspodjele potražnje snage između generatora u mikromreži [6].



Slika 3-2 Hijerarhijska shema upravljanja [6]

### 3.2.1. PRIMARNA KONTROLA

Primarna kontrola, poznata još i kao lokalna ili unutarnja kontrola, čini prvu razinu u hijerarhiji kontrole i ima najbrži odgovor. Ova kontrola se temelji isključivo na lokalnim mjerenjima i ne zahtijeva posebnu komunikaciju. S obzirom na zahtjeve za brzinom i oslanjanje na lokalna mjerenja, detekcija otočnog režima rada, kontrola izlaza i upravljanje dijeljenjem snage (i ravnoteže) pripadaju ovoj kategoriji. Kod sinkronih generatora, kontrolu izlaza i raspodjelu snage izvode regulatori napona, regulatori i inercija stroja. Pretvarači napona korišteni kao sučelje za istosmjerne izvore ili kao dio povratnih pretvarača zahtijevaju posebno dizajniraju kontrolu za simulaciju karakteristike tromosti sinkronih generatora i pružaju odgovarajuću frekvencijsku regulaciju. U ovu svrhu pretvarači napona se sastoje od: upravljača za raspodjelu energije distribuiranog izvora i upravljača izlaza pretvarača. Upravljači raspodjele energije su odgovorni za pravilnu raspodjelu aktivne i reaktivne neusklađenosti snage, dok bi upravljači izlaznog pretvarača trebali kontrolirati i regulirati izlazne napone i struje. Upravljanje izlaznog pretvarača



se tipično sastoji od vanjske petlje za regulaciju napona i unutarnje petlje za regulaciju struje. Raspodjela snage se izvodi bez potrebe za komunikacijom pomoću frekvencije aktivne snage i upravljača pada reaktivne napona-snage koji oponašaju karakteristike sinkronih generatora [9].

### **3.2.2. SEKUNDARNA KONTROLA**

Sekundarna kontrola, često nazivana i mikromrežni sustav upravljanja energijom, odgovorna je za pouzdan, siguran i ekonomičan rad mikromreža neovisno o tome rade li u otočnom ili spoju na mrežu režimu rada. Ovaj zadatak je posebno izazovan u otočnim mikromrežama zbog prisutnosti velikog broja promjenjivih izvora energije, gdje bi stopa ažuriranja informacija trebala biti dovoljno visoka da slijedi nagle promjene opterećenja. Cilj ove kontrole je pronalaženje optimalne proizvodne jedinice i obavješavanje dostupnog distribuiranog izvora energije. Trajna odstupanja napona i frekvencije koja su posljedica primarne kontrole obnavlja sekundarna kontrola. Postoje tri opcije za odabir optimalne jedinice: optimizacija u stvarnom vremenu, ekspertni sustavi i decentralizirana hijerarhijska kontrola. Za arhitekturu sustava upravljanja energijom postoje 2 glavna pristupa: centralizirana i decentralizirana arhitektura. Sekundarna kontrola predstavlja najvišu hijerarhijsku razinu u otočnom pogonu mikromreža i radi sporije u usporedbi sa primarnom kontrolom radi:

- razdvajanja primarne i sekundarne kontrole
- smanjenja širine pojasa komunikacije putem jednostavnih mjerenja mikromrežnih vrijednosti i
- ostavljanja dovoljno vremena kako bi se izveli složeniji proračuni.

Ograničen zemljopisni raspon mikromreža olakšava komunikaciju preko jednostavnih i pristupačnih standardnih protokola. Potreban je središnji kontroler koji bi osigurao što je moguće lakši rad elektroenergetskog sustava tijekom većim poremećaja poput prijelaza iz mrežnog u otočni režim rada. U tom slučaju glavni upravljač je odgovaran za ekonomsku optimizaciju mikromreže kada god je to moguće, kao i za održavanje pouzdanog i sigurnog rada mreže. Optimalan rad se zahtjeva kroz implementaciju višeizvršiteljskog sustava, gdje su pojedini distribuirani izvori energije kontrolirani putem lokalnih agenata, koji razmjenjuju informacije sa središnjim upravljačem kako bi utvrdili njihove ponude za prodaju i kupnju [9].

### **3.2.3. TERCIJARNA KONTROLA**

Tercijarna kontrola je najviša razina kontrole i postavlja uvjete ovisno o zahtjevima glavnog elektroenergetskog sustava. Odgovorna je za koordinaciju rada više mikromreža koje su u

međusobnoj interakciji u sustavu i za obavještanje o potrebama i zahtjevima glavne mreže (regulacija napona, frekvencije i sl.). Na primjer, cjelokupno upravljanje reaktivnom snagom neke mreže koja sadrži više mikromreža može se postići pravilnim koordiniranjem putem tercijarne kontrole, ubrizgavanjem reaktivne snage generatora i mikromreža koje je temeljeno na smanjenju centraliziranih gubitaka za cijelu mrežu. Ova razina kontrole uobičajeno radi u rasponu od nekoliko minuta, signalizirajući kontrolama na sekundarnoj razini mikromreža i ostalim podsustavima koji čine kompletnu mrežu. S druge strane, sekundarna kontrola koordinira unutarnje primarne kontrole unutar mikromreža i podsustava u rasponu od nekoliko minuta. Primarne kontrole su dizajnirane da djeluju neovisno i trenutno reagiraju na unaprijed definirane načine na lokalne događaje. Tercijarna kontrola se može smatrati dijelom glavne mreže. Ključno pitanje koje utječe na tercijarnu i sekundarnu kontrolu u slučaju otočnog režima rada je uključenost okoline. Proširenjem konvencionalnih SCADA sustava moguće je postići da okolina odgovori na potrebe mikromreže, a provođenje aktivnosti nadzora i održavanja od strane okoline, imati će utjecaja na ulazne parametre tercijarne i sekundarne kontrole [9].

### **3.3. OSNOVNA UPRAVLJAČKA ARHITEKTURA**

Upravljački sustav baziran na arhitekturi može biti centraliziran, decentraliziran i višeizvršiteljski (multiagent). U centraliziranom sustavu središnja procesorska jedinica prikuplja sva mjerenja i odlučuje o sljedećem postupku za koordinirani rad unutar mikromreže. Decentralizirano upravljanje koristi lokalna mjerenja i zatim se prema unaprijed definiranim algoritmima donose odluke na razini sastavnica sustava. Distribuirano „multiagent“ upravljanje je vrsta decentraliziranog upravljanja gdje svaki lokalni upravljač komunicira sa svojim susjedom kako bi mogao koristiti prednosti centralizirane arhitekture cijele mikromreže [6]. Izbor odgovarajućeg sustava za kontrolu mikromreža ovisi o glavnim ciljevima i specijalnim karakteristikama kontrolirane mikromreže, ali također i o pristupačnim i raspoloživim resursima: opremi i osoblju. Centraliziran sustav upravljanja je prikladniji ukoliko korisnici mikromreže imaju zajedničke ciljeve ili zajedničko radno okruženje koje iziskuje suradnju s ciljem ispunjenja zajedničkog zadatka. Stoga je centralizirano upravljanje prikladniji način za sustave s jednim zajedničkim ciljem, a decentralizirani pristup u sustavima s više ciljeva [10].

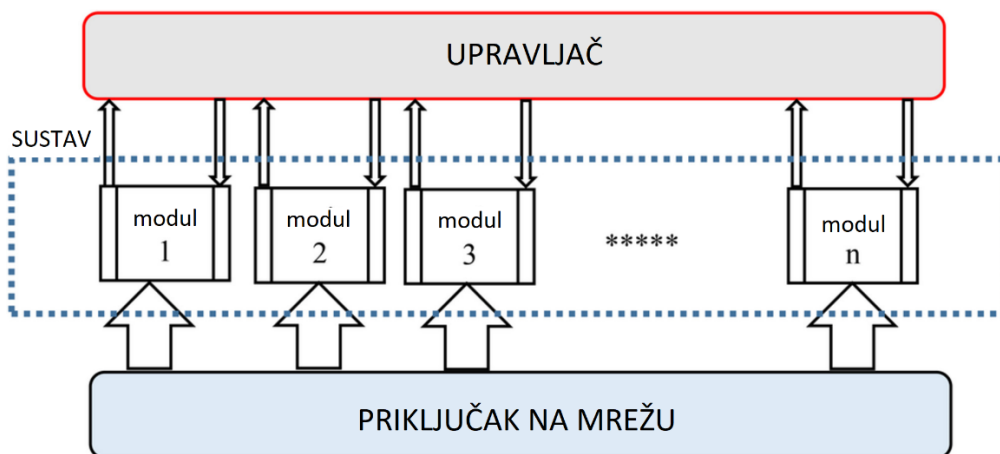
Neki od doprinosa prilikom korištenja svakog od ovih upravljačkih sustava prikazani su u tablici 3-2.

Tablica 3-2 Primjena upravljačkih sustava [6]

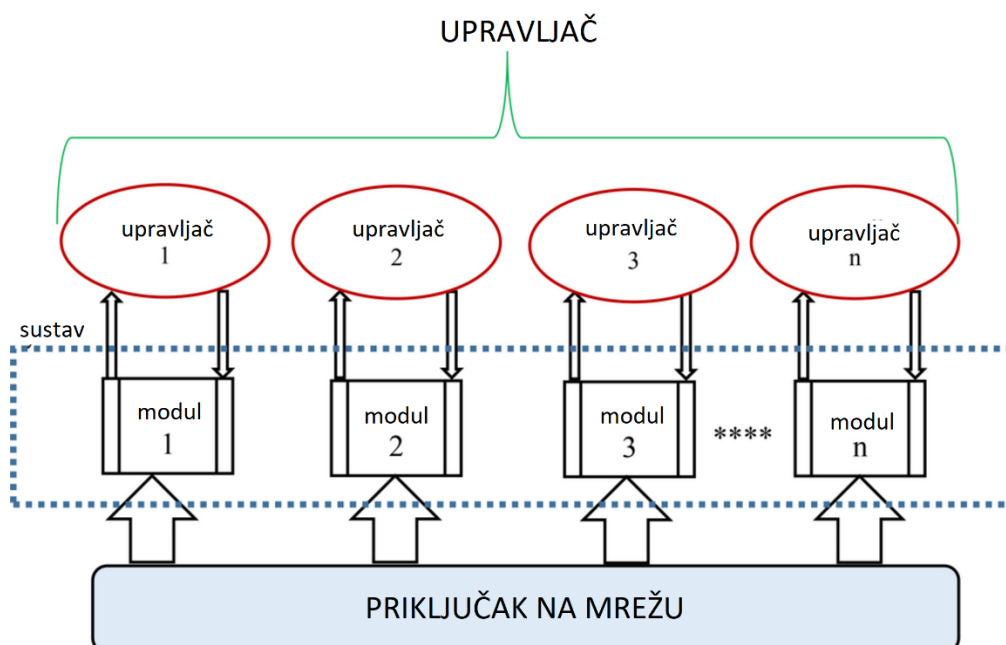
Upravljačka arhitektura	Vrsta mikromreže	Doprinos
Centralizirana	AC	-upravljanje distribuiranom baterijom EES-a za optimalnu kontrolu -ravnoteža snage svake baterije na temelju energije pražnjenja
	DC	-savladavanje upravljačkog izazova povezanog s koordinacijom više baterija unutar jedne otočne mikromreže
Decentralizirana	AC	-fleksibilna kontrola snage svakog obnovljivog izvora i pohrana energije
	DC	-koordinacija autonomne niskonaponske istosmjerne mikromreže
Distribuirana multiagent	AC	-održava ravnotežu potražnje i opskrbe i minimizira ukupan gubitak energije povezan s neučinkovitošću punjenja i pražnjenja
	DC	-integracija distribuiranih upravljača za uravnoteženje energije

### 3.3.1. DECENTRALIZIRANO I CENTRALIZIRANO UPRAVLJANJE

Kod problema upravljanja mikromreža mogu se identificirati 2 pristupa: centralizirano upravljanje prikazano na slici 3-3 i decentralizirano upravljanje prikazano na slici 3-4. Podjela na ova dva načina bazirana je na položaju središnjeg mikromrežnog upravljača. Središnji mikromrežni upravljač je od velike važnosti kod upravljanja mikromreža jer ima velik broj značajki za pravilnu koordinaciju distribuiranih izvora energije prema njihovim kapacitetima proizvodnje električne energije kako bi zadovoljili kritična i nekritična opterećenja. Mikromrežom se može upravljati centralizirano i decentralizirano. Kada se koristi decentraliziran način, preporuča se primjena upravljača u distribuiranim čvorovima koji čine distribuirani sustav upravljanja [6].



Slika 3-3 Shematski prikaz centraliziranog upravljanja[6]

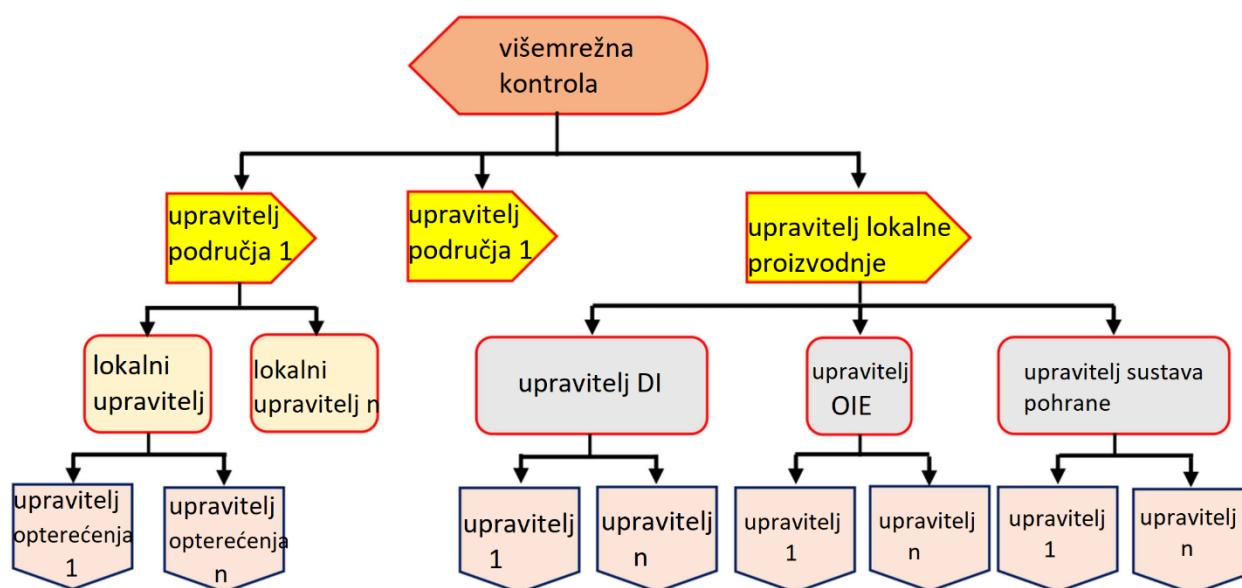


Slika 3-4 Shematski prikaz decentraliziranog upravljanja[6]

### 3.3.2. DISTRIBUIRANA „MULTIAGENT“ KONTROLA

Multiagentni sustav (MAS) predstavlja računalni sustav koji se sastoji od više inteligentnih upravljača u međusobnoj interakciji. Pomoću njega se rješavaju problemi i izazovi koje nije moguće riješiti pomoću standardnih sustava. MAS je održiva metoda za upravljanje distribuiranim sustavima na razinama. Fokus prilikom upravljanja je na kontroli frekvencije i napona i temelji se na tradicionalnim sustavima upravljanja. Primjenjuje se za rješavanje problema koji su za jednog upravitelja nemogući ili komplicirani. Usporedba karakteristika glavnih upravljačkih arhitektura

prikazana je u tablici 3-3, a hijerarhijski dijagram toka multiagent sustava grafički je pojašnjen na slici 3-5 [6].



Slika 3-5 Dijagram toka multiagent sustava[6]

Tablica 3-3 Usporedba upravljačkih arhitektura[6]

Karakteristika	Centralizirano upravljanje	Decentralizirano upravljanje	Distribuirano upravljanje
Vlasništvo	Jedan vlasnik	Više vlasnika	Višestruki vlasnik
Cilj	Jasan jedan cilj	Neizvjestan cilj	Jasan jedan cilj
Operativno osoblje	Dostupno	Nije dostupno	Dostupno
Fleksibilnost	Niska	Veća	Visoka
Sudjelovanje na tržištu	Složeni algoritam, suradnja svih jedinica	Jednostavan algoritam, konkurencija	Kao decentralizirano
Plug & play	Nije moguće	Moguće	Moguće
Optimalnost	Optimalna rješenja	Neoptimalna rješenja	Optimalna rješenja
Proširenje	Problematično	Jednostavno	Umjereno
Potrebe komunikacije	Visoka	Niska	Umjerena
Trošak instalacije	Visok	Nizak	Nizak
Kritični rad	Moguće	Nemoguće	Niska mogućnost
Pojava problema	Ako je jedan greška	Puno grešaka	Ako je jedna greška
Centralni upravljač	Da	Ne	Da
Prikupljanje podataka	Od svih komponenti	Samo lokalno	I lokalno i okolno

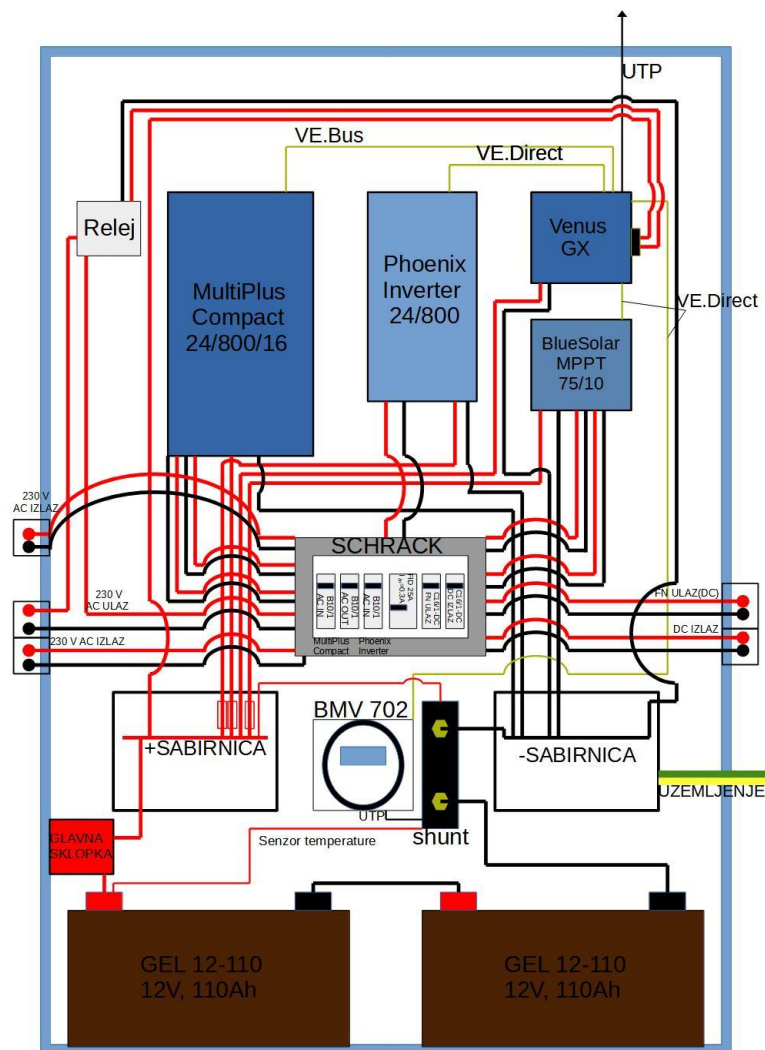
Primjena MAS sustava zasnovanog na hijerarhijskoj strategiji upravljanja energijom je za povećanje ekoloških i ekonomskih prednosti mikromreža. Kod upravitelja prilagodljive proizvodnje na nižim razinama, lokalne kontrolne strategije upravljaju izlaznom snagom kako bi se zadovoljila referentna snaga koju postavlja upravitelj gornje razine. Multiagent sistemsko rješenje za upravljanje energijom u mikromreži, temeljeno na distribuiranoj hibridnoj proizvodnji obnovljive energije i distribuiranoj potrošnji, koristi metodu kontrole napona sabirnice mikromreže pomoću tehnike multiagent sustava [6].

## 4. RAD S EKSPERIMENTALNIM TIPOVIMA MIKROMREŽA U LABORATORIJU ZA OIE

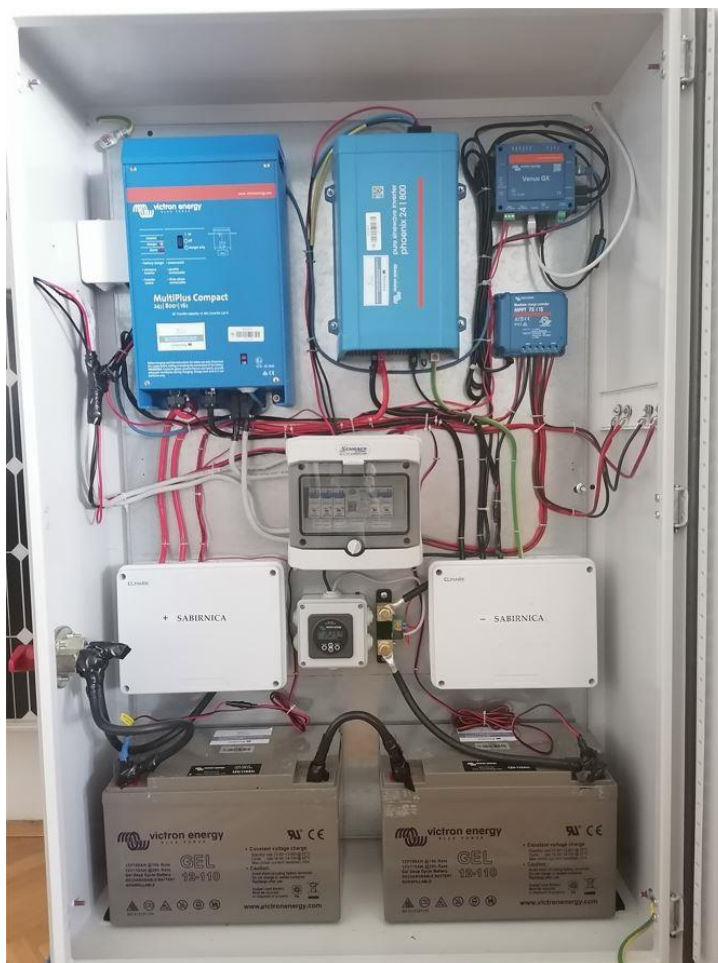
Praktični dio diplomskog rada sastoji se od mjerenja i analize rezultata provedenih na 3 različita tipa mikromreža:

- 1) istosmjerna (DC) mikromreža
- 2) izmjenično/istosmjerna (AC/DC) mikromreža i
- 3) hibridna izmjenično/istosmjerna (AC/DC) mikromreža.

Svaki od tipova biti će objašnjen u narednim poglavljima prilikom obrade rezultata. Praktični dio se izvodio u laboratoriju za obnovljive izvore na FERIT-u pomoću sastavljenog ormara prikazanog na shemi 4-1 i na slici 4-2. Veličine koje su se mjerile su struje, naponi i snage komponenti koje se nalaze u ormaru, a fotonaponska energija prikupljena je u stvarnim uvjetima, ovisno o položaju i količini sunčeve energije tokom toga dana.



Slika 4-1 Shema korištenog ormara



Slika 4-2 Stvarna slika korištenog ormara

Komponente, koje se nalaze u ormaru, objašnjene su u narednim poglavljima, kao i postupak mjerenja i rada u laboratoriju. Svi rezultati prikupljeni su online, pomoću Venus GX koji UTP kabelom šalje podatke na VRM portal, odakle se svi podaci mogu preuzeti.

## 4.1. OPIS KORIŠTENIH KOMPONENTI

### BlueSolar regulator punjenja MPPT 75 | 15

Regulator punjenja prikuplja energiju proizvedenu u solarnim panelima i pohranjuje ju u baterije i jedan je od ključnih komponenti istosmjerne mikromreže ili DC dijela mikromreže. Povezuje fotonaponske module, istosmjerno opterećenje i baterije. Neke od karakteristika regulatora su[11]:

- izuzetno brzo praćenje točke maksimalne snage
- izlaz opterećenja – sprječavanje prekomjernog pražnjenja baterije isključenjem opterećenja iz izlaza kada je baterija ispražnjena do unaprijed postavljene vrijednosti
- trajanje baterije-inteligentno upravljanje baterijama



- programabilni algoritam punjenja baterija
- programiranje, mogućnost prikaza podataka i povijesti u stvarnom vremenu.

Regulator je prikazan na slici 4-3, a njegove tehničke karakteristike dane su u tablici 4-1. Napon regulatora određen je naponom korištenih baterija, u ovom slučaju 2 serijski spojene baterije od 12 V koje daju ukupan napon 24V.



Slika 4-3 BlueSolar regulator punjenja MPPT 75 | 15

Tablica 4-1 Tehničke karakteristike regulatora punjenja [11]

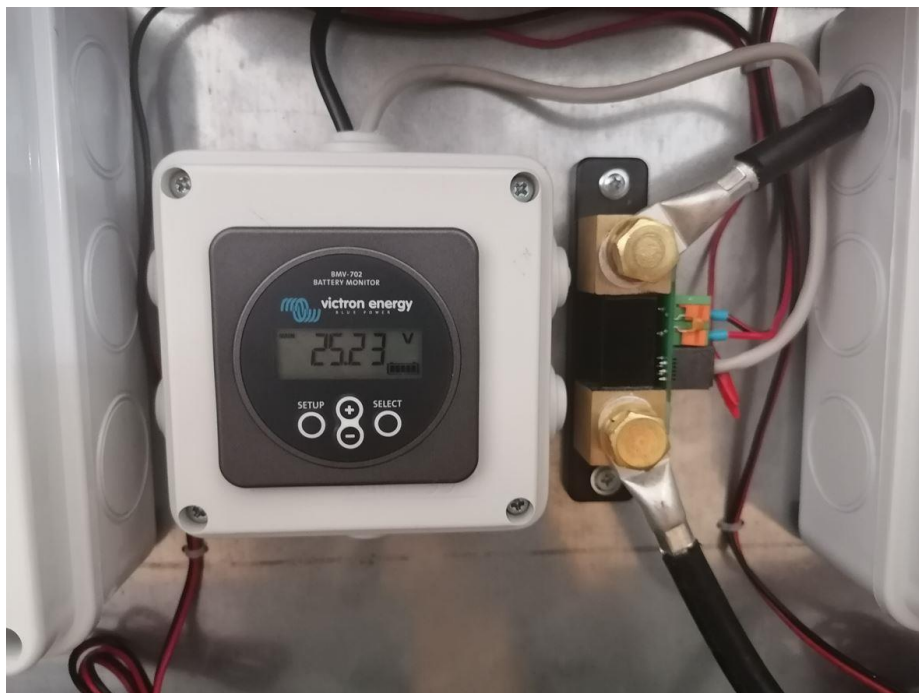
Napon baterija	24 V
Struja punjenja	15 A
Nominalna FN snaga	440 W
Maksimalna FN struja kratkog spoja	15 A
Maksimalni FN napon praznog hoda	75 V
Učinkovitost	98 %
Vlastita potrošnja	15 mA
Napon punjenja („absorption“)	28,8 V
Napon punjenja („float“)	27,6 V
Maksimalna konst. struja opterećenja	15 A

## Nadzornik baterije BMV-702 + dodaci: shunt i senzor temperature

BMV 702 predstavlja visoko precizni nadzornik baterije. Osnovne funkcije su izračun ispražnjenja energije odnosno naboja u amper-satima i prikaz stanja napunjenosti baterija. Preostali kapacitet baterije ovisi o potrošenim amper-satima, struji pražnjenja, temperaturi i starosti baterije, stoga sve ove varijable nadzornik baterije koristi u složenom softverskom algoritmu. Nadzornik baterije prikazuje osnovne vrijednosti: napon, struja, snaga, potrošeni amper-sati, ali također prikazuje i stanje napunjenosti, dostupno vrijeme korištenja baterije pod trenutnim opterećenjem i potrošnja energije u vatima. Prije prvog korištenja potrebno je isprogramirati, unesti potrebne podatke i sinkronizirati nadzornik baterije sa sustavom. Spoj sa shuntom ostvaren je putem telefonskog kabela RJ12, a model BMV-702 sadrži dodatan ulaz pomoću kojeg je moguće mjeriti napon, temperaturu (potreban je temperaturni senzor) ili napon srednje točke. Na dodatnom ulazu odabrano je mjerenje i nadzor temperature. Neke od ostalih značajki [12]:

- programabilni zvučni i vizualni alarm
- programabilni relej koji služi za isključenje opterećenja ili pokretanje dodatnog izvora energije (generatora) kada je to potrebno
- širok raspon odabira odgovarajućeg shunta
- mogućnost pohrane informacija o događajima u sustavu

Nadzornik baterije sa dodatnom opremom prikazan je na slici 4-4, a tehnički podaci dani su u tablici 4-2.



Slika 4-4 Nadzornik baterije BMV-702

Tablica 4-2 Tehničke karakteristike nadzornika baterije BMV-702 [12]

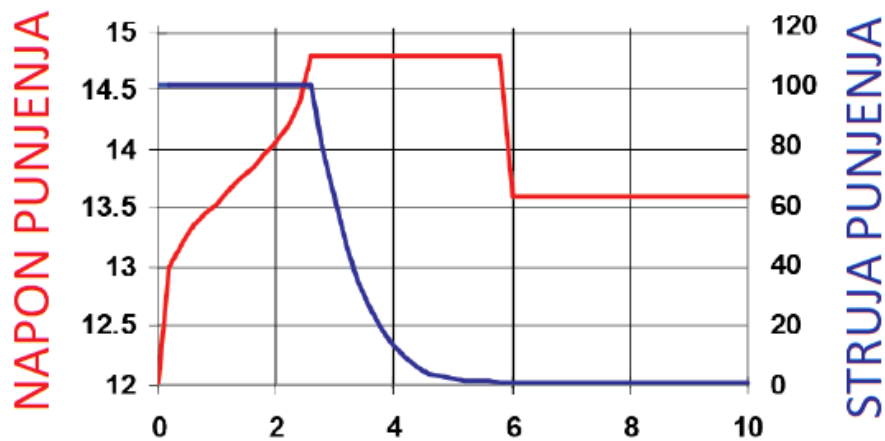
Raspon napona napajanja	6,5-95 V-DC
Vlastita potrošnja	<4 mA
Raspon ulaznog napona	6,5-95 V-DC
Kapacitet baterija	1-9999 Ah
Razlučivost i preciznost	+/- 0,01 A   +/- 0,01 V

### Victron Energy GEL 12-110 baterije

GEL baterije pružaju najbolju trajnost i općenito duži životni vijek. Koriste materijale visoke čistoće i olovne kalcijeve rešetke što osigurava veoma nisko samopražnjenje, tako da neće degradirati kroz duži period bez punjenja. U praktičnom dijelu korištene su dvije GEL baterije povezane u seriju s ukupnim iznosom napona 24 V i kapaciteta 110 Ah. Ukoliko se koriste u ciklusima, postoje 3 razine punjenja prikazane krivuljom punjenja u 3 koraka prema slici 4-6. „Bulk“ faza je faza konstantne struje gdje se baterije pune maksimalno dozvoljenom strujom. „Absorption“ i „float“ su faze konstantnog napona: tokom absorption faze napon se održava na relativno visokoj razini kako bi se baterija u potpunosti napunila tokom razumnog vremena, a float faza spušta napon u stanje čekanja dovoljnog iznosa da se nadomjesti samopražnjenje. Tokom rada u laboratoriju posebna pozornost se obratila na temperaturu baterija koja ima utjecaj na napon i na struju punjenja koja ne smije preći  $0.2C$  [13]. Prilikom postavljanja nadzornika baterija potrebno je postaviti napon punjenja baterija, pomoću kojeg određuje da su baterije napunjene, a prema tablici za 24 V baterije on iznosi 26,4 V.



Slika 4-5 Victron Energy GEL 12-110



Slika 4-6 3 faze punjenja baterije[13]

### MultiPlus Compact 24 | 800 | 16 izmjenjivač/punjač

MultiPlus Compact korišten je u hibridnoj AC/DC mikromreži i prikazan je na slici 4-7, a njegovi tehnički podaci dani su u tablici 4-3. Može raditi na 2 načina: kao izmjenjivač i punjač ili samo kao punjač.



Slika 4-7 MultiPlus Compact 24 | 800 | 16 izmjenjivač/punjač

Neke od značajnijih karakteristika su: punjač baterije, izmjenjivač sinusnog oblika, pomoć pri napajanju, mogućnost paralelnog spajanja više izmjenjivača i mogućnost trofaznog izlaza. Sastoji se od 2 ulaza: na DC strani je spojen na baterije, a AC strana može biti spojena na dodatni izvor energije kao što su generatori ili nadređena mreža. U slučaju poteškoća s napajanjem, inverter može preuzeti napajanje priključenog opterećenja unutar nekoliko milisekundi što odgovara funkciji UPS-neprekidnog izvora napajanja. Na AC izlaz se spajaju AC trošila. Prilikom rada u laboratoriju korišten je i samo DC ulaz i DC i AC ulazi, a na AC ulaz je postavljen relej pomoću kojeg se, ovisno o trenutnom stanju napunjenosti baterije (nadzirano putem Venus GX), dodatni izvor energije priključivao ili odspajao.

Tablica 4-3 Tehničke karakteristike izmjenjivača/punjača MultiPlus Compact[14]

IZMJENJIVAČ	
Raspon ulaznog napona	13-33 V-DC
Izlazni napon	230 V-AC +/- 2%
Izlazna frekvencija	50 Hz +/- 0,1%
Izlazna prividna snaga pri 25 °C	800 VA
Izlazna radna snaga pri 25 °C	700 W
Vršna snaga	1600 W
Maksimalna učinkovitost	94 %
PUNJAČ	
Raspon ulaznog napona	187-265 V-AC
Raspon ulazne frekvencije	45-65 Hz
Napon punjenja pri „absorption“ fazi	28,8 V-DC
Napon punjenja pri „float“ fazi	27,6 V-DC
Napon tokom razine pohrane	26,4 V-DC
Struja punjenja baterije	16 A

### Phoenix 24 | 800 izmjenjivač

Izmjenjivač Phoenix korišten je u AC/DC mikromreži, kao otočni izmjenjivač koji je na DC ulazu spojen na baterije, a na AC izlaz je spojeno izmjenično opterećenje. Nema mogućnost spajanja na dodatan izvor energije, stoga može raditi samo u otočnom režimu. Moguće je nadzirati ulazne i izlazne napone, postotak opterećenja i alarme. Jedan od režima rada je ECO režim: kada je uključen, izmjenjivač će se prebaciti u stanje pripravnosti kada opterećenje padne ispod unaprijed

postavljene vrijednosti. Kada jednom uđe u stanje pripravnosti izmjenjivač će se uključiti nakon određenog vremena koje također može biti postavljeno. Ukoliko je u tom trenutku opterećenje premašilo postavljenu vrijednost izmjenjivač ostaje uključen. Izmjenjivač i njegove tehničke karakteristike prikazane su na slici 4-8 i u tablici 4-4.



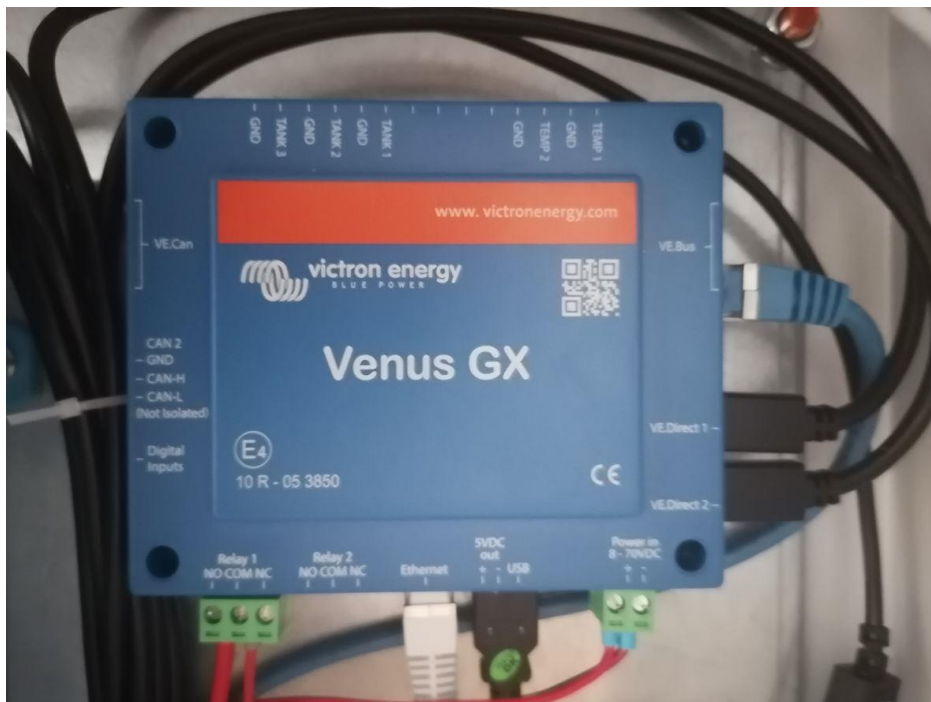
Slika 4-8 Phoenix 24 | 800 izmjenjivač

Tablica 4-4 Tehničke karakteristike izmjenjivača Phoenix 24 800[15]

Prividna snaga pri 25 °C	800 VA
Radna snaga pri 25 °C	650 W
Vršna snaga	1500 W
Izlazni napon	230 V-AC +/-3%
Izlazna frekvencija	50 Hz +/- 0,1%
Raspon ulaznog napona	18,4-34 V
Maksimalna učinkovitost	90%

## Venus GX

Venus GX predstavlja komunikacijski centar cijelog ormara. Osigurava komunikaciju sa svakom komponentom i njihov skladan rad. Praćenje podataka uživo i mijenjanje postavki vrši se putem računala ili mobitela na besplatnom VRM portalu. Putem VRM portala prikupljeni su svi podaci i mjerenja tokom rada u laboratoriju, a na njemu se nalazi i konzola preko koje je moguće upravljati komponentama sustava bez da se fizički nalazimo kraj njih. Za slanje podataka online, potrebna je internetska veza. Na konzoli je moguće urediti postavke start/stop sustava koji omogućava korištenje dodatnog izvora energije upravljano putem releja koji se aktivira na neki od parametara: stanje napunjenosti, opterećenje i dr. Upravljanje preko konzole moguće je na 2 načina: putem mobitela ili računala, a u oba slučaja je potrebno osigurati stabilnu internetsku vezu. Ukoliko se koristi mobitel tada se preuzima aplikacija proizvođača Victron i preko IP adrese koja je pridodana uređaju Venus GX ulazi se u konzolu pomoću koje se zatim nadzire sustav. Drugi način je korištenjem računala i ulazak u konzolu putem VRM portala. Potrebno je ulogirati se na VRM portal i zatim u izborniku odabrati virtualna konzola. Sučelje i funkcije su iste kao i preko mobitela. U praktičnom dijelu spojem prikazanom u shemi ormara relej Venus GX je iskorišten u hibridnoj mikromreži.

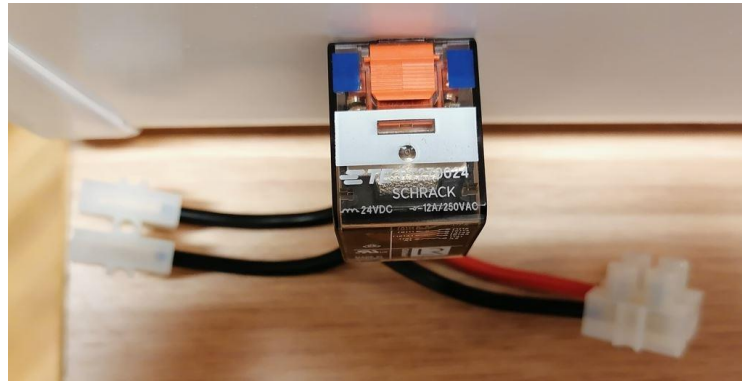


Slika 4-9 Venus GX

## Relej Schrack PT270024

Tablica 4-5 Tehničke karakteristike releja

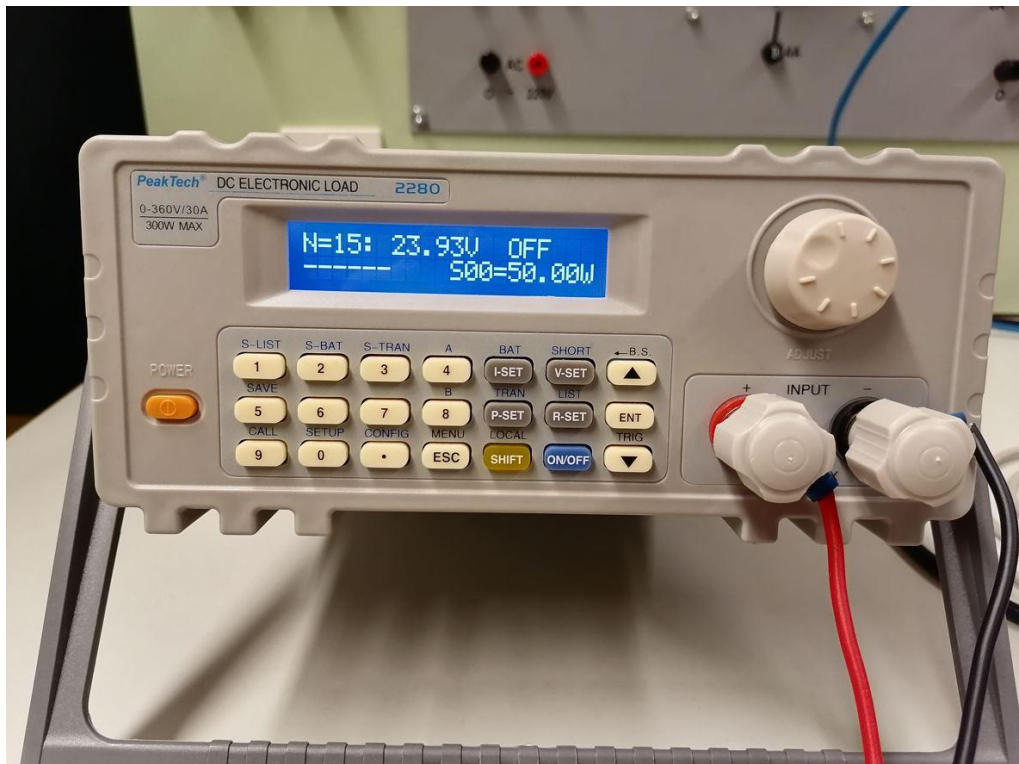
Napon DC svitka	24 V-DC
Nazivna struja kontakata	12 A
Napon AC strane	250 V-AC



Slika 4-10 Relej Schrack PT270024

## Istosmjerno (DC) opterećenje

U istosmjernoj mikromreži kao opterećenje je korišteno programabilno DC elektroničko trošilo prikazano na slici 4-11. Upravljanje samim uređaj izvedeno je pomoću softvera preko kojeg su se postavljali profili opterećenja i konfigurirale postavke. Tehničke karakteristike prikazane su u tablici 4-6.



Slika 4-11 PeakTech DC elektroničko trošilo



Tablica 4-6 Tehničke karakteristike PeakTech DC elektroničkog trošila

Raspon ulaznog napona	0-360 V
Raspon ulazne struje	1 mA – 30 A
Ulazna snaga	300 W

### Izmjenično (AC) opterećenje

U AC/DC mikromreži i hibridnoj AC/DC mikromreži kao izmjenično opterećenje je korištena letva sa halogenim žaruljama različitih snaga. Namještanje opterećenja vršilo se ručno uključivanjem određenog broja žarulja. Prikaz letve nalazi se na slici 4-12.



Slika 4-12 Letva s žaruljama kao AC trošilo

### Mrežni analizator

Mrežni analizator korišten je kod izmjenjivača u izmjeničnim mikromrežama kako bi se mogla izračunati njihova učinkovitost. Slika 4-13 prikazuje mrežni analizator. Neke od karakteristika mrežnog analizatora su: analiza snage, dnevnik podataka, otkrivanje grešaka, mrežni podaci, automatsko podešavanje okidača na mjerni signal i dr. Tehničke karakteristike prikazane su u tablici 4-7.



Slika 4-13 Mrežni analizator PQ-Box 200

Tablica 4-7 Tehničke karakteristike mrežnog analizatora[16]

4 naponska ulaza	L1,L2,L3,N i PE
Maksimalni ulazni napon	565 V AC/ 800 V DC pri L-N
	980V AC/1380V DC pri L-L
	10 M $\Omega$ impedancija
4 strujna ulaza	1000 mV ulaz za mini stezaljke i 330 mV za Rogowski strujne sonde
	10 k $\Omega$ impedancija
Automatska sinkronizacija na temeljnu frekvenciju	45 Hz do 65 Hz
Intervali mjerenja	Podesivi od 1 sekunde do 30 minuta
Memorija podataka	Standardno 4 GB, proširivo do 32 GB
Preciznost	< 0.1 %

Veličine koje su se analizirale su: snage, faktor snage, kosinus  $\varphi$ , THD (ukupno harmoničko izobličenje), naponi i struje te se pomoću njih izračunala učinkovitost navedenih izmjenjivača koja će detaljnije biti objašnjena u poglavlju 4.6.

## Fotonaponski modul LUXOR ECO LINE M60 320W

Kao istosmjerni izvor energije korišten je visokoučinkoviti monokristalni solarni modul. Njegove prednosti su pouzdanost i ekonomičnost sa širokim rasponom primjene u industrijskim, poslovnim i stambenim elektranama. Izgled modula prikazan je na slici 4-14, a njegove tehničke karakteristike dane su u tablici 4-8.



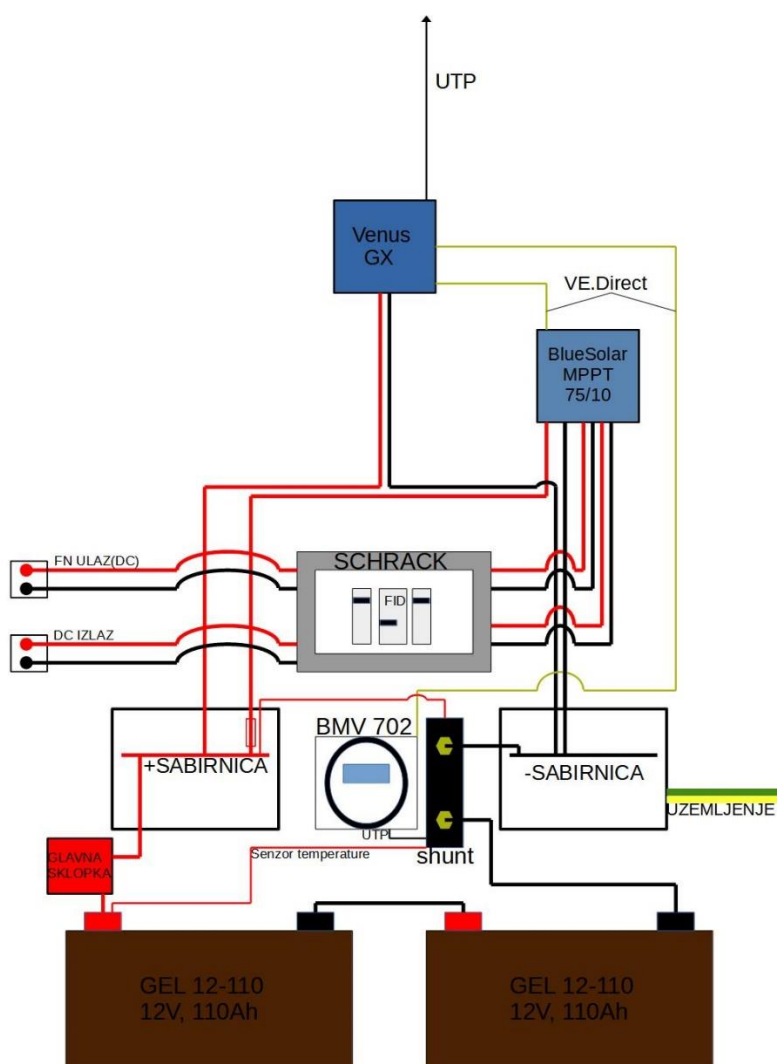
Slika 4-14 Fotonaponski modul LUXOR ECO LINE 320W [17]

Tablica 4-8 Tehničke karakteristike fotonaponskog modula LUXOR ECO LINE 320W [18]

Električni podaci pri STC (standardni testni uvjeti)		Električni podaci pri NOCT (nominalna radna temperatura ćelije)	
Nazivna snaga $P_{mpp}$	320 Wp	Snaga pri $P_{mpp}$	236.98 Wp
Raspon snage $P_{mpp}$	326.49 W	Nazivna struja pri $P_{mpp}$	7.83 A
Nazivna struja pri $P_{mpp}$	9.77 A	Nazivni napon pri $P_{mpp}$	30.28 V
Nazivni napon pri $P_{mpp}$	32.78 V	Struja kratkog spoja $I_{ks}$	8.26 A
Struja kratkog spoja $I_{ks}$	10.23 A	Napon praznog hoda $U_{ph}$	36 V
Napon praznog hoda $U_{ph}$	38.97 V		
Učinkovitost pri STC	19.57%		
Maksimalne vrijednosti			
Maksimalni napon sustava	1500 V	Maksimalna povratna struja	20 A

## 4.2. ISTOSMJERNA (DC) MIKROMREŽA

Istosmjerna mikromreža sastoji se od regulatora punjenja, dvije serijski spojene baterije ukupnog napona 24V, ulaza za fotonaponski modul i izlaza za istosmjerno opterećenje, u ovom slučaju programabilno DC opterećenje kao što je prikazano na slici 4-15. Budući da nema mogućnosti za spoj na mrežu, ova vrsta mikromreže može raditi samo u otočnom režimu rada. Glavna komponentna cijelog sustava je regulator punjenja koji povezuje modul, baterije i potrošače i upravlja punjenjem odnosno pražnjenjem baterija ovisno o opterećenju. Dodatne komponente su nadzornik baterija koji nadzire promjene stanja u baterijama i Venus GX pomoću kojeg se svi podaci pohranjuju i šalju na VRM portal kako bi se mogli prikupiti i analizirati.



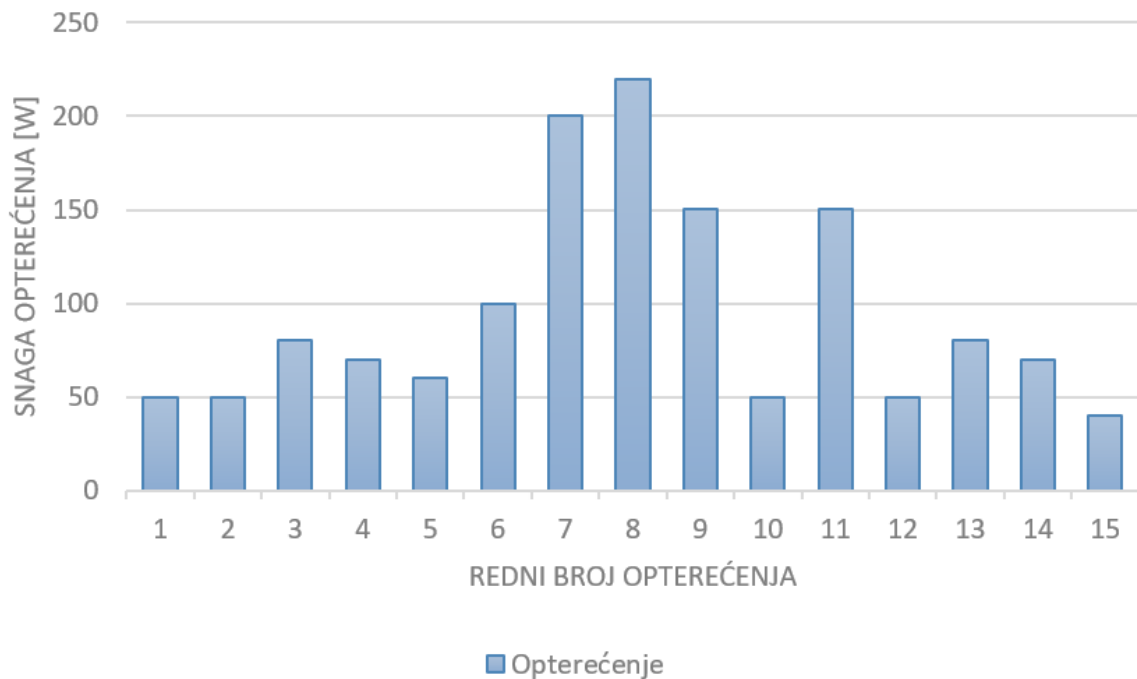
Slika 4-15 Prikaz istosmjerne (DC) mikromreže

Promatranjem rada regulatora punjenja prilikom vidljivo je da pomoću MPPT-a (tragača točke maksimalne snage) regulira napon, odnosno struju kako bi mogao izvući maksimalnu snagu iz fotonaponskog modula za pokrivanje opterećenja i pohranjivanja viška u baterije. Opterećenja su

se simulirala pomoću DC elektroničkog trošila. Postavljeno je 15 različitih opterećenja, svaki u trajanju od 24 minute, ukupnog vremena trajanja 6 sati. Takav set opterećenja ponovljen je 2 puta prilikom mjerenja kako bi vrijeme mjerenja bilo 12 sati. Analizom rezultata zaključeno je kako istosmjerna mikromreža ima 2 načina rada:

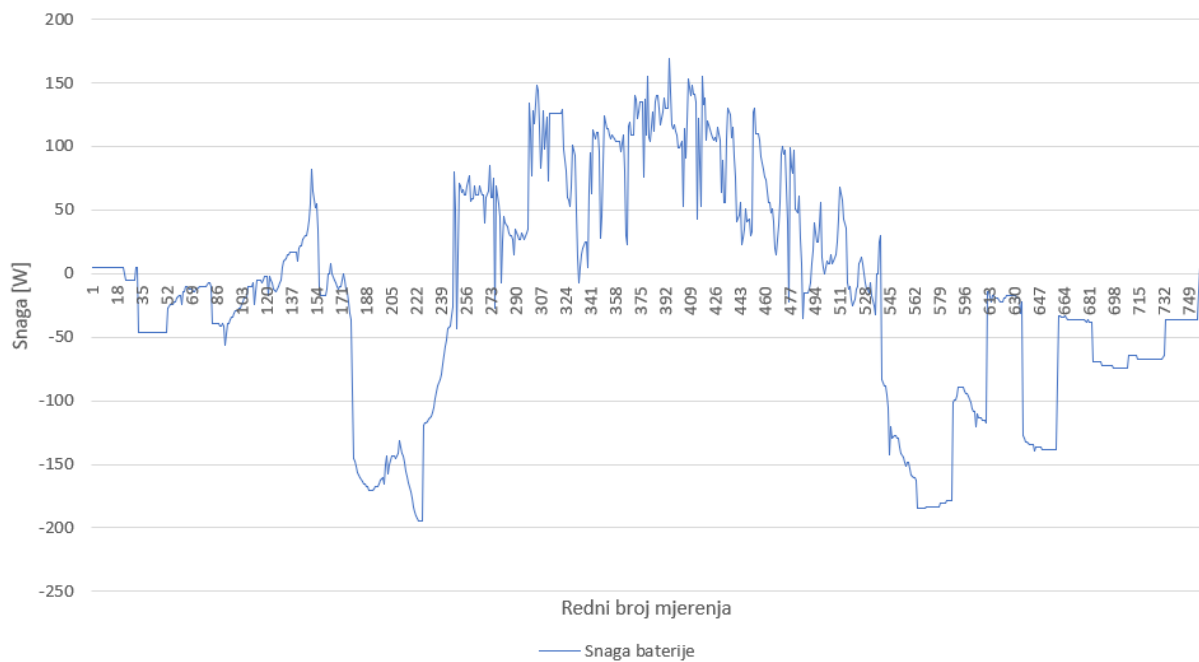
- 1) kada je opterećenje veće od moguće proizvodnje fotonaponskog modula, stoga se potrebna energija nadomješta iz baterija i tada se baterije prazne
- 2) kada je opterećenje manje od proizvodnje iz fotonaponskog modula, pa se razlika u energiji pohranjuje u baterije i dolazi do punjenja baterija

Tokom mjerenja ovi režimi rada su se izmjenjivali. Maksimalna snaga regulatora punjenja iznosi 360W (15A\*24V). 15 ampera (A) je maksimalna struja punjenja, a 24 volta (V) predstavlja napon serijski spojenih baterija. Na slici 4-16 prikazan je graf postavljenog opterećenja.



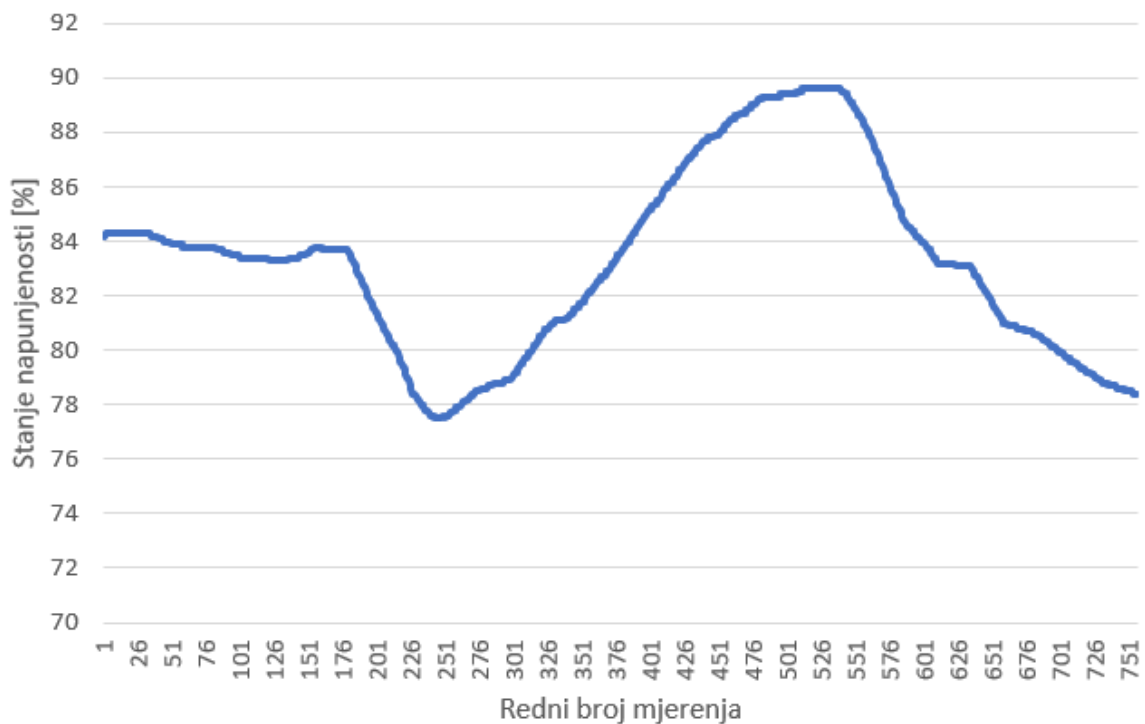
Slika 4-16 Profil opterećenja

Na slici 4-17 prikazan je graf snage baterije, čiji su podaci prikupljeni s nadzornika baterije. Nadzornik baterije je mjerio struje i napon baterije, te se pomoću proračuna dobio graf snage u ukupno 757 točaka mjerenja. Pregledom grafa vidljivo je da se predznak snage mijenja iz pozitivnog u negativni i obrnuto. Predznak snage u ovom slučaju označava tok snage u ili iz baterije. Kada je snaga pozitivnog predznaka tada se pohranjuje u baterije, a kada je negativnog predznaka tada se uzima iz baterija i koristi za opskrbu opterećenja.

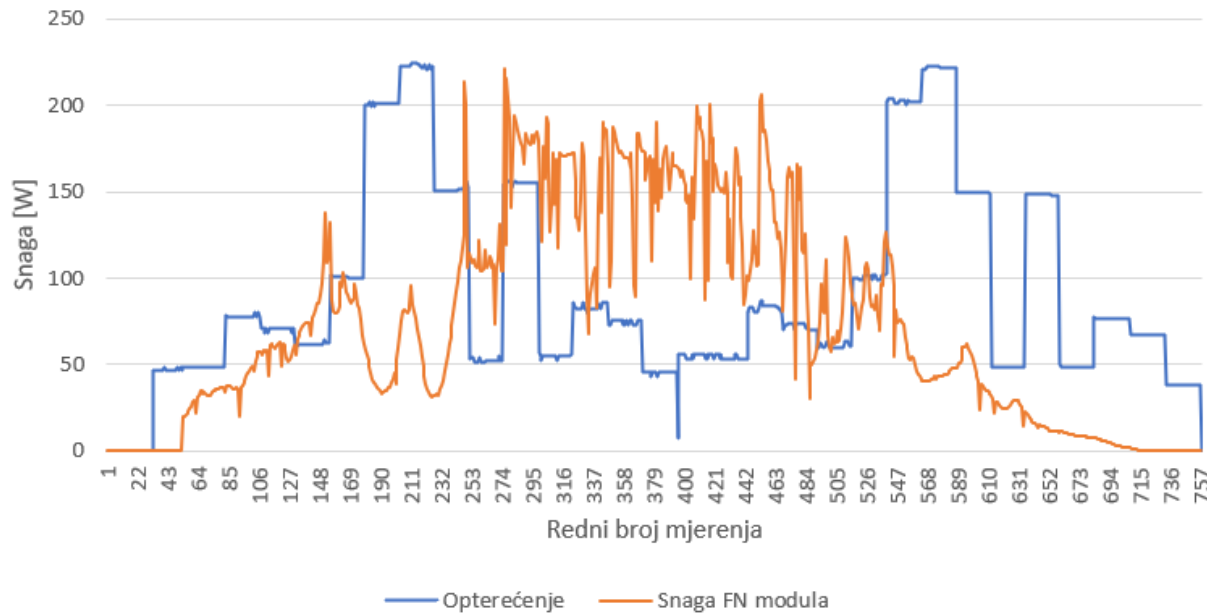


Slika 4-17 Snaga baterija

Na sljedećoj slici prikazano je stanje napunjenosti odnosno ispražnjenosti baterije, tokom provedenih 757 točaka mjerenja. Kako bi se graf mogao bolje analizirati potrebno je pogledati sliku 4-19 na kojoj su prikazane snage proizvodnje iz FN modula i snage opterećenja. Dok je snaga proizvodnje veća od snage opterećenja, baterija se puni, a kada je suprotan slučaj tada se baterija prazni.



Slika 4-18 Stanje napunjenosti baterija



Slika 4-19 Snage opterećenja i FN modula

Regulator punjenja pomoću MPPT-a traži točku maksimalne snage FN modula, kako bi pokrio trenutno istosmjerno (DC) opterećenje. Ukoliko postoji višak energije ona se pohranjuje u baterije, a u slučaju nemogućnosti zadovoljenja potražnje, energija se uzima iz baterija.

Učinkovitost regulatora punjenja računa se kao omjer dobivene energije i uložene energije. Proračun učinkovitosti ovisi u kojem režim rada se nalazi istosmjerna mikromreža. Ukoliko je energija potražnje veća od proizvodnje, tada je uložena energija, energija iz FN modula i baterija, a dobivena energija je energija opterećenja:

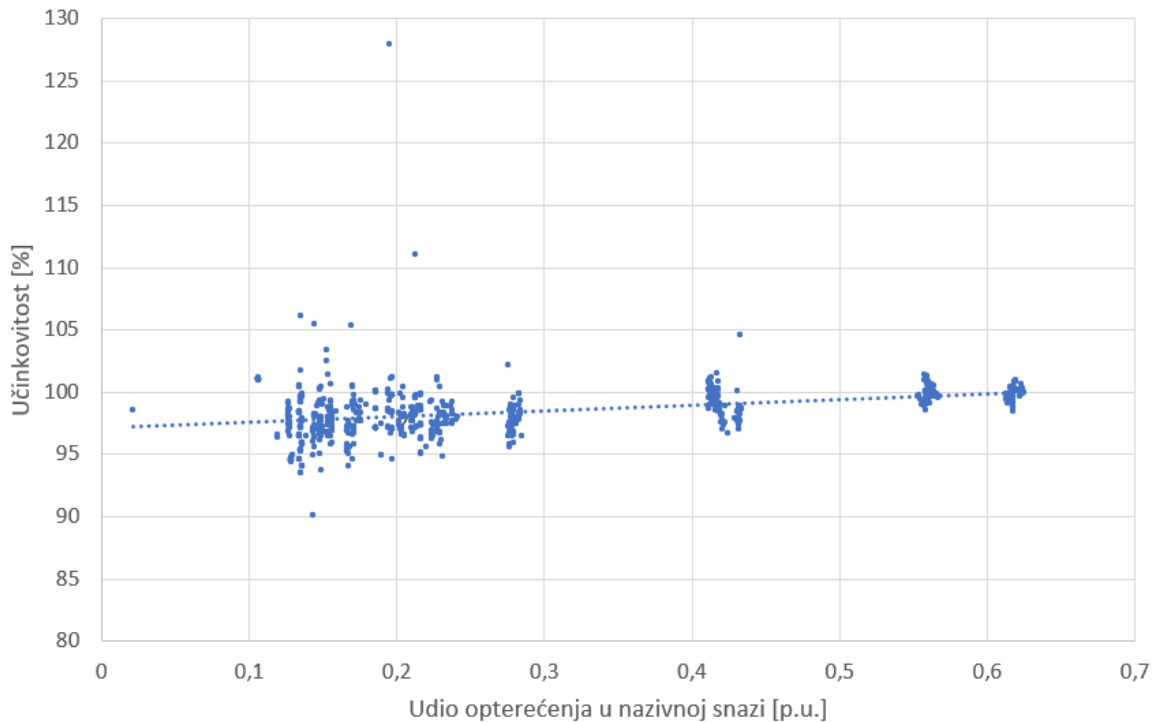
$$\eta_{RP} = \frac{P_{trošilo}}{P_{FN\ modul} + P_{baterije}} \quad (4-1)$$

Kada je opterećenje manje od proizvodnje, uložena energija je energija proizvodnje, odnosno iz FN modula, a dobivena energija je energija opterećenja i energija koja je pohranjena u baterije. Budući da imamo višak energije, jer FN moduli proizvode više nego što se troši, razlika u energije se pohranjuje u sustav za pohranu, u ovom slučaju baterije kako bi se mogla koristiti kasnije:

$$\eta_{RP} = \frac{P_{trošilo} + P_{baterije}}{P_{FN\ modul}} \quad (4-2)$$

Iz podataka dobivenih mjerenjem i korištenjem formula 4-1 i 4-2 nacrtan je graf učinkovitosti regulatora punjenja prikazan na slici 4-20. Na grafu je prikazana učinkovitost u oba načina rada, a

izražena je putem ovisnosti udjela opterećenja o nazivnoj snazi regulatora punjenja, a prikazano je u per unit (p.u.) veličini.



Slika 4-20 Graf učinkovitosti regulatora punjenja u oba načina rada

Pregledom rezultata vidljivo je da je učinkovitost izrazito visoka s velikim brojem odstupanja gdje je učinkovitost preko 100% što nije moguće. Razlog tome je prikupljanje izmjerenih podataka putem VRM portala i komponenti koje same mjere potrebne podatke. Većina podataka je zaokružena na 1 decimalu, konkretno veličine struje, stoga dolazi do netočnih podataka mjerenja, a samim time i prevelike učinkovitosti što je posljedica navedenog zaokruživanja rezultata mjerenja. Ukoliko se izuzmu odstupanja, prosječna učinkovitost je otprilike visokih 97% što odgovara danim tehničkim podacima regulatora punjenja. Pogledom na X os gdje se nalazi udio opterećenja u nazivnoj snazi, vidljivo je da je opterećenje postavljano na velike vrijednosti odnosno udjele u nazivnoj snazi.

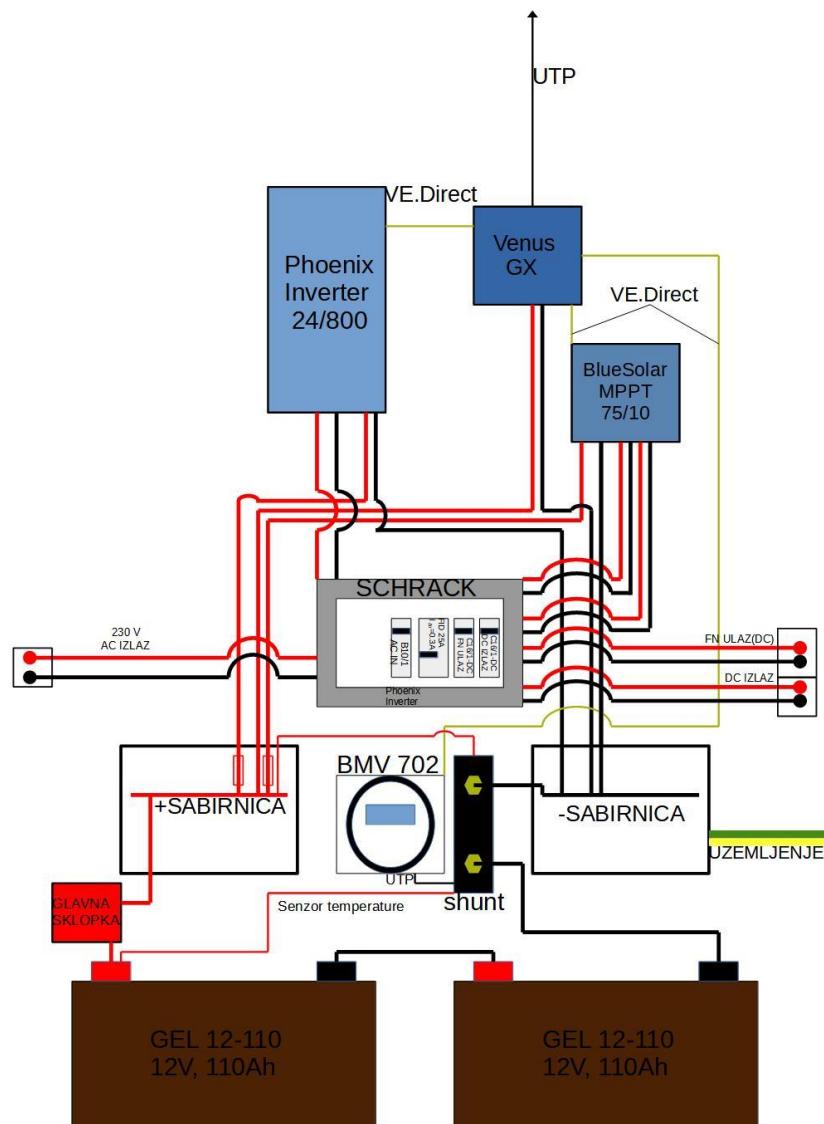
### 4.3. IZMJENIČNO/ISTOSMJERNA (AC/DC) MIKROMREŽA

Izmjenično/istosmjerna mikromreža sastoji se od istih komponenti kao i istosmjerna mikromreža (regulator punjenja, baterije i FN moduli) s pridodanim dijelovima koji ju čine izmjeničnom. Također i kod ove mreže postoje dodatne komponente: nadzornik baterija i Venus GX pomoću kojeg su se svi prikupljeni podaci slali na VRM portal za daljnju obradu i analizu. Na postojeću DC mikromrežu dodan je otočni izmjenjivač i izmjenično (AC) opterećenje. Moguće su dvije izvedbe AC/DC mikromreže u ovisnosti o vrsti priključenog opterećenja:



- 1) mikromreža sa izmjeničnim i istosmjernim opterećenjem
- 2) mikromreža sa izmjeničnim opterećenjem

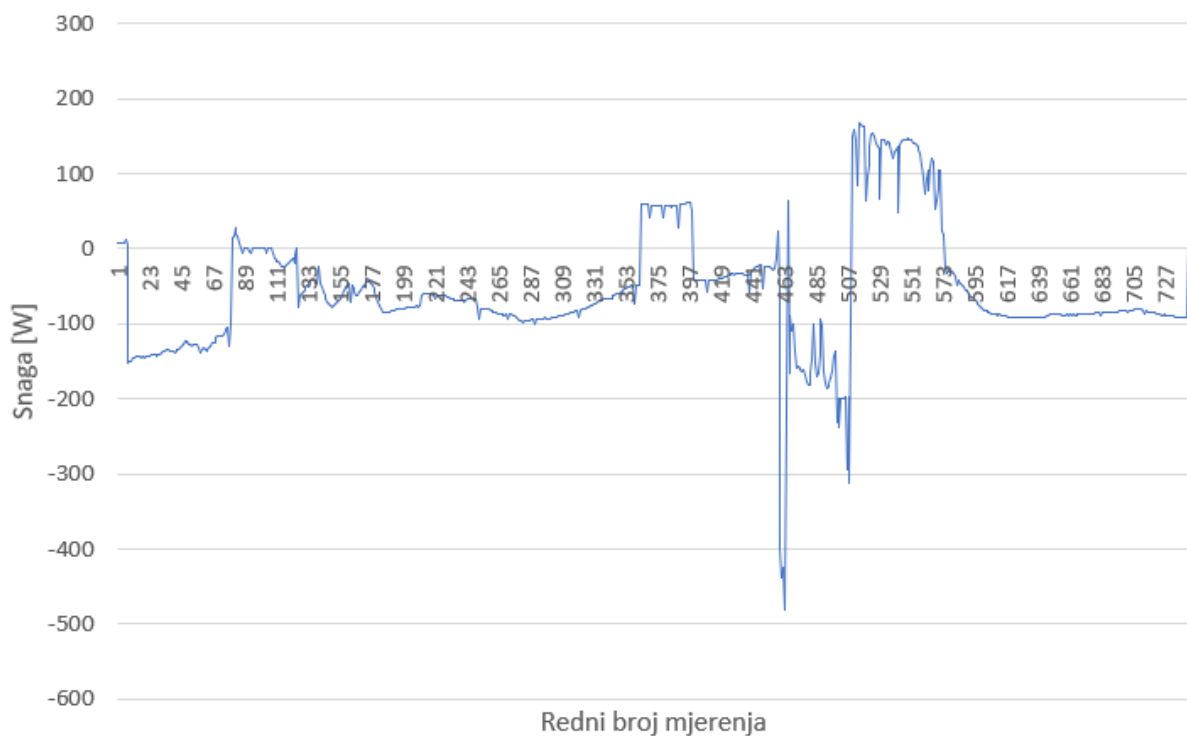
AC opterećenje je predstavljala letva sa spojenim žaruljama prikazana na slici 4-12 koje su se palile i gasile prema potrebi opterećenja, tj. kako bi se ono mijenjalo tokom mjerenja. U našem slučaju koristila se mikromreža samo sa izmjeničnim opterećenjem, a istosmjerni dio te mikromreže koristio se za punjenje baterija putem FN modula.



Slika 4-21 Prikaz izmjenično/istosmjerne (AC/DC) mikromreže

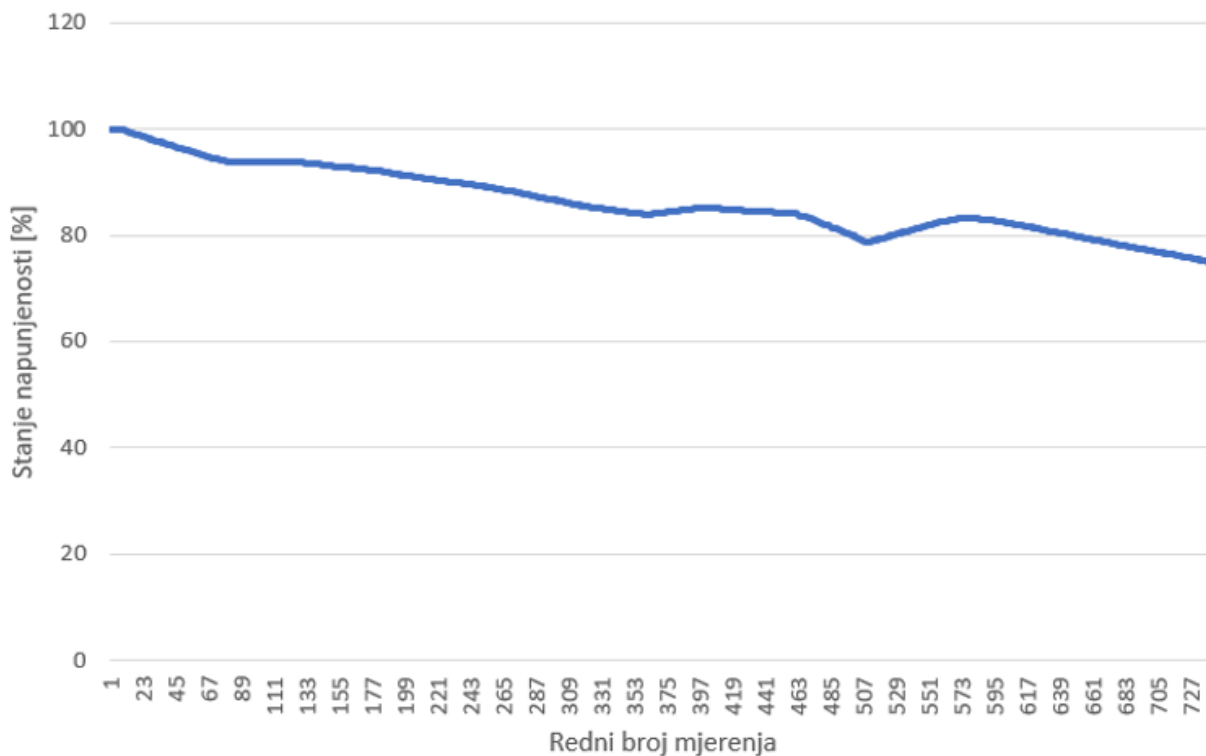
Mjerenje je započelo u 7:15h, s postavljenim početnim opterećenjem 140W (2x70W žarulje), i trajalo je 12 sati, sve do 19:15h sa bilježenjem podataka svaku minutu. Podaci su se kao i u prethodnoj vrsti mikromreže prikupljali putem VRM portala bez potrebnih dodatnih mjernih uređaja. Opterećenje se mijenjalo tokom dana i u ovisnosti o stanju napunjenosti baterija tokom dana, kako ih se ne bi preopteretilo i previše ispraznilo. Vremenske prilike nisu bile najbolje što

se može vidjeti iz grafa na kojem je prikazana proizvodnja FN modula. Zbog izvedbe ovakvog tipa sustava sva energija proizvedena pomoću FN modula se prvo pohranjuje u baterije, a zatim se koristi za opskrbu izmjeničnog opterećenja. I u ovom slučaju ukoliko je proizvodnja iz FN modula veća od opterećenja, dio energije je ostao pohranjen u baterije, a dio se iskoristio za pokrivanje opterećenja. U slučaju potrošnje, odnosno opterećenja većeg od proizvodnje iz FN modula, tada se razlika u potrebnoj energiji u potpunosti preuzima iz baterija kako bi se pokrilo opterećenje, bez mogućnosti pohrane viška. Ovaj tip mikromreže nema mogućnost spoja na dodatan izvor (generator, nadređena mreža itd.) pa se radi o otočnom režimu rada i ovisi o količini energije proizvedene u istosmjernom dijelu mreže i o energiji koja je pohranjena u baterijama ukoliko je proizvodnja relativno niska ili je uopće nema.



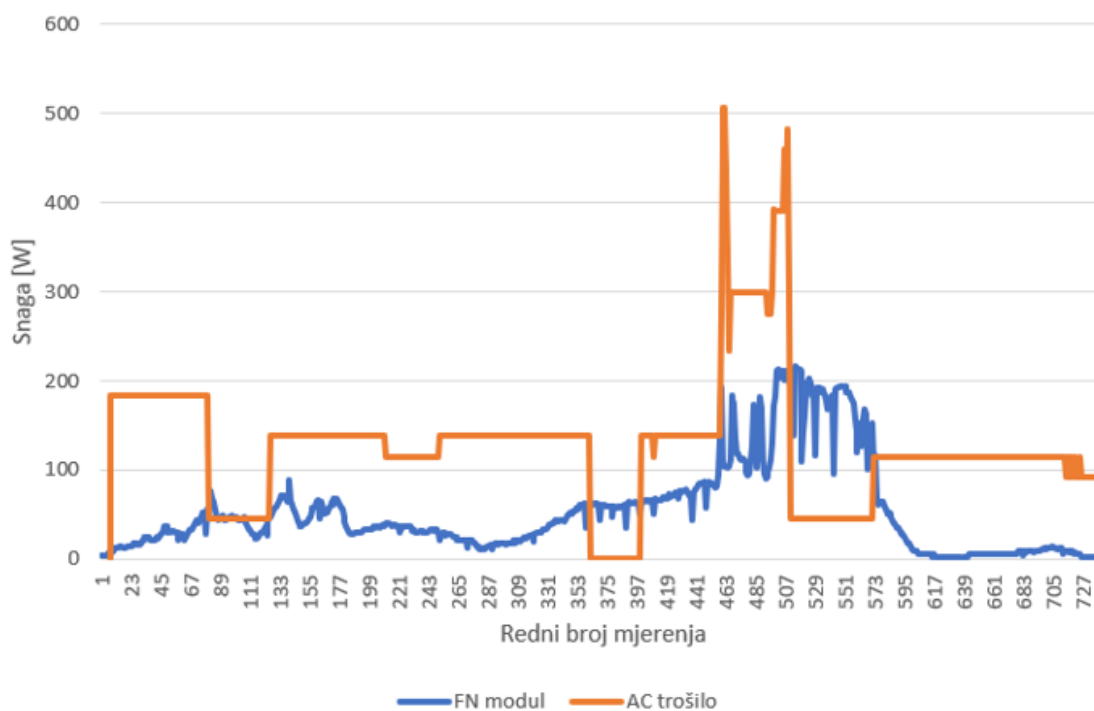
Slika 4-22 Snaga baterija AC/DC mikromreže

Pogledom na sliku 4-22 vidljiv je graf s prikazom snage korištenih baterija tokom mjerenja. Nadzornik baterija prikupljao je podatke o strujama i naponima, te se pomoću tih podataka izračunala snaga. Pregledom dobivenih vrijednosti vidljivo je da je bila velika potražnja snage iz baterija kako bi se zadovoljila opskrba opterećenja. U jako malo trenutaka tokom dana je bilo mogućnosti pohrane energije u baterije jer je, kao što je već spomenuto, dan bio promjenjiv pa je i sama proizvodnja bila relativno niska, a postavljanjem opterećenja nije bilo mogućnosti pohraniti veću količinu energije što će i biti prikazano na sljedeća 2 grafa.



Slika 4-23 Stanje napunjenosti baterije

Na slici 4-23 prikazan je graf stanja napunjenosti baterija. Na grafu se može vidjeti da, kako je već objašnjeno, su se baterije većinom praznile, odnosno potrošnja je bila puno veća od proizvodnje i nije bilo viška energije za pohranu. Stanje napunjenosti se također pratilo putem nadzornika baterije koji bilježi podatke. Za lakšu usporedbu i analizu potrebno je pogledati graf na slici 4-24 na kojem su prikazane snage opterećenja i snage proizvodnje FN modula.



Slika 4-24 Snage AC opterećenja i FN modula

Graf na slici 4-24 prikazuje već objašnjenu nisku proizvodnju iz FN modula i veliko AC opterećenje koje treba opskrbiti. Zbog toga dolazi do pražnjenja baterija u većini točaka mjerenja osim gdje smo opterećenje smanjili kako bi bilo niže od proizvodnje da se baterije napune i rasterete. Usporedbom grafova na slikama 4-23 i 4-24 moguće je pratiti stanje napunjenosti baterija kao posljedicu razlike u snagama. Učinkovitost izmjenjivača nije obrađena u ovom dijelu već u poglavlju 4.6 prilikom rada s mrežnim analizatorom zbog nemogućnosti izračuna učinkovitosti. Razlog tomu su gruba podešenja izmjenjivača u njegovim mjerenjima struja i opskrba izmjeničnog opterećenja, a samim time pojavljivanje jalovih snaga i ukupne snage u obliku prividne. Učinkovitost izmjenjivača je također omjer dobivenog i uloženog. Dobivena energija je ona energija koja se troši za opskrbu izmjeničnog opterećenja, a uložena energija je energija iz baterija koju izmjenjivač povlači na svojoj DC strani:

$$\eta_{Phoenix} = \frac{P_{AC-trošilo}}{P_{DC-Phoenix}} \quad (4-3)$$

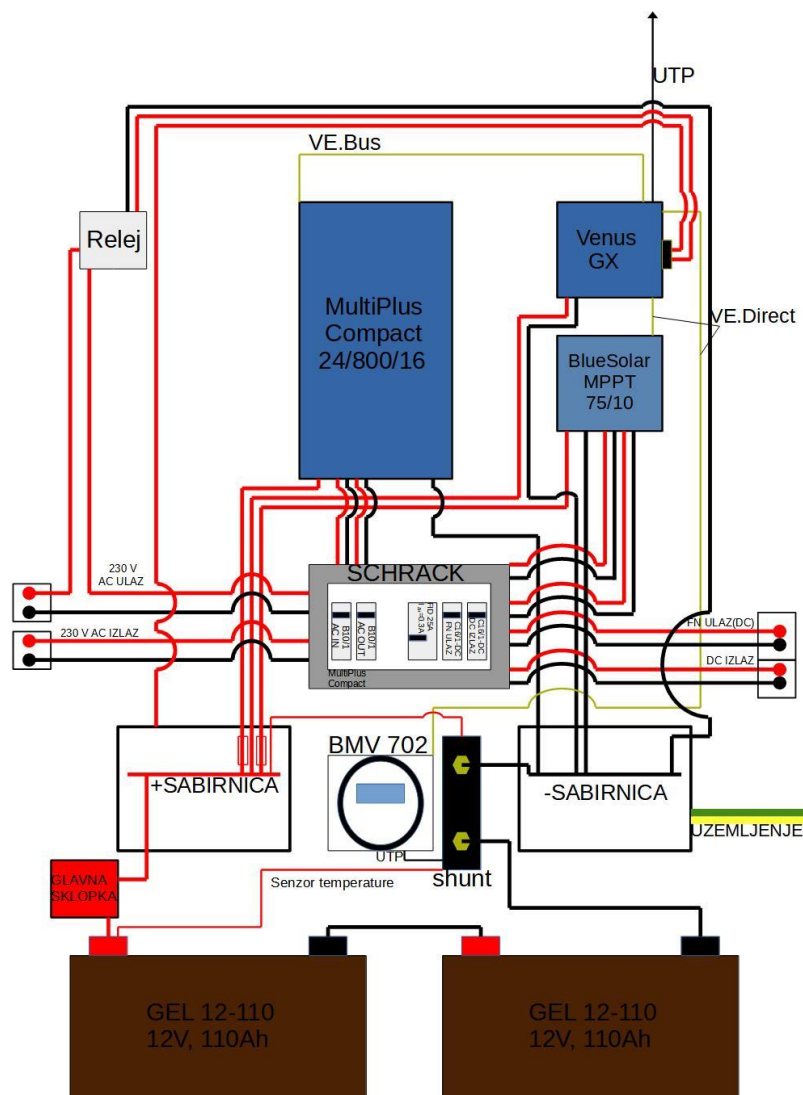
Učinkovitost regulatora punjenja ostaje kao i u prethodnoj mikromreži stoga ju nije potrebno računati, iako ovdje nismo ni koristili DC opterećenje, već je regulator služio samo za punjenje baterija.

#### **4.4. HIBRIDNA IZMJENIČNO/ISTOSMJERNA (AC/DC) MIKROMREŽA**

Hibridna mikromreža sastoji se od sličnih komponenti kao i obična AC/DC mikromreža. Korišteni su FN moduli za punjenje i regulator punjenja za regulaciju punjenja baterija, Venus GX za prikupljanje i slanje podataka na VRM portal, te MultiPlus Compact izmjenjivač. U usporedbi sa Phoenix izmjenjivačem, MultiPlus ima AC ulaz i AC izlaz dok Phoenix ima samo AC izlaz i zbog toga se ovaj tip mikromreže naziva hibridnom zbog mogućnosti priključka dodatnog izvora energije. Mjerenja su se opet radila samo sa izmjeničnim AC trošilom, bez DC opterećenja u dva načina rada mikromreže:

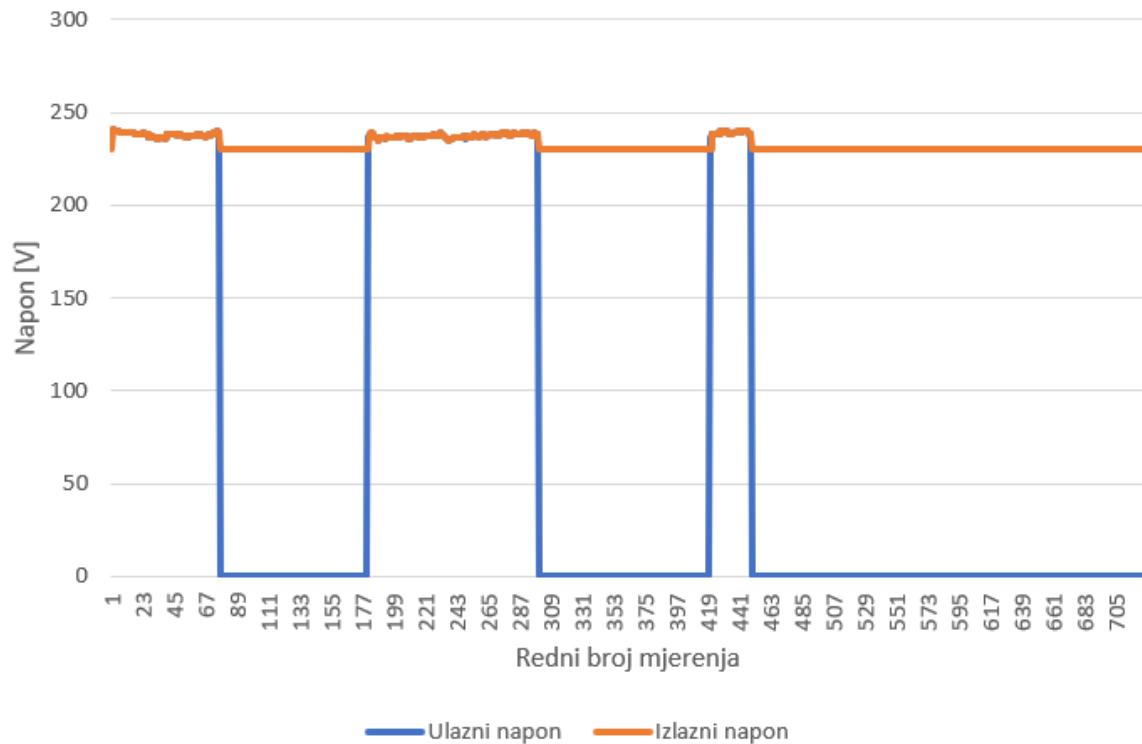
- 1) hibridna mikromreža je priključena na mrežu
- 2) hibridna mikromreža je odspojena s mreže

Prikaz ovakvog tipa mikromreže nalazi se na slici 4-25.



Slika 4-25 Prikaz hibridne izmjenično/istosmjerne (AC/DC) mikromreže

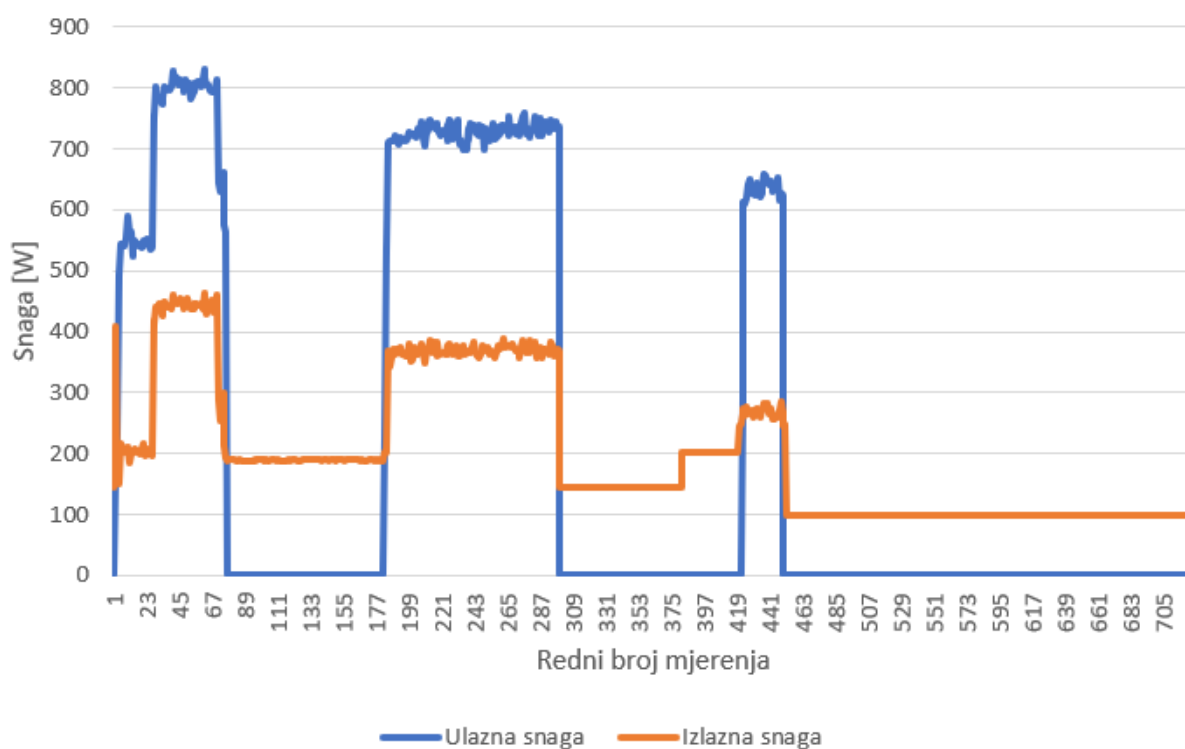
Početak mjerenja bio je u ranim jutarnjim satima kako bi se pokrio cijeli dan. Priklučen je FN modul kako bi punio baterije (dan je bio sunčan cijelo vrijeme) putem regulatora punjenja. Korišten je MultiPlus Compact izmjenjivač gdje se na njegov AC ulaz u 1. slučaju priključila mreža, može se priključiti i generator, a u 2. slučaju je taj priključak bio odspojen, tj. nije bilo spoja na mrežu. Na AC izlaz se priključilo AC opterećenje i sada se moglo postaviti puno veće opterećenje jer je mikromreža dobivala snagu direktno putem nadređene mreže. Otočni način rada i način rada u spoju na mrežu simulirani su zajedno, nasumično tokom dana, gdje se fizički mikromreža odspajala s mreže. Zbog toga će se cijelo mjerenje provesti pod jednu, zajedničku, analizu bez posebnog analiziranja svakog dijela zasebno. Princip rada izmjenjivača opisan je ranije, stoga je potrebno obraditi pažnju i na režim rada u kojem se izmjenjivač nalazi: kada puni bateriju, a kada uzima iz nje.



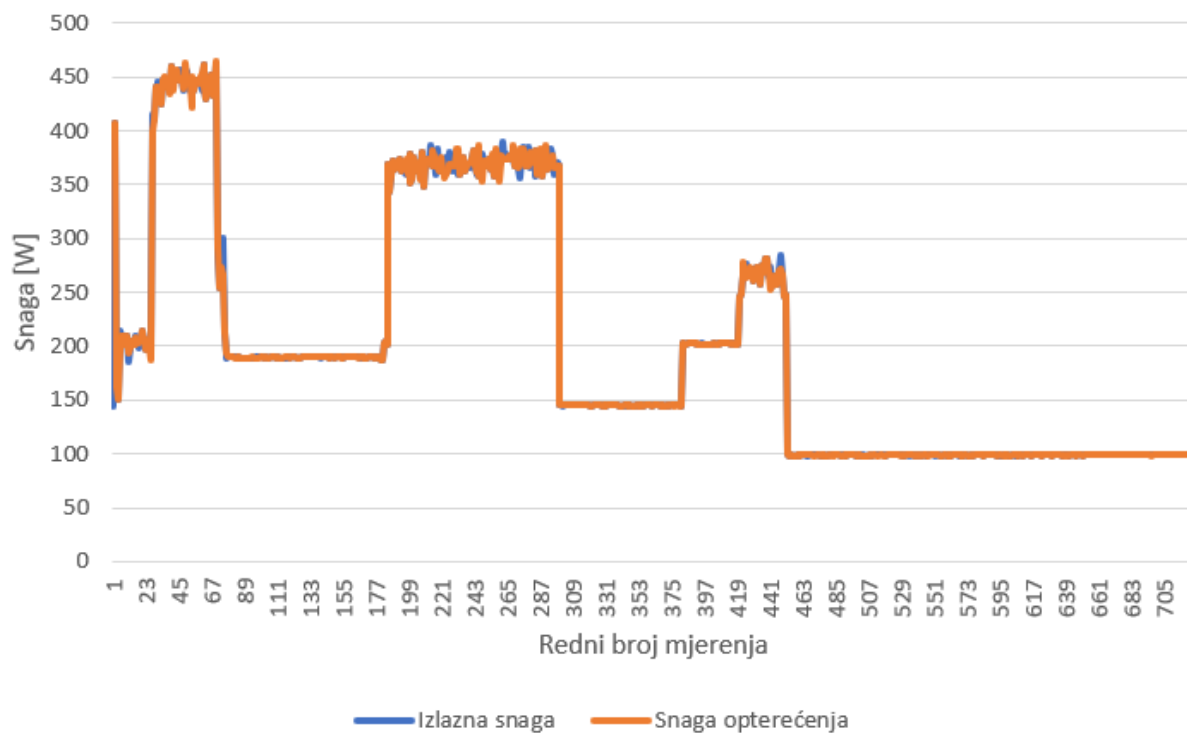
Slika 4-26 Ulazni i izlazni napon izmjenjivača

Graf na slici 4-26 prikazuje ulazni i izlazni napon korištenog izmjenjivača. Kad je izmjenjivač opskrbljen naponom iz mreže, izlazni napon prati njegovu vrijednost, kada izmjenjivač prestane dobivati napon iz mreže i postane 0, izlazni napon još uvijek postoji i konstantan je, jer ga pretvaranjem DC električne energije u AC električnu energiju može preuzeti iz baterija, ne ovisi o promjeni ulaznog napona iz mreže. To je moguće zbog svojstva neprekidnog izvora napajanja (UPS-a) koje sadrži izmjenjivač.

Na slici 4-27 prikazan je graf ulaznih i izlaznih snaga izmjenjivača. Vidljivo je kako se krivulje snaga prate, odnosno povećanjem opterećenja, povećava se i ulazna snaga, jer izmjenjivač uzima veću snagu iz mreže kako bi mogao pokriti opterećenje. Ulazna snaga postaje iznosa 0 W kada je ulazni napon 0 jer tada ne postoji spoj na mrežu i mikromreža sada radi u načinu rada odspojenom se mreže, ali izlazna snaga i dalje postoji jer se sada preuzima iz baterija za zadovoljenje potreba trošila.



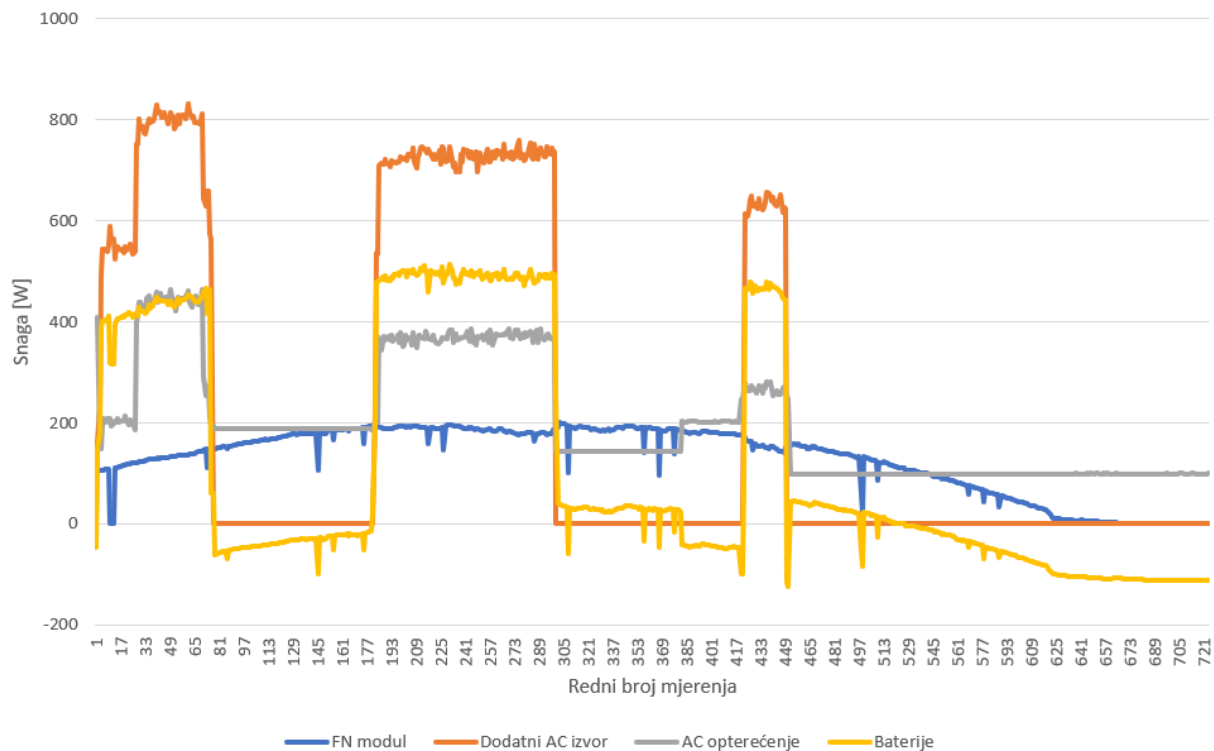
Slika 4-27 Ulazna i izlazna snaga izmjenjivača



Slika 4-28 Izlazna snaga izmjenjivača i snaga AC trošila

Slika 4-28 prikazuje izlaznu snagu izmjenjivača i snagu opterećenja. Vidljivo je kako izmjenjivač daje na izlazu snagu potrebnu za pokrivanje priključenog AC opterećenja. Izlazna snaga

izmjenjivača ne ovisi o AC ulazu, već nakon što pređe u otočni režim rada, prebaci se na napajanje iz baterija i tako zadovoljava trenutno potrebno opterećenje.



Slika 4-29 Prikaz snaga u mikromreži

Graf na slici 4-29 prikazuje snagu FN modula, tj. njegovu proizvodnju. Sva snaga iz FN modula pohranjuje se direktno u baterije. Njegova krivulja snage je izuzetno dobra, zbog veoma sunčanog dana s malo naleta oblaka što se može iščitati iz grafa. Dodatni AC izvor je najveća snaga na grafu jer promjenom opterećenja, izmjenjivač povlači veću snagu iz mreže kako bi zadovoljio opterećenje. Izmjenjivač pokriva AC opterećenje, a razliku snage pohranjuje u baterije osim u trenucima kada je ulazni napon 0 V, tada radi kao izmjenjivač ( ne kao punjač) i uzima snagu iz baterija kako bi zadovoljio opterećenje. Kada snaga dodatnog izvora postane 0, krivulja snage baterije prati snagu FN modula, kako se smanjuje proizvodnja tako se i smanjuje snaga baterije, uz praćenje krivulje snage opterećenja. Regulator punjenja je preko FN modula cijelo vrijeme bio u modu punjenja, jer nije bilo DC opterećenja, stoga je proizvedenu snagu koristio samo za punjenje.

Učinkovitost izmjenjivača će također biti objašnjenja uz učinkovitost Phoenix izmjenjivača. Prilikom računanja bitno je razlikovati učinkovitost kada je mikromreža spojena na mrežu i kada je odspojena s mreže. Kod spoja na mrežu dobivena energija je energija koju izmjenjivač pohranjuje u baterije i ona kojom opskrbljuje priključeno opterećenje:



$$\eta_{MultiPlus} = \frac{P_{DC-MultiPlus} + P_{AC-trošilo}}{P_{mreža}} \quad (4-4)$$

U slučaju kada je mikromreža odspojena s glavne mreže, tada je dobivena energija ona iskorištena za opskrbu potrošača, a uložena energija je energija iz baterija jer sada MultiPlus Compact radi samo kao izmjenjivač i ovisi o energiji pohranjenoj u baterijama:

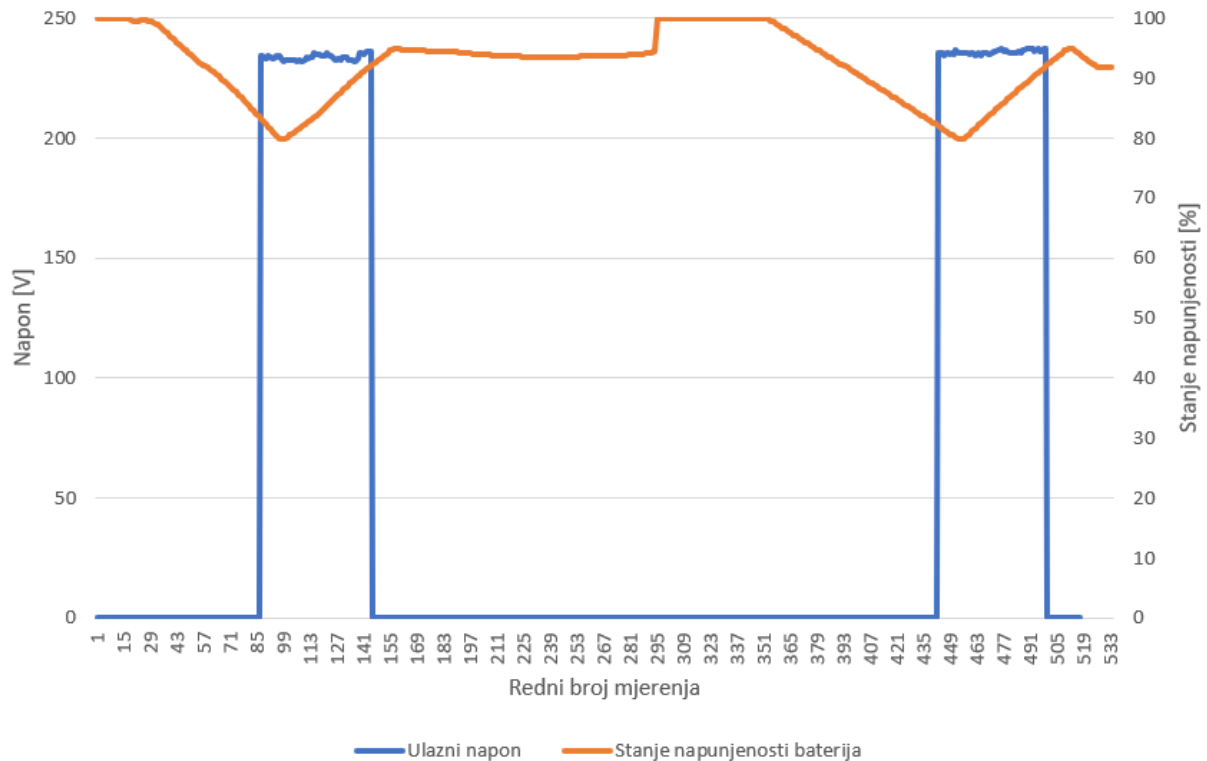
$$\eta_{MultiPlus} = \frac{P_{AC-trošilo}}{P_{DC-MultiPlus}} \quad (4-5)$$

Kada je mikromreža odspojena s glavne mreže, princip rada MultiPlus Compact izmjenjivača je jednak kao kod Phoenix izmjenjivača u AC/DC mikromreži.

#### **4.5. ISPITIVANJE RADA RELEJA U HIBRIDNOJ MIKROMREŽI**

Uvod u rad s relejima bilo je ispitivanje releja ugrađenih u Venus GX i nadzornik baterije. Na oba releja su postavljene postavke reagiranja na stanje napunjenosti baterije i simulirao se pogon s agregatom. Baterije su se praznile pomoću opterećenja, a rad releja praćen je putem multimetra priključenih na njihovim ulazima. Uklop odnosno isklop releja bio je prikazan na ekranu multimetra i praćen je zvučnim signalom. Pogledom na sliku 4-25 koja prikazuje hibridnu mikromrežu vidljiv je relej ugrađen u cijeli sustav. Relej služi kako bi se upravljalo sa AC ulazom u izmjenjivač MultiPlus Compact. Na taj ulaz moguće je spojiti glavnu mrežu (kao u našem slučaju) ili neki generator. Kako bi opskrba opterećenja bila olakšana moguće je upravljati tim ulazom, odnosno postaviti kada će se generator ili mreža upaliti, a kada će se ugaziti. Venus GX u sebi ima ugrađen relej i zbog toga ima 2 izlaza koja se mogu iskoristiti. Iskorišten je izlaz NO, što znači da je relej u svom normalnom položaju otvoren, i spojeno je na novo ugrađeni relej. Prekinuta je faza AC ulaz kako bi se njome moglo upravljati. Potrebno je na virtualnoj konzoli putem VRM portala parametrirati postavke releja ugrađenog u Venus GX koji će zatim upravljati novoinstaliranim relejem. U postavkama start/stop generatora postavlja se stanje napunjenosti baterije (SoC-State of Charge) kao parametar na koji će relej reagirati. Donja granica, odnosno granica pokretanja generatora/mreže je 80% napunjenosti baterije, a gornja granica isključenja je 95%. To znači da kada sustav prepozna da je napunjenost baterija ispod 80% relej daje signal da se uključi mreža/generator ili drugi dodatni izvor energije. Kada napunjenost bude 95% relej daje signal da dodatni vanjski izvor više nije potreban i odspaja ga. Na konkretnom primjeru princip rada je sljedeći: kada uklopi/isklopi relej Venus GX tada proradi i novo ugrađeni relej. Taj relej

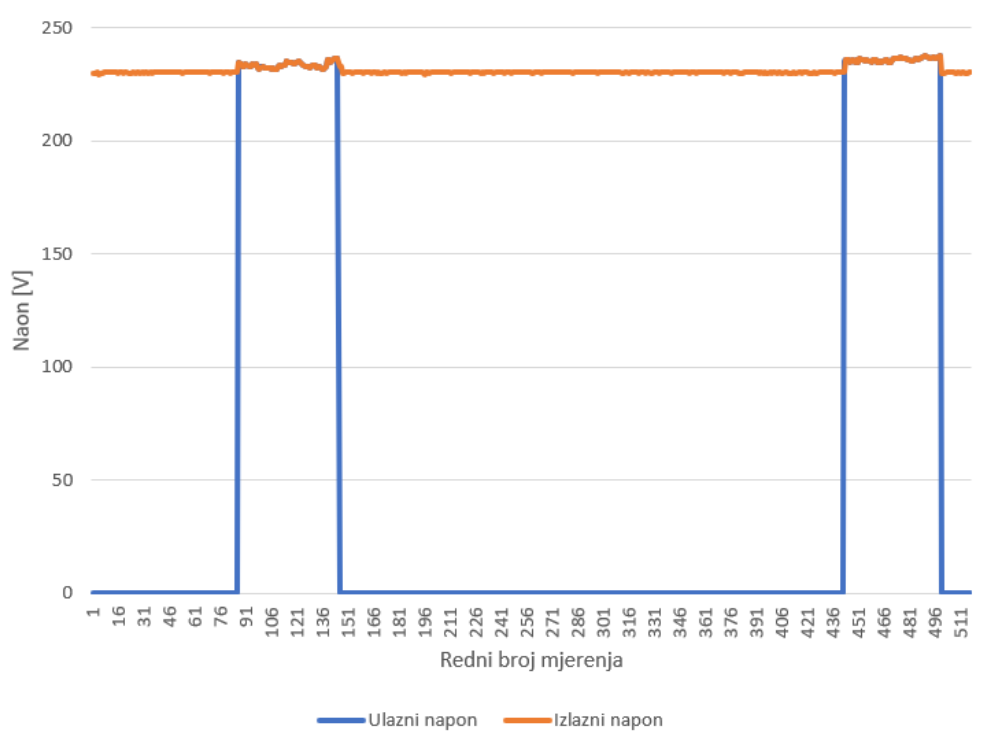
prekida ili spaja fazu na AC ulazu i to se očituje na radu izmjenjivača/punjača. Kada je faza prekinuta tada izmjenjivač prelazi u izmjenjivački režim rada i troši energiju baterija za opskrbu opterećenja. Drugi slučaj je kada relej proradi da uklopi fazu, nakon toga izmjenjivač prelazi u režim rada kao punjač. Rad releja prilikom testiranja prikazan je na sljedećim grafovima.



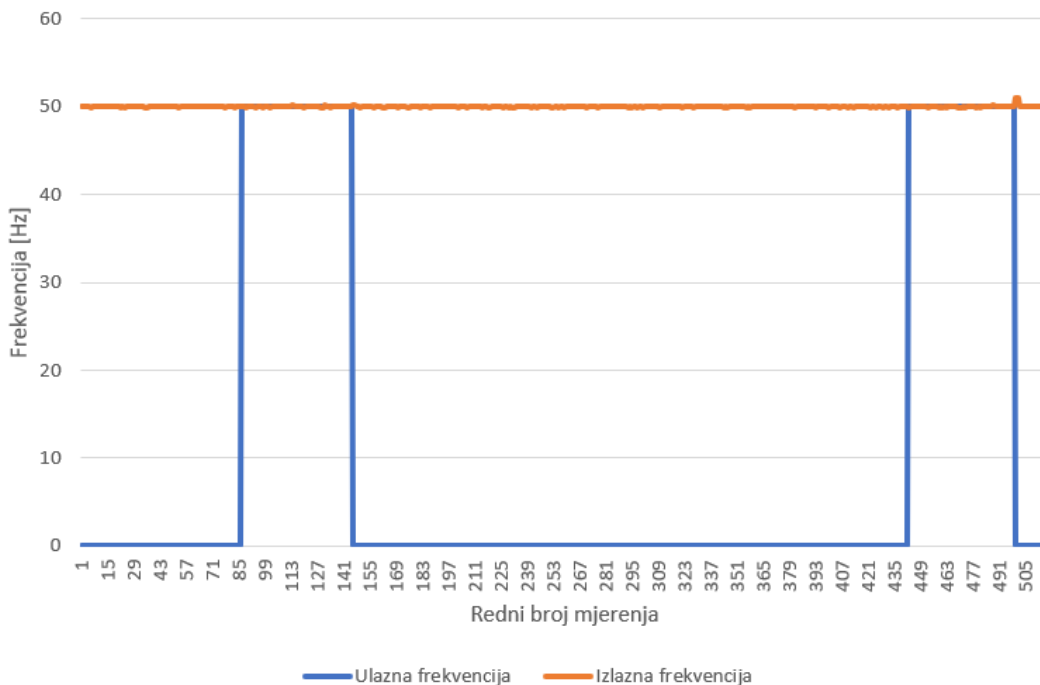
Slika 4-30 Ulazni napon izmjenjivača i stanje napunjenosti baterija

Kako bi se prikazao rad releja potrebno je pogledati graf prikazan na slici 4-30. Parametar na koji relej reagira je stanje napunjenosti baterija. Donja vrijednost postavljena je na 80% napunjenosti, a gornja vrijednost na 95%. Pogledom na graf vidljivo je da se ulazni napon pojavljuje kada je napunjenost baterija ispod vrijednosti 80%. Pojava ulaznog napona znači da je relej proradio i spojio fazu i na taj način omogućio dodatnom AC izvoru da napaja opterećenje u sustavu. Ulazni napon postoji sve dok nadzornik baterije ne javi u Venus GX kako je stanje napunjenosti 95%. Tada ulazni napon opet postaje 0 V, odnosno relej je proradio i isključio je vanjski AC izvor. Tokom mjerenja je cijelo vrijeme bio priključen FN modul na regulator punjenja kako se baterije ne bi jako brzo praznile, a opterećenje se smanjivalo i povećavalo ovisno o promjenama u sustavu, kako se isti ne bi preopteretio. Sljedeći grafovi prikazuju utjecaj rada releja na izlazne veličine izmjenjivača prilikom opskrbe opterećenja. Graf na slici 4-31 prikazuje odnos ulaznog i izlaznog napona izmjenjivača. Izlazni napon postoji neovisno o tome je li spojen dodatni AC izvor ili ne. Izmjenjivač neprekidno opskrbljuje trošilo zahvaljujući svojstvu neprekidnog sustava napajanja. Kada se vanjski izvor odspoji, napajanje se preuzima iz energije pohranjene u baterijama.

Slika 4-32 prikazuje ulaznu i izlaznu frekvenciju. Kao i u slučaju napona, neovisno o tome postoji li priključen dodatni izvor na AC ulaz, AC trošilo će i dalje dobivati frekvenciju potrebnu za njegov ispravan rad.



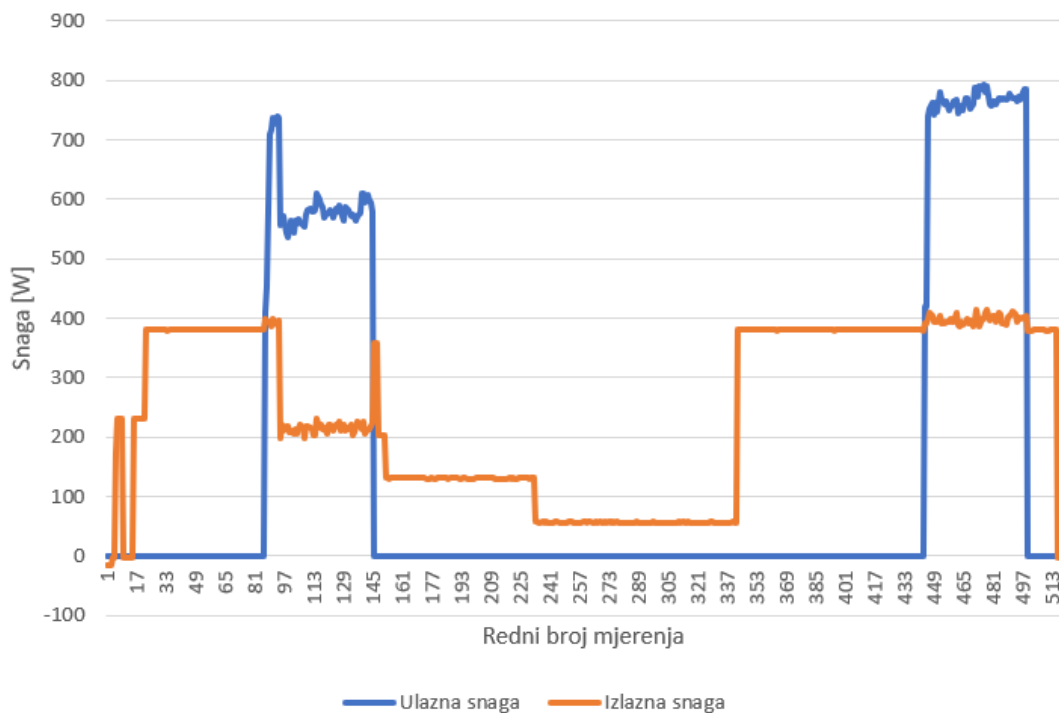
Slika 4-31 Ulazni i izlazni napon izmjenjivača



Slika 4-32 Ulazna i izlazna frekvencija izmjenjivača

Slika 4-33 prikazuje snage odnos snaga izmjenjivača i kao u prethodna 2 slučaja, vidljiva je neprekinuta opskrba trošila. AC trošilo povlači potrebnu snagu iz izmjenjivača koji ju mora

pronaći ili u vanjskom izvoru ili u baterijama. Također, kada je dodatni izvor priključen on uz opskrbu trošila puni i baterije, što je vidljivo na grafu u puno većem iznosu ulazne snage u usporedbi sa izlaznom.



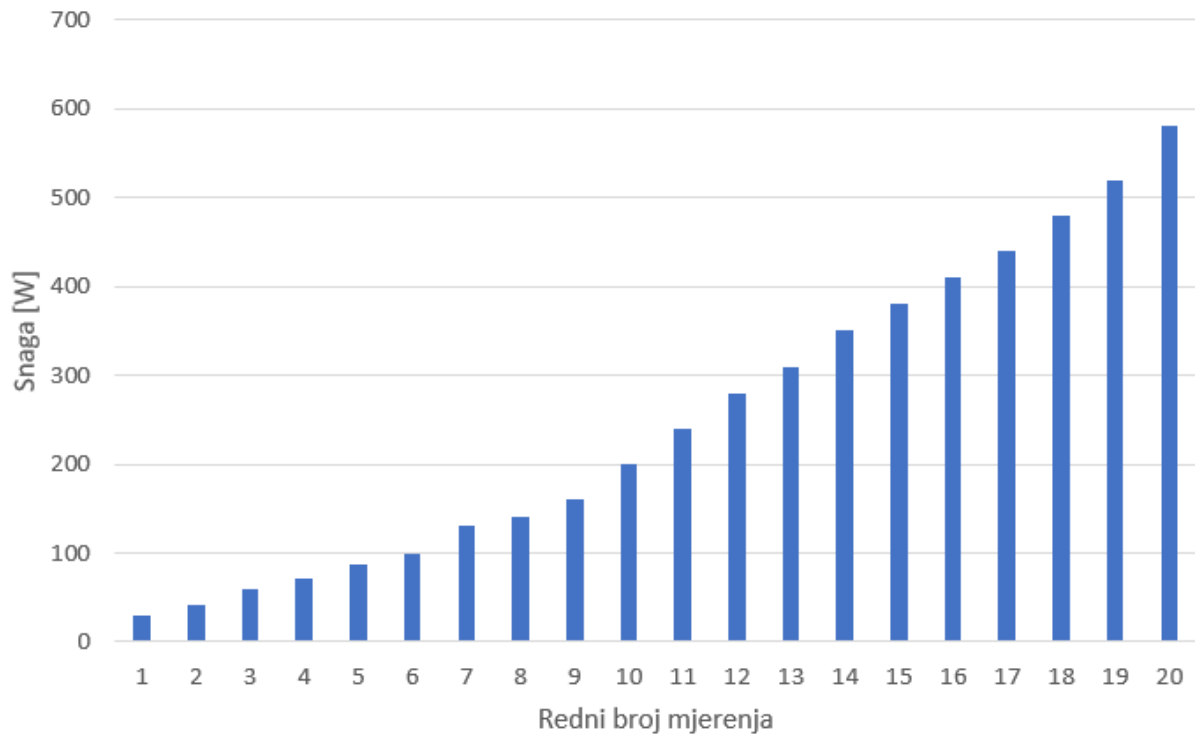
Slika 4-33 Ulazna i izlazna snaga izmjenjivača

Svrha korištenja releja u ovakvom tipu mikromreže je sprječavanje prekomjernog pražnjenja baterija. Ukoliko je proizvodnja tog dana iz FN modula jako slaba da ne može zadovoljiti potražnju u potpunosti i napuniti baterije, može se postaviti donja granica napunjenosti pri kojoj će se paliti dodatni izvor (generator ili mreža). Dodatni izvor tada zadovoljava i potražnju i puni baterije, a odabirom gornje granice se opskrba opterećenja prepušta energiji pohranjenoj u baterijama.

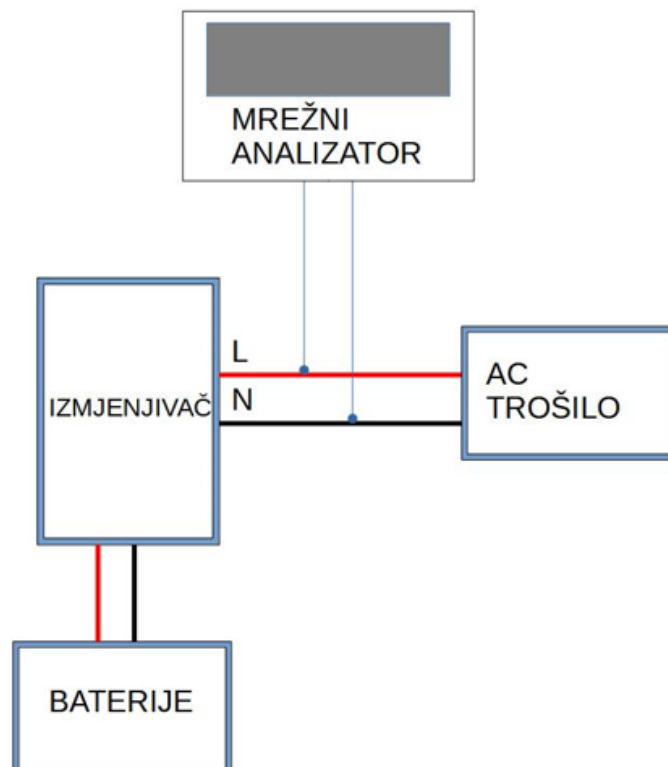
## 4.6. UČINKOVITOST PHOENIX I MULTIPLUS COMPACT IZMJENJIVAČA

Za proračun učinkovitosti korištena su mjerenja mrežnog analizatora prikazanog na slici 4-13. Za oba izmjenjivača korištena su ista opterećenja podešena na letvi sa žaruljama. Radilo se 20 mjerenja, s opterećenjima prikazanim na slici 4-34, za svaki izmjenjivač. Svakim mjerenjem se povećavalo opterećenje, a zatim preko mrežnog analizatora i njegove konzole bilježili su se podaci. Podaci su se mjerili putem strujnih kliješta priključenih u ormaru. U konzoli je moguće pratiti trenutne vrijednosti snaga, napona, struja, faktora snaga i sl. Usporedno su se zapisivali podaci koje mjeri nadzornik baterije, MultiPlus Compact ili Phoenix izmjenjivač, ovisno o korištenoj mikromreži i mrežni analizator, a zatim su ti podaci iskorišteni kako bi se odredila

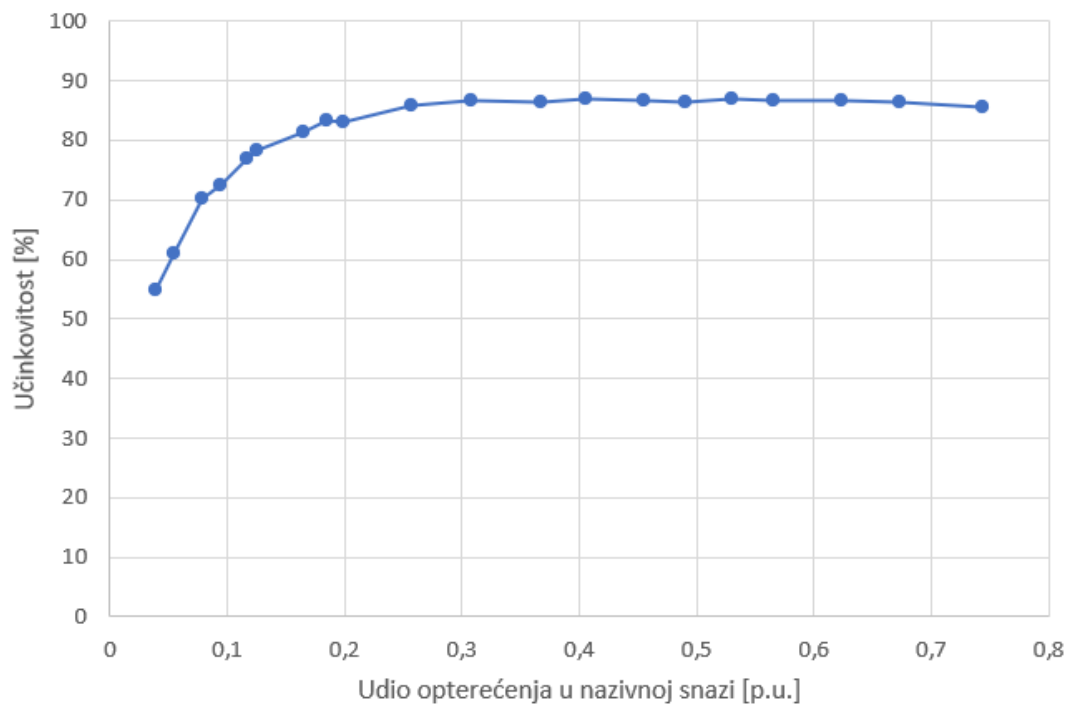
učinkovitost prikazana na grafovima koji se nalaze na slikama 4-36 i 4-37. Na MultiPlus Compact AC ulaz nije bio priključen, a oba izmjenjivača napajana su iz baterija.



Slika 4-34 Prikaz postavljenih opterećenja

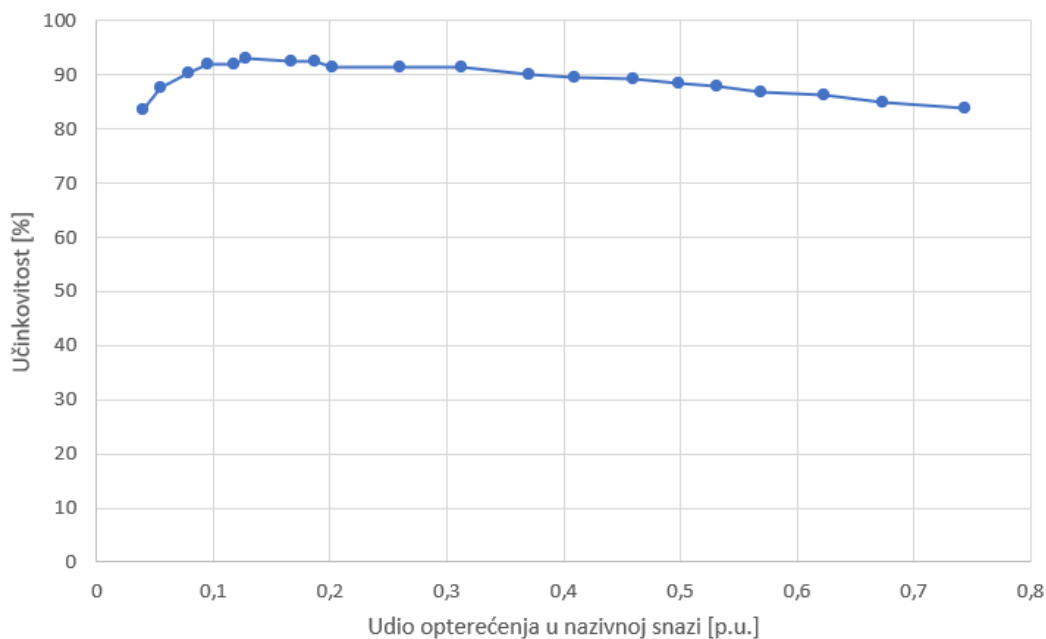


Slika 4-35 Shema mjernog postava



Slika 4-37 Učinkovitost MultiPlus Compact izmjenjivača

Učinkovitost MultiPlus Compact izmjenjivača, na slici 4-36, računala se prema formuli 4-5 jer mikromreža nije bila priključena na glavnu mrežu. Izražena je u ovisnosti o udjelu podešenog opterećenja u nazivnoj snazi izmjenjivača.



Slika 4-36 Učinkovitost Phoenix izmjenjivača

Učinkovitost Phoenix izmjenjivača prikazana je na slici 4-37, a računala se prema formuli 4-3 isto kao i za MultiPlus Compact jer su oba izmjenjivača u otočnom režimu rada. Dobivena energija je

energija opterećenja, a uložena energija je energija iz baterija. Zbog jednostavnije izvedbe Phoenix izmjenjivača, snaga iz baterija nije izračunata pomoću struja i napona kao kod MultiPlus Compacta, čime se dobije snaga na DC ulazu, već se za proračun iskoristila snaga koju bilježi nadzornik baterija.

## 5. ZAKLJUČAK

Koncept mikromreža predstavlja budućnost korištenja električne energije i zamjenjuje već zastarjeli tradicionalni elektroenergetski sustav. Razvojem i ulaganjem u sustav mikromreža i potrebne popratne sustave donose se brojne ekonomske i, ono najvažnije, značajne ekološke prednosti. Smanjenje troškova proizvodnje i različitih emitiranih štetnih emisija prilikom rada konvencionalnih elektrana ključni su razlozi zašto se većina država zalaže za poticanje razvoja mikromreža. Neovisno o tome koristi li se mikromreža priključena na glavnu mrežu ili mikromreža predviđena za otočni pogon, primjenu pronalaze od kućanstva pa sve do velikih industrijskih postrojenja. Sposobne su raditi i kao dio istosmjernog i kao dio izmjeničnog sustava. Ulaganjem u mikromreže ulaže se i u razvoj tehnologije distribuirane proizvodnje koja koristi obnovljive izvore energije. Mogućnost pohrane proizvedene energije donosi stabilnost i sigurnost u prijenosu i distribuciji kroz sustav. Unatoč brojnim prednostima koje dolaze s konceptom mikromreža potrebno je savladati prepreke i izazove koje donosi njihova implementacija. Zadovoljenje različitih norma, poštivanje zakona i propisa, snalaženje u primjeni novog koncepta samo su neki od problema za koje je potrebno pronaći rješenje prije nego li mikromreže postanu neizostavni dio elektroenergetskog sustava. Analizom rezultata mjerenja provedenih na 3 osnovna tipa mikromreža s različitim trošilima koje je potrebno napojiti prikazan je njihov rad i mogućnost daljnje primjene u sličnim ili puno većim sustavima. Svaka mikromreža se sastoji od istosmjernog dijela zbog istosmjernog izvora napajanja ( u našem slučaju fotonaponski moduli). U svim tipovima je istaknuta prednost korištenja spremnika energije jer ponekad potrošnja može biti puno veća od moguće proizvodnje, stoga, kako krajnji potrošač ne bi osjetio izostanak energije, moguće je koristiti energiju koja se nalazi pohranjena u različitim tipovima spremnika. Tip izmjenične mikromreže može biti primijenjen u područjima gdje ne postoji olakšan pristup glavnoj mreži, npr. vikendice. Pomoću njega je moguće zadovoljiti lokalnu potrošnju i opskrbiti potrošače, a kada se objekt ne koristi proizvedenu energiju je moguće pohraniti. Najkompleksniji primjer je hibridna mikromreža koja će najviše primjenjivati u budućnosti. Nju karakteriziraju mogućnost otočnog rada i rada s priključkom na mrežu. Spajanjem na mrežu moguće je zadovoljiti potražnju, neovisno o proizvedenoj energiji iz distribuiranog izvora, a osim potražnje, višak proizvedene energije je moguće predavati nazad u mrežu. Time se pridonosi stabilnosti glavne mreže, a proizvođač može imati financijsku korist. Ukoliko dođe do nestanka električne energije moguće je prebaciti se u otočni režim rada, prilikom čega bi korišteni izmjenjivač imao ulogu neprekidnog izvora napajanja i krajnji korisnik ne bi osjetio posljedice. U svakom tipu su prisutni gubici zbog korištenih komponenti i pretvorbe energije iz istosmjerne u izmjeničnu i obrnuto. Sam sustav pretvorbe



energije ima visoku učinkovitost unatoč gubicima, a može se poboljšati korištenjem naprednijih tehnologija i upravljanjem radom sustava.

## LITERATURA

- [1] M. Aragüés-Peñalba and A. Sumper, Microgrids: Printed Edition of the Special Issue Published in Applied Sciences, Switzerland 2019.
- [2] UK Power Networks Services, dostupno na:  
<https://ukpowernetworksservices.co.uk/insights-and-news/introduction-to-microgrids/>  
[13.06.2021.]
- [3] Aimal Khan, All You Need to Know About Microgrids – Concept Explained, dostupno na: <https://www.engineeringpassion.com/all-you-need-to-know-about-microgrids-concept-explained/> [02.07.2021.]
- [4] Zvonimir Klaić, Integracija OIE i napredne mreže, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2020
- [5] Elisa Wood, What is a Microgrid? , 2020. dostupno na:  
<https://microgridknowledge.com/microgrid-defined/> [19.06.2021.]
- [6] Ghazanfar Shahgholian, A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control, 2021. dostupno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2050-7038.12885> [05.07.2021.]
- [7] Morgan Krueger, The Pros and Cons of Microgrids, dostupno na:  
<https://www.pacificdataintegrators.com/insights/microgrid-pros-and-cons> [27.06.2021.]
- [8] Santiago Miret, How To Build A Microgrid, 2015., dostupno na:  
<https://blogs.berkeley.edu/2015/02/25/how-to-build-a-microgrid/> [29.6.2021.]
- [9] IEEE-PES Task Force on Microgrid Control, Trends in Microgrid Control, 2014., dostupno na: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/126993/Trends-in-Microgrid-Control.pdf?sequence=1> [01.07.2021.]
- [10] N. Hatziargyriou, Microgrids: Architectures and Control, John Wiley & Sons Ltd, UK, 2014.
- [11] Tvrtka Victron Energy, BlueSolar MPPT 75/10, 75/15, 100/15 & 100/20 - datasheets, dostupno na: <https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/mppt7510#datasheets> [13.07.2021.]
- [12] Tvrtka Victron Energy, BMV 702 - datasheets, dostupno na:  
<https://www.victronenergy.com/battery-monitors/bmv-702#datasheet> [14.07.2021.]
- [13] Tvrtka Victron Energy, Gel and AGM Batteries - datasheet, dostupno na:  
<https://www.victronenergy.com/batteries/gel-and-agm-batteries#datasheets> [14.07.2021.]

- [14] Tvrtnka Victron Energy, MultiPlus - datasheet, dostupno na:  
<https://www.victronenergy.com/inverters-chargers/multiplus-12v-24v-48v-800va-3kva#datasheets> [14.07.2021.]
- [15] Tvrtnka Victron Energy, Phoenix Inverter VE.Direct - datasheet, dostupno na:  
<https://www.victronenergy.com/inverters/phoenix-inverter-vedirect-250va-800va#datasheet> [14.07.2021.]
- [16] Tvrtnka a-eberle, Mrežni analizator - datasheet, dostupno na: [https://www.a-eberle.de/wp-content/uploads/2021/02/TD\\_PQBox200\\_EN.pdf](https://www.a-eberle.de/wp-content/uploads/2021/02/TD_PQBox200_EN.pdf) [22.07.2021.]
- [17] Tvrtnka Luxor Solar, fotonaponski modul - dostupno na: <https://www.luxor.solar/en/solar-modules/eco-line/eco-line-classic.html> [23.07.2021.]
- [18] Tvrtnka Luxor Solar, fotonaponski modul – datasheet, dostupno na:  
[https://www.luxor.solar/files/luxor/download/datasheets/LX\\_EL\\_M60\\_BF\\_310-330W\\_1665x1002x35\\_158cs\\_en\\_low.pdf](https://www.luxor.solar/files/luxor/download/datasheets/LX_EL_M60_BF_310-330W_1665x1002x35_158cs_en_low.pdf) [23.07.2021.]
- [19] Office of Electricity, The Role of Microgrids in Helping to Advance the Nation's Energy System, dostupno na: <https://www.energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid/role-microgrids-helping> [19.08.2021.]

## SAŽETAK

Kroz ovaj rad definiran je pojam mikromreže, pojašnjene su prednosti i nedostaci koje one donose, te su navedene njihove glavne karakteristike i područja primjene. Prikazana je kategorizacija mikromreža i njihova osnovna podjela prema načinu rada i prema distribucijskom sustavu. Definiranjem ključnih elemenata u mikromrežama napravljen je uvod u opis komponenti koje su se koristile u praktičnom dijelu diplomskoga rada. Opisana je struktura upravljanja i mogućnost kontrole mikromrežama što je od velike važnosti prilikom implementacije mikromreže u elektroenergetski sustav. Razinama upravljanja predstavljene su 3 osnovne razine kontrole koje se danas koriste pri radu s mikromrežama. U praktičnom dijelu prikazan je rad tri tipa mikromreža: istosmjerna mikromreža, izmjenično/istosmjerna mikromreža i hibridno izmjenično/istosmjerna mikromreža. Podijeljene su prema načinu rada: otočni pogon ili spoj na glavnu mrežu i prema distribucijskom sustavu: istosmjerne i izmjenične mikromreže. Princip rada sva tri tipa je jednak. Električna energija se proizvodi u fotonaponskom modulu, a višak energije se pohranjuje u baterije. Ovisno o tome je li mikromreža istosmjerna ili izmjenična, proizvedenom energijom se opskrbljuje istosmjerno odnosno izmjenično trošilo. Prikupljanjem i analiziranjem podataka mjerenja prikazani su grafovi snaga i učinkovitosti za svaki tip mikromreže. Ispitan je rad releja koji se primjenjuje u hibridnom tipu kako bi se omogućila njegova primjena u svakodnevne svrhe.

Ključne riječi: baterije, fotonaponski modul, izmjenjivač, mikromreža, obnovljivi izvori

## **ABSTRACT**

Through this thesis, the concept of microgrid is defined, the advantages and disadvantages they bring are explained, and their main characteristics and areas of application are listed. The categorization of microgrids and their basic classification according to the mode of operation and according to the distribution system are presented. By defining the key elements in microgrids, an introduction was made to the description of the components used in the practical part of the thesis. The management structure and the possibility of microgrid control are described, which is of great importance during the implementation of the microgrid in the electric power system. The management levels present 3 basic levels of control that are used today when working with microgrids. In the practical part, the operation of three types of microgrids is presented: DC microgrid, AC / DC microgrid and hybrid AC / DC microgrid. They are divided according to the mode of operation: island mode or connected to the main grid mode and according to the distribution system: DC and AC microgrids. The working principle of all three types is the same. Electricity is produced in the photovoltaic module, and excess energy is stored in batteries. Depending on whether the microgrid is DC or AC, the produced energy is supplied to the DC or AC consumer. By collecting and analyzing the measurement data, power and efficiency graphs are shown for each microgrid type. The operation of a relay used in the hybrid type was examined to enable its application for everyday purposes.

Keywords: batteries, inverter, microgrid, photovoltaic module, renewable sources

## **ŽIVOTOPIS**

Mateo Uremović rođen je 27.09.1997. u Našicama. Završio je Osnovnu školu kralja Tomislava u Našicama. Po završetku osnovne škole upisuje Srednju školu Isidora Kršnjavog u Našicama, smjer Opća gimnazija. Srednju školu završava 2016. godine i iste godine upisuje fakultet. Prilikom upisa, student ostvaruje izravan upis na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Odabire preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika uz opredjeljenje na 2. godini na smjer Elektroenergetika. Nakon preddiplomskog studija upisuje diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika, izborni blok Održiva elektroenergetika. Kao nagradu za trud i rad, student u akademskoj godini 2018./2019. stječe pravo na STEM stipendiju financiranu od strane Europske unije, a u akademskoj godini 2020./2021. dobiva nagradu za postignut uspjeh u studiranju. Uz hrvatski jezik, aktivno govori engleski jezik i pasivno njemački jezik.