

# Optimizacija pogona mikromreže s integriranim malim industrijskim postrojenjima

---

**Iljkić, Anton**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:287319>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**

*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**

**OPTIMIZACIJA POGONA MIKROMREŽE S**  
**INTEGRIRANIM MALIM INDUSTRIJSKIM**  
**POSTROJENJEM**  
**Diplomski rad**

**Anton Ilkić**

**Osijek, 2022.**

---

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1 Opis zadatka</b> .....	2
<b>2. PREGLED PODRUČJA LITERATURA</b> .....	3
<b>3. MIKROMREŽE</b> .....	5
<b>3.1 Sastav mikromreže</b> .....	6
<b>3.2 Struktura mikromreže</b> .....	7
<b>3.3 Sustavi pohrane u mikromrežama</b> .....	10
<b>4. MALA INDUSTRIJSKA POSTROJENJA</b> .....	12
<b>4.1 Kompenzacija gubitaka u malim industrijskim postrojenjima</b> .....	13
<b>5. ANALIZA I SIMULACIJA U DIgSILENT POWER FACTORY PROGRAMU</b> .....	16
<b>5.1 Scenarij 1 - Analiza prije uključenja malog industrijskog postrojenja</b> .....	17
<b>5.2 Scenarij 2 - Integracija malih industrijskih postrojenja</b> .....	20
<b>5.2.1. Prvi način- dodavanje malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633</b> .....	20
<b>5.2.2. Drugi način - dodavanje malog industrijskog postrojenja na sabirnice 633 i 692</b> .....	24
<b>5.2.3. Treći način - dodavanje malog industrijskog postrojenja na 633, 692 i 675</b> .....	27
<b>5.3 Scenarij 3 - Integracija baterijskog spremnika baterije</b> .....	30
<b>5.4 Scenarij 4 - Integracija kondenzatorskih baterija</b> .....	34
<b>5.4.1. Prvi način- dodavanje kondenzacijskih baterija snage 0.0345 Mvar</b> .....	35
<b>5.4.2. Drugi način- dodavanje kondenzacijskih baterija snage 0.2 Mvar</b> .....	39
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	44
<b>LITERATURA</b> .....	46
<b>SAŽETAK</b> .....	49
<b>SUMMARY</b> .....	49
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	50

## 1. UVOD

Povećanje potrebe korisnika za električnom energijom u sustavima današnjice koji teže ka povećanju svojih kapaciteta dovodi do neravnoteže između proizvodnje i potrošnje. Kako bi korisnici bili opskrbljeni što kvalitetnijom energijom nastoji se implementirati što više mikromreža koje nude mogućnost samostalne opskrbe električnom energijom. Takav način mijenja tokove snaga u mreži jer klasičan elektroenergetski sustav funkcionira na način da je tok energije usmjeren od proizvođača, točnije proizvodnih jedinica kao što su velike elektrane, do potrošačkih jedinica.

Mikromreža nudi mogućnost implementacije obnovljivih i neobnovljivih izvora energije u svoj sustav, te kao takva postaje aktivna. Pored navedenog, ovakav sustav ima mogućnost otočnog pogona u slučaju iznenadnih kvarova u mreži, poremećaja i nižeg napona. Razvojem računalnih sustava i informacijskih tehnologija se pridonijelo usavršavanje kontrole i nadzora mikromreža. U ovakvim sustavima se vrši komunikacija između pojedinih centara, što pridonosi lakšoj detekciji i otklanjanju poremećaja. Mikromreža kao aktivna mreža narušava tokove snaga u sustavu i utječe na naponsku stabilnost i frekvenciju. Da bi se ostvarilo povezivanje sa distribucijskom mrežom važno je uspostaviti sinkronizaciju u vidu napona i frekvencije. U slučaju nižeg napona ili velike potražnje za energijom tijekom velikih opterećenja se koriste baterijskih spremnici energije čiji je zadatak davanje snage u mrežu. Unutra sustava mikromreže se mogu se nalaziti mala industrijska postrojenja čija je svrha proizvodnja dobara uz pomoć materijalnih resursa namijenjenih za životne potrebe čovjeka i njegove okoline. Ovakvi pogoni u sebi imaju integriranje motorne jedinice koje električnu snagu pretvaraju u mehaničku te time upotpunjuju sam proizvodni proces. Integracija pogona na mrežu dovodi do utjecaja na napon, te povećanje gubitaka koji se odražavaju na mrežu. To predstavlja problem jer se gubitci moraju kompenzirati, a cilj je postići što bolju učinkovitost. Kako pogon ne bi ovisio o opskrbi samo o proizvođaču, mikromreža nudi mogućnost napajanja od strane obnovljivih ili neobnovljivih izvora električne energije koji se nalaze u neposrednoj blizini industrijskih proizvodnih pogona. Da bi se predstavile električne fizikalne veličine važno je ostvariti matematički temelj koji je baziran na analitičkim metodama kao šira slika predodžbe rezultata.[1]

Diplomski rad se sastoji od 6 poglavlja, gdje prvo poglavlje predstavlja uvod, drugo kratki pregled područja literatura, a u trećem poglavlju se objašnjava opis i podjela mikromreža. Četvrto poglavlje je vezano za mala industrijska postrojenja, a peto poglavlje predstavlja analizu i

simulaciju u programskom paketu DIgSILENT Power Factory 2022. Šesto poglavlje čini zaključak kao konačan rezime cijelog rada.

## **1.1 Opis zadatka**

Cilj diplomskog rada je optimizacija pogona mikromreže s integriranim malim industrijskim pogonima. Nakon teorijskog pregleda metoda optimizacije i izrade simulacijskog modela mikromreže, s obzirom na različite pogonske režime integriranih OIE kao i industrijskih postrojenja, primjenom optimizacijske metoda(e) odrediti optimalni pogonski režim malih industrijskih postrojenja (potrošnju) s obzirom na ukupne gubitke i naponske prilike u mreži. Osmotriti scenarije dodatnog povećanja integracije industrijskih postrojenja i/ili OIE u mikromreži.

## 2. PREGLED PODRUČJA LITERATURA

Iz literature [1] je vidljivo kako je mikromreža vitalna tehnologija koja se može koristiti za opskrbu električnom energijom ruralnih područja ispunjavanjem različitih aspekata električne energije kao što su održivost i pouzdanost. Nadalje, mikromrežna tehnologija se također može koristiti kao lokalizirani izvor proizvodnje i rezervni izvor opskrbe. Budući da mikromreža može raditi u međusobno povezanom načinu rada, postavljaju se različita pitanja vezana uz međusobno povezivanje s ostatkom distributivne mreže.

Autor [2] usredotočuje na "napredne mikromreže " gdje se odjeljci iz nužde pozivaju na današnje komercijalno dostupne sustave i instalacije kako bi se jasno razlikovale prednosti i nedostaci. Jedna popularna definicija koja je razvijena i koristi se u brojnim referencama jest da je mikromreža skupina međusobno povezanih opterećenja i distribuiranih energetske resursa unutar jasno definiranih električnih granica koji djeluju kao jedinstveni upravljivi entitet u odnosu na mrežu. Mikromreža se može spajati i odvajati od ostatka distributivne mrežekako bi omogućila rad u mrežnom ili otočnom načinu rada.

Napredne strategije upravljanja vitalne su komponente za realizaciju mikromreža što je vidljivo iz literature [3]. Ovaj rad daje pregled statusa strategija hijerarhijskog upravljanja primijenjenih na mikromreže i raspravlja o budućim trendovima. Ova hijerarhijska upravljačka struktura sastoji se od primarne, sekundarne i tercijarne razine i svestrani je alat za upravljanje stacionarnim i dinamičkim performansama mikromreža uz uključivanje ekonomskih aspekata. Uspoređeni su različiti pristupi upravljanju i istaknute njihove prednosti. Osim toga, raspravlja se o koordinaciji između različitih kontrolnih hijerarhija

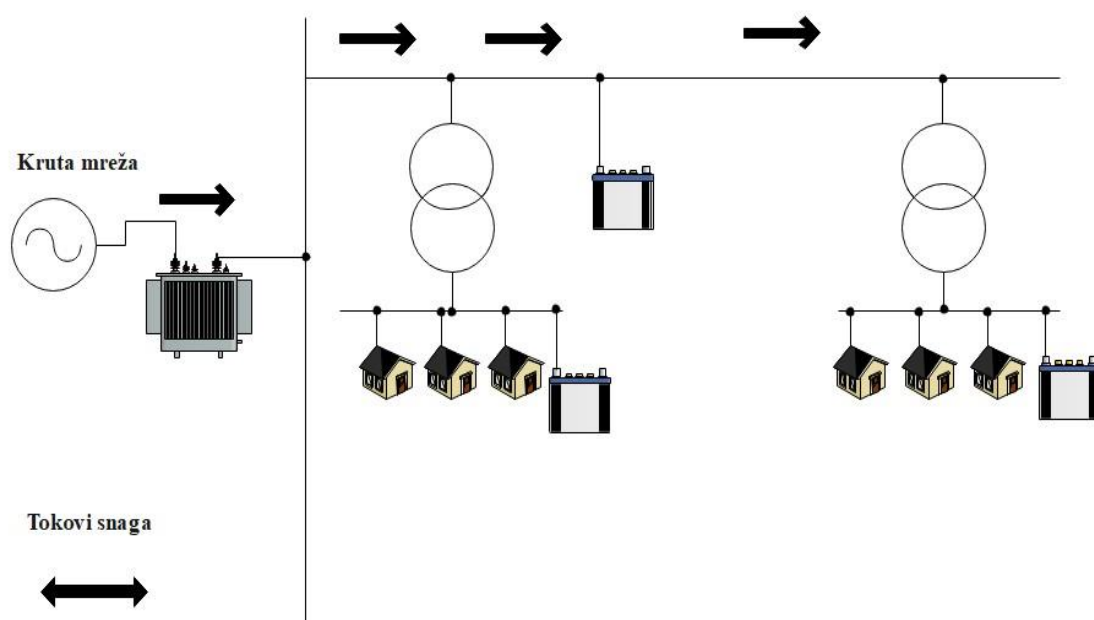
Autor iz literature [4] predstavlja kako su mikromreže sustavi koji integriraju distribuirane obnovljive izvore energije, upravljiva opterećenja i skladištenje energije na ekonomičniji i pouzdaniji način. Ciljevi su postići optimalnu raspodjelu upravljivih opterećenja i generatora, kao i učinkovito korištenje baterijskog skladišta svake mikromreže.

U literaturi [5] se razmatra problem optimalne kompenzacije jalove snage za minimiziranje gubitaka u distribuciji električne energije u pametnoj mikromreži. Razmatra se specifičan problem

upravljanja mikro generatorima spojenim na mikromrežu, kako bi se postigla optimalna injekcija jalove snage.

### 3. MIKROMREŽE

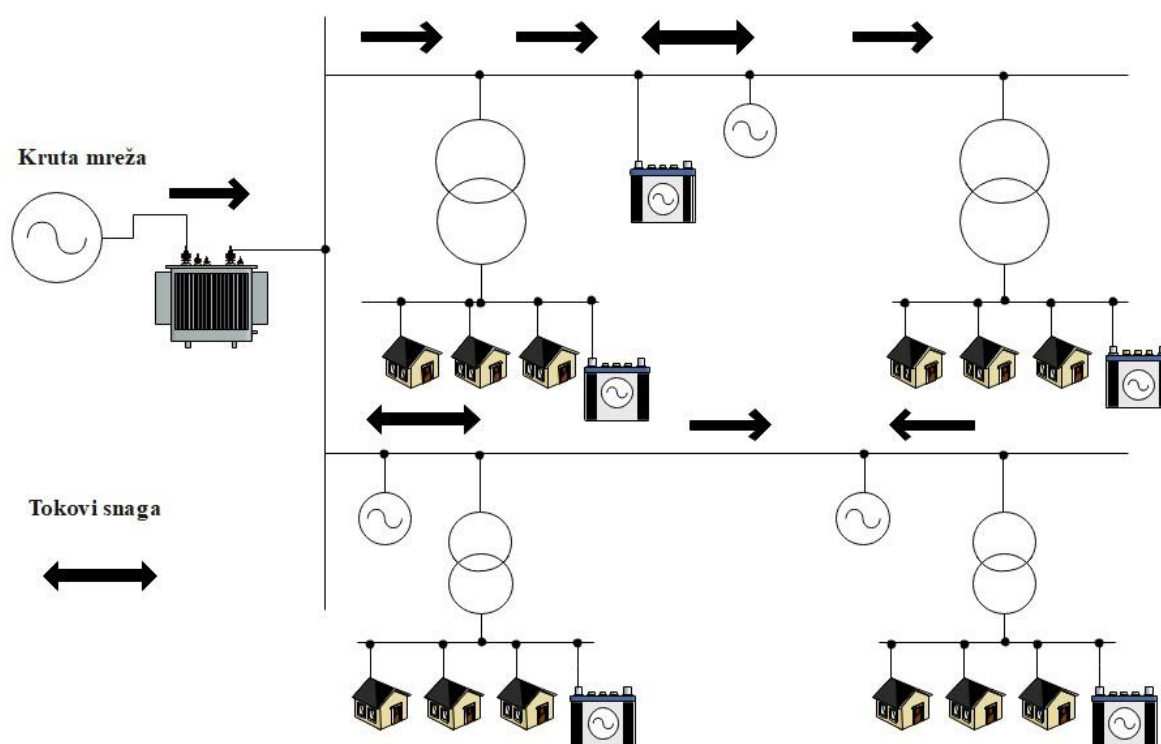
Snaga mikromreže je manja u odnosu klasični elektroenergetski sustav. Vodovi mikromreže su u pogonu na srednjem naponu gdje je odnos između otpora i reaktancije niži u usporedbi s klasičnim elektroenergetskim sustavom [6]. Integracija mikromreža u postojeći elektroenergetski sustav izaziva promjene napona, frekvencije i tokova snaga. Opterećenja mikromreža su manja od klasičnih mreža, te kao takve imaju brze promjene tokova snaga zbog utjecaja obnovljivih i neobnovljivih izvora električne energije. Ravnoteža između proizvodnje i potrošnje električne energije je narušena iz razloga što mikromreža unutar sebe ima dodatne izvore energije, te kao takva nije pasivna mreža koja je prikazana na slici 3.1 [7].



Slika 3.1 Prikaz pasivne mikromreže [8]

Kako bi se korigirao utjecaj koji prouzrokuju obnovljivi izvori s proizvodnjom ovisnom o meteorološkim prilikama, izvršava se priključenje baterijskih spremnika. Zaštita i upravljanje su bitna stavka koju zahtijevaju potrošači kako bi se zadovoljila njihova potreba za energijom [9]. Kada je riječ o aktivnoj mreži prikazanoj na slici 3.2 koja u sebi posjeduje obnovljive i neobnovljive izvore električne energije, to omogućuje tok energije u dva smjera.





Slika 3.2 Prikaz aktivne mikromreže [8]

Za nadzor i regulaciju napona i snaga mikromreže koriste se komunikacijski i informacijski sustavi koji podižu mrežu na veću i napredniju razinu [8]. Distributivni izvori električne energije su smješteni u blizini potrošača i imaju učinak na minimiziranje gubitaka, te povećanje napona uslijed promjenjivih opterećenja. Pri nastupu kvarova od strane distribucijske mreže moguć je otočni pogon pri kojem se mikromreža odspoji od spomenute mreže. U takvom slučaju distributivni izvori unutar mikromreže vrše opskrbu električne energije [10].

### 3.1 Sastav mikromreže

Bitna stavka prilikom rada mikromreže je dobra povezanost i konekcija komponenti kako bi mreža radila kao cjelina. [11]

Najčešće korišteni distributivni izvori u mikromreži predstavljaju se pomoću obnovljivih izvora energije. Kao primjer se mogu uzeti vjetroelektrane te foto-naponske elektrane vidljive iz slike 3.3. [12]



**Slika 3.3** Prikaz fotonaponskih panela

### 3.2 Struktura mikromreže

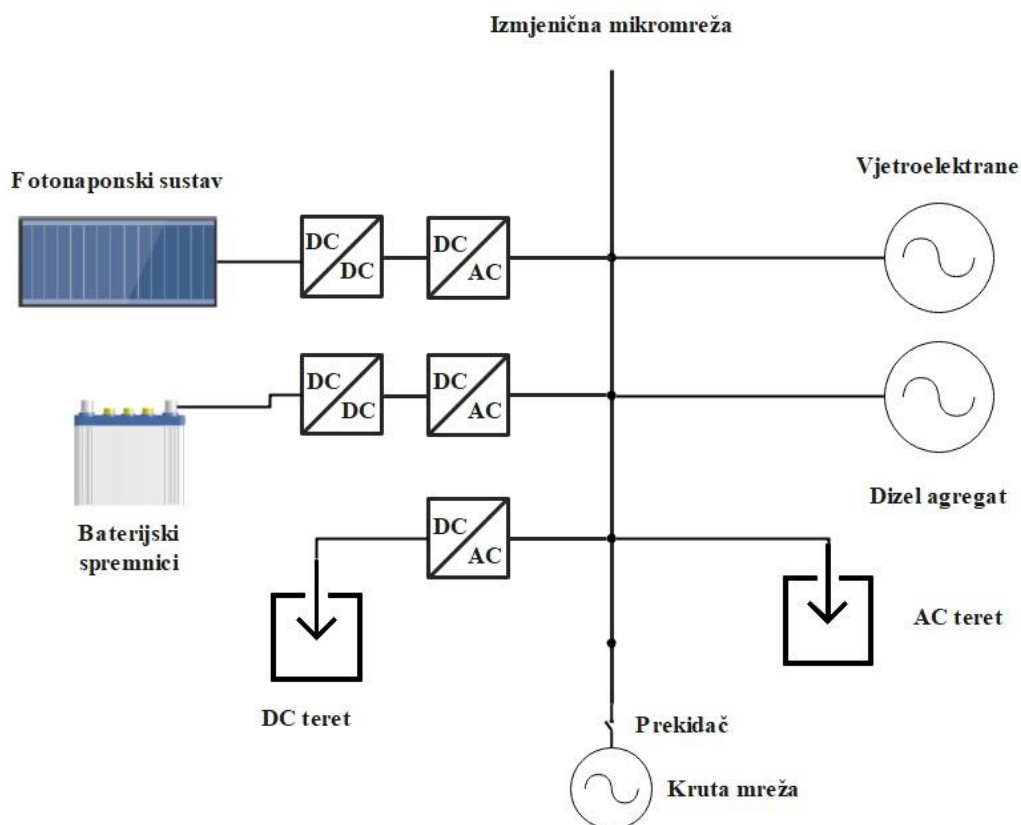
Mikromreže se dijele na tri vrste, a to su izmjenične i istosmjerne mikromreže, te hibridne koje su kombinacije istosmjerne i izmjenične mikromreže. Ovisno o mjestu, vrsti i primjeni korisnika u mikromreži, dijele se na potrošačke mikromreže, poslovne mikromreže i razdvojene mikromreže [13].

Mikromreže izmjenične struje su mreže koje u sebi imaju implementirane distributivne izvore izmjenične snage kao što su vjetroelektrane i fotonaponski sustavi sa istosmjerno-izmjeničnim pretvaračem koji su priključeni na sabirnicu izmjeničnog napona prikazano na slici 3.4 [10].

Prednosti takve mikromreže su:

- Tijekom prijelaznih pojava koji se odvijaju u nadređenoj mreži, postoji mogućnost odspajanja od mreže što rezultira smanjenjem opterećenja u mikromreži koja je u pogonu
- Poboljšava učinkovitost cjelokupnog sustava integracijom raznovrsnih izvora električne energije.

- Prilikom implementacije mikromreža se osigurava bolja pouzdanost i kvaliteta električne energije, te se potražnja i proizvodnja u vidu troškova minimiziraju za potrebe potrošača [14].

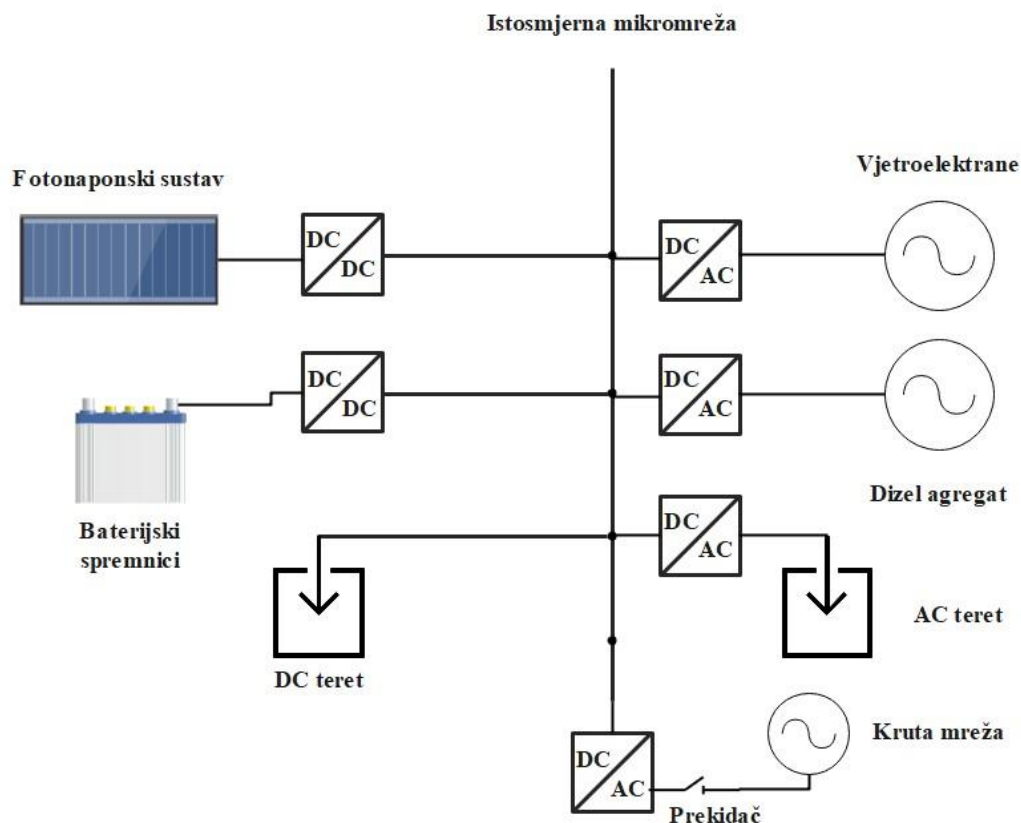


**Slika 3.4** Prikaz izmjenične mikromreže [10]

Mikromreže istosmjerne struje su mreže koje u sebi imaju implementirane distributivne izvore istosmjerne snage kao što su električna vozila i brodovi, te telekomunikacijski sustavi. Takve mreže su namijenjene za osjetljive elektroničke uređaje koji se nalaze u poslovnim centrima i drugim javim sustavima što je uočljivo iz slike 3.5 [13].

Prednosti takve mikromreže su:

- Nepotreban nadzor nad frekvencijom i jalovom snagom, te sinkronizmom mikromreže
- Nije potreban transformator čime se izbjegava utjecaj udarne struje.
- Izbjegavanje kvarova i direktno priključenje istosmjernih opterećenja.
- Dobra naponska stabilnost koja ovisi o mrežnoj snazi [14]

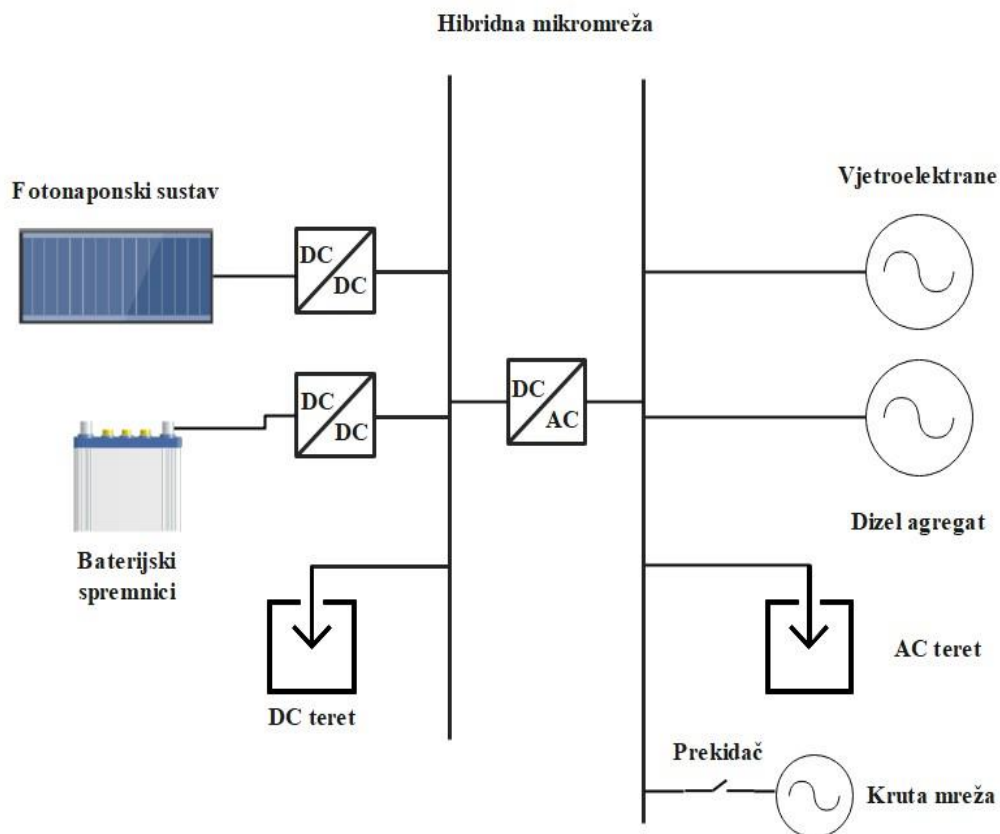


**Slika 3.5** Prikaz istosmjerne mikromreže [13]

Mikromreže kombinirane istosmjerne i izmjenične struje su mreže koje upotrebljavaju izmjeničnu i istosmjernu energiju vidljivo u slici 3.6. Spajanje uređaja za spremanje energije osigurava se pomoću istosmjerne energije, te su potrebni dvosmjerni pretvarači radi povezivanja izmjeničnih trošila i istosmjerne energije [13].

Prednosti hibridne mikromreže su:

- Nadzor različitih uređaja koji se baziraju na istosmjernom ili izmjeničnom naponu radi smanjenja stupnjevite promjene, te smanjenjem gubitaka. Takva prednost hibridne mikromreže osigurava bolji i sigurniji nadzor nad sustavima baziranim na istosmjernoj struji kao što su foto naponi ili gorive ćelije.
- Nije potrebno uspostaviti sinkronizaciju između proizvodnih sustava i pohrane iz razloga što su direktno povezani s istosmjernom ili izmjeničnom mrežom.
- Uporaba transformatora rezultira izmjenu razina napona sa izmjenične strane, dok se sa istosmjerne strane koriste pretvarači istosmjerne struje kako bi se izvršila pretvorba [15].



**Slika 3.6** Prikaz hibridne mikromreže[13]

### 3.3 Sustavi pohrane u mikromrežama

Sustave za pohranu energije je moguće podijeliti na pet vrsta, a to su mehanički, elektrokemijski, termički, kemijski i električni sustavi.[16] Kada je riječ o mikromrežama, najkorišteniji sustav za pohranu energije je električni u obliku baterija što je prikazano na slici 3.7. Funkcija baterijskih spremnika je takva da po potrebi daju snagu u mrežu, a to je u slučajevima nižeg napona i narušene ravnoteže između proizvodnje i potrošnje energije u sustavu [17].



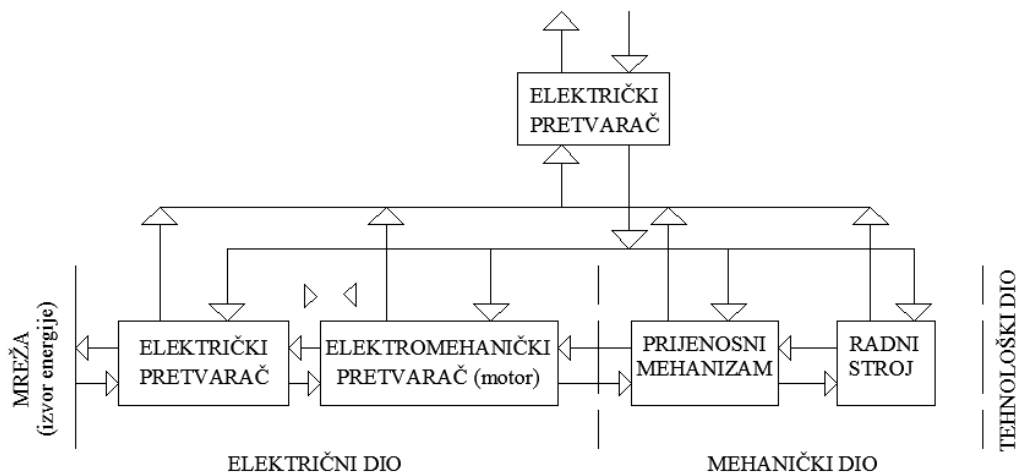


Slika 3.7 Prikaz baterijskog spremnika

## 4. MALA INDUSTRIJSKA POSTROJENJA

Industrijska postrojenja male snage imaju primjenu u proizvodnji dobara, bolnicama, te u primarnim industrijskim jedinicama. Ovakva postrojenja objedinjuju elektromotorne pogone čiji je zadatak pretvorba električne energije u mehaničku, te pokretanje proizvodnih procesa u vidu transporta, kompresora i pumpnih mehanizama. Pogon kao takav može biti se upravljati od strane čovjeka ili automatiziranim putem. Kod postrojenja namijenjenih za proizvodne procese je potrebno nadzirati veličine kao što su moment, snage, brzina vrtnje i struje. Pogon može biti u dva stanja, a to je dinamičko stanje i stacionarno stanje. Pri stacionarnom stanju ne dolazi do promjena fizikalnih veličina, a pri dinamičkom stanju dolazi do promjena fizikalnih veličina tijekom perioda promatranja [18].

Elektromotorni pogon čine četiri dijela, a to su radni mehanizmi, spojke i remenice kao poveznica između motora i radnog mehanizma, električni motor koji električnu energiju pretvara u mehaničku energiju i priključci koji povezuju električni motor sa mrežom [19]. Komponente pogona su prikazane na slici 4.1.



**Slika 4.1** Komponente elektromotornog pogona [19]

Integracija malih industrijskih postrojenja ne zahtjeva dodatna ekonomska ulaganja u svrhu amortizacije i a implementaciju imaju u poljoprivrednim, javnim ustanovama i manjim proizvodnim jedinicama. Ovakva postrojenja zahtijevaju minimalno vrijeme puštanja u pogon. Glavni nedostatak je isporuka električne energije na veće udaljenosti [20].

Iz ekonomskih razloga gubitci u malim postrojenjima trebaju biti što mali jer se manifestiraju u obliku prekomjernog zagrijavanja namota na strojevima što prouzrokuje oštećenje

i nepravilan rad pogona. U malim industrijskim postrojenjima koji sadrže asinkrone motore razvijaju se gubitci koji su prikazani formulom [21]:

$$P_{meh} = P + P_{dmeh} + P_{dad} \quad (4-1)$$

gdje su:

- $P_{dmeh}$  – Gubitci nastali trenjem i utjecajem ventilacije
- $P_{dad}$  – Gubitci nastali djelovanjem viših harmonika

Pri uključenju asinkronog motora na mrežu se razvijaju gubitci koji su prikazani formulom [21]:

$$P_{\delta} = P_{in} - P_{ws} - P_{Fes} \quad (4-2)$$

gdje su:

- $P_{in}$  – Ulazna električna snaga motora koju uzima iz mreže,
- $P_{ws}$  – Gubitci namota na statoru,
- $P_{Fes}$  – Gubitci u željeznoj jezgri,
- $P_{\delta}$  – Gubitci zračnog raspora

Pored navedenog, priključenje malih industrijskih postrojenja na mrežu izaziva povećanje djelatnih i jalovih gubitaka. Ovaka postrojenja su snage od 30 kW do 100 kW, te teže ka tome da ovise o vlastitim izvorima električne energije u vidu obnovljivih i neobnovljivih izvora.[21]

#### 4.1 Kompenzacija gubitaka u malim industrijskim postrojenjima

Kako bi se minimizirao utjecaj jalove snage koriste se uređaji kako bi se povećao  $\cos\varphi$ , smanjili gubitci i naponi na vodovima sustava što rezultira smanjenjem troškova opskrbe [22]. Jedan od uređaja koji se koristi za kompenzaciju jalove snage je kondenzatorska baterija prikazana na slici 4.2 čiji je zadatak injektiranje jalove snage u mreži da bi se povećao napon na mjestima gdje je priključeno postrojenje ili neki drugi element. Mogu biti spojeni u zvijezdu ili trokut spoj, a primjenjuju se u mrežama većeg, srednjeg i nižeg naponskog nivoa. Najpogodnije mjesto za ugradnju je ili priključka postrojenja ili potrošača što rezultira promjenom tokova snaga rasterećujući tok jalove snage. Kondenzatorska baterija je prikazan na slici 4.2. Kondenzatorske baterije se mogu podijeliti na niskonaponske i visokonaponske. Baterije niskog napona su



konstruirane od metalne polipropilen folije, te obnovljivog dielektrika, dok se ostali elementi smještaju u aluminijsko kućište u kojem se nalazi ulje koje je razgradivo i neotrovno. Analogno tome identične konstrukcije su i baterije višeg napona koje stvaraju male gubitke. Da bi se kondenzatorska baterija uklopila koriste se tiristori ili poluvodički ventili. Uključenje nastupa kada struja prilazi kroz nulu [22].



**Slika 4.2** Prikaz kondenzatorske baterije[22]

Kako bi se popravio faktor snage prilikom priključenja malih industrijskih postrojenja koje u sebi sadrže motorne pogone, važno je odabrati adekvatne parametre kondenzatorske baterije. Snaga kondenzatorske baterije se određuje sljedećim izrazom [22]:

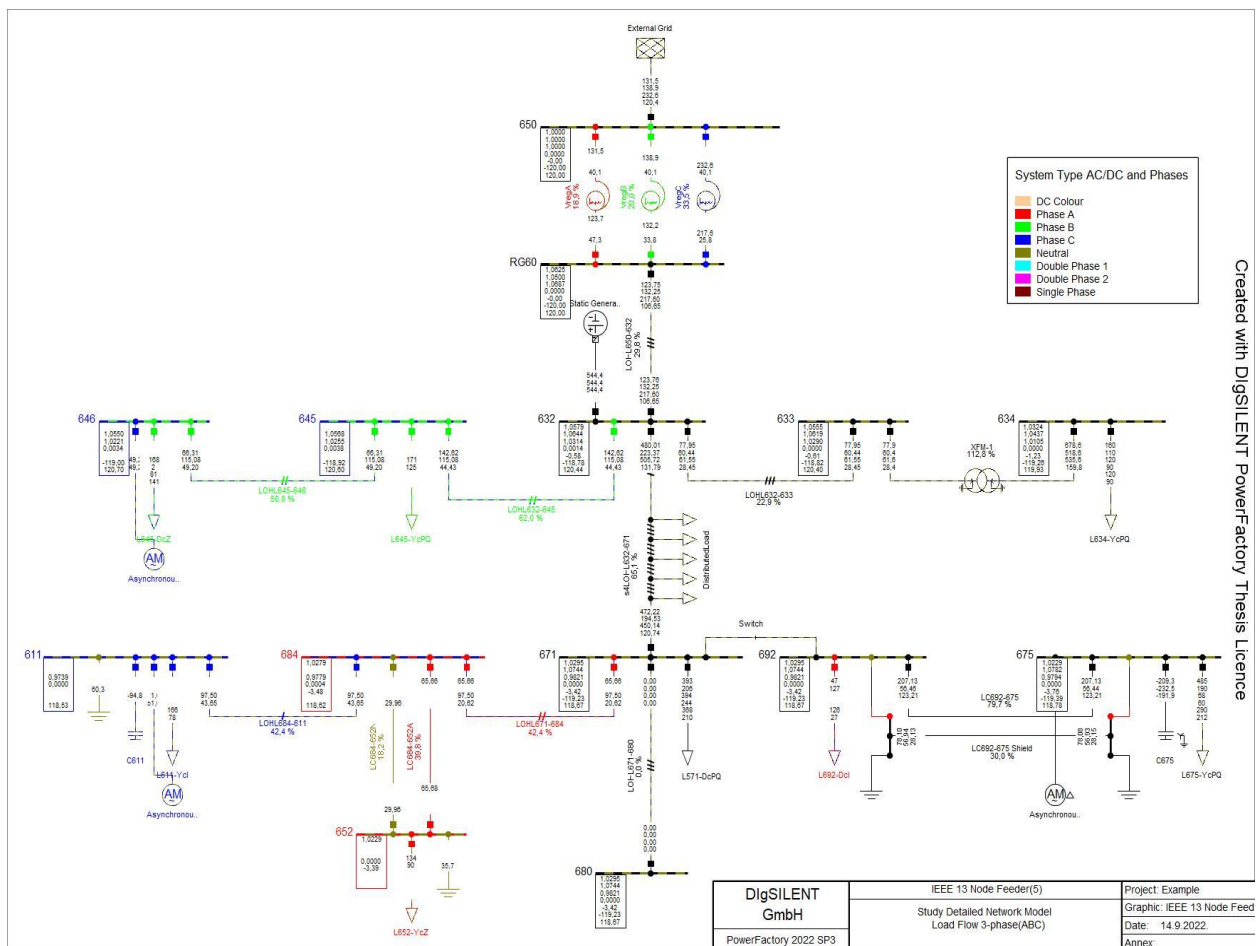
$$Q = P (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$$

gdje P predstavlja djelatnu snagu priključenog postrojenja,  $\varphi_1$  predstavlja početni kut,  $\varphi_2$  predstavlja krajnji kut, a Q predstavlja jalovu snagu baterije.



## 5. ANALIZA I SIMULACIJA U DIGSILENT POWER FACTORY PROGRAMU

IEEE 13 sabirnički testni sistem je poslužio za provedbu analize i simulacije vezane za optimizaciju malog industrijskog pogona unutra mikromreže vidljiv na slici. Ovakav testni sustav objedinjuje radijalne izvore, te je sustav nesimetričan. Unutar sustava se nalaze trafostanice, podzemni i nadzemni vodovi, pojni vodovi pod naponom 4,16 kV i opterećenja nesimetričnog karaktera. Na osnovu IEEE 13 testnog sabirničkog sistema se prikazuje integracija malih industrijskih postrojenja na mikromrežu, te se promatraju tokovi snaga, djelatni i jalovi gubitci kao i iznosi napona i struja.



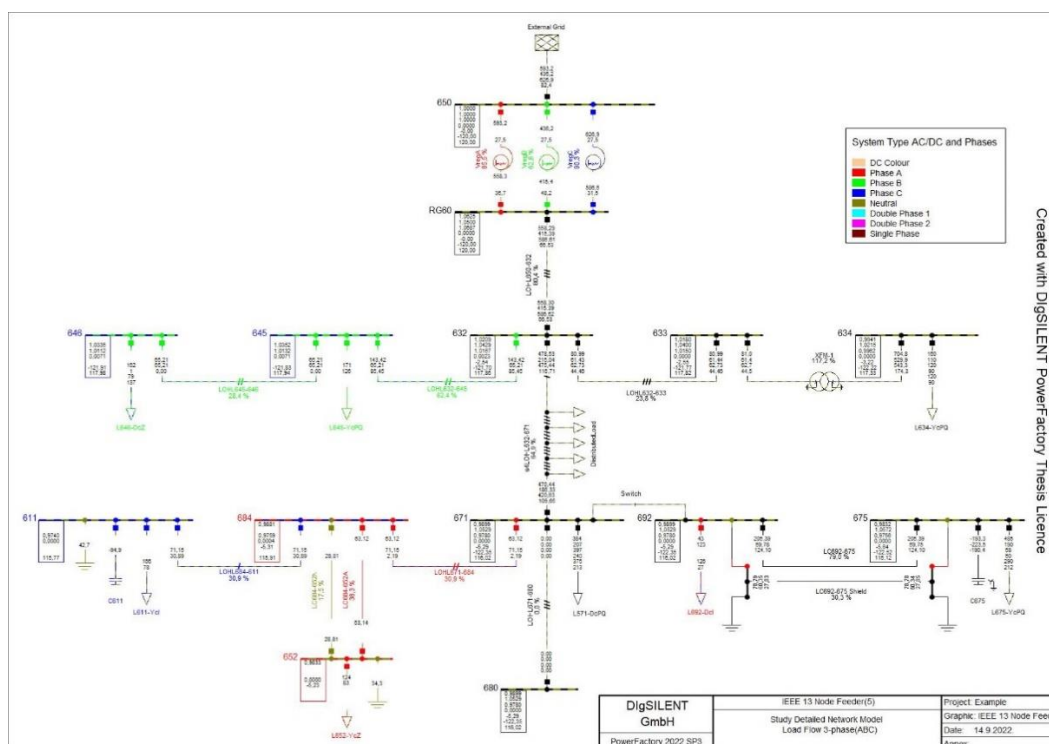
Slika 5.1 Shema IEEE 13 sabirničkog testnog sustava

U radu se obrađuje četiri scenarija. Prvi scenarij, osnovni, je analiza postojeće mreže u odnosu na koju će se analizirati utjecaj priključenja baterijskih spremnika i malog industrijskog potrošača. U drugom scenariju se postepeno spajaju na sabirnice 633, 692 i 675 mali industrijski potrošač djelatne snage 41,11 kW i jalove snage 34,5 kr. Unutar tog scenarija je analizirano

priključenje potrošača na različite sabirnice. Provedeni su proračuni tokova snaga i analizirani naponi sabirnica te gubici u sustavu. Treći scenarij je izveden da su na sabirnicama 633, 692 i 675 ostali spojeni mali industrijski potrošači, te je dodan baterijski spremnik djelatne snage 0,2 MW i jalove snage 0,2 Mvar na sabirnicu 632 kao čvorište mreže. Snaga baterijskog spremnika je odabrana analitičkom metodom i odabrana je snaga pri kojoj su gubici minimalni. Četvrti scenarij je isti kao i treći samo što se umjesto baterije na centralnoj sabirnici dodaju kondenzatorske baterije jakosti 0,0345 Mvar i 0,2Mvar na sabirnicama gdje su spojena i mala industrijska postrojenja. Za sva četiri scenarija su analizirani gubici i naponske prilike te su rezultati prikazani grafički i uspoređeni za pojedine scenarije.

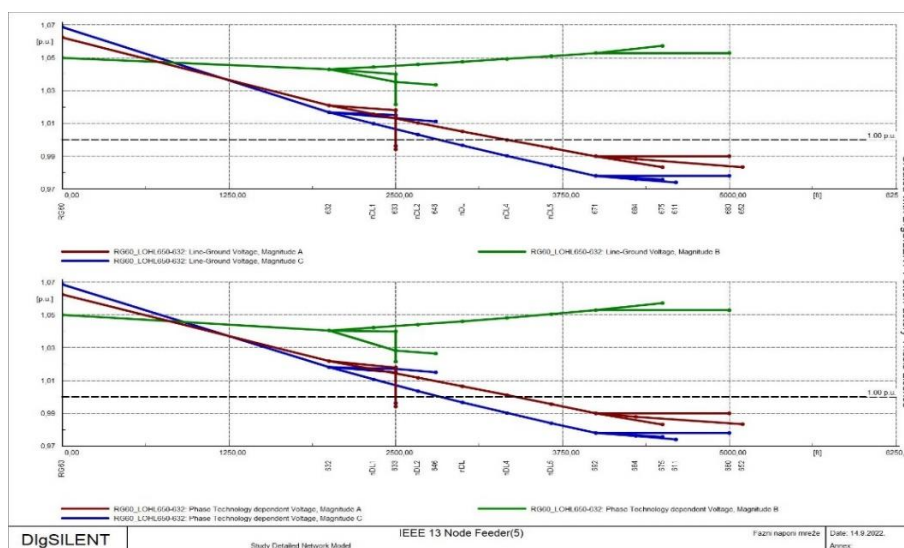
### 5.1 Scenarij 1 - Analiza prije uključanja malog industrijskog postrojenja

U prvom scenariju se proveo proračun tokova snaga u mreži kada nije integrirano postrojenje kako bi se utvrdili gubici i naponske prilike unutar navedenog sistema potrebnih za daljnje uspoređivanje rezultata.



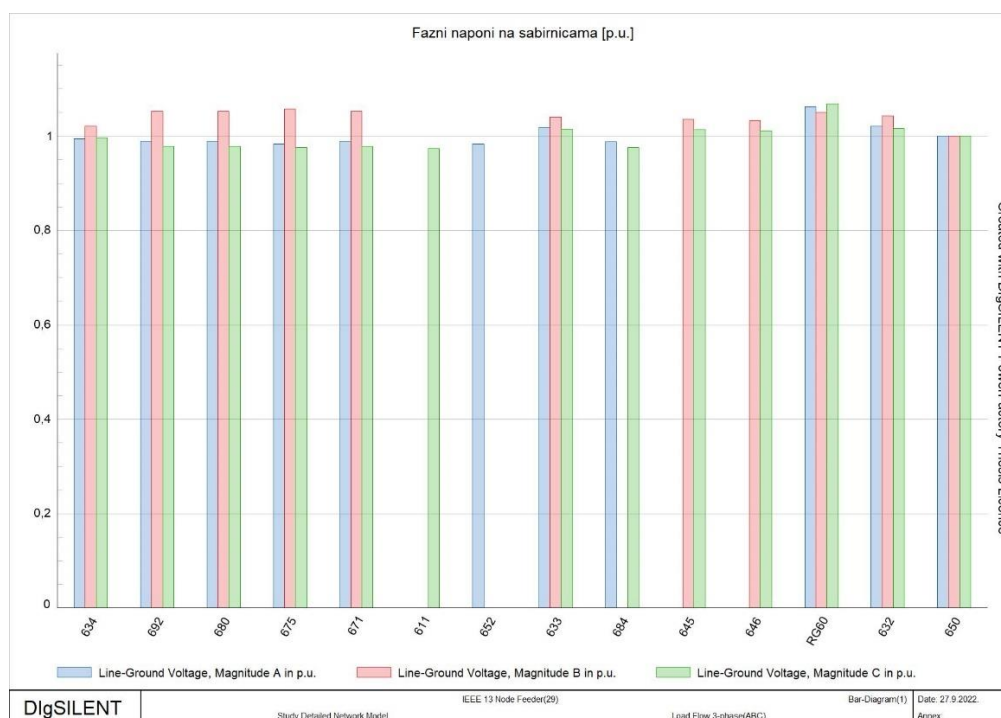
Slika 5.2 Prikaz tokova snaga za prije uključanja malog industrijskog postrojenja

Prikazivanjem smjerova snage u IEEE 13 testnom sabirničkom sistemu provodi se proračun tokova snaga, na slici 5.2 su prikazani rezultati tokova snaga. Pošto u sustavu nisu dodana mala industrijska postrojenja smjer snage je usmjeren ka određenim teretima na sabirnicama.



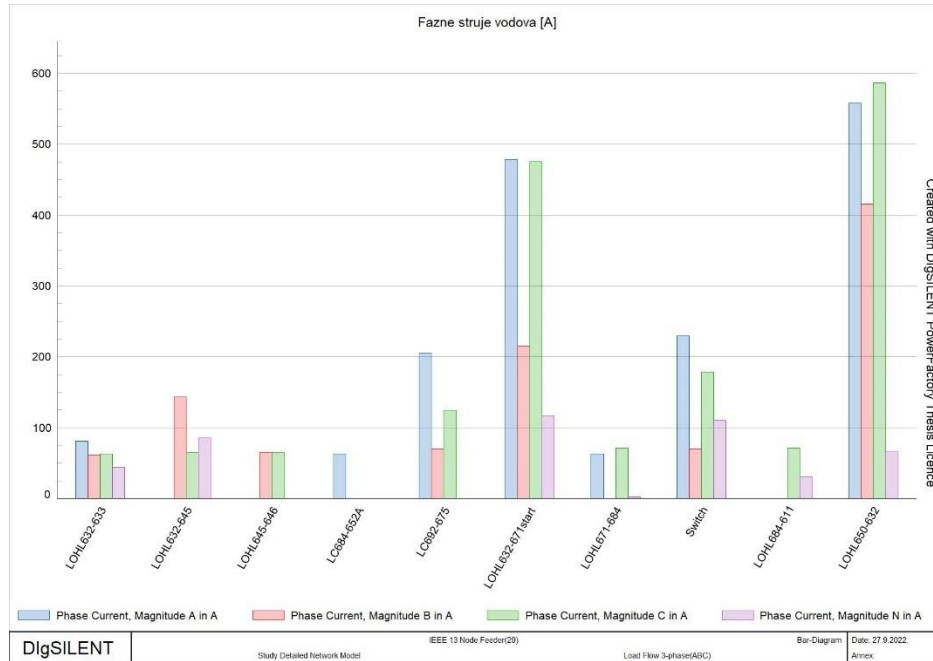
Slika 5.3 Prikaz faznih napona IEEE 13 sabirničkog sustava

Nakon dobivenog naponskog profila, za svaku fazu, može se primijetiti kako je najmanji napon upravo iznosa 0,97 p.u. na sabirnici 611 faze C, a najveći napon je iznosa 1,07 p.u. na sabirnici RG60 faze C. Iz naponskih profila je vidljivo kako je plava linija faze C najlošija, a najbolja zelena linija faze B, a mreža je nesimetrična kao što je vidljivo na slici 5.3.



Slika 5.4 Prikaz linijskih napona po sabirnicama

Na slici 5.4 su prikazani iznosi linijskih napona u p.u. na svim sabirnicama u IEEE 13 sabirničkom testnom sistemu preko stupčastih grafikona. Raspon napona se kreće od 0,974 p.u. do 1,075 p.u. dok je na sabirnicama 652 i 611 iznos linijskog napona jednak nuli, pošto je riječ o jednofaznim sabirnicama.



Slika 5.5 Prikaz fazne struja u vodovima mreže

Najveća struja je kroz vod LOHL650-632 iznosa 586,62 A faze C kao što je prikazano na slici 5.5 preko stupčastog grafikona. Najveća struja navedenog voda je iz razloga što vod napaja ostatak mreže, te se na vodu razvija najveće opterećenje.

Tablica 5.1 Prikaz parametara snaga u mreži prije priključenja malih industrijskih postrojenja

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	0,00	0,00
Snaga opterećenja u mreži	3466,38	2101,75
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3578,32	1752,12
Snaga gubitaka	111,94	325,49

U tablici 5.1 su prikazani rezultati snaga u mreži nakon provedenog proračuna tokova snaga u IEEE 13 sabirničkom testnom sistemu u kojem nisu integrirana mala industrijska postrojenja. Za ovaj scenarij djelatni gubitci iznose 111,94 kW, a jalovi gubitci iznose 325,49 kvar. Motorna

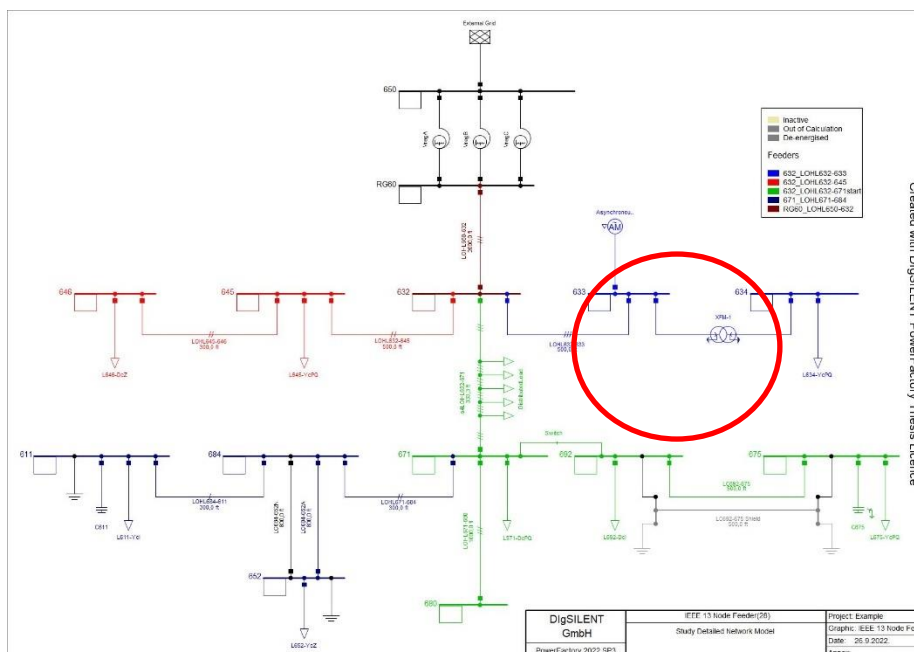
snaga je jednaka nuli iz razloga što niti jedan motor nije spojen na sabirnice, kao i proizvedena snaga u mreži jer opterećenja uzimaju snagu iz mreže, te je tok snage usmjeren prema teretu.

## 5.2 Scenarij 2 - Integracija malih industrijskih postrojenja

U prvom scenariju je izvršena integracija malih industrijskih postrojenja djelatne snage 41,11 kW i jalove snage 34,5 kvar s  $\cos\phi$  iznosa 0,8 na sabirnice na 633, 692 i 675 kako bi se prikazao utjecaj ovakvih postrojenja na mrežu. Unutar ovog scenarija postupno su priključivana postrojenja na prethodno spomenute sabirnice. Simulacija je sprovedena u tri slučaja, te je popraćena proračunom tokova snaga kako bi se prikazali naponski profili, struje na vodovima, linijski naponi i tablica u kojoj se nalaze snage mreže. Na osnovu tablice uspoređuju se gubitci mreže nakon svakog priključena postrojenja. Nakon provedenog proračuna tokova snaga prikazani su naponski profili, fazni naponi, struje na vodovima i tablica sa snagama u mreži kako bi se predstavio utjecaj ovakvog postrojenja na mrežu.

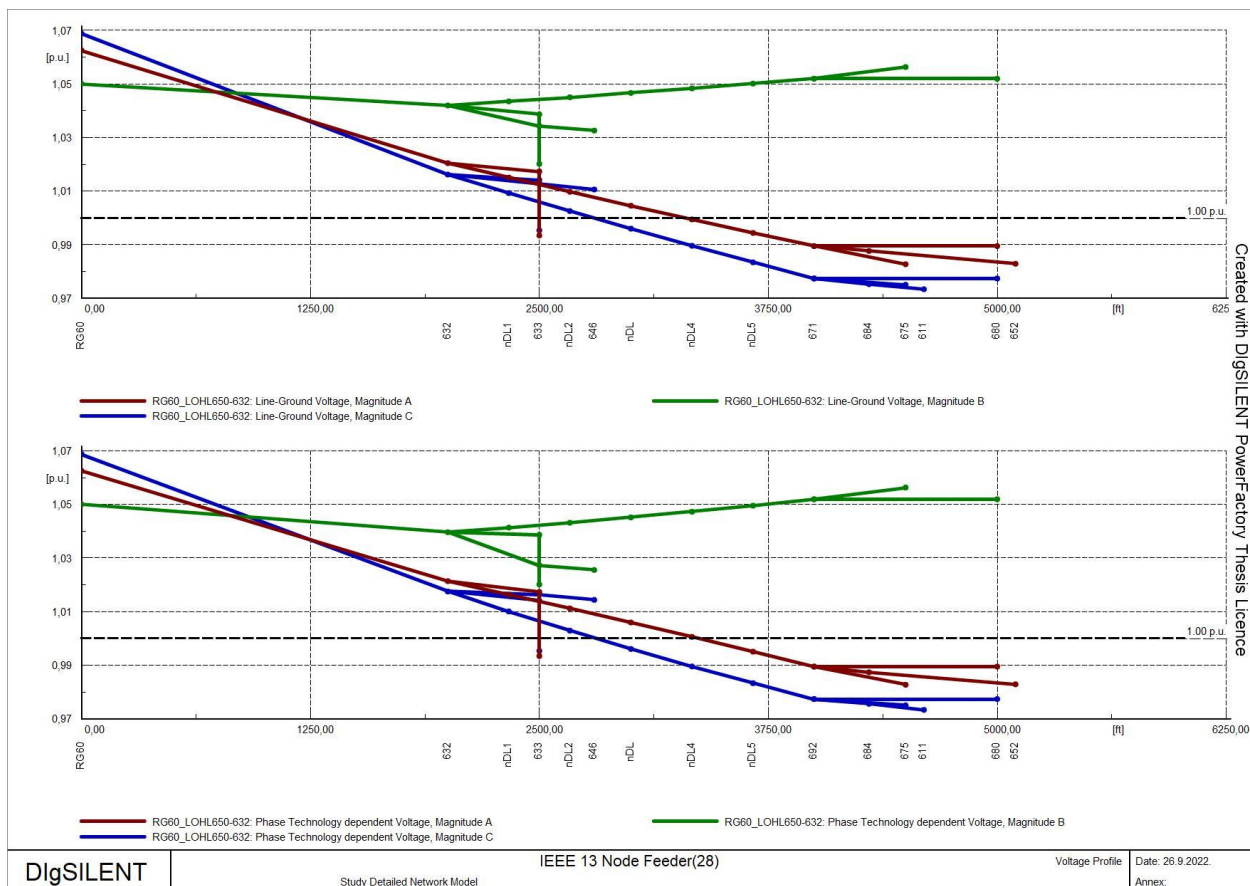
### 5.2.1. Prvi način- dodavanje malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633

U prvom načinu je izvršena integracija malog industrijskog postrojenja djelatne snage 41,11 Kw i jalove snage 34,5 kvar s  $\cos\phi$  iznosa 0,8 na sabirnicu 633.



Slika 5.7 Prikaz sheme sa dodanim malim industrijskim postrojenjem na sabirnicu 611

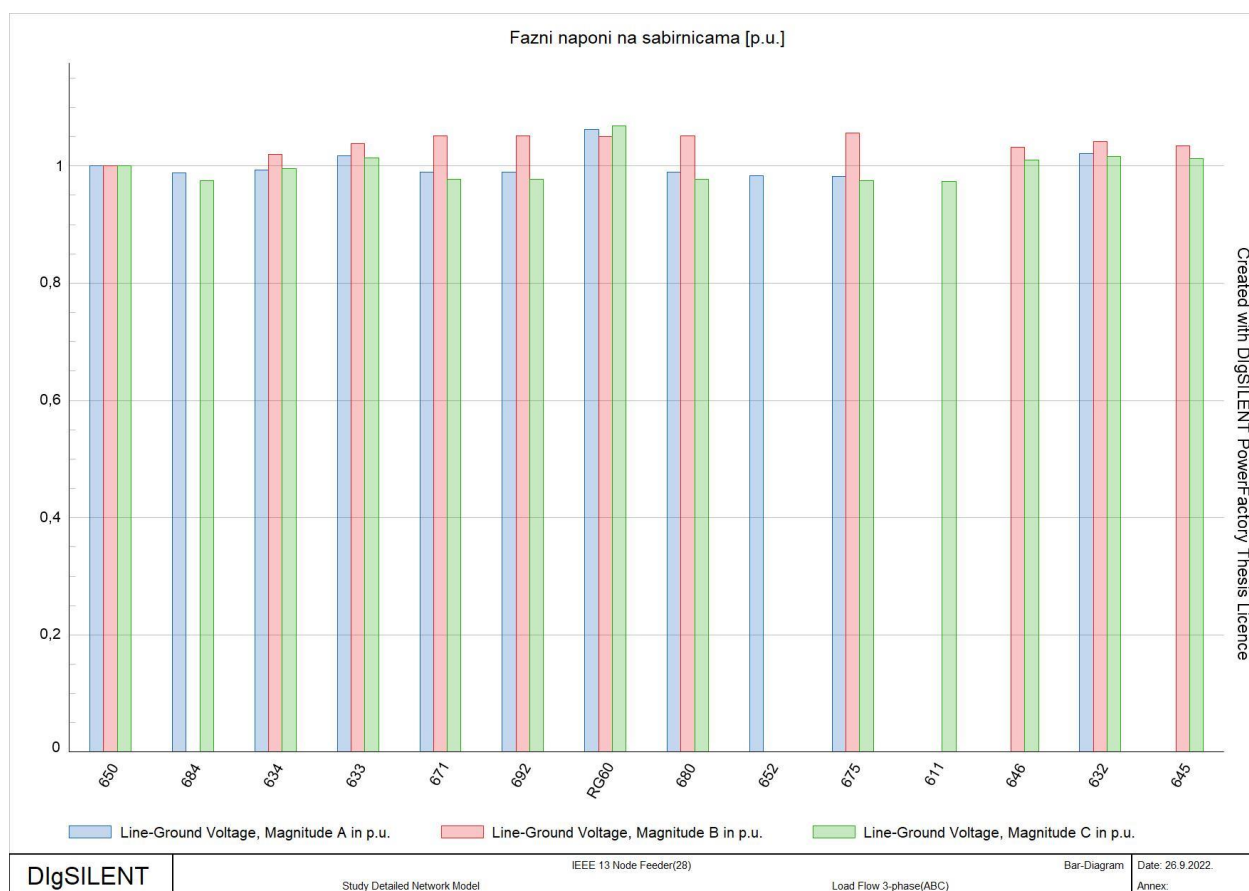
Prikazivanjem smjerova snage u IEEE 13 testnom sabirničkom sistemu provodi se proračun tokova snaga, na slici 5.7 su prikazani rezultati tokova snaga nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633.



**Slika 5.8** Prikaz faznih napona mikromreže sa dodanim malim industrijskim postrojenjem na sabirnicu 633

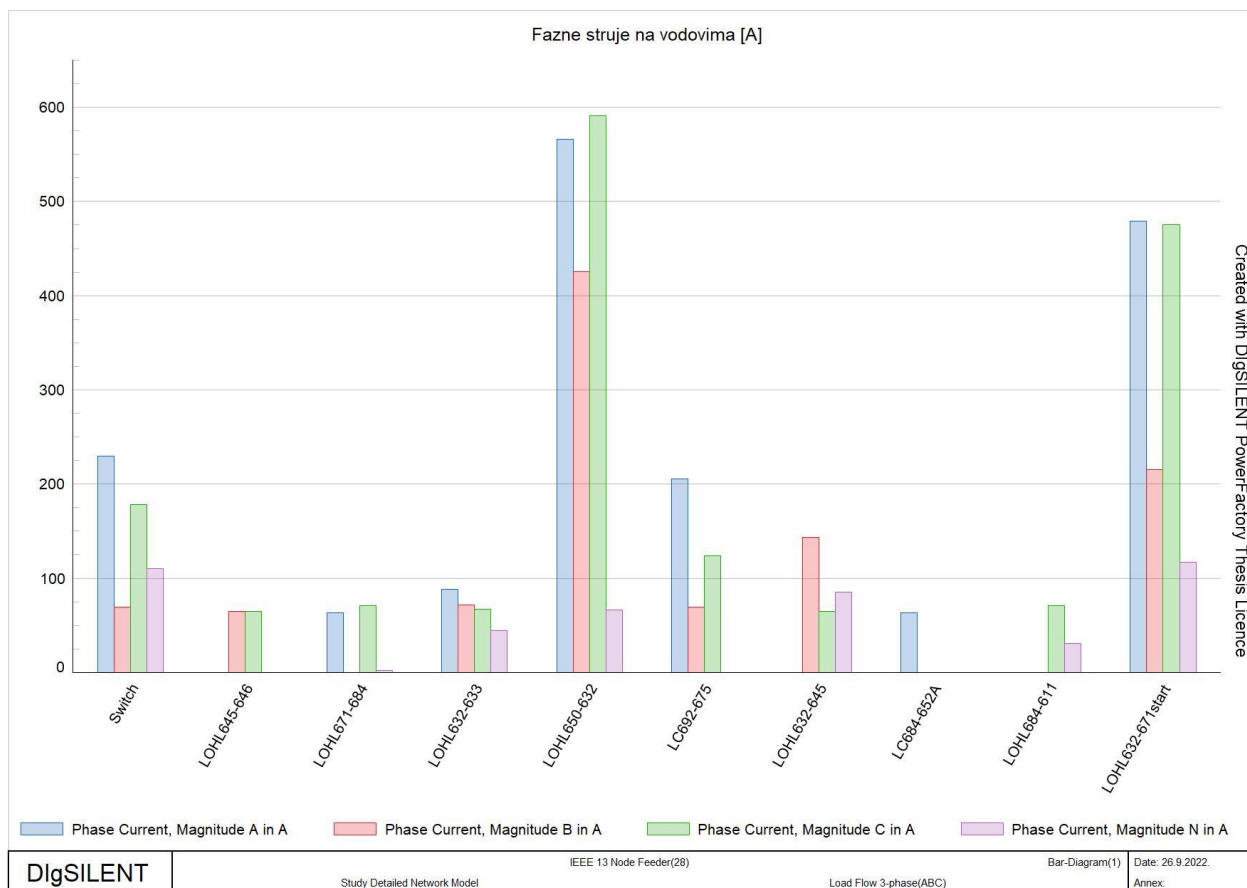
Nakon provedenog proračuna tokova snaga na slici 5.8 su prikazani naponski profili sabirnica u sustavu gdje je vidljiv raspon faznih napona od 0,973 p.u. do 1,07 p.u. nakon priključenja postrojenja na sabirnicu 633. Plava linija faze C je najlošija, a fazni napona na sabirnici 633 je ostao nepromijenjen nakon integracije malog postrojenja dok su fazni naponi na sabirnicama faza A i B u sustavu povećali svoj iznos.





**Slika 5.9** Prikaz faznih napona na sabirnicama prilikom dodavanja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633

Nakon priključenja postrojenja na sabirnicu 633 na slici 5.9 su prikazani iznosi faznih napona, a raspon napona se kreće od 0,97 p.u. do 1,07 p.u. što je u granicama normale, te isto govori da je mreža jaka i nastoji održati stabilan napon.



**Slika 5.10** Prikaz struja vodova u mreži nakon dodavanja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633

Stupčasti grafikonz iznosa struja vodova nakon priključenja postrojenja na sabirnicu 633 je prikazan na slici 5.10. Porast iznosa struje je vidljiv na vodovima LOHL650-632, LOHL632-633. Struja na vodu LOHL650-632 se povećala na 591,06 A, kao i struja voda LOHL632-633 88,38 A. Prorast struje je rezultiralo priključenjem malog industrijskog postrojenja na spomenutu sabirnicu.

**Tablica 5.2** Prikaz parametara snaga u mreži nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 611

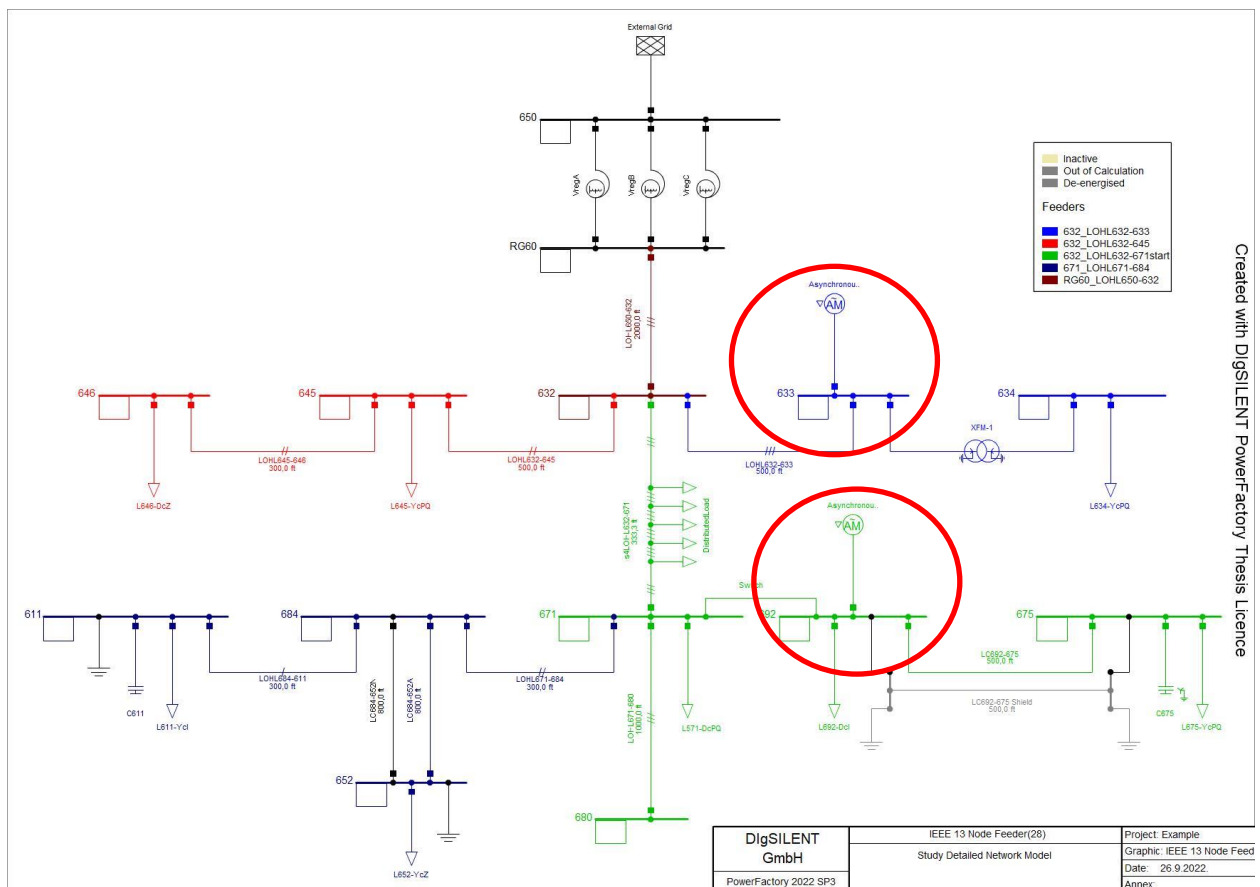
	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	0,00	0,00
Snaga opterećenja u mreži	3465,66	2101,31
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3622,53	1765,54
Snaga gubitaka	113,76	330,73

Nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 611 došlo je do smanjenja snage opterećenja u mreži, iznosa djelatne snage 3465,66 kW i jalove snage 2101,31 kvar. Došlo

je do povećanja djelatne snage mreže iznosa 3622,53 kW i jalove snage iznosa 1765,54 kvar zbog priključenja motora koji se nalaze unutra postrojenja. Pored navedenog, integracija postrojenja je izazvala povećanje djelatnih gubitaka iznosa 113,76 kW i jalovih gubitaka 330,73 kvar. Nastali gubitci se manifestiraju u obliku gubitaka u željezu i namotu motora. Sve prikazane snage su dane u tablici 5.2.

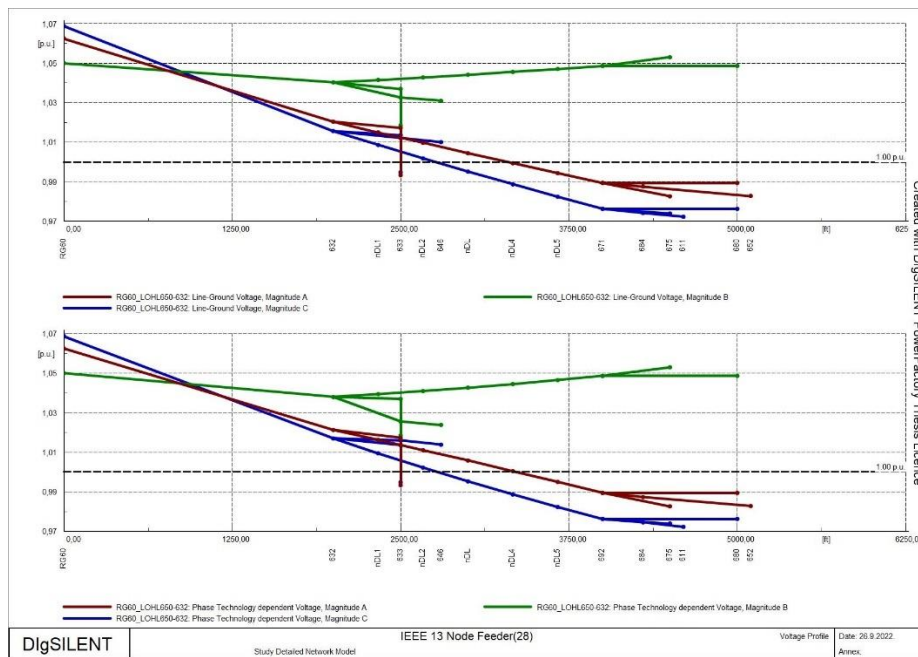
### 5.2.2. Drugi način - dodavanje malog industrijskog postrojenja na sabirnice 633 i 692

U drugom načinu se dodalo malo industrijsko postrojenje na sabirnicu 692 uz ostavljanje malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633. Priključuje se postrojenje iste snage kao u prethodnom načinu.



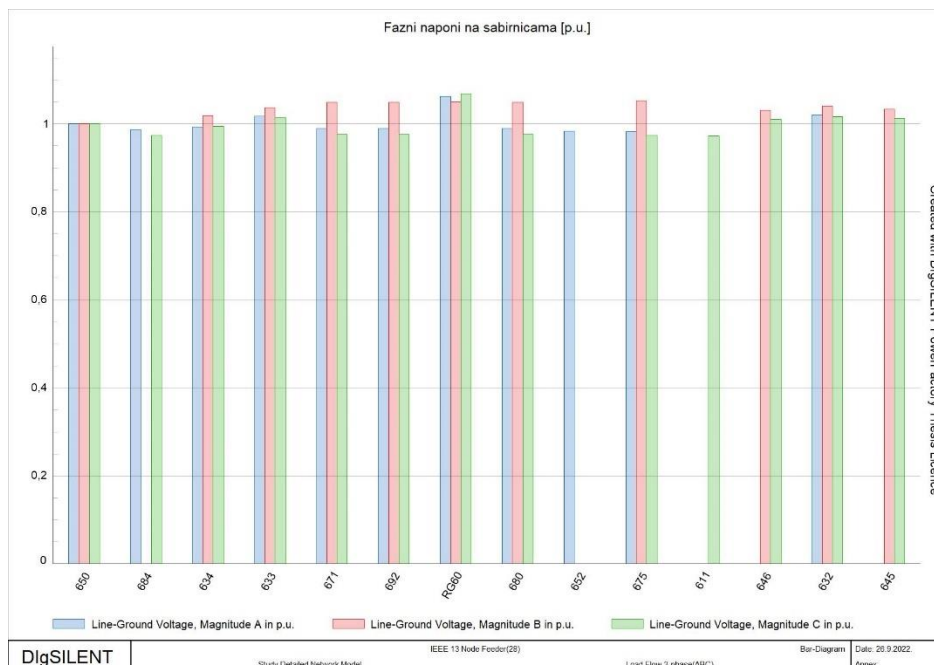
**Slika 5.11** Prikaz sheme sa dodanim malim industrijskim postrojenjima na sabirnicama 633 i 692

Nakon priključenja postrojenja na sabirnicu 692, provedeni su proračuni tokova snaga u mreži kao što je prikazano na slici 5.11 uz ostavljeno postrojenje na sabirnici 633.



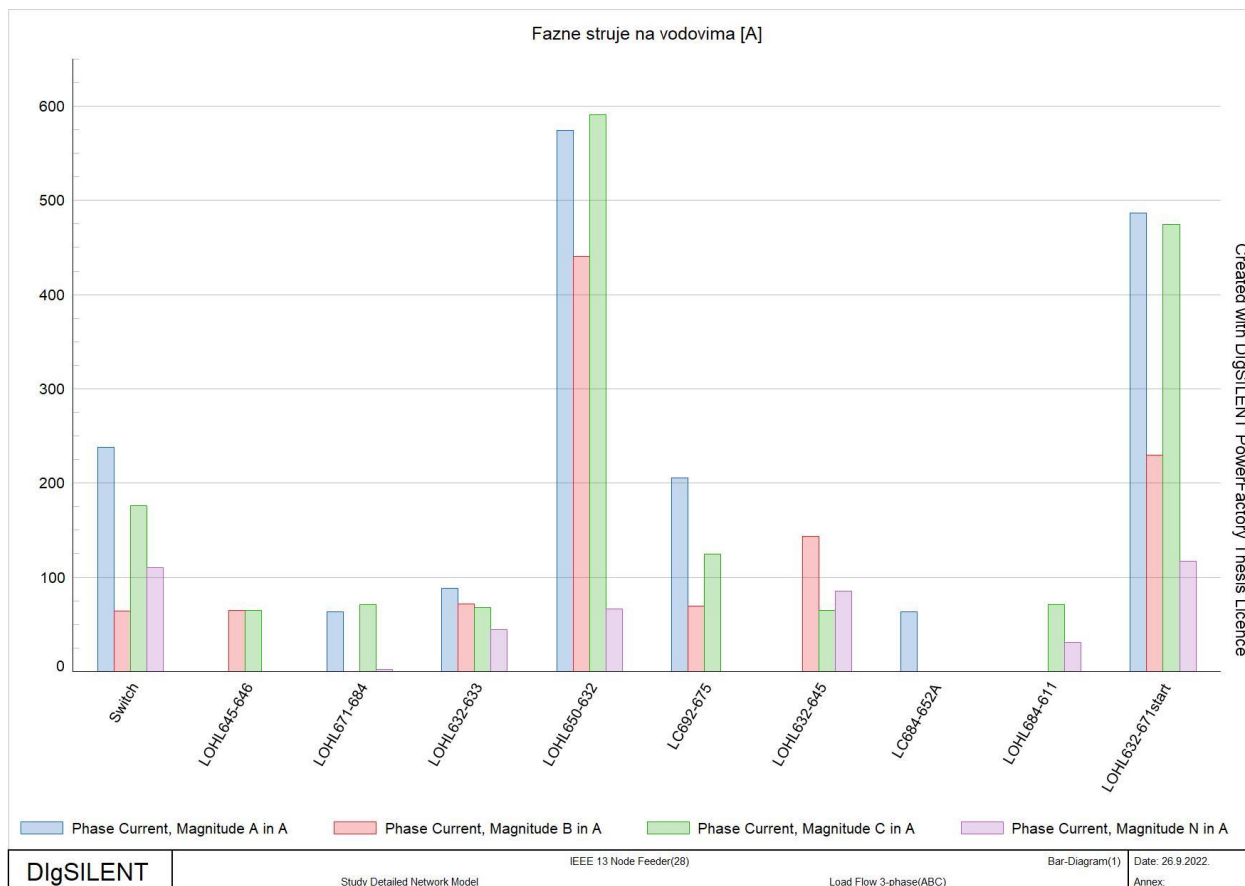
**Slika 5.12** Prikaz faznih napona mikromreže prilikom dodavanja malog industrijskog postrojenja na sabirnicama 633 i 692

Raspon faznih napona je identičan kao i u prethodnom načinu kada je postrojenje bilo priključeno na sabirnicu 633 kao što je prikazano na slici 5.12. Fazni napon iznosi 1,07 p.u. na sabirnici RG60 što je i identičan iznos kao i prije priključenja postrojenja.



**Slika 5.13** Prikaz fazni napona prilikom dodavanja malog industrijskog postrojenja na sabirnicama 633 i 692

Kao rezultat priključenja malog industrijskog postrojenja djelatne snage 41,11 kW i jalove snage 34,5 kvar na sabirnice 633 i 692, došlo je do minimalnih smanjenja iznosa faznih napona na sabirnicama 611 i 645 kao što je prikazano na slici 5.13.



**Slika 5.14** Prikaz struja vodova na sabirnicama prilikom dodavanja malog industrijskog postrojenja na sabirnice 633 i 692

Priključenje postrojenja je izazvalo povećanje struje voda LOHL632-671 iznosa 478,6 A kao i Switch 238,08 A, te LOHL650-632 na fazama A i B kao što je prikazano na slici 5.14. Integracija postrojenja može rezultirati povećanje opterećenja u drugom dijelu mreže.

**Tablica 5.3** Prikaz parametara snaga u mreži nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633 i 692

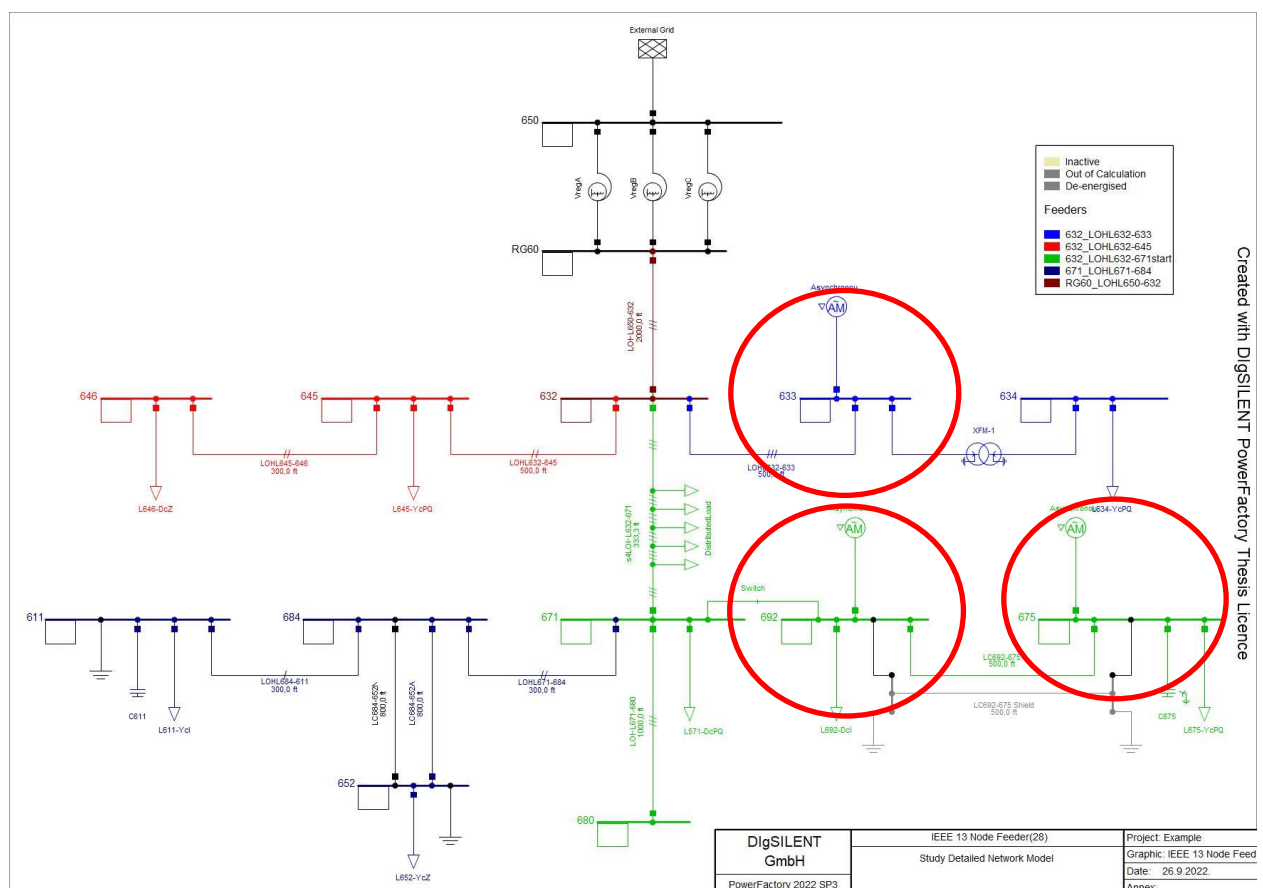
	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	0,00	0,00
Snaga opterećenja u mreži	3464,81	2100,84
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3667,23	1809,48

Snaga gubitaka	116,14	337,43
----------------	--------	--------

Dodatkom postrojenja na sabirnicu 692 uz već postojeće koje se nalazi na sabirnici na 633 došlo je do promjena snaga u sustavu kao što je prikazano u tablici 5.3. Proizvedena snaga u mreži iznosi 0 iz razloga što ne postoji izvor električne energije unutar promatranog sustava. Vidljivo je kako je došlo do povećanja djelatnih gubitaka iznosa 116,14 kW i jalovih gubitaka iznosa 337,43 kvar, kao rezultat spajanja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 692. Pošto motori unutar postrojenja uzimaju snagu iz mreže došlo je do povećanja iste.

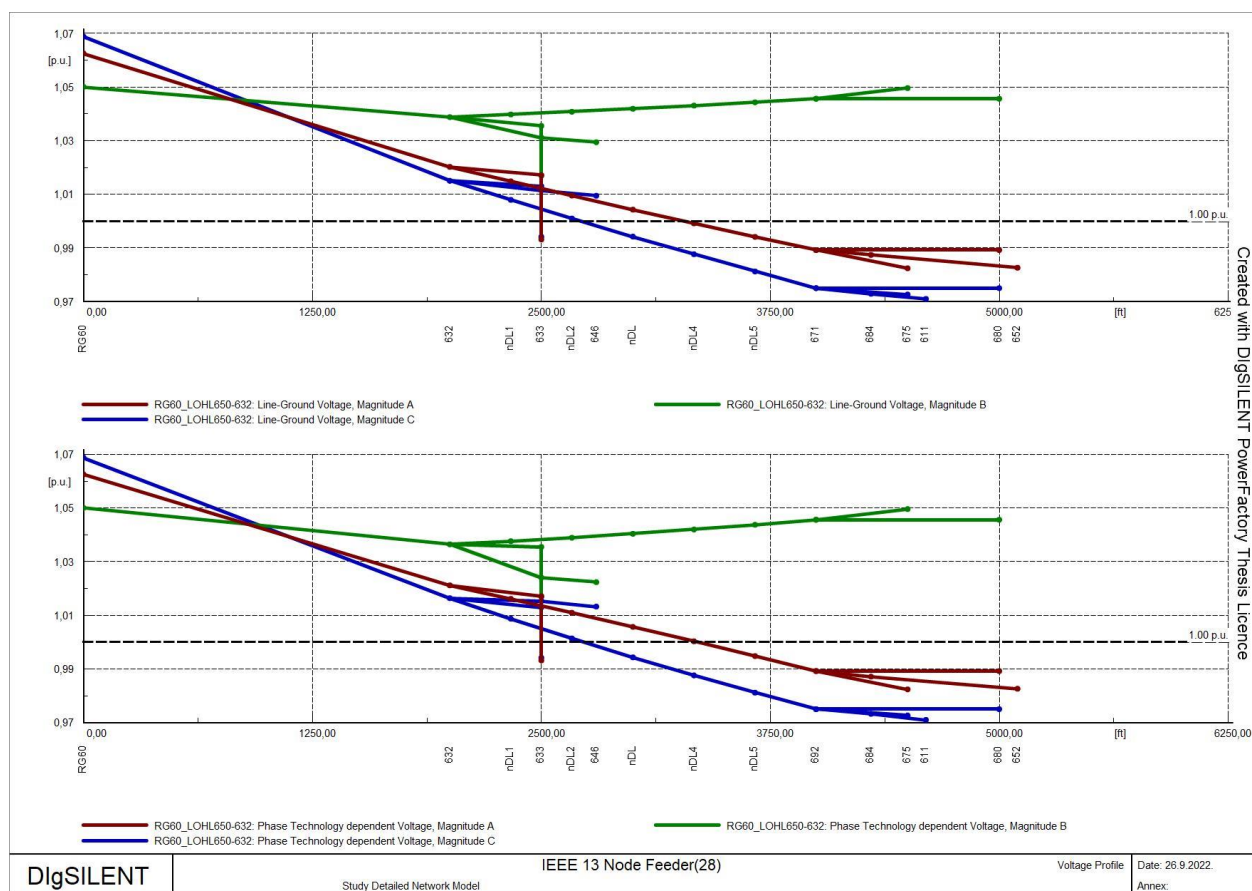
### 5.2.3. Treći način - dodavanje malog industrijskog postrojenja na 633, 692 i 675

U trećem načinu se dodavalo malo industrijsko postrojenje djelatne snage 41,11 kW i jalove snage 34,5 kvar s  $\cos\varphi$  iznosa 0,8 na sabirnicu 675 uz već ostavljena postrojenja na sabirnicama 633 i 692.



Slika 5.15 Prikaz sheme sa dodanim malim industrijskim postrojenjem na sabirnicu 633, 692 i 675

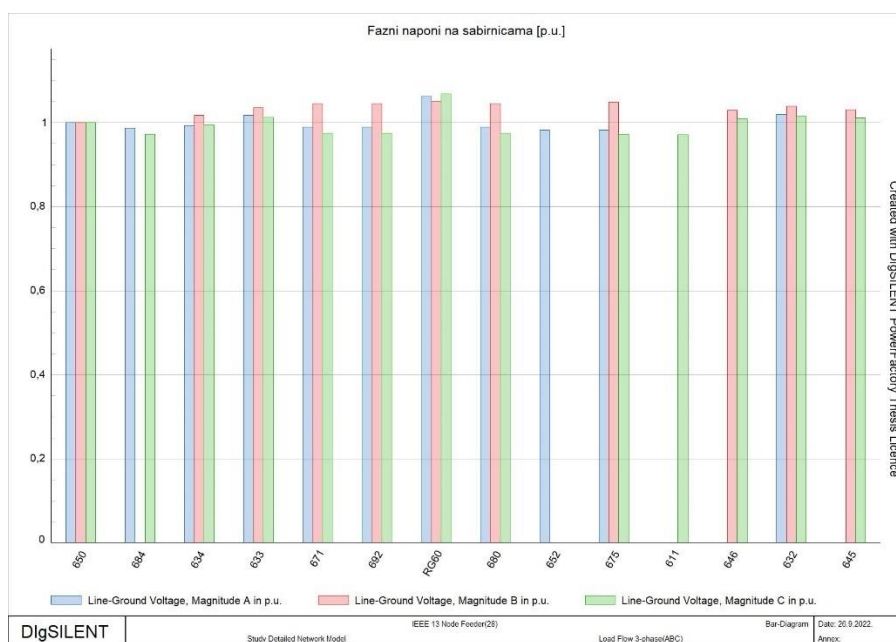
Rezultati provedenih proračuna tokova snaga su prikazani na slici 5.15 nakon integracije malog postrojenja na sabirnice 633, 692 i 675 kako bi se uvidjele promjene u vidu tokova snaga u mreži.



**Slika 5.16** Prikaz faznih napona s dodanim malim industrijskim postrojenjima na sabirnicama 633, 692 i 675

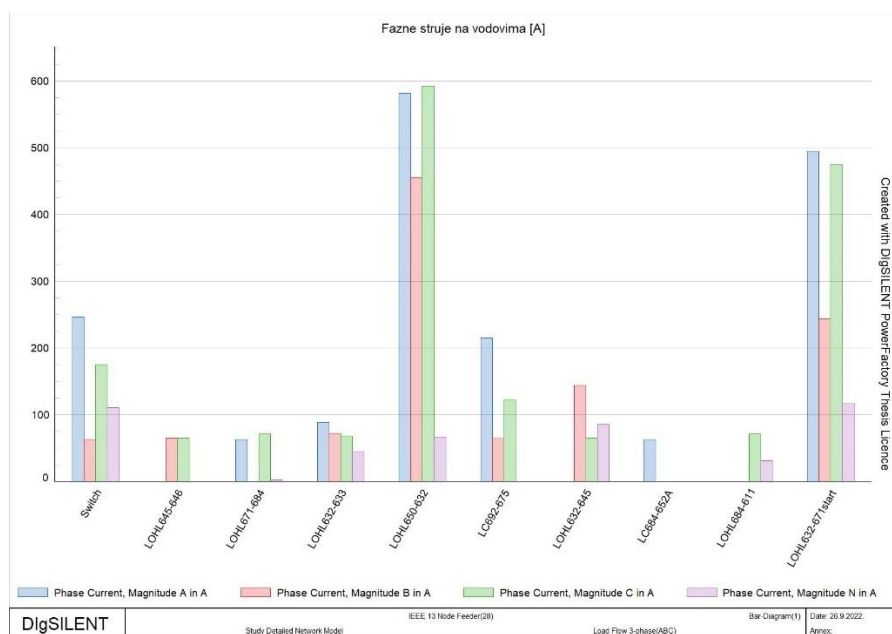
Integracijom malih industrijskih postrojenja na spomenute sabirnice se postiglo povećanje iznosa faznih napona, naročito faze B zelene linije. Raspon napona je i dalje identičan u svim načinima, a iznosi napona su u granicama  $\pm 10\%$  kao što je prikazano na slici 5.16.





**Slika 5.17** Prikaz faznih napona s dodanim malim industrijskim postrojenjima na sabirnicama 633, 692 i 675

Nakon priključenja postrojenja na sabirnicu 633, 692 i 675 na slici 5.17 su prikazani iznosi faznih napona, a raspon napona se kreće od 0,971 p.u. do 1,062 p.u. kao u prethodnom načinu, što govori da je mreža jaka i nastoji održati stabilan napon.



**Slika 5.18** Prikaz struje vodova s dodanim malim industrijskim postrojenjima na sabirnicama 633, 692 i 675

Na slici 5.18 su predstavljeni iznosi struja vodova u sustavu nakon priključenja malih postrojenja na sabirnice 633, 692 i 675. Vidljiv je porast struje na svim vodovima koju si povezani sa sabirnicama 633, 692 i 675 što je rezultat integracije postrojenja zbog povećanja opterećenja kada asinkroni motori unutar takvih sustava vuku struju iz postojeće mreže.



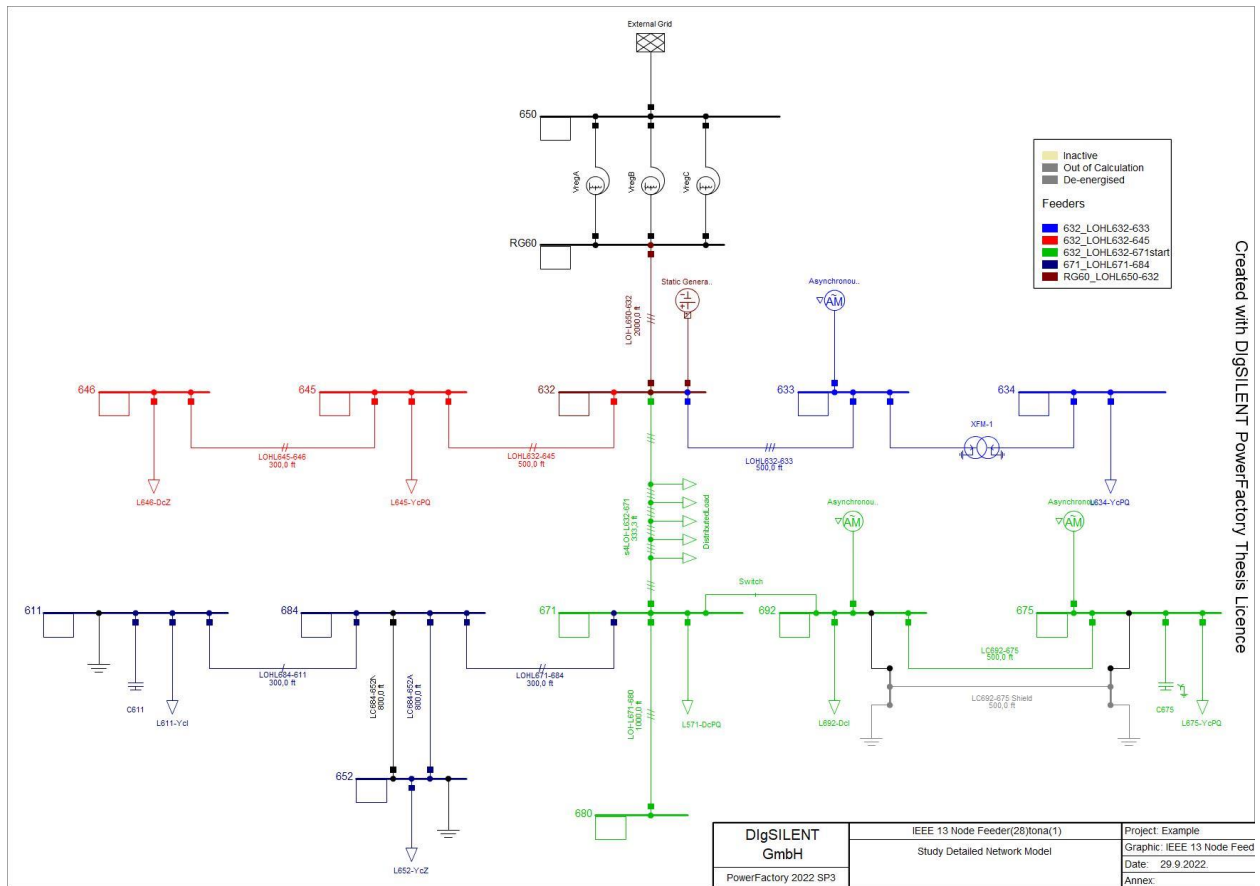
**Tablica 5.4** Prikaz parametara snaga u mreži nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633, 692 i 675

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	0,00	0,00
Snaga opterećenja u mreži	3463,87	2100,32
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3712,12	1854,19
Snaga gubitaka	118,82	344,98

Tablica 5.4 prikazuje snage u sustavu nakon integracije postrojenja na sabirnicu 675 uz postojeća postrojenja na sabirnicama 633 i 692. Isto kao i u prethodnom slučaju priključivanjem većeg broja postrojenja došlo je do povećanja gubitaka, a djelatni gubici iznose 118,82 kW a jalovi gubici 344,98 kvar. Djelatno motorno opterećenje iznosi 129,43 kW, a jalovo 105,7 kvar.

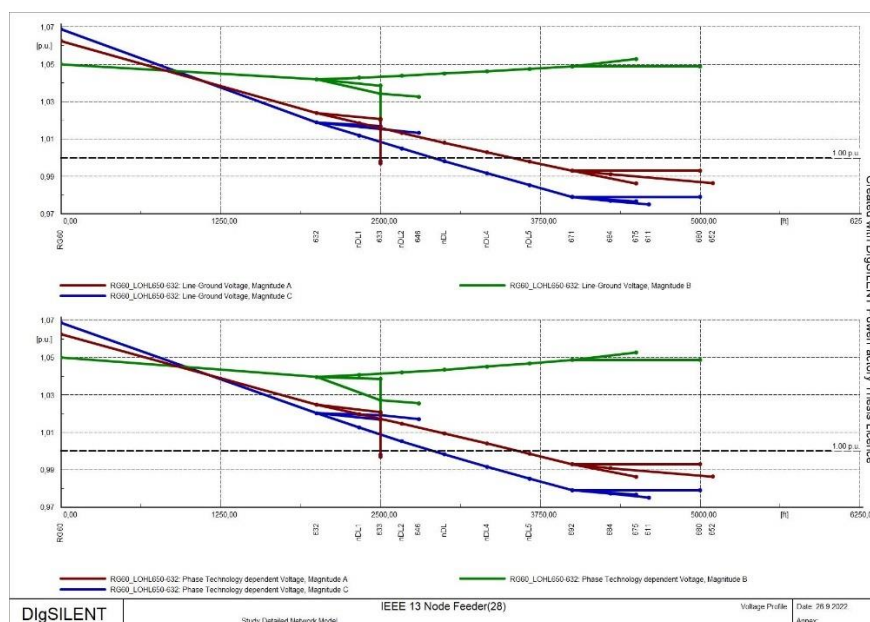
### 5.3 Scenarij 3 - Integracija baterijskog spremnika baterije

Kako bi smo poboljšali naponski profil mreže te smanjili gubici što je primarni cilj, postavio se baterijski spremnik na sabirnicu 632 iz razloga što ona predstavlja čvorište u mreži. To se zove centralna kompenzacija, te su provedeni proračuni tokova snaga kako bi se predstavili rezultati na osnovu naponskih profila, stupčastih grafikona napona sabirnica i struja vodova, te tablica kao rezime snaga u mreži. Baterijski spremnik daje snagu u mrežu kako bi se poboljšale naponske prilike prilikom promjenjivog opterećenja. Mala industrijska postrojenja su ostala na isto mjestu kao i u prethodnim slučajevima. Djelatna snaga baterijskog spremnika iznosi 0,2 MW, a jalova snaga iznosi 0,2 Mvar



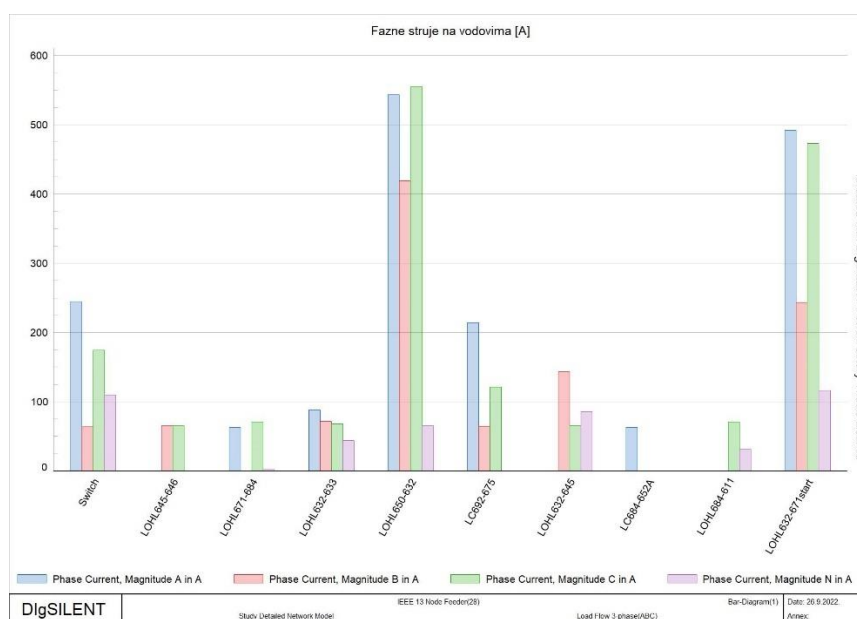
Slika 5.19 Prikaz sheme prilikom integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem baterijskog spremnika na sabirnicu 632

Nakon integracije baterijskog spremnika proveden je proračun tokova snaga, te su rezultati prikazani na slici 5.19. Baterijski spremnik je kompenzirao gubitke koje prouzrokuju mala industrijska postrojenja, te poboljšao stanje mikromreže.



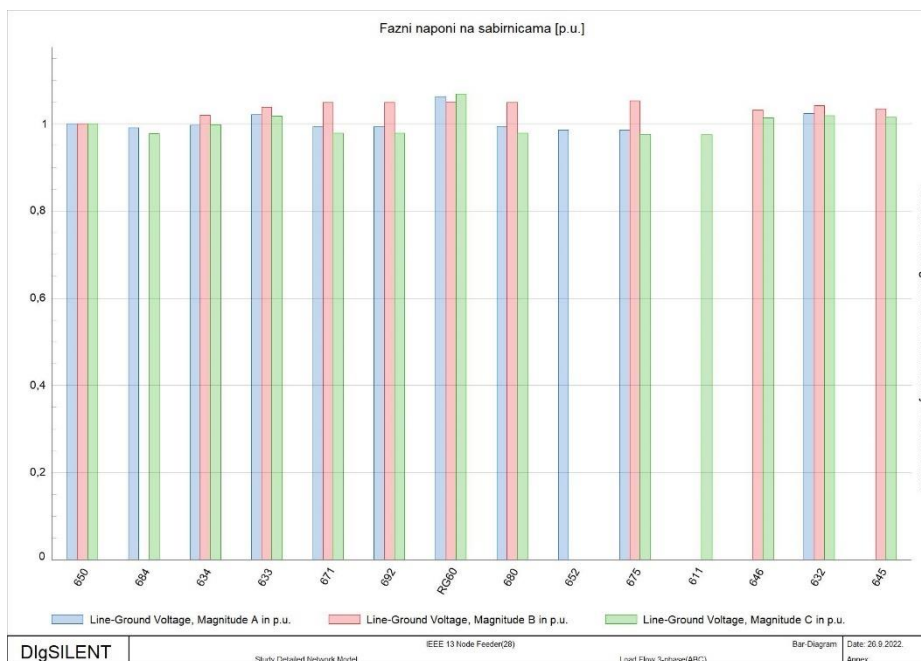
**Slika 5.20** Prikaz faznih napona nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem baterijskog spremnika na sabirnicu 632

Nakon provedenih tokova snaga na slici 5.20 su prikazani naponski profili nakon integracije baterijskog spremnika djelatne snage 0,2 MW i jalove snage 0,2 Mvar. Raspon napona je od 0,975 p.u. do 1,06 p.u. kao rezultat priključenja spremnika energije čija je zadaća podizanje napona u sustavu. Fazni naponi su se povećali kao što je vidljivo na prikazu naponski profila, te su ostali u dopuštenoj granici od  $\pm 10\%$ , što znači da je sustav jak i stabilan.



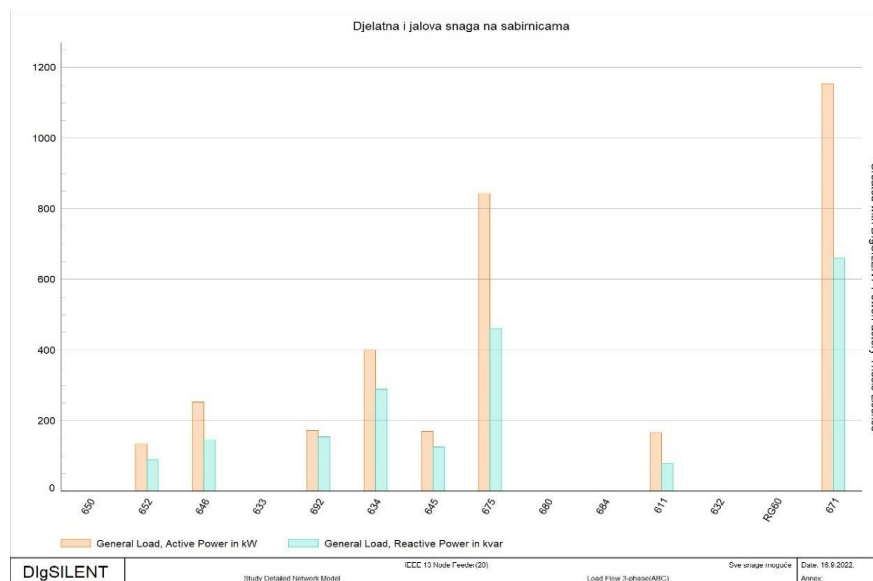
**Slika 5.21** Prikaz struje na vodovima nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem baterijskog spremnika na sabirnicu 632

Najveća struja je na vodu LOHL650-632 i iznosi 554,88 A što je smanjenje od 6.71% nakon integracije baterijskog spremnika na sabirnicu 632 uz postojeća mala industrijska postrojenja koja se nalaze na sabirnicama 633, 692 i 675 kao što je prikazano na slici 5.21. Došlo je do smanjenja opterećenja voda kao rezultat priključka baterijskog spremnika, a time su se smanjile struje koje motori iz postrojenja vuku iz mreže.



**Slika 5.22** Prikaz faznih napona nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem baterijskog spremnika na sabirnicu 632

Nakon priključenja baterijskog spremnika na sabirnicu 632 na slici 5.22 su prikazani iznosi faznih napona, a raspon napona se kreće od 0,978 p.u. do 1,062 p.u. kao u prethodnom načinu, što govori da je mreža jaka i nastoji održati stabilan napon



**Slika 5.23** Prikaz djelatne i jalove snage na sabirnicama nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675 te dodavanjem baterijskog spremnika na sabirnicu 632

Najveća djelatna i jalova snaga je na sabirnici 671 iznosa 1150 kW i 650 kvar nakon integracije baterijskog spremnika na sabirnicu 632 uz postojeća mala industrijska postrojenja koja se nalaze na sabirnicama 633, 692 i 675 kao što je prikazano na slici 5.23.

**Tablica 5.5** Prikaz parametara snaga u mreži nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633, 692 i 675, te baterijskim spremnikom snage 0,2MW i 0,2Mvar

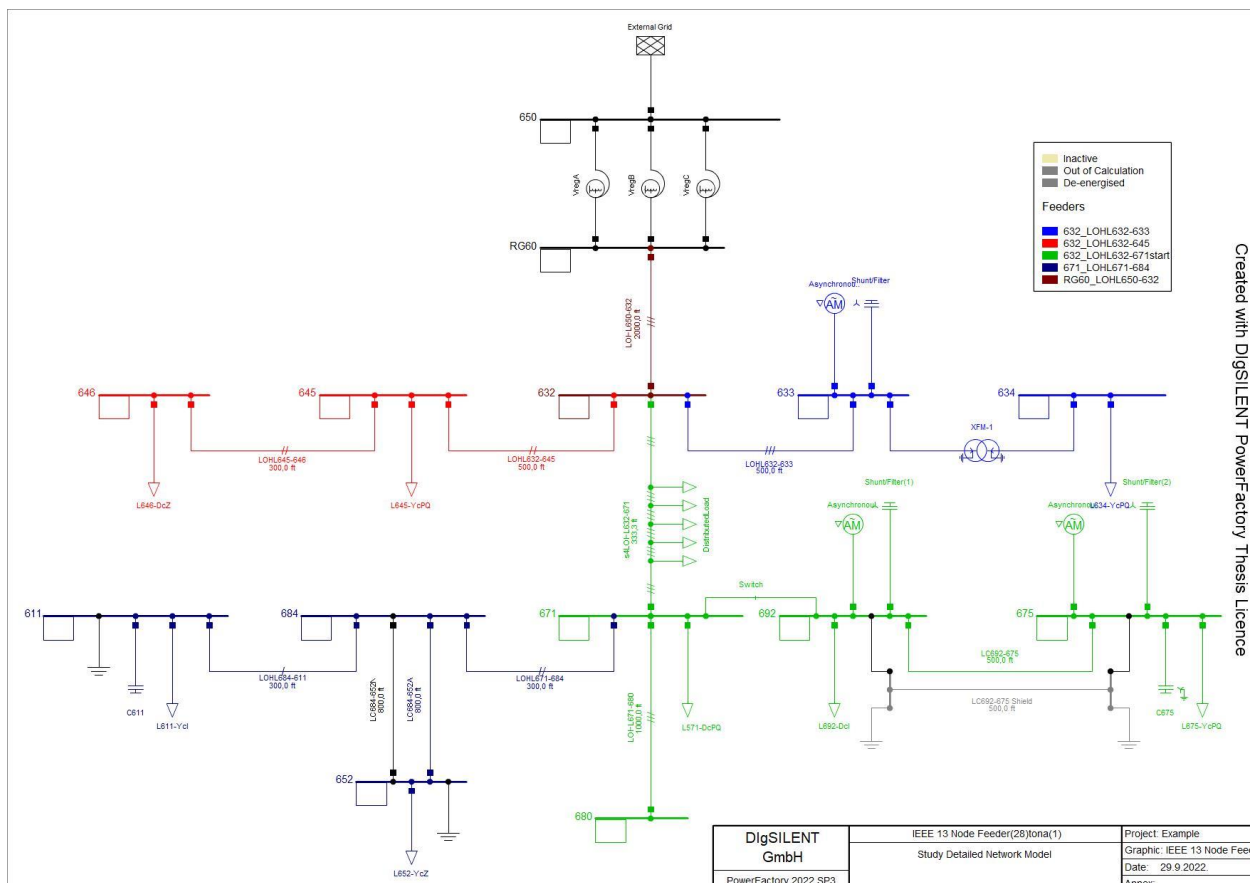
	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	200,00	200,00
Snaga opterećenja u mreži	3467,88	2102,85
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3507,53	1624,21
Snaga gubitaka	110,22	317,73

U trećem scenariju je priključen baterijski spremnik djelatne snage 0,2 MW i jalove snage 0,2 Mvar na sabirnicu 632 koja je čvorište mreže, a rezultati snaga su prikazani tablici 5.5 uz već postojeća postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675. Uz priključenje spremnika je smanjilo djelatne gubitke iznosa 110,22 kW i jalove gubitke iznosa 317,73 kvar što predstavlja vrijednosti gubitaka kao i prije dodavanja malih industrijskih postrojenja u mikromrežu. Cilj je postignut u smanjenju gubitaka jer odgovaraju prvobitnim gubiticima, ali i povećanju iznosa napona u sustavu. Takve promjene ukazuju na poboljšanje cjelokupne mreže, a ne samo na smanjenje gubitaka.

#### 5.4 Scenarij 4 - Integracija kondenzatorskih baterija

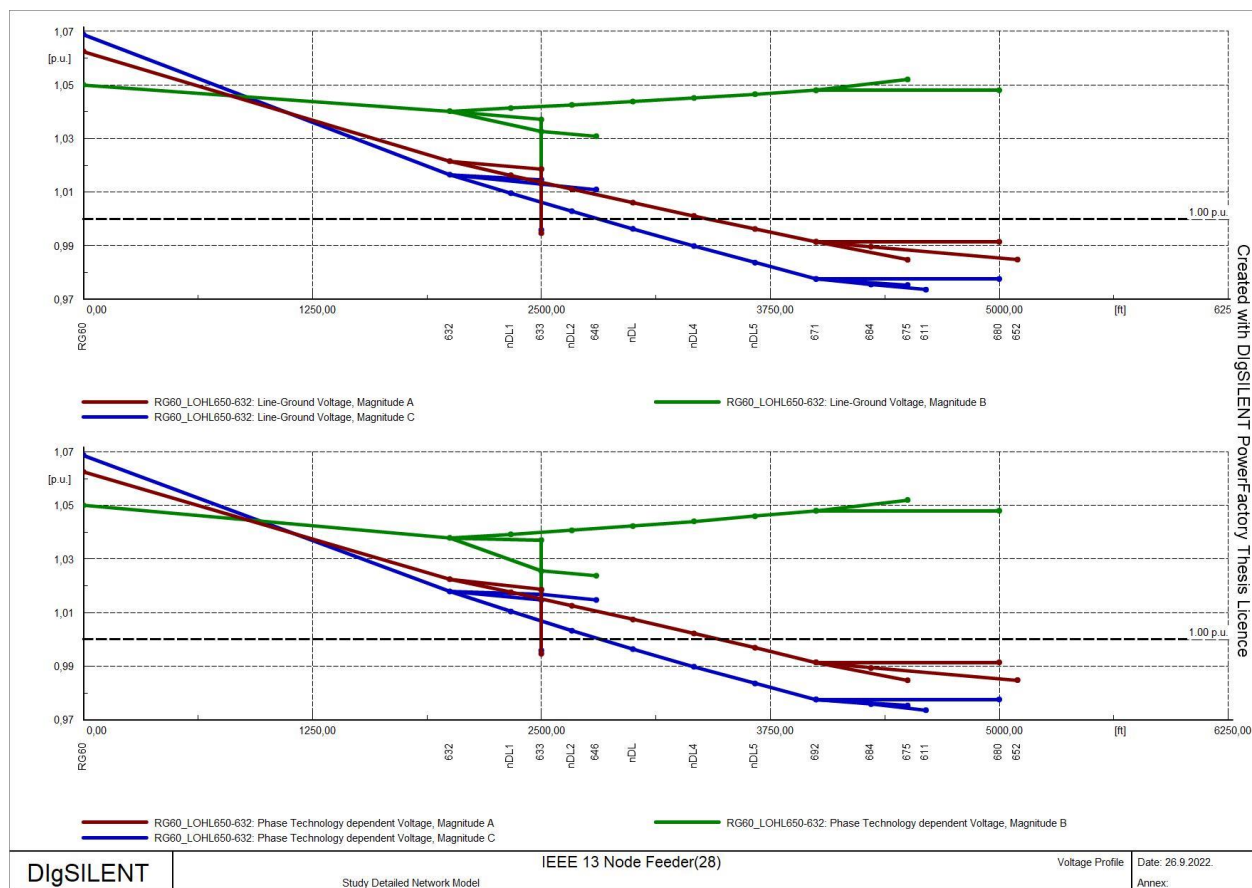
Kako bi smo smanjili gubitke te poboljšali naponske profile u mreži, priključila se kondenzatorska baterija različitih snaga na svaku sabirnicu di je postavljeno malo industrijsko postrojenje odnosno na sabirnicama 633, 692 i 675. Provedeni su proračuni tokova snaga s kojima se predstavljaju rezultati struja vodova, naponskih profila, faznih napona, te prikaz snaga pomoću tablice. Kondenzatorska baterija ima zadatak injektiranje jalove snage u mreži da bi se povećao napon na mjestima gdje je priključeno postrojenje, odnosno kako bi poboljšao naponske prilike u sustavu. Mala industrijska postrojenja su ostala na isto mjestu kao i u prethodnom scenariju. Jalova snaga u prvom slučaju iznosi 0,2 Mvar i 0,0345 Mvar , dok je djelatna snaga ne postojeća jer se radi o kondenzatorskoj bateriji.

## 5.4.1. Prvi način- dodavanje kondenzacijskih baterija snage 0.0345 Mvar



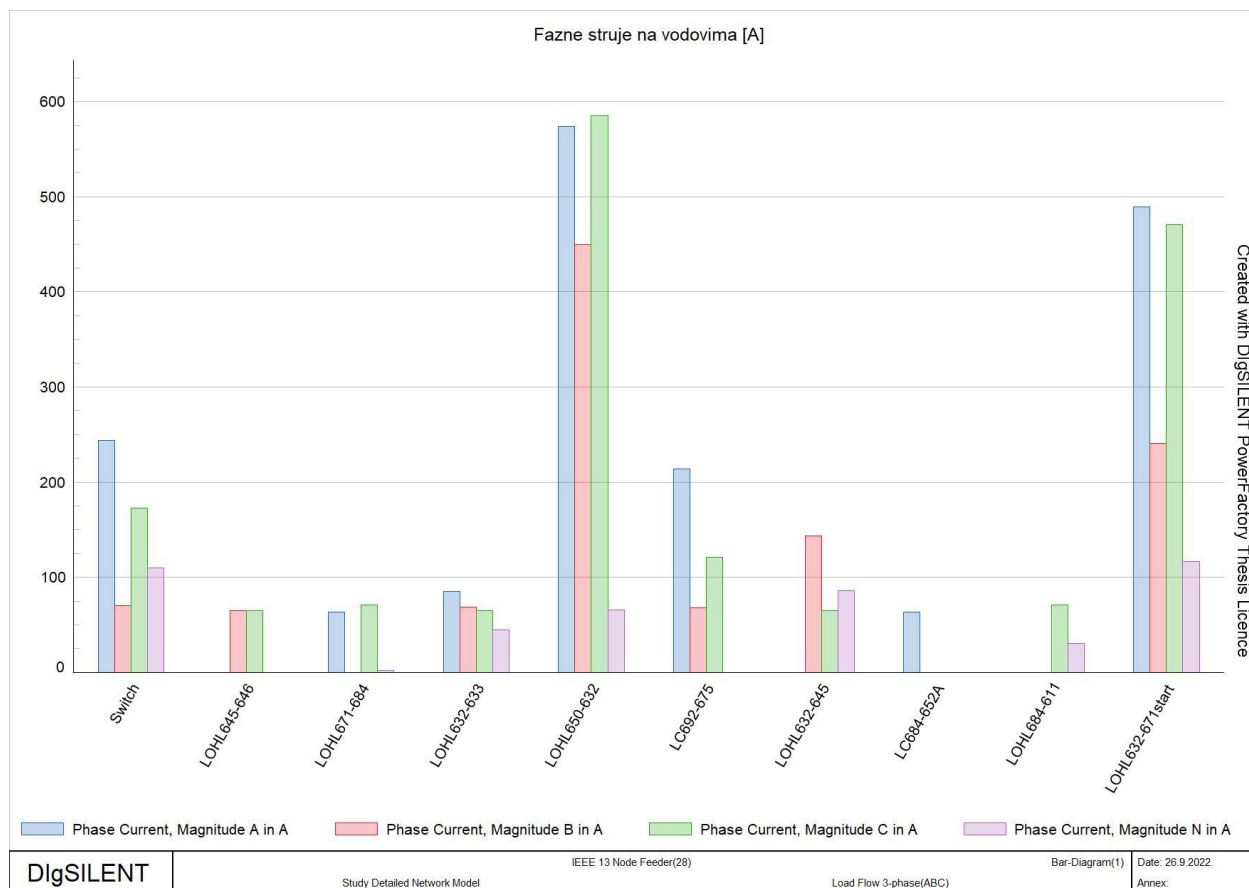
**Slika 5.24** Prikaz sheme prilikom integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije snage 0,0345Mvar na sabirnice 633, 692 i 675

Nakon integracije kondenzatorske baterije snage 0,0345Mvar koji je vidljiv iz slike 5.24 izvršen je proračun tokova snaga koji prikazuje smanjenje gubitak koja stvaraju mala industrijska postrojenja u mreži, te prilikom tog događaja poboljšavaju stanje u mreži.



**Slika 5.25** Prikaz faznih napona nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije na sabirnice 633, 692 i 675

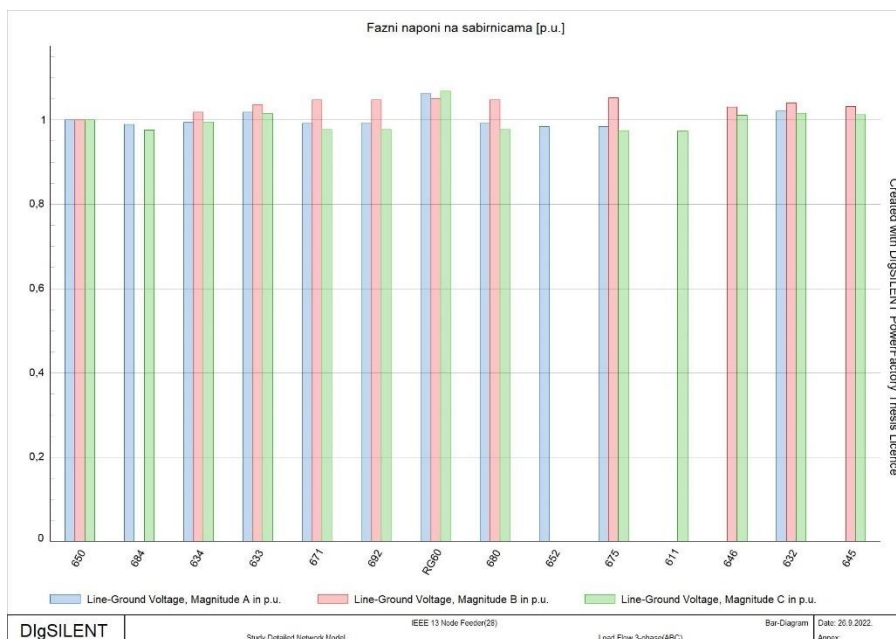
Dobivanjem naponskih profila za svaku fazu nakon integracije kondenzatorske baterije snage 0,0345 Mvar primjećuje se kako je najmanji napon upravo iznosa 0,974 p.u. na sabirnici 611 faze A, a najveći napon je iznosa 1,07 p.u. na sabirnici RG60 faze C. Iz naponskih profila je vidljivo kako je plava linija faze C najlošija, a najbolja zelena linija faze B, a mreža je nesimetrična kao što je vidljivo na slici 5.25. Kao rezultat se uočava povećanje napona za razliku bez kondenzatorske baterije što je vidljivo iz dobivenog proračuna.



**Slika 5.26** Prikaz struje na vodovima nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije snage 0.0345 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675

Najveća struja je na vodu LOHL650-632 i iznosi 585,28 A nakon integracije kondenzacijskih baterija snage 0.0345 Mvar uz postojeća mala industrijska postrojenja koja se nalaze na sabirnicama 633, 692 i 675 kao što je prikazano na slici 5.26. Došlo je do malog smanjenja opterećenja voda kao rezultat priključka kondenzatorske baterije, a time su se smanjile struje koje motori iz postrojenja vuku iz mreže.





**Slika 5.27** Prikaz fazni napona nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije na sabirnice 633, 692 i 675

Nakon priključenja baterijskog spremnika na sabirnicu 632 na slici 5.27 su prikazani iznosi faznih napona, a raspon napona se kreće od 0,975 p.u. do 1,06 p.u. što dokazuje da je mreža stabilna i jaka, te pokazuje kako je dodavanje elemenata ne može narušiti

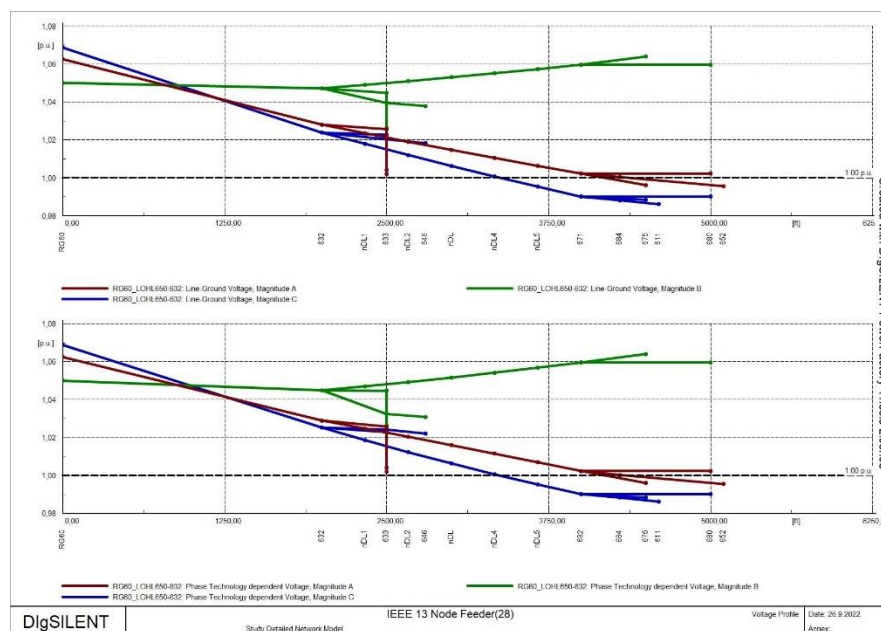
**Tablica 5.6** Prikaz parametara snaga u mreži nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633, 692 i 675, te kondenzatorske baterije snage 0,0345 Mvar

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	0,00	0,00
Snaga opterećenja u mreži	3466,00	2101,68
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3712,02	1739,65
Snaga gubitaka	116,58	338,34

U četvrtom scenariju je priključen kondenzatorska baterija jalove snage 0,0345 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675, a rezultati snaga su prikazani tablici 5.6 uz već postojeća postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675 Uz priključenje spremnika smo smanjili djelatne gubitke na 116,58 kW i jalove gubitke iznosa 338,34 kvar u odnosu na prvi i drugi scenarij, dok se u odnosu na treći scenarij povećalo.

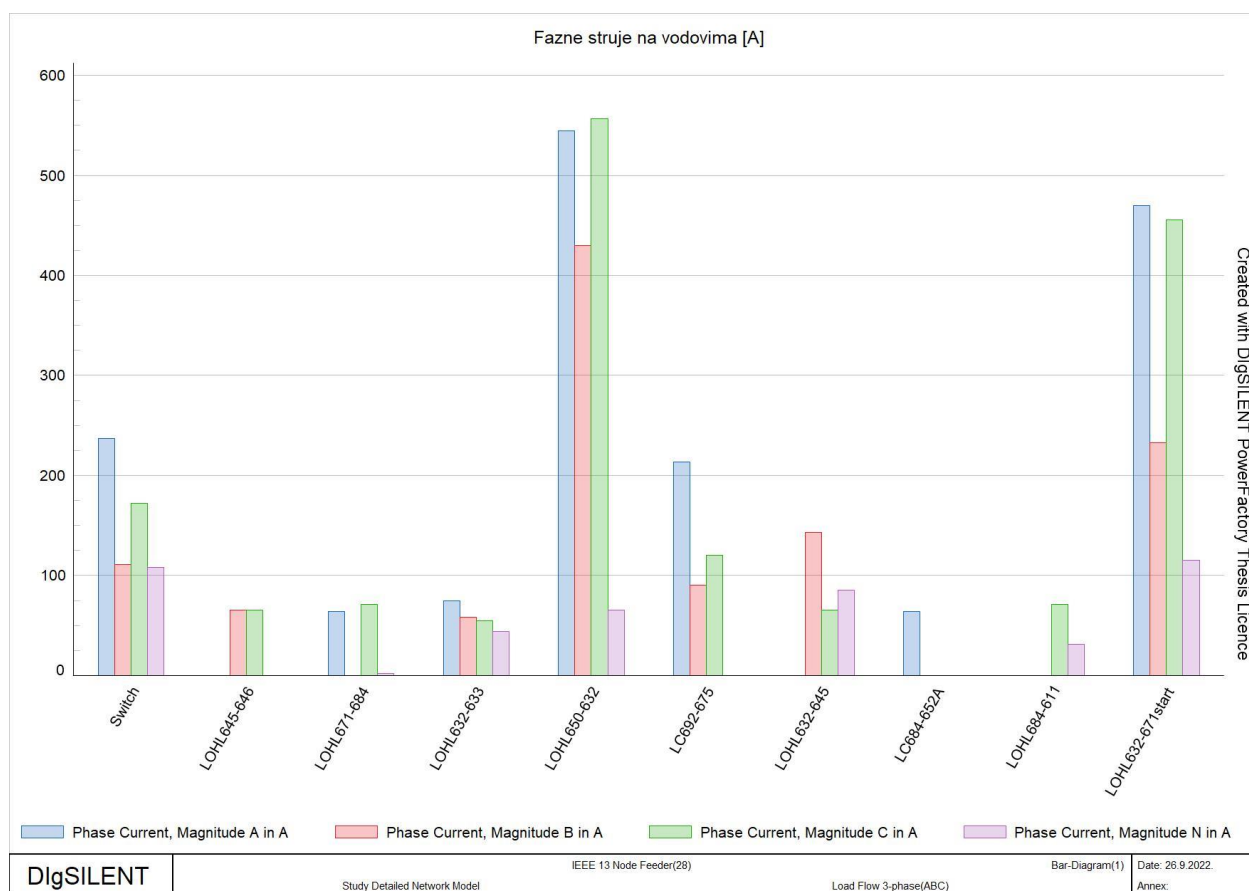
### 5.4.2. Drugi način- dodavanje kondenzacijskih baterija snage 0.2 Mvar

U drugom načinu se dodala kondenzacijska baterija snage 0.2 Mvar na sabirnicu 633, 692 i 675 uz ostavljanje malih industrijskih postrojenja na istoimene sabirnice. Nakon priključenja kondenzacijskih baterija provedeni su proračuni tokova snaga u mreži.



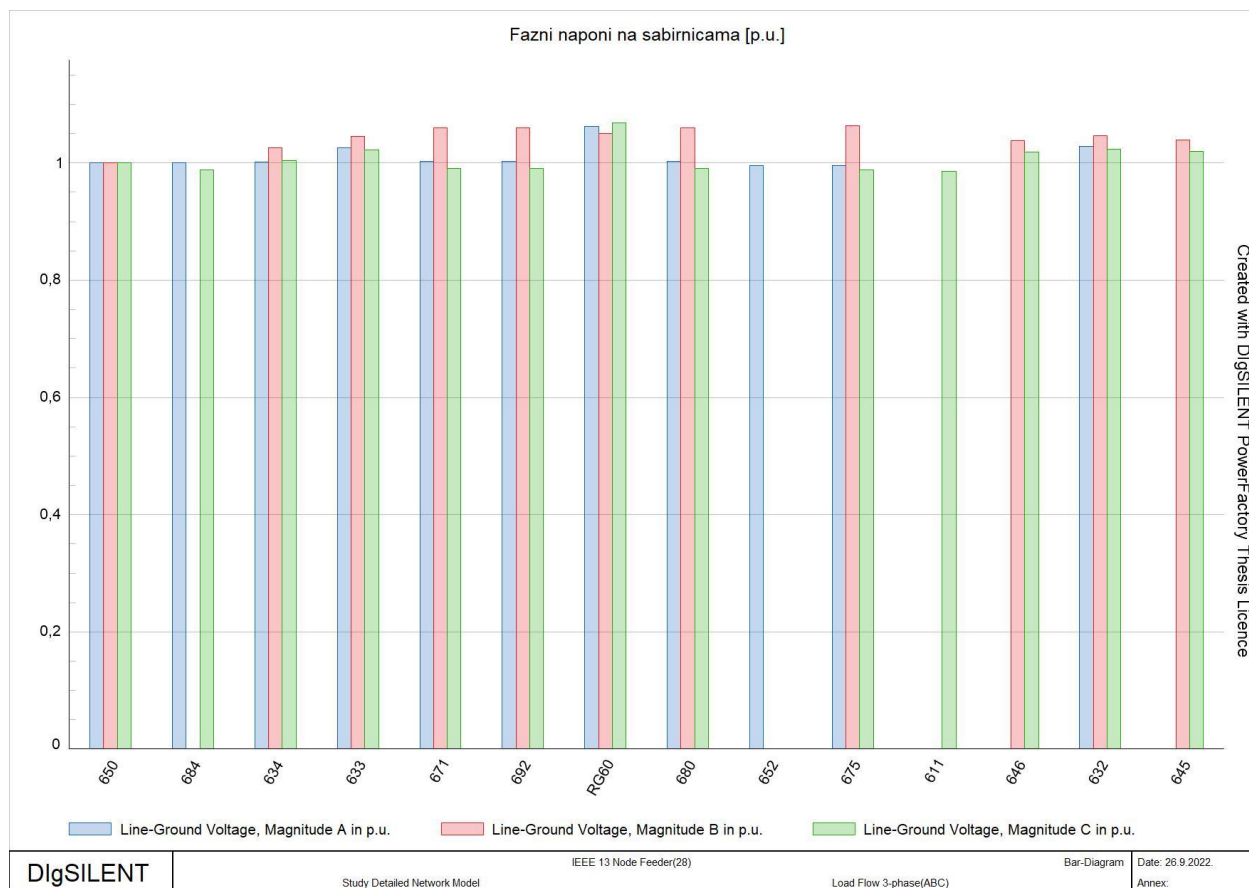
**Slika 5.28** Prikaz faznih napona nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije snage 0.2 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675

Dobivanjem naponskih profila za svaku fazu nakon integracije kondenzatorske baterije snage 0,2 Mvar primjećuje se kako je došlo do povećanja faznih napona za razliku od prethodnog načina, te najmanji napon upravo iznos 0,986 p.u. na sabirnici 611 faze A, a najveći napon je iznosa 1,062 p.u. na sabirnici RG60 faze C. Iz naponskih profila je vidljivo kako je plava linija faze C najlošija, a najbolja zelena linija faze B, a mreža je nesimetrična kao što je vidljivo na slici 5.28. Kao rezultat se uočava povećanje napona na mjestima manjeg napona što je vidljivo iz dobivenog proračuna.



**Slika 5.29** Prikaz struje na vodovima nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije snage 0.2 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675

Najveća struja je na vodu LOHL650-632 i iznosi 556,69 A nakon integracije kondenzatorske baterije snage 0.2 Mvar uz postojeća mala industrijska postrojenja koja se nalaze na sabirnicama 633, 692 i 675 kao što je prikazano na slici 5.29. Došlo je do dodatnog smanjenja opterećenja voda u odnosu na prethodni slučaj što je rezultat priključka kondenzatorske baterije veće jalove snage, a time su se smanjile struje koje motori iz postrojenja vuku iz mreže.



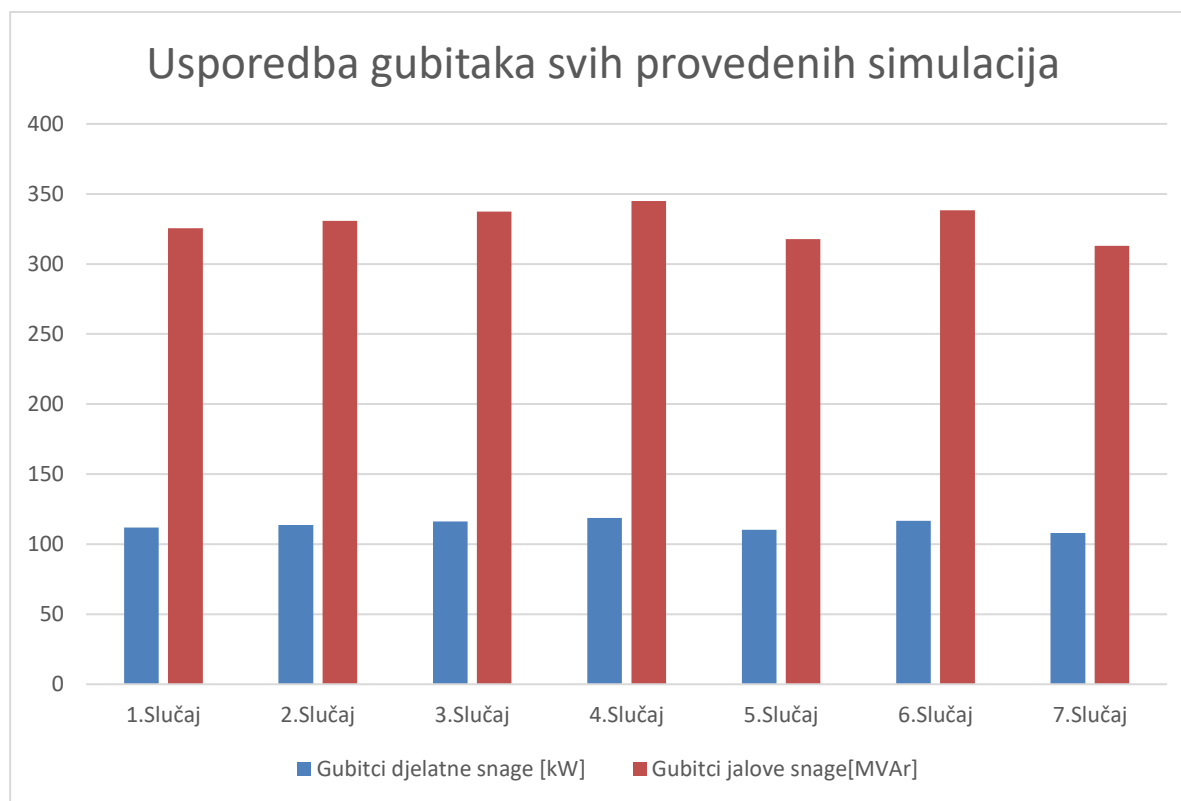
**Slika 5.30** Prikaz fazni napona nakon integracije malih industrijskih postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675, te dodavanjem kondenzatorske baterije snage 0.2 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675

Nakon priključenja kondenzacijske baterije snage 0.2 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675 na slici 5.27 su prikazani iznosi faznih napona, a raspon napona se kreće od 0,986 p.u. do 1,06 p.u. što dokazuje da je mreža stabilna i jaka, te pokazuje kako je dodavanje elemenata ne može narušiti ovaj IEEE 13 testni sabirnički sustav što se uočava iz slike 5.30.

**Tablica 5.7** Prikaz parametara snaga u mreži nakon priključenja malog industrijskog postrojenja na sabirnicu 633, 692 i 675, te kondenzatorske baterije snage 0,02 Mvar

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kvar]
Proizvedena snaga	0,00	0,00
Snaga opterećenja u mreži	3476,37	2108,30
Snaga mreže pri nazivnom naponu	3466,00	2102,00
Snaga iz mreže	3713,81	1183,64
Snaga gubitaka	108,00	312,89

U drugom načinu je priključen kondenzatorska baterija jalove snage 0,025 Mvar na sabirnice 633, 692 i 675, a rezultati snaga su prikazani tablici 5.7 uz već postojeća postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675. Uz priključenje spremnika smo smanjili djelatne gubitke na 108,00 kW i jalove gubitke iznosa 312,89 kvar u odnosu na prvi način

**Slika 5.31** Prikaz usporedbi gubitaka prilikom provedbe simulacija

Od prvog do četvrtog slučaja uočava se povećanje gubitaka nakon integracije malih industrijskih postrojenja. Postepenim dodavanjem malih industrijskih postrojenja u IEE 13 testni sabirnički sustav uočava se i postepeni porast gubitaka u sustavu. Može se zaključiti kako

dodavanjem baterijskog spremnika i kondenzatorske baterije dolazi do smanjenje gubitaka u sustavu. Analogno tome, ugradnjom baterijskog spremnika snage 0.2 MW i 0.2 Mvar smanjeni su gubici na početnu vrijednost kao i prije dodavanjem malih industrijskih postrojenja, dok su s kondenzatorskom baterijom snage 0.0345 Mvar što simulira potpunu kompenzaciju smanjeni za trećinu potrebnog smanjenja. Takvo smanjenje je dobiveno zato što je mreža IEEE 13 testnog sabirničkog sustava nesimetrična. Povodom toga povećali smo snagu kondenzacijske baterije na vrijednost 0.2 Mvar što smanjuje prije dodavanja malih industrijskih postrojenja, te ujedno s tim smanjenjem poboljšava sustav mikromreže što je vidljivo iz slike 5.31.

## 6. ZAKLJUČAK

Cilj svakog malog industrijskog postrojenja je koristiti energiju što je više moguće iz vlastitih izvora kako bi se minimizirali ekonomski troškovi, postigla što bolja učinkovitost i kvaliteta električne energije. Svaki proizvodni pogon unutar postrojenja stvara gubitke koje i time utječe na tokove snaga i strojno-naponske prilike u sustavu.

Kako bi se predstavio utjecaj malog industrijskog postrojenja na mrežu, izvodi se analiza na IEEE 13 sabirničkom testnom sistemu u kojemu se na nasumično odabrane sabirnice priključuju postrojenja djelatne snage 41,11 kW i jalove snage 34,5 kvar. Analiza se sastoji od četiri scenarija. Unutar prvog scenarija su provedeni proračuni tokova snaga u testnom sistemu prije priključenja malih industrijskih postrojenja spomenute snage. U drugom scenariju su odabrane nasumične tri sabirnice na koje će postrojenje biti spojeno. Prvo je postrojenje priključeno na sabirnicu 633, zatim je priključeno postrojenje na sabirnicu 692 uz već postojeće na sabirnici 633. Analogno tome priključeno je i postrojenje na sabirnicu 675 iste snage kao u sva tri načina. Iz dobivenih rezultata je vidljivo da postrojenje u kojem su integrirani električni motori izaziva povećanje gubitaka u mreži iz razloga što se djelatna i jalova snaga mreže troše na gubitke u vidu topline i gubitaka u bakru i željezu motora. Priključenje ovakvog pogona izaziva povećanjem iznosa struje pri pokretanju motora, što rezultira povećanje opterećenja vodova koji napajaju takvo postrojenje. U trećem scenariju uz već priključena postrojenja na sabirnicama 633, 692 i 675 na čvorište mreže se integrira baterijski spremnik djelatne snage 0.2 MW i jalove snage 0.2 Mvar. Cilj je minimiziranje gubitaka koji prouzrokuju mala industrijska postrojenja. Integracijom baterijskog spremnika došlo je do povećanja iznosa napona na sabirnicama u sustavu, kao i na smanjenje gubitaka djelatne snage na 110,22 kW i jalove snage na 317,73 kvar. Kako bi se uvidjela razlika između baterijskog spremnika u čvorištu mreže i kondenzatorskih baterija na sabirnicama 633, 692 i 675 proveden je četvrti scenariji. Svrha kondenzatorskih baterija je poboljšanje naponskih prilika i ograničavanje udarnih struja pri uključanja pogona postrojenja, te je jeftinija solucija za razliku od baterijskog spremnika. Kao rezultat integracije kondenzatorskih baterija jalove snage 0.0345 Mvar i 0.2 Mvar, došlo je do smanjenja djelatnih i jalovih gubitaka u cijeloj mreži. Pri kondenzatorskoj bateriji snage 0,0345 Mvar djelatni gubitci iznose 116,58 kW, a jalovi gubitci iznose 338,34 kvar, dok pri kondenzatorskoj bateriji snage 0,2 Mvar djelatni gubitci iznose 108 kW, a jalovi gubitci iznose 312,89 kvar.

Iz podataka je vidljivo da bolji učinak na minimiziranje gubitaka ima baterijski spremnik za razliku od kondenzatorskih baterija, no ekonomski najisplativije je koristiti kondenzatorske baterije u svrhu smanjenja djelatnih i jalovih gubitaka kao i smanjenje udarne struje na motorima.



**LITERATURA**

[1] B. Khan, Issues Associated With Microgrid Integration, Handbook of Research on Smart Power System Operation and Control, Hawassa University, Ethiopia, 2019, dostupno na: <https://www.igi-global.com/chapter/issues-associated-with-microgrid-integration/223282>

[Datum: 19.8.2022]

[2] Bower, Ward Isaac, Ton, Dan T., Guttromson, Ross, Glover, Steven F, Stamp, Jason Edwin, Bhatnagar, Dhruv, and Reilly, Jim. The advanced microgrid. Integration and interoperability. United States: N. p., 2014. Web. doi:10.2172/1204100.

[3] A.Bidram, A.Davoudi, Hierarchical Structure of Microgrids Control System, IEEE Transactions on Smart Grid ( Volume: 3, Issue: 4, December 2012), dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6202752/authors#authors>

[Datum:19.8.2022]

[4] E. Sortomme; M. A. El-Sharkawi, Optimal Power Flow for a System of Microgrids with Controllable Loads and Battery Storage, IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 2009, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4840050>

[Datum: 19.8.2022]

[5] Saverio Bolognani; Sandro Zampieri, A Distributed Control Strategy for Reactive Power Compensation in Smart Microgrids, IEEE Transactions on Automatic Control ( Volume: 58, Issue: 11, November 2013), dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6544599>

[Datum:19.08.2022]

[6] C. Li, S. K. Chaudhary, M. Savaghebi, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, “Power flow analysis for low-voltage ac and dc microgrids considering droop control and virtual impedance,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 8,no. 6, pp. 2754–2764, Mar. 2016

[7] C. Yuen, A. Oudalov, and A. Timbus, “The provision of frequency control reserves from multiple microgrids,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 1, pp. 173–183, Jan. 2011.

- [8] Živić Đurović, M.; Škrlec, D.; Kezele, B., Primjenjivost mikromreža u distribucijskoj mreži HEP ODS-a // 2. savjetovanje Hrvatskog ogranka Međunarodne elektrodistribucijske konferencije (HO CIRED) Umag, Republika Hrvatska, 2010. (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
- [9] A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the future," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 7, no. 2, pp. 52–62, Apr. 2009.
- [10] N. Hatziargyriou, *Microgrid : Communication Network Architectures for Smart-House with Renewable Energy Resources*, 1996.
- [11] K. H. Yang, »Stepping Through Finite Element Analysis,« u *Basic Finite Element Method as Applied to Injury Biomechanics*, Elsevier Inc., 2018, pp. 281-308..
- [12] M. S. S. R. Vadimgadu, »A Review of Optimal DG Allocation in Distribution System for Loss Minimization,« *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, pp. 15-22, 2016.
- [13] Sivachandran, P., Muthukumar, R., An overview of microgrid system, *International Journal of Applied Engineering Research*, 2014, vol.9, pp. 12353-12376.
- [14] B. Sahoo, S. Keshari Routray, P. Kumar Rout, AC, DC, and hybrid control strategies for smart microgrid application: A review [Online], 2020.  
Dostupno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2050-7038.12683>
- [15] E. Unamuno, J.A. Barrena, Hybrid ac/dc microgrids—Part I: Review and classification of topologies [Online], 2015.  
Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/281449036\\_Hybrid\\_acdc\\_microgrids-Part\\_I\\_Review\\_and\\_classification\\_of\\_topologies](https://www.researchgate.net/publication/281449036_Hybrid_acdc_microgrids-Part_I_Review_and_classification_of_topologies)
- [16] F. Aloul, A. R. Al-Ali, R. Al-Dalky, M- Al-Mardini, W. El-Hajj, »International Journal of Smart Grid and Clean Energy,« *Smart Grid Security: Threats, Vulnerabilities and Solutions*, svez. 1, br. 1, pp. 1-6, 2012.

- [17] International Electrotechnical Commission, »Electrical Energy Storage,« 26. 12. 2011. [Mrežno]. Dostupno na : <https://www.iec.ch/basecamp/electrical-energy-storage>.
- [18] I. Boldea, S.A. Nasar, Electric drives, Prentice Hall, 2006.
- [19] B. Jurković, Elektromotorni pogoni, 4. izdanje, Školska knjiga Zagreb, 1990.
- [20] Obnovljivi izvori električne energije, predavanja, 5. poglavlje, prof. dr. sc. Damir Šljivac, 2017./2018.
- [21] Ivan Mandić, Veselko Tomljenović, Milica Pužar, Sinkroni i asinkroni električni strojevi, Zagreb, 2012
- [22] W. Hofmann, J. Schlabbach, W. Just, Reactive power compensation a practical guide: A John Willey & Sons, Ltd, 2012.

## SAŽETAK

Kroz rad su opisane mikromreže, sustavi za pohranu, gubitci malih industrijskih postrojenja kao i kondenzatorski spremnici. Objasnjena je struktura i sastav mikromreže, dok su se kod malih industrijskih postrojenja pojasnili njeni gubitci kao i mogućnosti optimizacije pomoću baterijskih spremnika i kondenzatorskih baterija. Analiza i simulacija rada je provedena preko programskog paketa *DiGSILENT Power Factory 2022* kako bi se utvrdila najbolja najbolja rješenja kompenzacije jalove snage i smanjenja gubitaka za IEEE testni sustav s 13 sabirnica. Rezultati simulacija su prikazani pomoću tablica, grafova i slika.

Ključne riječi: Industrijska postrojenja, gubitci, baterijski spremnici, djelatna i jalova snaga, kondenzatorska baterija.

## SUMMARY

This thesis describes microgrids, storage systems, losses of small industrial plants, as well as capacitor tanks. In the case of microgrids, the structure and composition of the network itself were explained. In contrast, in the case of small industrial plants, their losses were clarified, as were the possibilities of optimization using battery tanks and capacitor batteries. The operation was analyzed and simulated using the *DiGSILENT Power Factory 2022* software package to determine the best optimization solutions for the IEEE test system consisting of 13 buses. The results of the simulations are presented using tables, graphs, and pictures.

Key words: Industrial facilities, losses, battery storage, active and reactive power, capacitor battery.

## ŽIVOTOPIS

Anton Iljkić je rođen u Osijeku 29.09.1997. godine. Nakon završetka Osnovne škole Višnjevac, upisuje I. Gimnaziju u Osijeku. Nakon završetka srednje škole, 2016 godine, odlučuje se upisati preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Nakon završetka preddiplomskog studija elektrotehnike, 2020. godine, upisuje diplomski studij elektrotehnike, izborni blok DEA - Elektroenergetski sustavi. Odrađuje stručnu praksu za vrijeme diplomskog studija u HOPS-u Osijek koja je u sklopu obrazovanja.