

Problematika otočnog pogona u aktivnoj distributivnoj mreži

Tonkovic, Tena

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:186773>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-17**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**Problematika otočnog pogona u aktivnoj distributivnoj
mreži**

Diplomski rad

Tena Tonkovic

Osijek, 2023.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME	2
3. OTOČNI POGON	3
3.1. ZONA NEPREPOZNAVANJA	5
3.2. Metode detekcije otočnog pogona	7
3.2.1. PASIVNE METODE	9
3.2.2. AKTIVNE METODE	10
3.2.3. HIBRIDNE METODE	11
3.2.4. OBRADA SIGNALA	12
3.2.5. RAČUNALNA INTELIGENCIJA	13
4. SIMULACIJE I REZULTATI	15
4.1. OPIS MODELA	15
4.2. SIMULACIJE	17
4.2.1. MALI OTOK - BAZNI SCENARIJ	20
4.2.2. MALI OTOK – SCENARIJ A	22
4.2.3. MALI OTOK – SCENARIJ B	24
4.2.4. MALI OTOK – SCENARIJ C	26
4.2.5. VELIKI OTOK – BAZNI SCENARIJ	28
4.2.6. VELIKI OTOK – SCENARIJ A	30
4.2.7. VELIKI OTOK – SCENARIJ B	32
4.2.8. VELIKI OTOK – SCENARIJ C	34
5. ZAKLJUČAK	37
SAŽETAK	38
ABSTRACT	38
LITERATURA	39
ŽIVOTOPIS	41

1. UVOD

Elektroenergetski sustav doživljava veliku promjenu s integracijom obnovljivih izvora energije u distribucijsku mrežu. Sve je veća prednost obnovljivih izvora energije u odnosu na konvencionalne izvore energije zbog mnoštva prednosti koje njihova integracija donosi. Međutim, važno je naglasiti problematiku otočnog pogona u aktivnoj distributivnoj mreži koja se javlja prodorom obnovljivih izvora energije. Otočni pogon može prouzročiti mnoge probleme stoga su u teorijskom dijelu ovog rada predstavljene metode detekcije otoka radi očuvanja elektroenergetskog sustava, dok su u praktičnom dijelu izvedene simulacije otočnog pogona za različite vrijednosti, te su promatrane promjene električkih veličina.

Ovaj rad sastoji se od pet poglavlja. U drugom poglavlju iznesen je pregled literature gdje su opisani radovi koji su povezani sa ovom temom. Treće poglavlje opisuje otočni pogon, zonu neprepoznavanja te različite metode detekcije otočnog pogona. U četvrtom provede su simulacije za slučaj malog i velikog otoka, te su prikazani su grafovi koji su dobiveni u računalnom programu. Električne veličine koje su grafički prikazane su napon, frekvencija te jalova snaga generatora.

U petom poglavlju izveden je zaključak na temelju teorijskih činjenica te izvedenih simulacija.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Problematiku otočnog pogona je potrebno u diplomskom radu prvo objasniti na temelju najnovije dostupne literature, a zatim koristeći se simulacijskim alatima na računalu, ilustrirati što se događa sa električnim veličinama prilikom odvajanja dijela mreže u otočni pogon.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

U literaturi [1] autori opisuju rad otočnog pogona u elektroenergetskom sustavu i prikazuju podjelu metoda za detekciju istog. Metode su podijelili na lokalne (detekcija otočnog pogona na strani distribuiranog izvora) i daljinske(detekcija otočnog pogona na strani javnog opskrbljivača), zatim su one su u radu detaljno opisane i analizirane.

Autori u literaturi [2] napravili su sveobuhvatnu podjelu metoda za detekciju otočnog pogona. U radu je opisano zašto je korisna planirana pojava otočnog pogona za mikromrežu te kakve probleme uzrokuje neplanirani otočni pogon.

U literaturi [3] autori pružaju pregled o primjeni neuronskih mreža za detekciju otočnog pogona u distribucijskim mrežama. U radu su opisane razne vrste primjena neuronskih mreža koje mogu poboljšati pouzdanost i kvalitetu detekcije u usporedbi s aktivnim i pasivim metodama.

U literaturi [4] opisane su metode za detekciju otočnog pogona te je provedena usporedba metoda na temelju zone neprepoznavanja, faktora kvalitete, vremena odziva, troškova implementacija, pouzdanosti i ostalih faktora. Opisane prednosti i nedostaci mogu pomoći u odabiru metode za detektiranje otočnog pogona.

U literaturi [5] autori su opisali novu hibridnu metodu za detekciju otočnog pogona. Njen rad se temelji na kombiniranju pasivne (SFS) metode i aktivne (ROOCOF) metode. Provedene su različite simulacije kako bi se utvrdila učinkovitost ove metode u otkrivanju otočnog pogona.

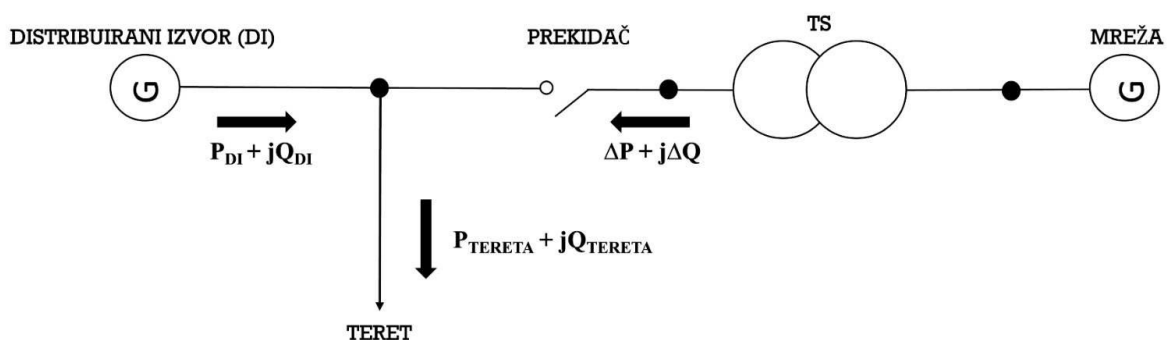
U literaturi [6] autori opisuju pasivnu metodu za smanjivanje zone neprepoznavanja kontroliranjem izlazne snage izmjenjivača. Ovaj predloženi sustav razvijen je i testiran u programskom jeziku MATLAB/SIMULINK .

3. OTOČNI POGON

Distribucijske izvore definiramo kao proizvodne jedinice koje su smještene blizu opterećenja, odnosno mjesta korištenja električne energije. Neke od vrsta distribucijskih izvora su solarni paneli, hidroelektrane, vjetroelektrane, plinski ili dizelski generatori te gorivne ćelije. Njihov broj u distribucijskom sustavu raste jer za njih nije potrebna nadogradnju kapaciteta prijenosa i distribucije, a mogu smanjiti gubitke u prijenosnim i distribucijskim vodovima, poboljšati kvalitetu električne energije te poboljšati naponski profil sustava, također njihovim korištenjem se potiče korištenje održivih izvora energije. Međutim, jedan od glavnih problema koje se javlja prodorom distribucijskih generatora je – otočni pogon. [1]

Prema [1]: „Otočnim pogonom zovemo situaciju u kojoj se distribucijski sustav električno izolira od ostatka elektroenergetskog sustava, ali i dalje se napaja od strane distribuiranog generatora koji je s njim povezan.“

Distribucijski sustav obično nema izvore aktivne snage pa kada dođe do kvara on nije napajan, ali kada je distribucijski izvor spojen s distribucijskim sustavom ipak će biti napajanja u sustavu. Zato se u slučaju otočnog pogona distribucijski generator mora odvojiti od mreže. Otočni pogon također može biti izveden namjerno ako želimo prekid napajanja izvesti za pregled održavanja, ali problem nastaje ako je otočni pogon uzrokovan slučajnim prekidom rada mreže. Neki od razloga otočnog pogona su: kvar koji mora biti otklonjen otvaranjem prekidača za prekid kvara, slučajno isključenje normalnog rada sustava zbog kvara opreme te pogreška ljudi. [7]



Slika 1.1. Otočni pogon [8]

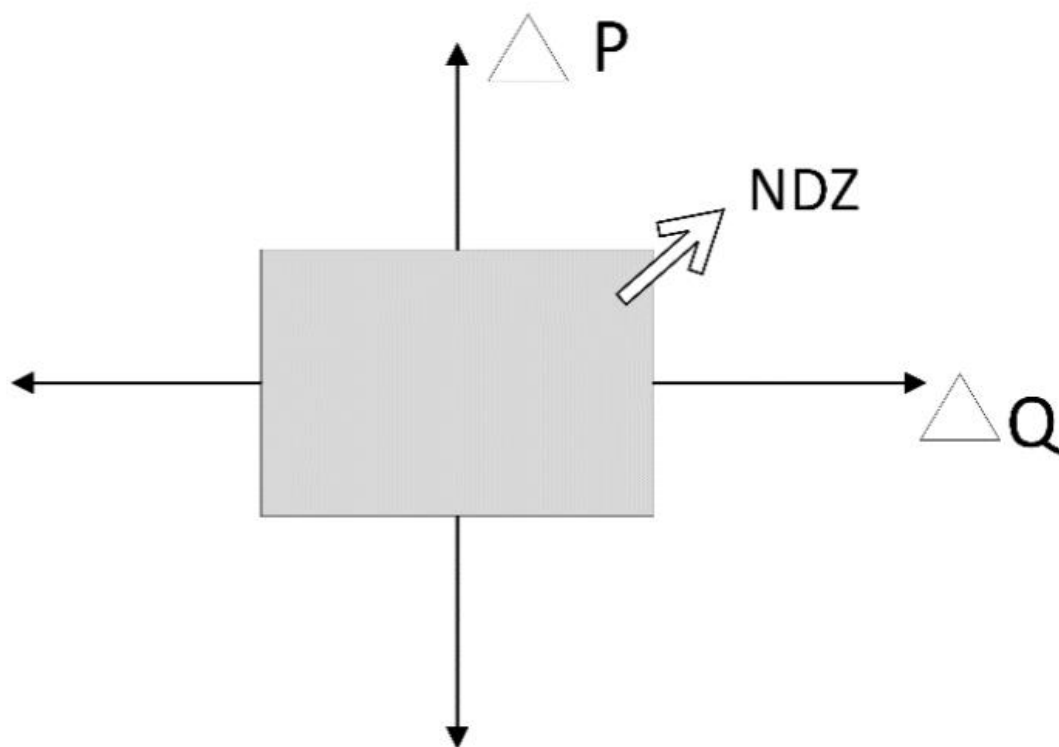
Slika 1.1. shematski prikazuje otočni pogon. Kada prekidač isklopi reakcija sustava ovisiti će o nesrazmjeru radne i jalove snage. Veliko odstupanje ove dvije komponente uzrokuje proradu zaštite. Izjednačenjem snage proizvodnje i snage potrošnje sustavu neće biti razlike u djelatnoj i jalovoj snazi te se neće mijenjati ni napon ni frekvencija, stoga zaštita neće moći lako detektirati otočni pogon stoga detekcija otočnog pogona neće biti moguća. [8]

Neprovođenje brzog uklanjanja otoka može uzrokovati ozbiljne štete na električnoj opremi i ugroziti sigurnost osoblja. [9] Pojava otočnog pogona može uzrokovati brojne probleme u distributivnoj mreži kao što su nedovoljna sigurnost radnika, naponi i frekvencije mogu prekoračiti svoje dopuštene vrijednosti, nepravilno uzemljenje otočnog sustava te velike struje koju mogu uništiti uređaje. [1]

Lakše, ali češe posljedice su na smanjenje kvalitete isporučene električne energije uz što je povezana odgovornost u slučaju kvara na uređajima korisnika u trenutku trajanja otočnog pogona. [10] Elektrana može dobiti status elektrane s regulacijom koja ima obavezu raditi u otočnom pogonu na osnovu sposobnosti regulacije frekvencije i napona te da elektrana ima neophodne regulacijske sposobnosti na temelju kojih ima sklopljen ugovor s nadležnim operatorom sustava za pomoćne usluge sustavu, te je jedna od ugovorenih usluga i rad u otočnom pogonu. [11] Prema literaturi [11] u Republici Hrvatskoj, trenutno ne postoji niti jedna elektrana u distributivnoj mreži koja bi zadovoljila uvjete rada u otočnom pogonu.

3.1. ZONA NEPREPOZNAVANJA

Otočni pogon može uzrokovati razne smetnje te ga je zato potrebno što prije detektirati pomoću raznih metoda. Otkrivanje otočnog pogona može biti veliki izazov zbog zone neprepoznavanja (*eng. nondetection zone – NDZ*) koja predstavlja područje rada u kojem nije moguće detektirati otočni pogon. [2]



Slika 1.2. Zona neprepoznavanja otočnog pogona [3]

Slika 1.2. prikazuje zonu neprepoznavanja otočnog pogona. Točnost metode smatra se visokom kada je zona neprepoznavanja niska. Za njenu procjenu koristi se grafički prikaz ravnine gdje se na x – osi se nalazi jalova snaga, a na y – osi radna snaga, ta ravnina je iscrtana na temelju pretpostavki distribucijske mreže. [2,3]

Prema [9] „Temeljni je kriterij održivog otočnog pogona izdvojenih dijelova izmjeničnih elektroenergetskih sustava da radna i jalova snaga proizvodnje i tereta moraju biti uravnotežene u svakom trenutku.“ Otok se smatra održivim kada su radna i jalova snaga jednake te kad ga metode ne mogu prepoznati. [2,3]

Zona neprepoznavanja daje prikaz postavljenih parametara prorade naponske i frekvencijske zaštite koji moraju zadovoljiti uvjete prema normi HRN EN 50160. Minimalna frekvencija u otočnom pogonu iznosi 49 Hz, a maksimalna 51 Hz. Minimalni napon iznosi 0.9 p.u, a maksimalni 1.1 p.u. [12]

Zonu neprepoznavanja možemo odrediti prema sljedećim funkcijama:

$$\left(\frac{V}{V_{max}}\right)^2 - 1 \leq \frac{\Delta P}{P_{DG}} \leq \left(\frac{V}{V_{min}}\right)^2 - 1 \quad (1-1)$$

$$Q_f \left(1 - \left(\frac{f}{f_{min}}\right)^2\right) \leq \frac{\Delta Q}{P_{DG}} \leq Q_f \left(1 - \left(\frac{f}{f_{max}}\right)^2\right) \quad (1-2)$$

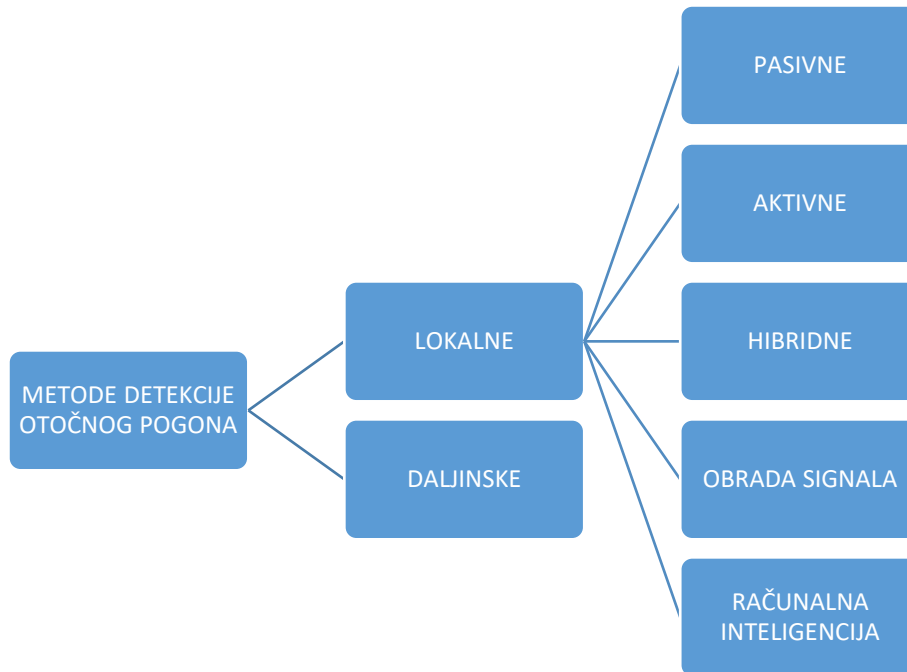
Jednadžba (1-1) odnosi se na nadnaponsku/podnaponsku zaštitu, a jednadžba (1-2) se odnosi na nadfrekvencijsku/podfrekvencijsku zaštitu. Izjednačenje jalove i radne snage predstavlja najnepovoljniji slučaj za otkrivanje otočnog pogona. [8]

Ako su snaga proizvodnje i tereta na odspojenom odvodu približno iste u trenutku isklapanja odvoda sa distributivne mreže, tada nema dovoljne promjene u amplitudi ili frekvenciji napona na priključku distribuiranog izvora, da bi se aktivirala neka od nadnaponskih/podnaponskih ili nadfrekvencijskih/podfrekvencijskih zaštita. Pouzdanost tih i drugih metoda detekcije otočnog pogona može se odrediti veličinom zone neprepoznavanja (non-detection zone, NDZ), definirane kao prostor neusklađenosti radne i jalove snage u kojem otkaz nije detektiran jer postoji izgled za nepoželjne i netočne prorade zaštite. Važno je da zaštita od otočnog pogona ne bude osjetljiva na uobičajene poremećaje u mreži. Zbog toga u pravilu standardna nad/pod-naponska/frekvencijska zaštita kao zaštita od otočnog rada nije dovoljno pouzdana, pa su tijekom proteklih godina predložene razne metode detekcije otočnog pogona. [10]

Prema standardu IEEE929-2000 koji propisuje postupak otočnog pogona za distribuirane izvore električne energije obavezno je opremiti distribuirani generator uređajem koji neprestano prati uvjete otočnog pogona i može otkriti pojavu otočnog pogona.[13]

3.2. Metode detekcije otočnog pogona

Metode detekcije otočnih pogona dijele se na dvije osnovne grupe lokalne i daljinske, detaljnije, lokalne dijelimo na pasivne, aktivne, hibridne, obrada signala te računalna inteligencija. [2]

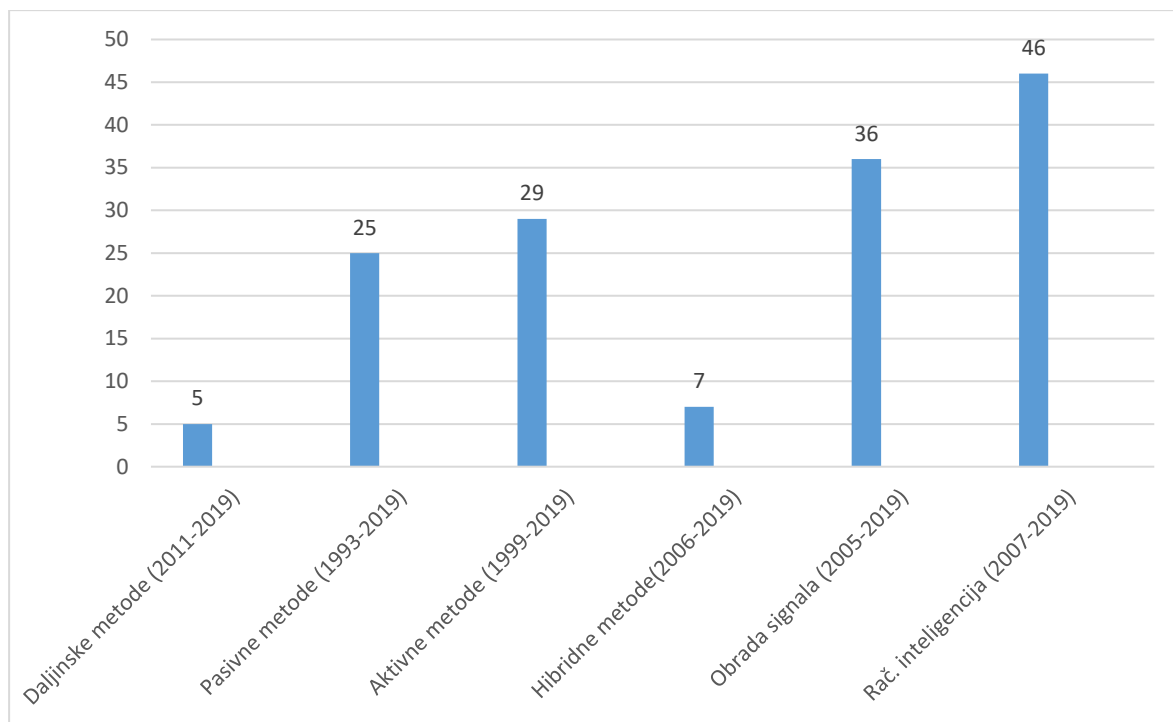


Slika 3.1. Podjela metoda detekcije otočnog pogona [2]

Slika 3.1. daje shematski prikaz podjele metoda detekcije otočnog pogona. Daljinske metode imaju prednost kada je u pitanju kvaliteta električne energije i visoka točnost detekcije otočnog pogona, a također imaju i zanemariv iznos zone neprepoznavanja. Međutim dodatna oprema koja se koristi za povezivanje elektroenergetske mreže i distribuiranih izvora izaziva velike troškove. [2]

Neke od daljinskih metoda su PLCC-a i SCADA. Kako bi otkrili otok, oni zahtijevaju prikup informacija s obje strane, odnosno s mrežne strane i strane distributivnog generatora. PLCC prati signale sa strane mreže te otkriva otok kada signali nestanu, dok SCADA otkriva otok koristeći informacije s pomoćnih kontakata prekidača. [14]

Lokalne metode otkrivaju otočni pogon s dostupnim uređajima i njihovim mjerenjima na samom mjestu distribuiranih izvora stoga takve metode ne zahtijevaju dodatnu opremu pa tako i nema dodatnih troškova, ali njihova točnost je manja u usporedni s daljinskim metodama. [3]



Graf 3.1. Trend istraživanja metoda otkoćnog pogona [2]

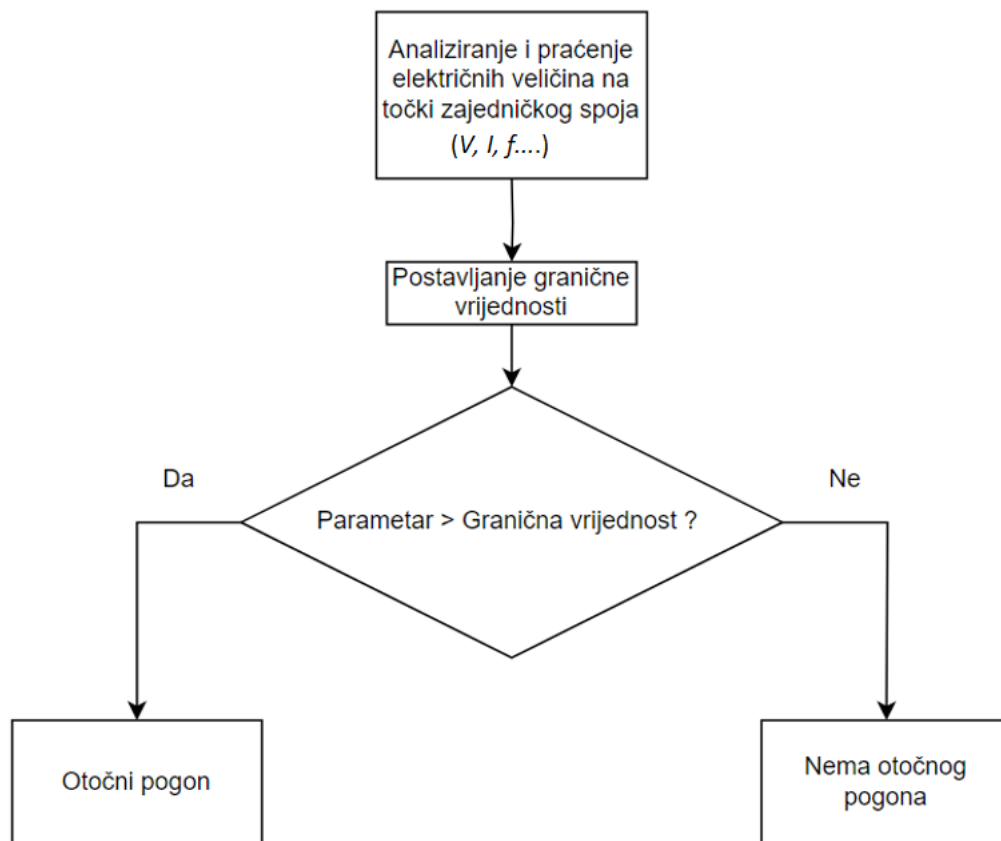
Graf 3.1. Prikazuje trend istraživanja metoda detekcije otkoćnog pogona gdje se može vidjeti da su se do 2019. godine najviše koristile metode pomoću računalne inteligencije, a najmanje su korištene daljinske metode.

3.2.1. PASIVNE METODE

Među prvim metodama detekcije otočnih pogona usvojene su pasivne metode. Za analizu se koriste parametri frekvencije i napona koji su prikupljeni na distribuiranom izvoru, ti parametri unaprijed su definirani i bilo kakvo odstupanje od tih vrijednosti tumači se kao otočni pogon. [2]

Pasivne metode su vrlo brze te ne stvaraju smetnje u sustavu, a najveća prednost je u tome što one ne utječu na djelatnu i jalovu snagu pa stoga nema međusobnih smetnji između uređaja za detekciju otočnog pogona ako ima više izmjenjivača, jer se ne puštaju poremećaji u sustav. [15]

Detekcija brzine promjene frekvencije (*engl. rate of change of frequency*, *ROCOF*, df/dt) je najčešća funkcija koja se koristi u detekciji otoka kod distribuiranih izvora zbog jednostavnosti metode. [10]



Slika 3.2. Blok dijagram pasivnih metoda [2]

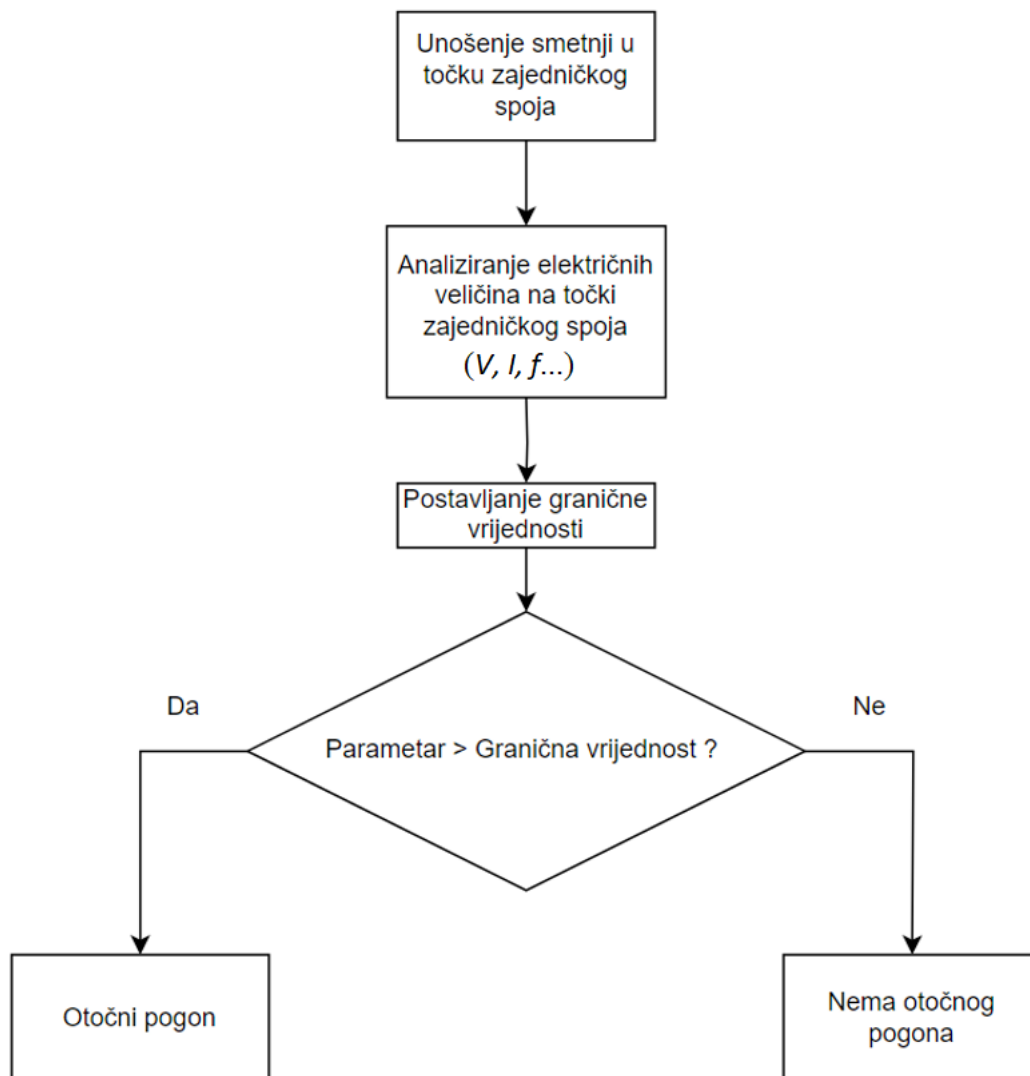
Na slici 3.2. pasivna metoda prikazana je pomoću blok dijagrama. Ako zadani parametri odstupaju od vrijednosti praga to će dovesti do otočnog pogona, u suprotnome, do otočnog pogona neće doći.

U slučaju otočnog pogona posljedica koja slijedi je neuravnoteženost napona. [2]

Nedostatak pasivnih tehnika je velika zona neprepoznavanja (jer je teško prepoznati otok kada se proizvodnja i potrošnja iz distributivnog generatora podudaraju), ali i to što manje postavke praga mogu rezultirati lažnim isključivanjem kao što i veće postavke praga mogu biti neuspješne za detektiranje otočnog pogona. Unatoč nedostacima pasivna metoda se koristi zbog velike brzine detektiranja te njene jednostavnosti jer lokalno mjeri fizikalne veličine sa releja i promatra njihove razlike. [2]

3.2.2. AKTIVNE METODE

Aktivne metode omogućuju nešto što nije moguće s pasivnim metodama, a to je otkrivanje otočnog pogona čak i ako su proizvodnja i opterećenje savršeno usklađeni. [1]



Slika 3.3. Blok dijagram aktivnih metoda [2]

Slika 3.3. prikazuje rad aktivnih metoda, ideja aktivnih metoda je da izravno djeluju na rad elektroenergetskog sustava ubrizgavanjem smetnji u točku zajedničkog spoja koje će dovesti do promjene parametara sustava kada distribuirani generator nije spojen, a promjena će biti zanemariva kada je distribuirani generator spojen na mrežu. [1]

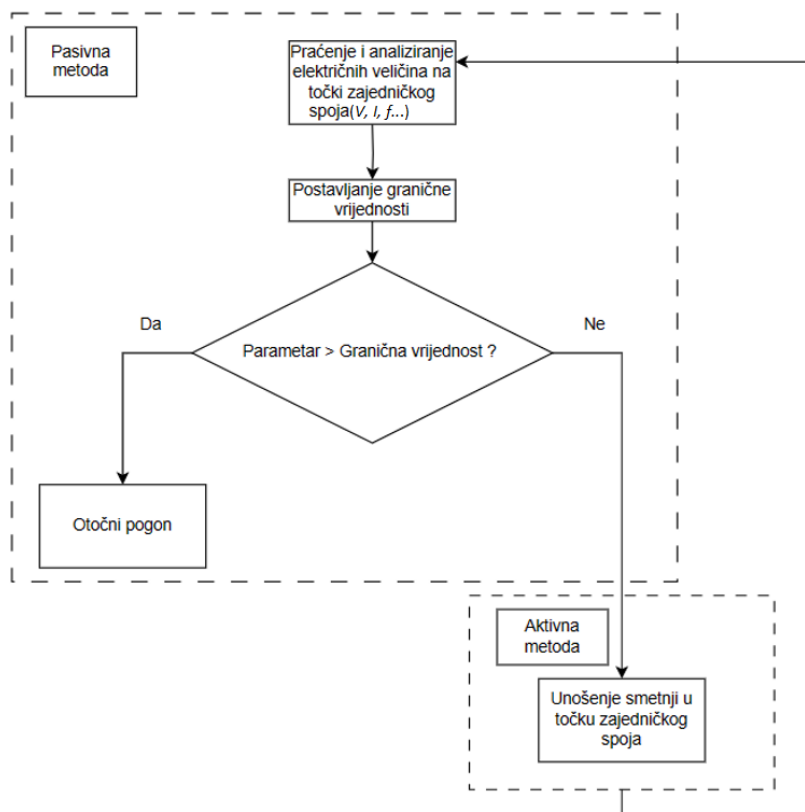
Ove metode su osmišljene prvotno s ciljem smanjivanja zone neprepoznavanja, a koji je prisutan kod pasivnih metoda te poboljšanja točnosti detekcije otočnih pogona, ali i ova metoda ima nedostatke jer učestalo ubrizgavanje smetnji u sustav može dovesti do problema s kvalitetom električne energije.[2]

3.2.3. HIBRIDNE METODE

Pasivne tehnike su najjednostavnije i najekonomičnije, ali imaju veliku zonu neprepoznavanja (NDZ). Nasuprot tome, aktivne tehnike imaju malu zonu neprepoznavanja, ali smanjuju kvalitetu energije i unose poremećaje tijekom rada povezanog s mrežom. [16]

S obzirom na nedostatke pasivnih i aktivnih metoda, formilirane su hibridne metode.

Hibridne metode temelje se na kombinaciji pasivnih i aktivnih metoda. Aktivna metoda se koristi samo onda kada pasivna metoda sumnja na otočni pogon. [1]



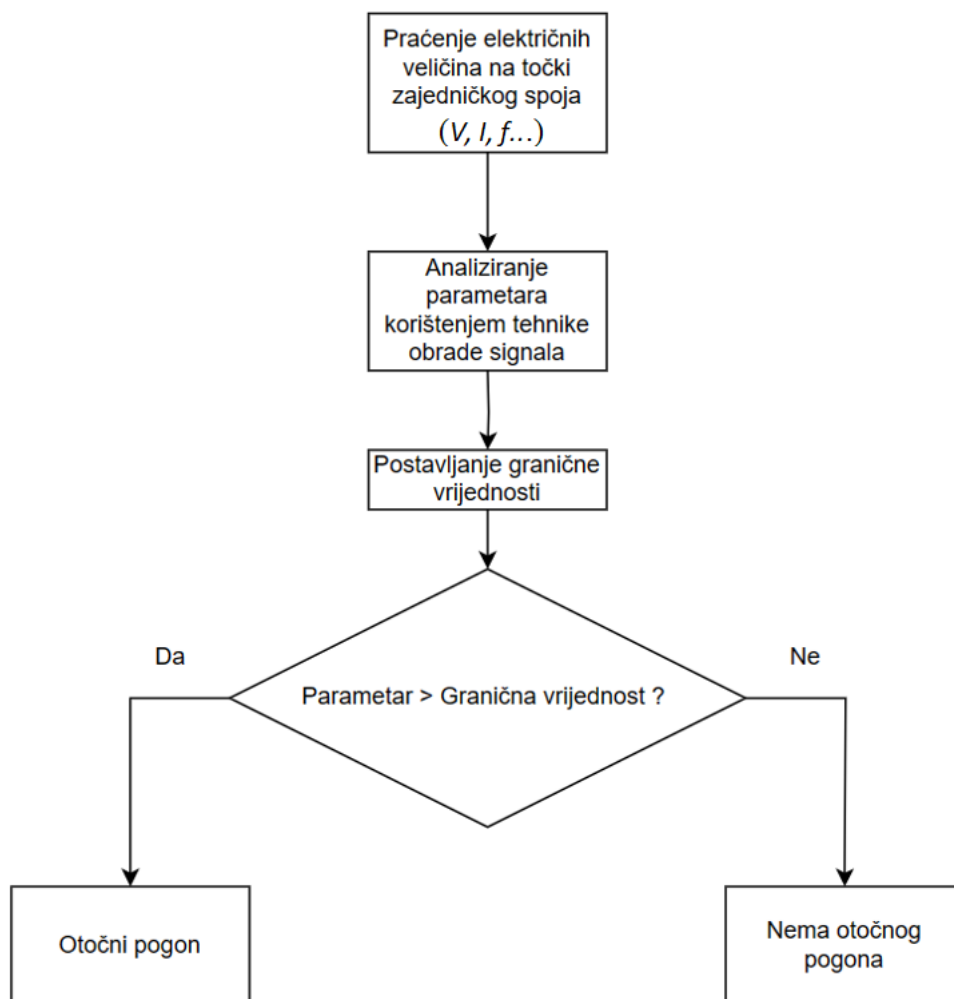
Slika 3.4. Blok dijagram hibridnih metoda [2]

Na slici 3.4. je prikazana jedna od tehnika hibridnih napona koja koristi neuravnoteženost napona kao pasivnu metodu i pozitivni povratni odgovor kao aktivnu metodu. Primjena ove dvije metode zajedno isključuje nedostatke koje postoje u svakoj metodi. Kada se smetnja injektira u distribuirane generatore to će uzrokovati vrhunac u naponskom releju što je korisno za razlikovanje uvjeta opterećenja i otočnog pogona. [2]

Porast razvoja tehnologije u današnje vrijeme omogućio je i pojavu novih, modernijih te naprednijih metoda za detektiranje otočnog pogona, a to su obrada signala te računalna inteligencija.

3.2.4. OBRADA SIGNALA

Za detekciju otočnog pogona uvedene su metode obrade signala kojima je cilj smanjiti NDZ pasivnih metoda, također njihova prednost je i u izdvajanju skrivenih karakteristika mjerenih signala (napon, frekvencija, struja).

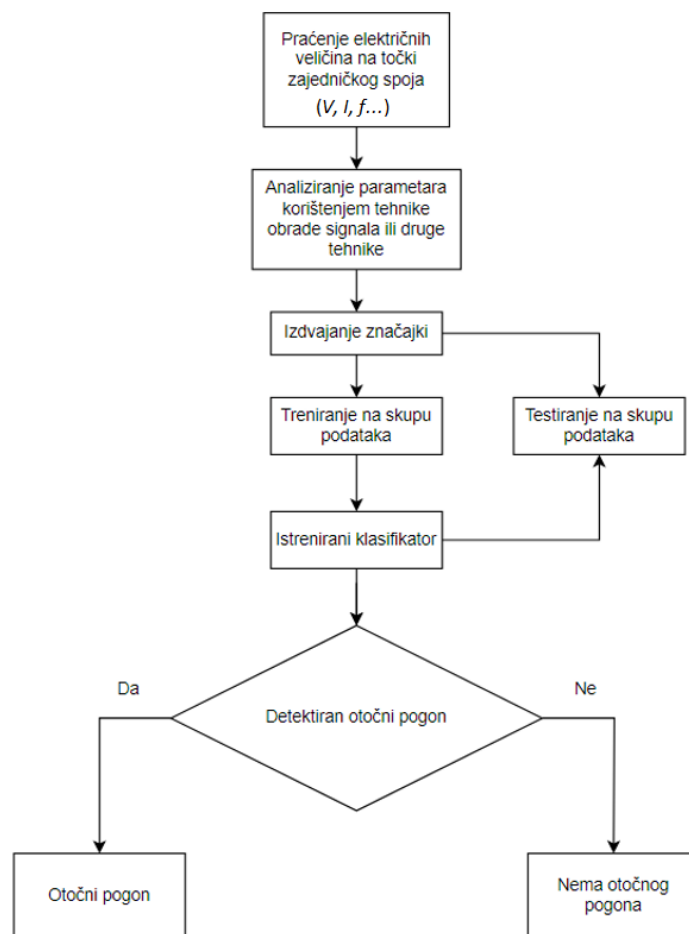


Slika 3.5. Blok dijagram metoda obrada signala [2]

Slika 3.5. prikazuje blok dijagram metoda obrada signala. Kako bi utvrdili radili se o otočnom pogonu, izdvojene karakteristike se mogu koristiti kao ulaz za klasifikacijske tehnike kao što su umjetna inteligencija ili strojno učenje. [4]

3.2.5. RAČUNALNA INTELIGENCIJA

Kako bi se dodatno poboljšala detekcija otočnog pogona sa što manjom zonom neprepoznavanja, računalna inteligencija dodana je u relej za detekciju otočnog pogona, jer kada je sustav distribuiranog izvora složeniji, metode obrade signala ne mogu potpuno smanjiti zonu neprepoznavanja.



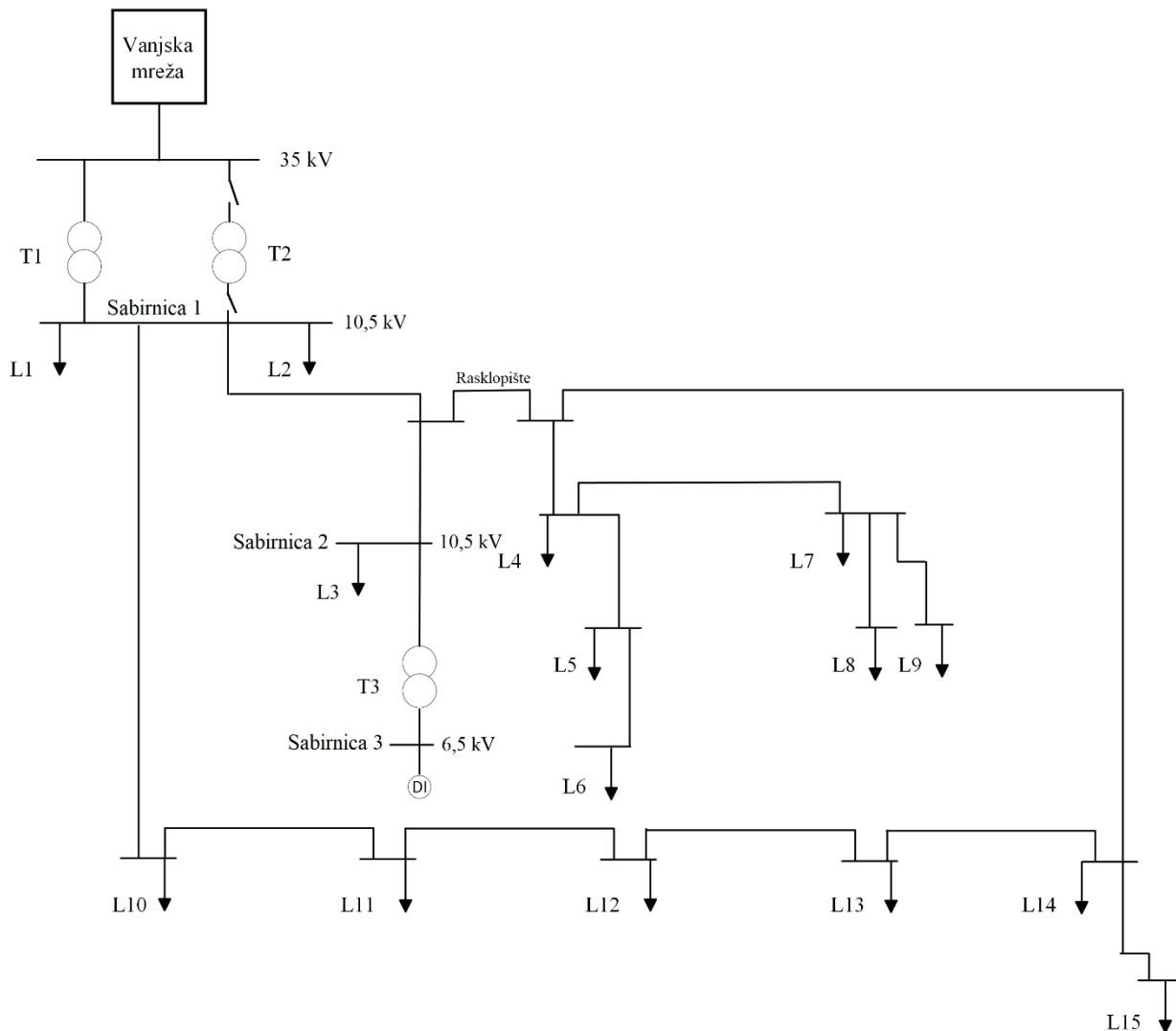
Slika 3.6. Blok dijagram metoda računalne inteligencije [2]

Slika 3.6. prikazuje blok dijagram metoda računalne inteligencije. Računalna inteligencija u isto vrijeme može obraditi više parametara potrebnih za detekciju. [4] Neke od metoda računalne inteligencije su neuronske mreže, neizrazita logika, raznim evolucijski algoritmi, duboko učenje, metoda potpornih vektora i hibridne metode koje su kombinacija navedenih. Premda su ove

metode umjetne inteligencije korištene za detekciju otoka, evidentno je da postoje mogućnosti za unaprjeđenje na nekoliko područja: bolje uzorkovanje ulaznih podataka, obuhvaćanje većeg dijela zone neprepoznavanja, ubrajajući pojave koje se mogu klasificirati kao prelazak u otočni rad distribuiranog izvora, a to nisu, te standardizaciju ovih metoda. [17]

4. SIMULACIJE I REZULTATI

4.1. OPIS MODELA



Slika 4.1. Model mreže

Na slici 4.1. prikazan je prstenasti model koji je korišten pri proračunu SN distributivne mreže na koju je priključen sinkroni generator koji predstavlja elektranu na bioplin. Nazivni napon mreže iznosi 10,5 kV. Mreža je napajana preko transformatora T1 35/10,5, a transformator T2 35/10,5 je isklopljen. Vodovi koji izlaze iz trafostanice spojeni su preko rasklopišta. Rasklopno mjesto, ukoliko dođe do kvara na jednom od vodova bit će zatvoreno, te će omogućiti napajanje voda koji nije u kvaru. U Tablici 4.1. prikazani su parametri transformatora T1 i T2.

Tablica 4.1.

TRANSFORMATOR	Sn [MVA]	Grupa spoja	Prijenosni omjer
T1	8	Dy30	35/10,5
T2	8	Dy30	35/10,5

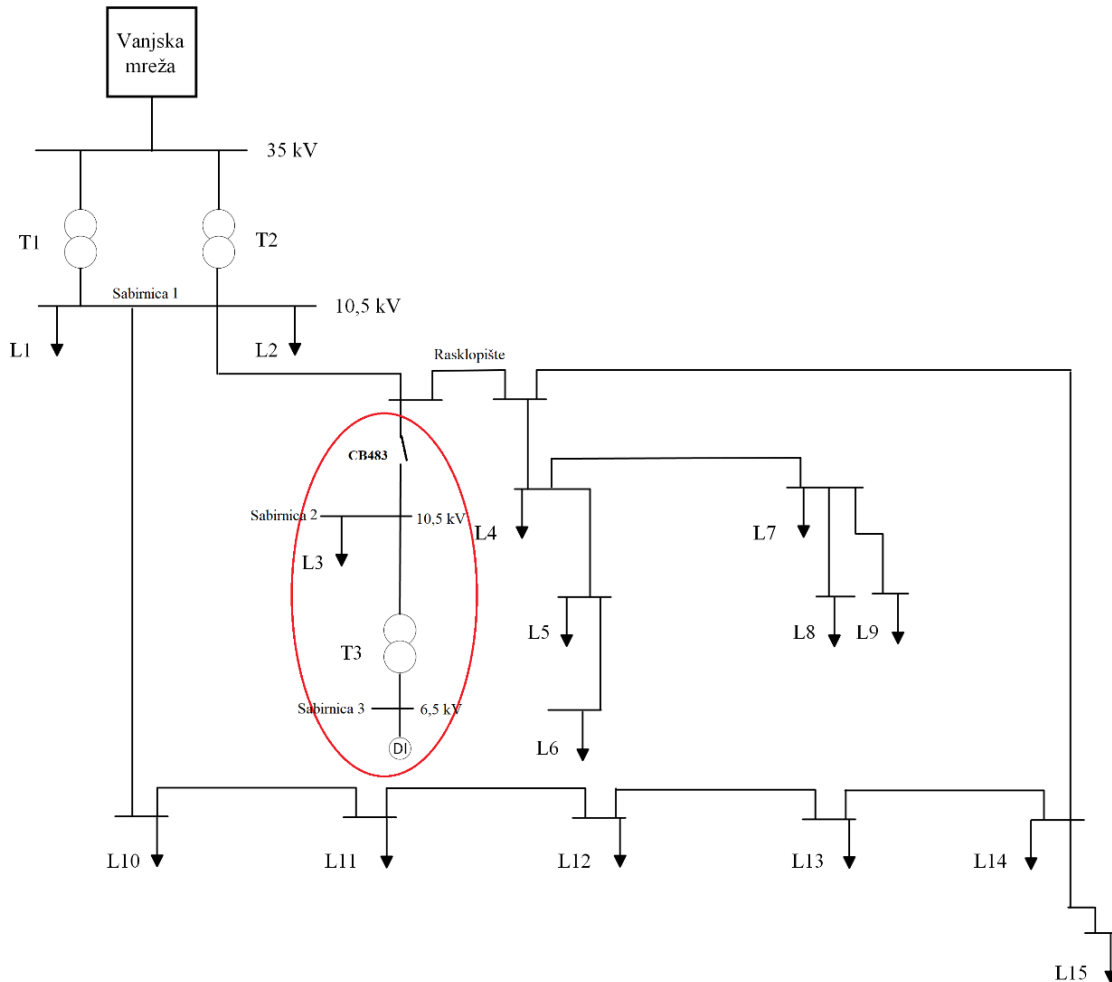
U mreži se također nalazi sinkroni generator snage 4,5 MVA koji spojen na distributivnu mrežu preko transformatora T3 6,3/10,5 kV, preko njega generator svoju proizvedenu energiju predaje SN distributivnoj mreži. Potrošnja djelatne i jalove energije prikazana je preko opterećenja čiji su parametri zadani u tablici 4.2.

Tablica 4.2.

Naziv opterećenja	P [MW]	S [MVA]	Q [Mvar]	Faktor snage
L1	5,75	6,231	2,4	0,9228
L2	2,423	2,721	1,238	0,8905
L3	0,247	0,3	0,17	0,8237
L4	0,0418	0,0508	0,0289	0,8222
L5	0,042	0,051	0,029	0,8229
L6	0,066	0,0799	0,045	0,8262
L7	0,042	0,051	0,029	0,8229
L8	0,042	0,051	0,029	0,8229
L9	0,066	0,0799	0,045	0,8262
L10	0,066	0,0799	0,045	0,8262
L11	0,042	0,051	0,029	0,8229
L12	0,042	0,051	0,029	0,8229
L13	0,132	0,16	0,09	0,8262
L14	0,132	0,16	0,09	0,8262
L15	0,132	0,16	0,09	0,8262

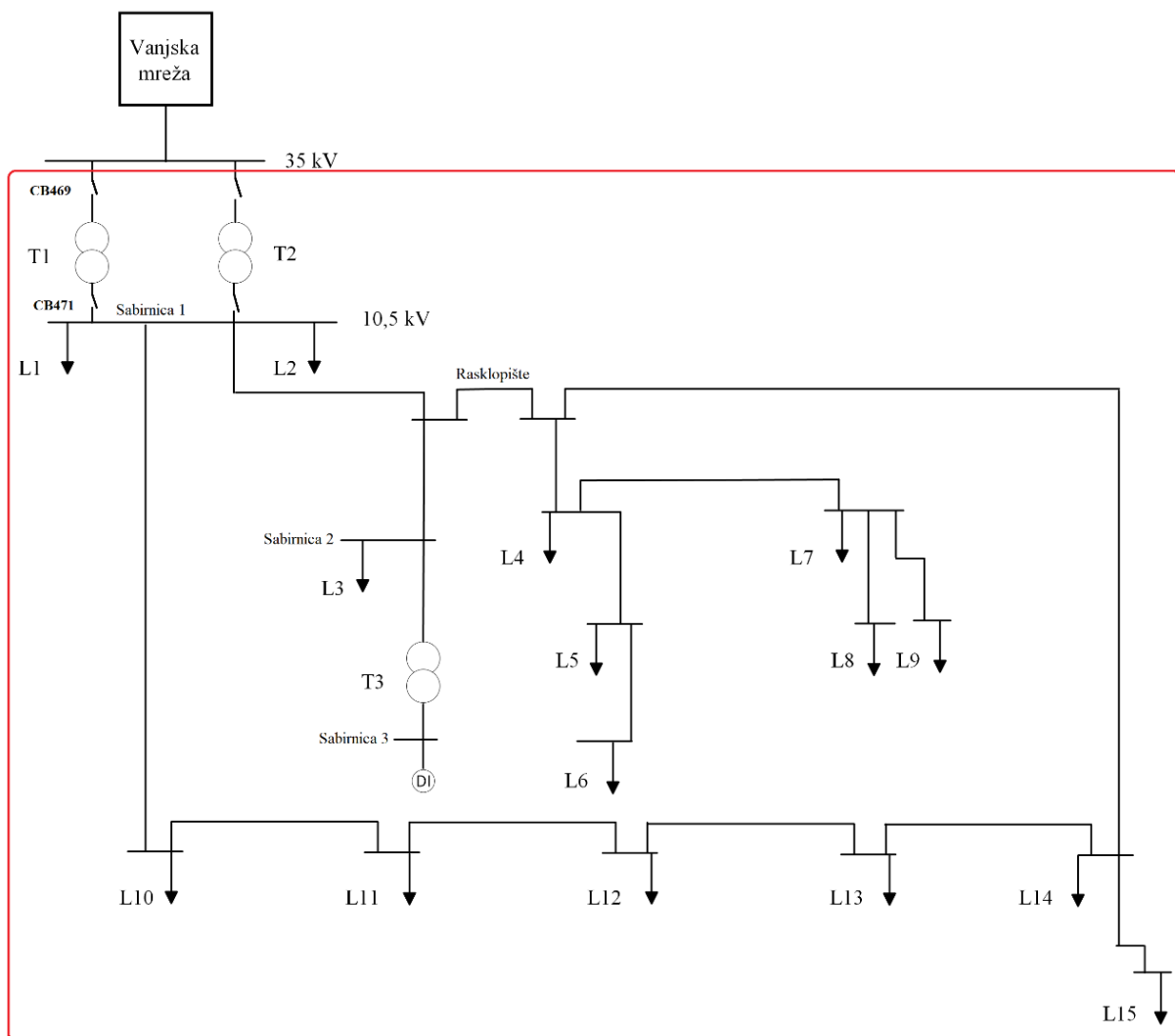
4.2. SIMULACIJE

Na zadanom modelu sa Slike 4.1. u softverskom paketu provedene su simulacije otočnog pogona za mali i veliki otok.



Slika 4.2. Mali otok

Na slici 4.1. prikazana je shema malog otoka. Mali otok je nastupio prilikom isklapanja prekidača CB483, odnosno njegovog prelaska iz stanja „close“ u stanje „open“. S obzirom da je samo mali dio mreže isključen, ostatak mreže nastavlja normalno s radom.



Slika 4.3. Veliki otok

Na slici 4.3. prikazana je shema velikog otoka. Transformator T1 je u pogonu, dok je transformator T2 isključen. Veliki otok je nastupio prilikom isklapanja transformatora T1, odnosno prekidača CB469 na primaru transformatora i prekidača CB471 na sekundaru transformatora koji su paralelni te iskapaju zajedno. Zbog njihovog prelaska iz stanja „close“ u stanje „open“ cijela mreža je otoku. Poželjno vrijeme detekcije otoka je od 300 do 500 ms. [18]

Za slučaj malog i velikog otoka napravljeno je četiri različitih scenarija u kojima su se promatrale promjene napona, frekvencije i jalove snage generatora. Vrijeme trajanja otoka iznosilo je 300 ms. U mreži su provedeni tokovi snaga te promatramo dobivene vrijednosti.

Mali otok:

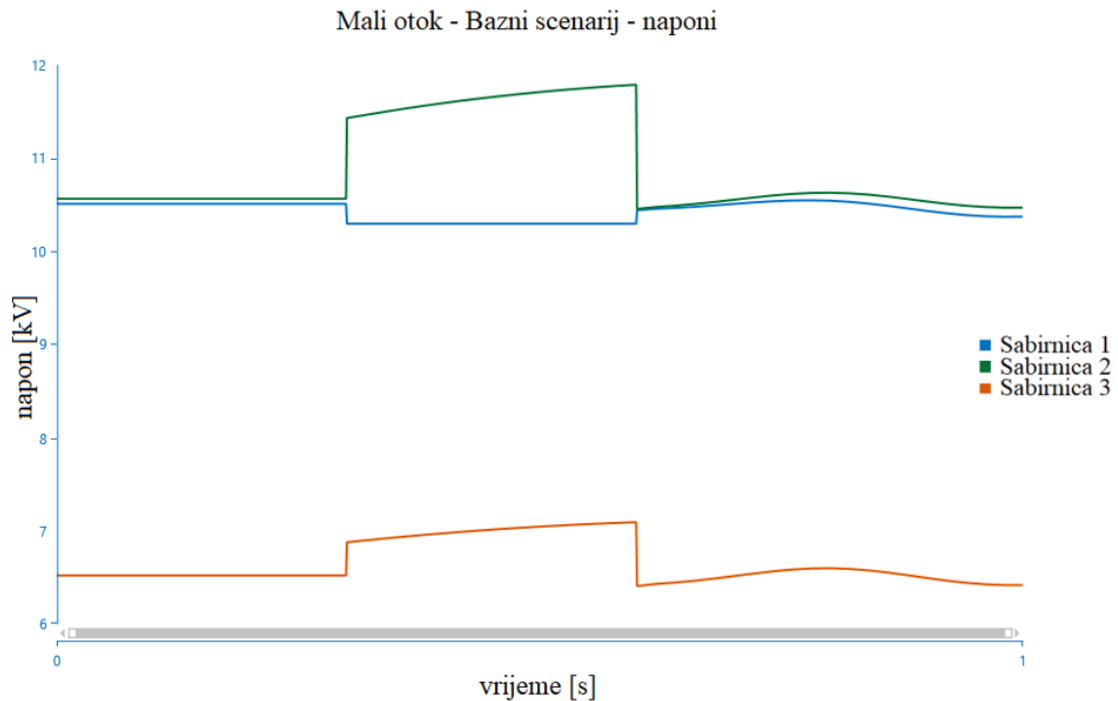
- 1) Bazni scenarij – Simulacije za sve karakteristike radimo sa vrijednostima:
 $L3 = 0,3 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} = 0,3 \text{ MW}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$
- 2) Scenarij A – Potrošnju na opterećenju L3 smanjujemo za 50%
 $L3 = 0,15 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} \lll P_{\text{proizvodnja}}, P_{\text{potrošnja}} = 0,15 \text{ MW}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$
- 3) Scenarij B – Proizvodnja i potrošnja su izjednačene
 $L3 = 3,57 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} = P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$
- 4) Scenarij C – Potrošnja je veća od proizvodnje
 $L3 = 3,57 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} \ggg P_{\text{proizvodnja}}, P_{\text{potrošnja}} = 5 \text{ MW}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$

Veliki otok:

- 1) Bazni scenarij – Simulacije za sve karakteristike radimo sa vrijednostima;
 $L3 = 0,3 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} = \mathbf{9,27 \text{ MW}}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$
- 2) Scenarij A – Potrošnju na opterećenju L3 smanjujemo za 50%
 $L3 = 0,15 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} = \mathbf{9,16 \text{ MW}}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$
- 3) Scenarij B – Proizvodnja na opterećenju L3 i potrošnja su izjednačene
 $L3 = 3,57 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} = \mathbf{12,98 \text{ MW}}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$
- 4) Scenarij C – Potrošnja na opterećenju L3 je veća od proizvodnje
 $L3 = 5 \text{ MW}, P_{\text{potrošnja}} = \mathbf{14,02 \text{ MW}}, P_{\text{proizvodnja}} = 3,57 \text{ MW}$

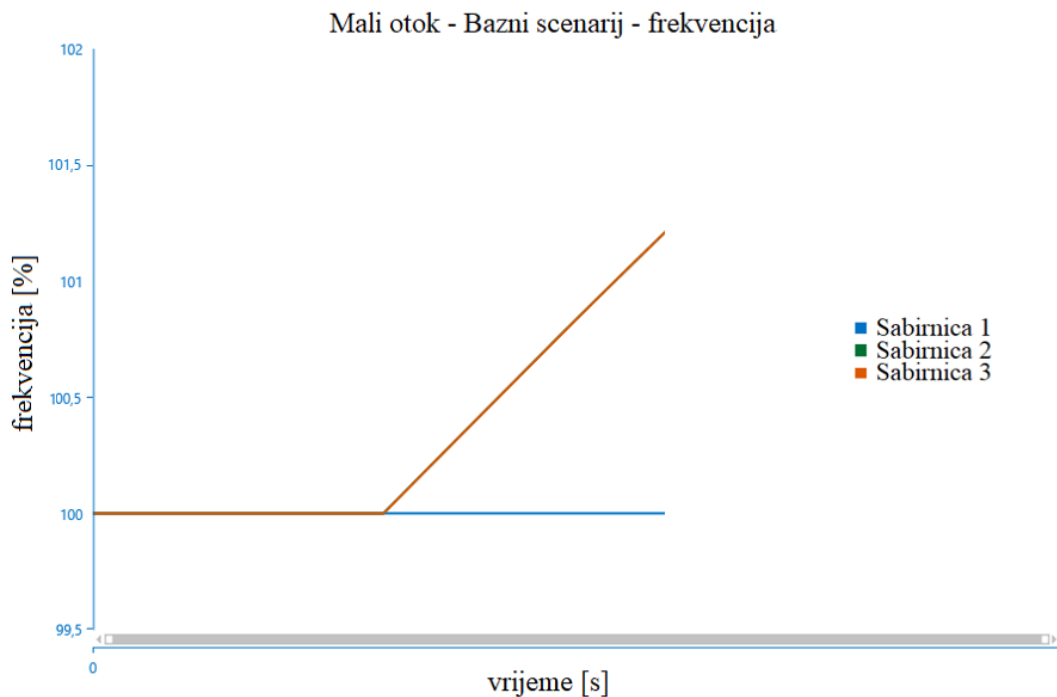
4.2.1. MALI OTOK - BAZNI SCENARIJ

Bazni slučaj napravljen je sa zadanim vrijednostima u mreži. Generator proizvodi 3,57 MW, a potrošnja na opterećenju L3 iznosi 0,3 MW.



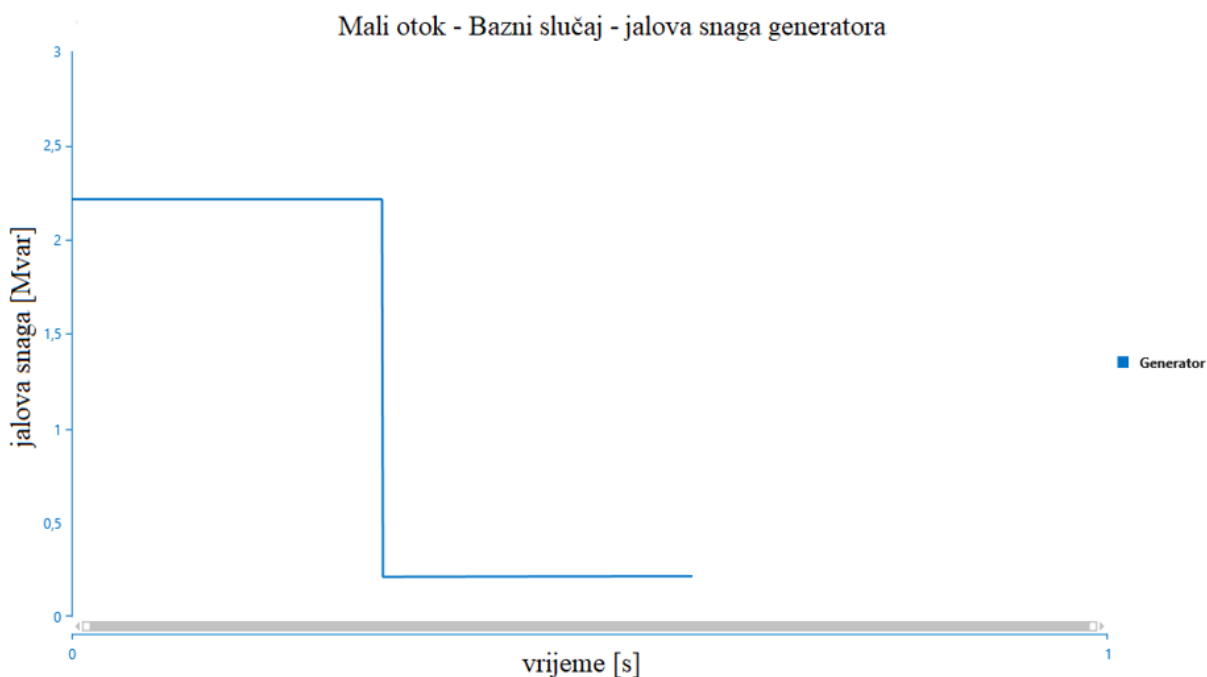
Slika 4.4. Prikaz promjene napona (Mali otok – Bazni scenarij)

Na slici 4.4. prikazan je graf promjene napona na sabirnicama za slučaj malog otoka u Baznom scenariju. Na Sabirnici 1 i Sabirnici 3 napon je konstantan do trenutka pojave otočnog pogona, tada dolazi do porasta napona, nakon 300 ms napon se vraća na početnu vrijednost. Na Sabirnici 2 za vrijeme otočnog pogona nema veće promjene napona jer se nalazi izvan otoka. Pasivne metode mogu detektirati otočni pogon radi razlike između proizvodnje i potrošnje.



Slika 4.5. Prikaz promjene frekvencije (Bazni scenarij- Mali otok)

Na slici 4.5. prikazan je graf promjene frekvencije za slučaj malog otoka u Baznom scenariju. Porast frekvencije javlja se na Sabirnicama 2 i 3 za vrijeme trajanja otočnog pogona. Na Sabirnici 1 nema promjene frekvencije jer se nalazi izvan otoka.

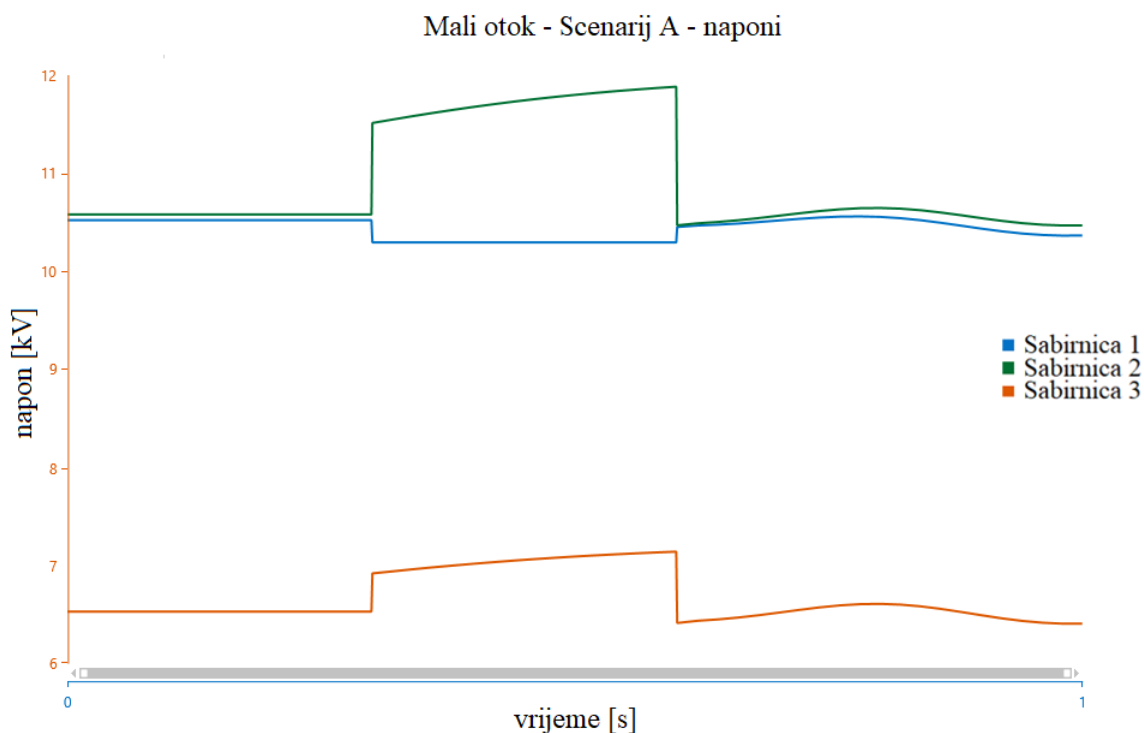


Slika 4.6. Prikaz promjene jalove snage generatora (Mali otok – Bazni scenarij)

Na slici 4.6. prikazana je promjena jalove snage generatora za vrijeme malog otoka u Baznom scenariju. Jalova snaga generatora je konstantna, no za vrijeme otočnog pogona vidljiv je propad vrijednosti jalove snage zbog toga što je proizvodnja veća od potrošnje.

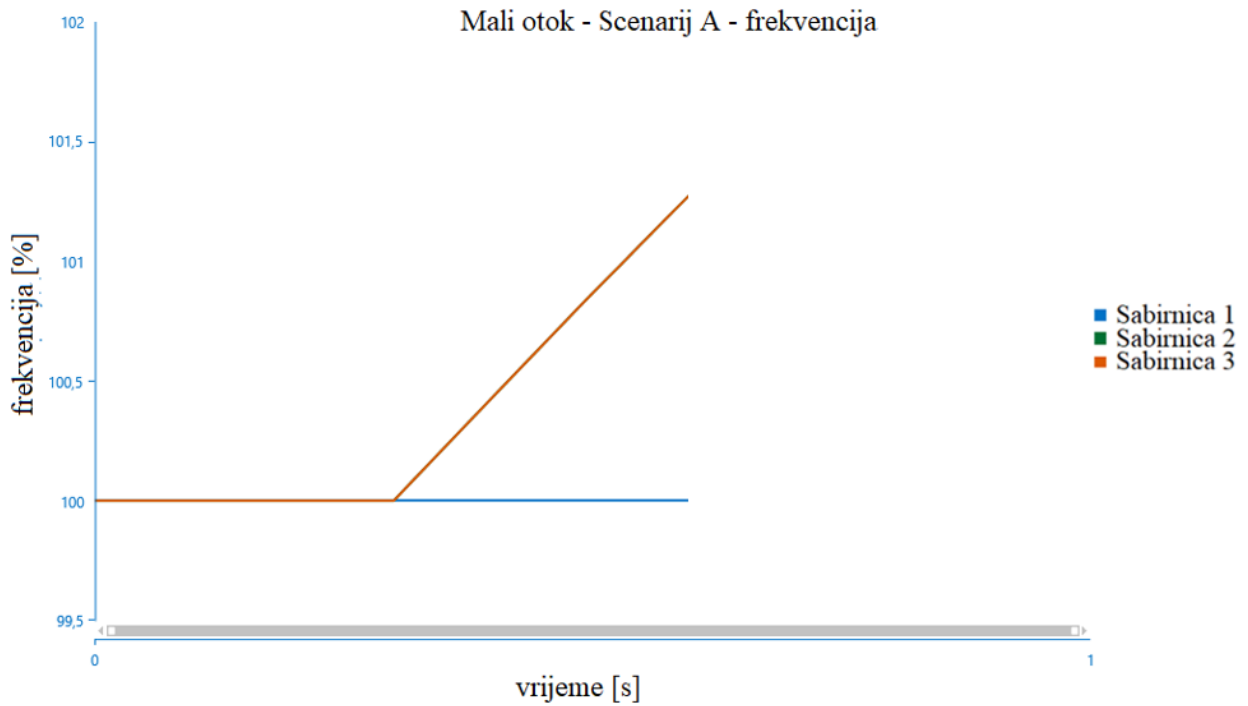
4.2.2. MALI OTOK – SCENARIJ A

U Scenariju A izvedena je simulacija za mali otočni pogon gdje $P_{potrošnja} \lll P_{proizvodnja}$. Potrošnja na opterećenju L3 postavljena je na 0,15 MW te je tako ona puno manja od proizvodnje koja iznosi 3,57 MW.



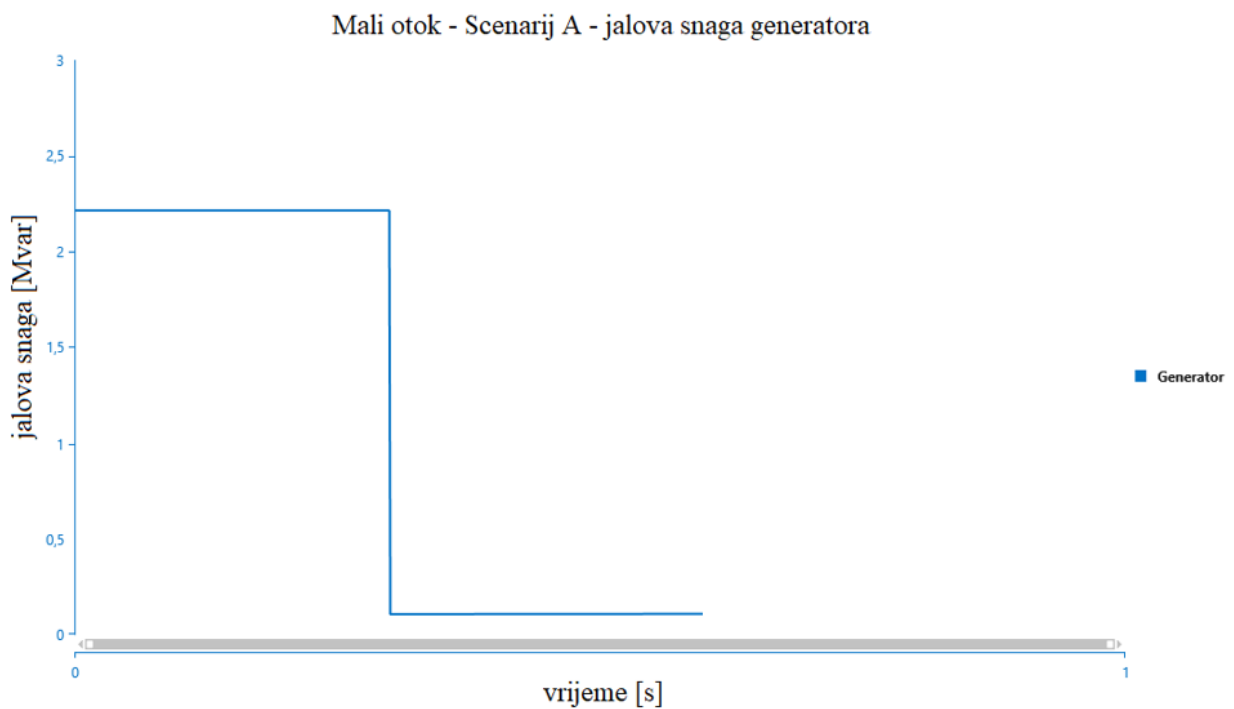
Slika 4.7. Prikaz promjene napona (Mali otok – Scenarij A)

Slika 4.7. prikazuje promjenu napona na sabirnicama u slučaju malog otoka za Scenarij A. Na Sabirnici 1 napon je konstantan i nema veće promjene napona. Na Sabirnici 2 napon je konstantan do trenutka pojave otočnog pogona tada dolazi do porasta napona, kao i na Sabirnici 3. Promjena napona veća je nego u prethodnom slučaju, jer sada imamo veću razliku između proizvodnje i potrošnje. Nakon 300 ms otočnog pogona napon se vraća na početnu vrijednost.



Slika 4.8. Prikaz promjene frekvencije (Mali otok – Scenarij A)

Slika 4.8. prikazuje promjenu frekvencije za slučaj malog otoka kada je potrošnja manja od proizvodnje. Porast frekvencija u trenutku otočnog pogona vidljiv je za Sabirnice 2 i 3, dok na Sabirnici 1 nema promjene frekvencije.



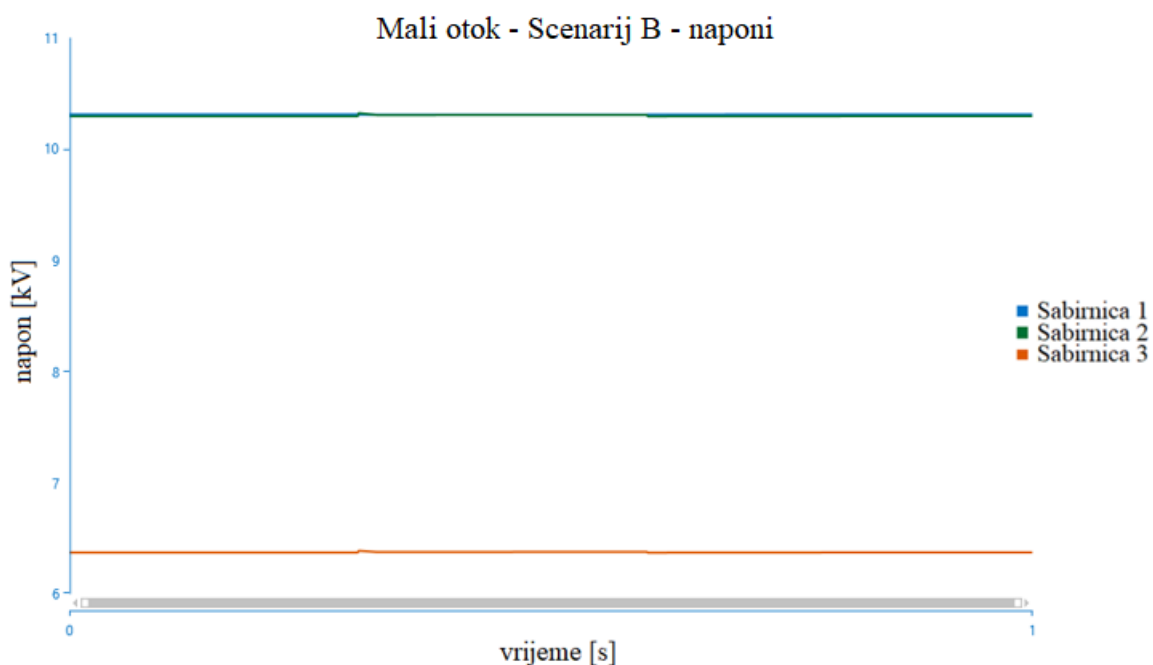
Slika 4.9. Prikaz promjene jalove snage generatora (Mali otok – Scenarij A)

Slika 4.9. prikazuje promjenu jalove snage generatora za scenarij A. Vrijednost jalove snage je konstantna do trenutka pojave otočnog pogona, a zatim opada zbog toga što je proizvodnja veća od potrošnje.

Promjena vrijednosti električnih veličina javlja se za sva četiri parametra u Scenariju A. Pasivne metode uspjele bi detektirati otočni pogon radi velike razlike između proizvodnje i potrošnje.

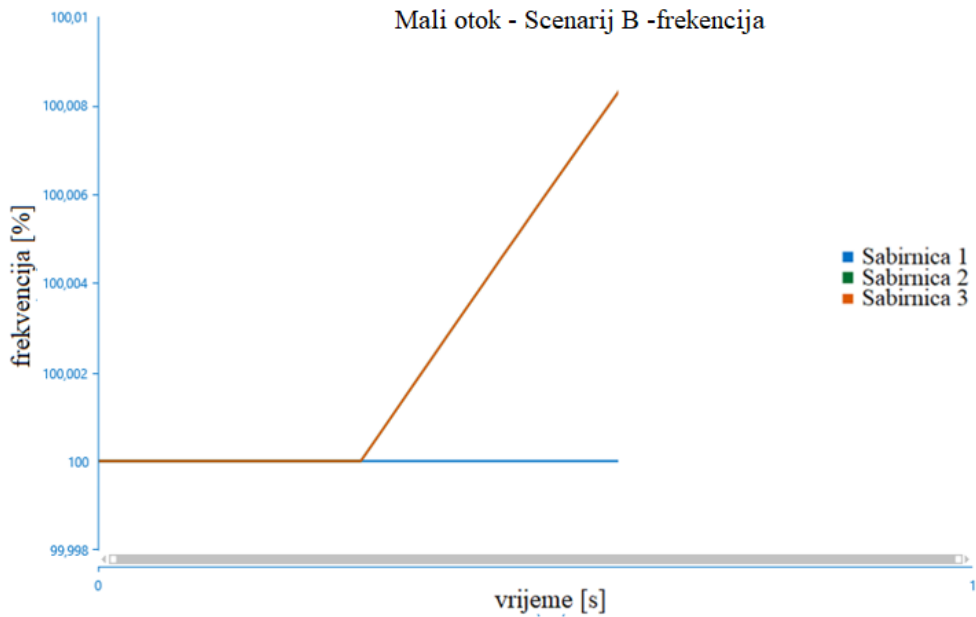
4.2.3. MALI OTOK – SCENARIJ B

U Scenariju B izjednačena je proizvodnja i potrošnja, $P_{proizvodnja} = P_{potrošnja}$. Obje vrijednosti iznosile su 3,57 MW.



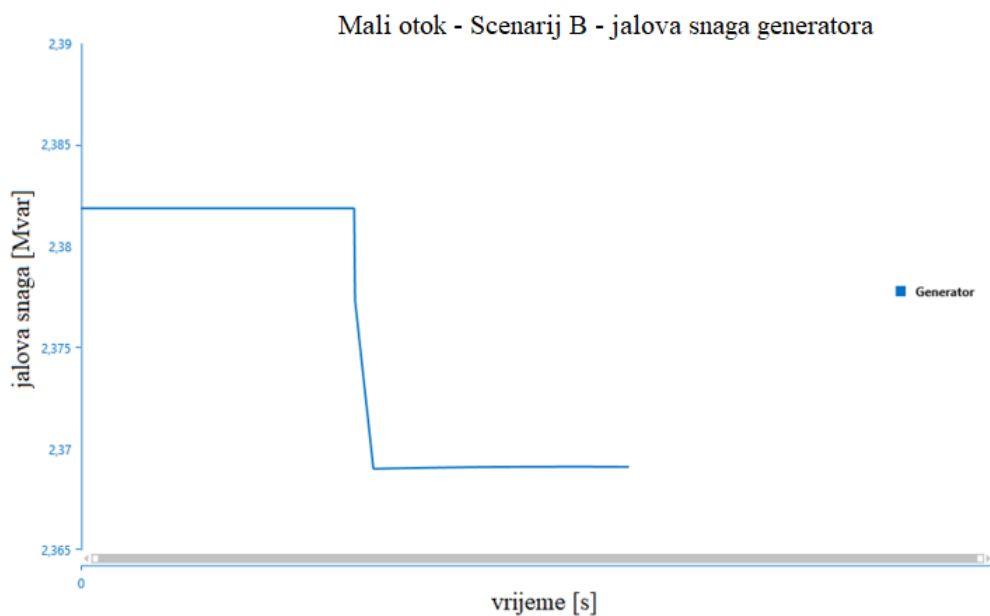
Slika 4.10. Prikaz promjene napona (Mali otok – Scenarij B)

Na slici 4.10. prikazan je napon na sabirnicama za slučaj malog otoka u Scenariju B. U ovom slučaju nema promjene napona, napon je konstantan na sve tri sabirnice. S obzirom da su proizvodnja i potrošnja jednake iz toga slijedi da je zona neprepoznavanja jednaka 1 ($NDZ = 1$), što predstavlja područje rada u kojem pasivne metode nisu u mogućnosti detektirati otočni pogon, u ovakvom slučaju ne postoje podnaponi i nadnaponi, kao ni nadfrekvenencija ni podfrekvencija. U ovom scenariju nije moguće koristiti pasivne metode za detekciju otočnog pogona jer nije prisutna razlika između djelatne i jalove snage, metode koje se mogu primijeniti za detekciju su aktivne te hibridne metode.



Slika 4.11. Promjena frekvencije (Mali otok – Scenarij B)

Na slici 4.11. prikazane su promjene frekvencije za slučaj malog otoka u Scenariju B. Za sve tri sabirnice nema promjene frekvencije, odnosno na Sabirnicama 2 i 3 postoji zanemariv porast manji od 0,009%.



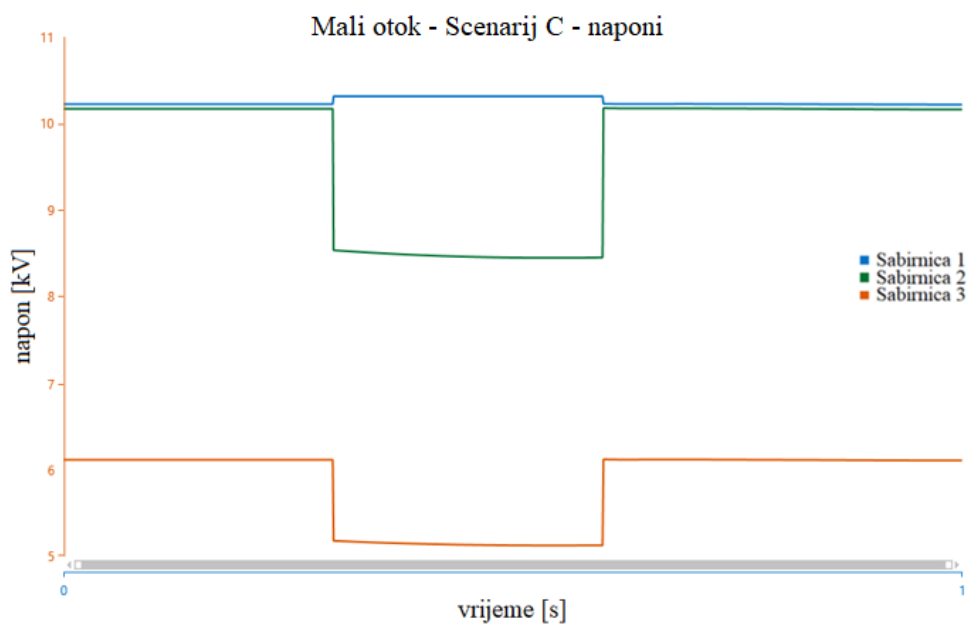
Slika 4.12. Prikaz promjene jalove snage generatora (Mali otok – Scenarij B)

Na Slici 4.12. prikazana je promjena jalove snage generatora za slučaj malog otoka u Scenariju B. Jalova snaga je konstantna uz manja odstupanja, odnosno zanemarivo malom propadnu prilikom otočnog pogona.

U ovom slučaju nisu zabilježene veće promjene napona, frekvencije i jalove snage jer su proizvodnja i potrošnja jednake. Ovakav otok pasivne metode neće moći detektirati, te neće doći do reakcije zaštite.

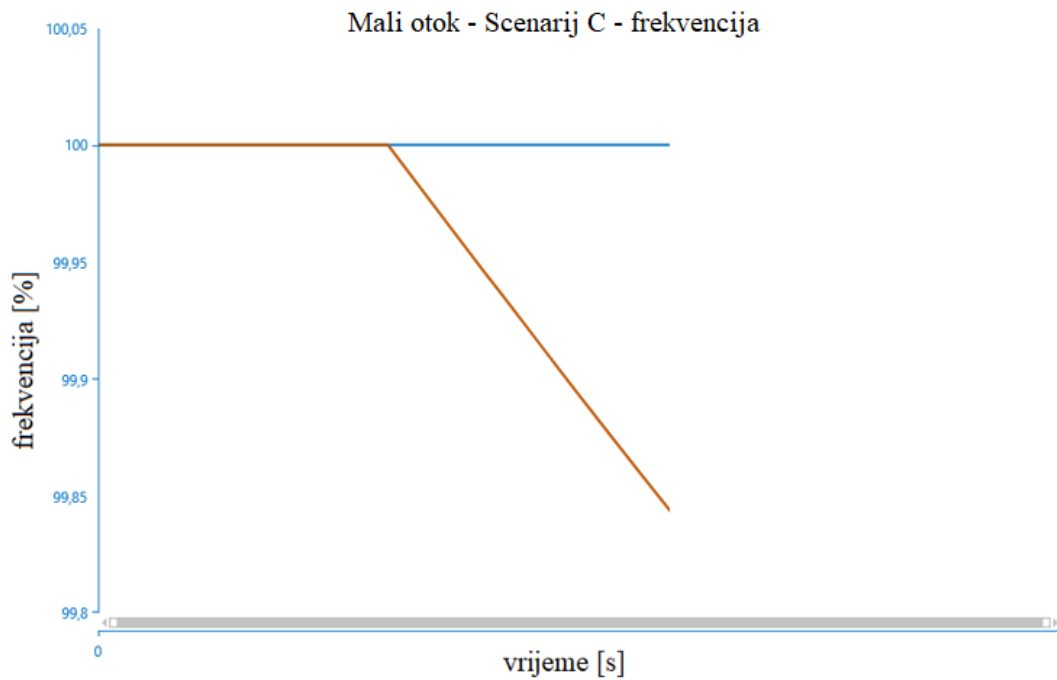
4.2.4. MALI OTOK – SCENARIJ C

U Scenariju C izvedena je simulacija za mali otočni pogon gdje je potrošnja veća od proizvodnje $P_{potrošnja} = 5 \text{ MW}$, $P_{proizvodnja} = 3,57 \text{ MW}$.



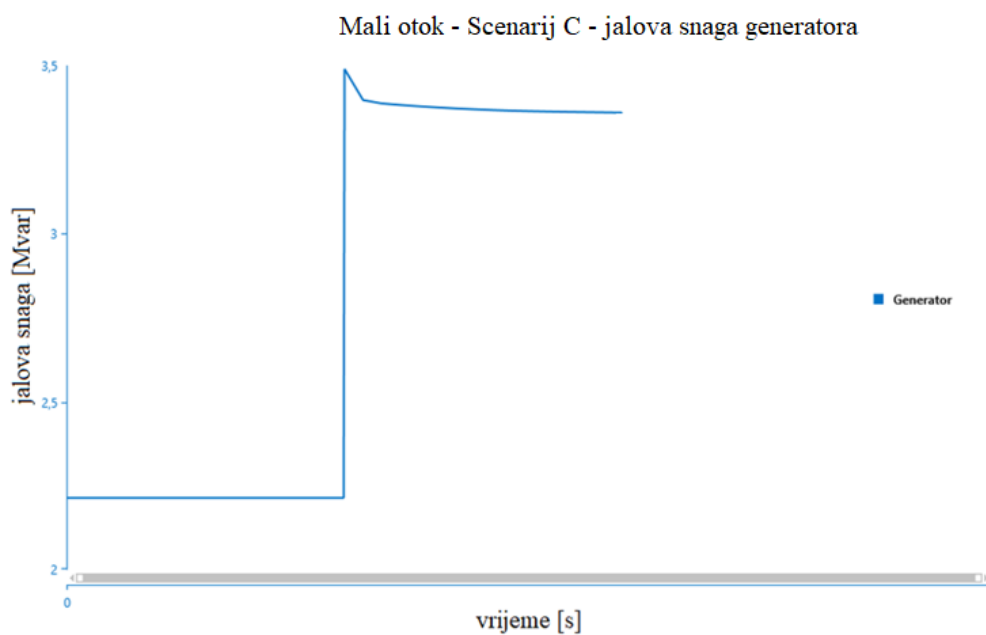
Slika 4.13. Prikaz promjene napona (Mali otok – Scenarij C)

Na slici 4.13. prikazana je promjena napona za slučaj malog otoka u Scenariju C. Na Sabirnici 1 nema veće promjene napona, dok na Sabirnici 2 i Sabirnici 3, dolazi do propada napona za vrijeme otočnog pogona. Naponski propad trajao je 300 ms, kada se napon ponovo vraća na svoju početnu vrijednost. Razlog zbog kojeg dolazi do smanjenja napona je taj što je potrošnja veća od proizvodnje.



Slika 4.14. Prikaz promjene frekvencije (Mali otok – Scenarij C)

Na slici 4.14. prikazana je promjena frekvencije za slučaj malog otoka u Scenariju C. Za vrijeme otočnog pogona frekvencije na Sabirnicama 2 i 3 smanjile su se za približno 0,15%. Na Sabirnici 1 nema promjene frekvencije.



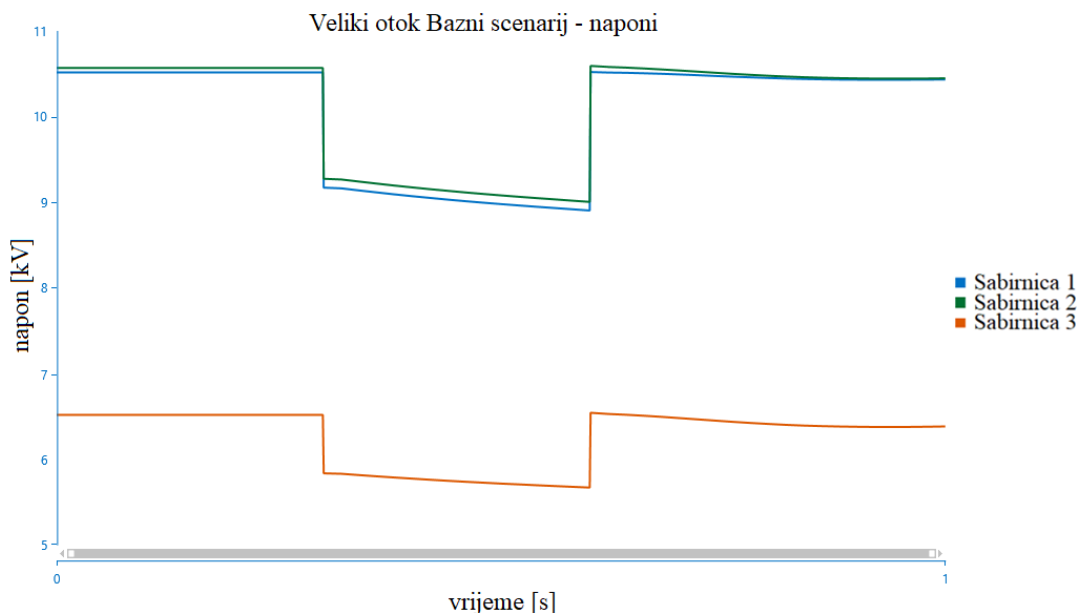
Slika 4.15. Prikaz promjene jalove snage (Mali otok – Scenarij C)

Slika 4.15. prikazuje promjenu jalove snage u slučaju malog otoka za Scenarij C. Za vrijeme otočnog pogona dolazi do porasta jalove snage zbog toga što je proizvodnja manja od potrošnje.

Promjena vrijednosti električnih veličina javlja se za sva četiri parametra u Scenariju C stoga bi pasivne metode uspjele detektirati otočni pogon radi velike razlike između proizvodnje i potrošnje.

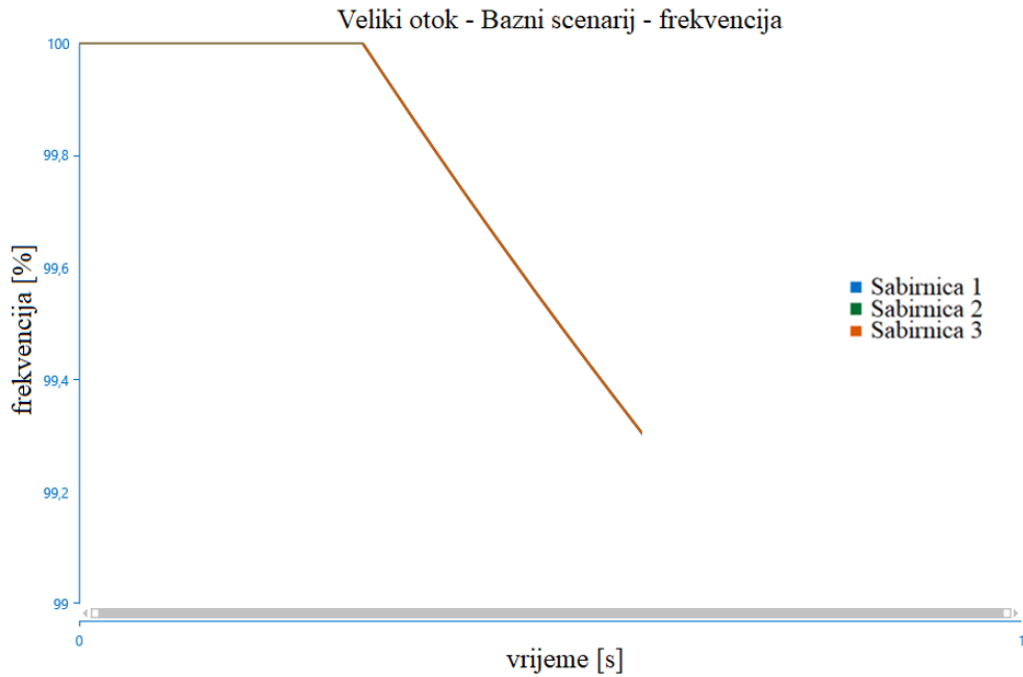
4.2.5. VELIKI OTOK – BAZNI SCENARIJ

Bazni scenarij radili smo sa zadanim vrijednostima u mreži. Generator proizvodi 3,57 MW, a potrošnja na opterećenju L3 iznosi 0,3 MW. Zbroj vrijednosti svih opterećenja u velikom otoku iznosi 9,27 MW što je veća vrijednost od proizvodnje.



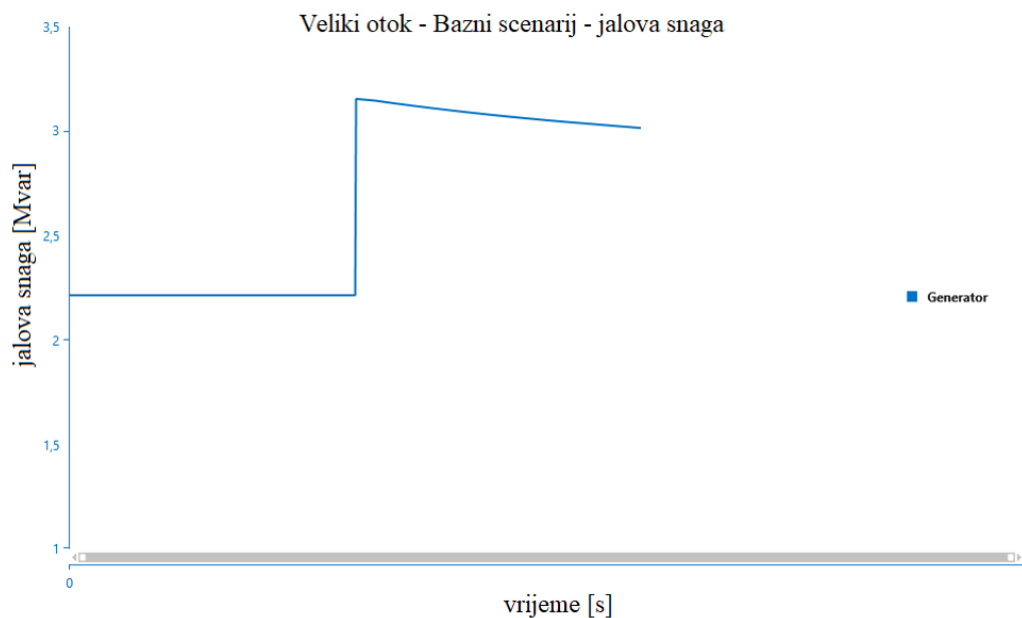
Slika 4.16. Prikaz promjene napona (Veliki otok – Bazni scenarij)

Slika 4.16. prikazuje promjenu napona za slučaj velikog otoka u baznom scenariju. Na sve tri sabirnice doći će do propada napona za vrijeme trajanja otočnog pogona jer su sve tri sabirnice u otoku. Do pada napona dolazi jer je potrošnja veća od proizvodnje. Nakon otočnog pogona napon se vraća na početnu vrijednost.



Slika 4.17. Prikaz promjene frekvencije (Veliki otok – Bazni scenarij)

Slika 4.17. prikazuje promjenu frekvencije za slučaj velikog otoka u Baznom scenariju. Za vrijeme otočnog pogona na svim sabirnicama će doći do pada frekvencije jer su sada sve sabirnice u otoku.



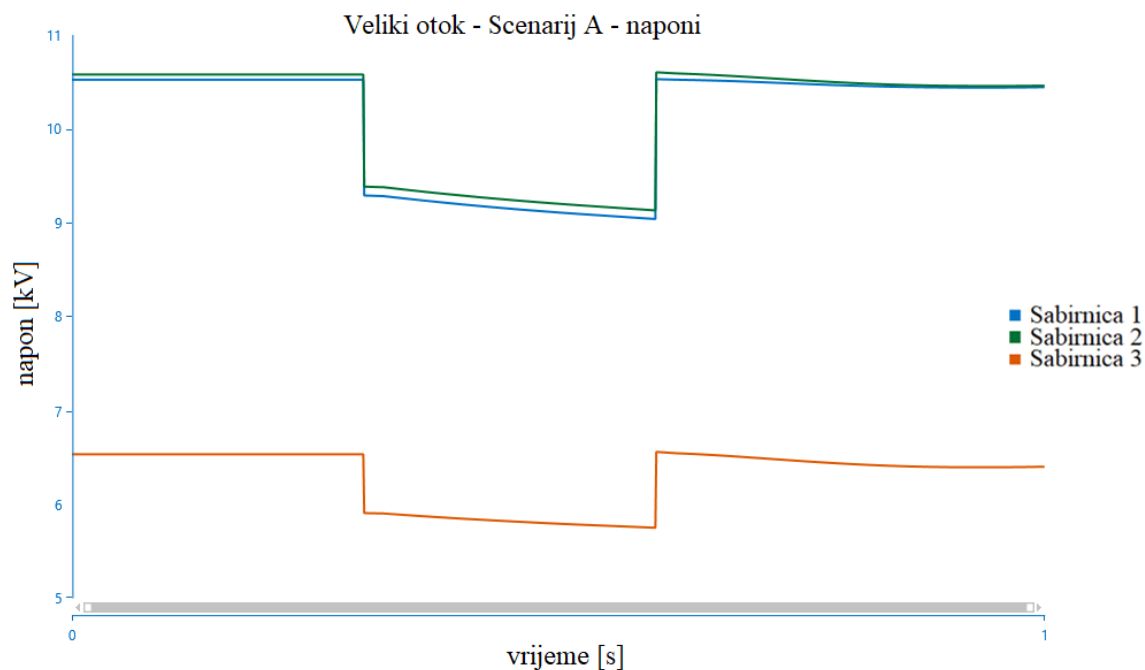
Slika 4.18. Prikaz promjene jalove snage (Veliki otok – Bazni scenarij)

Na slici 4.18. prikazana je promjena jalove snage generatora za slučaj velikog otoka u Baznom scenariju. Jalova snaga je konstantna sve do pojave otočnog pogona kada naraste za približno 1 Mvar. Jalova snaga raste jer je proizvodnja manja od potrošnje.

Promjena vrijednosti električnih veličina javlja se za sva četiri parametra u Baznom scenariju, stoga bi pasivne metode uspjele detektirati otočni pogon radi velike razlike između proizvodnje i potrošnje.

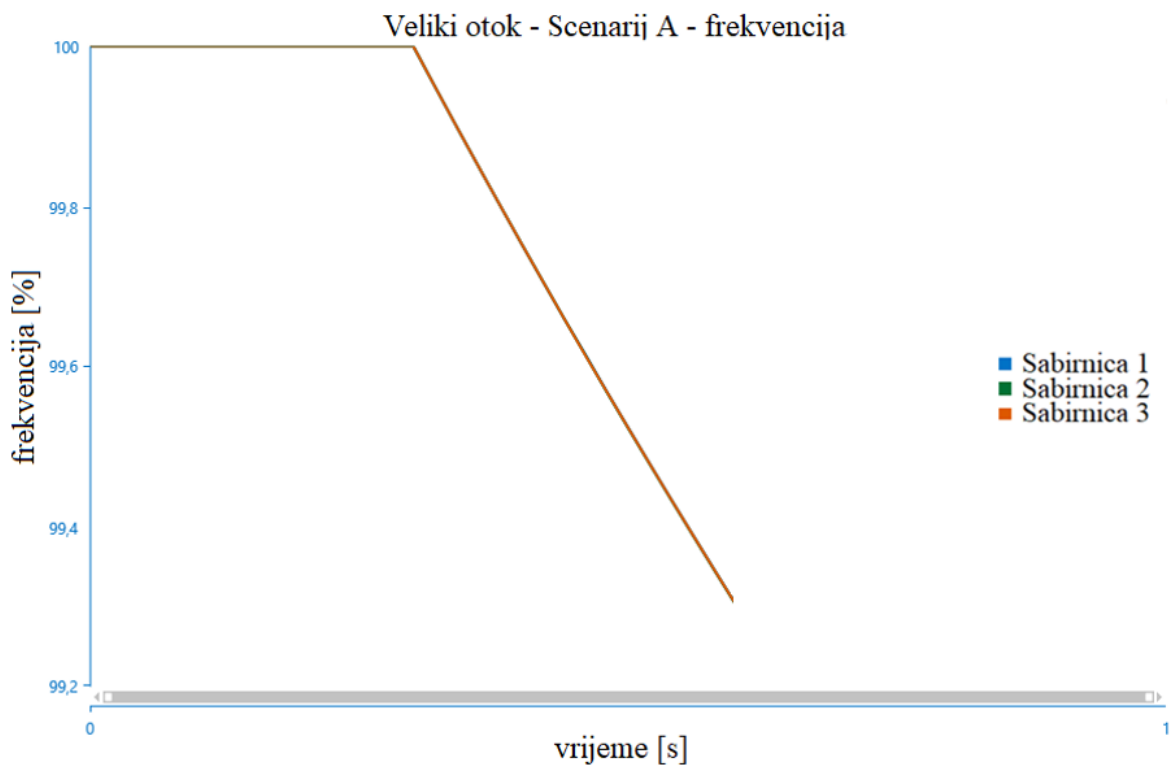
4.2.6. VELIKI OTOK – SCENARIJ A

U Scenariju A izvedena je simulacija za veliki otočni pogon. Potrošnja na opterećenju L3 postavljena je na 0,15 MW te je tako ona manja od proizvodnje koja iznosi 3,57 MW. Zbroj vrijednosti svih opterećenja u velikom otoku sada iznosi 9,16 MW što je veća vrijednost od proizvodnje.



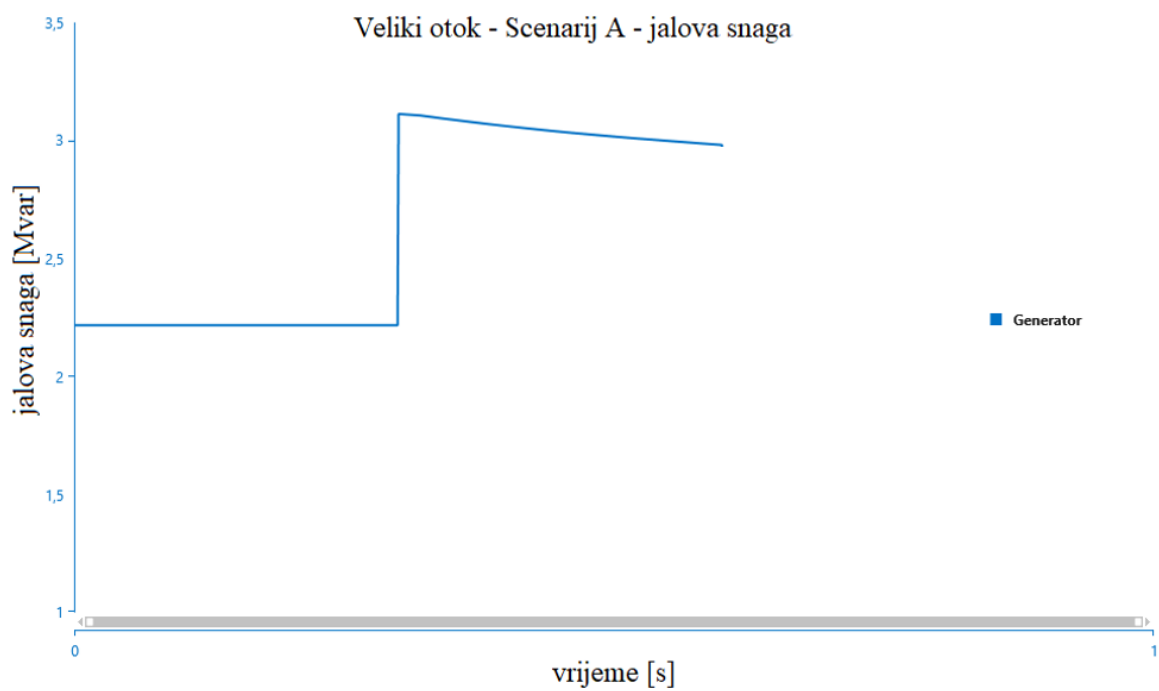
Slika 4.19. Prikaz promjene napona (Veliki otok – Scenarij A)

Na slici 4.19. prikazana je promjena napona za veliki otok u Scenariju A. Na sve tri sabirnice došlo je do propada napona za vrijeme otočnog pogona, a zatim se napon, zbog reakcije zaštite, vraća na zadanu vrijednost. Propad napona na sve tri sabirnice je malo manji nego u Baznom scenariju jer je ovdje manja razlika između proizvodnje i potrošnje.



Slika 4.20. Prikaz promjene frekvencije (Veliki otok – Scenarij A)

Na slici 4.20. prikazana je promjena frekvencija u slučaju velikog otkaza za Scenarij A. Osim propada napona za vrijeme otočnog pogona, dolazi i do propada frekvencije za približno 0,7% na svim sabirnicama.



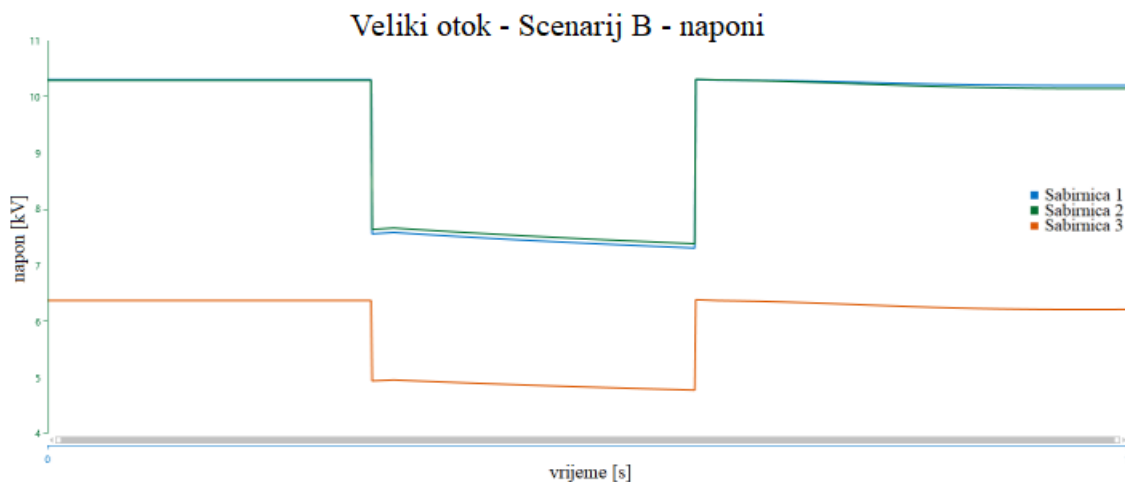
Slika 4.21. Prikaz promjene jalove snage generatora (Veliki otok – Scenarij A)

Na slici 4.21. prikazana je promjena jalove snage generatora za slučaj velikog otoka u Scenariju A. Jalova snaga je konstantna sve do pojave otočnog pogona kada naraste približno 1 Mvar. Jalova snaga raste jer je proizvodnja manja od potrošnje.

Promjena vrijednosti električnih veličina javlja se za sva četiri parametra u Scenariju A, stoga bi pasivne metode uspjele detektirati otočni pogon radi velike razlike između proizvodnje i potrošnje.

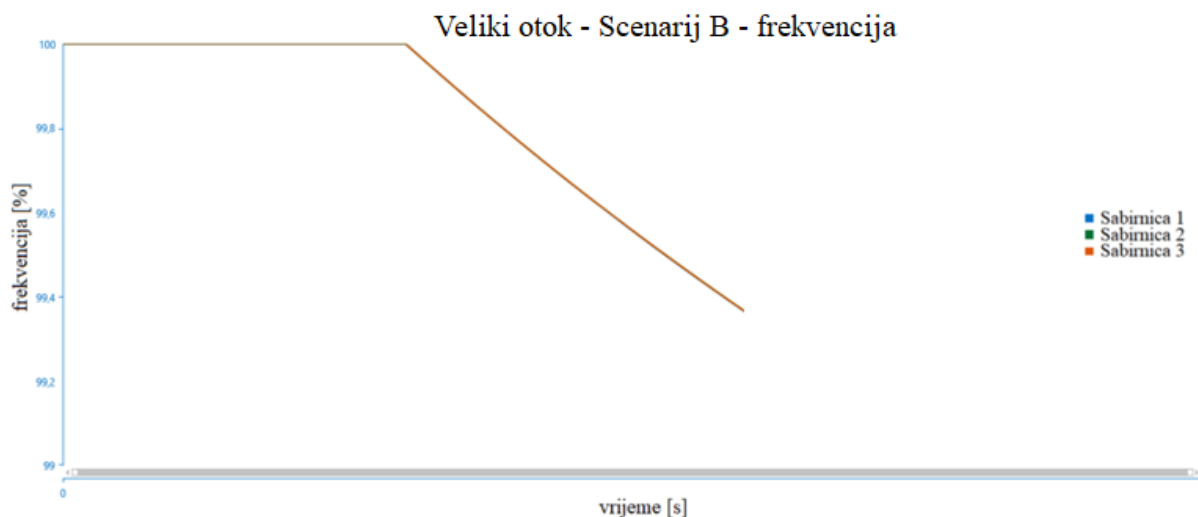
4.2.7. VELIKI OTOK – SCENARIJ B

U trećem slučaju izjednačili smo proizvodnju i potrošnju na opterećenju L3. Obje vrijednosti iznosile su 3,57 MW. Zbroj vrijednosti svih opterećenja u velikom otoku iznosi 12,98 MW što je veća vrijednost od proizvodnje.



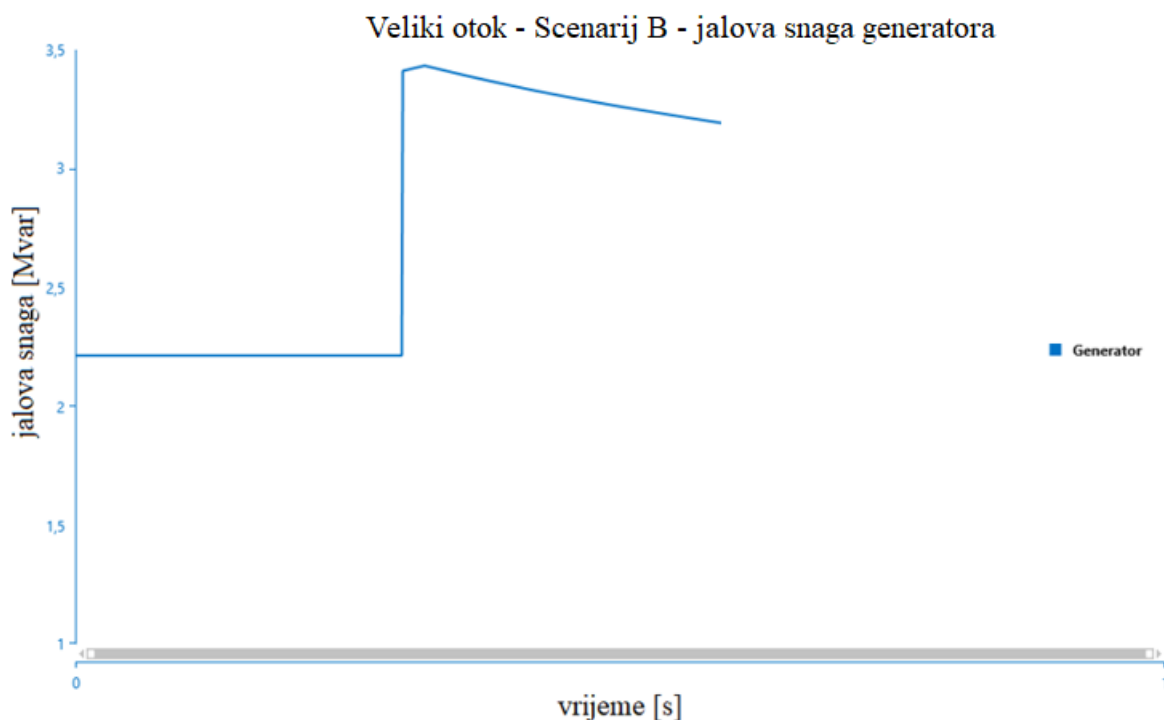
Slika 4.22. Prikaz promjene napona (Veliki otok – Slučaj B)

U Scenariju B na sabirnicama u trenutku otočnog pogona dolazi do propada napona, a nakon reakcije zaštite, napon se vraća na početnu. Za razliku od malog otoka gdje nije bilo promjena u naponu, ovdje smo odvojili veliki dio mreže u kojem imamo puno više sabirnica i potrošača, što je dovelo do razlike u proizvodnji i potrošnji jer je otočni pogon obuhvatio sve potrošače u mreži, a ne samo lokalnu potrošnju. Prema tome ukupni zbroj snage potrošača u mreži iznosi 12,98 MW, a snaga generatora 3,57 MW, zbog te razlike imamo i velike promjene napona.



Slika 4.23. Prikaz promjene frekvencije (Veliki otok – Scenarij B)

Slika 4.23. prikazuje promjenu frekvencije u slučaju velikog otoka za Scenarij B. Za vrijeme otočnog pogona došlo je do smanjenja frekvencije za približno 0,7% na svim sabirnicama. Promjena je vidljiva zbog razlike proizvodnje i potrošnje.



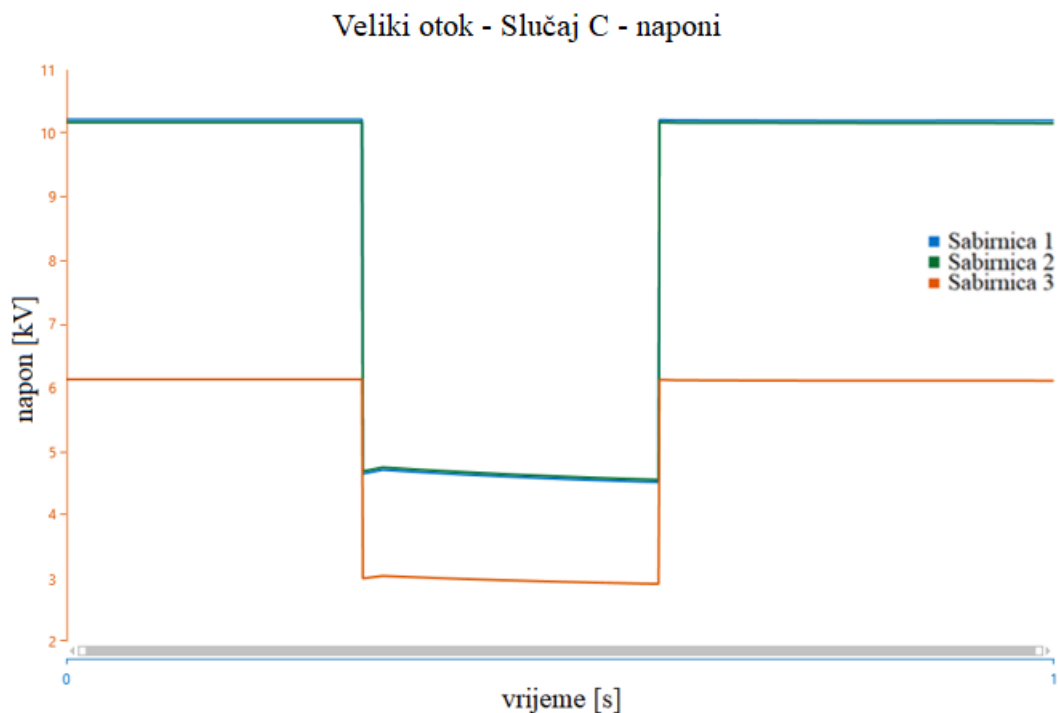
Slika 4.24. Prikaz promjene jalove snage generatora (Veliki otok – Scenarij B)

Slika 4.24. prikazuje promjenu jalove snage generatora za slučaj velikog otoka u Scenariju B. Za vrijeme otočnog pogona dolazi do porasta vrijednosti jalove snage zbog toga što je proizvodnja manja od potrošnje.

Promjena vrijednosti električnih veličina javlja se za sva četiri parametra u Scenariju B, stoga bi pasivne metode uspjele detektirati otočni pogon radi velike razlike između proizvodnje i potrošnje.

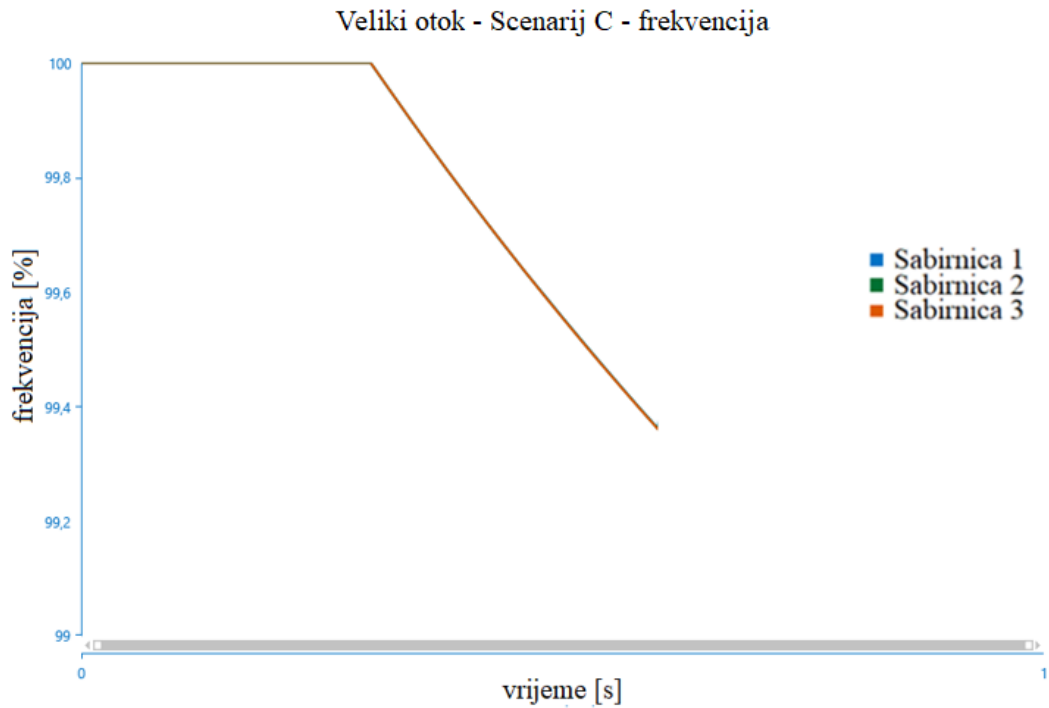
4.2.8. VELIKI OTOK – SCENARIJ C

. U Scenariju C izvedena je simulacija za veliki otočni pogon. Generator proizvodi 3,57 MW, a potrošnja na opterećenju L3 iznosi 5 MW. Zbroj vrijednosti svih opterećenja u velikom otoku iznosi 14,02 MW što je veća vrijednost od proizvodnje.



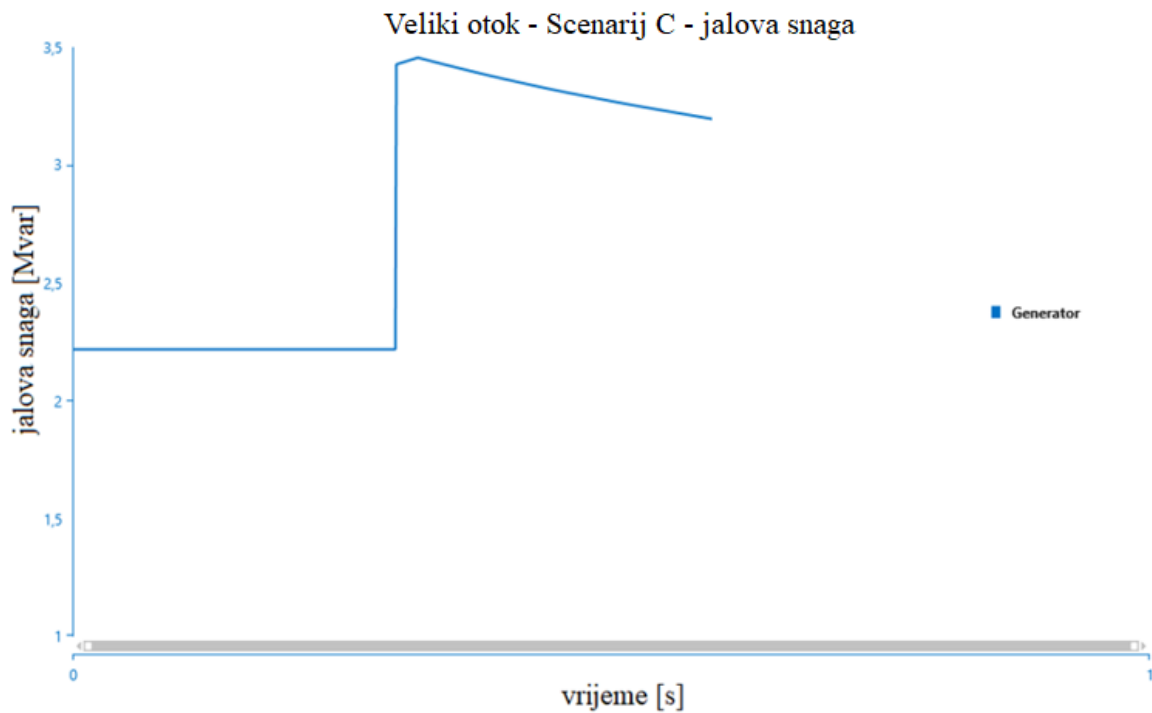
Slika 4.25. Prikaz promjene napona (Veliki otok – Scenarij C)

Slika 4.25. prikazuje promjenu napona za slučaj velikog otoka u Scenariju C. Na sve tri sabirnice doći će do propada napona za vrijeme trajanja otočnog pogona. Nakon otočnog pogona napon se vraća na početnu vrijednost. U ovom slučaju zabilježen je najveći pad napona zbog toga što imamo najveću razliku između proizvodnje i potrošnje.



Slika 4.26. Prikaz promjene frekvencije (Veliki otok – Scenarij C)

Slika 4.26. prikazuje promjenu frekvencije za slučaj velikog otoka u Scenariju C. Za vrijeme otočnog pogona doći će do propada frekvencije za vrijednost od 0,8%



Slika 4.27. Veliki otok – Scenarij C – jalova snaga generatora

Slika 4.27. prikazuje promjenu jalove snage generatora za slučaj velikog otoka u Scenariju C. Za vrijeme otočnog pogona dolazi do porasta vrijednosti jalove snage.

Promjena vrijednosti električnih veličina javlja se za sva četiri parametra u Scenariju C, stoga bi pasivne metode uspjele detektirati otočni pogon radi velike razlike između proizvodnje i potrošnje.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu napravljene su simulacije za slučaj velikog i malog otoka u mreži. Ove simulacije daju uviđanje što se događa sa električnim vrijednostima elemenata kada je u modelu mreže prisutan veliki otok i mali otok. Pomoću njih dobiveni su grafovi koji pokazuju ovisnosti različitih električnih veličina (napon, frekvencija i jalova snaga generatora) o vremenu, koji prikazuju hoće li metoda uspjeti detektirati otok ili ne.

Za slučaj malog otoka odvojen je samo mali dio mreže te su napravljena četiri različita scenarija. U slučaju velikog otoka odvojen je veći dio mreže, odnosno cijela mreža je u otočnom pogonu, također su napravljena četiri različita scenarija.

Prvi scenarij predstavljao je Bazni scenarij u kojem su se koristile zadane vrijednosti proizvodnje i potrošnje u mreži. Promjene na grafovima prikazuju da bi pasivne metode uspjele detektirati otok te da bi zaštita reagirala. U Scenariju A mijenjale su se vrijednosti proizvodnje i potrošnje tako da proizvodnja bude veća od potrošnje. U tom slučaju zbog velike razlike između proizvodnje i potrošnje došlo je do promjena u električnim veličinama što je rezultiralo reakcijom zaštite.

U Scenariju B, izjednačena je vrijednost proizvodnje i potrošnje. To je najnepovoljniji slučaj jer tada je zona neprepoznavanja jednaka 1. U slučaju malog otoka pasivne metode koje koriste promjene električnih veličina za detekciju otoka neće uspjeti detektirati otok jer nije došlo do promjena električnih veličina prilikom otočnog pogona. Za razliku od slučaja malog otoka, kod slučaja velikog otoka uočene su promjene u naponu jer on ne obuhvaća samo potrošnju na potrošaču L3, već na svim potrošačima u mreži. Stoga potrošnja i proizvodnja više nisu jednake nego među njima postoji velika razlika.

U zadnjem scenariju, Scenariju C mijenjale su se vrijednosti proizvodnje i potrošnje tako da potrošnja bude veća od proizvodnje. U Scenariju C u oba slučaja povećanjem tih razlika vidljiva je i promjena električnih veličina.

Promjene jalove snage generatora vidljiva je u svim navedenim slučajevima zbog potrebe za održavanjem ravnoteže proizvodnje i potrošnje električne energije i održavanja stabilnog napona u mreži. Pasivnim metodama promatraju se promjene različitih veličina. Za velike razlike proizvodnje i potrošnje otočni pogon je lako detektiran, dok je s druge strane ovim simulacijama potvrđen problem koji se javlja pri jednakoj proizvodnji i potrošnji, a to je najgori slučaj, jer otok ne može biti prepoznat te može prouzročiti razne probleme u mreži.

SAŽETAK

Ovaj rad definira probleme otočnog pogona u aktivnoj distributivnoj mreži koji se javljaju prodorom obnovljivih izvora energije. Opisan je otočni pogon, što se događa u zoni neprepoznavanja te su razmotrene različite metode detektiranja otočnog pogona radi očuvanja elektroenergetskog sustava. Provede su simulacije za slučaj malog i velikog otoka, te su pri tome promatrane različite električne veličine, kako bi se ustanovilo hoće li pasivna metoda uspjeti detektirati otočni pogon.

Ključne riječi: distribucijski izvori, obnovljivi izvori, otočni pogon, distributivna mreža, aktivne metode, pasivne metode, hibridne metode

ABSTRACT

This paper defines the issues of islanding operation in an active distribution network that arise due to the integration of renewable energy sources. It describes islanding operation and what happens within the nondetection zone and explores various methods for detecting islanding operation to ensure the preservation of the power system. Simulations are conducted for both small and large islands, considering different electrical parameters to determine whether passive methods can successfully detect islanding operation.

Keywords: distributed sources, renewable sources, islanding operation, distribution network, active methods, passive methods, hybrid methods

LITERATURA

- [1] P. Mahat, Z. Chen, B. Bak–Jensen, A Review of Islanding Detection Methods for Distributed Generation, URL: https://www.researchgate.net/publication/224313886_Review_of_islanding_detection_methods_for_distributed_generation
- [2] B.K. Chaitanya, A. Yadav, M. Pazoki, A. Y. Abdelaziz, A comprehensive review of islanding detection methods, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128204917000086>
- [3] S. Kaluđer, K. Fekete, Z. Klaić, K. Čvek, Application of Artificial Neural Networks to Islanding Detection in Distribution Grids: A Literature Review
- [4] M. A. Sahan, An Extensive Review and Analysis of Islanding Detection Techniques in DG Systems Connected to Power Grids, URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/9/3678>
- [5] M. Khodaparastan, H. Vahedi, F. Khazaeli, A novel hybrid islanding detection method for inverter-based DGs using SFS and ROCOF, 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/276437695_A_novel_hybrid_islanding_detection_method_for_inverter-based_DGs_using_SFS_and_ROCOF
- [6] X. Zhang, D. Gamage, Y. Rashid, V. Maglani, PQ Control-based Novel Passive Islanding Detection Method for Renewable Energy Application URL: https://www.researchgate.net/publication/330662731_PQ_Control-based_Novel_Passive_Islanding_Detection_Method_for_Renewable_Energy_Application
- [7] A.Y. Hatata, El-H. Abd-Raboh, B. E. Sedhom, A review of Anti-islanding Protection Methods for Renewable Distributed Generation Systems
- [8] Rakarić Mario, Detekcija i zaštita otočnog pogona elektrane, Diplomski rad, URL: <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A818/datastream/PDF/view>
- [9] L. Yu, D. Zhang, J. He, Active islanding detection method for multi-inverter in power distribution system, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8245537>
- [10] Ivas Mihael, Vjerojatnost otočnoga pogona fotonaponske elektrane s više mrežnih izmjenjivačkih jedinica priključene na mrežu srednjega napona, Disertacija

- [11] M. Čavlović, Problematika otočnog pogona elektrane s dijelom distribucijske mreže, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO-CIRED, SO3-12, str. 2- 4., Osijek, 2016.
- [12] Crnčan Domagoj, Utjecaj regulacije uzbude generatora na detekciju otočnog pogona, Diplomski rad, URL: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:2838>
- [13] A. Singh, R.S. Bhatia, S. Chanana, An Anti-Islanding Technique for Grid-Connected DG and Multi DG System, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8529035>
- [14] B. Guha, R.J. Haddad, Y. Kalaani, A passive islanding detection approach for inverter-based distributed generation using rate of change of frequency analysis, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7133024>
- [15] Orkić Dario, Hibridne metode zaštite od otočnog pogona distribuiranih izvora, Diplomski rad, URL: <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:2766>
- [16] Yasser A. Elshrief , Amin D. Asham , Belgacem Bouallegue , Abdelmoty Ahmed, Dalal H. Helmi, Belal A. Abozalam, Sameh Abd-Elhaleem, An innovative hybrid method for islanding detection using fuzzy classifier for different circumstances including NDZ
- [17] Mlakić Dragan, Detekcija otočnog pogona foto naponskih sustava metodama umjetne inteligencije, Disertacija, URL: <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2187/datastream/PDF/view>
- [18] S. Nikolovski, G. Knežević, Zaštita od otočnog pogona elektrana na biomasu u radu s distribucijskom mrežom, Mogućnosti primjene obnovljivih izvora energije, str. 1., Zagreb, veljača, 2016.

ŽIVOTOPIS

Tena Tonkovic rođena je 9.2.2000. godine u Osijeku gdje završava Osnovnu školu Retfala. Nakon osnovnoškolskog obrazovanja upisuje I. gimnaziju Osijek koju završava 2018. godine s odličnim uspjehom, a potom upisuje preddiplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, smjer elektrotehnika. Godine 2021. upisuje diplomski studij elektrotehnike, modul DEB – Održiva energetika.