

**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



ILIJA ALEKSIĆ

**UTICAJ DC PORTOVA NA POVEĆANJE EFIKASNOSTI
SAVREMENIH DISTRIBUTIVNIH SISTEMA**

MASTER RAD

Podgorica, 2024. godine

PODACI I INFORMACIJE O STUDENTU

Ime i prezime: Ilija Aleksić

Datum i mjesto rođenja: 28.07.2000. godine, Podgorica, Crna Gora

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija: Energetika i automatika, 2022. godine

INFORMACIJE O MASTER RADU

Naziv master studija: Elektroenergetski sistemi

Naslov rada: Uticaj DC portova na povećanje efikasnosti savremenih distributivnih sistema

Fakultet na kojem je rad odbranjen: Elektrotehnički fakultet

Lektor: Dragana Baletić, profesor književnosti

UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA

Datum prijave master rada: 10.09.2024.

Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema: 24.10.2024.

Mentor: Prof. dr Vladan Radulović

Komisija za ocjenu/odbranu rada:

1. Prof. dr Martin Čalasan
2. Prof. dr Vladan Radulović
3. Doc. dr Snežana Vujošević

Datum odbrane: 26.12.2024.

Ime i prezime autora: Ilija Aleksić, BSc

ETIČKA IZJAVA

U skladu sa članom 22 Zakona o akademskom integritetu i članom 18 Pravila studiranja na master studijama, pod krivičnom i materijalnom odgovornošću, izjavljujem da je master rad pod naslovom

" Uticaj DC portova na povećanje efikasnosti savremenih distributivnih sistema "

moje originalno djelo.

Podnosilac izjave,

Ilija Aleksić, BSc

Ilija Aleksić

U Podgorici, dana 19.11.2024. godine

Iskreno se zahvaljujem svom mentoru prof. dr Vladanu Raduloviću na ukazanoj podršci, znanju i savjetima za formulisanje teme i izradu master rada. Zahvalnost ne mogu izostaviti ni prema doc. dr Vladanu Durkoviću, za korisne sugestije i savjete.

Posebno se zahvaljujem roditeljima Mirjani i Aleksandru, bratu Radulu, babi Smiljani, tetki Nadi (1963-2024) i prijateljima na ukazanoj svakodnevnoj podršci i motivaciji pri izradi master rada.

Ilija Aleksić

Sažetak

Distributivni sistemi od 70-ih godina prošlog vijeka doživljavaju značajne promjene u oblastima upravljanja i kvaliteta napajanja električnom energijom. Na ove oblasti najveći uticaj su imali razvoj načina eksploatacije, proizvodnje i rast sve zahtjevnijih potrošača. Sa sve zahtjevnijim potrošačima, kvalitet snabdijevanja električnom energijom postaje jedan od glavnih problema za operatore distributivnih sistema. Savremeni potrošači, pored zahtjeva za povećanjem kvaliteta napajanja električnom energijom, dovode do narušavanja istog u sistemu, što dodatno otežava održavanje zakonom propisanog kvaliteta električne energije za potrošače. Drugi problem sa kojim se susreću distributivni sistemi jeste rast integracija distributivnih generatora. Najbitnija promjena je što, sa integracijom distributivnih generatora, distributivni sistemi više nisu pasivni, odnosno, smjer napajanja više nije jednosmjernan, pa to utiče na strategiju tradicionalnog upravljanja distributivnim sistemima. Prekomjerna integracija distributivnih generatora može dovesti do preopterećenja mrežnih elemenata, povećanja gubitaka, pogoršanja naponskih prilika i narušavanja kvaliteta električne energije u distributivnim mrežama. U ovom radu analiziran je uticaj prekomjerne integracije distributivnih generatora na izvedenim i postojećim 35kV distributivnim sistemima Podgorice i Cetinja.

S ciljem poboljšanja kvaliteta napajanja električnom energijom i potrebe za povećanjem iskorišćenja proizvodnih kapaciteta, razvila se potreba za razvojem novih upravljačkih resursa koji će pomoći poboljšanju parametara distributivnih sistema. Sa jeftinijim elementima i razvojem energetske elektronike, u svijetu se povećava interesovanje za primjenu jednosmjernih portova u distributivnim mrežama kao novi resurs pri upravljanju, koji kao cilj ima povećanje efikasnosti savremenih distributivnih sistema. Uticaj njihove implementacije je rasterećenje preopterećenih izvoda i povećanje iskorišćenja proizvodnih kapaciteta u distributivnim mrežama kroz regulaciju prenosa snage kroz distributivne sisteme. Primjena jednosmjernih portova u savremenim distributivnim mrežama je motiv istraživanja master rada.

Razvoj strategije za upravljanje savremenim distributivnim sistemima zasnovan je na proračunu optimalnih tokova snaga i implementaciji optimizacionog algoritma, čija implementacija ima za cilj postizanje predefinisano optimalnog stanja u sistemu. U master radu razvijen je algoritam za centralizovano upravljanje svim jednosmjernim portovima u sistemu. Prije razvijanja algoritma bila je potrebna implementacija modela jednosmjernih portova, gdje se jednosmjerni portovi tretiraju kao potpuno upravljivi resurs. Razvijeni algoritam se bazira na uzajamnom radu metoda za proračun tokova snaga i optimizacionog algoritma, koji kao rezultat daje optimalne upravljačke promjenljive u normalnim radnim režimima za sve jednosmjerne portove, s ciljem postizanja definisanog optimalnog stanja u mreži. Primjena razvijenog algoritma i analiza doprinosa koje daju jednosmjerni portovi distributivnim sistemima, kroz uticaj na gubitke, naponske profile i povećanje priključne sposobnosti elektrodistributivnih mreža za veću integraciju distributivnih generatora, prikazana je na postojećim i izvedenim distributivnim sistemima 35 kV Podgorice, Cetinja i okolnih sistema, gdje se preko jednosmjernih portova vrši regulacija prenosa snage između sistema, i na dijelu 10 kV sistema Cetinja, gdje su rađene i modifikacije sistema s ciljem bolje reprezentacije savremenih mreža kroz implementaciju punionica za električna vozila i malih solarnih elektrana.

Ključne riječi: upravljanje distributivnim mrežama, kvalitet električne energije, integracija distributivnih generatora, jednosmjerni portovi, optimalni tokovi snaga, optimizacija

Abstract

Since the 1970s, distribution systems have undergone significant changes in the areas of management and the quality of electricity supply. The greatest impact on these areas has come from the development of exploitation methods, production, and the growth of increasingly demanding consumers. With more demanding consumers, the quality of electricity supply has become one of the main challenges for distribution system operators. Modern consumers, in addition to demanding an increase in the quality of electricity supply, also contribute to its deterioration within the system, which further complicates maintaining the legally prescribed quality of electricity for consumers. Another issue faced by distribution systems is the increasing integration of distributed generators. The most important change is that, with the integration of distributed generators, distribution systems are no longer passive; that is, the direction of power flow is no longer one-way, which affects the traditional management strategy of distribution systems. Excessive integration of distributed generators can lead to overloading of network elements, increased losses, worsening voltage conditions, and deterioration of electricity quality in distribution networks. This paper analyzes the impact of excessive integration of distributed generators on the existing and developed 35kV distribution systems of Podgorica and Cetinje.

With the aim of improving the quality of electricity supply and the need to increase the utilization of production capacities, the need arose for the development of new control resources that would help improve the parameters of distribution systems. With cheaper components and the development of power electronics, interest in the application of Soft Open Points in distribution networks is growing worldwide as a new resource for management, with the goal of increasing the efficiency of modern distribution systems. The impact of their implementation is the relief of overloaded feeders in distribution networks through the regulation of power transfer across distribution systems. The application of Soft Open Points in modern distribution networks is the focus of this master's thesis.

The development of a strategy for managing modern distribution systems is based on the calculation of optimal power flows and the implementation of an optimization algorithm, whose purpose is to achieve a predefined optimal state in the system. In the master's thesis, an algorithm for centralized management of all Soft Open Points in the system was developed. Before developing the algorithm, it was necessary to implement a model of Soft Open Points, where the Soft Open Points are treated as fully controllable resources. The developed algorithm is based on the mutual operation of power flow calculation methods and the optimization algorithm, which results in optimal control variables in normal operating modes for all Soft Open Points, with the aim of achieving a defined optimal state in the network. The application of the developed algorithm and the analysis of the contributions made by Soft Open Points to distribution systems, through their impact on losses, voltage profiles, and increased connection capacity of power distribution networks for greater integration of distributed generators, are presented on the existing and developed 35 kV distribution systems of Podgorica, Cetinje, and surrounding systems, where regulation of power transfer between systems is performed via Soft Open Points, and on a part of the 10 kV system of Cetinje, where system modifications were made with the aim of better representing modern networks through the implementation of charging stations for electric vehicles and small solar power plants.

Keywords: distribution network management, power quality, integration of distributed generators, Soft Open Points, optimal power flow, optimization

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Pregled literature	2
2. DC PORTOVI	4
2.1 Osnovni princip rada i primjena DC portova u savremenim distributivnim mrežama	4
2.1.1. Postojeće konfiguracije distributivnih sistema sa DC portovima	4
2.1.2. Topologija DC portova	7
2.1.3. Osnovni princip rada back to back DC portova	8
2.2. Modelovanje DC portova i elemenata distributivne mreže	11
2.2.1. Model DC portova	11
2.3.2. Modelovanje elemenata distributivne mreže	13
2.3. Upravljanje DC portovima u normalnim uslovima rada	14
2.3.1. Newton Rapshons method	15
2.3.2. Kvalitet električne energije i problematika pada napona pri upravljanju sistemom	18
2.3.3. Optimizacioni algoritam PSO – Particle Swarm Optimisation	20
2.3.4. Algoritam za centralizovano upravljanje DC-sistemom metodom PSO	21
3. INTEGRACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE	24
3.1. Prednosti i mane integracije obnovljivih izvora električne energije	24
3.1. Analiza integracije distributivnih generatora u distributivnim sistemima 35kV Cetinja i Podgorice	26
3.1.1. Parametri distributivnih sistema 35 kV Cetinja i Podgorice	26
3.1.2. Distributivni sistem 35 kV Cetinja	31
3.1.2. Distributivni 35 kV sistem Podgorice	35
4. ANALIZA PRIMJENE DC PORTOVA	41
4.1. Scenariji dnevnih dijagrama potrošnje	41
4.2. Parametri 35 kV distributivnih sistema Cetinja i Podgorice, okolnih 35 kV sistema i dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja	42
4.2.1. Parametri distributivnih sistema 35 kV Podgorice i okolnih 35 kV sistema koje se koriste u proračunu	43
4.2.2. Parametri 35 kV distributivnog sistema Cetinja i okolnih 35 kV sistema koji se koriste u proračunu	46
4.2.3. Parametri dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja koji se koristi u proračunu	49
4.3. Rezultati simulacije	51
4.3.1. Rezultati simulacije za 35 kV distributivni sistem Podgorice i okolnih distributivnih sistema	52
4.3.2. Reuzultati simulacije za 35 kV distributivni sistem Cetinja i okolnih distributivnih sistema	67
4.2.2. Rezultati simulacije za dio 10 kV distributivnog sistema Cetinja	84
5. ZAKLJUČAK	99
LITERATURA	101

1.UVOD

Sa sve većom potrebom za prelaskom sa konvencionalnih izvora električne energije zbog njihovih negativnih ekoloških posljedica, u svijetu se teži tranziciji proizvodnje električne energije iz „zelenih tehnologija“ baziranih na obnovljivim izvorima električne energije (OIE). Ova tendencija prelaska na nove metode eksploatacije dovodi do novih izazova sa kojima se susreću elektroenergetski sistemi. Jedna od novih ideja eksploatacije koja se danas sve više realizuje jeste distributivna proizvodnja. Distributivna proizvodnja ima za cilj proizvodnju na mjestu potrošnje. Na ovaj način rasteretila bi se potreba za proizvodnjom iz konvencionalnih izvora jer bi se dio energije sada proizvodio na mjestu potrošnje. Najčešći distributivni izvori električne energije koji se koriste baziraju se na obnovljivim izvorima električne energije, kao što su solar i vjetar.

Distributivna proizvodnja ima veliki broj prednosti koje su razmatrane u brojnim istraživanjima. Za operatora distributivnog sistema ugradnja distributivne proizvodnje na mjestu potrošnje rasterećuje opterećene mrežne elemente, što kao rezultat ima manje gubitke i bolje naponske prilike u sistemu. Rasterećenje sistema zbog distributivne potrošnje takođe odlaže potrebu operatora za planiranjem razvoja novih proizvodnih kapaciteta i mrežnih elemenata. Za same potrošače distributivna potrošnja ih čini nezavisnim u odnosu na distributivnu mrežu, jer će svoje potrebe za električnom energijom dobijati direktno od svoje distributivne proizvodnje. Takođe, distributivna proizvodnja bi ga mogla osigurati, da, ukoliko dođe do nestanka napajanja iz distributivne mreže, on ne osjeti ovaj prekid napajanja, jer će ga napajati njegov distributivni izvor.

Integracija distributivnih generatora (*DG*) u distributivnim mrežama, pored navedenih prednosti, za sistem i potrošače mogu imati i negativne posljedice. Glavni problem distributivne proizvodnje je trenutak proizvodnje iz *DG*. Tokom dana se proizvodnja i potrošnja iz *DG* neće uvijek poklopiti i ovo dovodi do plasiranja energije iz *DG* u distributivni sistem. Ova predata energija dovodi do noviteta u distributivnim sistemima, jer čini da se tradicionalno pasivne mreže, gdje je smjer napajanja jednosmjerni od glavnog izvora napajanja do potrošača mijenja, jer dolazi do promjene smjera napajanja u odnosu potrošač mreža. Ukoliko se radi o maloj predatoj energiji iz *DG* ova energija može imati iste prednosti kao gore navedena za operatora sistema. Zato postoji granica nivoa instalisane snage *DG* do koje njihova integracija neće narušavati parametre sistema, koja se naziva priključna sposobnost elektrodistributivne mreže (*eng. Hosting Capacity*). Prekomjerna integracija *DG* iznad dozvoljenog nivoa integracije može dovesti do plasiranja veće količine energije iz distributivne proizvodnje. Ova energija može dovesti do povećanja gubitaka, narušavanja naponskih prilika, povećanja struje kratkih spojeva, preopterećenja mrežnih elemenata, negativnih uticaja na reagovanje relejne zaštite i mnoge druge.

Razvojem energetske elektronike i fleksibilnih sistema naizmjenične struje (*FACTS*) dovelo je do novih interesovanja u njihovoj primjeni u distributivnim mrežama. Novi uređaji bazirani na elementima energetske elektronike dovode nove upravljačke resurse u distributivne sisteme. Jedan od novih uređaja, resursa, su jednosmjerni (*DC*) portovi (*eng. Soft Open Points*) čija ideja primjene u distributivnim mrežama jeste da poveže dva distributivna izvoda s ciljem njihovog vezivanja u paralelan rad. Vezivanje u paralelan rad preko *DC* portova eliminišu se negativne strane upetljenih mreža koje se odnose na zaštite koje moraju da reaguje na veće snage kratkog spoja i da detektuju obostrani smjer napajanja mjesta kvara, pojave cirkulacionih struja, neravnomjerne raspodjele opterećenja na mrežnim elementima, što može ugroziti njihova termička ograničenja. *DC* portovi ovo rade na osnovu karakteristika konvertora energetske elektronike koji prate i regulišu snagu koja se preko njih prenosi između izvoda.

Integracija DC portova zahtijeva razvoj upravljačkog algoritma na osnovu kojeg se određuju definisane upravljačke promjenljive DC portova. U ovome radu napravljen je algoritam za strategiju upravljanja DC portovima u normalnim uslovima rada, s ciljem minimizacije gubitaka koji se javljaju u sistemu, o čemu će biti riječi u narednim poglavljima koja su struktuirana na sljedeći način:

- U drugom poglavlju je opisana struktura, elementi, primjena i princip rada DC portova. Prikazan je način modelovanja elemenata distributivnog sistema i DC portova. Opisan je optimizacioni metod i metod za proračun tokova snaga, koji su implementirani u proračunima i algoritmu. Objašnjen je algoritam na osnovu kojeg se određuju optimalni uslovi rada DC portova;
- U trećem poglavlju će biti opisani pojam integracije obnovljivih izvora električne energije, mogući benefiti i ograničenja rada ovakvih izvora energije u distributivni sistem. Analiza integracije obnovljivih izvora električne energije će biti urađena na postojećim i izvedenim sistemima 35 kV Podgorice i Cetinja;
- U četvrtom poglavlju će se dati pregled rezultata analize doprinosa DC portova za tri izvedena postojeća distributivna sistema 35 kV i 10 kV naponskog nivoa, kroz implementaciju razvijenog algoritma, koji će biti implementirani u Matlab kodu;
- U petom poglavlju izvučeni su glavni zaključci rada i dati predlozi za dalja istraživanja.

Naučni doprinosi ovoga master rada se ogledaju u:

- Analizi primjene DC portova u sistemima 35 kV i 10 kV naponskog nivoa i njihov doprinos poboljšanju naponskih prilika i smanjenje gubitaka u mrežama;
- Način modelovanja DC portova preko generičkog modela injektiranja i matematičkog modela gubitaka DC portova, modelovanja distributivnih sistema i modelovanja dodatnih elemenata na naizmjeničnoj strani distributivnih sistema potrebnih za implementaciju DC portova;
- Razvijen je algoritam za upravljanje DC portovima u normalnim uslovima rada, koji uključuje implementaciju DC portova u distributivnim mrežama i primjenu optimizacionog algoritma u proračunu tokova snaga;
- Uporednoj analizi tri postojeća izvedena distributivna sistema naponskih nivoa 35 kV i 10 kV, sa i bez DC portova, pri čemu su prikazane prednosti i mane priključenja DC portova na ovim naponskim nivoima.

1.1. Pregled literature

Razvoj energetske elektronike omogućio je prenos snage preko sistema jednosmjernih napona. Prenos velikih snaga na većim udaljenostima karakterističan je za prenosne mreže. Na većim udaljenostima, u prenosu je isplativije prenositi veće snage preko sistema visokih jednosmjernih napona, HVDC sistema (*HVDC sistem eng: high voltage direct current systems*), nego preko klasičnih naizmjeničnih mreža. Sa sve povoljnijim komponentama energetske

elektronike, pokrenuto je pitanje upotrebe DC portova i u distributivnim mrežama. Upotreba, benefiti i konfiguracije distributivnih mreža sa DC portovima date su u [1-6]. Za lokaciju postavljajnja DC portova u distributivnim mrežama odabrane su trafostanice koje imaju mogućnost da se povežu sa drugim trafostanicama. O odabiru optimalne lokacije DC portova i DG dato je u [7-9].

Osnovne podjele, prednosti i karakteristike DG koje pružaju distributivnim sistemima je potrebno navesti da bi se u radu prikazao doprinos DC portova u sistemima sa izraženom proizvodnjom iz DG [10-13]. Problematika integracije DG, kao što je prekomjerena integracija i proizvodnja DG u periodima niske potrošnje i visoke proizvodnje, kao i njihov uticaj na nivo priključne sposobnosti elektrodistributivne mreže, prikazan je u [14-21]. Jedna od negativnih strana prekomjerne integracije DG jeste povećanje gubitaka u sistemu, ovi gubici su negativna pojava za operatore distributivnih sistema, što je i prikazano u [22].

Na osnovu definisanih lokacija DC portova razvijen je algoritam za upravljanje DC portovima u normalnim uslovima rada. Razvijeni algoritam se odnosi na centralizovano upravljanje DC portovima, o čemu je više riječi dato u [23-25]. Radovi u kojima su opisani slični algoritmi za centralizovano upravljanje DC portovima u normalnim uslovima rada su dati u [26-30]. Za razvijanje algoritma bilo je potrebno modelovanje elemenata distributivne mreže, o čemu je razmatrano u [31-33], i samih DC portova.

Da bi se izvršilo modelovanje DC portova potrebno je prikazati osnovni princip rada DC portova kao osnova za razvoj modela DC portova. Predmet ovoga rada nije sam princip rada već razvoj upravljačkog algoritma i njegova primjena na izvedenim i postojećim distributivnim sistemima ali da bi njega razvili potrebno je osnovno znanje o principu rada DC portova. Više o samom principu rada i elemenatima DC portova dato je u [30] i [34-45].

Razvijeni upravljački algoritam se bazira na proračunu optimalnih tokova snaga sa implementacijom optimizacionog algoritma s ciljem pronalaženja najboljih upravljačkih promjenljivih DC portova, a da se u sistemu minimizuju gubici. Metod proračuna optimalnih snaga korišćen u ovome radu je metod Newton Raphson, [46] i [47], a optimizacioni algoritam *Particle Swarm Optimisation*, o kome je više riječi dato u [48-50].

2. DC PORTOVI

Upravljanje DC portovima pored hardverskog dijela zahtijeva razvoj upravljačkog algoritma i strategije upravljanja koja će omogućiti efikasan rad DC portova sa ostalim elementima sistema [26]. U narednom poglavlju opisana je topologija DC portova i navedeni su primjeri konfiguracija implementacije DC portova u distributivnim mrežama. Dat je model koji treba što vjernije da opiše DC portove i omogući njihovu integraciju u proračun tokova snaga. Opisani su metod proračuna tokova snaga i optimizacioni metod koji su korišćeni za razvoj upravljačkog algoritma za rad DC portova. Objašnjena je potreba implementacije optimizacionog algoritma za upravljanje DC portovima, kao i razvijeni algoritam za upravljanje DC portovima.

2.1 Osnovni princip rada i primjena DC portova u savremenim distributivnim mrežama

Primjena DC portova u distributivnim mrežama je najviše zastupljena na mjestima na kojima se zatvara prsten između dva nezavisna izvoda. Pri upravljanju u distributivnim mrežama praksa je da se, ukoliko imamo mogućnost zatvaranja prstena, između dva izvoda koja se napajaju iz različitih transformatora ili iz jednog transformatora, radi kratkotrajno vezivanje prstena da bi se izbjegla problematika pralelnog rada. DC portovi omogućavaju trajno vezivanje prstena i vrše upetljavanje mreže na bezbjedan način kroz kontrolisanu razmjenu snage između izvoda [48]. Na ovaj način bi se izbjegle sve negativne strane vezivanja u paralelan rad izvoda [18].

U narednom poglavlju biće prikazan osnovni princip rada DC portova. Pored ovog opisani su osnovni elementi i topologija *back to back* DC portova, kao i postojeće konfiguracije distributivnih sistema sa DC portovima.

2.1.1. Postojeće konfiguracije distributivnih sistema sa DC portovima

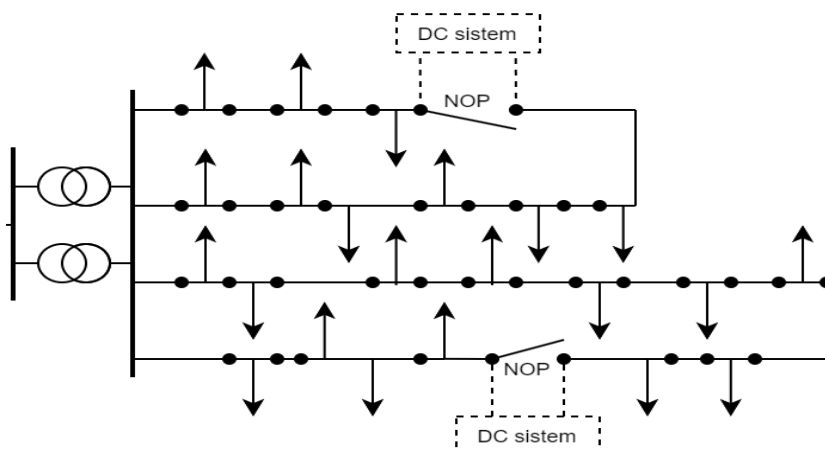
Konfiguracije (šeme) električnih mreža treba da osiguraju potrebnu pouzdanost napajanja potrošača električnom energijom uz minimalne troškove, jednostavnu i sigurnu eksploataciju, kao i mogućnost budućeg proširenja mreže i priključivanja novih potrošača [19].

Osnovne konfiguracije distributivnih mreža se mogu podijeliti na radijalne i prstenaste. Radijalne mreže karakteriše jedan smjer napajanja potrošačkih čvorova. Petljaste konfiguracije omogućavaju protok električne energije u oba smjera duž dionica vodova, što se postiže međusobnim povezivanjem dionica i priključivanjem napojnih dionica na jedan ili više izvora napajanja [1].

Tipične distributivne mreže su obično radijalne sa mogućnošću zatvaranja prstena na mjestima gdje je prsten između izvoda rastavljen (*NOP-normaly open switch points*), slika 1. Na ovakvim mjestima DC portovi omogućavaju vezivanje djelova mreže u paralelan rad na način da se izbjegnu negativne strane petljastih mreža, odnosno propagacije struje kvara [6]. DC portovi se postavljaju na ovakvim mjestima i daju benefite, kao što su [1]:

- kontrolisana regulacija tokova snaga između izvoda distributivnog sistema
- bržih manipulacija koje se rade preko DC portova nego preko klasičnih prekidača i rastavljača, zbog brzine elemenata energetske elektronike koje sadrže DC portovi u odnosu na mehaničke elemente koji sadrže prekidače i rastavljače
- smanjenje viših harmonika kroz filtere viših harmonika koje posjeduju i kompenzacije reaktivne snage

- pomažu pri kvarovima jer imaju mogućnost da u milisekundi odvoje dio mreže u kojoj se javio kvar s ciljem bržeg izolovanja mjesta kvara

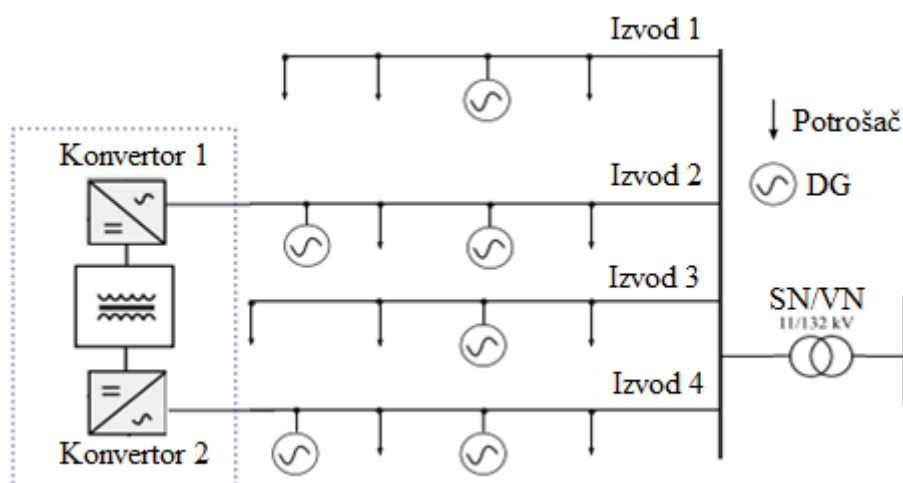


Slika 1. Tipični distributivni sistem sa NOP i DC portovima

Pored navedenih benefita, glavna uloga i benefit DC portova jeste da rasterećuju opterećene elemente mreže kroz balansiranje prenosa snage između izvoda preko njih [3]. Na ovaj način smanjuju se negativni efekti prekomjerne integracije DG, jer se energija iz njih bolje plasira do potrošača, što povećava priključna sposobnost elektrodistributivne mreže [4].

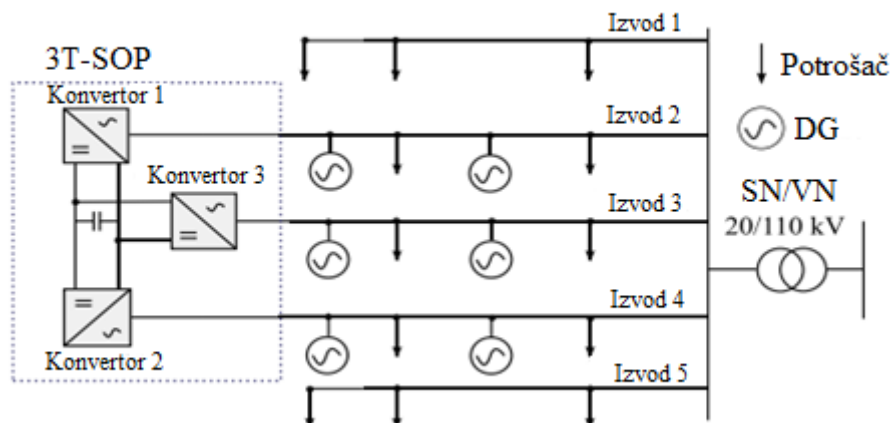
Jedna od podjela postojećih konfiguracija distributivnih mreža sa DC portovima je na: dvo terminalne distributivne sisteme sa DC portovima (*2T-DCP two terminal direct current port*), više terminalne distributivne sisteme sa DC portovima (*MT-DCP multi terminal direct current port*) i distributivne sisteme sa DC portovima i sa jednosmjernim distributivnim generatorima (*DCP+DG direct current port plus distribution generator*), [1].

Dvoterminalni distributivni sistemi sa DC portovima su osnovni model konfiguracije DC portova koji sadrži dvije konvertorske stanice. Ovaj model je najviše korišćen, najjednostavnije topologije i koristi se za vezivanje dva izvoda u paralelan rad (slika 2).



Slika 2. Konfiguracija dvoterminalnog distributivnog sistema sa DC portovima u distributivnoj mreži 10 kV naponskog nivoa [1]

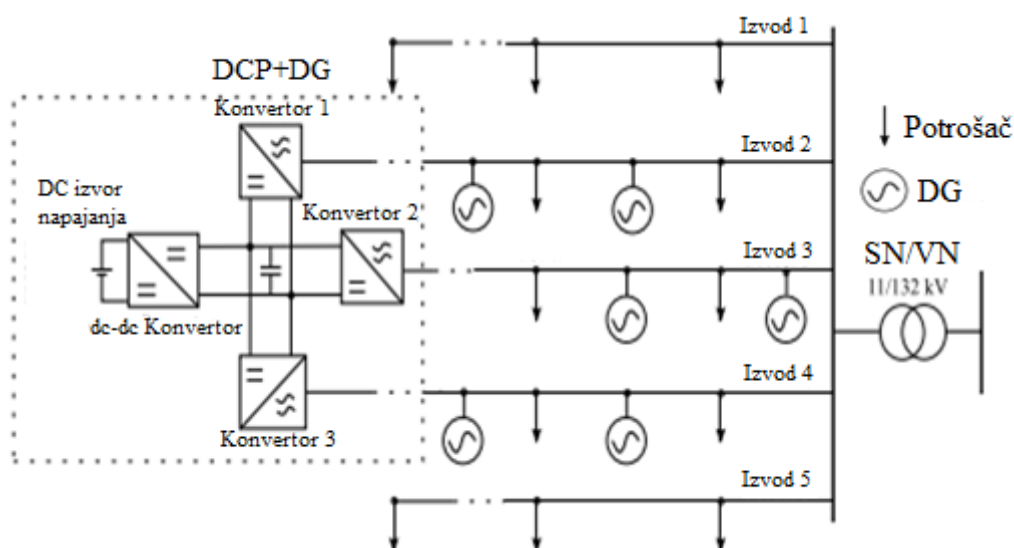
MT-DCP sistemi omogućavaju povezivanje više izvoda sa više konvertorskih stanica DC portova, s ciljem održavanja balansa energije između više izvoda u odnosu na dvoterminalne koji spajaju dva izvoda [1].



Slika 3. Konfiguracija multiterminalnog distributivnog sistema sa DC portovima u distributivnoj mreži 20 kV naponskog nivoa [1]

MT+DG sistemi se mogu ugraditi u mrežama koje imaju veću varijaciju distributivnih generatora (*vjetro elektrane, solarne elektrane...*). Ukoliko bi u jednom dijelu mreže postojala proizvodnja iz distributivnih generatora, a u drugom ne, MT+DG sistemi bi mogli plasirati energiju iz izvoda gdje je izražena proizvodnja ka više sistema u odnosu na 2T-DCP. MT-DCP sistemi bi mogli vršiti bolju regulaciju i balansiranje energije u sistemima s distributivnom proizvodnjom [2].

DCP+DG je konfiguracija koja na jednosmjernoj strani DC portova ima priključen distributivni generator (slika 4). Ovakva konfiguracija je dobar način da povežemo distributivni generator sa distributivnom mrežom, s ciljem boljeg plasiranja energije iz distributivnih generatora [2].



Slika 4. Konfiguracija distributivnog sistema sa DC portovima i distributivnim generatorima u distributivnoj mreži 10kV naponskog nivoa [1]

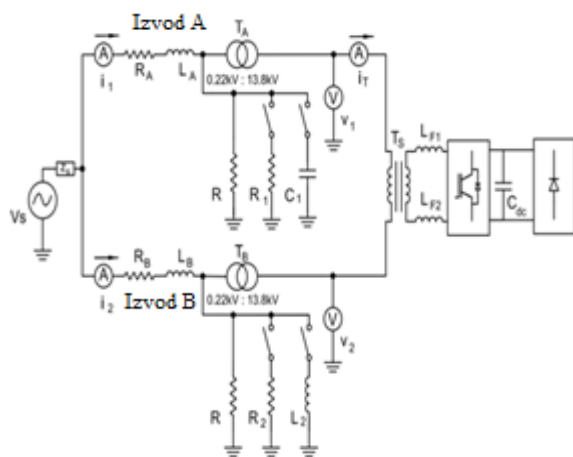
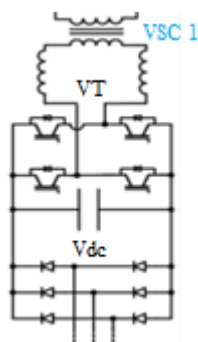
2.1.2. Topologija DC portova

Topologija DC portova koji povezuju dva izvoda u distributivnim mrežama je kao i u HVDC (*HVDC- high voltage direct curent systems*) sistemima, koji su široko rasprostranjeni u prenosnim mrežama. Osnovni element DC portova je konvertor energetske elektronike VSC (*VSC – voltage sourece converter*), (slika 5) [34].



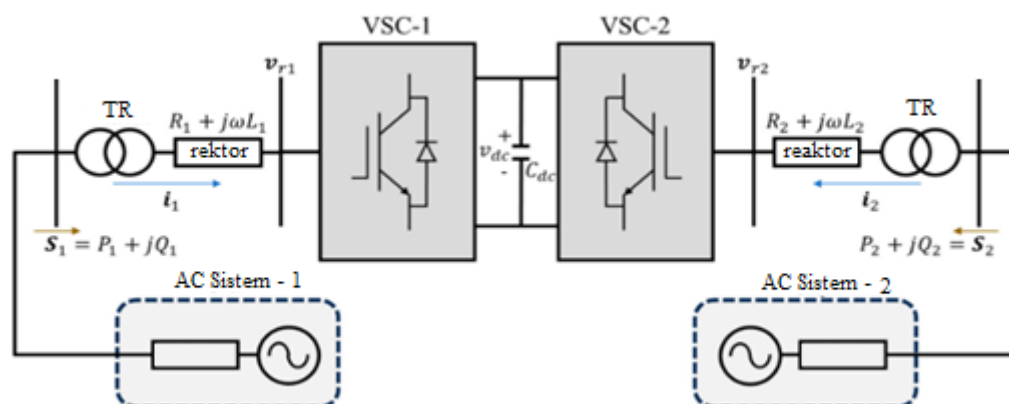
Slika 5. Trofazni VSC konvertor u vanjskoj instalaciji nazivnog napona 13.8 kV [35]

Za bolje razumijevanje rada DC portova opisana su dva tipa vezivanja konvertora DC porta: *back to back* VSC i redni VSC. Osnovni elementi rednih DC portova su: jedan konvertor energetske elektronike VSC koji sadrži IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) prekidače i parove dioda spojenih u mosnu topologiju H kao na slici 6, dva transformatora T_A i T_B (*koji služe da prilagode napon za nazivni napon DC sistema na AC strani*), filtere viših harminika, mjerna oprema (dva voltmetra i ampermetar) i transformator TS (slika 7). Na osnovu podešavanja uglova paljenja IGBT prekidača kontroliše se pad napona na transformatoru TS, čime se kontoliše tok snage kroz transformator TS. Na taj način kontroliše se vrijednost energije koja se prenosi između izvoda (*feeder*) A i B (slika 7). Prednost rednog u odnosu na *back to back* DC portova jeste jeftinija cijena zbog manjeg broja VSC konvertora. Međutim, nedostaci su mu je što nije toliko komercijalizovan kao *back to back* VSC DC portova i što je osjetljiviji na struje kratog spoja koje mogu da dovedu do čestih kvarova na komponentama rednih DC portova [35].



Slika 6. i Slika 7. Topologija VSC i topologija rednog VSC sistema [35]

Back to back DC portovi imaju dva VSC konvertora za razliku od rednog. S obzirom na to da im je arhitektura simetrična, svaki izvod ima identičan broj i raspored prekidačkih elemenata IGBT tranzistora [36]. Pored VSC konvertora *back to back* DC portovi sadrže dva transformatora koji prilagođavaju naponski nivo za koji su napravljeni konvertori i filteri viših harmonika, slika 8) [34].



Slika 8. Topologija back to back DC portova

2.1.3. Osnovni princip rada back to back DC portova

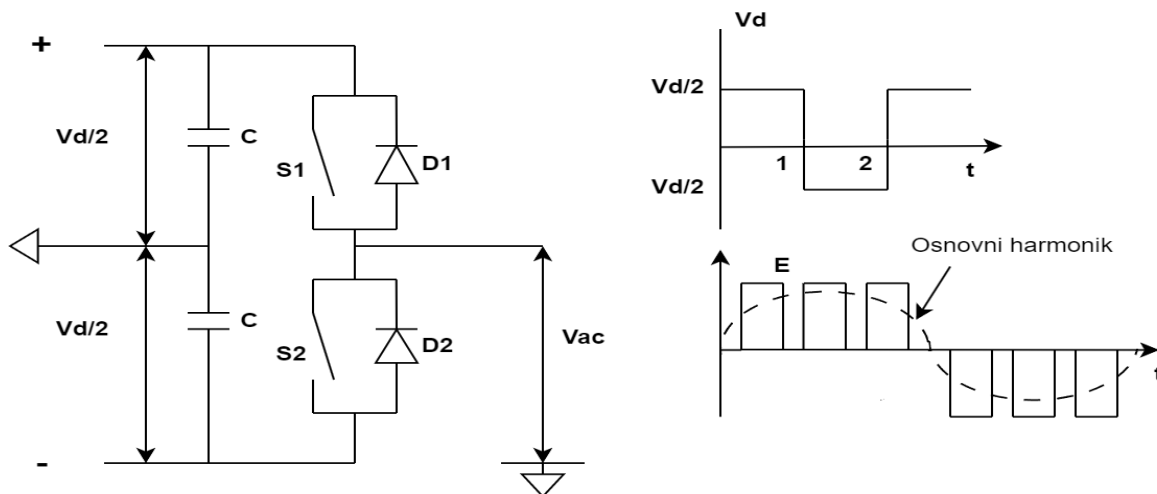
Osnovna dva režima rada VSC konvertora DC portova su invertorski i ispravljački režim rada. Ako je tok struje ka konvertoru i on je predaje na DC strani onda on djeluje kao ispravljač. Suprotan tok od konvertora ka mreži predstavlja invertorski režim rada [37].

U invertorskom režimu rada konvertor radi kao nekontrolisani ispravljački most sa šest prekidača IGBT koji pune kondenzator C_{dc} do maksimalne vrijednosti napona (slika 8). IGBT prekidači ispravljavu struju da bude jednosmjerna, a da bi se održavala konstantom na DC strani, za to je zadužen reaktor (kalem), dok je kondenzator zadužen da napon na DC strani održava konstantnim. IGBT prekidači su sačinjeni od elemenata energetske elektronike (*tiristora, tranzistora, mosfeta...*) koji će provoditi struju ukoliko budu direktno polarizovani i ukoliko se definišu njihovi uglovi paljenja. Direktna polarizacija elemenata energetske elektronike predstavlja njihovo polarizovanje na način da oni mogu da provode struju, dok inverzna polarizacija onemogućava protok struje kroz njih [38].

Direktna polarizacija nije jedini uslov da bi elementi energetske elektronike, tranzistori, od kojih je IGBT prekidač sastavljen provodili, potrebno je definisati ugao paljenja IGBT prekidača. Ugao paljenja prekidača predstavlja malu količinu energije neophodne da bi direktno polarizovan IGBT mogao da provodi struju. Kontrola protoka aktivne snage kroz konvertor zavisi od ugla paljenja prekidača IGBT [41].

U režimu invertora jednosmjerni napon se pretvara u impulsni signal upotrebom impulsno širinske modulacije koja podrazumijeva uključivanje i isključivanje tranzistora sa mnogo većom učestanošću nego što je učestnost mreže. Naime, u toku jednog vremenskog intervala iz vremenskog perioda T prekidači IGBT-a uključe, a u drugom vremenskom intervalu isključe. Jednopolni prekidač IGBT-a je predstavljen na slici 9, kao paralelna veza prekidača S_1 i diode D_1 , i paralelnom vezom prekidača S_2 i diode D_2 . Pod terminom „uključiti“ IGBT prekidač upotrebom impulsno širinske modulacije podrazumijeva se zatvaranje prekidača ili S_1 ili S_2 , gdje se proslijeđuje pozitivna ili negativna vrijednost DC napona AC strani, u zavisnosti od uključivanja S_1 ili S_2 . Ukoliko je IGBT „isključen“ to predstavlja da su prekidači S_1 i S_2 isključeni i da se na AC

strani ne prenosi DC napon. Uključenjem i isključenjem IGBT-a, dobija se jednosmjerni impulsni talasni oblik napona na AC strani, kombinacijama uključenja i isključenja prekidača S1 i S2. Uz pomoć filtera viših harmonika moguće je smanjiti uticaj viših harmonika, gdje napon dobija oblik sinusoide (slika 9), [39].



Slika 9. Invertorsko kolo i talasni oblici napona na AC strani

Da bismo upravljali VSC-om potrebno je vršenje kontrola: protoka aktivne snage kroz VSC, kontrola napona i kontrola reaktivne snage [42]. Kontrola aktivne snage koja prolazi kroz VSC koju VSC daje ili uzima, vrši se na osnovu uglova paljenja IGBT prekidača [36]. Kontrola reaktivne snage se radi odvojeno od protoka aktivne snage i regulacije napona jer se VSC konvertori obično ugrađuju sa FACT uređajima da bi vršili kompenzaciju reaktivne snage [40].

Kontrola napona na VSC-u se vrši preko SPWM (*sinusid pulse with motion*) tehnike koja se bazira na impulsno širinskoj modulaciji. Ideja SPWM tehnike je da se u jednom vremenskom intervalu T napravi "n" intervala različitih trajanja u kojima bi se pravile kombinacije IGBT prekidača da se uključe ili isključe, s ciljem dobijanja smanjenog sadržaja viših harmonika na AC strani konvertora, i određivanja amplitude napona na AC strani. Regulacija kontrole napona se radi sa strujnom ili naponskom regulacijom. Strujna regulacija prati struju na AC strani i poredi je sa referentnom strujom koja se dobija iz signala greške između mjerenja jednosmjernog napona na DC strani i referentnog željenog napona na DC strani. Na osnovu upoređivanja ove dvije vrijednosti struja dobija se impulsni signal SPWM za paljenje prekidača IGBT-a. Naponska regulacija ne prati vrijednosti struja na AC strani već na osnovu mjerenja napona na DC strani i referentnog željenog napona pravi signal za SPWM. Za nastavak rada smatra se da su VSC konvertori potpuno upravljivi uređaji i da se napon na DC strani stalno održava na referentnu vrijednost [39].

Na slici 10 je prikazana unutrašnjost ormara VSC-a, odnosno elektronika VSC-a sa slike 5 koju čine tri jednofazna ispravljača sačinjena od IGBT-a u mosnoj konfiguraciji (1 sa slike 10) i kontrolni sistem konvertora (2 sa slike 10). Način na koji kontrolni sistem VSC-a dobija podatke je sa ampermetra i voltmetra koji su stavljeni na ulaz u ormar VSC-a. Na slici 11, prikazani su voltmetar VSC-a (1 sa slike 11), ampermetar (2 sa slike 11) i regulacioni transformator VSC-a (3 sa slike 11), koji služi za prilagođavanje ulaznog AC napona za VSC u unutrašnjoj izradi za 13.8 kV naponski nivo [35].



Slika 10. i Slika 11. Unutrašnja elektronika VSC-a i ulazni elementi VSC-a [35]

VSC krajevi su povezani u jedinstvenu cjelinu, tako što su im krajevi povezani u paralelu (slika 8). Svaki od VSC konvertora može da radi odvojeno jedan od drugog i da vrše zasebno kontrole. Prvi VSC radi regulaciju toka aktivne snage, dok drugi VSC radi regulaciju DC napona. VSC-1 konvertor vrši regulaciju aktivne snage koja ulazi u DC portove. Ta snaga treba da bude jednaka negativnoj vrijednosti snage na VSC-2 konvertoru umanjenja za gubitke u DC vezi između konvertora. VSC-2 radi regulaciju DC napona koja se predaje VSC-1 konvertoru i to se vrši preko strujne regulacije na izlazu VSC-2, odnosno regulacijom razmjene aktivne snage između VSC-2 i distributivne mreže. Povećanje aktivne snage koja ulazi sa DC strane u VSC-2 dovodi do pada jednosmjernog napona, na šta VSC-2 reaguje sa kreiranjem SPWM signala za poboljšanje napona na DC strani. Uzajamnim radom VSC-1 i VSC-2 kroz mjerenje struje, odnosno aktivne snage, vrši se kontrola plasiranja aktivne snage kroz DC portove [25].

Prenos reaktivne snage kroz DC portove nije moguć. Reaktivna snaga Q_1 rezultat je razmjene reaktivne snage između faza sklopa konvertora i nezavisna je od DC strane sklopa konvertora, jer ne dolazi do prenosa reaktivne snage na DC strani. Regulacija reaktivne snage bi se vršila nezavisno od samog upravljanja DC portovima, odnosno upravljanje reaktivnim snagama VSC-1 i VSC-2 (Q_2 i Q_1) konvertora se radi odvojeno [29].

Detaljan opis rada regulacionih kontura kontrole aktivne snage DC portova, kontrole održavanja DC napona i reaktivnih snaga DC portova, nisu predmet ovoga rada. Osnovni princip rada kontura je dat da bi se dala slika za određivanje referentnih upravljačkih varijabli za upravljanje DC portovima. VSC-1 se bavi regulacijom aktivne snage koja ide DC portovima preko uglova paljenja VSC, dok VSC-2 vrši regulaciju DC napona preko ulazne snage i izlazne snage u VSC-2. Odavde se, ako smatramo da se napon održava konstantnim na DC strani, jednu od upravljačkih varijabli predstavlja aktivna snaga koja ulazi ili izlazi iz DC portova, jer na osnovu nje kontroliramo protok aktivne snage i napon na DC strani DC portova. Način upravljanja, uz pretpostavku da su DC portovi potpuno upravljivi, tako da se kontrola napona i aktivne snage DC portova radi preko kontrole aktivne snage, predstavlja strujno kontrolisano upravljanje DC portovima [26]. Strujno kontrolisano upravljanje omogućava da se krajevi DC portova posmatraju kao čvorovi injektiranja aktivnih i reaktivnih snaga, potrošački čvor, pri proračunu tokova snaga, o čemu će biti riječi u narednom poglavlju. Oba konvertora zasebno se bave regulacijom reaktivne

snage, pa su druge dvije upravljačke varijable reaktivne snage koje uzimaju ili daju oba VSC konvertora [29].

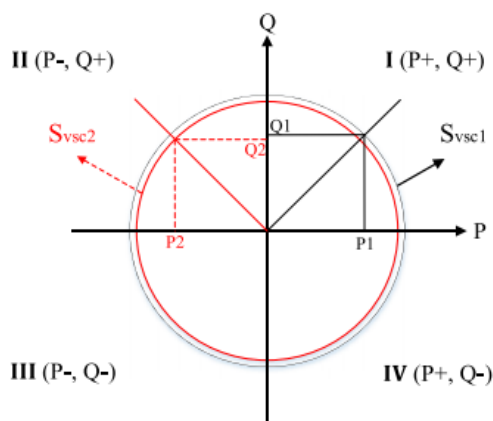
2.2. Modelovanje DC portova i elemenata distributivne mreže

Modelovanje elemenata elektroenergetskih sistema je potrebno kao osnova za proračun tokova snaga [26]. Elementi koji se modeluju za proračun tokova snaga sa DC portovima su transformatori, vodovi, kablovi, potrošači i DC portovi. Model implementacije DC portova u tokove snaga koji je korišćen u ovome radu je generički model injektiranja, gdje se čvorovi DC portova tretiraju kao potrošački [30]. Model DC portova i modelovanje elemenata distributivnog sistema biće objašnjeno u narednom poglavlju.

2.2.1. Model DC portova

Modelovanje DC portova za proračun tokova snaga je odrađeno preko modela generičkog injektiranja koji tretira DC konvertorske čvorove kao potrošačke [30]. Potrošački čvor je sabirnica sistema u kojoj je priključen samo potrošač, bez generatora sa specificiranom aktivnom i reaktivnom snagom, pa se zato i naziva PQ čvor [31]. DC portovi mogu da prenose onoliko snage koliko im određuje nominalna prividna snaga DC portova [28]. Na osnovu toga definiše se oblast rada DC portova. Na slici 12, prikazana su četiri optimalna regiona rada konvertora VSC [28].

Osnova za modelovanje DC portova preko modela injektiranja proizilazi iz principa rada DC portova. Struktura DC portova je sačinjena od dva VSC konvertora koji vrše nezavisne regulacije. Oba konvertora rade nezavisne regulacije reaktivne snage sa izvodom za koji su spojeni. Pored ove regulacije jedan VSC konvertor vrši regulaciju aktivne snage koja ulazi u DC portove, dok drugi vrši regulaciju jednosmjernog napona. VSC vrši regulaciju jednosmjernog napona na osnovu održavanja snage koju dobija iz prvog VSC porta i snage koju daje na AC strani. Ako smatramo da su konvertori potpuno upravljivi elementi, onda možemo da primijenimo generički model injektiranja DC portova [26].



Slika 12. Regioni dozvoljenog rada VSC konvertora [28]

Pri modelovanju DC portova preko generičkog modela injektiranja, između dva čvora 1 i 2 (slika 5), potrebno je da u svakom trenutku bude zadovoljena jednačina balansa (1), [28]:

$$P_{vsc1} + P_{vsc2} = P_{vsc1}^{loss} + P_{vsc2}^{loss} \quad (1)$$

gdje P_{vsc1} i P_{vsc2} aktivna snaga koja ulazi u čvorove 1 i 2 krajeva DC portova, P_{vsc2}^{loss} i P_{vsc1}^{loss} gubici aktivne snage u konvertorima DC portova.

Modelovanje gubitaka potiče od same prirode rada IGBT prekidača. Gubici u prekidačima se mogu podijeliti na gubitke prekidanja, kondukcione gubitke i gubitke curenja. Gubici prekidanja nastaju zbog inertnosti samog procesa promjene uklopnog stanja prekidača [43]. Kada prekidači krenu da provode, oni imaju početnu otpornost koja izaziva pad napona na njima, što predstavlja kondukcione gubitke [44]. Treća grupa gubitaka predstavljaju gubitke nastale u periodu kada ne provode prekidači [45]. Da bismo odredili i pojednostavili proračun gubitaka postoje tri osnovna pristupa za pronalaženje i modelovanje gubitaka u elektronskim elementima, a to su eksperimentalni, simulacioni i matematički [26].

Eksperimentalni pristup podrazumijeva izvođenje eksperimenata u laboratorijama, gdje se testiraju i mjere gubici za različite uslove rada konvertora. Prednost ovog pristupa je preciznost, ali mana mu je jer su ti eksperimenti rađeni za uslove u laboratorijama, koji se često razlikuju od stvarnih uslova [26].

Simulacioni pristup se bavi detaljnim modelovanjem i simulacijama svih fizičkih karakteristika prekidačkih komponenti. Mana simulacionog modela je što ne može u realnom vremenu da simulira rad konvertora, pa se često vreše manje aproksimacije da bi se dobila što realnija slika prekidača [26].

Matematički pristup modelovanja gubitaka u prekidačima dalje pojednostavljuje simulacioni pristup. Matematičko modelovanje gubitaka prekidača je dovoljno tačna procjena gubitaka koju je moguće realizovati uz pomoć današnjih računara i vremena potrebnog da se izračunaju gubici [26]. Glavna karakteristika matematičkog modela su koeficijenti i parametri koje proizvođači dostavljaju da bi što tačnije opisali ponašanje gubitaka u sistemu. Matematički modeli koji se najviše koriste su kvadratni model i linearizovan model gubitaka, koji zavise od struje ili snage koja prolazi kroz konvertor [28].

U ovom radu je korišćen linearizovan model gubitaka koji zavisi od snage koja ulazi u konvertore [28]:

$$P_{vsc1}^{loss} = K1 * P_{vsc1} \quad (2)$$

$$P_{vsc2}^{loss} = K2 * P_{vsc2} \quad (3)$$

gdje P_{vsc1} i P_{vsc2} aktivna snaga koja ulazi u čvorove 1 i 2 krajeva DC portova, P_{vsc2}^{loss} i P_{vsc1}^{loss} gubici aktivne snage u konvertorima, $K1$ i $K2$ su koeficijenti gubitaka za konvertore. Na osnovu (2) i (3) gubici u VSC konvertorima se mogu odrediti na osnovu snage koja ulazi u njih [34].

2.3.2. Modelovanje elemenata distributivne mreže

U poglavlja integracija obnovljivih izvora električne energije i pregled rezultata potrebno je bilo modelovanje distributivne mreže i DC portova. Elementi distributivne mreže koji su modelovani su transformatori, dalekovodi, kablovi i potrošači. Svi parametri potrebni za modelovanje elemenata distributivne mreže su nabavljeni od operatora distributivne mreže Crne Gore „Crnogorsko elektrodistributivni sistem“ (CEDIS).

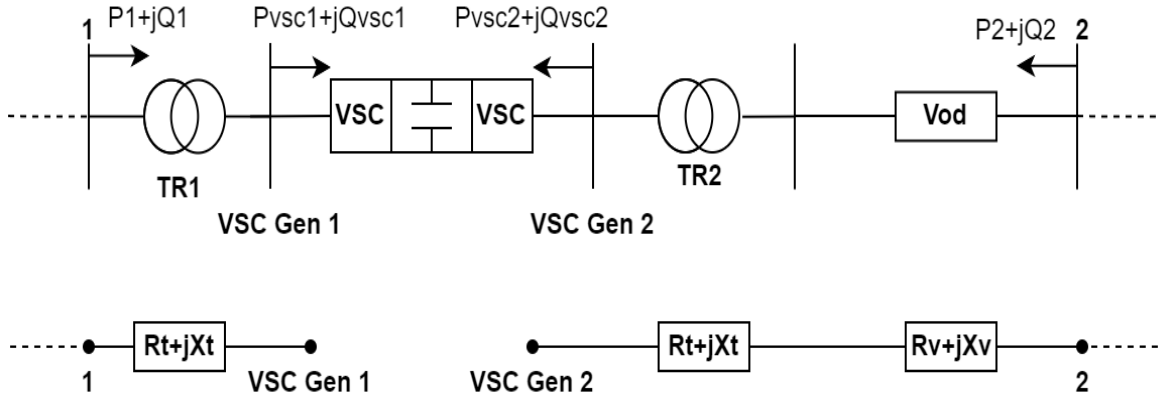
Transformatori su modelovani preko I šeme transformatora, gdje se transformator modeluje preko aktivne i inaktivne otpornosti. Otpornosti se dobijaju na osnovu gubitaka u bakru i napona kratkog spoja transformatora koju dostavljaju proizvođači transformatora. Proizvođači eksperimentalnim putem dobijaju ove parametre potrebne za modelovanje. I šema transformatora se dobija iz T šeme transformatora, gdje se otočna grana transformatora koja predstavlja gubitke u gvožđu modeluje sa beskonačnom impedansom. Na taj način se otočna grana transformatora eliminiše. Ovakav model transformatora se često koristi u približnim analizama [33].

Dalekovodi i kablovi su modelovani preko I šeme dalekovoda. Parametri potrebni za modelovanje I šeme dalekovoda i kablova su podužna aktivna otpornost, podužna induktivnost i dužina dalekovoda i kablova. Množenjem ovih vrijednosti dobijamo parametre grana ovih sistema. Modelovanje preko I šeme se dobija iz PI šeme dalekovoda, gdje se zanemare otočne grane PI šeme. Ovakav pristup modelovanja se primjenjuje u mrežama gdje su dužine dionica manje od 80 km najviše u distributivnim mrežama [32].

Modeli potrošača koji postoje su model konstantne impedanse i konstantne snage. Model konstantne impedanse se koristi kada se rade strujno-naponske analize mreže. Tako se analizira koliko snage uzimaju potrošači za određene naponske prilike, i da li regulacija i promjena napona povećava ili smanjuje snagu koju oni uzimaju iz mreže. Međutim, kako se u poglavlju pregled rezultata, što će biti objašnjeno, analizira uticaj DC sistema za tačno određenu snagu koju potrošači uzimaju u određenom vremenskom trenutku dana, kada imamo DC portove i bez njih, u radu je korišćen model konstantne snage potrošača. Model konstantne snage modeluje potrošače sa stalnom aktivnom i reaktivnom snagom [31].

Iako DC portovi omogućavaju teorijski razmjenu snage između dva čvora mreže, on se u realnosti nalazi u jednoj trafostanici gdje su mu invertorski i ispravljački dio. Zato, prilikom uključenja DC portova, potrebno je dodati elemente sa AC strane koje treba modelovati pri uvođenju DC portova u mrežu [28]: dva transformatora koji prilagođavaju napon sa AC strane za nazivni napon DC portova, ova dva transformatora je potrebno ugraditi u samu trafostanicu, i AC vezu od čvorova koje želimo spojiti u vidu dalekovoda ili kabla [35].

Za modelovanje 35 kV mreže u radu su modelovana dva transformatora i AC dalekovoda ili kabla, a za 10 kV mrežu samo veza između čvorova koje spajaju DC portovi, jer trenutne mogućnosti, odnosno nazivni napon prekidača je do 15 kV. Za 10 i 35 kV mrežu korišćeni su 10 kV IGBT prekidači. Transformatori i AC veze su modelovani preko I šeme. Na slici 13, prikazani su dodatni elementi koji se dodaju zbog integracije DC portova između čvora 1 i 2.



Slika 13. Dodatni elementi DC sistema i njihovo modelovanje

Jednačina balansa aktivne snage se (slika 13), može proširiti na [30]:

$$P1 + P2 = Pvsc1 + Pvsc2 + Pvsc1^{loss} + Pvsc2^{loss} + Ptr1^{loss} + Ptr2^{loss} + Pvod^{loss} \quad (4)$$

gdje $P1$ i $P2$ su aktivna snaga koja ulazi u čvorove između kojih se postavljaju DC portovi, $Pvsc1$ i $Pvsc2$ aktivna snaga koja ulazi u čvorove 1 i 2 krajeva DC portova, $Pvsc2^{loss}$; $Pvsc1^{loss}$ gubici aktivne snage u konvertorima, $Ptr1^{loss}$, $Ptr2^{loss}$ i $Pvod^{loss}$ gubici aktivne snage u transformatorima i vodu. Gubici aktivne snage u elementima mreže se modeluje preko:

$$Pe^{loss} = |R \cdot I_e|^2 \quad (5)$$

gdje Pe^{loss} aktivni gubici elementa, R otpornost modelovanog elementa i I_e efektivna vrijednost struje koja prolazi kroz element [28].

2.3. Upravljanje DC portovima u normalnim uslovima rada

Upravljanje DC portovima je moguće na dva načina, lokalno i centralizovano [29]. Lokalno upravljanje DC portovima se ogleda u tome da se direktno rade manipulacije na prekidačima s ciljem određivanja tačnog toka snage koja će njime da ide od jednog ka drugom čvoru.

Centralizovano upravljanje DC portovima se bazira na optimizacionom postupku koji obuhvata VSC konvertore DC portova kao potpuno kontralabilan resurs u mreži, s ciljem poboljšanja parametara cjelokupne mreže [24]. Parametri koje unapređuje mogu biti smanjenje gubitaka, poboljšanje naponskih prilika ili rasterećenja grana. Ovakovo upravljanje DC portovima, zahtijeva stalno praćenje podataka mreže i podrazumijeva potpunu dostupnost ulaznih podataka (*mjerjenja iz cijele mreže*) i razvijenu komunikacionu infrastrukturu neophodnu za prenos ulaznih podataka i komandi upravljanja [26].

U narednom poglavlju biće opisan proračun tokova snaga preko Newton Rapshonovog metoda, optimizacioni algoritam PSO (*Particle Swarm Optimisation*) i sama realizacija algoritma

$$\begin{bmatrix} y_1 - f_1(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ y_2 - f_2(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ \dots \\ y_n - f_n(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \dots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{J} \cdot \mathbf{C} \quad (11)$$

gdje je $\mathbf{J}$ matrica Jakobijana za funkcije f_i , $\mathbf{C}$ je matrica razlika Δx_i i $\mathbf{D}$ je matrica koja se dobije kada se početne vrijednosti funkcija iz (8) prebace sa desne na lijevu stranu. Vrijednosti $\mathbf{D}$ i $\mathbf{J}$ su sve poznate vrijednosti iz kojih se preko nekog linearnog metoda rješavanja sistema linearnih jednačina dobijaju Δx_i . Nepoznate promjenljive x_i se dobijaju nakon izračunatih razlika preko relacije (7). Postupak se ponavlja dok sve vrijednosti razlike između početne i novoizračunate promjenljive x_i budu manje od vrijednosti zadate tolerancije. U tom postupku elementi Jakobijana se moraju proračunati u svakoj iteraciji za vrijednost novoizračunate promjenljive i ponoviti postupak [46].

Proračun tokova snaga preko Newton Rapshonovog metoda se može uraditi na dva načina preko pravougaonih i polarnih koordinata. U slučaju pravougaonih koordinata nepoznate promjenljive su realni i imaginarni dio napona, a u slučaju polarnih koordinata moduo i fazni stav napona. U radu je korišćen metod polarnih koordinata. Rješenje tokova snaga pomoću Newton Rapshonovog metoda se bazira na sistemu jednačina injektiranja aktivne i reaktivne snage u čvorove sistema. Sistem jednačina sastavljenih od jednačina aktivnih i reaktivnih snaga razvijen u Tejlrov red se predstavlja preko jednačina (12) i (13), [46].

$$P_i^{dato} = P_i^0 + \sum_{k=1}^n \Delta |U|_k \cdot \frac{\partial P_i}{\partial \Delta |U|_k} + \sum_{k=1}^n \Delta \theta_k \cdot \frac{\partial P_i}{\partial \theta_k} \quad (12)$$

$$Q_i^{dato} = Q_i^0 + \sum_{k=1}^n \Delta |U|_k \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial \Delta |U|_k} + \sum_{k=1}^n \Delta \theta_k \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_k} \quad (13)$$

Prvi korak proračuna tokova snaga preko polarnih koordinata jeste pretpostavljanje početne vrijednosti za moduo i fazni stav napona čvorova u skladu sa klasifikacijom čvora:

$$\underline{U}_i^0 = U_i^0 e^{j\theta_i^0} \quad (14)$$

gdje je U_i^0 pretpostavljeni moduo napona i-tog čvora, a θ_i^0 pretpostavljeni fazni stav napona U_i^0 . Nakon pretpostavljanja modula i faznog stava za svaki čvor (14), vrši se proračun injektiranja pretpostavljene aktivne i reaktivne snage za svaki čvor za početne uslove:

$$P_i^{(0)} = \sum_{j=1}^n U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \quad (15)$$

$$Q_i^{(0)} = \sum_{j=1}^n U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (16)$$

gdje je $P_i^{(0)}$ i $Q_i^{(0)}$ proračunata injektiranja aktivne i reaktivne snage za pretpostavljene module i fazne stavove, G_{ij} i B_{ij} odvodnost i suceptansa grane između čvora i i j , U_i , U_j , θ_i i θ_j pretpostavljeni moduli i fazni stavovi čvorova i i j . Zatim se računaju odstupanja aktivne i reaktivne snage u svim čvorovima sistema:

$$\Delta P_i = P_i^{dato} - P_i^0 \quad (17)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{dato} - Q_i^0 \quad (18)$$

gdje je ΔP_i i ΔQ_i odstupanje aktivne i reaktivne snage, P_i^{dato} i Q_i^{dato} data aktivna i reaktivna snaga potrošača i-tog čvora. Uvrštanje relacije (17) u (12) i (18) u (13) dobijamo matricu linearnih jednačina oblika:

$$J = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dP_i}{d\theta} & \frac{dP_i}{d|U|} \\ \frac{dQ_i}{d\theta} & \frac{dQ_i}{d|U|} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = J \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |U| \end{bmatrix} \quad (20)$$

gdje je ΔP_i i ΔQ_i odstupanja snaga, $\Delta \theta$ i $\Delta |U|$ nepoznate razlike početnih pretpostavljenih i nepoznatih vrijednosti modula napona i faznih stavova, a matrica J matrica Jakobjana. Rješavanjem sistema linearnih jednačina dobijamo razlike modula i faznih stavova. Dodavanje ovih vrijednosti na početne vrijednosti faznih stavova i modula napona dobijamo vrijednosti

napona i faznih stavova za prvu iteraciju. Postupak se ponavlja dok se ne zadovolji da je moduo razlika napona za svaki čvor iz nove i stare iteracije manja od zadate tolerancije.

$$\left| \underline{U}_i^k - \underline{U}_i^{k-1} \right| < \varepsilon \quad (21)$$

gdje je $\underline{U}_i^k$ novi napon dobijen iz proračuna tokova snaga, $\underline{U}_i^{k-1}$ napon dobijen iz prethodne iteracije za čvor i , ε zadata tolerancija. Za generatorske čvorove proračun se radi tako što se vrše manipulacije na matricama jakobjana J2, J3 i J4. Iz matrice J2 se uklone kolone koje sadrže generatorske čvorove, iz J3 vrste koje sadrže generatorske čvorove i iz J4 kolone i vrste koje sadrže generatorske čvorove. Na ovaj način, pri proračunu tokova snaga dobija se reaktivna snaga generatora, ali se ne uzimaju u obzir maksimalna i minimalna ograničenja reaktivne snage generatorskih čvorova. Ukoliko pri proračunu tokova snaga generatorskom čvoru reaktivna snaga bi bila veća ili manja od zadanog minimuma ili maksimuma reaktivne snage, onda se proces proračuna ponavlja tako što se generatorski čvor tretira kao potrošački s negativnom vrijednošću aktivne snage koju daje u mrežu i sa maksimalnom ili minimalnom reaktivnom snagom koju daje u zavisnosti da li je pri prvom proračunu vrijednost reaktivne snage bila veća ili manja od dozvoljene [46].

2.3.2. Kvalitet električne energije i problematika pada napona pri upravljanju sistemom

Kvalitet električne energije predstavlja skup karakteristika parametara električne energije koja omogućava nesmetani rad potrošača. Kvalitet električne energije koji se dostavlja potrošačima, definiše se na osnovu pouzdanosti napajanja i kvaliteta napajanja električne energije [20].

Kontinuitet napajanja je predstavljen učestalošću i trajanjem prekida u snadbijevanju električnom energijom. Ova karakteristika kvaliteta se proračunava u posebnim studijama pouzdanosti distributivnih mreža. Kvalitet napajanja predstavlja kvalitet električne energije izražen preko dva parametra: napona i frekvencije. Nizak nivo kvaliteta napajanja električnom energijom može imati značajne negativne efekte po sistem napajanja, tako i na potrošače [20].

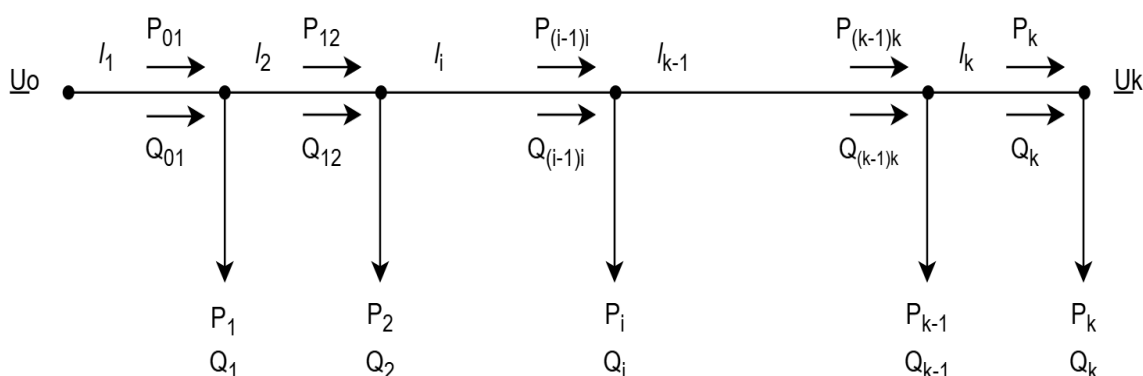
Frekvencija je globalna karakteristika sistema i male su promjene frekvencije u odnosu na zadate definisane vrijednosti frekvencije. Prilikom pokretanja proračuna tokova snaga preko Newton Raphsonovog metoda potrebno je definisati parametre mreže, opterećenja potrošača i referentni napon mreže. Pod parametrima mreže se podrazumijevaju impedanse svih elemenata sistema na osnovu modela elemenata mreže, koji je definisan u prethodnom poglavlju. Ukoliko se modeluje samo distributivna mreža, bez prenosne mreže i generatora, potrebno je definisati balansni čvor, odnosno čvor jake mreže. Balansni čvor odgovara čvoru koji prvi reaguje na promjene opterećenja u sistemu, u slučaju ovoga rada to predstavlja prenosnu mrežu. Ovim čvorom se obezbjeđuje dodatna aktivna i reaktivna snaga za balansiranje sistema, ukoliko dođe do promjena u potrošnji i proizvodnji od planiranih. Zbog prilagođavanja potrošnje sistema kod ovoga čvora se mora definisati moduo napona i fazni stav napona balansnog čvora (U_n) koji se obično postavi u jediničnim vrijednostima na $1.0 < 0^\circ$. Ovaj napon se naziva i referentni napon mreže [31].

Parametri mreže koji su nabavljeni od operatora mreže se definišu i svode za 35 kV naponski nivo, ukoliko se radi o 35 kV distributivnom sistemu i na 10 kV ukoliko se radi o 10 kV distributivnim sistemima. U proračunima u radu, svaki element distributivne mreže prilikom

analize se svodi na nazivni naponski nivo distributivne mreže na kojoj se računa proračun i analiza. Nakon definisanja parametara i njihovog svodenja na naponski nivo mreže, potrebno je definisati napon jake mreže. Problematika definisanja referentnog napona koji će da napaja mrežu zavisi od karakteristika mreže i potrošnje koja se javlja u toj mreži.

Mreža koja je više opterećena i ima veće dužine dalekovoda i kablova dovodi do većih padova napona, što može narušiti kvalitet napona krajnjim potrošačima. Problematika pada napona u radijalnoj mreži je data kroz jednačinu (22), ova jednačina je izvedena iz slike 14:

$$\Delta U = \frac{1}{U_n} \sum_{i=1}^k (R_i \cdot P_{0i} + X_i \cdot Q_{0i}) \quad (22)$$



Slika 14. Vod sa raspodijeljenim opterećenjem

gdje je ΔU pad napona između napona $\underline{U}_0$ i $\underline{U}_k$ kada se zanemari porečna komponenta pada napona, U_n referentni napon mreže, P_{0i} i Q_{0i} su snage koje idu granama između čvorova sa slike 14, R_i i X_i aktivna otpornost i induktivnost dalekovoda između čvorova sa slike 14. Iz jednačine (22) se vidi da je pad napona obrnuto proporcionalan referentnoj vrijednosti napona, koja se definiše prije pokretanja proračuna tokova snaga, i da sa manjom referentnom vrijednošću napona dobijamo veće padove napona ($U_n \leq 1 \text{ p.u.}$). Pad napona je direktno proporcionalan i opterećenjem koje se šalje time dalekovodom (22), pa se sa manjim opterećenjem sistema referentna vrijednost napona stavlja da je jednaka nazivnom naponu mreže. Ukoliko bi se referentni napon uzeo za jako opterećenu mrežu manji referentni napon ($U_n \leq 1 \text{ p.u.}$), pri proračunu bi se javili veći padovi napona i gubici nego oni koje se javljaju u stvarnosti, zato se za ovakvu mrežu stavlja veće vrijednosti referentnog napona ($U_n > 1 \text{ p.u.}$), [21].

Definisanje referentnog napona, u proračunima u radu, radi se da najbolje opisuju naponske prilike u distributivnim mrežama. Tako, pri pokretanju analize integracije obnovljivih izvora, o kojoj će više biti riječi u trećem poglavlju, referentni napon za distributivni sistem Cetinja je uzet sa referentnom vrijednošću 35 kV zbog manjeg opterećenja konzuma, a za sistem Podgorice vrijednost referentnog napona je uzeta za 36 kV, zbog većeg opterećenja konzuma.

Definisanje referentnog napona se može porediti sa definisanjem referentnog napona na sekundaru regulacionog prenosnog transformatora sa automatskom regulacijom napona. U trafostanici TS 220/35/10 Podgorica 1 vrijednost referentnog napona na 35 kV strani je postavljen

na 35,5 kV, a u TS 110/35kV Cetinje postavljena vrijednost referentnog napona je 35 kV, podaci su dostavljeni od operatora distributivnog sistema CEDIS-a. Ovakav odabir referentnog napona je postavljen jer je sistem Podgorice više opterećen sistem, pa je pad napona u sistemu veći, zbog čega se postavlja veća referentna vrijednost napona, a pošto je sistem Cetinja manje opterećen, pa je referentna vrijednost napona manja, zbog manjeg pada napona.

2.3.3. Optimizacioni algoritam PSO – Particle Swarm Optimisation

Optimizacija rojem čestica (*Particle Swarm Optimisation, PSO*) je stohastički evolucijski algoritam koji se bazira na populaciji rješenja. Algoritam je evolucijski jer jedinke, koje se u algoritmu nazivaju čestice, kroz vrijeme poboljšavaju svoje rješenje. Stohastički je jer prilikom generacije svakoj čestici se dodjeljuje određeno slučajno ili nasumično rješenje. Osmislili su ga dvojica naučnika, James Kennedy i R. C. Eberhart 1995. godine. Motivaciju su pronašli u društvenom ponašanju raznih tipova organizama, poput jata ptica ili jata riba [48].

Prvi modeli PSO algoritma su se bazirali na uvođenju tačaka „legla“ oko kojih bi jato oblijetalo prije nego sleti na njih. Model u kojem pojedine ptice definišu svoje pokrete prema svojoj okolini jatu, gdje se pokušavaju držati što bliže jatu bez da se sudare, s ciljem da dođu do legla. U pokretima pojedinih ptica se uvodi „ludost“, kako jato ne bi odredilo jedan smjer leta, bez ikakve promjene. Ta ludost dovodi do varijacija u letu jata, što dovodi do realnije reprezentacije stvarnog jata [48].

Kasnije se pojam „legla“ zamijenio pojmom „hrane“. Posmatrala se pojava kako jato ptica pronađe najveći izvor hrane u nekom području za koje nema nikakve informacije. Ptice su dobile novu ulogu agenta za pronalaženje najviše hrane. Agenti su pamtili najbolju poziciju hrane i najbolje rješenje koje je našao drugi agent, i pomjerale bi se u pravcu najboljeg rješenja. Kasnije je pojam agenta zamijenio pojam čestice [48].

Roj čestica kao stohastički model iskorišćava vektor brzine kako bi ažurirao poziciju svake čestice u roju. Vektor brzine se ažurira na osnovu vrijednosti koju je pronašla svaka čestica zasebno i na osnovu znanja koje je stekao od drugih čestica o poziciji najbolje vrijednosti. Pozicija čestice se mijenja u zavisnosti od socijalnog ponašanja roja koji se prilagođava svom okruženju, stalnim traženjem boljih pozicija tokom vremena.[27]

Numerički, pozicija x čestice i u iteraciji $k+1$ je ažurirana na sljedeći način [48]:

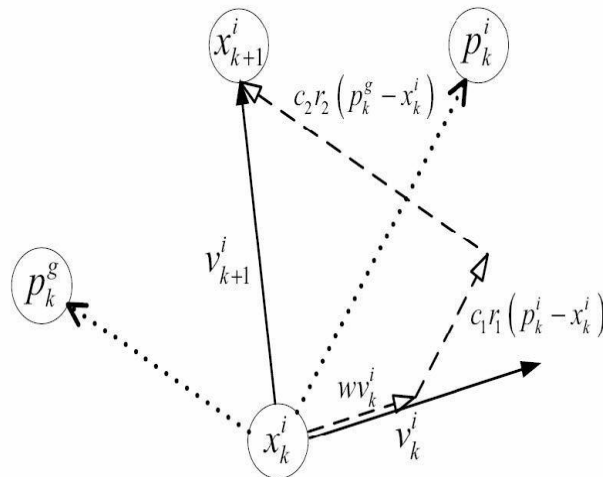
$$\underline{x}_{k+1}^{(i)} = \underline{V}_k^{(i)} + \underline{V}_{k+1}^{(i)} \cdot \Delta t \quad (23)$$

gdje je $\underline{V}_{k+1}^{(i)}$ pripadajući ažurirani vektor brzine, a Δt je vrijednost vremenske step funkcije. Vektor brzine svake čestice se računa kao:

$$\underline{V}_{k+1}^{(i)} = \omega \cdot \underline{V}_k^{(i)} + c_1 \cdot r_1 \cdot \frac{(p_k^{(i)} - x_k^{(i)})}{\Delta t} + c_2 \cdot r_2 \cdot \frac{(p_k^{(g)} - x_k^{(i)})}{\Delta t} \quad (24)$$

pri čemu je $\underline{V}_k^{(i)}$ vektor brzine u k -toj iteraciji, $p_k^{(i)}$ i $p_k^{(g)}$ su najbolja ikad pozicija čestice i globalna najbolja pozicija čitavog roja sve do trenutne iteracije k , dok r predstavlja nasumični broj iz intervala 0 - 1, ω je inercijski član koji je iskorišćen za praćenje istraživačke sposobnosti roja. Inercijski član skalira vrijednosti trenutne brzine i tako utiče na vrijednost ažuriranog vektora

brzine, veća vrijednost člana znači veće promjene ažuriranog vektora brzine, globalno pretraživanje, a manje vrijednosti člana znače manje promjene člana vektora brzine, lokalno pretraživanje. Koeficijent c_1 je član koji predstavlja stepen povjerenja u najbolje rješenje do kojeg je došla pojedina čestica, dok član c_2 predstavlja koeficijent povjerenja u najbolje rješenje susjednih čestica u globalu. Ova dva koeficijenta uvode konvergencijsko ponašanje PSO algoritma. Vrijednosti koeficijenta c_1 i c_2 se uzimaju iz intervala od 0 – 2. Odabir koeficijenata nije strogo definisan, ali postoje preporučeni rasponi koji se koriste da bi se postigao stabilan i efikasan rad algoritma. Jedna od preporuka za odabir ova dva parametra sa ciljem postizanje konvergencije je da zbir koeficijenata mora biti manji od 4 i da polovina njihovog zbira mora biti manja od 1. Na slici 15, dat je slikoviti prikaz relacije (24), odnosno položaja čestice iz roja. Najveći problem kod prvih verzija PSO je što čestice uglavnom nisu konvergirale samo na jednu tačku, te s tim nisu poboljšavale nađeno dobro rješenje, nego bi ga oblijetale. Uz to, algoritam je često znao zapeti u neki lokalni optimum. Kako bi riješili problem konvergencije, naučnici uvode ograničenje brzine i težinske vrijednosti koje usporavaju vektor kretanja, te podešavaju konstante c_1 i c_2 , a problem lokalnih minimuma pokušavaju riješiti tako da istražuju uticaj topologije čestica na rezultate algoritma [48].



Slika 15. Promjena položaja čestice roja

PSO algoritam ima široku primjenu: dizajn antena, biomedicina, kombinatorika, meteorologija, robotika, vojska, industrija, elektrotehnika... Dizajn je jedno popularno područje koje je u IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) zastupljeno sa 5% bibliografije, a ono uključuje: dizajniranje motora, antena, filtera, dizajn kuvala, konceptualni dizajn. Dizajniranje i restrukturiranje električnih mreža zauzima 7% bibliografije, a u ovo područje primjene spadaju širenje i rekonfiguracija mreža, distribuirana proizvodnja, regulacija napona [49].

2.3.4. Algoritam za centralizovano upravljanje DC-sistemom metodom PSO

Da bismo definisali algoritam za centralizovano upravljanje DC portovima potrebno je definisati optimizacione okvire optimizacionog algoritma implementiranog u algoritmu. Pod optimizacionim okvirom se definišu tri ključna koraka: definisanje upravljačkih promjenljivih, definisanje kriterijumske funkcije optimizacije i definisanje svih ograničenja [50].

Kao što je već navedeno, krajevi DC portova se mogu tretirati kao PQ čvorovi u poračunima tokova snaga [30]. Pri tome injektiranje aktivne snage nije nezavisno jedno od drugog čvora DC portova, već je potrebno zadovoljiti jednačinu (1) [30]. U radu je uzeto da DC portovi mogu da prenose snagu u oba smjera, što znači da konvertori jednog i drugog kraja mogu da rade u invertorskom i ispravljačkom režimu. S obzirom na usvojeni model generičkog injektiranja DC portova, vektor upravljačkih promjenljivih se može definisati kao:

$$x = \begin{bmatrix} P_1^{DC} \\ Q_1^{DC} \\ Q_2^{DC} \end{bmatrix} \quad (25)$$

gdje je P_1^{DC} aktivna snaga koja ulazi ili izlazi u prvi konvertor DC portova, Q_1^{DC} i Q_2^{DC} su reaktivne snage koju daju konvertori DC portova. Snaga koja će da izlazi ili ulazi iz drugog konvertora DC portova se dobija iz P_1^{DC} . Na osnovu snage prvog P_1^{DC} i relacije (2), gdje je K1 poznato, dobijaju se gubici aktivne snage u prvom konvertoru. Za drugi konvertor se za ulaznu ili izlaznu snagu uzimaju P_1^{DC} umanjeno za gubitke prvog konvertora.

Centralizovano upravljanje DC portova ima za cilj uspostavljanje željenog stanja u mreži. Željeno stanje u mreži može biti da se preko procesa optimizacije upravljačke promjenljive tako definišu da se u mreži uspostave: minimalni gubici, optimalne naponske prilike, rasterećenje grane i elemenata mreže, itd. [1]. Kriterijumska funkcija predstavlja funkciju koja opisuje stanje u mreži. Cilj je minimizovati ili maksimizovati kriterijumsku funkciju da bi se dobilo najbolje željeno stanje mreže. U radu, kriterijumska funkcija opisuje kriterijum minimizovanja aktivnih gubitaka u distributivnom sistemu. Pod minimizovanjem aktivnih gubitaka obuhvaćeni su svi elementi u sistemu, kao gubici u ugrađenim elementima potrebni za ugradnju DC portova u distributivnim sistemima i u samim DC portovima.

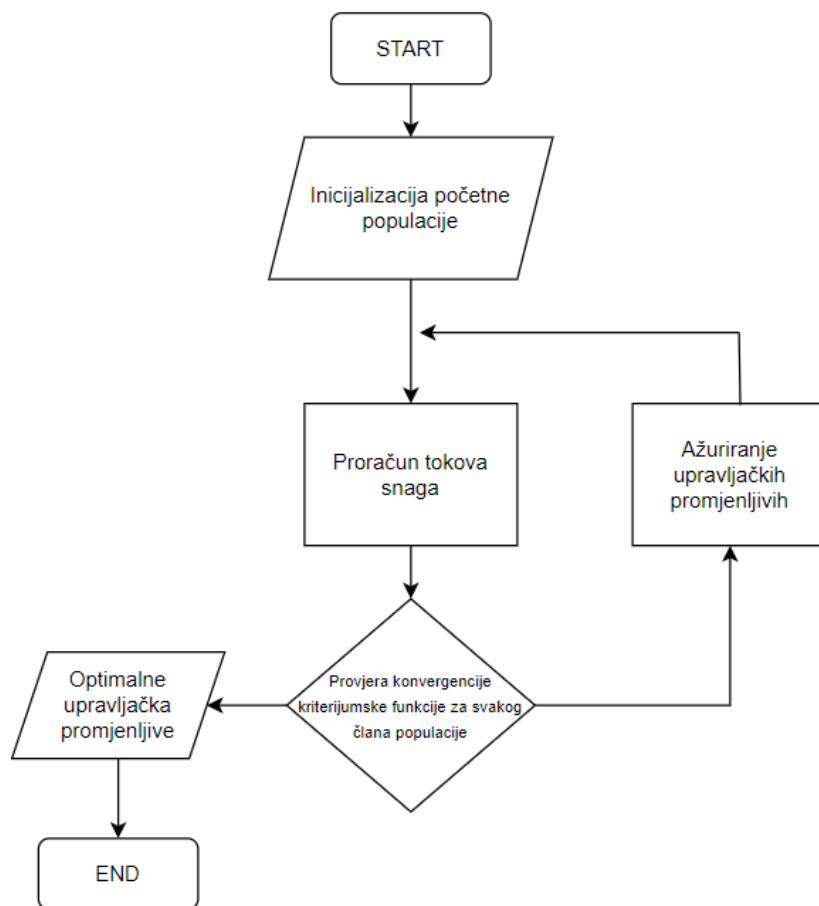
Ograničenja sistema su ograničenja koja se moraju zadovoljiti da bi se nakon procesa optimizacije osigurao bezbjedan rad distributivne mreže u normalnim uslovima rada, [4]. U radu su navedena dva ograničenja tipa nejednakosti: ograničenje da naponi u čvorovima ne prelaze 10% od referentnog napona, i ograničenje snage koja može da ide DC portovima, a da se ne naruše regioni dozvoljenog rada VSC konvertora, slika 12.

Sam algoritam za određivanje najboljih uslova rada DC portova, a da imamo zadovoljene sve korake optimizacije, bazira se na proračunu tokova snaga. Nakon prikupljanja mrežnih podataka definišu se balansni i potrošački čvorovi. Čvorovi koji imaju distributivnu proizvodnju se smatraju kao potrošački čvorovi koji imaju negativnu snagu koju uzimaju, i u zavisnosti od tipa distributivne proizvodnje, u radu su uzeti s faktorom snage 0.95 kapacitivno ili sa faktorom snage 1. U proračunima u narednim poglavljima nema generatorskih čvorova nego samo balansni i potrošački čvorovi. Pozicija gdje se postavljaju DC portovi na onim lokacijama gdje distributivni sistemi imaju mogućnost vezivanja prstena, odnosno paralelnog rada izvoda i izgrađene mrežne infrastrukture za spajanje trafostanica [9] [8]. Ove lokacije su odabrane na osnovu odabranih standardnih uklopnih stanja koje definiše operator distributivne mreže CEDIS.

Za sam proces optimizacije prije pokretanja koda, potrebno je definisati upravljačke promjenljive, kriterijumsku funkciju, skup ograničenja, definisati vrijednost populacije i koeficijenata c1 i c2 [48]. Prvi korak optimizacije DC sistema je inicijalizacija početne populacije.

U jednoj populaciji definiše se 50 čestica kojima se dodijeli upravljačka promjenljiva P_1^{DC} , Q_1^{DC} i Q_2^{DC} tako da pri proračunu tokova snaga za te vrijednosti promjenljivih, zadovoljena su sva ograničenja optimizacije. Definisanje čestica predstavlja dodjeljivanje vrijednosti kriterijumske funkcije svakoj od njih, na osnovu upravljačkih promjenljivih koje su toj čestici dodijeljene. Zatim, upoređuju se vrijednosti kriterijumskih funkcija svih čestica i bira se ona najbolja čestica koja ispunjava cilj optimizacije. Takođe, upoređuju se vrijednosti svih kriterijumskih funkcija, s ciljem da razlika između kriterijumskih funkcija svake čestice bude manja od zadate greške koja je definisana između njih. Ukoliko nije zadovoljeno da je razlika između svih kriterijumskih funkcija čestica manja od zadate greške, dolazi do kraja prve iteracije ili generacije, i prelazi se u sljedeću.

Nakon prve iteracije, svaka čestica populacije koriguje upravljačku promjenljivu P_1^{DC} , Q_1^{DC} i Q_2^{DC} na osnovu definisanih vrijednosti koeficijenta c_1 i c_2 (24). Vrijednosti za koeficijent c_1 je uzeta sa 0.4, a za koeficijent c_2 sa 1.55, na osnovu preporuke iz prethodnog poglavlja. Nakon ažuriranja upravljačke promjenljive, proces se ponavlja kao i u prvoj iteraciji, sve do limita od 200 iteracija, dok sve razlike kriterijumskih funkcija između svih čestica ne budu manje od zadate greške koja iznosi 10^{-6} . Ukoliko se za 200 iteracija ne ispuni uslov za razliku kriterijumskih funkcija, algoritam će kao rezultat prikazati upravljačku promjenljivu sa najboljom vrijednošću kriterijumske funkcije u poslednjoj iteraciji. Kada se zadovolji uslov da razlika kriterijumske funkcije, odnosno greška između svake čestice bude manja od definisane greške, optimizacioni algoritam se završava i on daje optimalne upravljačke promjenljive za DC portove, takve da se dobiju najmanji gubici u distributivnom sistemu. Na slici 16, dat je šematski prikaz algoritma za upravljanje DC portova.



Slika 16. Algoritam za upravljanje DC portovima

3. INTEGRACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Distribuirana proizvodnja je termin koji se u elektroenergetici koristi za proizvodnju električne energije na lokaciji potrošača. Samim tim, distribuirani generator električne energije (*DG – distributed generator*) je izvor koji se nalazi u blizini potrošača, odnosno na teritoriji ili u samoj blizini potrošačkih konzuma [10]. U narednom poglavlju će biti opisani pojam integracije obnovljivih izvora električne energije u sisteme, mogući benefiti i ograničenja priključenja ovakvih izvora energije u distributivnim sistemima. Pored ovoga, analizirana je integracija obnovljivih izvora električne energije na postojećim i izvedenim sistemima 35 kV Podgorice i Cetinja.

3.1. Prednosti i mane integracije obnovljivih izvora električne energije

Integracija distributivne proizvodnje ima za cilj priključenje DG-ora tako da proizvodnja DG-ora daje najveći doprinos sistemu. Njihova integracija u distributivne sisteme pruža mnoge prednosti, kao što su: smanjenje gubitaka, poboljšanje naponskih prilika, povećanja sigurnosti i pouzdanosti napajanja [5]. Distribuiranu proizvodnju dominantno čine obnovljivi izvori električne energije (*OIE*). U obnovljive izvore spadaju [13]:

- Vjetroelektrane;
- Hidroelektrane (*male i velike hidroelektrane*);
- Solarni izvori (*fotonaponske ćelije i solarni termalni sistemi*);
- Energija biomase;
- Energija mora;
- Geotermalna energija.

Pored ove podjele, DG-ori se mogu podijeliti i na osnovu snaga koju predaju ili uzimaju iz mreže. Ova podjela zavisi od samog režima rada DG-ora, koji zavisi od faktora snage kojim se proizvodi električna energija. Tipovi DG-ora na osnovu njihovog režima rada dati su u tabeli 1 [10].

Tabela 1. Tipovi DG-ora [32]

DG Tip	Predaja/preuzeta snaga	Faktor snage	Primjeri
DG – 1	Predaju Aktivnu snagu	1	Solarni sistemi, baterije, gorivne ćelije, mikro turbine, itd.
DG – 2	Predaju Reaktivnu snagu	0	Kondenzatori, kompenzatori, gasne turbine, itd.
DG – 3	Predaju Aktivnu i Reaktivnu snagu	0.8 do 0.99 kap	Sinhroni generatori, disel generatori, itd.
DG – 4	Predaju Aktivnu a uzimaju Reaktivnu snagu	0.8 do 0.99 ind	Induktivni generatori

Najveća integracija OIE dolazi iz solarnih, vjetro i hidro distributivnih izvora. Njihova kombinacija dobro funkcioniše, jer nadoknađuju slabosti jedni drugih. Proizvodnja iz solara i vjetra zavisi od trenutnih vremenskih prilika, koje su obično nepredvidive. Nepredvidivost proizvodnje iz solara i vjetra dovodi često do nepreciznih prognoza proizvodnje iz OIE. Solarna energija se dobija tokom dnevnog perioda kada je sunce napolju, dok se energija vjetra najviše

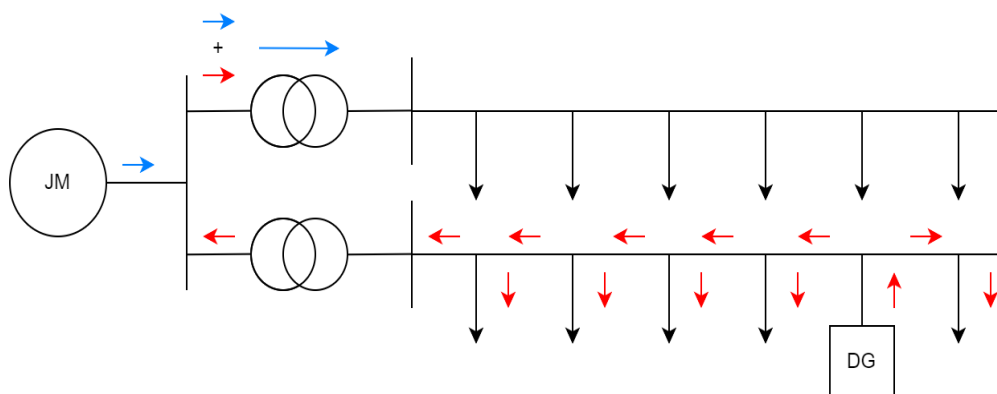
stvara tokom jutarnjih i noćnih sati, prilikom prelaza sa dana na noć ili obratno. S kombinacijom vjetro i solarnih DG-ora smanjio bi se problem sa nepredvidivom proizvodnjom iz OIE, što je problem kada koristimo samo jednu vrstu OIE. Integracija OIE na distributivnu mrežu, bez obzira na snagu elektrane, naponskog nivoa i mjesta priključka, dovodi do promjena pogonskih parametara distributivne mreže. Neke od promjena se vide na [12]:

- Naponskim prilikama duž radijalnog izvoda distributivne mreže na koju je priključen jedan ili više DG-ora;
- Gubicima snage i prenosu energije u distributivnoj mreži.

Oba navedena aspekta mogu imati pozitivne i negativne uticaje, zavisno od tipa režima rada elektrane, opterećenja i tehničkih karakteristika distributivne mreže [11].

Neke od tehničkih karakteristika i ograničenja na koje treba obratiti pažnju prilikom priključenja DG-ora su: preopterećenja elemenata, podešavanje zaštite, povećanje gubitaka električne energije, povećanje napona, povećanje snage kratkog spoja i uticaj na više harmonike. Preopterećeni elementi mreže, kao što su transformatori, kablovi i vodovi sa proizvodnjom snage iz DG-ora, mogu dovesti do povećanja snage koja ide kroz njih i može doći do ispada ovih elemenata. Dodatan izvor proizvodnje iz DG-ora predstavlja izvor za napajanje mjesta kvara i dovodi do povećanja snage kratkog spoja. Kao rezultat toga, potrebno je prepodešavanje zaštitnih releja, koji moraju da prate promjenljivu proizvodnju iz DG-ora [14].

Distributivne mreže sa integracijom DG-ora dobijaju novu ulogu u plasiranju energije ka potrošačima u odnosu na klasične distributivne mreže. Tip distributivnih mreža u kojima nema proizvodnje iz DG-ora, nazivaju se pasivne mreže. Pasivne mreže karakteriše samo prenos od izvora napajanja, napojnih trafostanica, ka potrošačima. S ugradnjom distributivnih izvora, pasivne mreže prelaze u aktivne mreže. Aktivne mreže karakteriše proizvodnja iz nekog izvora električne energije unutar mreže. S priključenjem DG-ora dolazi do promjene tokova snaga u distributivnim sistemima, koja može dovesti do porasta aktivnih gubitaka nakon ugradnje DG-ora. Povećanje gubitaka koji nastaju sa priključenjem DG-ora nastaje zbog: snage DG-ora, nepredvidivosti proizvodnje i potrošnje, topologije mreže u kojoj se ugrađuju i karakteristika potrošača [17].



Slika 17. Proizvodnja distributivnih generatora u distributivnoj mreži

Povećani gubici u mreži sa DG-ima, nastaju kada snaga koju oni proizvode pokriva potrošnju u tački priključka DG-ora, a višak snage plasiraju u mrežu [14]. Ova pojava dovodi do prenosa snage kroz distributivni sistem (slika 17). Snaga se prenosi do najbližih potrošača koji

mogu biti dosta udaljeni od mjesta priključka. Negativna strana prenosa snage kroz distributivnu mrežu jesu gubici koji prate proizvodnju DG-ora, koji nastaju zbog prenosa snage kroz niskonaponsku mrežu. Trošenje dijela energije iz DG-ora na povećane gubitke u sistemu, umjesto da se ta energija plasira ka potrošačima, predstavlja smanjenu iskorišćenost i integraciju DG-ora [15].

Osim povećanih gubitaka, promjena tokova snage u distributivnim mrežama može negativno uticati i na naponske prilike. Neki od problema su: povećani padovi napona i varijacije napona u tačkama priključka DG. Ovi problemi negativno utiču na osjetljive potrošače, kao što su motori, računari, i dovode do naprezanja izolacije oprema, što može dovesti do trajnih kvarova na elementima mreže i kod potrošača. DG-ori imaju najveću iskorišćenost ukoliko bi se sva energija koju plasiraju u mrežu direktno trošila na mjestu proizvodnje, kada se sva energija samo troši na potrošnju a ne i na gubitke prenosa u sistemu. S pravilnom integracijom DG-ora dolazi do smanjene potrebe za prenosom energije ka potrošačima, čime bi se rasterećivala mreža i dovodilo do boljih parametara sistema. Zato je bitno odabrati pravilnu lokaciju DG-ora, kako bi se postigla najveća iskorišćenost DG-ora, dobile poboljšane naponske prilike i smanjili ukupni gubici u sistemu [7].

Povećani gubici kao posljedica integracije DG-ora dovode do povećanih troškova za operatora distributivnog sistema. Operator distributivnog sistema mora svakodnevno nabavljati i trgovati energijom potrebnom da se pokriju gubici u distributivnoj mreži [22]. S povećavanjem gubitka, potrebna je kupovina veće količine energije da se energija gubitaka pokrije, što kao rezultat ima veće troškove za operatora distributivnog sistema.

3.1. Analiza integracije distributivnih generatora u distributivnim sistemima 35kV Cetinja i Podgorice

Primjer analize integracije DG-ora dat je za distributivni 35 kV sistem Cetinja i 35kV sistem Podgorice. U distributivnim sistemima Podgorice i Cetinja analizirana je integracija malih solarnih elektrana (*mSE*) Ubli 1, Ubli 2, Čevo i Velje Brdo. U narednom poglavlju objašnjen je način izrade analize integracije električne energije iz OIE, dati parametri, grafovi 35kV distributivnih sistema Cetinja i Podgorice, i zaključci rezultata analize.

3.1.1. Parametri distributivnih sistema 35 kV Cetinja i Podgorice

Za analizu integracije iz OIE potrebno je modelovanje distributivnih sistema 35kV Podgorice i Cetinja. Podaci o parametrima elemenata mreže i potrošnje trafostanica, nabavljeni su od strane operatora distributivnog sistema Crne Gore (*CEDIS-a*). Podaci o potrošnji koji su nabavljeni su maksimalna opterećenja iz trafostanica za 2023. godinu. Na slici 18 i 19 date su zamjenske šeme sistema Podgorice i Cetinja. U tabelama 2, 3, 4 i 5 dati su parametri sistema i podaci o potrošnji u sistemima.

Analiza integracije *mSE* distributivnim sistemima sprovedena u poglavlju je urađena na osnovu parametara koji su nabavljeni od strane operatora distributivnog sistema, pokrene proračun tokova snaga koristeći metod *Newton Raphson*, koji je objašnjen u prethodnom poglavlju. U analizama je rađena pretraga za različita opterećenja konzuma i proizvodnje solarnih elektrana. Ove analize su rađene tako što se podaci o opterećenju aktivne i reaktivne snage potrošača množe određenim procentom da bismo dobili željenu analizu. Solarna elektrana je dodata u proračun tokova snaga, tako što se u čvor koji je postavljena solarna elektrana doda na potrošnju tog čvora negativna vrijednost aktivne snage koju daje solarna elektrana, a na reaktivnu snagu potrošnje čvora doda ili oduzme reaktivna snaga solarne elektrane, što zavisi od faktora snage sa kojom radi *mSE*.

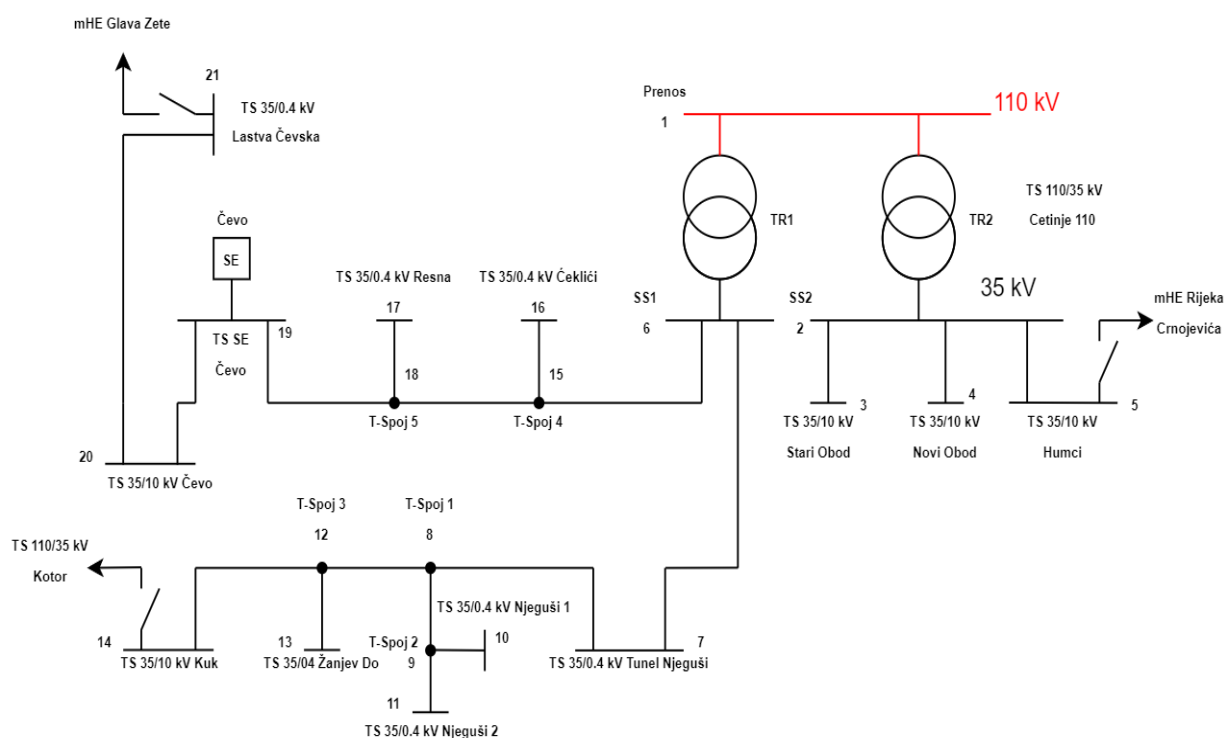
Distributivni sistem 35kV Cetinja napaja se preko 110/35 kV trafostanice Cetinje 110, koja ima dva prenosna transformatora snage 20 MVA. Trafostanica ima dva sistema sabirnica (*SS1 i SS2 – sistem sabirnica 1 i 2*) na 35 kV nivou. Jedan sistem sabirnica namijenjen je za napajanje gradskog dijela Cetinja, dok je drugi predviđen za napajanje prigradskih naselja. Oba transformatora, koji su u vlasništvu CGES-a (*Crnogorskog elektroprenosnog sistema*), imaju izolovano zvjezdište, a gubici koji se javljaju na njima nisu uzeti u obzir pri analizi. U poglavlju 3.1.2 pod skraćenicom SS1 podrazumjeva se dio sistema koji obuhvata čvorove od 6 do 21 i sve grane između njih. Za skraćenicu SS2 smatra se dio sistema koji obuhvata čvorove od 2 do 5 i sve grane između njih. Distributivni sistem Cetinja uključuje i malu solarnu elektranu mSE Čevo (*koja se nalazi u čvoru 19, Slika 18*) snage 3,5 MVA. Planirano je proširenje kapaciteta ove elektrane na 7 MVA. Zbog manjeg opterećenog distributivnog sistema, dolazi do blagog pada napona u distributivnom sistemu, pa se referentna vrijednost napona jake mreže postavlja na 35 kV.

Tabela 2. Parametri potrošnje distributivnog sistema Cetinja

Broj čvora	Naziv čvora	Pn[kW]	Qn[kVAr]
1	Prenos	0	0
	Sistem sabirnica 1		
2	TS 110/35 kV Cetinje 110	0	0
3	TS 35/10 kV Stari Obod	3458	682
4	TS 35/10 kV Novi Obod	2016	346
5	TS 35/10 kV Humci	2520	630
	Sistem sabirnica 2		
6	TS 110/35 kV Cetinje 110	0	0
7	TS 35/0.4kV Tunnel Njeguši	23	11.13
8	T - spoj 1	0	0
9	T - spoj 2	0	0
10	TS 35/0.4 kV Njeguši 1	170.4	82.52
11	TS 35/0.4 kV Njeguši 2	184	89
12	T - spoj 3	0	0
13	TS 35/0.4 kV Žanjev Do	117.6	57
14	TS 35/10 kV Kuk	504	10.52
15	T - spoj 4	0	0
16	TS 35/0.4 kV Ceklići	48	23.247
17	TS 35/0.4 kV Resna	21.68	11
18	T - spoj 5	0	0
19	Mse Čevo	0	0
20	TS 35/10 kV Čevo	92.75	66
21	TS 35/0.4 kV Lastva Čevska	50	25

Tabela 3. Parametri grana 35 kV distributivnog sistema Cetinja

Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]	Dužine_grana l [km]
1	1	2	0.1878	4.0012	TR1
2	2	5	0.16645	0.1609	0.4
3	2	3	0.670702	0.65116	1.24
4	2	4	0.236694	0.60897	1.149
5	1	6	0.3034	6.5651	TR2
6	6	7	2.648875	2.58404	7.27
7	7	8	0.787375	0.77354	2.15
8	8	9	0.05475	0.05325	0.150
9	9	10	0.03285	0.03195	0.09
10	9	11	0.146	0.142	0.4
11	8	12	1.0585	1.0295	2.9
12	12	13	0.01095	0.01065	0.03
13	12	14	0.85723	1.0978	8.8
14	6	15	3.65	3.55	10
15	15	16	0.1095	0.1065	0.3
16	15	18	1.314	1.278	3.6
17	18	17	0.0365	0.0355	0.1
18	18	19	2.2106	2.183	6
19	19	20	0.64475	0.66005	1.81
20	20	21	2.555	2.485	8.29

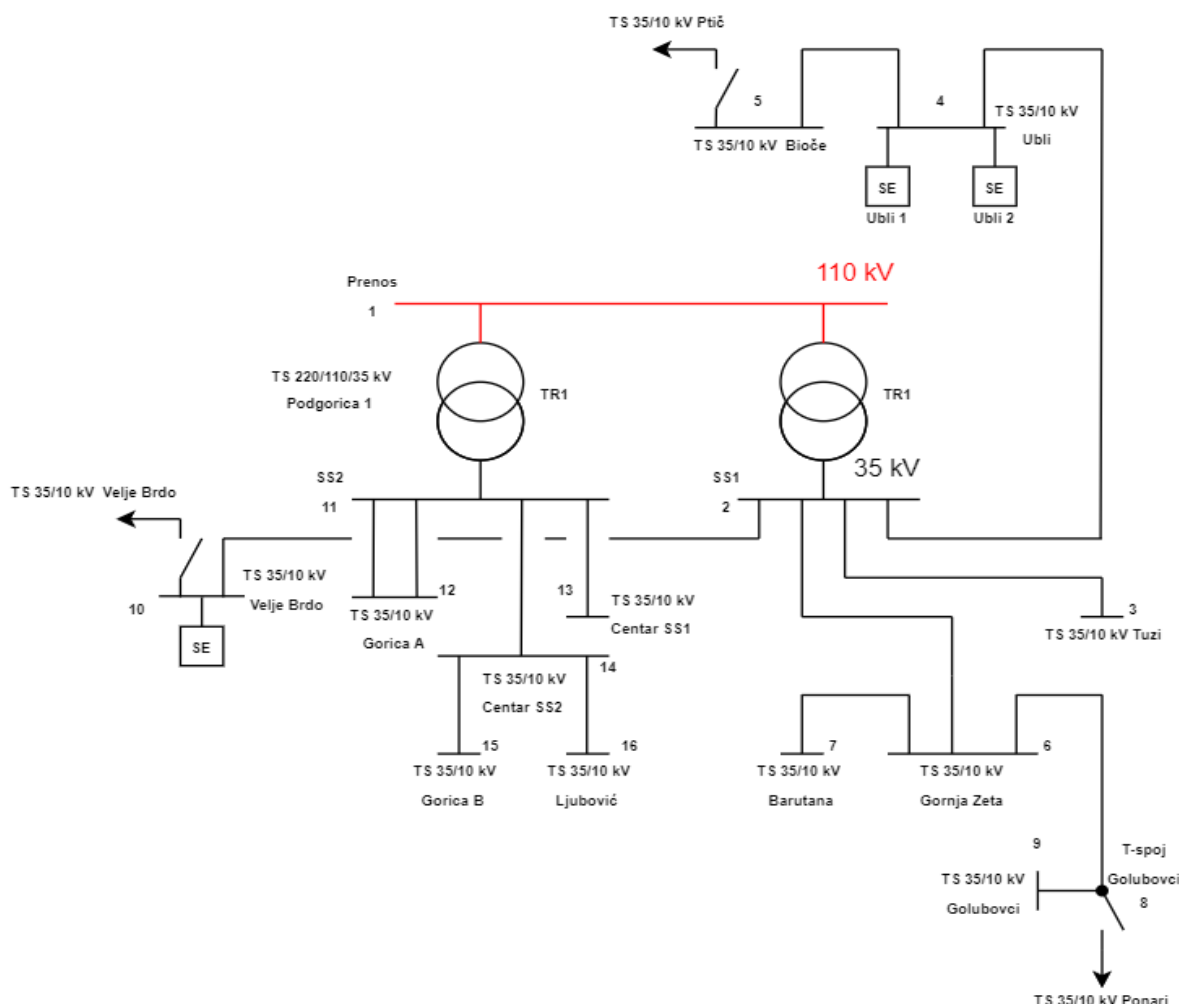


Slika 18. Zamjenska šema 35 kV distributivnog sistema Cetinja

Distributivni sistem 35kV Podgorice napaja se preko trafostanice 220/110/35 kV Podgorica 1. Trafostanica Podgorica 1 ima dva prenosna transformatora snage po 63 MVA. Tačka 1, na slici 19, predstavlja prenosnu mrežu 110 kV nivoa, dok tačke 2 i 11 predstavljaju sistem sabirnica jedan i dva (SS1 i SS2). Jedan sistem sabirnica napaja dalekovodnu, a drugi kablovsku mrežu Podgorice. Ova podjela je napravljena zbog samih karakteristika mreže. U poglavlju 3.1.3 pod skraćenicom SS1 podrazumjeva se dio sistema koji obuhvata čvorove od 2 do 10 i sve grane između njih. Za skraćenicu SS2 smatra se dio sistema koji obuhvata čvorove od 11 do 16 i sve grane između njih

Pri zemljospoju u dalekovodnom dijelu mreže, snaga zemljospoja je mala jer struja kvara zavisi od malih kapacitivnosti dalekovoda. U kablovskom dijelu mreže pri zemljospoju, snaga zemljospoja je veća zbog većih struja kvara, koje zavise od većih kapacitivnosti kablova [31].

Sistem sabirnica koji napaja dalekovodnu mrežu Podgorice ima u planu izgradnju tri male solarne elektrane, mSE: Velje brdo, Ubli 1 i Ubli 2. Solarna elektrana Velje Brdo je priključena u čvor 10, a solarne elektrane Ubli 1 i Ubli 2 u čvor 4 (slika 19). Snage solarnih elektrana su: Velje Brdo 3.5MVA, Ubli1 5MVA i Ubli2 4MVA. Referentni napon jake mreže, prije proračuna toka snaga se definiše na 36kV. Ovakva vrijednost napona jake mreže je postavljena zbog većeg opterećenja konzuma.



Slika 19. Zamjenska šema 35 kV distributivnog sistema Podgorice

Tabela 4. Parametri potrošnje distributivnog sistema Podgorice

Broj čvora	Naziv čvora	Pn[MW]	Qn[MVar]
1	Prenos	0	0
2	TS 220/110/35 kV Podgorica 1 SS2	0	0
3	TS 35/10kV Tuzi	9.72	3.50
4	TS 35/10 kV Ubli	0.88	0.10
5	TS 35/10 kV Bioče	1.75	0.55
6	TS 35/10 kV Gornja Zeta	5.00	1.80
7	TS 35/10 kV Barutana	1.37	0.60
8	T-spoj Golubovci	0.00	0.00
9	TS 35/10 kV Golubovci	3.50	0.95
10	TS 35/10 kV Velje Brdo	2.20	0.75
11	TS 220/110/35 kV Podgorica 1 SS1	0.00	0.00
12	TS 35/10 kV Gorica A	20.00	9.00
13	TS 35/10 kV CentarSS1	18.00	4.00
14	TS 35/10 kV CentarSS2	0.00	0.00
15	TS 35/10 kV Gorica B	2.00	0.10
16	TS 35/10kV Ljubović	2.00	0.40

Tabela 5. Parametri grana 35 kV distributivnog sistema Podgorice

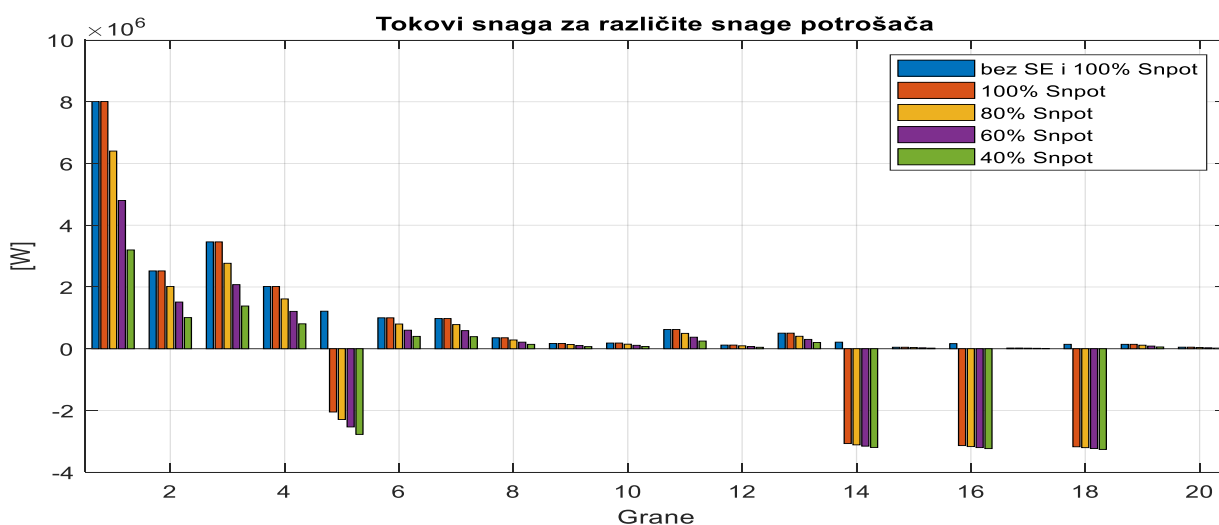
Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]	Dužine_grana l [km]
1	1	2	0.0465	2.06	TR 1
2	2	3	2.1228	5.7828	18.3
3	2	4	6.277523	4.31256	10.57
4	4	5	5.46388	3.7536	9.2
5	2	6	3.7047	3.63138	12.22
6	6	7	3.1573	1.856	7
7	6	8	1.95	2.04	5
8	8	9	0.623298	0.428196	1.0495
9	2	10	0.9792	1.2384	3.2
10	1	11	0.0565	2.087	TR 2
11	11	12	0.237125	0.357395	1.897
12	11	12	0.237125	0.357395	1.897
13	11	13	0.425	0.600294	3.4
14	11	14	0.425	0.600294	3.4
15	14	15	0.246388	0.391439	1.987
16	14	16	0.155868	0.247629	1.257

3.1.2. Distributivni sistem 35 kV Cetinja

Prvi dio analize integracije OIE-a u distributivni sistem Cetinja obuhvata analizu pri maksimalnom opterećenju konzuma Cetinja (100%), 80%, 60% i 40% maksimalnog opterećenja, uz maksimalno opterećenje solarne elektrane (*mSe*) Čevo od 3,5 MVA s faktorom snage 0.95 kapacitivno.

Na slici 20, dio sistema na kojem se nalazi mSE Čevo, proizvodi više snage nego konzum oko čvora 19, u kojem je postavljena mSE Čevo, što prouzrokuje povećanje prenosa snage i promjenu toka snage po granama 5, 14, 16 i 18. Granom pet, koja predstavlja transformator, tok snage je negativan i od sistema sabirnica jedan ka prenosnoj mreži u slučajevima sa mSE, što pokazuje da mSE Čevo proizvodi više nego cijeli konzum koji se napaja preko sistema sabirnica jedan (slika 20). Snaga koja se predaje sa smanjenjem opterećenja konzuma prenosnoj mreži, preko sistema sabirnica jedan raste, čime se snaga iz mSE-a manje troši u distributivnom sistemu. Ovo dovodi do povećanja prenosa snage proizvedene iz mSE kroz distributivnu mrežu sa smanjenjem opterećenja konzuma. U koloni tabele 6, gubici u dijelu sistema koji se napaja preko sistema sabirnica jedan, sa smanjenjem konzuma se povećavaju. Ova pojava je posljedica povećanja prenosa snage od mSE Čevo kroz sistem, zbog smanjenja potrošnje na mjestu priključka mSE. Ukupni gubici sistema iznose 72 kW, a gubici dijela sistema koji se napaja sa sabirnice jedan iznose 63 kW. Iz tabele 6, u koloni gubici, grana 14, 16, i 18, prikazano je da najveće povećanje gubitaka dolazi iz ovih grana sa 90% gubitaka sistema sabirnica jedan. Na slici 21 je prikazana promjena napona za različita opterećenja konzuma pri konstantnoj proizvodnji mSE. Energija koju proizvodi mSE Čevo, plasira se u mrežu i izaziva povećanje napona do 2.8%, u tačkama u blizini mjesta priključenja mSE.

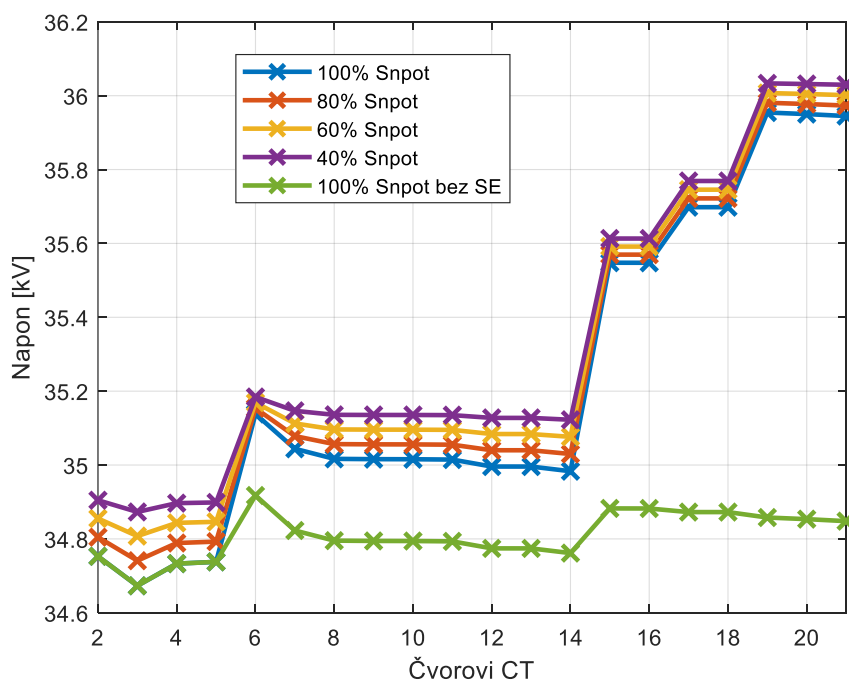
Negativna strana, kada dio distributivnog sistema koji se napaja preko sistema sabirnica jedan, predaje snagu prenosu, jeste ta što dio konzuma koji se preko sistema sabirnica dva napaja, tu snagu će onda preko prenosnih transformatora da uzima iz prenosne mreže. Ovakav prenos snage kroz distributivni sistem ka prenosu i opet u distributivnu mrežu je posljedica prekomjerene integracije OIE-a, zbog smanjenog trošenja energije iz mSE Čevo na potrošnju konzuma. Dio energije proizvedene iz mSE Čevo, troši se na mjestu priključka a dio šalje u mrežu i povećava gubitke električne energije u tom dijelu distributivnog sistema. Idealno bi bilo kada bi se snaga iz mSE Čevo direktno trošila u blizini mSE, ali zbog njene udaljenosti, 20 km od centra proizvodnje, to nije moguće. Ovakva situacija ima negativne ekonomske posljedice po operatora distributivnog sistema, koji mora da nabavlja veću energiju za pokrivanje gubitaka u distributivnom sistemu [22].



Slika 20. Tokovi aktivnih snaga za različita opterećenja konzuma kada mSe radi sa 100% snage

Tabela 6. Snaga gubitaka u distributivnom sistemu i u granama 14, 16 i 18 za različite snage konzuma

%opterećenja konzuma od nominalne	Snaga gubitaka u distributivnom sistemu Cetinja i dijelova sistema Cetinja koji se napajaju preko SS1 i SS2 za različite snage konzuma				Ukupna snaga gubitaka grana 14, 16 i 18	
	Ukupna snaga gubitaka sa SE [kW]	Snaga gubitaka SS1 bez SE [kW]	Snaga gubitaka SS1 sa SE [kW]	Snaga gubitaka SS2 [kW]	Snaga gubitaka Sa SE [kW]	Snaga gubitaka Bez SE [kW]
100%	72.347	3.813	63.665	8.682	60.172	0.274
80%	69.387	1.191	63.833	5.554	61.603	0.175
60%	67.404	0.679	64.303	3.101	63.051	0.98
40%	66.444	0.300	65.070	1.374	64.515	0.43



Slika 21. Naponi u mreži za različita opterećenja pri proizvodnji Čeva od 3.5 MVA

Drugi dio analize integracije OIE-a, odnosi se na slučaj kada konzum ima maksimalno opterećenje, dok mSE Čevo proizvodi sa različitim snagama: maksimalnom snagom od 3,5 MVA, 80%(2.8 MVA), 40%(1.4 MVA), 20%(0.7MVA) maksimalne snage, kada ne proizvodi i kada radi sa novoplaniranom snagom od 7 MVA. U svakom slučaju mSE radi sa faktorom snage 0.95 kapacitivno. Analiza uticaja na gubitke promjenljive proizvodnje mSE Čevo je rađena i za slučaj 40% opterećenog konzuma.

Gubici u sistemu rastu sa 12.495 kW, kad mSE Čevo ne radi, na 72 kW kada mSE Čevo radi sa punom snagom (tabela 7). Kada bi se mSE Čevo proširilo za još 3.5 MVA, pri istom opterećenju, gubici bi iznosili 254 kW (tabela 7 i slika 22). Mjesto na kojem je napravljena mSE

ima mali konzum, pa se sva snaga prenosi kroz dio distributivne mreže koja se napaja preko sistema sabirnica jedan (slika 23). Kako cjelokupan sistem sabirnica jedan ima manje opterećen konzum koji je dosta udaljen od lokacije mSE, dodatno dolazi do povećanog plasiranja snage i u prenosnu mrežu, što se vidi sa promjenom smjera toka snage u grani pet, koja predstavlja prenosni transformator. Jedino u slučaju 20% proizvodnje mSE se dio snage uzima iz prenosne mreže da pokrije potoršnju sistema sabirnica jedan, jer u tom slučaju proizvodnja iz mSE nije dovoljna da pokrije opterećenje, pa se ostatak snage uzima iz mreže.

Sa smanjenom potrošnjom na 40% od maksimalnog opterećenja konzuma (tabela 8 i slika 22), vidi se da gubici sistema sabirnica jedan rastu u odnosu na slučaj 100% opterećenog konzuma. Uzrok ovoga je povećan prenos snage ka prenosu kroz distributivni sistem, zbog smanjenja potrošnje.

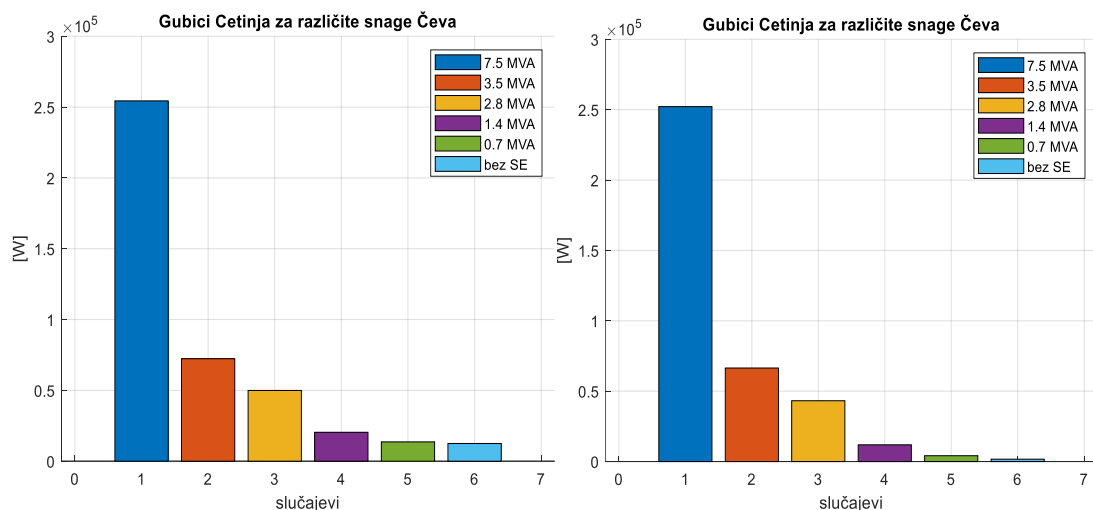
Na slici 24, prikazani su naponi u čvorovima distributivnog sistema za različite snage mSE Čevo. Zbog malog opterećenja u sistemu sabirnica jedan, u čvorovima u blizini mSE, dolazi do povećanja napona do 35.8kV u slučaju proširenja mSE za 3.5 MVA i do 36.8 kV u slučaju maksimalnog opterećenja konzuma i proizvodnji mSE od 7 MVA (slika 24). Ovako visoki naponi se prenose na NN (*niskonaponsku*) mrežu, što može izazvati štetu potrošača.

Tabela 7. Snaga gubitaka distributivnog sistema Cetinja sa maksimalnim opterećenjem konzuma i promenljivom proizvodnjom iz mSE

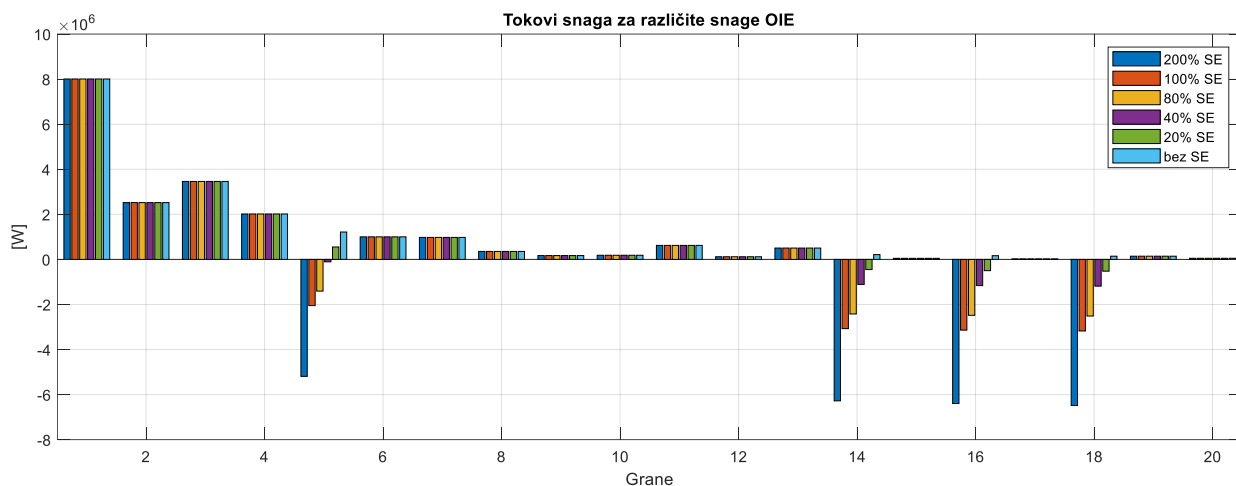
Proizvodnje mSE	Ukupna snaga gubitaka bez mSE [kW]	Ukupna snaga gubitaka sa mSE [kW]	Snaga gubitaka SS1 sa mSE [kW]	Snaga gubitaka SS1 bez mSE [kW]	Snaga gubitaka SS2 [kW]
7 MVA	12.495	254.389	245.707	3.813	8682
3.5 MVA	12.495	72.347	63.665	3.813	8682
2.8 MVA	12.495	49.994	41.258	3.813	8682
1.4 MVA	12.495	20.404	11.722	3.813	8682
0.7 MVA	12.495	13.645	4.963	3.813	8682

Tabela 8. Snaga gubitaka distributivnog sistema Cetinja sa 40% maksimalnog opterećenja konzuma i promenljivom proizvodnjom iz mSE

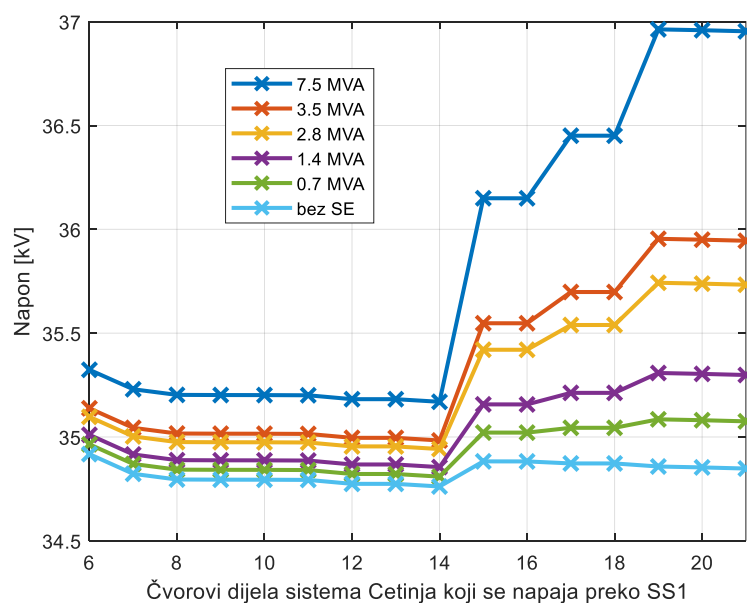
Proizvodnje mSE	Ukupna snaga gubitak bez mSE [kW]	Ukupna snaga gubitaka sa mSE [kW]	Snaga gubitaka SS1 sa mSE [kW]	Snaga gubitaka SS1 bez mSE [kW]	Snaga gubitaka SS2 [kW]
7 MVA	1.674	252.160	250.786	0.3	1.374
3.5 MVA	1.674	66.444	65.070	0.3	1.374
2.8 MVA	1.674	43.202	41.828	0.3	1.374
1.4 MVA	1.674	11.870	10.496	0.3	1.374
0.7 MVA	1.674	4.145	2.771	0.3	1.374



Slika 22. Snaga gubitaka distributivnog sistema Cetinja za različite snage mSe Čeva i za snage konzuma od 100% i 40% od nominalne



Slika 23. Tokovi snaga za različite snage SE Čevo, pri maksimalno opterećenom konzumu



Slika 24. Naponi u mreži za različite snage mSE Čeva

Zaključak za Cetinje:

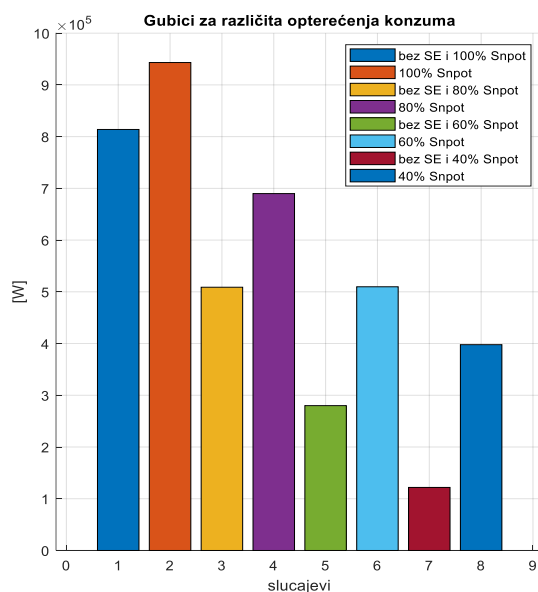
1) Zbog male potrošnje na mjestu priključka mSE Čevo, snaga koju ona proizvodi se plasira kroz cijeli sistem, što izaziva povećani prenos snage kroz mrežu i povišene gubitke. Ovo izaziva dodatne troškove za operatora distributivnog sistema koji se bavi kupovinom energije potrebne da pokrije energiju gubitaka u sistemu [22].

2) Zbog proizvodnje mSE i malog konzuma naponi u mreži rastu, i to najviše u tački priključka mSE. Jedno od rješenja povišenih napona bi bilo vršenje lokalne regulacije napona na regulacionim distributivnim transformatorima, tako što se podesi veći prenosni odnos preko ručne regulacije na transformatorima [31]. Ovim se za visok napon na primarnu (*35 kV strani*) dobija referentna vrijednost napona na sekundaru (*10 kV strani*) [31]. Ovakva regulacija se radi u beznaponskom stanju, jer transformatori 35/10 kV u čvorovima oko mSE Čevo, nemaju mogućnost automatske regulacije napona. Negativna strana ovakve regulacije jeste što, ukoliko bi mSE imala nisku proizvodnju, napon u tački priključka bi pao sa 35,8 kV na 34,8 kV (slika 24), a za zadati povećani prenosni odnos na sekundarnu bi bio nizak napon za potrošače, čime bi kvalitet napona bio narušen. Rješenje bi bilo ugradnja transformatora sa automatskom regulacijom napona u čvorovima oko mSE. Ovi transformatori bi pratili i automatski mijenjali i prilagođavali prenosni odnos promjenljivoj proizvodnji iz mSE.

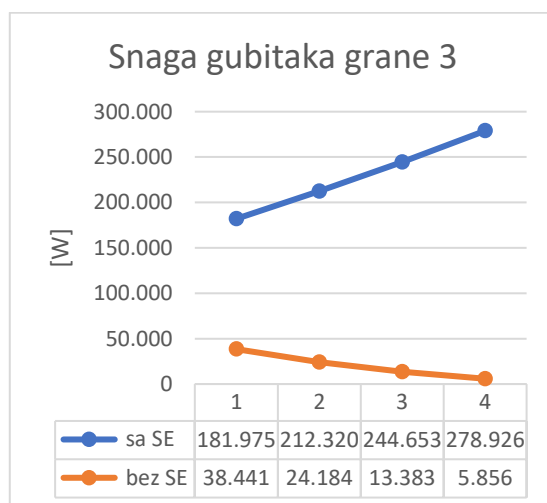
3.1.2. Distributivni 35 kV sistem Podgorice

Prvi dio analize integracije OIE-a za 35 kV sistem Podgorice, posmatra kako mSE pomažu sistemu za različita opterećenja konzuma, dok mSE proizvode sa nominalnom snagom. Na slikama 25 i 26 se vidi da su gubici za različita opterećenja konzuma bez proizvodnje solarnih elektrana, u prosjeku za 150 kW manji, nego pri istom opterećenju konzuma sa proizvodnjom iz solarnih elektrana. Razlog ovome je povećan prenos snage kroz granu tri. Na slici 26, da se primijetiti da snaga koja ide granom tri raste sa smanjenjem opterećenja, a na slici 28, da je smjer snage ka sistemu sabirnica 1, čvoru 2. Promjena smjera ka čvoru 2 je zato što solarna elektrana pokriva potrošnju čvora 4 i 5, a višak snage šalje u mrežu. Ovo dovodi do povećanja snage koja ide granom tri i povećanja gubitaka. U slučaju opterećenja konzuma od 40% maksimalnog, dolazi do povećanja gubitaka po grani tri od 270 kW (slika 26).

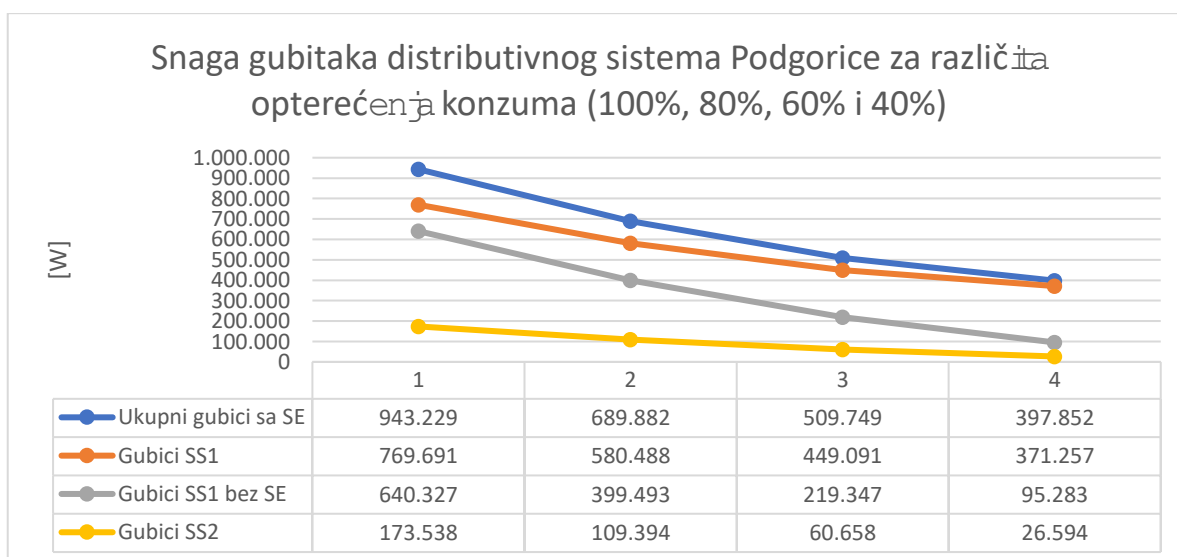
Najviše gubitaka dolazi iz dalekovodne mreže, odnosno dijela mreže koji se napaja sa sistema sabirnica jedan (slika 27). Razlog tome je jaka kablovska mreža, u smislu debelih poprečnih presjeka kablova koji smanjuju aktivnu otpornost i gubitke u tom dijelu mreže. Sistem sabirnica dva možemo smatrati kao odvojen sistem koji je preko prenosnih transformatora i prenosne mreže odvojen od sistema sabirnica jedan. Grana jedan (slika 28), ima u slučaju 40% opterećenog konzuma situaciju da je tok snage od distributivnog sistema, čvora 2, ka prenosnoj mreži, čvor 1. Ova pojava je nepovoljna za operatora distributivnog sistema, jer se ova predata snaga ne troši u distributivnom sistemu, a izaziva povećane gubitke za koje operator mora da plati energiju potrebnu da se pokriju njeni gubici. Ova pojava dovodi do plasiranja snage iz mSE-a u prenosnu mežu preko distributivnog sistema i povećanje gubitaka unutar distributivne mreže.



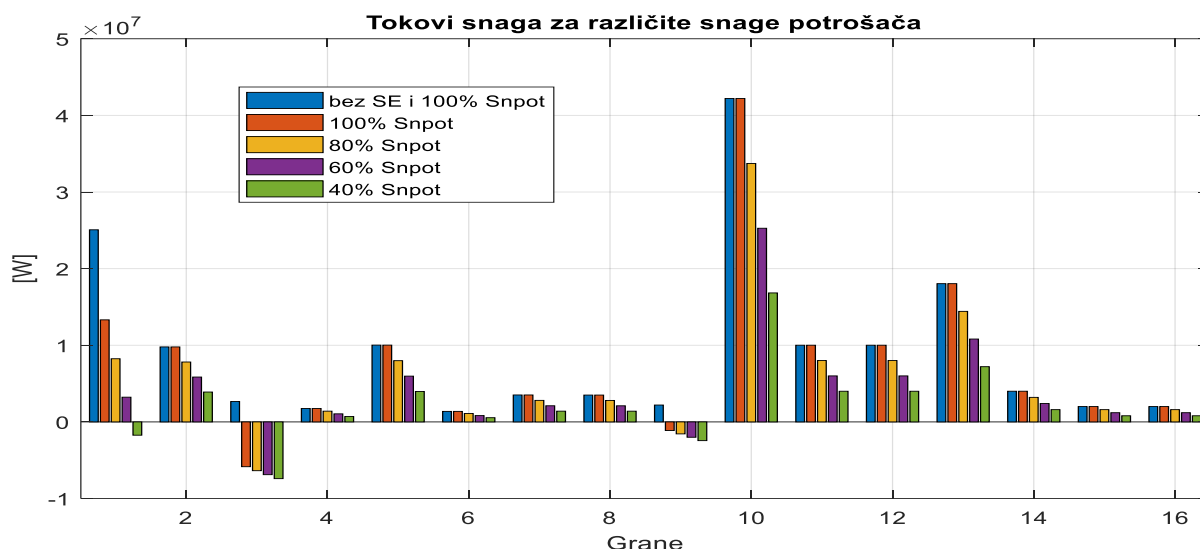
Slika 25. Snaga gubitaka za različita opterećenja konzuma



Slika 26. Gubici grane tri

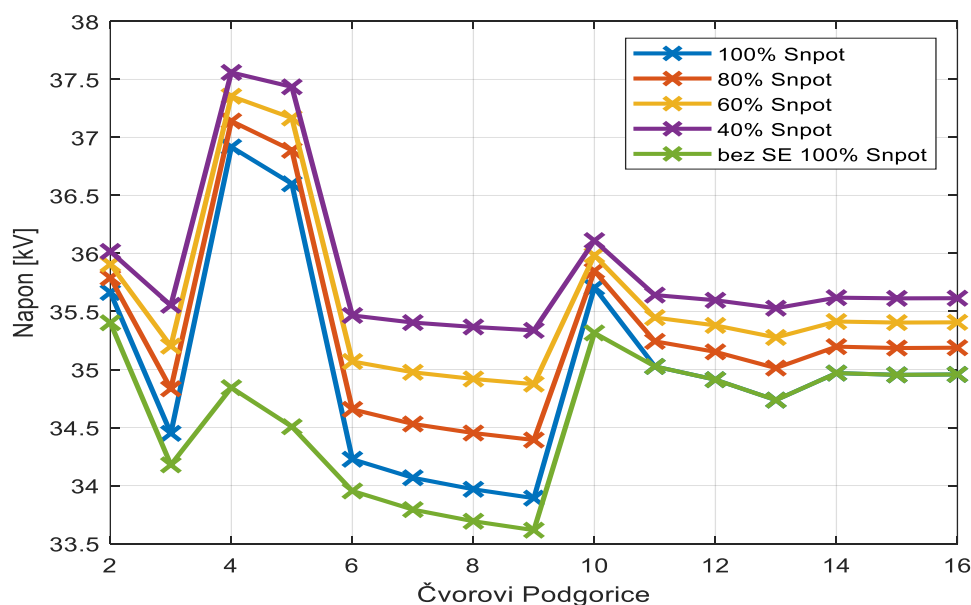


Slika 27. Gubici distributivnog sistema 35 kV Podgorice za različite snage konzuma



Slika 28. Tokovi snaga po granama 35 kV distributivnog sistema Podgorice za različite snage konzuma

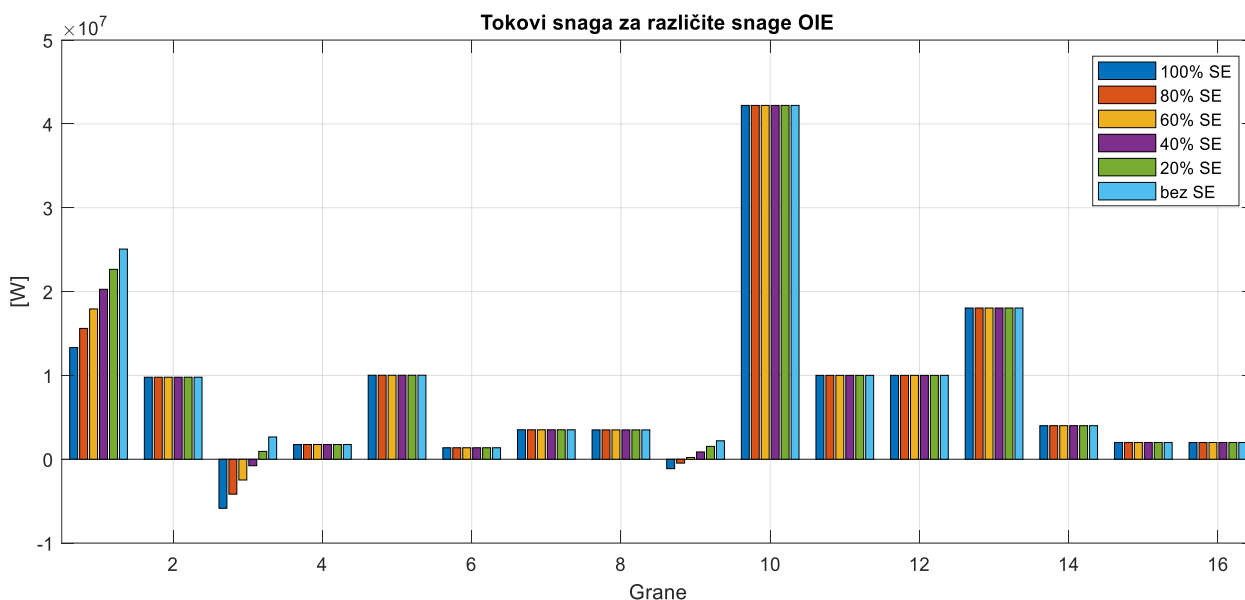
Napon u tačkama priključka mSE dostiže 37.5kV u čvoru 4 i 36.1kV u čvoru 10 (slika 29). Napon u čvoru 4 je visok, tako da za ovaj slučaj bi trebala da se radi regulacija napona ili na prenosnom transformatoru TR1 ili lokalno preko ručne regulacije. Potrebno bi bilo prebaciti regulacionu preklapka na prenosnom transformatoru sa automatske, gdje je referentni napon 35.5 kV, na ručnu, i povećati prenosni odnos na prenosnom transformatoru. Na ovaj način bi se smanjio napon na sistemu sabirnica jedan, što bi smanjilo previsoke napone, ali bi to uticalo na ostatak sistema. Takođe, ovo je riskantno raditi zbog nepredvidljivosti proizvodnje iz mSE koja može trenutno oboriti proizvodnju, što bi dovelo do pada napona na sistemu sabirnica jedan. U slučaju prebacivanja na ručnu regulaciju dolazi do pada napona iz dva razloga: prvi, jer nema proizvodnje iz solara koja održava napon u sistemu i drugi, jer nema više mogućnosti vršenja automatske regulacije.



Slika 29. Naponi distributivnog sistema Podgorice za različite snage konzuma

Drugi dio analize integracije mSE u distributivnom sistemu Podgorice se ogleda u smanjenju snaga koju daju mSE u sistem pri maksimalnom opterećenju konzuma. Iz ove analize dobija se rezultat promjene napona i gubitka pri različitim snagama solarnih elektrana. Analizirano je kada solarne elektrane rade sa maksimalnom snagom, 80%, 60 %, 40%, 20 % maksimalne snage i kada ne rade. Analiza ponašanja gubitaka pri različitim snagama solarnih elektrana je rađena i za slučaj 60% opterećenog konzuma.

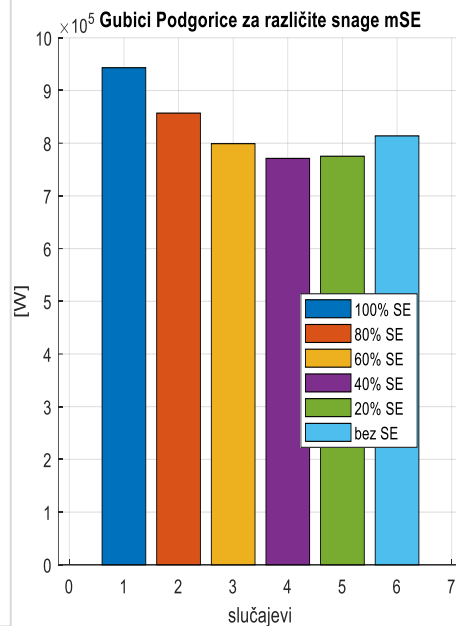
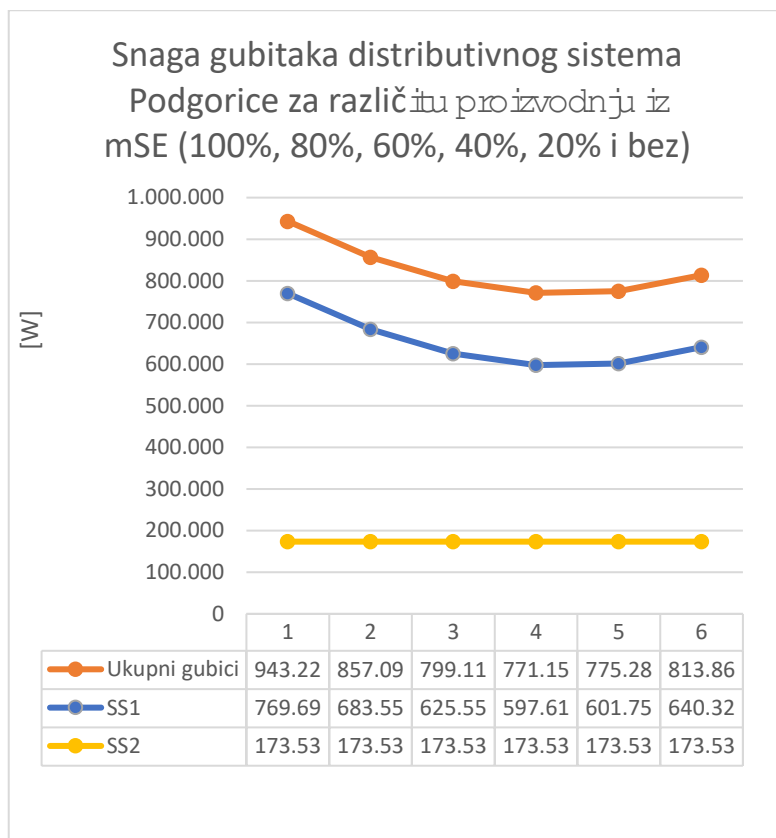
Pri maksimalnoj proizvodnji iz solarnih elektrana dolazi do smanjenja preuzimanja snage iz prenosne mreže (slika 30). Sa smanjenjem proizvodnje solarne elektrane, energija iz mSE nije dovoljna da pokrije potrošnju u čvorovima 4, 5 i 10 koji se nalaze u blizini mSE, već za pokrivanje potrošnje konzuma tih čvorova je potrebno preuzeti dodatno snagu iz mreže. Ovo se vidi na slici 30 za grane 3 i 9. Za granu 3, ukoliko proizvodnja padne ispod 40% snage mSE, energija iz mSE neće biti dovoljna da pokrije potrošnju čvorova 4 i 5. Ovo dovodi da se tok snage kroz granu tri mijenja, vraća u prvobitni slučaj kada nema mSE, od prenosnih transformatora ka mSE. Za granu 9, kad padne proizvodnja ispod 80%, dolazi do iste pojave.



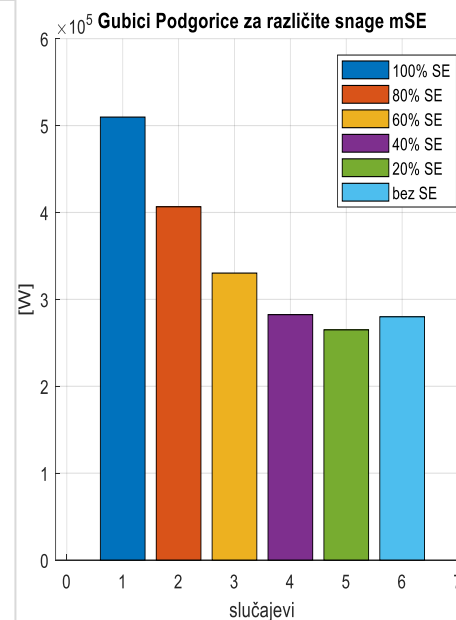
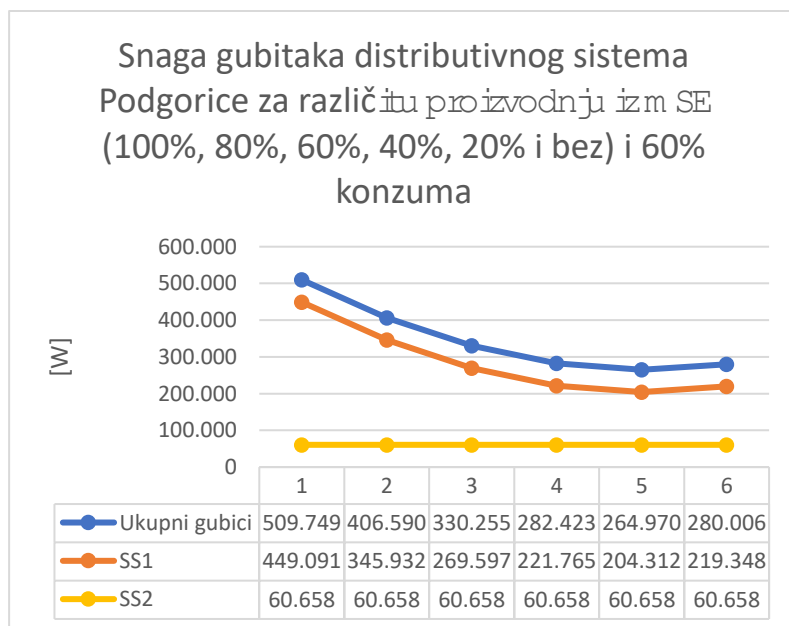
Slika 30. Tokovi snaga za različite procenete maksimalnih snaga solarnih elektrana

Kao što je pokazano iz prethodne analize, najveći gubici dolaze iz treće grane zbog prenosa snage iz solarnih elektrana. Na slikama 31 i 32 se vidi da sa smanjenjem snage iz solara dolazi do smanjenja gubitaka u distributivnom sistemu. Razlog ovome je smanjenje plasiranja proizvodnje preko grane tri. Najmanji gubici se javljaju za četvrti slučaj, 40% maksimalnog opterećenja mSE.

Za slučaje 60%, 40 % i 20% opterećenja mSE dolazi do smanjenja gubitaka u odnosu na šesti slučaj, kada mSE ne proizvodi a konzum je maksimalno opterećen (slika 31). Na slikama 33 i 34 data je ista analiza, ali kada je potrošnja konzuma 60% maksimalnog opterećenja. Gubici su manji samo u slučaju 5, kada solarne elektrane rade sa 20% snage. U ova dva slučaja s povećanom proizvodnjom solara dolazi do povećanog plasiranja energije iz obnovljivih izvora, u grani tri, i povećanja gubitaka u sistemu.



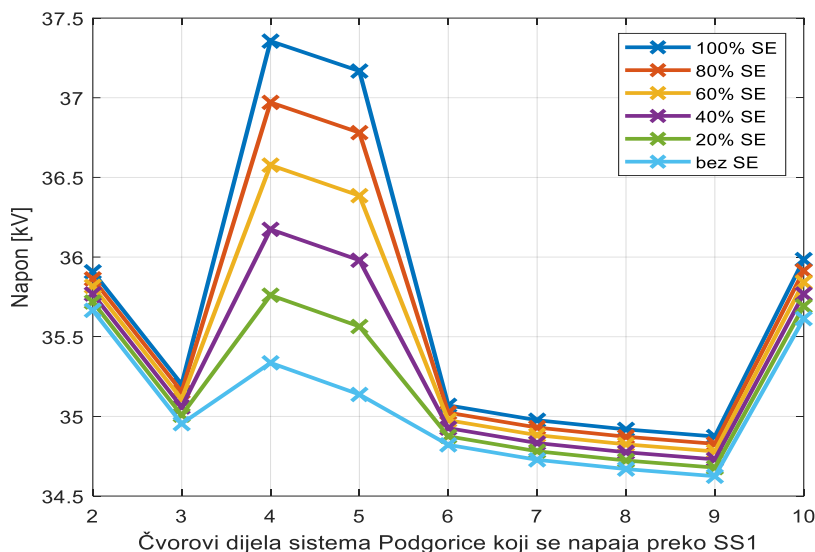
Slike 31. i 32. Gubici za različite snage mSE i 100% konzuma



Slike 33 i 34. Gubici za različite snage mSE i 60% konzuma

Vrijednost napona u čvorovima distributivnog sistema Podgorice za maksimalna opterećenja i promjenljivu proizvodnju iz mSE date su na slici 35. Sa slike 35 se može uočiti da naponi s porastom proizvodnje rastu do 37.4 kV u tački priključka SE Ubli 1 i Ubli 2, a u čvoru priključenja SE Velje Brdo napon dostiže 36 kV. Ovakvi povišeni naponi bi zahtijevali lokalnu

regulaciju napona u tačkama priključenja ili prebacivanje regulacione preklapke sa automatske na ručnu i spuštanje napona na sistemu sabirnica 1, čvor 2.



Slika 35. Naponi dijela distributivnog sistema Podgorice, koji se napaja sa sistema sabirnica 1 iz TS 220/110/35 Kv Podgorica 1, za različite snage mSE

Zaključak za distributivni sistem Podgorice:

1) Integracije mSE Ubli 1 i Ubli 2 dovodi do povećanih gubitaka na grani tri koja spaja TS 35/10 kV Ubli sa TS 220/110/35 kV Podgorica 1. Gubici u grani tri dovode do dodatnih 200 kW, gdje je prisutna smanjena integracija proizvodnje iz distributivnih generatora, jer se energija proizvedena u mSE troši na prenos snage kroz sistem. Gubici u grani devet, koja spaja Velje Brdo sa Podgoricom 1 nisu povećani, jer mSE pokriva proizvodnju TS 35/10 kV Velje Brdo i dio šalje u mrežu. Pri manjem opterećenju konzuma TS Veljeg Brda dolazi do povećanja prenosa snage kroz granu devet, ali ne kao i u slučaju kada nema proizvodnje iz mSE Veljeg Brda, što nije slučaj za mSE Ubli 1 i 2 koja ima devet puta veću proizvodnju nego potrošnja TS Ubli i TS Bioče zajedno.

2) Priključenje solarnih elektrana dovodi do smanjenja gubitaka pri maksimalnoj potrošnji, u odnosu na sistem bez mSE, samo u slučaju kada je proizvodnja mSE-a manja od 60% nominalne snage. Iako je grana tri i dalje glavni izvor gubitka, dolazi do rasterećenja same grane i prenosnog transformatora, zbog čega se javljaju poboljšane naponske prilike u sistemu i manji gubici. U drugim slučajevima veće proizvodnje solarne elektrane, naponi se poboljšavaju u sistemu i dolazi do rasterećenja grana sistema, ali gubici grane tri će biti veći zbog prenosa veće snage kroz nju. Iako dolazi do smanjenja gubitaka po granama zbog poboljšanja naponskih prilika, povećani gubici grane tri dovode do većih gubitaka nego da sistem nema proizvodnje iz mSE.

3) Naponi u tački priključka mSE dostižu vrijednosti 37.5 kV, u slučaju niske potrošnje, što zahtijeva vršenje regulacije napona preko regulacionih transformatora, lokalno ili preko prenosnih transformatora.

4. ANALIZA PRIMJENE DC PORTOVA

Algoritam za upravljanje i optimizaciju DC portova, opisan u poglavlju 2, realizovan je u programu Matlab. U poglavlju je odrađena analiza uticaja DC portova na povećanje efikasnosti kroz poboljšanje parametara distributivnih sistema.

U prvom dijelu ovog poglavlja biće opisani parametri distributivnih sistema kao i susjednih distributivnih sistema sa kojima se vezuju distributivni sistemi Podgorice i Cetinja, preko DC portova, s ciljem smanjenja ukupnih gubitaka u mreži. Pored ovih parametara dati su i parametri potrošnje trafostanica u 35 kV distributivnim sistemima i parametri opterećenja izvoda na 10 kV strani. Objašnjen je i način dobijanja dnevnog dijagrama potrošnje za sisteme 35 kV i 10 kV naponskog nivoa.

Anliziraće se rad DC portova u svakom sistemu za period od 24h, i dati rezultati smanjenja ukupnih gubitaka distributivnih sistema za taj period. Posmatraće se naponske prilike, gubici, kao i rad DC portova za različita opterećenja konzuma (*100%, 80% i 40% maksimalnog opterećenja konzuma*), pri maksimalnoj proizvodnji iz solarnih i hidroelektrana na 35 kV naponskom nivou. Na 10 kV naponskom nivou uzeta su tri vremenska trenutka (*3., 13. i 20. sat*) u kojem su analizirane naponske prilike, gubici i rad DC portova sa modifikacijama i bez modifikacija distributivne mreže.

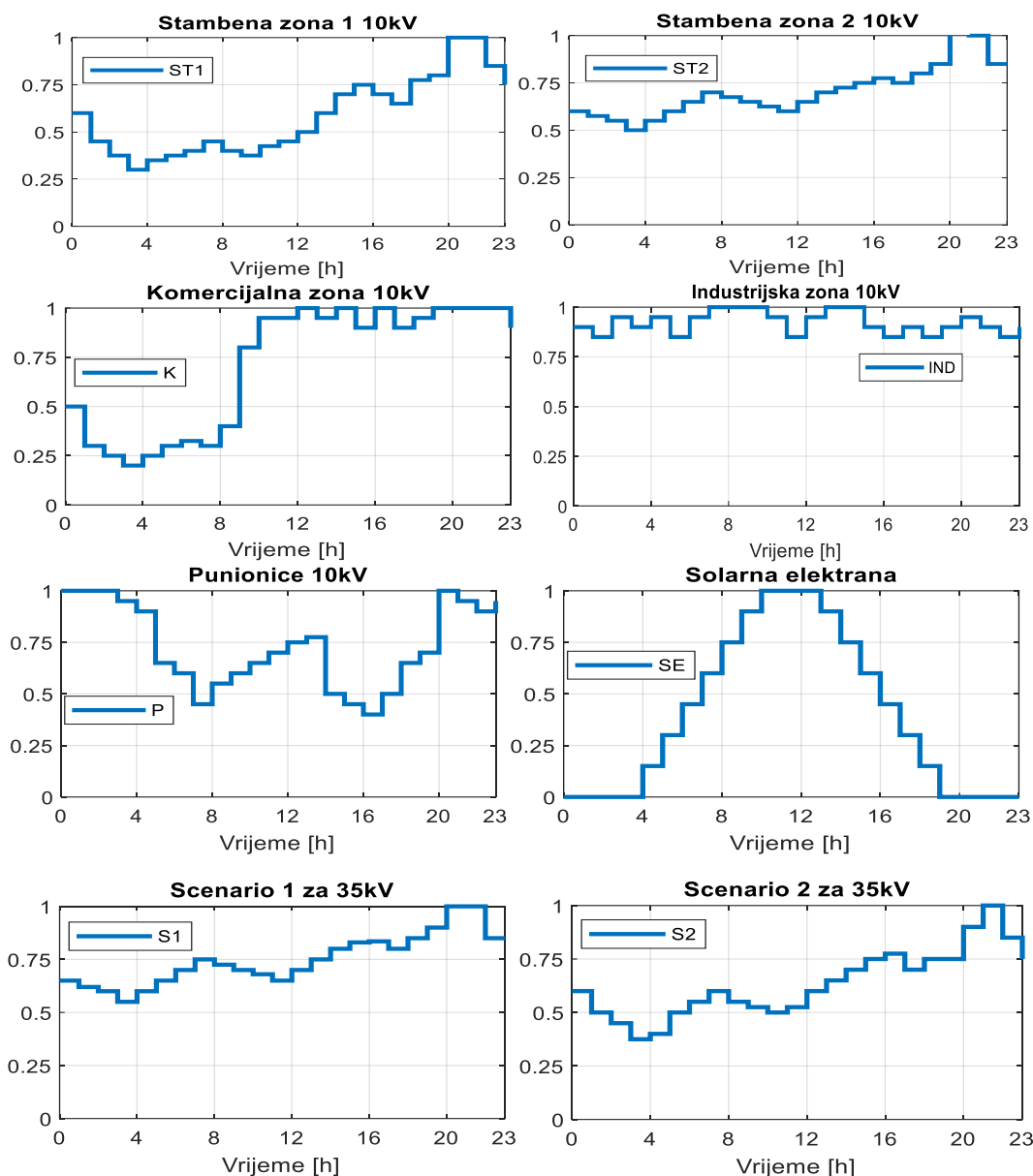
4.1. Scenariji dnevnih dijagrama potrošnje

Simulacije pri pokretanju algoritma za pronalaženje optimalnih upravljačkih promjenljivih DC portova, rađene su za slučajeve normalnih uslova rada, simetrično opterećenih distributivnih sistema. Simulacije su sprovedene na distributivnim sistemima: 35 kV Podgorice, 35 kV Cetinja, okolonih 35 kV sistema preko kojih se ovi 35 kV sistemi vezuju u paralelan rad i dijela 10 kV mreže Cetinja.

Na 10 kV mreži Cetinja rađene su modifikacije mreže kroz integraciju solarnih elektrana i punionica za električna vozila. Na 35 kV mrežama nisu izvršene modifikacije zbog postojanja distributivne proizvodnje u stvarnim sistemima koje su modelovane u radu. Simulacije su realizovane uzimajući u obzir maksimalna opterećenja izvoda, trafostanica i distribuiranih izvora za 2023. Podaci su prikupljeni od operatora distributivnog sistema Crne Gore, CEDIS-a. Svakom mjerenju su zatim dodijeljeni scenariji potrošnje koji opisuju opterećenje sredine konzuma iz koje su prikupljena mjerenja.

Da bismo simulirali uticaj DC portova na smanjenje gubitaka u peroidu od 24 sata, potrebno je odrediti snage po satu. Snage po satu su dobijene tako što su vrijednosti funkcije scenarija pomnožene s maksimalnom aktivnom i reaktivnom snagom iz mjerenja. Za 35 kV distributivni nivo napravljena su dva scenarija, a za 10 kV distributivne sisteme četiri scenarija potrošnje, slika 36. Pored ovoga napravljeni su scenariji rada solarnih elektrana i punionica za električna vozila (slika 36), dok za hidroelektrane se smatra da rade 24 sata s maksimalnom proizvodnjom. Dva scenarija su napravljena za 35 kV mreže, zbog manjih vremenskih varijacija u dijagramima opterećenja za periode niske i visoke potrošnje. Za 10 kV mrežu, zbog raznolikosti perioda visoke i niske potrošnje na dijagramima dnevnog opterećenja, uzeta su četiri scenarija.

Prije pokretanja algoritma za svaku trafostanicu se definiše kojem scenariju potrošnje pripadaju i pokrene se algoritam. Rezultati algoritma dati su u narednim poglavljima.



Slika 36. Scenariji dijagrama potrošnje za 35 kV naponski nivo; stambene zone na 10 kV nivou; komercijalne i industrijske zone na 10 kV nivou; punionica za električna vozila i solarne elektrane

4.2. Parametri 35 kV distributivnih sistema Cetinja i Podgorice, okolnih 35 kV sistema i dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja

Primjenljivost DC portova u savremenim distributivnim sistemima 35 kV i 10kV naponskog nivoa prikazana je na primjerima 35 kV distributivnih sistema Cetinja i Podgorice, i dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja. Razlog odabira ova dva 35 kV sistema jeste da bi se pokazalo kako DC portovi funkcionišu u stvarnim 35 kV sistemima koji imaju u planu izgradnju ili izgrađenu distributivnu proizvodnju.

Da bismo prikazali doprinos DC portova 35kV distributivnim sistemima Podgorice i Cetinja, potrebno je modelovanje i sistema sa kojima se preko DC portova distributivni sistemi Podgorice i Cetinja vežu u paralelan rad. Razlog modelovanja susjednih sistema je zbog pozicija samih DC portova koji se postavljaju u tačkama, trafostanicama, gdje su rastavljeni prsteni između sistema. U 10 kV sistemu nije potrebno modelovanje susjednih distributivnih sistema, jer dio

mreže koji je modelovan za analizu, obuhvata sve elemente (trafostanice i kablovske veze) potrebne da se izvodi mogu vezati u prsten. Ove trafostanice u kojima je rastavljena veza između dva distributivna sistema, nazivaju se trafostanica sa dva napona. Jedan napon dolazi od jednog distributivnog sistema do izlaznih rastavljača unutar postrojenja, a drugi dolazi od drugog distributivnog sistema koji napaja tu trafostanicu.

Trafostanice u kojima se nalaze dva napona, definišu se na osnovu analiza proračuna tokova snaga za različita uklopna stanja. Iz ove analize operator definiše poziciju trafostanice gdje je najbolje da se drži otvoren prsten. Podaci gdje se unutar distributivnog sistema Crne Gore drži otvoren prsten, odnosno dva napona, dostavljeni su od operatora distributivnog sistema CEDIS-a. U narednom poglavlju biće opisani parametri mreža i podaci o maksimalnoj potrošnji trafostanica za 2023. godinu za 35 kV distributivne sisteme Podgorice i Cetinja, kao i okolne distributivne sisteme Danilovgrada, Virpazara, Kotora i Mojkovca, i maksimalna opterećenja izvoda 10 kV koji se napajaju iz trafostanica 35/10 kV Stari Obod, Novi Obod i Humci. Potrebno je napomenuti da susjedni sistemi, kao i sistemi Podgorice i Cetinja, dio su crnogorskog elektrodistributivnog sistema, a da su podjele na distributivni sistem Podgorice, Cetinja, Kotora, Virpazara i Mojkovca napravljene na osnovu napojnih trafostanica, koje napajaju ove djelove ukupnog crnogorskog elektrodistributivnog sistema.

Takođe, biće navedene snage DC portova, transformatora, koji prilagođavaju napon konvertorima DC porta, snage distribuiranih generatora, koje se nalaze u distributivnim sistemima i date zamjenske šeme sistema koje se koriste za pokretanje algoritma.

4.2.1. Parametri distributivnih sistema 35 kV Podgorice i okolnih 35 kV sistema koje se koriste u proračunu

Zamjenska šema distributivnih sistema 35 kV Podgorice i okolnih distributivnih sistema Podgorice prikazana su na slici 37. Na zamjenskoj šemi predstavljeni su i prenosni napojni transformatori iz trafostanica: 220/110/35 kV Podgorice 1, 110/35 kV Danilovgrad, 110/35kV Virpazar i 110/35 kV Mojkovac. Tačka 1 predstavlja prenosnu mrežu na 110 kV naponskom nivou. Referentni napon na prenosnoj mreži, zbog dužine i opterećenja mreže, uzet je za 36 kV. Podaci o parametrima grana između trafostanica dati su u tabeli 11, kao i AC veze DC portova sa trafostanicama. DC portovi su vezani sa trafostanicom u kojoj su smješteni preko transformatora 35/10 kV nominalne snage 5 MVA, a sa susjednom trafostanicom preko AC dalekovoda i drugog transformatora 35/10kV nominalne snage 5 MVA.

Parametri nominalne vrijednosti potrošnje date su u tabeli 9, a u tabeli 10 prikazane su maksimalne snage mHE, maksimalne snage SE dobijene iz mjerenja od CEDIS-a i maksimalne aktivne i reaktivne snage DC portova. Koeficijent gubitaka DC portova je uzet sa vrijednošću 0.005. Male hidroelektrane su uzete da rade s fakrotom snage 1, a solarne elektrane s faktorom snage 0,95 kapacitivno. U tabeli 9, dati su nazivi trafostanica. Trafostanice su prenosnog odnosa 35/10 kV i 35/0.4 kV, osim trafostanica gdje mHE prenosni odnos zavisi od agregata koji su priključeni na mrežu.

Tabela 9. Parametri potrošnje 35 kV distributivnog sistema Podgorice i okolnih 35 kV sistema

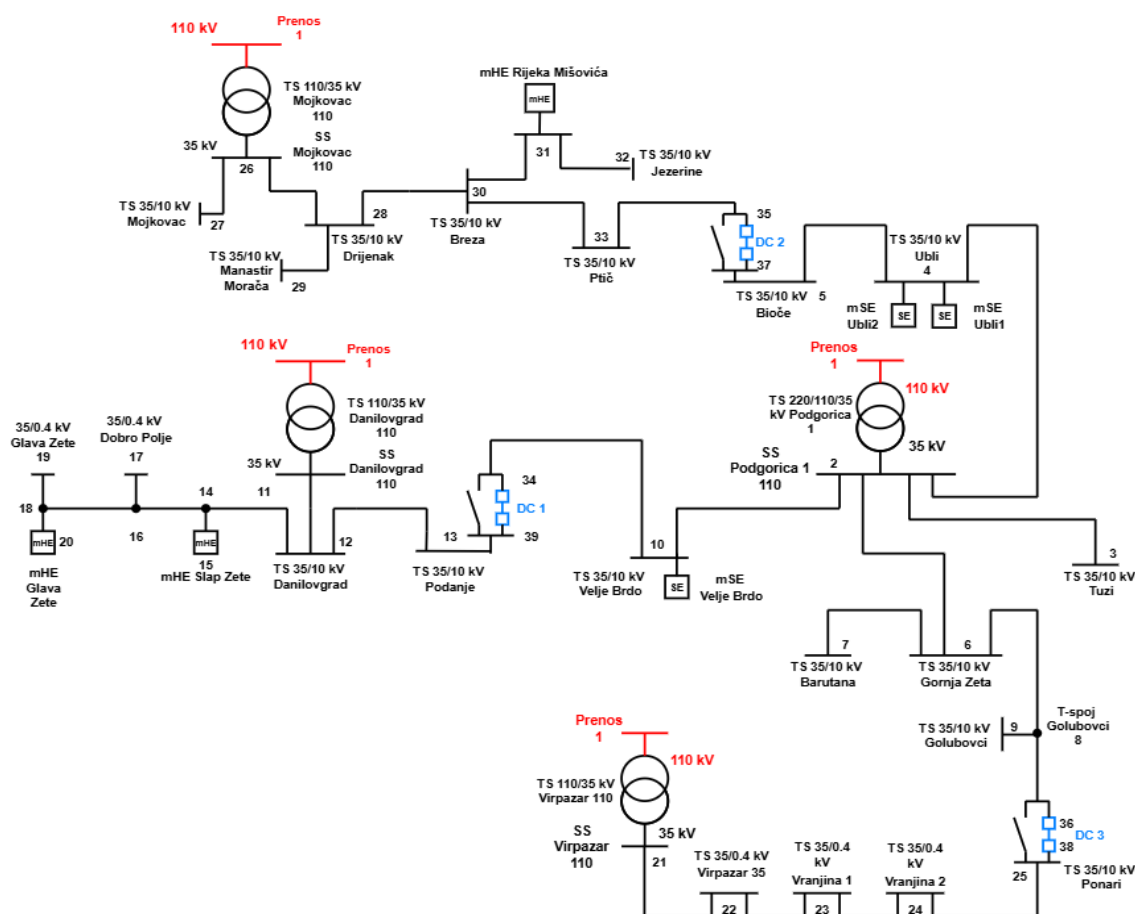
Čvor	Naziv	Sce	Pn [MW]	Qn [MVar]	Čvor	Naziv	Sce	Pn [MW]	Qn [MVar]
1	Prenos	0	0	0	21	Virpazar 110	0	0	0
2	SS1 PG1	0	0	0	22	Virpazar 35	1	1,7	0,75
3	Tuzi	1	9,72	3,50	23	Vranjina 1	2	0,14	0,05
4	Ubli	2	0,88	0,10	24	Vranjina 2	2	0,05	0,002
5	Bioče	2	1,75	0,55	25	Ponari	1	2	0,85
6	Gornja Zeta	1	5,00	1,80	26	SS_Mojkovac	0	0	0
7	Barutana	2	1,37	0,60	27	Mojkovac	1	3,5	1,11
8	T-spoj G.	0	0,00	0,00	28	Drijenak	1	2	0,85
9	Golubovci	1	3,50	0,95	29	Morača	1	0,63	0,3
10	Velje Brdo	2	2,20	0,75	30	Breza	1	3,65	0,9
11	Danilovgrad110	0	0	0	31	mHe RM	0	0	0
12	Danilovgrad 35	1	8,24	3,93	32	Jezerine	2	0,6	0,25
13	Podanje	1	6,51	2,71	33	Ptić	2	0,3	0,1
14	T-spoj Slap Zete	0	0	0	34	DC1_1	0	0	0
15	mHe Slap Zete	0	0	0	35	DC2_1	0	0	0
16	T-spoj D.Polje	0	0	0	36	DC3_1	0	0	0
17	Dobro Polje	2	0,2	0,1	37	DC1_2	0	0	0
18	T-spoj G.Zete	0	0	0	38	DC2_2	0	0	0
19	Glava Zete	2	0,05	0,022	39	DC3_2	0	0	0
20	MheGZ	0	0	0	-	-	-	-	-

Tabela 10. Nominalne snage mHE, SE i DC portova u 35 kV distributivnog sistema Podgorice i okolnih 35 kV sistema

Čvor	Elektrana	Pn [MW]	Čvor	Elektrana	Pn [MW]	Čvor	DC portovi	Pn [MW]	Qn [MVar]
10	SE Velje Brdo	3.5	31	mHE Rijeka Mušovića	1.5	34/37	DC1	2.75	±1.658
4	SE Ubli 1	5	20	mHE Glava Zete	5	35/38	DC2	2.75	±1.658
4	SE Ubli 2	4	15	mHE Slap Zete	2.5	36/39	DC3	2.75	±1.658

Tabela 11. Parametri grana 35 kV distributivnog sistema Podgorice i okolnih 35 kV sistema

Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]	Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]
1	1	2	0,0465	2,06	20	1	21	0,3614	6,4
2	2	3	2,1228	5,7828	21	21	22	0,595	0,38
3	2	4	6,277523	4,31256	22	22	23	3,7485	3,3712
4	4	5	5,46388	3,7536	23	23	24	0,6545	0,418
5	2	6	3,7047	3,63138	24	24	25	4,50875	3,735
6	6	7	3,1573	1,856	25	1	26	0,3614	6,49
7	6	8	1,95	2,04	26	26	27	0,000625	0,00245
8	8	9	0,623298	0,428196	27	26	28	3,0846	2,912818
9	2	10	0,9792	1,2384	28	28	29	5,4103	5,109
10	1	11	0,1517	3,28255	29	28	30	0,7956	1,0062
11	11	12	0,43758	0,47905	30	30	31	3,263575	2,0843
12	12	13	2,27358	2,48905	31	31	32	0,931326	1,198065
13	12	14	1,9278	2,1105	32	30	33	9,88675	10,16525
14	14	15	0,1224	0,134	33	10	34	3,3672	21,9442
15	14	16	2,142	2,345	34	13	39	1,47	19,5448
16	16	17	0,00306	0,00335	35	33	35	10,9724	26,0728
17	16	18	0,7344	0,804	36	5	37	1,47	19,5448
18	18	19	0,00765	0,008375	37	25	38	1,47	19,5448
19	18	20	0,08874	0,09715	38	8	36	2,620968	20,74889



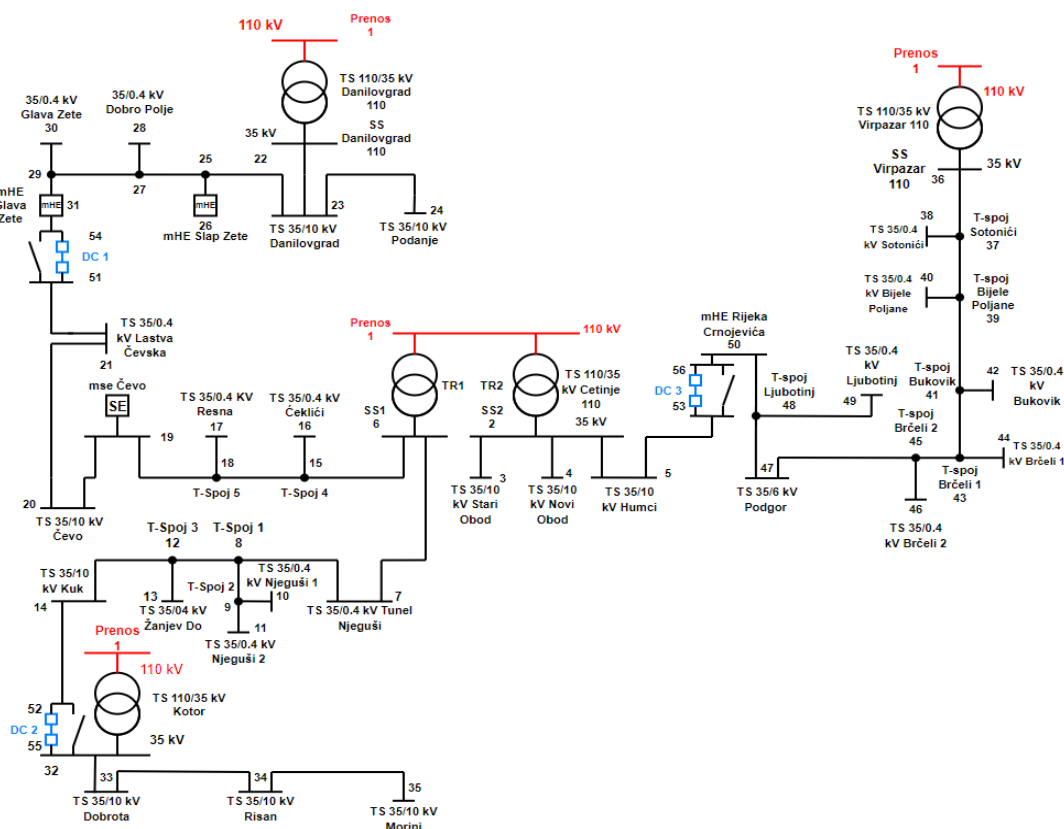
Slika 37. Zamjenska šema 35 kV distributivnog sistema Podgorice i okolnih 35 kV sistema

4.2.2. Parametri 35 kV distributivnog sistema Cetinja i okolnih 35 kV sistema koji se koriste u proračunu

Zamjenska šema distributivnih sistema 35 kV Cetinja i okolnih distributivnih sistema Cetinja prikazana su na slici 38. Na zamjenskoj šemi predstavljeni su i prenosni napojni transformatori iz trafostanica 110/35 kV Cetinje 110, 110/35 kV Danilovgrad, 110/35 kV Virpazar i 110/35 kV Kotor. Tačka 1 predstavlja prenosnu mrežu na 110 kV naponskom nivou. Referentni napon na prenosnoj mreži, zbog manjeg opterećenja mreže, jeste 35 kV za Cetinje 110 i Virpazar, a za Kotor i Danilovgrad 36 kV.

Potrošači u mreži su klasifikovani u dvije grupe: Scenario 1 ($S1$) i Scenario 2 ($S2$) za 35 kV stranu. Parametri „I“ šeme elemenata sistema dati su u tabeli 12 za prenosne transformatore i dalekovode. Grane 50, 51, 52, 53, 54 i 55 predstavljaju AC vezu DC portova sa AC stranom. U granama 50, 51 i 52 data je ukupna aktivna otpornost i rektansa redne veze AC dalekovoda koji ide do trafostanice u kojoj su DC portovi sa transformatorom 35/10 kV nominalne snage 5 MVA. Ovaj AC dalekovod bi bez DC portova bio u praznom hodu do krajnje trafostanice. Grane 53, 54 i 55 su parametri „I“ šeme samog transformatora, jer u ovom slučaju nema potrebe za modelovanjem AC dalekovoda, zato što se DC port nalazi u toj trafostanici. U tabeli 13 date su maksimalne snage mHE, maksimalne snage mSE i maksimalne aktivne i reaktivne snage DC portova. Koeficijent gubitaka DC portova je uzet sa vrijednošću 0.005. Male hidroelektrane su uzete da rade sa faktorom snage 1, a solarne elektrane sa faktorom snage 0,95 kapacitivno (*daju reaktivnu snagu*).

U tabeli 14 dati su nazivi trafostanica, podaci o maksimalnoj potrošnji trafostanica i dodijeljeni scenariji potrošnje trafostanice. Trafostanice su prenosnog odnosa 35/10 kV i 35/0.4 kV, osim trafostanica gdje su OIE, u kojima prenosni odnos zavisi od agregata koji su priključeni na mrežu.



Slika 38. Zamjenska šema 35 kV distributivnog sistema Cetinja i okolnih 35 kV sistema

Tabela 12. Parametri grana 35 kV distributivnog sistema Cetinja i okolnih 35 kV sistema

Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]	Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]
1	1	2	0.1878	4.0012	29	29	30	0.00765	0.000948
2	2	5	0.16645	0.050555	30	29	31	0.0918	0.036479
3	2	3	0.670702	0.204594	31	1	32	0.1878	4.0012
4	2	4	0.236694	0.191338	32	32	33	1.53	0.607977
5	1	6	0.3096	6.55	33	33	34	3.2436	1.288911
6	6	7	2.648875	0.811905	34	34	35	2.4939	0.991003
7	7	8	0.787375	0.243046	35	1	36	0.3096	6.55
8	8	9	0.05475	0.016731	36	36	37	0.5814	0.231031
9	9	10	0.03285	0.010039	37	37	38	0.02295	0.00912
10	9	11	0.146	0.044616	38	37	39	0.7956	0.316148
11	8	12	1.0585	0.323469	39	39	40	0.7038	0.279669
12	12	13	0.01095	0.003346	40	39	41	0.292	0.089233
13	12	14	0.85723	0.344929	41	41	42	0.146	0.044616
14	6	15	3.65	1.11541	42	41	43	0.5475	0.167312
15	15	16	0.1095	0.033462	43	43	44	0.0073	0.002231
16	15	18	1.314	0.401548	44	43	45	0.4015	0.122695
17	18	17	0.0365	0.011154	45	45	46	0.0219	0.006692
18	18	19	2.2106	0.685899	46	45	47	0.4745	0.145003
19	19	20	0.64475	0.207388	47	47	48	3.0975	0.919035
20	20	21	2.555	0.780787	48	48	49	0.2065	0.061269
21	1	22	0.1517	3.28255	49	48	50	1.8585	0.551421
22	22	23	0.3198	0.059171	50	21	51	0,438	0,133849
23	23	24	2.295	0.284533	51	31	54	1,47	19,5448
24	23	25	1.9278	0.239008	52	5	53	4,7082	1,396933
25	25	26	2.4381	0.015175	53	50	56	1,47	19,5448
26	25	27	2.142	0.265564	54	14	52	1,48228	0,512872
27	27	28	0.00306	0.000379	55	32	55	1,47	19,5448
28	27	29	0.7344	0.091051	-	-	-	-	-

Tabela 13. Nominalne snage mHE, DC portova i mSE u 35 kV distributivnog sistema Cetinja i okolnih 35 kV sistema

Čvor	Elektrana	Pn [MW]	Čvor	Elektrana	Pn [MW]	Čvor	DC portovi	Pn [MW]	Qn [MVar]
10	SE Velje Brdo	3.5	21	mHE Rijeka Mušovića	1.5	51/54	DC1	2.75	±1.658
4	SE Ubli 1	5	20	mHE Glava Zete	5	52/55	DC2	2.75	±1.658
4	SE Ubli 2	4	16	mHE Slap Zete	2.5	53/56	DC3	2.75	±1.658

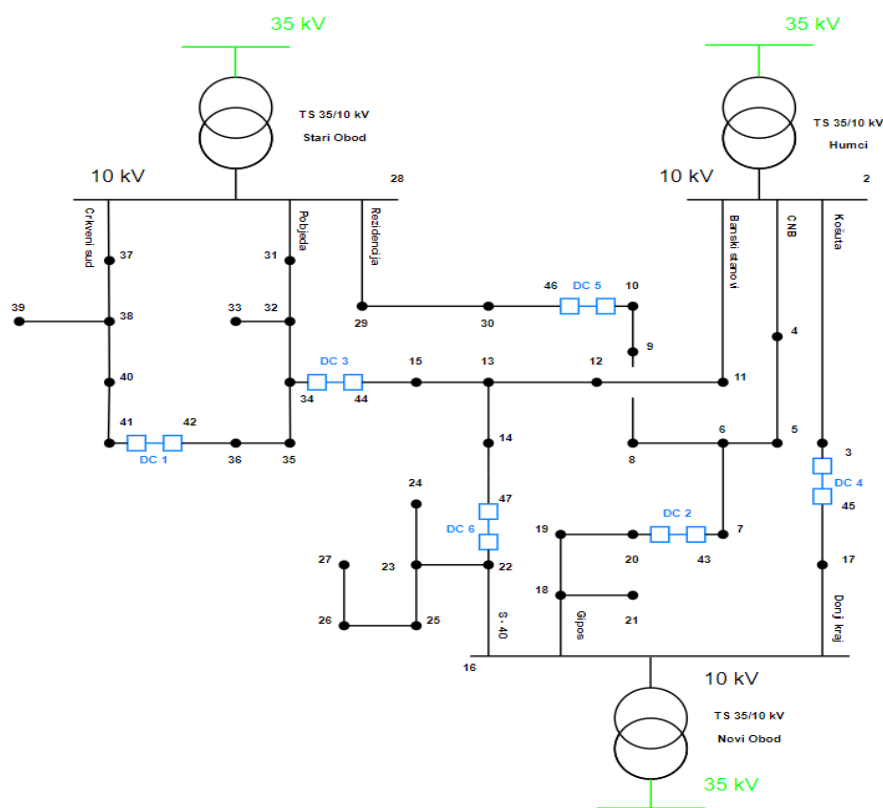
Tabela 14. Parametri potrošnje 35 kV distributivnog sistema Cetinja i okolnih 35 kV sistema

Čvor	Naziv	Sce	Pn [MW]	Qn [MVar]	Čvor	Naziv	Sce	Pn [MW]	Qn [MVar]
1	Prenos	0	0.00	0.00	29	T-spoj G. Zete	0	0.00	0.00
2	Sabirnice 1 CT	0	0.00	0.00	30	G. Zete	2	0.05	0.02
3	Stari Obod	1	3.46	0.68	31	mHe G. Zete	0	0.00	0.00
4	Novi Obod	1	2.02	0.35	32	Sabirnice Kotor	0	0.00	0.00
5	Humci	1	2.52	0.63	33	Dobrota	1	3.00	1.45
6	Sabirnice 2 CT	0	0.00	0.00	34	Risan	1	2.00	0.97
7	Tunel Njeguši	1	0.02	0.01	35	Morinj	2	0.55	0.21
8	T - spoj 1	0	0.00	0.00	36	Sabirnice Virpazar	0	0.00	0.00
9	T - spoj 2	0	0.00	0.00	37	T- spoj Sotonići	0	0.00	0.00
10	Njeguši 1	2	0.17	0.08	38	Sotonići	2	0.05	0.02
11	Njeguši 2	2	0.18	0.09	39	t-spoj B.Poljane	0	0.00	0.00
12	T - spoj 3	0	0.00	0.00	40	Bijele Poljane	2	0.02	0.01
13	Žanjev Do	2	0.12	0.06	41	T-spoj Bukovik	0	0.00	0.00
14	Kuk	2	0.50	0.01	42	Bukovik	2	0.04	0.02
15	T - spoj 4	0	0.00	0.00	43	T-spoj BR1	0	0.00	0.00
16	Ceklići	2	0.05	0.02	44	Brčeli 1	2	0.01	0.00
17	Resna	2	0.02	0.01	45	T-spoj BR2	0	0.00	0.00
18	T - spoj 5	0	0.00	0.00	46	Brčeli 2	2	0.03	0.01
19	SE Čevo	0	0.00	0.00	47	Podgor	1	2.15	1.04
20	Čevo	2	0.09	0.07	48	T-spoj Ljubotinj	0	0.00	0.00
21	Lastva Čevska SS	2	0.05	0.03	49	Ljubotinj	2	0.30	0.15
22	Danilovgrad 110	0	0.00	0.00	50	mHe Rijeka Crnojevića	0	0.00	0.00
23	Danilovgrad 35	1	5.72	1.93	51	DC1_1	0	0	0
24	Podanje	1	4.41	1.72	52	DC2_1	0	0	0
25	T-spj S.Zete	0	0.00	0.00	53	DC3_1	0	0	0
26	mHe S.Zete	0	0.00	0.00	54	DC1_2	0	0	0
27	T-spoj D.Polje	0	0.00	0.00	55	DC2_2	0	0	0
28	Dobro Poje	2	0.20	0.10	56	DC3_2	0	0	0

4.2.3. Parametri dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja koji se koristi u proračunu

Da bi se sprovedla analiza doprinosa DC portova u stvarnim sistemima drugog naponskog nivoa, analiza je rađena na dijelu 10 kV mreže Cetinja. Na zamjenskoj šemi predstavljene su trafostanice 10/0.4 kV, dok tačke 28, 2 i 16 sistema Cetinja predstavljaju sabirnice 35/10 kV trafostanica Humci, Novi Obod i Stari Obod. Tačka 1 predstavlja feder 35 kV mreže. Potrošači su modelovani kao potrošači konstantne snage na osnovu mjerenja koja su pribavljena od operatora distributivnog sistema CEDIS-a o maksimalnim opterećenjima izvoda u trafostanicama. Od operatora distributivne mreže su nabavljeni podaci o maksimalnom opterećenju izvoda koji su korišćeni u proračunu: Košuta, CNB i Banski Stanovi iz TS 35/10 kV Humci, Donji kraj, Gipos, S-404 iz TS 35/10 kV Novi Obod, Rezidencija, Pobjeda, Crkveni sud iz TS 35/10kV Stari Obod. Pošto opterećenja po trafostanicama nisu dostupna već opterećenja ovih izvoda u TS 35/10 kV, u radu je aproksimirano da je opterećenje svih trafostanica jednog izvoda isto. Opterećenja 10/0.4 kV trafostanica izvoda su dobijena dijeljenjem maksimalnog opterećenja izvoda sa brojem trafostanica zakačenim za taj izvod. Za svaki čvor vezani su određeni scenariji potrošnje, kako bi se dobio reprezentativni dijagram opterećenja trafostanica. Podaci su očitani iz mjerenja za 2023. godinu.

Osnovna topologija 10 kV Cetinja je data bez punionica za električna vozila i solarnih elektrana. Modifikacije koje su dodate su tri solarne elektrane i tri punionice za električna vozila u sistemu Cetinja. Nominalne vrijednosti po čvorovima, snage solarnih elektrana, punionica, maksimalne aktivne i reaktivne snage DC portova date su u tabelama 17 i 15, a podaci o parametrima distributivne mreže su dati u tabeli 16. Koeficijent gubitaka DC portova je uzet sa vrijednošću 0.005. Na 10 kV naponskom nivou nisu modelovani dodatni transformatori koji prilagođavaju napon DC portovima, samo AC veze do trafostanica u kojima se nalaze dva napona.



Slika 39. Zamjenska šema dijela 10kV distributivnog sistema Cetinja

Tabela 15. Nominalne snage punionica i SE u dijelu 10 kV distributivnog sistema Cetinja i DC portova

Čvor	Naziv	Pn [kW]	DC portovi	Čvor	Pn [MW]	Qn [MVar]
8	Punionica 1	400	DC 1	41-42	0.8	0.2
15	SE 1	500	DC 2	43-20	0.8	0.2
26	SE 2	500	DC 3	34-44	0.8	0.2
20	Punionica 2	400	DC 4	45-3	0.8	0.2
32	Punionica 3	200	DC 5	10-46	0.8	0.2
41	SE 3	700	DC 6	47-22	0.8	0.2

Tabela 16. Parametri grana dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja

Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]	Broj grane	Od čvora	Do čvora	R[Ω]	X[Ω]
1	1	2	0.0005	0.0005	24	23	25	0.155	0.163542
2	2	3	0.153	0.133973	25	25	26	0.19096	0.201483
3	2	4	2.189643	0.55398	26	26	27	0.21156	0.164724
4	4	5	0.13896	0.100229	27	1	28	0.0005	0.0005
5	5	6	0.23436	0.247275	28	28	29	0.15375	0.153201
6	6	7	0.2907	0.254549	29	29	30	0.0375	0.037366
7	6	8	0.33232	0.350633	30	28	31	0.327635	0.173495
8	8	9	0.5356	0.340167	31	31	32	0.12276	0.129525
9	9	10	0.38934	0.247275	32	32	33	0.07622	0.048408
10	2	11	0.4018	0.312849	33	32	34	0.06324	0.066725
11	11	12	0.499675	0.264597	34	34	35	0.350405	0.185553
12	12	13	0.464	0.20185	35	35	36	0.2296	0.178771
13	13	14	4.126214	0.111208	36	28	37	0.19282	0.203446
14	13	15	4.533679	0.121806	37	37	38	0.1023	0.107938
15	1	16	0.0005	0.0005	38	38	39	0.3795	0.20096
16	16	17	0.1339	0.085042	39	38	40	0.22222	0.173024
17	16	18	0.34505	0.219146	40	40	41	0.15334	0.119393
18	18	19	0.5184	0.225515	41	41	42	0.1845	0.143655
19	19	20	0.2416	0.105101	42	7	43	0.256275	0.224405
20	18	21	0.783675	0.305208	43	15	44	0.193	0.139207
21	16	22	0.952425	0.833984	44	17	45	0.206	0.130833
22	22	23	0.11475	0.10048	45	30	46	0.03	0.029893
23	23	24	0.4841	0.307458	-	-	-	-	-

Tabela 17. Parametri potrošnje dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja

Čvor	Sce	Pn [kW]	Qn [kVAr]	Čvor	Sce	Pn [kW]	Qn [kVAr]
1	-	0,000	0,000	22	ST2	95,000	13,537
2	-	0,000	0,000	23	I	95,000	13,537
3	ST2	115,000	16,387	24	K	95,000	13,537
4	ST2	115,000	16,387	25	ST2	95,000	13,537
5	ST2	115,000	16,387	26	ST2/SE	95,000	13,537
6	ST2	115,000	16,387	27	ST2	95,000	13,537
7	K	115,000	16,387	28		0,000	0,000
8	ST2/P	115,000	16,387	29	I	50,000	7,125
9	K	115,000	16,387	30	I	50,000	7,125
10	ST2	115,000	16,387	31	ST2	60,000	8,550
11	ST2	111,000	15,817	32	ST2	60,000	8,550
12	ST2	111,000	15,817	33	ST2/P	60,000	8,550
13	ST2	111,000	15,817	34	K	60,000	8,550
14	K	111,000	15,817	35	K	60,000	8,550
15	K/SE	111,000	15,817	36	K	60,000	8,550
16		0,000	0,000	37	ST1	30,000	4,275
17	K/P	156,000	22,229	38	K	30,000	4,275
18	K	120,000	17,099	39	ST1	30,000	4,275
19	K	120,000	17,099	40	ST1	30,000	4,275
20	I/P	120,000	17,099	41	ST1/SE	30,000	4,275
21	I	120,000	17,099	-	-	-	-

4.3. Rezultati simulacije

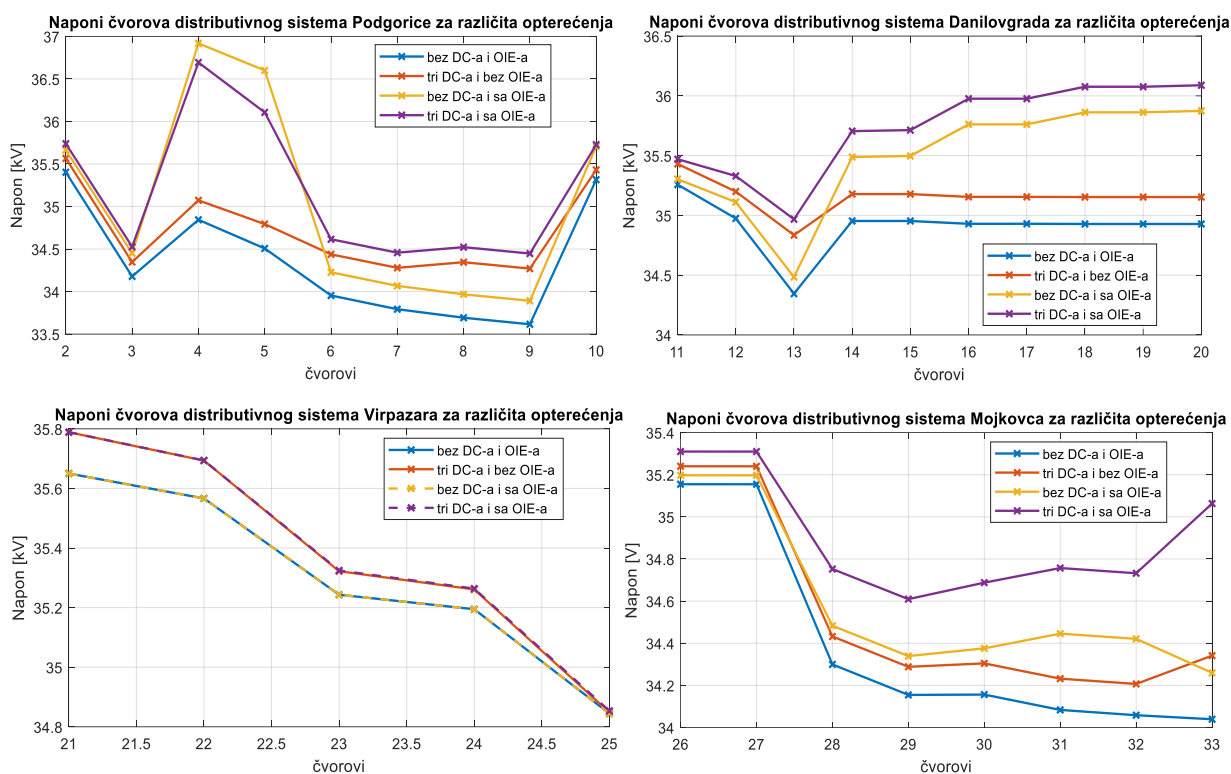
U poglavlju rezultati simulacije implementiran je algoritam za proračun optimalnih upravljačkih varijabli DC portova u distributivnim sistemima 35kV Podgorice, Cetinja, i dijela 10 kV sistema Cetinja. Za 35kV sisteme su analizirane naponske prilike i gubici sistema sa i bez DC portova, za slučaj maskimalnog rada i za slučaj kada nema proizvodnje iz distribuiranih generatora, pri različitim opterećenjima konzuma (100%, 80% i 40%). Za 10 kV sistem rađena je komparativna analiza pri različitim opterećenjima u određenim trenucima dana između stvarnog i modifikovanog sistema.

U drugom dijelu analiziraće se rad DC portova u 10 kV i 35 kV sistemima za period od 24h, na osnovu formiranih dijagrama opterećenja i dati rezultati promjene gubitaka distributivnog sistema za taj period. Za analizu u 35 kV sistemima analiziraće se ponašanje gubitaka kada postoji samo proizvodnja iz solara, samo iz hidroelektrana, sa oba tipa distribuiranih generatora i bez distirbutivnih generatora. Za svaki slučaj, rađena je i analiza sa i bez DC portova. Za 10 kV sisteme radiće se analiza rada DC portova za modifikovan distributivni sistem i sistem bez modifikacija, za period od 24h.

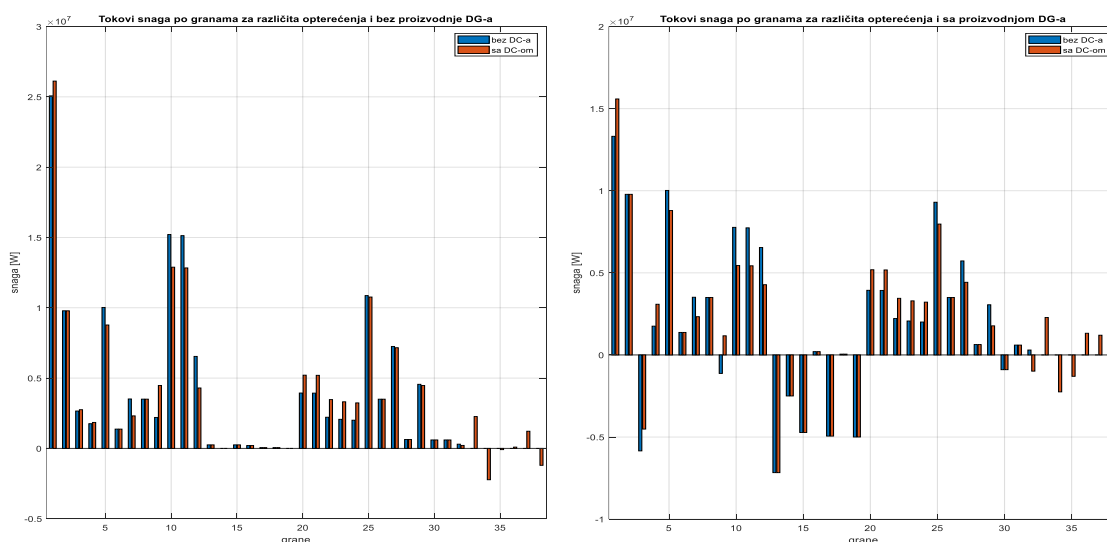
4.3.1. Rezultati simulacije za 35 kV distributivni sistem Podgorice i okolnih distributivnih sistema

Prvi dio analize odnosi se na naponske prilike i gubitke u sistemu za različita opterećenja konzuma, a u drugom dijelu biće prikazan uticaj na smanjenje gubitaka za period od 24 h. Na slici 40, dati su naponi čvorova distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Mojkovca i Virpazara, pri maksimalnom opterećenju konzuma za četiri slučaja:

- kada nema DC portova ugrađenih u sistemu i kada nema proizvodnje iz obnovljivih izvora;
- kada nema DC portova i ima proizvodnje iz obnovljivih izvora;
- kada su ugrađeni DC portovi i nema proizvodnje iz obnovljivih izvora;
- kada su ugrađeni DC portovi i ima proizvodnje iz obnovljivih izvora.



Slika 40. Naponi distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Virpazara i Mojkovca pri maksimalno opterećenom konzumu



Slika 41. Tokovi snaga po granama distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Mojkovca i Virpazara pri maksimalnom opterećenju konzuma

Sa slike 40, vidi se da u slučajevima kada nema proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije, plavi graf sa slike 40, ugradnja DC portova, crveni graf, dovodi do poboljšanja naponskih prilika u odnosu na slučaj bez njih. Za sistem Podgorice najniži napon je u čvoru 9, TS 35/10 kV Golubovci, koja je i najudaljenija od napojne trafostanice i iznosi 33.6 kV kada nema DC portova. Sa ugradnjom DC portova napon čvora 9 se povećava na 34.7 kV. Razlog ovome se može vidjeti iz tablele 19, gdje se da primijetiti da DC port koji spaja sistem Podgorice sa sistemom Virpazara, daje 1.32 MW aktivne snage iz sistema Virpazara prema sistemu Podgorice. Ovo dovodi do rasterećenja grana 5 i 7 (slika 41). Rasterećenje grane 5 dovodi do manjeg pada napona na ovome dijelu mreže i boljih naponskih prilika u čvorovima 6, 7, 8 i 9, jer se svi ovi čvorovi napajaju preko grane 5 od napojne trafostanice. U sistemu Virpazara, iako dolazi do povećanja prenosa aktivne snage, dolazi do kompenzacije reaktivne snage u trafostanici gdje je DC port. Ovo dovodi do smanjenja prenosa reaktivne snage kroz sistem i smanjenja reaktivnog pada napona i boljih naponskih prilika u sistemu Virpazara. Ista pojava se dešava i u distributivnom sistemu Danilovgrada. Kada nema DC porta čvor 13, TS 35/10 kV Podanji, napaja se preko napojnog transformatora iz Danilovgrada, i tada naponi u čvoru 13 iznose 34.3 kV. Sa DC portom dolazi do kompenzacije reaktivne snage u čvoru 13, u kojem se nalazi DC port, i dio aktivne snage se (tabela 18), preko DC porta, prenosi od distributivnog sistema Podgorice. Ovo dovodi do rasterećenja grana 10, 11 i 12 (slika 41), i boljih naponskih prilika u distributivnom sistemu Danilovgrada (slika 40). DC port sa strane Danilovgrada vrši kompenzaciju reaktivne snage i daje maksimalnu količinu reaktivne snage koju DC port može dati, dok na strani Podgorice zbog boljih naponskih prilika DC port daje manju količinu reaktivne snage. U sistemu Mojkovca takođe dolazi do kompenzacije reaktivne snage preko DC portova, što dovodi do poboljšanja naponskih prilika u sistemu Mojkovca, ali preko DC porta dolazi do manjeg prenosa aktivne snage (tabela 20). Razlog ovome je udaljenost između TS Bioče i TS Ptič. Prenos snage preko ovoga dalekovoda bi doveo do povećanih gubitaka, što je prepoznao optimizacioni algoritam.

Na slici 40 su date i naponske prilike kada postoji proizvodnja iz obnovljivih izvora električne energije, za slučaj sa i bez DC portova. Iz rada DC portova i tabela 18, 19 i 20, dolazi se do zaključka da DC portovi između distributivnih sistema Podgorice i Danilovgrada i sistema Podgorice i Virpazara imaju slične upravljačke varijable, kao i u slučaju bez proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije. U sistemu Virpazara nema proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije i dijelu sistema Podgorice sa kojim se preko DC porta vezuju sistemi Podgorice i Virpazara u paralelu. U ova dva dijela distributivnih sistema ne dolazi do promjena tokova aktivnih snaga sa promjenom proizvodnje obnovljivih izvora, pa se ove promjene ne vide ni na radu DC porta (tabela 19). Za dio distributivnog sistema Danilovgrada koji se vezuje za distributivnim sistemom Podgorice, takođe nema većih promjena pri radu DC porta (tabela 18), jer promjene u radu mHE u sistemu Danilovgrada ne utiču na granu 12, preko koje se i dalje prenosi ista količina snage (slika 41). Međutim, DC port u slučaju kada ima proizvodnje iz mSE u čvoru 4, predaje 1.320 MW distributivnom sistemu Mojkovca zbog proizvodnje iz mSE (tabela 20). Proizvodnja iz obnovljivih izvora dovela je do promjene upravljačkih parametara DC portova između sistema. Konvertor DC porta, sa strane Danilovgrada, između Podgorice i Danilovgrada (tabela 19), ne mijenja vrijednost predate reaktivne snage, jer on direktno vrši kompenzaciju reaktivne snage u postrojenju u kojem se nalaze, dok konvertor sa strane Podgorice daje manje snage sistemu Podgorice zbog boljih naponskih prilika, zbog proizvodnje iz OIE-a u čvoru 10. Za slučaj konvertora DC porta između Podgorice i Virpazara, DC port na strani Podgorice u oba slučaja daje maksimalnu reaktivnu snagu, da bi najviše podigao napon u najudaljenijoj TS Golubovci (tabela 20). A drugi konvertor smanjuje predatu reaktivnu snagu zbog smanjenja prenosa aktivne snage preko DC portova. Konvertor DC porta, na strani Podgorice, između

Podgorice i Mojkovca, mijenja režim rada iz kapacitivnog u induktivni, da bi oborio povećani napon koji je posljedica priključenja mSE u čvoru 4.

Tabela 18. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Podgorice i Danilovgrada

Snage DC porta 1	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	2.256	-0.547	-2.233	-1.658
Slučaj sa OIE-om	2.276	-0.332	-2.253	-1.658

Tabela 19. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Virpazara i Podgorice

Snage DC porta 2	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	1.219	-0.944	-1.206	-1.685
Slučaj sa OIE-om	1.201	-0.942	-1.189	-1.685

Tabela 20. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Podgorice i Mojkovca

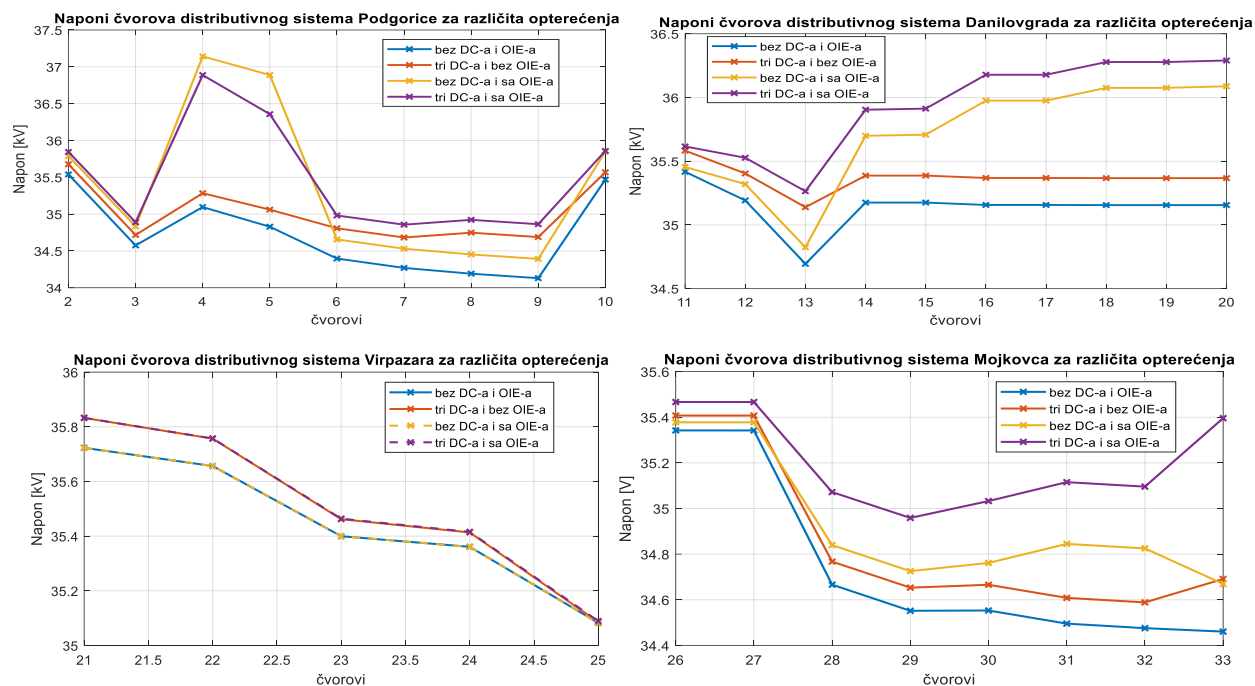
Snage DC porta 3	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.091	-0.655	-0.090	-0.435
Slučaj sa OIE-om	1.320	0.587	-1.306	-0.472

Na slici 40, vidi se da naponi u sistemu rastu s proizvodnjom obnovljivih izvora u odnosu na slučaj bez njih. Najveća promjena napona nastaje u čvorovima u kojima su priključeni obnovljivi izvori električne energije 4, 10, 16, 20 i 31. Najveći porast napona se javlja u čvoru 4, 36.9 kV (slika 40), sa ugradnjom DC portova napon se spušta na 36.7 kV. U ostalim čvorovima dolazi do poboljšanja napona u svim čvorovima u sistemu i u onima u kojima su priključene OIE. Ovo se dešava zbog kompenzacije reaktivne snage u čvorovima sistema, gdje se priključuju DC portovi i zbog rasterećenja grana sistema (slika 41).

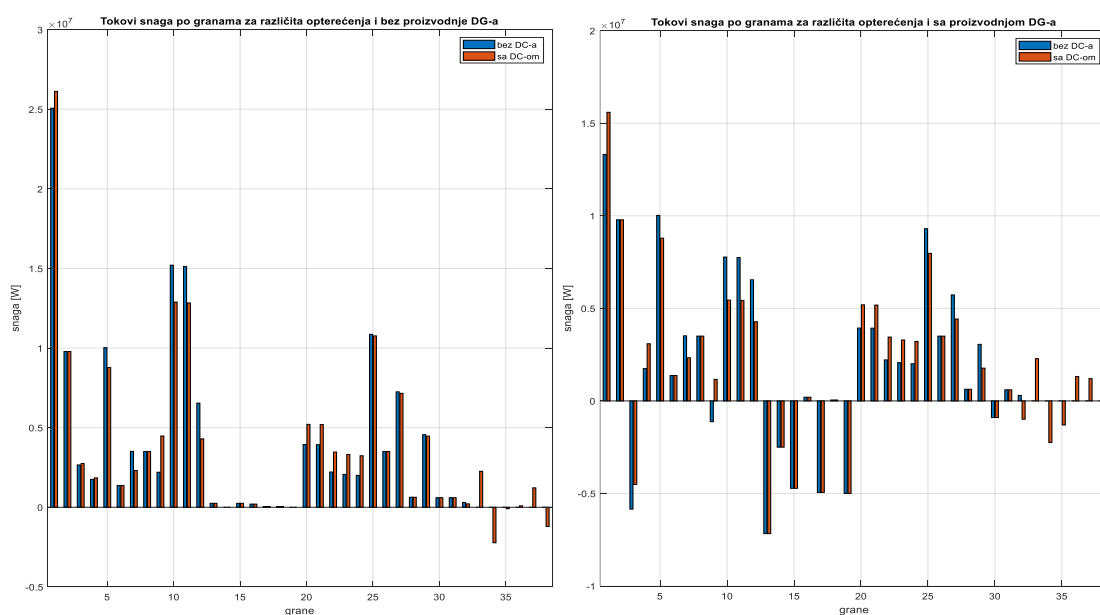
Tabela 21. Snaga gubitaka distributivnih sistema za 100% opterećenja konzuma

Snaga gubitaka distributivnih sistema za 100% opterećenja konzuma	Podgorice [kW]	Danilovgrada [kW]	Mojkovca [kW]	Virpazara [kW]	AC Grane DC portova [kW]	Ukupni [kW]
Gubici bez OIE i DC portova	640	194	171	46	0	1051
Gubici sa OIE i bez DC portova	769	267	112	46	0	1195
Gubici bez OIE i sa DC portovima	529	105	160	93	37	925
Gubici sa OIE i sa DC portovima	610	188	75	92	53	1020

Gubici u sistemu pri maksimalnoj potrošnji konzuma dati su u tabeli 21. Iz tabele se može zaključiti da proizvodnja iz obnovljivih izvora, bez DC portova, povećava gubitke u sistemima Danilovgrada i Podgorice, a smanjuje gubitke u sistemu Mojkovca. Sa DC portovima iskorišćenost proizvodnje iz obnovljivih izvora se povećava, jer dolazi do smanjenja ukupnih gubitaka, čime se energije iz OIE bolje plasira kroz sistem. Tri DC porta dovode do smanjenja gubitaka u mreži za 110 i 150 kW u odnosu na slučajeve sa i bez proizvodnje iz obnovljivih izvora a nema ugrađenih DC portova, što ukazuje da sa DC portovima u sistemu možemo više integrisati OIE. Do ovoga zaključka se dolazi jer sa istom količinom OIE i sa DC portovima u sistemu imamo manje gubitke i bolje naponske prilike nego bez DC portova, što ukazuje da možemo integrisati veću količinu OIE sa DC portovima da imamo iste parametre mreže kao i u slučaju bez DC portova.



Slika 42. Naponi distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Virpazara i Mojkovca pri 80% opterećenom konzumu



Slika 43. Tokovi snaga po granama distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Mojkovca i Virpazara pri 80% opterećenom konzumu

Za slučaj opterećenja konzuma od 80% maksimalne vrijednosti, naponi u distributivnim sistemima rastu zbog smanjenog konzuma i manjeg pada napona (slika 42). Najmanje vrijednosti napona u sistemima rastu u odnosu na sistem kada je maksimalno opterećenje (slika 40), što dovodi do manje potrebe za kompenzacijom reaktivne snage, što se vidi iz tabela 22, 23 i 24, gdje DC portovi daju manje vrijednosti reaktivnih snaga sistemima. Konvertor DC porta između Podgorice i Mojkovca će u slučaju proizvodnje iz OIE-a morati da uzima veću količinu reaktivne snage da bi se smanjio napon u tački priključka solarne elektrane (tabela 24). Do istih zaključaka se dolazi za promjene aktivne i reaktivne snage u slučajevima sa i bez OIE-a koju prenose DC portovi u slučaj 100 % opterećenog konzuma za DC portove između Podgorice i Danilovgrada i između Podgorice i Virpazara. Jedina razlika je što se prenosi manja snaga zbog manje opterećenog konzuma. Na slici 43, dati su tokovi snaga za slučaj 80% opterećenog konzuma.

Tabela 22. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Podgorice i Danilovgrada

Snage DC porta 1	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	1.8123	-0.3705	-1.7949	-1.6583
Slučaj sa OIE-om	1.8302	-0.1763	-1.8119	-1.6583

Tabela 23. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Virpazara i Podgorice

Snage DC porta 2	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.9642	-0.7294	-0.9546	-1.5765
Slučaj sa OIE-om	0.9507	-0.7282	-0.9412	-1.6023

Tabela 24. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Podgorice i Mojkovca

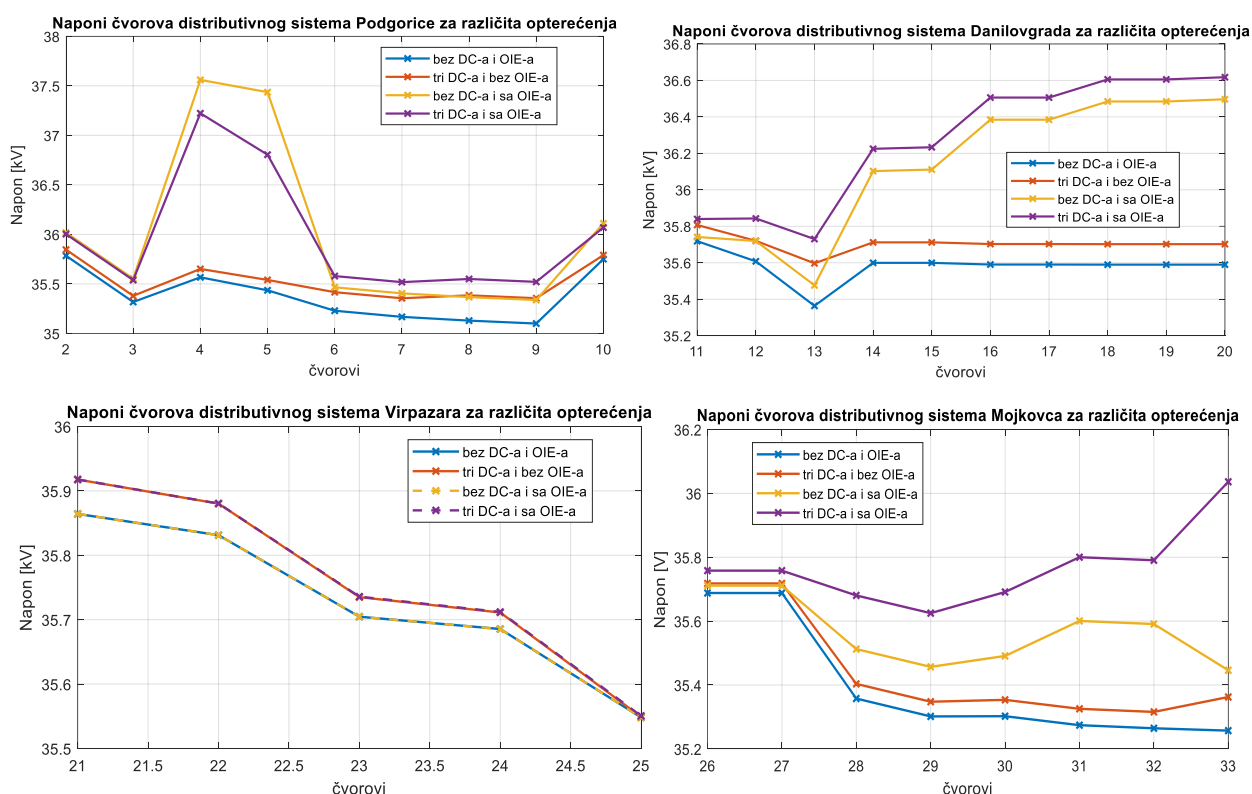
Snage DC porta 3	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.0682	-0.5031	-0.0675	-0.3388
Slučaj sa OIE-om	1.2989	0.7292	-1.2859	-0.3805

Tabela 25. Snaga gubitaka distributivnih sistema za 80% opterećenja konzuma

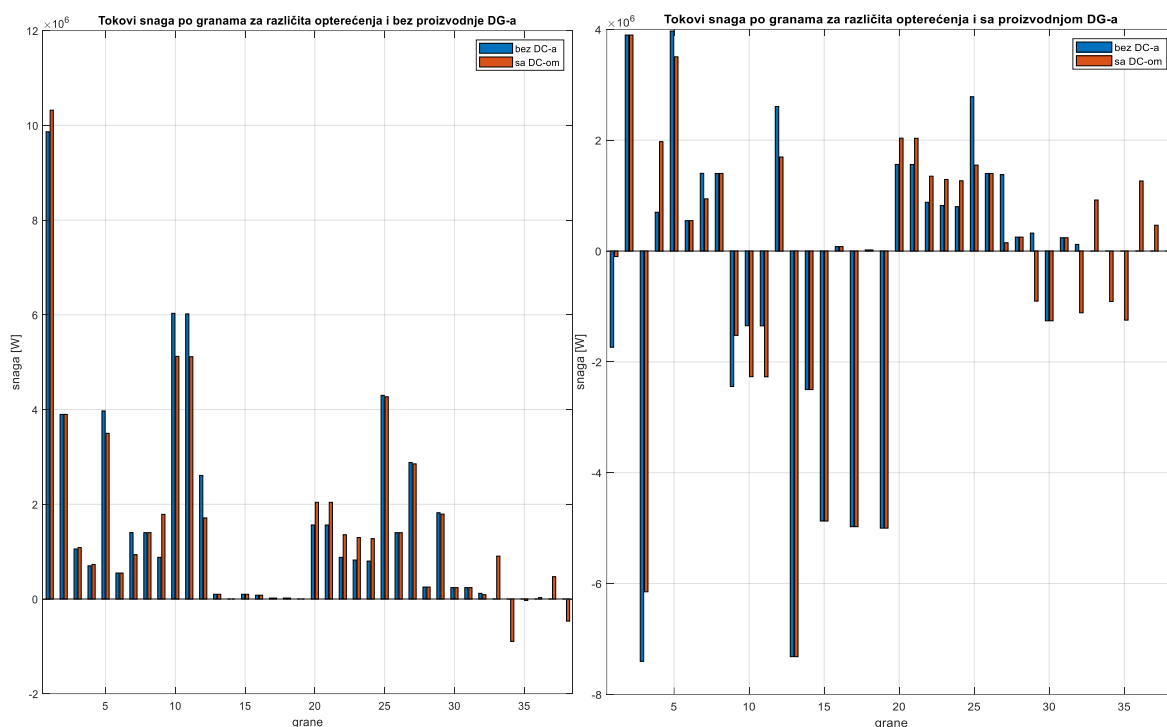
Snaga gubitka distributivnih sistema za 80% opterećenja konzuma	Podgorice [kW]	Danilovgrada [kW]	Mojkovca [kW]	Virpazara [kW]	AC Grane DC portova [kW]	Ukupni [kW]
Gubici bez OIE i DC portova	399	122	107	29	0	657
Gubici sa OIE i bez DC portova	580	212	64	29	0	885
Gubici bez OIE i sa DC portovima	330	64	101	58	26	580
Gubici sa OIE i sa DC portovima	452	162	42	57	42	757

Gubici u sistemu kada proizvode obnovljivi izvor električne energije rastu za 200 kW (tabela 25). Sa DC portovima gubici u sistemima se smanjuju za 80 kW u slučaju kada nema proizvodnje i za 130 kW kada ima proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije. Iz tabele se može zaključiti da sa proizvodnjom iz OIE-a dolazi do povećanja gubitaka u sistemima Podgorice i Danilovgrada. Sa ugradnjom DC portova povećava se nivo integracije OIE-a kroz smanjenje gubitaka i boljeg iskorišćenja distributivnih izvora.

Kada je opterećenje konzuma 40% maksimalnog opterećenja, naponi u mreži rastu, jer pad napona opada sa smanjenjem opterećenja. S proizvodnjom iz OIE-a dolazi do još većih napona u čvorovima priključka OIE-a. Naponi u čvorovima sistema ne padaju ispod 35 kV (slika 44), što bi zahtijevalo da se spusti vrijednost referentnog napona sa 36 na nižu vrijednost. Proizvodnja iz solarne elektrane Ubli i Velje Brdo pokriva potrošnju konzuma sistema Podgorice i dio snage šalje u prenosnu mrežu (slika 45). Sa DC portovima javlja se veća iskorišćenost i integracija OIE-a jer se u prenosnu mrežu plasira manja količina snage, grana 1 (slika 45), time se više energije iz distributivne proizvodnje troši unutar distributivnog sistema. Međutim, sa DC portovima dolazi do povećanja predate snage prenosnoj mreži preko sistema Danilovgrada. Ovim se dobija manja iskorišćenost energije iz OIE-a u sistemu Danilovgrada, jer se energija proizvedena ne troši u Danilovgradu nego se plasira u prenosnu mrežu.



Slika 44. Naponi distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Virpazara i Mojkovca pri 40% opterećenom konzumu



Slika 45. Tokovi snaga po granama distributivnih sistema Podgorice, Danilovgrada, Mojkovca i Virpazara pri 40% opterećenom konzumu

DC portovi sa smanjenjem snage konzuma mijenjaju svoje upravljačke varijable u odnosu na prethodne slučajeve. Iz tabela 26, 27 i 28 vidi se, u poređenju sa prethodnim slučajevima, da se aktivna snaga koju prenose DC portovi i reaktivna snaga koju daju u mreži smanjila. Razlog tome je smanjenje konzuma i manja potreba za balansiranjem energije između izvoda. Ponašanje aktivnih i reaktivnih snaga koju prenose DC portovi u slučajevima sa i bez proizvodnje iz OIE-a je isti kao i u slučaju 100 % opterećenog konzuma za DC portove između Podgorice i Danilovgrada i između Podgorice i Virpazara. Razlika je što se prenosi manja snaga zbog manje opterećenog konzuma. Konvertor DC porta između Podgorice i Mojkovca, koji je na strani Podgorice, uzima veću količinu reaktivne snage da bi smanjili povećane napone, zbog smanjenog opterećenja i proizvodnje iz OIE-a (tabela 28).

Tabela 26. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Podgorice i Danilovgrada

Snage DC porta 1	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.9045	-0.1234	-0.8955	-0.9163
Slučaj sa OIE-om	0.9204	0.0334	-0.9112	-1.0459

Tabela 27. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Virpazara i Podgorice

Snage DC porta 2	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.4715	-0.3407	-0.4668	-0.7362
Slučaj sa OIE-om	0.4658	-0.3405	-0.4611	-0.7820

Tabela 28. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Podgorice i Mojkovca

Snaga DC porta 3	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.0294	-0.2321	-0.0291	-0.1602
Slučaj sa OIE-om	1.2637	0.9791	-1.2511	-0.2117

Gubici u sistemu se povećavaju za 385 kW sa priključenjem OIE-a. Ovdje vidimo najmanju iskorišćenost iz OIE. Zbog malog opterećenja konzuma, OIE plasiraju više energije u mrežu i povećavaju najviše ukupne gubitke. Ukupni gubici sa DC portovima se smanjuju za 17 kW, za slučaj bez proizvodnje, i za 130 kW za slučaj sa proizvodnjom iz OIE-a (tabela 29).

Tabela 29. Snaga gubitaka distributivnih sistema za 40% opterećenja konzuma

Snaga gubitka distributivnih sistema za 40% opterećenja konzuma	Podgorice [kW]	Danilovgrada [kW]	Mojkovca [kW]	Virpazara [kW]	AC Grane DC portova [kW]	Ukupni [kW]
Gubici bez OIE i DC portova	95	29	25	7	0	157
Gubici sa OIE i bez DC portova	371	152	11	7	0	542
Gubici bez OIE i sa DC portovima	80	15	24	13.9	14	140
Gubici sa OIE i sa DC portovima	277	141	16	13.8	31	472

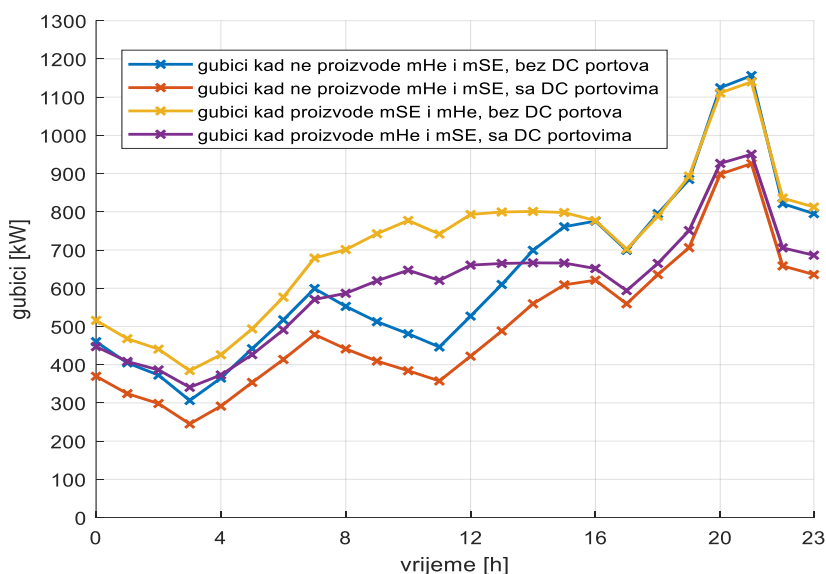
Drugi dio analize se bazira na ponašanju gubitaka u distributivnom sistemu sa DC portovima i bez DC portova za period od 24 h. Simulacije koje su analizirane su: za slučaj kada nema proizvodnje iz OIE sa i bez DC portova, kad proizvode samo mHe sa i bez DC portova, kad proizvode samo mSE sa i bez DC portova i kada proizvode mSE i mHe sa i bez DC portova.

Na slici 46 su dati grafici gubitka za slučaj kada proizvode mSE i mHe sa i bez DC portova i kada nema proizvodnje iz OIE-a za slučaj sa i bez DC portova. Sa grafika se može zaključiti da priključenje OIE-a povećava gubitke u sistemu u periodu do 17h u odnosu na gubitke kada nema proizvodnje iz OIE-a, žuti graf. Iz tabele 30 uočavamo da se u sistemu kada nema DC portova i bez proizvodnje iz OIE-a, plavi graf, prilikom proizvodnje iz OIE-a, žuti graf, energija potrošena na gubitke povećava za 2.1 MWh. Ovdje se vidi smanjena iskorišćenost OIE-a, gdje se energija iz OIE-a troši na gubitke, umjesto da se plasira ka potrošačima. Izraženo smanjenje integracije OIE-a je u periodu od 7h do 14h kada proizvode solarne elektrane. U ovom periodu javlja se mala potrošnja, a velika proizvodnja iz OIE-a, što prouzrokuje povećanje gubitaka za 300 kW u 12h, u odnosu za isto opterećenje bez proizvodnje iz OIE-a.

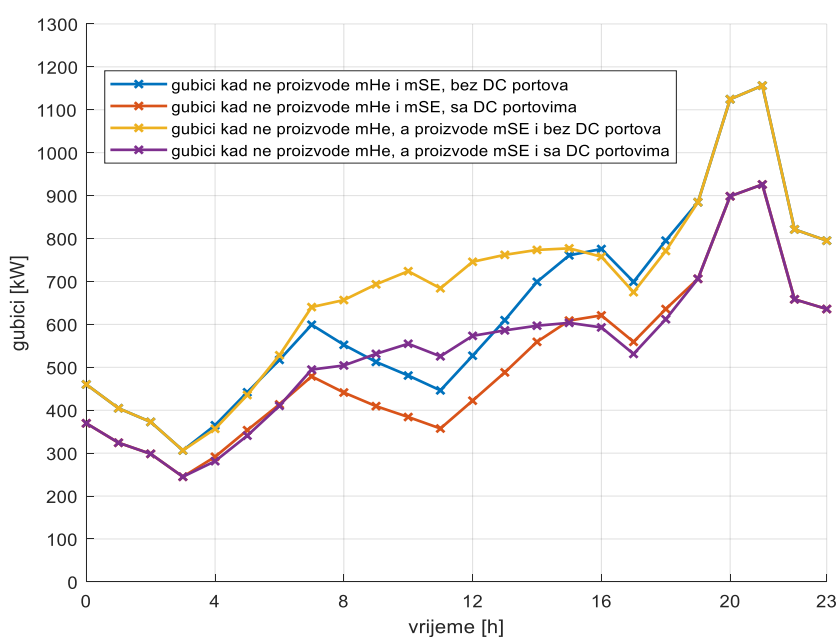
Na slikama 47 i 48, prikazani su grafici gubitka za 24h kada proizvode samo mHE ili mSE. Sa slike 47 se može vidjeti da od šestog sata gubici rastu u odnosu na slučaj kada nema mSE do četrnaestog sata, kada opet solarne elektrane dovode do smanjenja gubitaka. Od šestog sata solarne elektrane počinju da rade sa snagom većom od 0,5% maksimalne, a od četrnaest sati rade sa 0.75%

od maksimalne snage (sika 31). Ovdje se vidi da granica kada mSE počinje da ima negativan efekat zavisi od opterećenja konzuma. Opterećenje konzuma je veće u četrnaest sati, samim tim pri većoj proizvodnji solara imamo manje gubitke u sistemu i veću iskorišćenost mSE, koja u tom trenutku doprinosi smanjenju gubitaka u mreži. U šest sati, zbog manjeg opterećenja konzuma, nije dovoljna proizvodnja mSE da smanji gubitke u mreži. Sa proizvodnjom iz mSE energija potrošena na gubitke u sistemu raste za 1.2 MWh (tabela 30).

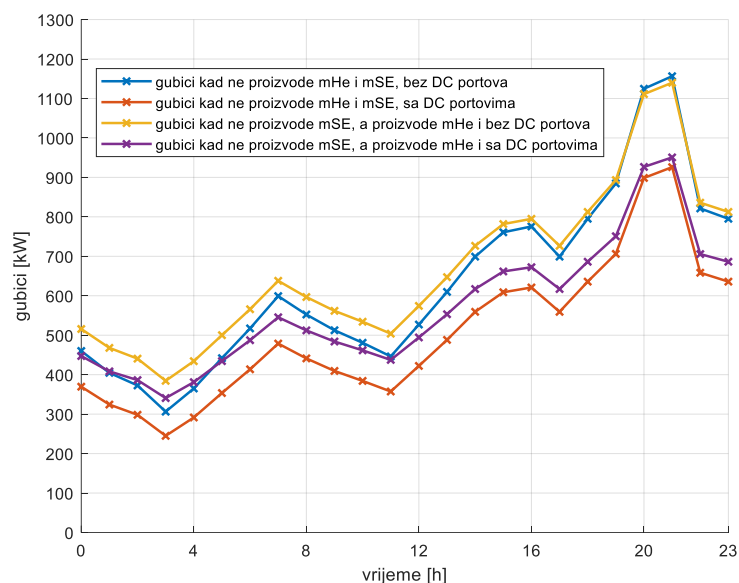
Za slučaj proizvodnje samo iz mHE, smatra se da mHE proizvode sa nominalnom snagom 24h. Sa slike 48, vidi se da ovakav način upravljanja mHE dovodi do povećanja gubitaka u periodu do 19h u odnosu kada nema proizvodnje iz mHE, žuti graf (slika 48). U sedmom satu, zbog povećane potrošnje konzuma, dolazi do manjeg plasiranja energije iz OIE-a, zbog povećane potrošnje. Povećanje energije potrebne da se pokriju gubici u ovom peroidu za cio dan, u odnosu na slučaj kada mHE ne proizvodi, iznosi 0.9 MWh (tabela 30).



Slika 46. Ukupni gubici po satu za distributivni sistem



Slika 47. Ukupni gubici po satu za distributivni sistem



Slika 48. Ukupni gubici po satu za distributivni sistem

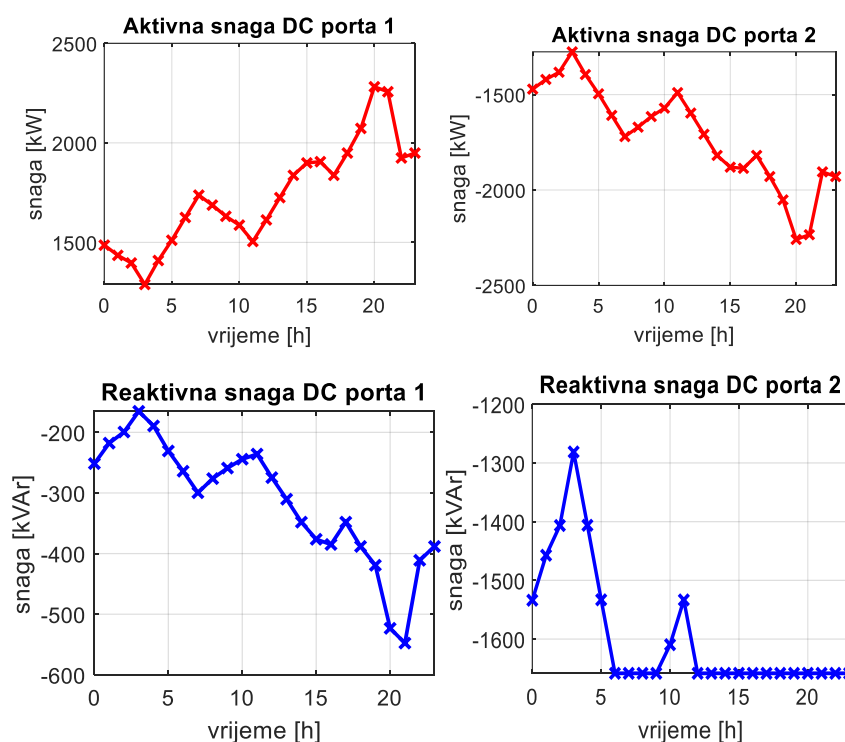
Sa integracijom DC portova i proizvodnjom iz OIE-a (slike 46), da se primijetiti da DC portovi smanjuju povećane gubitke koji se javljaju zbog proizvodnje mSE u periodu od 6h do 14h, i smanjuju povećane gubitke koji se javljaju zbog mHE u jutarnjim satima. Ljubičasti grafik (slika 46), pokazuje da se gubici prouzrokovani od OIE-a smanjuju u periodima u kojima imamo povećanje gubitaka zbog njihove proizvodnje sa ugradnjom DC portova. U periodu visoke potrošnje, javlja se dodatno smanjenje u odnosu na slučaj kada ne proizvode OIE, iz razloga što u ovom periodu DC portovi vrše balansiranje energije između opterećenih izvoda, čime se smanjuju gubici, odnos ljubičastog i plavog grafika (slika 46). Energija potrebna za pokrivanje gubitaka za 24h bi se smanjila u slučaju kada proizvode OIE za 2.7 MWh i bili bi manji od slučaja kada ne bi bilo proizvodnje iz OIE za 0,6 MWh (tabela 30). U slučaju kada nema proizvodnje iz OIE, DC portovi dovode do smanjenja gubitaka u mreži za 3.1 MWh, što bi omogućilo integraciju novih OIE-a, s ciljem boljeg balansiranja i plasiranja energije iz OIE-a ka potrošačima.

Tabela 30. Energija potrošena na gubitke za 24h

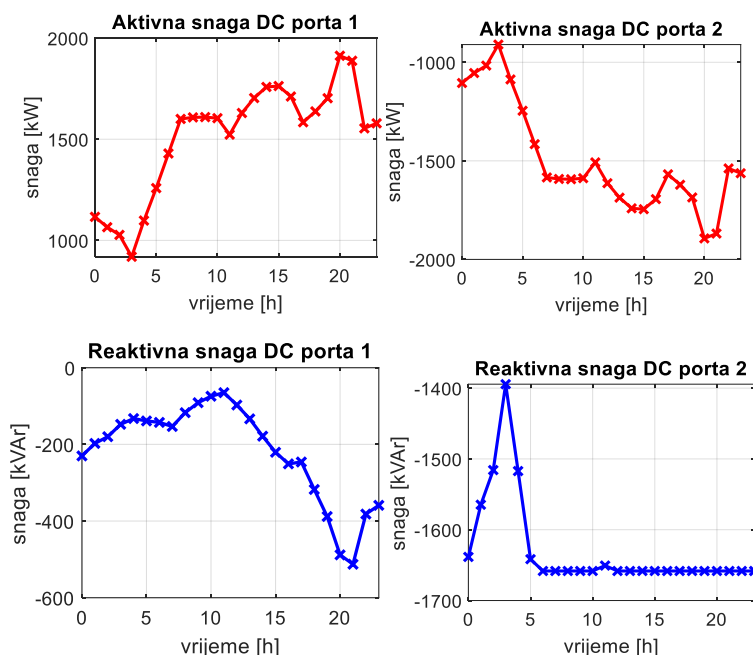
Energija potrošena na gubitke za 24 h	
Gubici kad ne proizvode mHE i mSE, bez DC portova	15.1 MWh
Gubici kad ne proizvode mHE i mSE, sa DC portovima	12 MWh
Gubici kad proizvode mSE i mHE, bez DC portova	17.2 MWh
Gubici kad proizvode mHE i mSE sa DC portovima	14.5 MWh
Gubici kad ne proizvode mHE, a proizvode mSE i bez DC portova	16.3 MWh
Gubici kad ne proizvode mHE, a proizvode mSE i sa DC portovima	12.8 MWh
Gubici kad ne proizvode mSE, a proizvode mHE i bez DC portova	16 MWh
Gubici kad ne proizvode mSE, a proizvode mHE i sa DC portovima	13.6 MWh

Kada postoji proizvodnja iz mHE sa DC portovima dolazi do povećanja energije potrebne za pokrivanje gubitaka u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz OIE-a sa DC portovima, za 1,6 MWh. Međutim, ova vrijednost gubitaka je manja od slučaja kada nema proizvodnje iz OIE-a bez DC portova, za 1,5 MWh. Dakle, ovim se vidi mogućnost integracije novih izvora električne energije, jer se na bolji način plasira energija ka potrošačima i stvara prostor za veću integraciju OIE-a. U slučaju kada samo proizvode mSE sa DC portovima, gubici se povećavaju u odnosu na to kada nema proizvodnje sa DC portovima za 0,8 MWh, ali su opet manji od slučaja kada nema DC portova i bez proizvodnje iz OIE za 2.3 MWh (tabela 30). Iz ovoga se može doći do istog zaključka kao i za mHE, da se sa ugradnjom DC portova povećava mogućnost za većom integracijom OIE-a.

U tabelama 31, 32 i 33 date su vrijednosti upravljačkih varijabli dobijene iz implementacije algoritma za proračun tokova snaga sa DC portovima (objašnjen u prethodnom poglavlju). Dati su rezultati algoritma za 24h u slučaju kada proizvode mSE i mHE sa DC portovima i kada nema proizvodnje iz mSE i mHE sa DC portovima. Na slikama 49, 50, 51, 52, 53 i 54 su grafički prikazi rezultati upravljačkog algoritma za 24h. S grafičkih prikaza, tj. slika 49, 51 i 53, može se vidjeti sličnost u oblicima grafika aktivnih snaga koje imaju isti oblik, kao i grafik gubitaka kada nema proizvodnje iz OIE-a (slika 46). Ovdje se vidi da DC portovi prate ponašanje opterećenja između izvoda na kojima su priključeni i vrše balansiranje snaga između njih. Sa slika 50, 52 i 54 vidimo da za DC port između Podgorice i Virpazara ne dolazi do veće promjene u rezultatima upravljačkih varijabli, kao što se javlja u rezultatima upravljačkih varijabli za DC portove između Podgorice i Mojkovca i između Podgorice i Danilovgrada. Na ovim izvodima između Podgorice i Virpazara nema proizvodnje iz OIE, što ne utiče na rezultate upravljačkih varijabli.



Slika 49. Upravljačke varijable DC porta između Podgorice i Danilovgrada bez proizvodnje iz OIE-a



Slika 50. Upravljačke varijable DC porta između Podgorice i Danilovgrada sa proizvodnjom iz OIE-a

Tabela 31. Snage DC porta između Podgorice i Danilovgrada sa i bez proizvodnje iz OIE-a

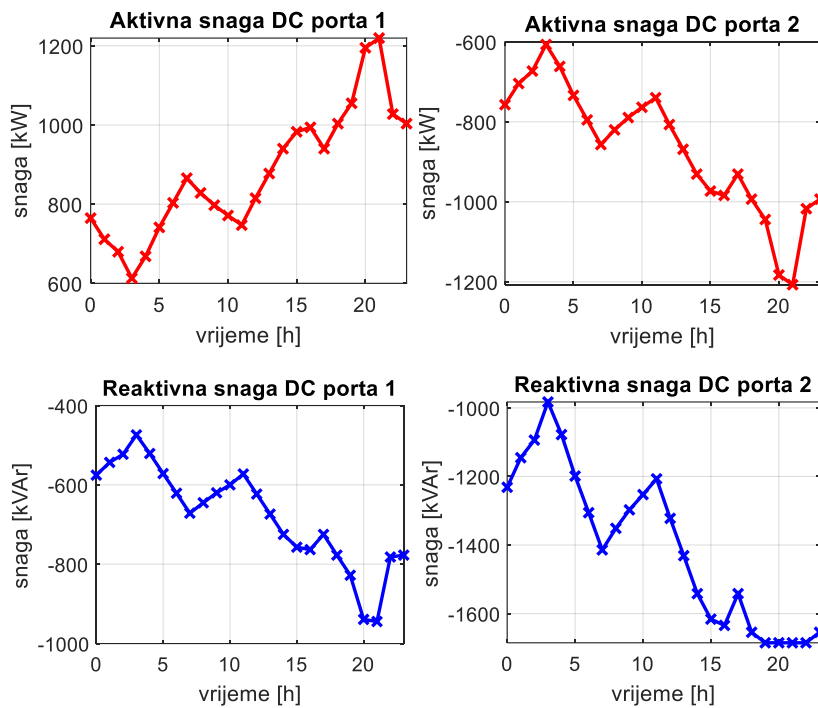
Vrijeme [h] Snaga [MW/MVAr]	Snage DC porta između Podgorice i Danilovgrada bez proizvodnje iz OIE- a				Snage DC porta između Podgorice i Danilovgrada sa proizvodnjom iz OIE-a			
	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2
0	1.486	-0.251	-1.471	-1.533	1.116	-0.230	-1.105	-1.638
1	1.435	-0.217	-1.420	-1.457	1.065	-0.197	-1.054	-1.564
2	1.396	-0.199	-1.382	-1.406	1.027	-0.179	-1.016	-1.515
3	1.288	-0.165	-1.275	-1.281	0.919	-0.147	-0.910	-1.394
4	1.409	-0.189	-1.394	-1.406	1.098	-0.132	-1.087	-1.517
5	1.510	-0.230	-1.495	-1.533	1.258	-0.138	-1.245	-1.641
6	1.625	-0.264	-1.608	-1.658	1.429	-0.142	-1.415	-1.658
7	1.737	-0.299	-1.720	-1.658	1.600	-0.153	-1.584	-1.658
8	1.687	-0.276	-1.670	-1.658	1.607	-0.117	-1.591	-1.658
9	1.631	-0.258	-1.615	-1.658	1.609	-0.091	-1.593	-1.658
10	1.586	-0.244	-1.571	-1.609	1.604	-0.074	-1.588	-1.658
11	1.504	-0.235	-1.489	-1.533	1.523	-0.065	-1.507	-1.650
12	1.612	-0.274	-1.596	-1.658	1.629	-0.097	-1.613	-1.658
13	1.725	-0.310	-1.707	-1.658	1.703	-0.133	-1.686	-1.658
14	1.837	-0.348	-1.818	-1.658	1.758	-0.178	-1.740	-1.658
15	1.899	-0.376	-1.880	-1.658	1.762	-0.220	-1.745	-1.658
16	1.905	-0.385	-1.886	-1.658	1.711	-0.250	-1.694	-1.658
17	1.837	-0.348	-1.818	-1.658	1.584	-0.245	-1.568	-1.658
18	1.948	-0.388	-1.929	-1.658	1.637	-0.317	-1.621	-1.658
19	2.072	-0.419	-2.051	-1.658	1.702	-0.388	-1.685	-1.658
20	2.281	-0.523	-2.259	-1.658	1.912	-0.488	-1.893	-1.658
21	2.256	-0.547	-2.234	-1.658	1.887	-0.512	-1.868	-1.658
22	1.924	-0.411	-1.904	-1.658	1.553	-0.381	-1.538	-1.658
23	1.948	-0.388	-1.929	-1.658	1.578	-0.359	-1.562	-1.658

Iz tabele 31 i slika 49 i 50 možemo vidjeti da DC port između Podgorice i Danilovgrada prenosi, tokom većine dana, manju količinu aktivne snage nego u slučaju kada nema proizvodnje iz OIE-a. Razlog ovoga je rasterećenje izvoda koji se vežu u paralelan rad preko DC porta zbog proizvodnje iz OIE-a. Dio enegije proizvedene iz OIE-a se troši na potrošačima na izvodu, a dio prenosi u distributivni sistem i rasterećuje dio napojne grane. Zbog rasterećenja grana dolazi do manje potrebe za balansiranjem energije između izvoda i manjeg prenosa aktivne snage preko DC porta. Reaktivna snaga koju konvertor DC porta na starni Podgorice predaje je manja u slučaju proizvodnje iz OIE-a zbog proizvodnje iz mSE u čvoru 10 što stvara manju potrebu za kompenzacijom reaktivne snage zbog boljih naponskih prilika. Na strani Danilovgrada konvertor DC porta daje slične količine reaktivnih snaga jer je ovaj čvor najudaljeniji i teži se maksimalnoj kompenzaciji reaktivne snage u njemu.

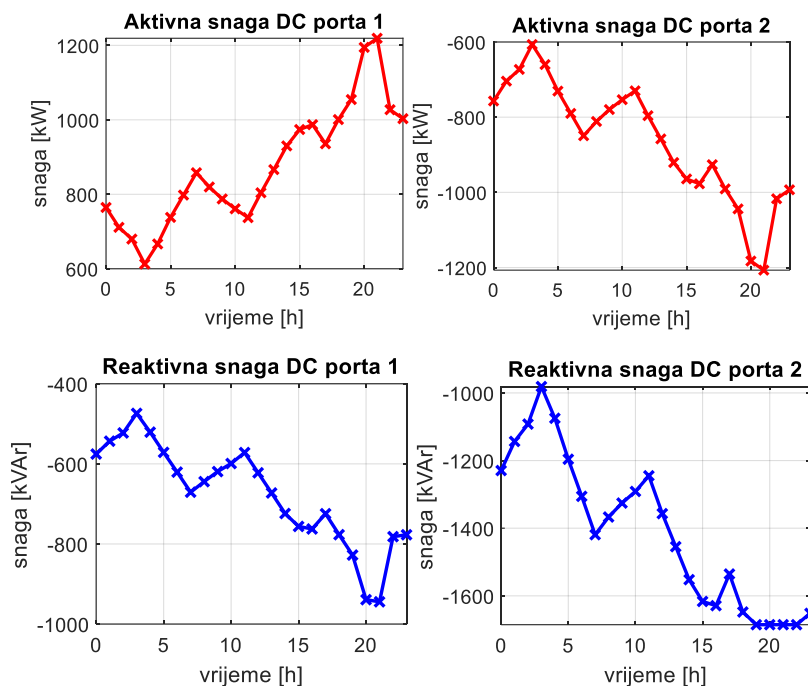
Iz tabele 32, kao i slika 51 i 52, može se zaključiti da DC port ne mijenja mnogo svoje parametre u dva slučaja kada ima proizvodnje iz OIE-a i bez proizvodnje iz OIE-a između Podgorice i Virpazara. Promjena u proizvodnji iz OIE-a blago rasterećuje grane zbog poboljšanih naponskih prilika sa proizvodnjom iz OIE-a, koje se preko DC porta vezuju u paralelan rad. Ovo dovodi do smanjenog prenosa aktivne snage preko DC porta i smanjene potrebe za kompenzacijom reaktivne snage, zbog manje potrebe za balansiranjem između izvoda i rasterećenja grana. Zato se u slučaju sa proizvodnjom iz OIE-a smanjuju upravljačke promjenjive DC porta. Sa slika 51 i 52 može se vidjeti kako DC port prati promjenu opterećenja dnevnog dijagrama i mijenjaju svoje parametre. Sličnosti se mogu uočiti sa plavog grafika (slika 46).

Tabela 32. Snage DC porta između Podgorice i Virpazara sa i bez proizvodnje iz OIE-a

Vrijeme [h] Snaga [MW/MVAr]	Snage DC porta između Podgorice i Virpazara bez proizvodnje iz OIE-a				Snage DC porta između Podgorice i Virpazara sa proizvodnjom iz OIE-a			
	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2
0	0.764	-0.575	-0.757	-1.231	0.764	-0.575	-0.757	-1.229
1	0.711	-0.543	-0.704	-1.145	0.711	-0.543	-0.704	-1.143
2	0.679	-0.522	-0.673	-1.093	0.679	-0.522	-0.672	-1.092
3	0.612	-0.474	-0.606	-0.982	0.612	-0.474	-0.606	-0.981
4	0.668	-0.520	-0.661	-1.077	0.666	-0.520	-0.660	-1.074
5	0.741	-0.571	-0.734	-1.198	0.738	-0.571	-0.730	-1.196
6	0.803	-0.621	-0.795	-1.305	0.797	-0.620	-0.789	-1.305
7	0.865	-0.671	-0.856	-1.414	0.858	-0.670	-0.849	-1.419
8	0.828	-0.645	-0.820	-1.351	0.819	-0.644	-0.811	-1.366
9	0.797	-0.620	-0.789	-1.297	0.787	-0.619	-0.779	-1.325
10	0.771	-0.599	-0.763	-1.252	0.761	-0.599	-0.753	-1.291
11	0.747	-0.572	-0.739	-1.207	0.737	-0.571	-0.729	-1.245
12	0.815	-0.623	-0.806	-1.322	0.804	-0.622	-0.796	-1.356
13	0.877	-0.673	-0.868	-1.431	0.866	-0.672	-0.857	-1.454
14	0.940	-0.724	-0.930	-1.541	0.930	-0.724	-0.920	-1.552
15	0.982	-0.757	-0.973	-1.616	0.974	-0.756	-0.964	-1.616
16	0.994	-0.763	-0.984	-1.634	0.987	-0.762	-0.977	-1.629
17	0.940	-0.724	-0.930	-1.541	0.935	-0.724	-0.926	-1.535
18	1.003	-0.777	-0.993	-1.654	1.000	-0.776	-0.990	-1.647
19	1.054	-0.827	-1.044	-1.685	1.054	-0.827	-1.044	-1.685
20	1.195	-0.939	-1.183	-1.685	1.194	-0.939	-1.182	-1.685
21	1.219	-0.944	-1.207	-1.685	1.219	-0.944	-1.207	-1.685
22	1.027	-0.781	-1.017	-1.685	1.027	-0.781	-1.017	-1.685
23	1.003	-0.777	-0.993	-1.654	1.003	-0.777	-0.993	-1.651



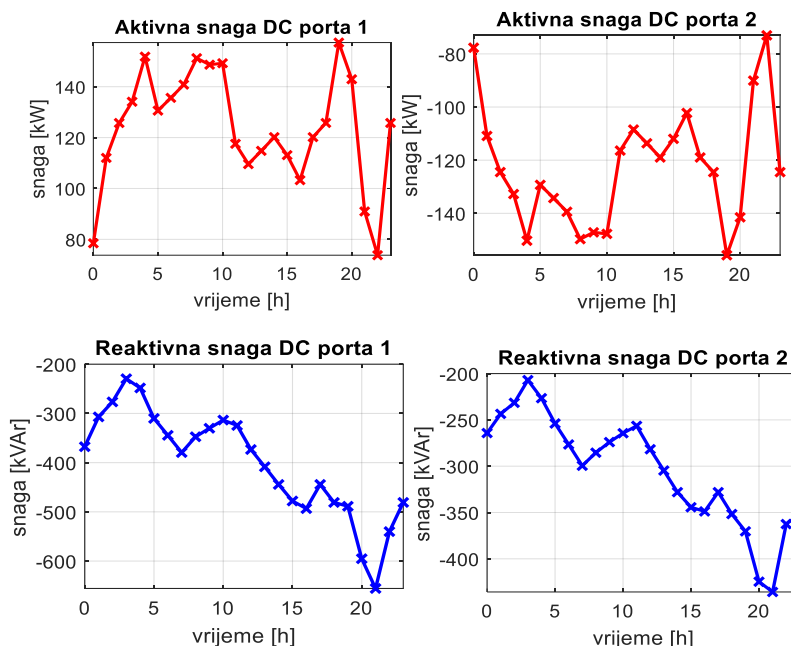
Slika 51. Upravljačke varijable DC porta između Podgorice i Virpazara bez proizvodnje iz OIE-a



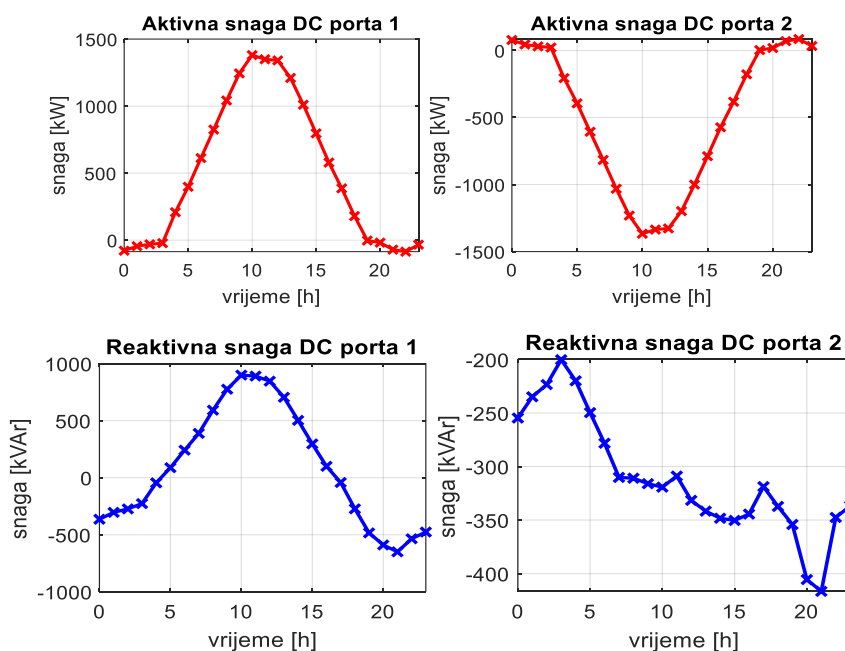
Slika 52. Upravljačke varijable DC porta između Podgorice i Virpazara s proizvodnjom iz OIE-a

U tabeli 33, prikazani su rezultati algoritma za DC port između Podgorice i Mojkovca. Kada nema proizvodnje iz OIE-a, DC port prenosi manju količinu aktivne snage i vrši manju lokalnu kompenzaciju reaktivne snage sa ciljem smanjenja gubitaka između sistema Podgorice i Mojkovca (slika 53). Oblici krivih rada konvertora DC porta prate oblik dnevnog dijagrama opterećenja. S proizvodnjom iz OIE-a dolazi do porasta prenosa aktivne snage kroz DC port. Oblik krivih sa slike 54, pokazuje da grafici prate dnevni dijagram proizvodnje mSE. Odnosno, kako

dolazi do proizvodnje iz mSE Ubli koja se nalazi na dijelu izvoda iz Podgorice, koji se preko DC porta veže u paralelu s izvodom iz Mojkovca, tako DC port mijenja svoje upravljačke promjenljive. Reaktivna snaga DC porta sa strane Podgorice takođe ima oblik proizvodnje mSE. Kada proizvodi, mSE radi sa faktorom snage 0.95, pa u mrežu šalje dio reaktivne snage. Dio ove reaktivne snage preuzima konvertor DC porta koji s proizvodnjom iz mSE prelazi iz kapacitivnog u induktivni režim rada (slika 54). Konvertor DC porta sa strane Mojkovca će davati veću količinu reaktivne snage sa ciljem poboljšanja naponskih prilika na strani Mojkovca, da bi se smanjio pad napona zbog većeg injektiranja snage iz sistema Podgorice preko DC porta.



Slika 53. Upravljačke varijable DC porta između Podgorice i Mojkovca bez proizvodnje iz OIE-a



Slika 54. Upravljačke varijable DC porta između Podgorice i Mojkovca s proizvodnjom iz OIE-a

Tabela 33. Snage DC porta između Podgorice i Mojkovca sa i bez proizvodnje iz OIE-a

Vrijeme [h] Snaga [MW/MVAr]	Snage DC porta između Podgorice i Mojkovca bez proizvodnje iz OIE-a				Snage DC porta između Podgorice i Mojkovca s proizvodnjom iz OIE-a			
	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2
0	0.078	-0.367	-0.077	-0.264	-0.077	-0.364	0.078	-0.25
1	0.112	-0.307	-0.110	-0.243	-0.044	-0.304	0.044	-0.23
2	0.125	-0.276	-0.124	-0.231	-0.030	-0.273	0.030	-0.22
3	0.134	-0.229	-0.132	-0.207	-0.021	-0.227	0.022	-0.20
4	0.151	-0.248	-0.150	-0.226	0.208	-0.045	-0.206	-0.206
5	0.130	-0.310	-0.129	-0.253	0.398	0.087	-0.394	-0.394
6	0.135	-0.344	-0.134	-0.276	0.612	0.241	-0.606	-0.606
7	0.140	-0.379	-0.139	-0.299	0.825	0.388	-0.816	-0.816
8	0.151	-0.347	-0.149	-0.285	1.041	0.591	-1.031	-1.031
9	0.148	-0.330	-0.147	-0.274	1.244	0.775	-1.231	-1.231
10	0.149	-0.313	-0.147	-0.264	1.380	0.899	-1.366	-1.366
11	0.117	-0.324	-0.116	-0.256	1.349	0.890	-1.335	-1.335
12	0.109	-0.373	-0.108	-0.281	1.340	0.846	-1.327	-1.327
13	0.114	-0.408	-0.113	-0.304	1.210	0.704	-1.198	-1.198
14	0.120	-0.444	-0.119	-0.328	1.010	0.502	-1.000	-1.000
15	0.113	-0.477	-0.112	-0.344	0.796	0.296	-0.788	-0.788
16	0.103	-0.493	-0.102	-0.348	0.578	0.099	-0.573	-0.573
17	0.120	-0.444	-0.119	-0.328	0.386	-0.041	-0.382	-0.382
18	0.125	-0.480	-0.124	-0.351	0.179	-0.273	-0.178	-0.178
19	0.157	-0.488	-0.155	-0.370	-0.002	-0.483	0.002	-0.35
20	0.142	-0.595	-0.141	-0.424	-0.018	-0.589	0.018	-0.40
21	0.091	-0.655	-0.090	-0.435	-0.069	-0.650	0.070	-0.41
22	0.073	-0.540	-0.073	-0.362	-0.084	-0.535	0.085	-0.34
23	0.125	-0.480	-0.124	-0.351	-0.033	-0.476	0.033	-0.33

4.3.2. Rezultati simulacije za 35 kV distributivni sistem Cetinja i okolnih distributivnih sistema

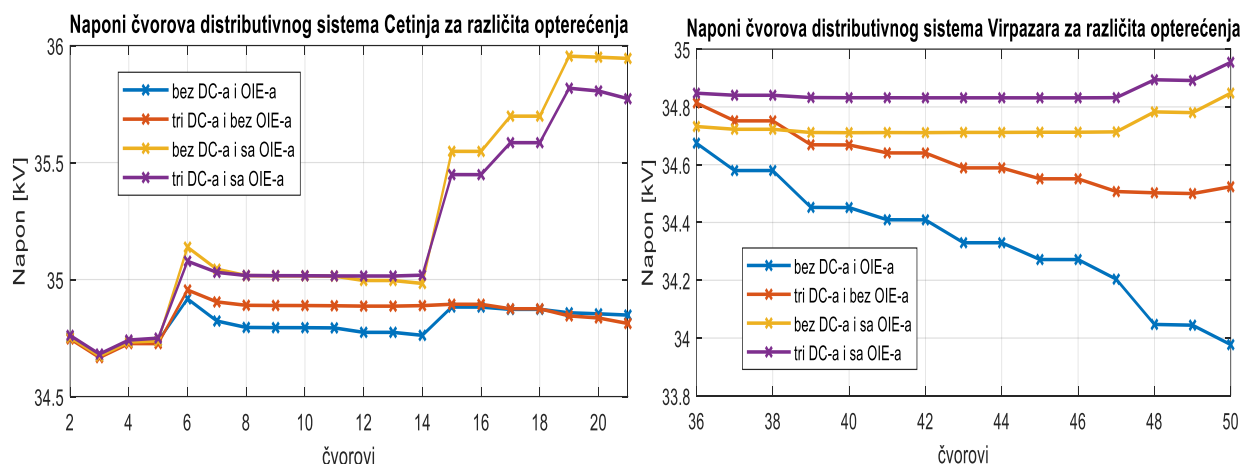
Prvi dio analize priključenja DC portova u distributivni sistem Cetinja i okolnih distributivnih sistema se odnosi na slučajeve:

- kada nema DC portova ugrađenih u sistem i kada nema proizvodnje iz obnovljivih izvora;
- kada nema DC portova i ima proizvodnje iz obnovljivih izvora;
- kada su ugrađeni DC portovi i nema proizvodnje iz obnovljivih izvora;
- kada su ugrađeni DC portovi i ima proizvodnje iz obnovljivih izvora.

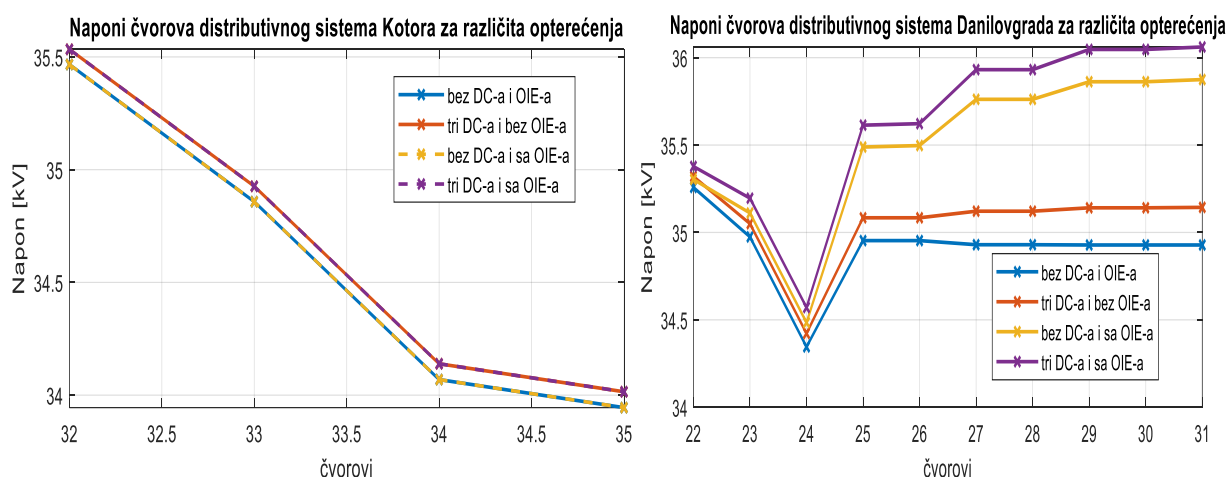
Na slikama 55 i 56 date su promjene napona s ugradnjom DC portova u sistemima Cetinja, Danilovgrada, Virpazara i Kotora pri maksimalnoj potrošnji konzuma. Ugradnja DC portova dovodi do poboljšanja naponskih prilika, crveni graf, u slučaju bez proizvodnje iz OIE-a u sistemima Virpazara, Danilovgrada i Kotora u svakom čvoru (slika 56 i 55). U sistemu Cetinja, za čvorove 19, 20 i 21, ugradnja DC portova dovodi do smanjenja napona u odnosu na slučaj bez njih, plavi graf. Razlog se vidi zbog povećanog pada napona i većeg prenosa aktivne snage granama 14, 16, 18, 19 i 20 (slika 55). Veći prenos snage kroz sistem Cetinja je posljedica ugradnje DC portova.

Na slikama 55 i 56, date su i promjene napona sa ugradnjom DC portova kada postoji proizvodnja iz OIE-a, žuti graf. Na slikama 55 i 56, sa proizvodnjom iz OIE-a dolazi do povećanja napona u čvorovima sistema u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz OIE-a. Najveće

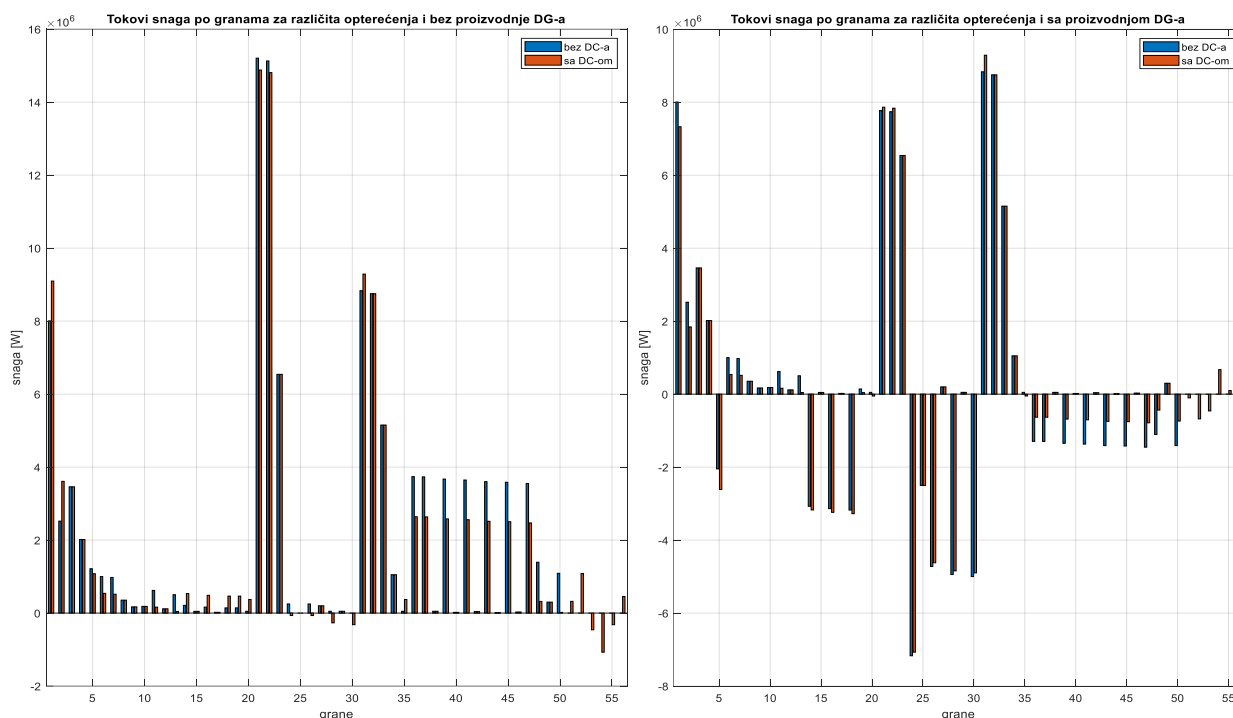
povećanje napona javlja se u čvorovima u kojima se priključuju OIE: 19, 50, 48, 26 i 31 (slike 55 i 56). S ugradnjom DC portova i sa proizvodnjom iz OIE-a dolazi do dodatnog poboljšanja napona u sistemima Virpazara, Danilovgrada i Kotora, dok u sistemu Cetinja dolazi do poboljšanja, samo u onim čvorovima u kojima dolazi do rasterećenja grana koje napajaju te čvorove (slika 55). U sistem Cetinja, zbog induktivnog režima rada konvertora DC porta između Cetinja i Danilovgrada, dolazi do pada napona u slučaju proizvodnje iz OIE-a u čvorovima u blizini DC porta. Sa slike 57, dio sistema Cetinja predaje snagu prenosnoj mreži s proizvodnjom iz OIE-a. Sa ugradnjom DC portova dolazi do povećanog plasiranja snage ka prenosnoj mreži iz distributivnog sistema Cetinja. Na ovaj način se smanjuje potrošnja energije iz OIE-a u distributivnoj mreži, jer se povećava dio energije koji se plasira u prenosnu mrežu. Međutim, ukupni gubici se smanjuju jer dolazi do bolje raspodjele energije između sistema Cetinja i Danilovgrada (tabela 36).



Slika 55. Naponi distributivnih sistema Cetinja i Virpazara pri 100% opterećenog konzuma



Slika 56. Naponi distributivnih sistema Kotora i Danilovgrada pri 100% opterećenog konzuma



Slika 57. Tokovi snaga po granama distributivnih sistema Cetinja, Virpazara, Kotora i Danilovgrada pri 100% opterećenom konzumu

S proizvodnjom iz OIE-a dolazi do smanjenja aktivne snage i promjene smjera toka aktivne snage koja se prenosi preko DC portova između Cetinja i Danilovgrada i između Cetinja i Virpazara (tabela 34 i 35). Promjena smjera za DC port između Cetinja i Virpazara je posljedica proizvodnje iz OIE-a u sistemu Virpazara. U ovome dijelu sistema između Cetinja i Virpazara, na strani Cetinja nema proizvodnje iz OIE-a, pa DC port dio energije OIE iz sistema Virpazara plasira ka sistemu Cetinja s ciljem minimizacije gubitaka i balansiranja proizvodnje iz sistema Virpazara. DC port između Cetinja i Danilovgrada mijenja smjer zbog veće proizvodnje u sistemu Danilovgrada s ciljem boljeg balansiranja energije iz OIE-a između sistema s ciljem smanjenja gubitaka. Za DC port između Cetinja i Kotora javljaju se male promjene u rezultatima upravljačkih varijabli kada ima proizvodnje iz OIE-a u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz OIE-a, tabela 36 i slika 56. Razlog ovome je jer na dijelu Cetinja i Kotora koji se vezuju u paralelu preko DC porta nema promjena u tokovima snaga s proizvodnjom iz OIE-a (slika 57).

Za DC port između Cetinja i Danilovgrada konvertor DC porta na strani Cetinja mijenja režim rada iz kapacitivnog u induktivni, s ciljem kompenzacije proizvedene reaktivne snage iz mSE na strani Cetinja. Konvertor DC porta na strani Danilovgrada povećava predatu reaktivnu energiju s ciljem poboljšanja naponskih prilika i smanjenja pada napona od OIE-a do centara potrošnje u sistemu Danilovgrada. Reaktivna snaga koju predaje DC port između sistema Cetinja i Virpazara se smanjuje jer dolazi do manje potrebe za balansiranjem energije. Manje potrebe za balansiranjem energije dovode do smanjenja kompenzacije reaktivne i prenosa aktivne koju prenose DC portovi sa proizvodnjom iz OIE.

Tabela 34. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Danilovgrada

Snaga DC porta 1	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.3222	-0.0793	-0.3190	-0.6320
Slučaj sa OIE-om	-0.1016	0.4986	0.1026	-0.7961

Tabela 35. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Virpazara

Snaga DC porta 2	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	1.0835	-0.0501	-1.0727	-0.6582
Slučaj sa OIE-om	-0.6787	-0.0326	0.6855	-0.6374

Tabela 36. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Kotora

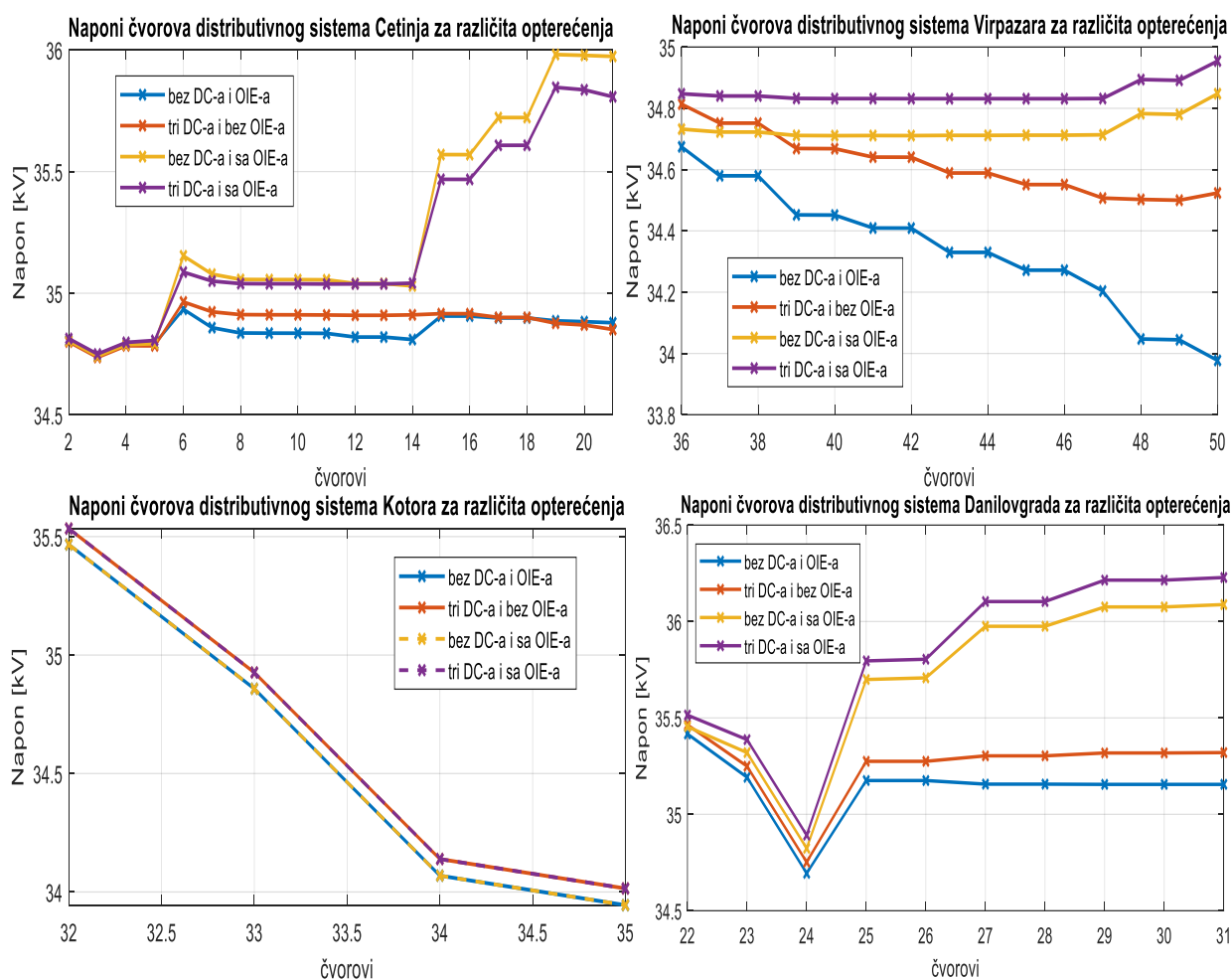
Snaga DC porta 3	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	-0.4589	-0.1195	0.4635	-0.6309
Slučaj sa OIE-om	-0.4597	-0.1642	0.4643	-0.6309

Gubici u sistemu sa ugradnjom OIE-a dovode do ukupnog povećanja gubitaka od 100 kW (tabela 37). Ovo pokazuje smanjenu iskorišćenost proizvodnje iz OIE-a, jer se energija dobijena iz OIE-a troši na gubitke u sistemu nastalih zbog prenosa energije iz OIE-a. S ugradnjom DC portova povećava se mogućnost za integracijom OIE-a jer se smanjuju ukupni gubici za 26 kW, u slučaju kada ima proizvodnje iz OIE, i za 17 kW kada nema proizvodnje bez DC portova (tabela 37). Iz tabele 37, vidi se da se gubici svakog sistema zasebno smanjuju, osim sistema Cetinja. Sistem Cetinja, u slučaju ugradnje DC portova bez proizvodnje iz OIE-a, dovodi do prenosa veće količine snage preko DC portova, kroz sistem Cetinja ka drugim sistemima i gubici u njemu rastu (tabela 37), što bi negativno uticalo na nivo integracije OIE u sistemu Cetinja.

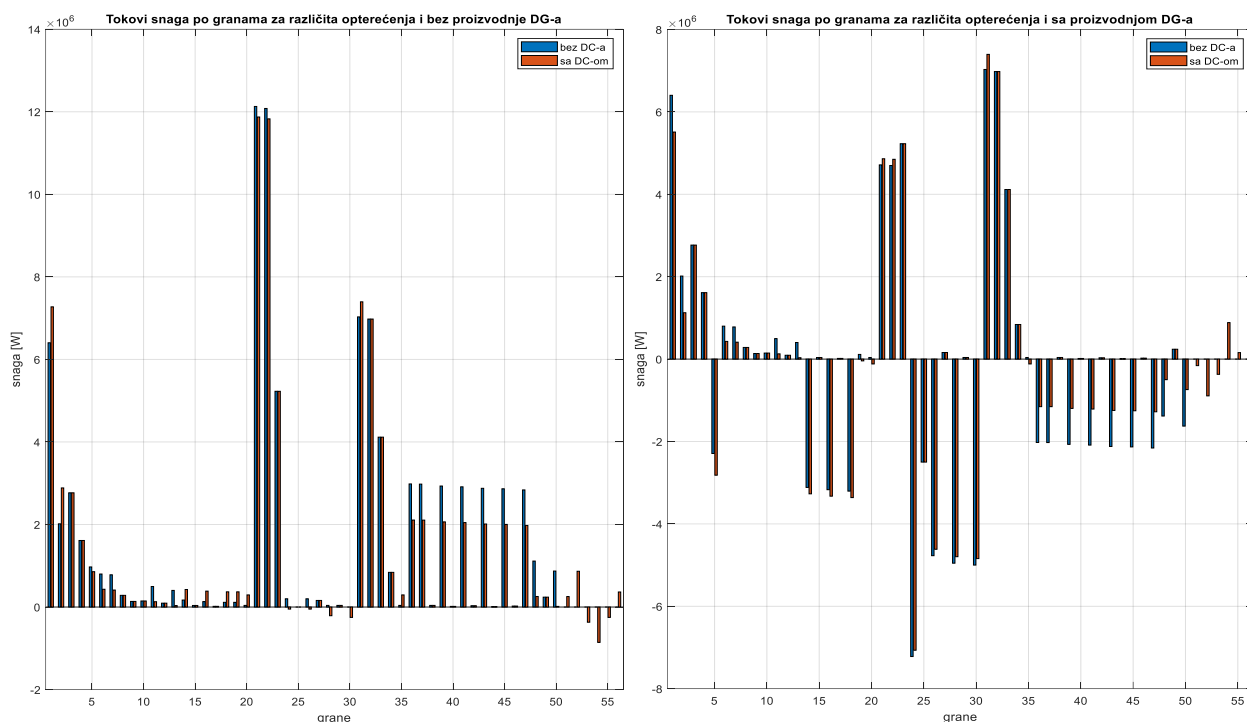
Tabela 37. Snaga gubitaka distributivnih sistema za 100% opterećenja konzuma

Snaga gubitaka distributivnih sistema za 100% opterećenja konzuma	Cetinje [kW]	Danilovgrad [kW]	Virpazar [kW]	Kotor [kW]	AC Grane DC portova [kW]	Ukupni [kW]
Gubici bez OIE i DC portova	12.496	194	47	209	-	464
Gubici sa OIE i bez DC portova	72.347	267	16	209	-	565
Gubici bez OIE i sa DC portovima	12.443	188	19	208	9.9	438
Gubici sa OIE i sa DC portovima	69.999	259	4.7	208	5.7	548

Na slici 58 su date naponske prilike u sistemima za slučaj maksimalne proizvodnje iz OIE-a i opterećenja konzuma od 80% maksimalnog opterećenja. Na slici 58, pokazuje se da naponi sa smanjenjem opterećenja konzuma rastu u svim čvorovima sistema Danilovgrada, Virpazara i Kotora kada nema proizvodnje i sa proizvodnjom iz OIE-a u odnosu na slučaj 100% opterećenog konzuma. Sa ugradnjom DC portova dolazi do dodatnog poboljšanja naponskih prilika u svim čvorovima, osim u sistemu Cetinja, gdje u čvorovima 6, 19, 20 i 21 dolazi do blagog pada napona. Posljedica pada napona u čvorovima (slika 58), sa ugradnjom DC portova, jeste u tome jer se veća količina aktivne snage prenosi od DC portova ka sistemu Cetinja, i zato što konvertor DC porta radi u induktivnom režimu i troši višak reaktivne snage iz mSE (tabela 38). Sa slike 58, vidi se da pri proizvodnji iz OIE-a ne dolazi do promjene naponskih prilika u sistemu Kotora, jer u njemu nema proizvodnje iz OIE-a.



Slika 58. Naponi distributivnih sistema Cetinja, Virpazara, Kotora i Danilovgrada pri 80% opterećenog konzuma



Slika 59. Tokovi snaga po granama distributivnih sistema Cetinja, Virpazara, Kotora i Danilovgrada pri 100% opterećenom konzumu

Sa slike 59 se vidi da samo dio sistema Cetinja s proizvodnjom iz OIE-a i ugradnjom DC portova plasira energiju u prenosnu mrežu. Snaga koja se predaje raste u odnosu na slučaj bez DC portova. Glavni razlog ovog povećanja je DC port između Danilovgrada i Cetinja. Rad DC porta između Cetinja i Danilovgrada sa jedne strane je dobar za sistem Danilovgrada, jer se rasterećuju grane distributivnog sistema Danilovgrada, čime se ostvaruje prostor za novom integracijom OIE-a u njemu, ali, sa druge strane, veća količina snage se predaje sistemu Cetinja i preko njega predaje prenosnoj mreži (slika 59). Ovo povećava gubitke u sistemu Cetinja (tabela 41) i smanjuje mogućnost integracije novih izvora u sistemu Cetinja.

U tabelama 38, 39 i 40 dati su rezultati upravljačkih promjenljivih DC portova pri pokretanju algoritma. Upoređivanjem rezultata iz slučaja kada je sistem 100% opterećen sa rezultatima za slučaj 80% opterećenog sistema, vidi se da u slučajevima bez OIE-a dolazi do smanjenja prenosa aktivne snage preko DC portova i manje kompenzacije reaktivne snage od strane DC portova. Ovo je očekivano jer DC portovi sada treba da balansiraju manju količinu energije između izvoda. S proizvodnjom iz OIE-a, DC portovi između Cetinja i Danilovgrada i između Cetinja i Virpazara će povećati prenos aktivne snage između sistema u odnosu na slučaj 100% opterećenog konzuma. Razlog ovome je taj što u sistemu postoji veće plasiranje energije iz OIE-a, zbog manje energije koju troše potrošači. Ovo dovodi do prenosa veće količine aktivne snage preko DC porta, što kao posledicu ima i povećanu potrebu za kompenzacijom reaktivne snage između Virpazara i Cetinja u odnosu na slučaj 100% opterećenog konzuma. Za DC port s proizvodnjom iz OIE-a između Kotora i Cetinja nema većih promjena u rezultatima upravljačkih varijabli, zbog nepostojanja proizvodnje iz OIE-a na izvodima koji se vezuju preko DC porta. Razlika se vidi u manjoj potrebi za kompenzacijom reaktivne i manjeg prenosa aktive snage zbog smanjenog opterećenja konzuma u odnosu na 100% opterećeni konzum.

Sa proizvodnjom iz OIE reaktivna snaga koju DC port uzima, koji je postavljen između sistema Cetinja i Danilovgrada, sa strane Cetinja je veća jer sada postoji veće plasiranje reaktivne snage u sistem iz mSE Čevo zbog manje potrošnje konzuma. Sa strane Danilovgrada DC port daje

manju količinu reaktivne snage u odnosu na slučaj 100% opterećenog konzuma jer su u sistemu bolje naponske prilike zbog manjeg pada napona čiji je uzrok smanjenje opterećenja konzuma.

Tabela 38. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Danilovgrada

Snage DC porta 1	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.2539	-0.0625	-0.2514	-0.4839
Slučaj sa OIE-om	-0.1589	0.5100	0.1605	-0.6471

Tabela 39. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Virpazara

Snage DC porta 2	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.8661	-0.0345	-0.8574	-0.5191
Slučaj sa OIE-om	-0.8945	-0.0350	0.9034	-0.5202

Tabela 40. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Kotora

Snage DC porta 3	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	-0.3688	-0.0944	0.3725	-0.3866
Slučaj sa OIE-om	-0.3698	-0.1424	0.3735	-0.3866

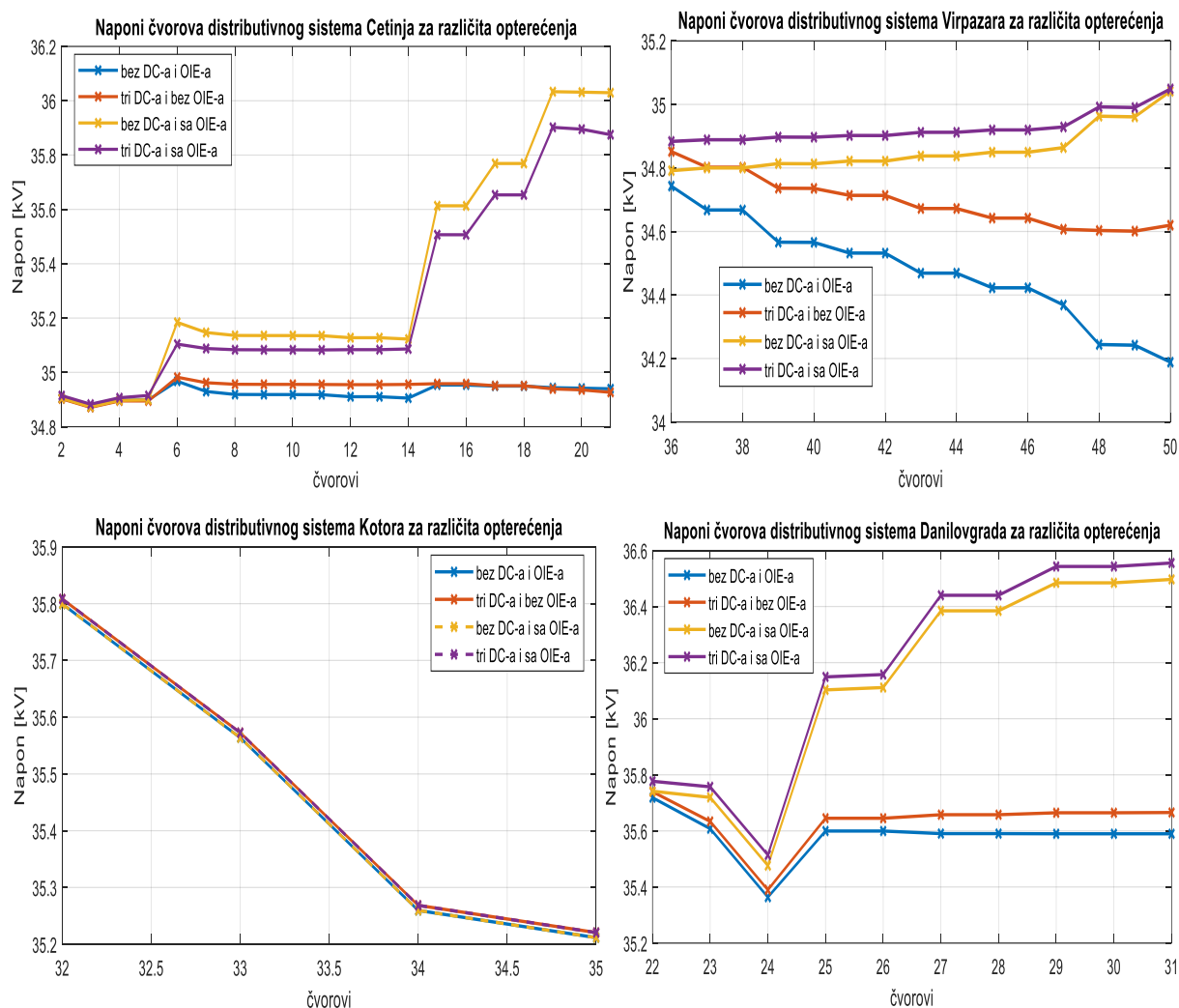
Ukupni gubici s proizvodnjom iz OIE-a u sistemu rastu za 145 kW u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz OIE-a (tabela 41). Porast gubitaka za 145 kW pokazuje smanjenu iskorišćenost proizvodnje iz OIE-a koja je posljedica udaljenosti lokacija OIE-a. Udaljenost lokacije OIE-a prouzrokuje prenos energije kroz veći dio distributivnog sistema, što dovodi do povećanja gubitaka. S ugradnjom DC portova dolazi do smanjenja ukupnih gubitaka u odnosu na obje situacije za 20 kW. Iz tabele 40 se vidi da u sistemu Cetinja dolazi do povećanja gubitaka za slučaj s proizvodnjom iz OIE-a i ugrađenim DC portovima. Razlog je veći prenos snage kroz DC port ka sistemu Cetinja, zbog povećanog plasiranja energije iz OIE-a. Povećan prenos snage kroz sistem Cetinja dovodi do rasterećenja drugih distributivnih sistema (tabela 41), ali u sistemu Cetinja povećava gubitke čime se smanjuje nivo integracije novih OIE.

Tabela 41. Snaga gubitka distributivnih sistema za 80% opterećenja konzuma

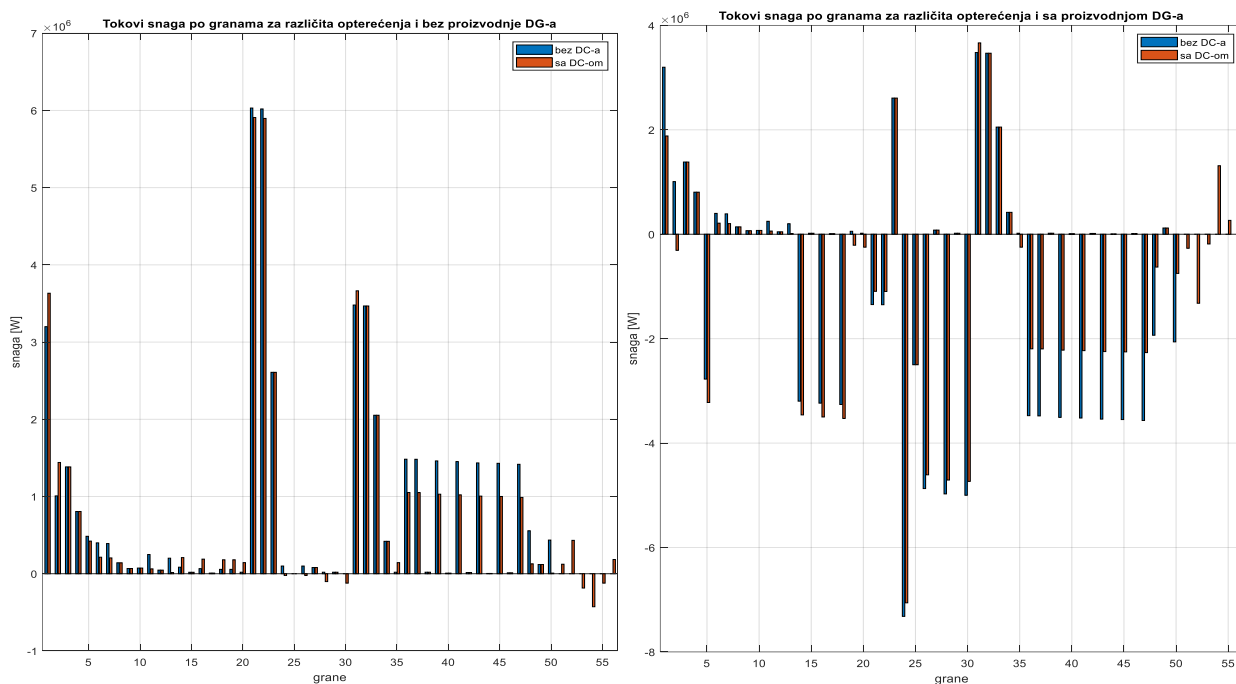
Snaga gubitka distributivnih sistema za 80% opterećenja konzuma	Cetinje [kW]	Danilovgrad [kW]	Virpazar [kW]	Kotor [kW]	AC Grane DC portova [kW]	Ukupni [kW]
Gubici bez OIE i DC portova	7.97	122	30	131	-	291
Gubici sa OIE i bez DC portovima	69.3	212	23	131	-	436
Gubici bez OIE i sa DC portovima	7.9	118	12	131	6.2	275
Gubici sa OIE i sa DC portovima	69.9	203	6.5	131	6.9	417

Na slici 60, dati su naponi sistema Cetinja, Danilovgrada, Virpazara i Kotora za slučaj 40% maksimalnog opterećenja konzuma. Sa slike 60 se vidi povećanje napona u čvorovima sistema sa ugradnjom DC portova, u odnosu na slučaj sa i bez proizvodnje iz OIE-a i bez DC portova. DC portovi povećavaju napon u sistemu, osim u čvorovima Cetinja i Virpazara. U sistemu Cetinja dolazi do povećanja prenosa snage dijelom sistema koji se vezuje u paralelu sa sistemom Danilovgrada, što izaziva povećani pad napona (slika 61). Dodatan pad napona stvara režim rada kovertora DC porta koji u ovom slučaju radi u induktivnom režimu rada, i uzima najviše snage u poređenju sa prethodnim slučajevima, s ciljem trošenja reaktivne snage iz mSE. Za sistem Virpazara se veća količina snage prenosi ka sistemu Cetinja preko DC porta, koja smanjuje plasiranje aktivne snage kroz sistem Virpazara. Ovo dovodi do manjih napona u čvorovima od 44 do 50 (slika 60).

Sa slike 61 se vide promjene toka snaga po granama u svakom sistemu. Može se primijetiti da sistemi Cetinja i Danilovgrada, zbog proizvodnje iz OIE-a, predaju snagu prenosnoj mreži. S ugradnjom DC portova povećava se snaga koja se predaje prenosnoj mreži od sistema Cetinja, s ciljem smanjenja zajedničkih gubitaka u sistemima Danilovgrada i Cetinja.



Slika 60. Naponi distributivnih sistema Cetinja, Virpazara, Kotora i Danilovgrada pri 40% opterećenju konzuma



Slika 61. Tokovi snaga po granama distributivnih sistema Cetinja, Virpazara, Kotora i Danilovgrada pri 40% opterećenom konzumu

Rezultati upravljačkih promjenljivih dati su u tabeli 41, 42 i 43 za ovaj slučaj opterećenja konzuma. Iz rezultata se vidi dodatno smanjenje prenosa aktivne snage i kompenzacije reaktivne snage preko DC portova kada nema proizvodnje iz OIE-a. Ovo je i očekivano jer DC portovi treba da balansiraju manje opterećene izvode, pa će prenos aktivne i kompenzacije reaktivne snage preko njih biti manja. S proizvodnjom iz OIE dolazi do dodatnog povećanja prenosa snage preko DC portova između sistema Cetinja i Danilovgrada i Cetinja i Virpazara u odnosu na prethodne slučajeve. Dodatno povećanje prenosa snage preko DC portova nastaje zbog većeg plasiranja snage u izvodima zbog proizvodnje iz OIE-a. Povećano plasiranje je posledica smanjenog opterećenja konzuma, a povećanje prenosa snage preko DC portova prati povećanje kompenzacije reaktivne snage sa ciljem poboljšanja naponskih prilika i smanjenja pada napona zbog povećanog prenosa aktivne snage u odnosu na prošle slučajeve. Za DC port s proizvodnjom iz OIE-a između Kotora i Cetinja nema većih promjena u rezultatima upravljačkih varijabli, zbog nepostojanja proizvodnje iz OIE-a na izvodima koji se vezuju preko DC porta. Razlika se vidi u manjoj potrebi za kompenzacijom reaktivne i prenosa aktive snage zbog smanjenog opterećenja konzuma u odnosu na prthodne slučajeve.

Tabela 42. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Danilovgrada

Snage DC porta 1	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.1235	-0.0305	-0.1223	-0.2222
Slučaj sa OIE-om	-0.2689	0.5321	0.2716	-0.3847

Tabela 43. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Virpazara

Snage DC porta 2	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	0.4323	-0.0119	-0.4280	-0.2523
Slučaj sa OIE-om	-1.3250	-0.0474	1.3382	-0.2960

Tabela 44. Vrijednosti upravljačkih varijabli DC porta između Cetinja i Kotora

Snaga DC porta 3	P1[MW]	Q1[MVAr]	P2[MW]	Q2[MVAr]
Slučaj bez OIE-a	-0.1856	-0.0460	0.1875	-0.0893
Slučaj sa OIE-om	-0.1869	-0.1001	0.1888	-0.0893

S maksimalnom proizvodnjom iz OIE-a ukupni gubici u sistemu rastu za 220kW u odnosu na slučaj bez proizvodnje iz OIE-a. Ugradnjom DC portova gubici se smanjuju za 3kW u slučaju bez proizvodnje iz OIE-a i 30 kW u slučaju proizvodnje iz OIE-a. Iz rezultata gubitaka Cetinja se vidi da gubici u sistemu Cetinja rastu za 10 kW, a razlog je preusmjeravanje snage iz OIE-a iz sistema Danilovgrada ka sistemu Cetinja preko DC portova. Ovo dovodi do rasterećenja sistema Danilovgrada i manjih gubitaka u sistemu Danilovgrada za 13 kW i povećanja gubitaka u sistemu Cetinja. Preusmjeravanje energije ka sistemu Cetinja iz sistema Virpazara rasterećuje sistem Virpazara za 33 kW.

Tabela 45. Snaga gubitaka distributivnih sistema za 40% opterećenja konzuma

Snaga gubitaka distributivnih sistema za 40% opterećenja konzuma	Cetinja [kW]	Danilovgrad [kW]	Virpazar [kW]	Kotor [kW]	AC Grane DC portova [kW]	Ukupni [kW]
Gubici bez OIE i DC portova	1.97	29	7.3	31.5	-	70
Gubici sa OIE i bez DC portova	64	152	47	31.5	-	298
Gubici bez OIE i sa DC portovima	1.95	28	3	31.4	1.4	67
Gubici sa OIE i sa DC portovima	72	139	14.7	31.4	11.8	269

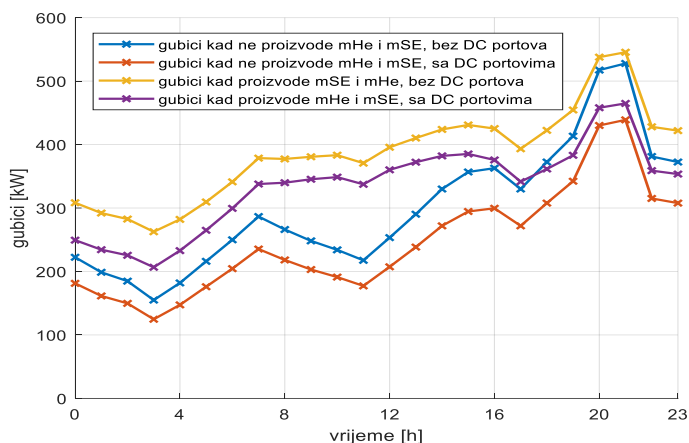
Drugi dio analize se bazira na ponašanju gubitaka u distributivnom sistemu sa DC portovima i bez DC portova za period od 24 h. Simulacije koje su analizirane su: za slučaj kada nema proizvodnje iz OIE sa i bez DC portova, kad proizvode samo mHe sa i bez DC portova, kad proizvode samo mSE sa i bez DC portova i kada proizvode mSE i mHe sa i bez DC portova.

Na slici 62, dati su grafici koji pokazuju kako se ponašaju gubici u distributivnom sistemu, za slučaj kada postoji i nema proizvodnje iz OIE-a, sa i bez DC portova. Na slici se vidi da sa integracijom OIE-a dolazi do povećanja gubitaka električne energije u sistemu za svaki sat, žuti graf (slika 62). Ovo povećanje gubitaka je iz razloga same pozicije OIE-a, koji se nalaze na udaljenim mjestima od centara potrošnje. Ovo dovodi do plasiranja energije od OIE-a do potrošača, što povećava gubitke u distributivnoj mreži zbog povećanja prenosa energije kroz distributivnu mrežu. Sa smanjenom potrošnjom konzuma, ovi gubici postaju još veći, jer se onda manje energije iz OIE-a troši na potrošnju, a više energije plasira u mrežu. Ovo dovodi do smanjene iskorišćenosti i nižom mogućnošću integracije OIE-a, što se može vidjeti u jutarnjim i popodnevrim časovima, kada je manja potrošnja konzuma. U večernjim satima vidi se da je razlika između slučaja kada nema proizvodnje, plavi graf, i kada ima proizvodnje iz OIE-a, manja razlika nego u jutarnjim i večernjim satima. Upravo u večernjim satima vidi se veća iskorišćenost OIE-a zbog povećane potrošnje. U tabeli 46, date su vrijednosti ukupne energije potrošene u danu za

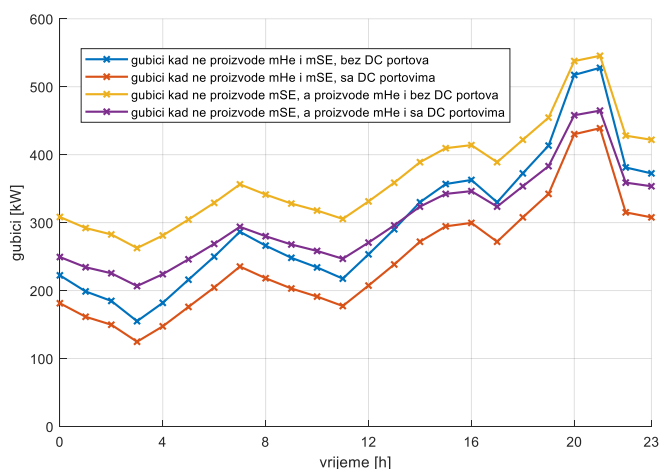
pokrivanje energije gubitaka za svaki analizirani slučaj. Iz tabele 46 se vidi da se energija potrebna da pokrije ukupne gubitke s proizvodnjom iz OIE-a, povećava sa 7.16 MWh na 9.2 MWh.

S konstantnom proizvodnjom iz mHE, bez proizvodnje iz mSE, tokom cijelog dana gubici u sistemu, žuti graf (slika 63), postaju veći u svakom satu, u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz mHE-a, plavi graf (slika 63). One dovode do porasta ukupne energije potrebne da se pokriju gubici sa 7,16 MWh, kada nema proizvodnje iz OIE-a, na 8,8 MWh (tabela 46). Najveće povećanje gubitaka je u jutranjim satima kada je najniža potrošnja. U ovom periodu, razlika između energije koju troši konzum i enerije koju proizvode mHE je veća zbog nižeg opterećenja konzuma. Samim tim se veća količina energije plasira u sistem i gubici postaju veći. Ova razlika je najmanja u noćnim satima (slika 63), kada je i najmanja razlika između grafika, kada ima proizvodnje i nema proizvodnje iz mHE.

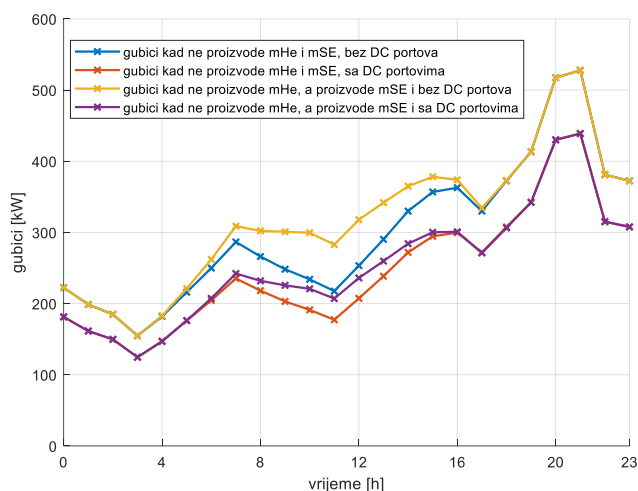
Na slici 64, dati su grafici promjene gubitaka kada u sistemu ima samo proizvodnje iz mSE. S integracijom mSE dolazi do promjena gubitaka u satima kada ima proizvodnje iz mSE. Na osnovu definisanih dijagrama opterećenja u 12h dolazi do blagog smanjenja opterećenja ukupnog konzuma kada mSE radi sa nominalnom snagom (slika 36). Sa slike 64 se da primijetiti da u 12h dolazi do najveće razlike u gubicima između slučaja kada proizvodi i ne proizvodi mSE, zbog blagog smanjenja opterećenja konzuma. Tada raste energija koju mSE plasiraju u mrežu i javlja se najveća razlika u gubicima u odnosu na slučaj bez mSE. Gubici u sistemu s proizvodnjom solara rastu sa 7,16 MWh na 7,6 MWh.



Slika 62. Ukupni gubici po satu za distributivni sistem Cetinja i okolne sisteme



Slika 63. Ukupni gubici po satu za distributivni sistem Cetinja i okolne sisteme kad samo mHE proizvode



Slika 64. Ukupni gubici po satu za distributivni sistem Cetinja i okolne sisteme kada samo mSE proizvode

Tabela 46. Ukupna energija potrošena na gubitke za 24h u sistemu Cetinja i okolnim sistemima

Energija potrošena na gubitke za 24 h	
Gubici kad ne proizvode mHe i mSE, bez DC portova	7.16 MWh
Gubici kad ne proizvode mHe i mSE, sa DC portovima	5.8 MWh
Gubici kad proizvode mSE i mHe, bez DC portova	9.2 MWh
Gubici kad proizvode mHe i mSE sa DC portovima	8 MWh
Gubici kad ne proizvode mHe, a proizvode mSE i bez DC portova	7.6 MWh
Gubici kad ne proizvode mHe, a proizvode mSE i sa DC portovima	6 MWh
Gubici kad ne proizvode mSE, a proizvode mHe i bez DC portova	8.8 MWh
Gubici kad ne proizvode mSE, a proizvode mHe i sa DC portovima	7.27 MWh

Sa ugradnjom 3 DC porta u slučaju kada ne proizvode mHE i mSE u sistemu Cetinja i okolnih sistema, ukupni gubici se smanjuju za 1.3 MWh (tabela 46). Sa slike 62 se vidi da se ukupni gubici, crveni graf, u sistemu smanjuju za svaki sat u odnosu na slučaj kada nema DC portova, plavi graf. Razlog ovome je bolja preraspodjela opterećenja između izvoda koje vezuju DC portovi. Razlika u smanjenju gubitaka za slučaj kada proizvode mHE i mSE se smanjuje sa 9.2 MWh na 7.9MWh. DC portovi u ovom slučaju, ljubičasti graf, do 17h smanjuju gubitke u odnosu na slučaj kada proizvode mSE i mHE, žuti graf, ali ih ne smanjuju u odnosu na slučaj kada nema proizvodnje iz mHE i mSE, plavi graf. Od 17 h DC portovi smanjuju gubitke ispod slučaja kada ne proizvode mHE i mSE. Ovdje se vidi povećano iskorišćenje OIE-a u noćnim satima, zbog ugradnje DC portova i smanjenja gubitaka ispod vrijednosti kada nema priključenih OIE.

U slučaju proizvodnje samo iz mHE gubici s ugradnjom DC portova se smanjuju sa 8,8 MWh na 7,14 MWh. DC portovi ovdje smanjuju povećano plasiranje energije iz mHE za 1.6 MWh i smanjuju ukupnu energiju potrebnu za pokrivanje gubitaka u slučaju kad nema proizvodnje iz

OIE-a za 0,02 MWh. S proizvodnjom iz mSE energija potrošena na gubitke se smanjuje sa 7.6 MWh na 5.9 MWh. Energija potrebna za gubitke se povećava za 0.1 MWh u odnosu na slučaj bez proizvodnje iz OIE-a. Razlog ovako većeg smanjenja gubitaka u odnosu na slučaj kada mHE proizvode jeste jer je instalisana snaga ugrađenih mSE manja nego instalisana snaga mHE u distributivne sisteme. Sa DC portovima (slika 64), vidi se da se gubici iz 12h, prouzrokovani zbog proizvodnje mSE, smanjuju ispod vrijednosti gubitaka kada mSE ne proizvode. Takođe, pored ovoga sata, gubici u svakome satu, ljubičasti graf, sa DC portovima su manji nego kada nema proizvodnje iz mSE.

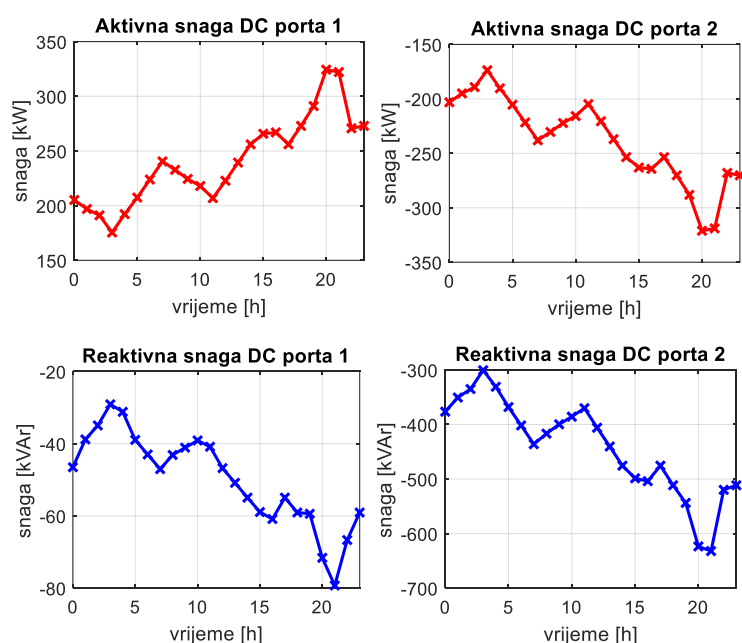
U tabelama 47, 48 i 49 date su vrijednosti rezultata upravljačkih promjenljivih pri pokretanju algoritma za 24h za slučaj kada u sistemu ima ugrađenih DC portova sa i bez proizvodnje iz OIE-a, a na slikama 65, 66, 67, 68, 69 i 70 su date grafičke interpretacije ovih rezultata.

U tabeli 47, dati su rezultati za DC port između Danilovgrada i Cetinja za slučaj sa proizvodnjom iz OIE-a (slika 66), i bez proizvodnje iz OIE-a (slika 65). Iz tabele 47 i slike 65, može se vidjeti da DC port za slučaj bez proizvodnje iz OIE-a, s promjenom opterećenja konzuma, mijenjaju svoje upravljačke varijable. Sa smanjenjem opterećenja konzuma, aktivna snaga koju DC port treba da balansira između izvoda se smanjuje, i obratno, s povećanjem snage konzuma dolazi do povećanja prenosa aktivne snage preko DC porta od sistema Cetinja ka sistemu Danilovgrada. Tok snage je za 24 h ista od Cetinja ka Danilovgradu. DC port prati potrošnju na izvodima, što se dodatno može vidjeti sa slike 65, gdje upravljačke promjenljive aktivne i reaktivne snage prate izgled dnevnog dijagrama opterećenja. Sa smanjenjem opterećenja konzuma, DC porta daje manje reaktivne snage sistemima, i obrnuto, što pokazuje da i aktivna i reaktivna snaga prate promjene opterećenja konzuma.

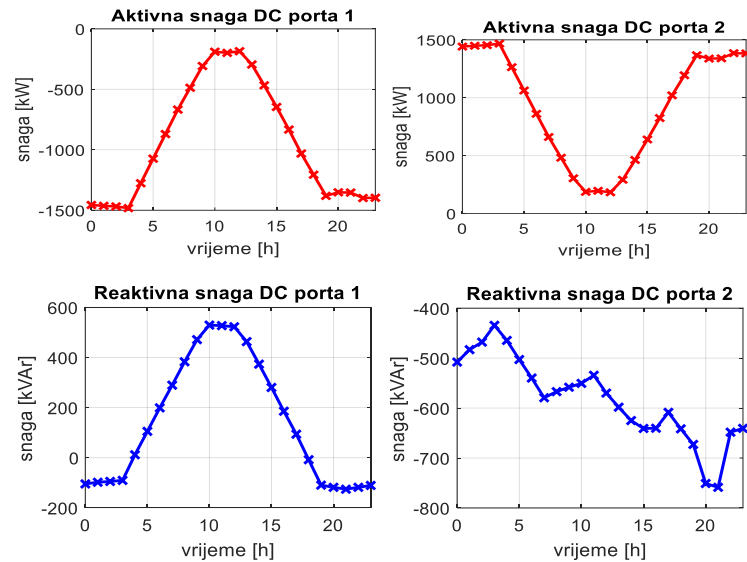
S proizvodnjom iz OIE-a dolazi do promjena proizvodnje na izvodima koje DC port vezuje u paralelan rad. To se odražava na vrijednosti upravljačkih promjenljivih. Prva promjena je u režimu rada konvertora DC porta koji sada za svih 24 h prenose snagu od sistema Danilovgrada ka sistemu Cetinja (slika 66). Sistem Danilovgrada ima veću proizvodnju iz OIE-a, zbog mHE koje se nalaze u sistemu Danilovgrada i gubitke zbog njihove proizvodnje, pa se balansiranje između izvoda sprovodi na način da se dio snage plasira i u sistem Cetinja. U sistemu Cetinja s porastom proizvodnje iz mSE koja se nalazi na ovome izvodu dolazi do manje potrebe za balansiranjem energije između izvoda. Rezultat ovoga se vidi iz rezultata da sa proizvodnjom iz mSE opada aktivna snaga koja se prenosi između sistema preko DC porta (tabela 47). Vrijednosti reaktivne snage se takođe mijenjaju s proizvodnjom iz OIE-a. Kada radi mSE ona radi s faktorom snage 0.95 i u mrežu šalje reaktivnu snagu koja dovodi do promjene režima rada DC porta. Konvertor DC porta na strani Cetinja mijenja režim rada iz kapacitivnog u induktivni režim rada. Ovaj prelaz nastaje u periodu kada počinje da proizvodi mSE u sistemu Cetinja, i traje dok mSE proizvodi. Kada mSE prestane da proizvodi dolazi do povratka na kapacitivan režim ovoga konvertora DC porta. Konvertor DC porta na strani Danilovgrada radi i dalje u kapacitivnom režimu, jer mHE rade sa faktorom snage 1 i ne plasiraju reaktivnu snagu u mrežu, pa konvertor DC porta ne mijenja režim rada. Konvertor DC porta daje veću reaktivnu snagu na strani Danilovgrada s proizvodnjom iz OIE-a, ali se ona ne razlikuje mnogo u odnosu na slučaj bez proizvodnje iz OIE-a. Razlog ovoga povećanja je uvećani pad napona koji se javlja na strani Danilovgrada s proizvodnjom iz OIE-a. S povećanjem reaktivne snage koju daje konvertor DC porta 2 poboljšavaju se naponi sistema Danilovgrada, čime se smanjuje uticaj povećanog pada napona i naponi u sistemu će postati bliži referentnoj vrijednosti napona za sistem Danilovgrada.

Tabela 47. Snage DC porta između Cetinja i Danilovgrada sa i bez proizvodnje iz OIE-a

Vrijeme [h] Snaga [MW/MVAr]	Snage DC porta između Cetinja i Danilovgrada bez proizvodnje iz OIE- a				Snage DC porta između Cetinja i Danilovgrada sa proizvodnjom iz OIE-a			
	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2
0	0.205	-0.046	-0.203	-0.376	-1.44	-0.104	1.456	-0.507
1	0.197	-0.038	-0.195	-0.350	-1.44	-0.098	1.463	-0.483
2	0.191	-0.035	-0.189	-0.335	-1.45	-0.095	1.468	-0.467
3	0.175	-0.029	-0.173	-0.300	-1.46	-0.090	1.482	-0.434
4	0.192	-0.031	-0.190	-0.330	-1.26	0.011	1.276	-0.464
5	0.207	-0.039	-0.205	-0.368	-1.06	0.105	1.073	-0.502
6	0.223	-0.043	-0.221	-0.401	-0.86	0.198	0.870	-0.539
7	0.240	-0.047	-0.238	-0.436	-0.66	0.289	0.667	-0.579
8	0.232	-0.043	-0.230	-0.416	-0.48	0.382	0.487	-0.567
9	0.224	-0.041	-0.222	-0.399	-0.30	0.471	0.307	-0.558
10	0.218	-0.039	-0.215	-0.385	-0.18	0.529	0.189	-0.550
11	0.206	-0.040	-0.204	-0.370	-0.19	0.527	0.198	-0.534
12	0.222	-0.046	-0.220	-0.406	-0.18	0.522	0.185	-0.570
13	0.239	-0.050	-0.237	-0.440	-0.29	0.463	0.294	-0.598
14	0.256	-0.054	-0.253	-0.475	-0.46	0.373	0.467	-0.625
15	0.265	-0.058	-0.263	-0.498	-0.63	0.280	0.646	-0.640
16	0.267	-0.060	-0.264	-0.503	-0.82	0.185	0.832	-0.640
17	0.256	-0.054	-0.253	-0.475	-1.02	0.093	1.031	-0.608
18	0.272	-0.059	-0.270	-0.511	-1.19	-0.008	1.206	-0.641
19	0.291	-0.059	-0.288	-0.543	-1.36	-0.109	1.380	-0.672
20	0.324	-0.071	-0.321	-0.623	-1.33	-0.118	1.351	-0.751
21	0.322	-0.079	-0.318	-0.632	-1.34	-0.125	1.353	-0.758
22	0.270	-0.066	-0.268	-0.519	-1.38	-0.118	1.398	-0.648
23	0.272	-0.059	-0.270	-0.511	-1.38	-0.110	1.396	-0.640



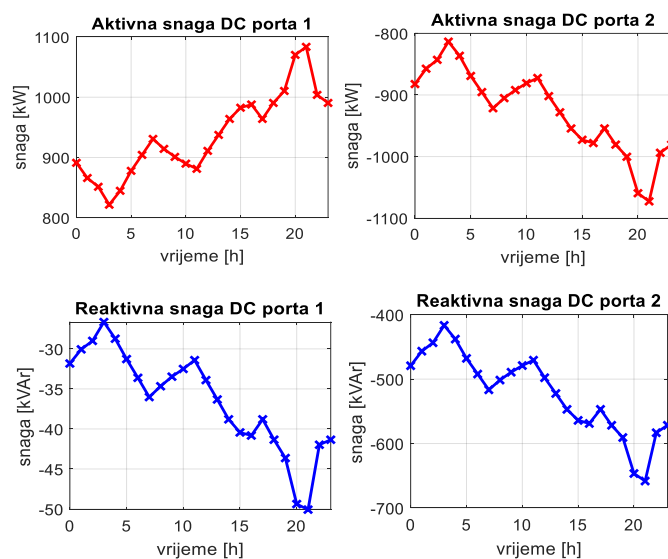
Slika 65. Rad DC porta između Cetinja i Danilovgrada kada nema proizvodnje iz OIE-a



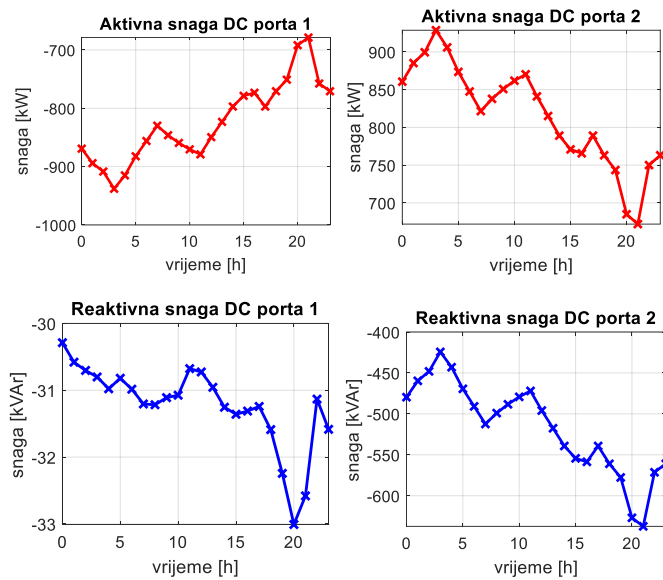
Slika 66. Rad DC porta između Cetinja i Danilovgrada s proizvodnjom iz OIE-a

U tabeli 48 date su vrijednosti rezultata algoritma DC porta između Cetinja i Virpazara. Iz tabele 48, za slučaj kada nema proizvodnje iz OIE-a, može se zaključiti da DC port prati potrošnju konzuma sa obje strane izvoda. Tok aktivne snage je od sistema Cetinja ka sistemu Virpazara i sa slike 67 možemo vidjeti njegovu sličnost grafika promjene toka aktivne snage DC porta sa grafikom dnevnog dijagrama opterećenja. Kompenzacija reaktivne snage takođe prati dijagram opterećenja, i oba kraja DC porta rade u kapacitivnom režimu rada.

S proizvodnjom iz OIE-a dolazi do promjena u smjeru toka snage kroz DC port. Izvod sistema Virpazara ima promjene u proizvodnji iz mHE koje se nalaze na toj strani mreže, dok na strani izvoda Cetinja nema promjena u proizvodnji iz OIE-a. Ovo dovodi do balansiranja aktivne snage preko DC porta, tako da se dio aktivne snage iz OIE-a iz sistema Virpazara plasira u sistem Cetinja preko DC porta. Konvertor DC porta u ovom slučaju ne mijenja režim rada već ostaje u kapacitivnom režimu rada. Promjena reaktivne snage je mala (tabela 48). Konvertor DC port sa strane Virpazara povećava malo reaktivnu snagu koju daje u mrežu da bi smanjio gubitke koji nastaju zbog povećanog prenosa u sistemu Virpazara zbog proizvodnje OIE-a. Za konvertor DC port sa strane Cetinja nema promjena u predatoj reaktivnoj snazi, zbog dobrih naponskih prilika na strani Cetinja.



Slika 67. Rad DC porta između Cetinja i Virpazara kada nema proizvodnje iz OIE-a

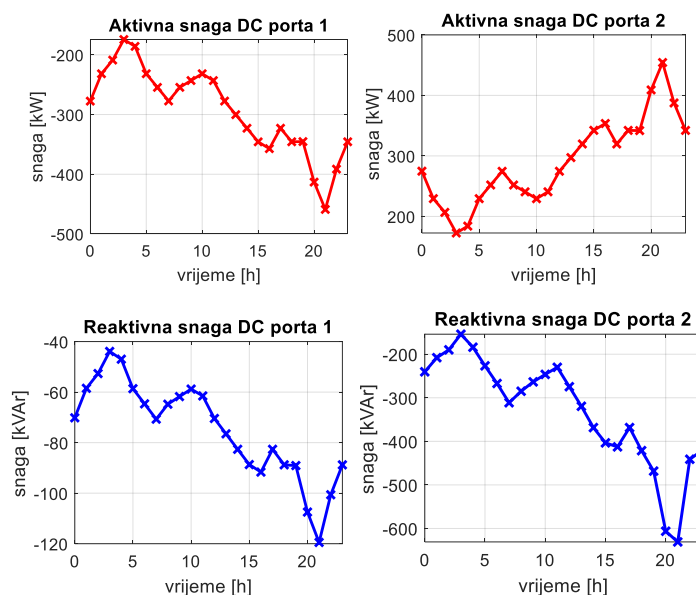


Slika 68. Rad DC porta između Cetinja i Virpazara kada ima proizvodnje iz OIE-a

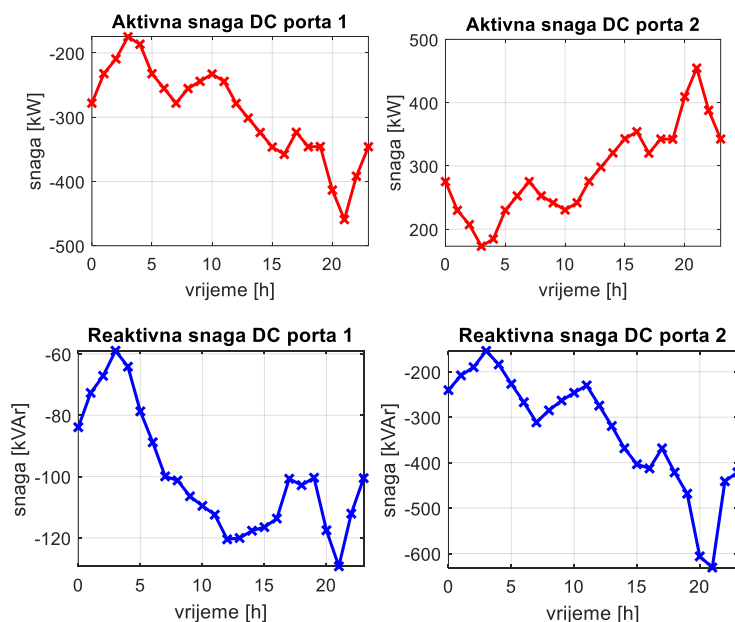
Tabela 48. Snage DC porta između Cetinja i Virpazara sa i bez proizvodnje iz OIE-a

Vrijeme [h] Snaga [MW/MVAr]	Snage DC porta između Cetinja i Virpazara bez proizvodnje iz OIE-a				Snage DC porta između Cetinja i Virpazara sa proizvodnjom iz OIE-a			
	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2
0	0.891	-0.031	-0.882	-0.479	-0.860	-0.030	0.869	-0.479
1	0.866	-0.030	-0.857	-0.456	-0.885	-0.030	0.894	-0.459
2	0.851	-0.029	-0.842	-0.443	-0.899	-0.030	0.908	-0.448
3	0.821	-0.026	-0.813	-0.416	-0.928	-0.030	0.938	-0.424
4	0.844	-0.028	-0.836	-0.437	-0.905	-0.031	0.915	-0.443
5	0.877	-0.031	-0.869	-0.467	-0.873	-0.030	0.882	-0.469
6	0.904	-0.033	-0.895	-0.492	-0.847	-0.031	0.856	-0.490
7	0.930	-0.036	-0.921	-0.516	-0.821	-0.031	0.829	-0.512
8	0.914	-0.034	-0.905	-0.501	-0.837	-0.031	0.846	-0.499
9	0.901	-0.033	-0.892	-0.489	-0.850	-0.031	0.859	-0.488
10	0.889	-0.032	-0.880	-0.478	-0.861	-0.031	0.870	-0.479
11	0.881	-0.031	-0.872	-0.470	-0.870	-0.030	0.879	-0.472
12	0.911	-0.033	-0.901	-0.497	-0.841	-0.030	0.849	-0.496
13	0.937	-0.036	-0.928	-0.522	-0.815	-0.031	0.823	-0.517
14	0.964	-0.038	-0.954	-0.546	-0.789	-0.031	0.797	-0.539
15	0.982	-0.040	-0.972	-0.564	-0.770	-0.031	0.778	-0.554
16	0.987	-0.040	-0.978	-0.568	-0.765	-0.031	0.773	-0.558
17	0.964	-0.038	-0.954	-0.546	-0.789	-0.031	0.797	-0.539
18	0.990	-0.041	-0.980	-0.571	-0.763	-0.031	0.770	-0.561
19	1.010	-0.043	-1.000	-0.590	-0.743	-0.032	0.751	-0.577
20	1.070	-0.049	-1.059	-0.646	-0.684	-0.033	0.691	-0.627
21	1.083	-0.050	-1.072	-0.658	-0.671	-0.032	0.678	-0.637
22	1.003	-0.042	-0.993	-0.583	-0.750	-0.031	0.757	-0.571
23	0.990	-0.041	-0.980	-0.571	-0.763	-0.031	0.770	-0.561

Iz tabele 49 i slika 69 i 70, može se zaključiti da DC port ne mijenja mnogo svoje parametre u dva slučaja kada ima proizvodnje, i bez proizvodnje iz OIE-a između Cetinja i Kotora. Promjena u proizvodnji iz OIE-a ne dovodi do promjena rada DC porta. Sa slika 69 i 70 može se zaključiti kako aktivna snaga DC porta prati promjenu opterećenja dnevnog dijagrama i ne mijenja se sa proizvodnjom iz OIE-a. Reaktivna snaga konvertora DC porta na strani Cetinja blago raste s ciljem smanjenja gubitaka i poboljšanja napona na strani Cetinja, na kojem dolazi do promjena zbog proizvodnje OIE-a. Konvertor DC port sa strane Kotora nema promjena u reaktivnoj snazi koju daje sistemu.



Slika 69. Rad DC porta između Cetinja i Kotora kada nema proizvodnje iz OIE-a



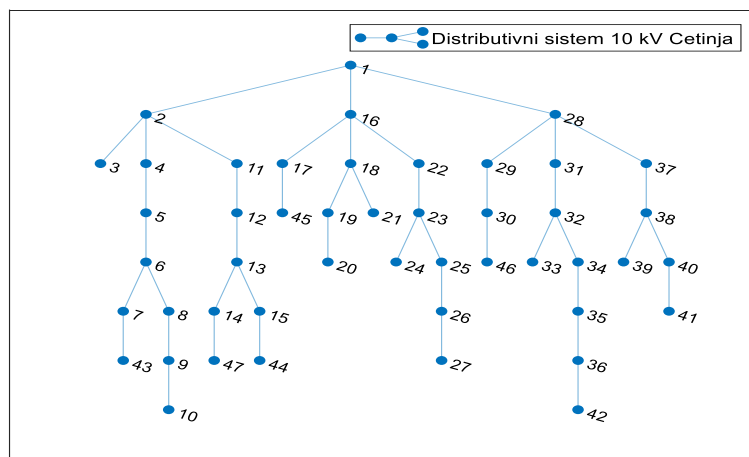
Slika 70. Rad DC porta između Cetinja i Kotora kada ima proizvodnje iz OIEa

Tabela 49. Snage DC porta između Cetinja i Kotora sa i bez proizvodnje iz OIE-a

Vrijeme [h] Snaga [MW/MVAr]	Snage DC porta između Cetinja i Kotora bez proizvodnje iz OIE-a				Snage DC porta između Cetinja i Kotora s proizvodnjom iz OIE-a			
	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2	Pdc1	Qdc1	Pdc2	Qdc2
0	-0.274	-0.070	0.277	-0.240	-0.275	-0.083	0.278	-0.240
1	-0.229	-0.058	0.231	-0.208	-0.229	-0.072	0.232	-0.208
2	-0.206	-0.052	0.208	-0.189	-0.207	-0.067	0.209	-0.189
3	-0.172	-0.043	0.174	-0.154	-0.173	-0.059	0.174	-0.154
4	-0.184	-0.047	0.185	-0.184	-0.184	-0.064	0.186	-0.184
5	-0.229	-0.058	0.231	-0.226	-0.229	-0.078	0.232	-0.226
6	-0.252	-0.064	0.254	-0.267	-0.252	-0.088	0.255	-0.267
7	-0.274	-0.070	0.277	-0.311	-0.275	-0.100	0.278	-0.311
8	-0.251	-0.064	0.254	-0.285	-0.252	-0.101	0.255	-0.285
9	-0.240	-0.061	0.243	-0.263	-0.241	-0.106	0.244	-0.263
10	-0.229	-0.058	0.231	-0.246	-0.230	-0.109	0.232	-0.246
11	-0.240	-0.061	0.243	-0.230	-0.241	-0.112	0.244	-0.230
12	-0.274	-0.070	0.277	-0.274	-0.275	-0.120	0.278	-0.274
13	-0.297	-0.076	0.300	-0.319	-0.298	-0.120	0.301	-0.319
14	-0.319	-0.082	0.323	-0.368	-0.320	-0.117	0.323	-0.368
15	-0.342	-0.088	0.345	-0.403	-0.342	-0.116	0.346	-0.403
16	-0.353	-0.091	0.357	-0.412	-0.354	-0.113	0.357	-0.412
17	-0.319	-0.082	0.323	-0.368	-0.320	-0.100	0.323	-0.368
18	-0.342	-0.088	0.345	-0.421	-0.342	-0.102	0.346	-0.421
19	-0.341	-0.089	0.345	-0.468	-0.342	-0.100	0.345	-0.468
20	-0.409	-0.107	0.413	-0.606	-0.409	-0.117	0.413	-0.606
21	-0.454	-0.119	0.458	-0.630	-0.454	-0.129	0.459	-0.630
22	-0.387	-0.100	0.391	-0.441	-0.387	-0.112	0.391	-0.441
23	-0.342	-0.088	0.345	-0.421	-0.342	-0.100	0.346	-0.421

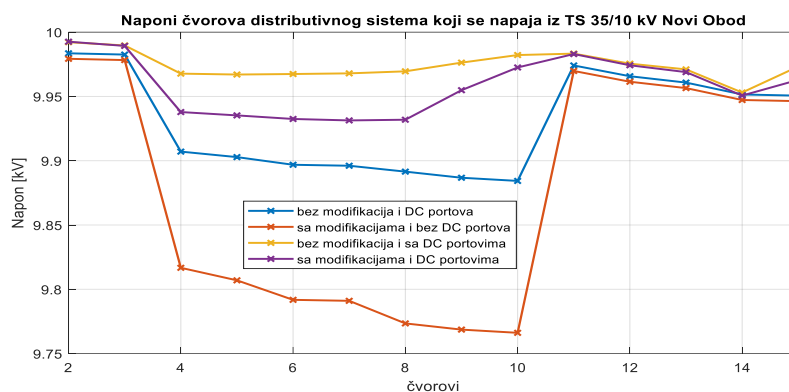
4.2.2. Rezultati simulacije za dio 10 kV distributivnog sistema Cetinja

Prvi dio analize rada algoritma i doprinosa DC portova 10 kV distributivnom sistemu odnosi se na naponske prilike i gubitke u sistemu za tri slučaja dobijenih na osnovu dijagrama opterećenja i to za 3, 13 i 20 sat sa i bez modifikacija, a u drugom dijelu biće prikazan uticaj na smanjenje gubitaka za period od 24 h. Na slici 71 dat je graf 10 kV dijela mreže Cetinja, radi lakšeg orijentisanja u rezultatima.

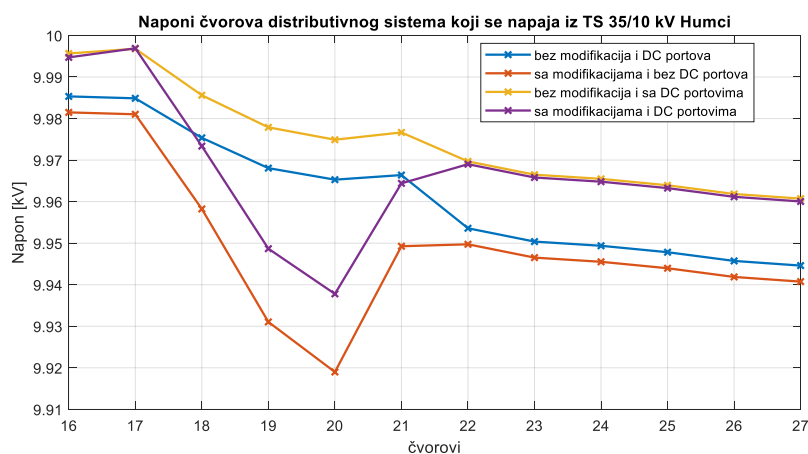


Slika 71. Graf dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja

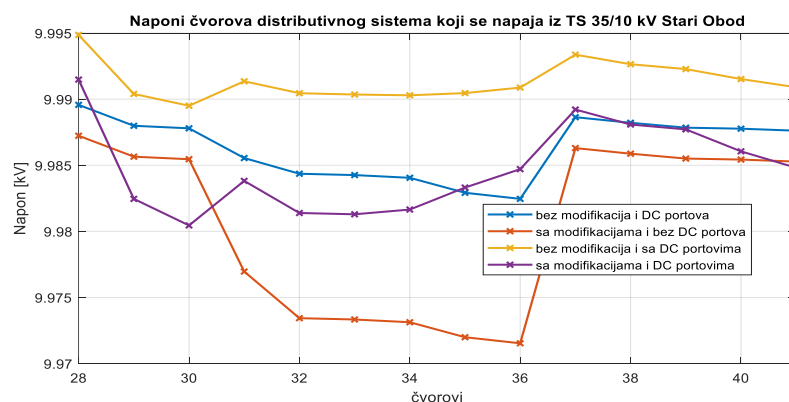
Na slikama 72, 73 i 74 dati su naponi čvorova dijela distributivnih sistema 10 kV sistema Cetinja koji se napajaju iz trafostanica Novi Obod, Humci i Stari Obod, za slučaj opterećenja iz 3-ćeg sata na osnovu definisanih scenarija potrošnje za četiri slučaja sa i bez modifikacija konzuma, sa i bez 6 DC portova. Na slikama 75 i 76 dati su tokovi snaga po granama za ova četiri slučaja.



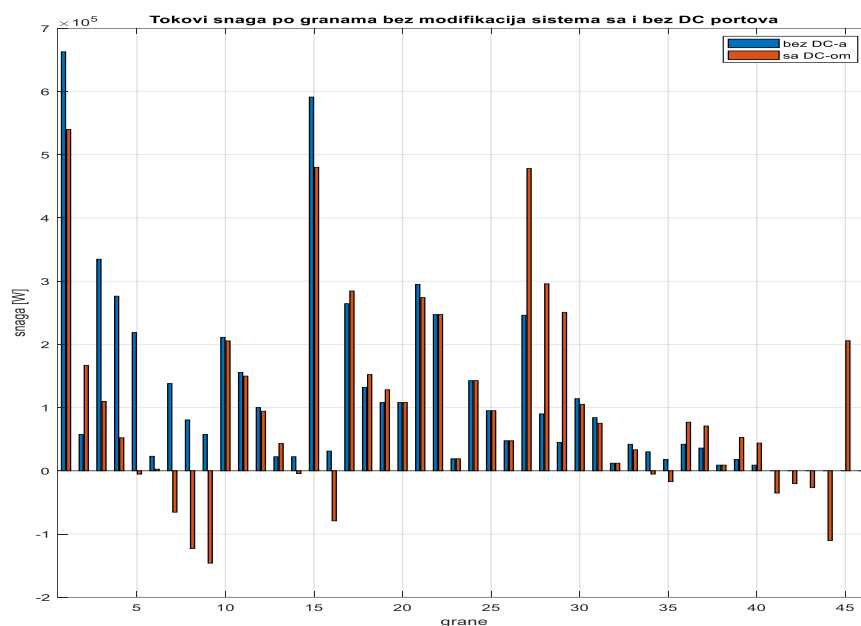
Slika 72. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Novi Obod u 4-tom satu



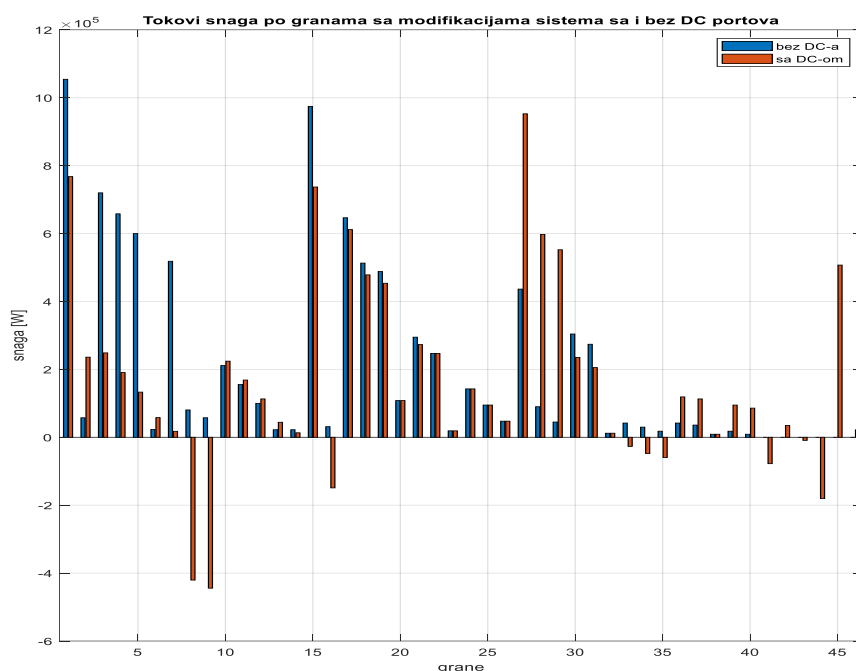
Slika 73. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Humci u 4-tom satu



Slika 74. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Stari Obod u 4-tom satu



Slika 75. Tokovi snaga po granama bez modifikacija sa i bez DC portova u 4-tom satu



Slika 76. Tokovi snaga po granama bez modifikacija sa i bez DC portova u 4-tom satu

Sa urađenim modifikacijama 10 kV distributivnog sistema Cetinja dolazi do pada napona sa modifikacijama, crveni graf sa slika 72, 73 i 74, jer je sistem više opterećen i nema proizvodnje iz mSE u ovom vremenskom trenutku analize. Najniža vrijednost napona sa modifikacijama je 9.77 kV u čvoru 10, a bez u čvoru 10 iznosi 9.88 kV. Sa ugradnjom DC portova dolazi do boljih naponskih prilika u sistemu bez modifikacija, gdje je najniža vrijednost napona u čvoru 27 i iznosi 9.96 kV. Sa slike 75 se vidi da dolazi do preraspodjele opterećenja i promjene smjera toka snaga kroz grane: 7, 8, 9 i 16. Najveća promjena preraspodjele opterećenja se vidi iz rasterećenja distributivnih transformatora u Novom Obodu i Humcima, grane 15 i 1 slika 75, i povećanja opterećenja distributivnog transformatora Stari Obod, grana 27. Povećanje opterećenja grane 27

je posljedica 3 DC porta (tabela 51), koji se nalaze u dijelu mreže koji se napaja preko tog distributivnog transformatora i preko njih prenose ka drugim krajevima DC portova 200 kW aktivne snage. Upoređivanjem tabela 51 i 52 se vidi veća iskorišćenost pojedinih DC portova, dok kod drugih DC potova se smanjuje iskorišćenost sa modifikacijama sistema, nego kada nema modifikacija. Ove promjene su zbog većeg opterećenja sistema zbog uvedenih manipulacija jer će DC portovi sada morati balansirati veće snage. Gubici u slučaju bez modifikacija i bez DC portova iznose 5.6 kW, a sa DC portovima padaju na 2.6 kW (tabela 50).

Modifikovani 10 kV distributivni sistem sa DC portovima dovodi do poboljšanja dijela koji se napaja preko TS Novi Obod i Humci, dok u čvorovima 29, 30 i 41 koji se napajaju iz TS Stari Obod dolazi do blagog pada napona. Razlog ovome je povećani prenos kroz distributivni transformator Stari Obod koji napaja ove čvorove, zbog priključenja DC portova koji prenose dodatnih 230 kW bez modifikacija i 500 kW sa modifikacijama (tabela 51), preko transformatora. Gubici u sistemu sa modifikacijama rastu na 21.4 kW a sa DC portovima padaju na 9,8 kW (tabela 50).

Tabela 50. Snaga gubitaka dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja u 3h

Snaga gubitaka dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja u 3h	[kW]
Bez modifikacija i bez DC portova	5.6
Sa modifikacijama i bez DC portova	21.4
Bez modifikacija i sa DC portovima	2.6
Sa modifikacijama i sa DC portovima	9.8

Tabela 51. Snage DC portova u dijelu distributivnog sistema Cetinja u 3h bez modifikacija

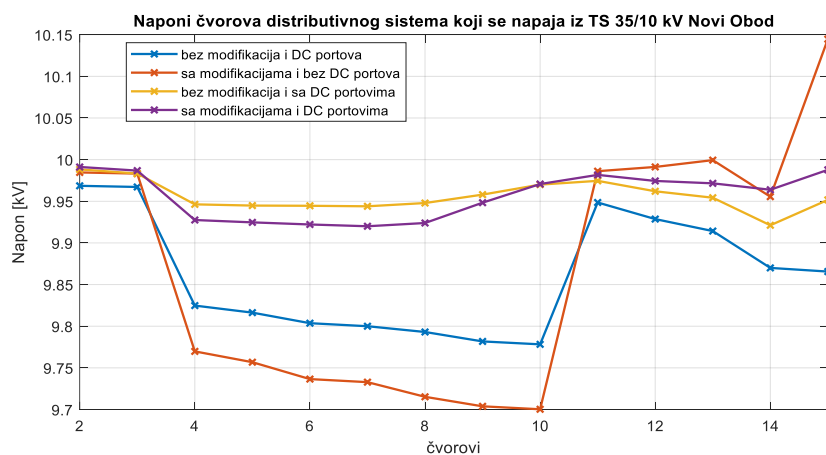
Snage DC portova	P1	Q1	P2	Q2
DC port 42-41	-34,7	-3,3	35,0	-4,9
DC port 43-20	-21,4	-24,6	21,6	-25,8
DC port 44-34	-26,5	-4,9	26,7	-12,4
DC port 45-3	-113,1	-13,2	114,2	-13,7
DC port 46-10	204,1	-15,8	-202,5	-18,5
DC port 47-22	21,1	-5,19	-20,8	-44,5

Tabela 52. Snage DC portova u dijelu distributivnog sistema Cetinja u 3h sa modifikacijama

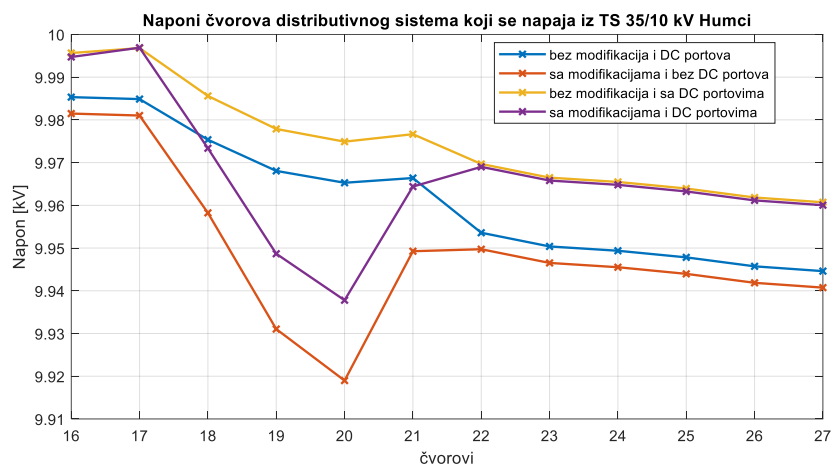
Snage DC portova	P1	Q1	P2	Q2
DC port 42-41	-81,1	-10,1	81,9	-7,4
DC port 43-20	33,9	-28,4	-33,56	-26,9
DC port 44-34	-9,4	-6,0	9,49	-4,5
DC port 45-3	-180,7	-36,9	182,5	-40,7
DC port 46-10	508,1	-26,2	-503,1	-18,5
DC port 47-22	23,7	-5,2	-23,3	-44,3

Drugi slučaj za analizu naponskih prilika i gubitaka je dobijen za definisani dijagram opterećenja u 13h. Na slikama 77, 78 i 79 dati su naponi čvorova, a na slikama 80 i 81 tokovi snaga po

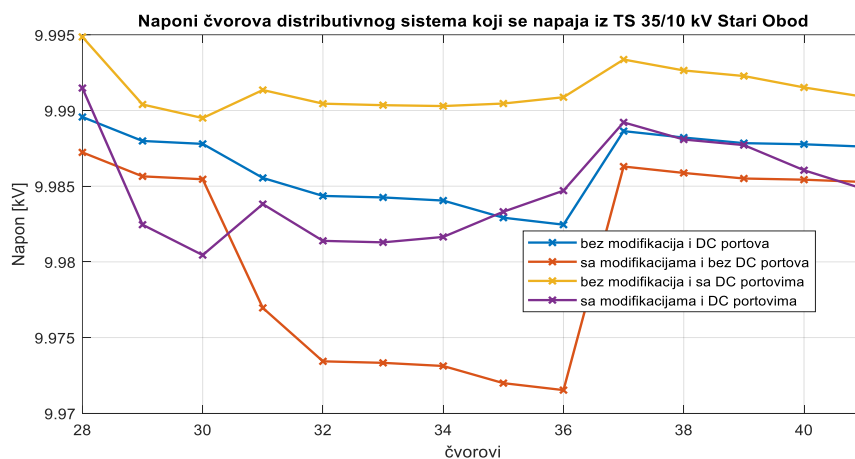
granama, dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja sa i bez modifikacija i za ove slučajeve analiza sa i bez DC portova.



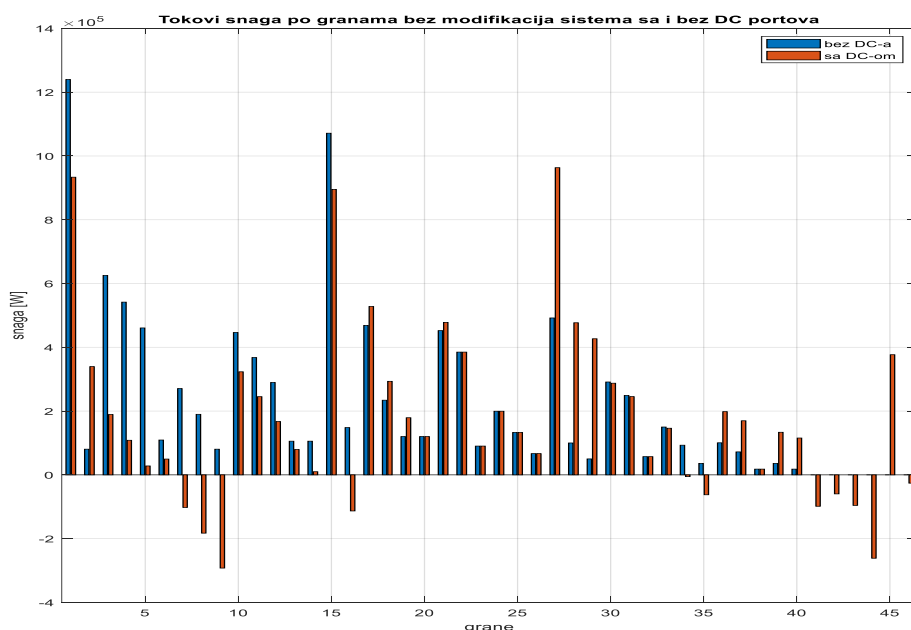
Slika 77. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Novi Obod u 13-tom satu



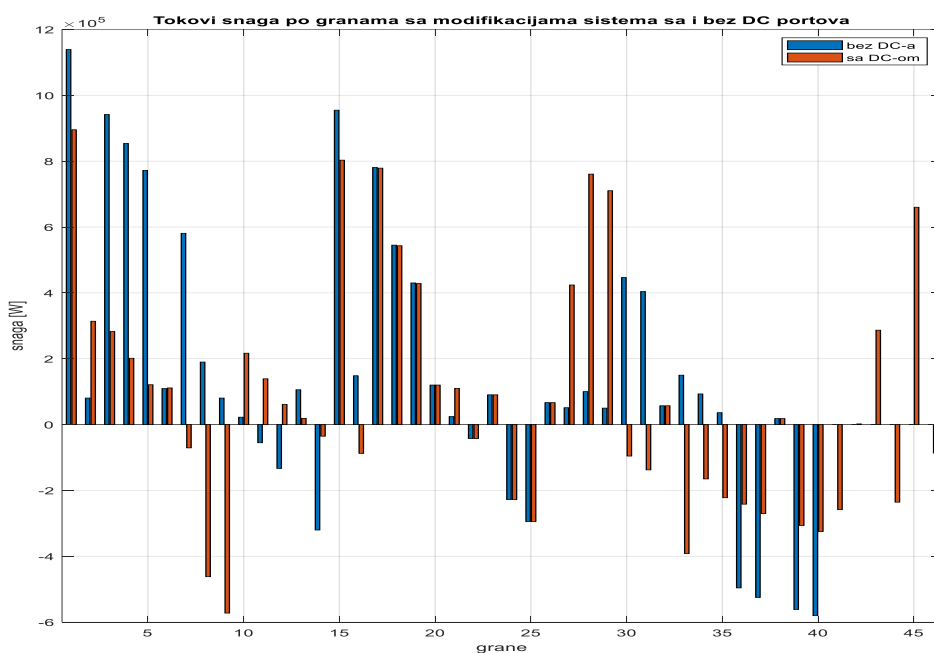
Slika 78. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Humci u 13-tom satu



Slika 79. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Stari Obod u 13-tom satu



Slika 80. Tokovi snaga po granama bez modifikacija, sa i bez DC portova u 13-tom satu



Slika 81. Tokovi snaga po granama sa modifikacijama, sa i bez DC portova u 13-tom satu

U ovom slučaju opet, najmanji naponi se javljaju sa uvođenjem modifikacija u distributivni sistem. Međutim, dolazi do promjena i poboljšanja napona u djelovima sistema zbog proizvodnje iz mSE, crveni graf sa slika 77, 78 i 79. Najniži napon je u čvoru 10 i iznosi 9.7 kV. Dodatni pad napona u ovome čvoru u odnosu na drugi slučaj je da je veća potrošnja u 13h nego u 3h. Ovo se vidi i na padu minimalnog napona bez modifikacija za čvor 9 sa 9.88 kV (slika 72), na 9.77 kV (slika 77). Najveće povećanje napona dolazi u čvorovima sa mSE, i to u čvorovima: 15, 26 i 41.

S priključenjem DC portova u slučaju bez modifikacije dolazi do poboljšanja naponskih prilika u svakom čvoru. Najniži napon s priključenjem DC portova se podiže sa 9,77 kV na 9.97

kV (slike 77,78 i 79), žuti graf sa slika 72,73 i 74. Sa modifikacijama i priključenim DC portovima dolazi do poboljšanja naponskih prilika, tako što se podižu niski naponi u sistemima, a povišeni naponi, zbog priključenja mSE spuštaju, bliže referentnom naponu, ljubičasti graf sa slika 77,78 i 79.

Sa slika 80 i 81, pokazuje se da se opet preko transformatora u TS Stari Obod, grana 27, povećava prenos aktivne snage ka sistemu zbog priključenja DC portova na tom dijelu distributivnog sistema i to za 470 kW bez manipulacija i za 350 kW s manipulacijama (tabele 54 i 55). U tabelama 54 i 55 možemo vidjeti da dolazi do promjene režima rada tri konvertora DC portova iz kapacitivnog u induktivni režim. Razlog ovome je da se kompenzuje reaktivna snaga koju daju mSE zbog njihovog kapacitivnog rada i faktora snage od 0,95. Ugradnja DC portova dovodi do smanjenja gubitka bez manipulacija sa 20 kW na 8.9 kW i sa manipulacijama za 39.9 kW na 12 kW (tabela 53). Sa ugradnjom DC portova dolazi do većeg iskorišćenja DC portova u odnosu na slučaj bez manipulacija na 10 kV sistemu (tabele 54 i 55).

Tabela 53. Snaga gubitaka dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja u 13h

Snaga gubitaka dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja u 13h	[kW]
Bez modifikacija i bez DC portova	20.0
Sa modifikacijama i bez DC portova	39.9
Bez modifikacija i sa DC portovima	8.9
Sa modifikacijama i sa DC portovima	12.0

Tabela 54. Snage DC portova u dijelu distributivnog sistema Cetinja u 13h bez modifikacija

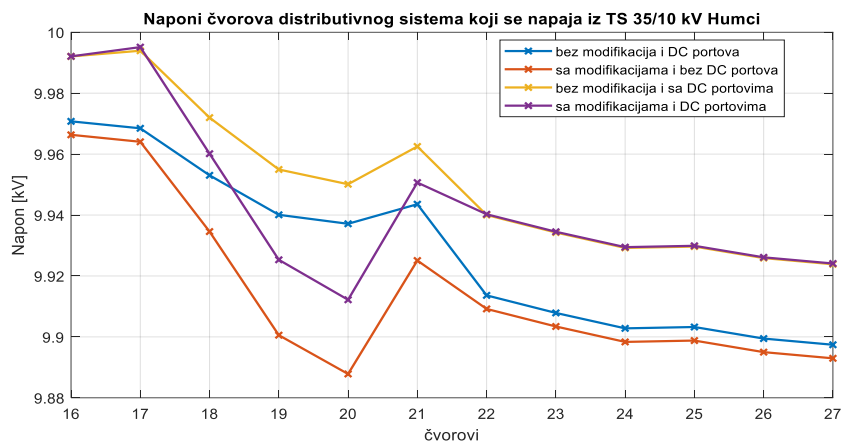
Snage DC portova	P1	Q1	P2	Q2
DC port 42-41	-106,6	-10,0	107.6	-12,3
DC port 43-20	-59,5	-47,5	60	-45,1
DC port 44-34	-97,0	-17,5	97.9	-33,4
DC port 45-3	-261,1	-43,5	263.7	-27,9
DC port 46-10	376,9	-27,9	-373.1	-35,3
DC port 47-22	-26,1	-18,1	26.9	-71,7

Tabela 55. Snage DC portova u dijelu distributivnog sistema Cetinja u 13h sa modifikacijama

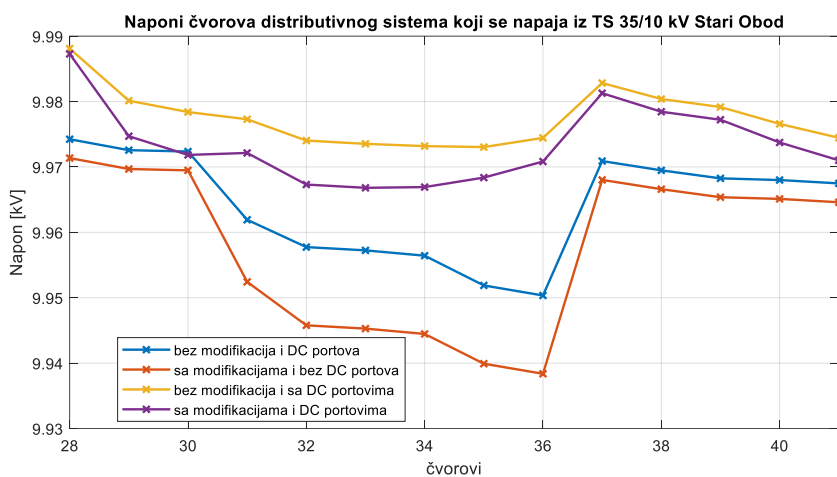
Snage DC portova	P1	Q1	P2	Q2
DC port 42-41	-257,9	-8,9	260.4	184,5
DC port 43-20	1,39	-48,3	-1.37	-48,2
DC port 44-34	-286,5	119,5	289.3	-35,0
DC port 45-3	-236,3	-43,1	238.6	-47,0
DC port 46-10	659,4	-37,9	-652.8	-37,1
DC port 47-22	-86,3	-18,2	87.1	70,55

Treći slučaj za analizu naponskih prilika i gubitaka je dobijen za definisani dijagram opterećenja u 20h. Na slikama 82, 83 i 84 dati su naponi čvorova, a na slikama 85 i 86 tokovi

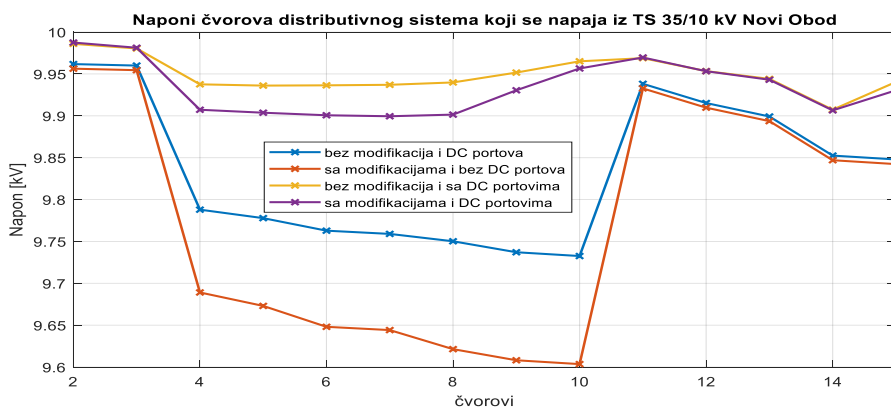
snaga po granama dijela 10 kV distributivnog sistema Cetinja sa i bez modifikacija, i za ove slučajeve analiza sa i bez DC portova.



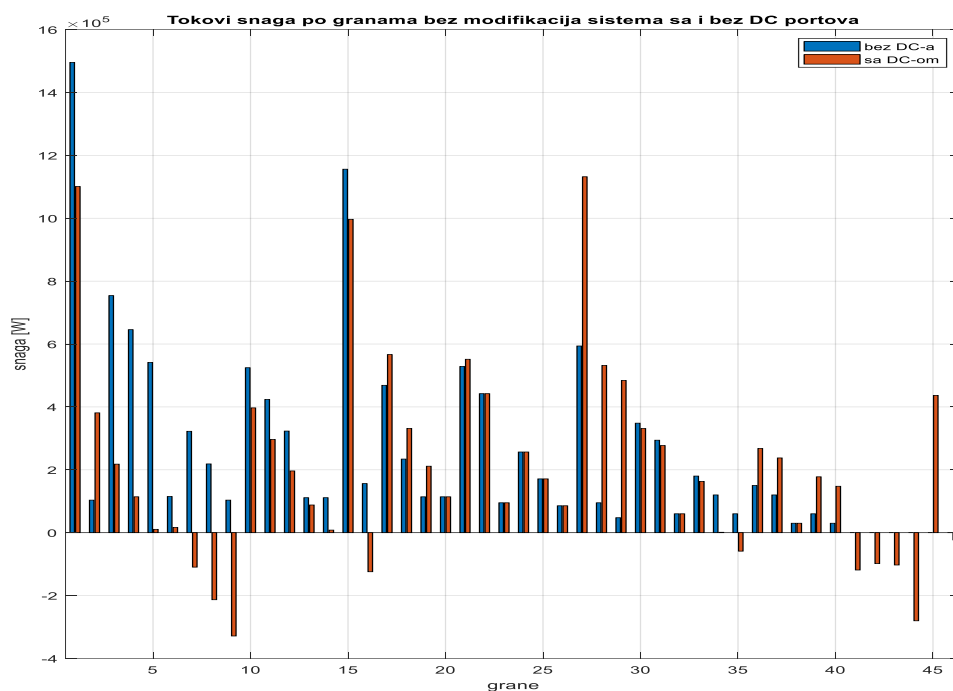
Slika 82. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Humci u 20-tom satu



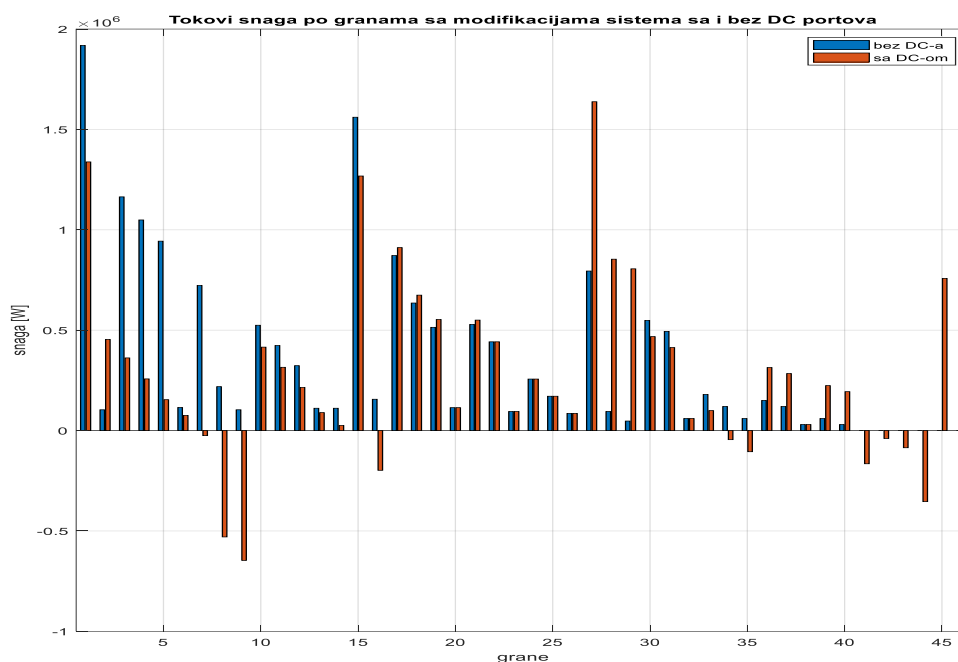
Slika 83. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Stari Obod u 20-tom satu



Slika 84. Naponi čvorova dijela distributivnog sistema 10 kV koji se napaja preko TS 35/10 kV Novi Obod u 20-tom satu



Slika 85. Tokovi snaga po granama sa modifikacijama, sa i bez DC portova u 20-tom satu



Slika 86. Tokovi snaga po granama sa modifikacijama, sa i bez DC portova u 20-tom satu

Sa slika 82, 83 i 84 se vidi da su najmanje naponske prilike za slučaj u 20h bez modifikacija i bez DC portova, jer je u ovome slučaju najveća potrošnja konzuma. Najniži napon se javlja sa modifikacijom distributivnog sistema jer se dodaje potrošnja punionica i najmanja vrijednost napona se javlja u čvoru 10. Sa priključenjem DC portova dolazi do povećanja naponskih prilika u odnosu na oba slučaja sa i bez modifikacija sistema. DC portovi će i ovaj put da preusmjeravaju snagu sa transformatora Novi Obod i Humci na transformator Stari Obod, grane 1, 15 i 27 sa slike 85 i 86. Za 500 kW u slučaju kada nema modifikacija, i za 800 kW sa manipulacijama na sistemu.

DC portovi u odnosu na prethodna dva slučaja bez manipulacija će prenositi više aktivne snage i vršiti veću kompenzaciju reaktivne snage. Ovo je i očekivano jer je veće opterećenje konzuma, pa će DC portovi balansirati veće količine snage (tabela 57). Za slučaj sa manipulacijama doći će do promjena upravljačkih promjenljivih, neke će se povećati, a neke smanjiti. Razlog ovome je zbog promjene u opterećenju konzuma u čvorovima, što optimizacioni algoritam prepoznaje, i daje nove vrijednosti upravljačkih promjenljivih. Pošto nema proizvodnje iz mSE, DC portovi sad ne troše reaktivnu snagu, odnosno ostaju da rade u kapacitivnom režimu rada.

Tabela 56. Snaga gubitaka dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja u 20 h

Gubici dijela distributivnog sistema 10 kV Cetinja u 20 h	[kW]
Bez modifikacija i bez DC portova	27.5
Sa modifikacijama i bez DC portova	57.5
Bez modifikacija i sa DC portovima	11.6
Sa modifikacijama i sa DC portovima	24.1

Tabela 57. Snage DC portova u dijelu distributivnog sistema Cetinja u 20 h bez modifikacija

Snage DC portova	P1	Q1	P2	Q2
DC port 42-41	-118,3	-12,53	119.4	-17,08
DC port 43-20	-98.0	-57.0	98.9	-46.2
DC port 44-34	-102.9	-19.2	103.9	-40.9
DC port 45-3	-279.4	-49.6	282.1	-33.3
DC port 46-10	436.5	-29.0	-432.1	-42.3
DC port 47-22	-23.3	-19.6	23.5	-83.8

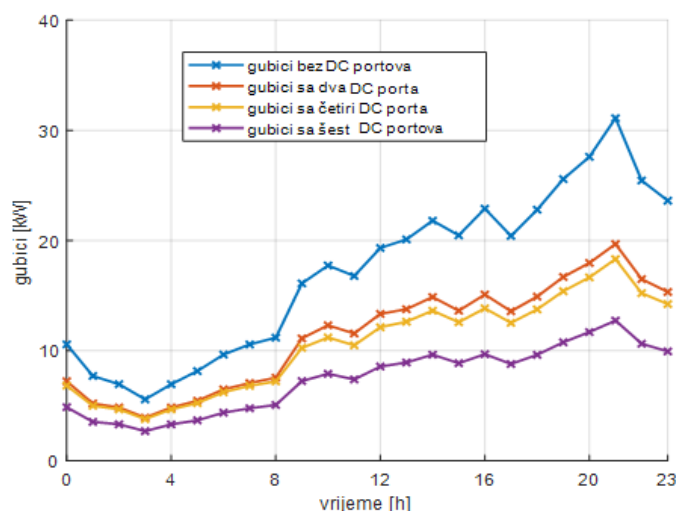
Tabela 58. Snage DC portova u dijelu distributivnog sistema Cetinja u 20 h sa modifikacijama

Snage DC portova	P1	Q1	P2	Q2
DC port 42-41	-165.3	-11.3	166.9	-25.1
DC port 43-20	-39.4	-56.6	39.7	-47.0
DC port 44-34	-85.5	-19.4	86.5	-47.8
DC port 45-3	-353.9	-73.1	357.4	-71.5
DC port 46-10	758.0	-50.1	-750	-46.6
DC port 47-22	-21.8	-21.1	22.0	-86.0

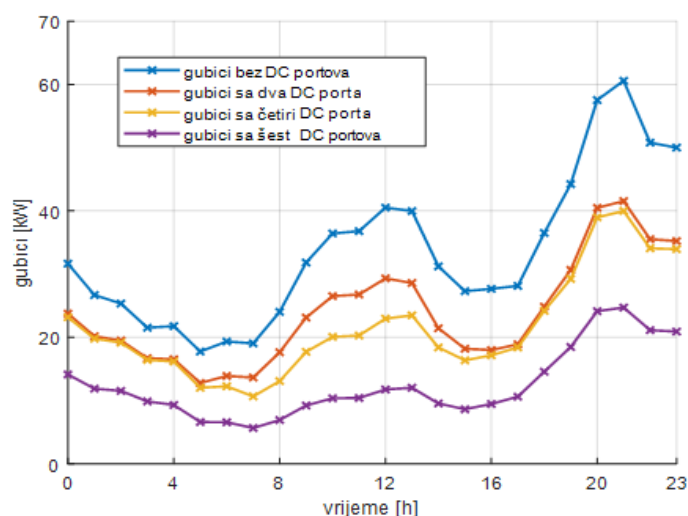
U sljedećem dijelu analize ispituje se uticaj DC portova na smanjenje energije potrebne da se pokriju gubici za 24 h koji se dobijaju na osnovu dijagrama opterećenja, a koji su definisani na početku poglavlja. U analizi za 24 h utvrđuje se uticaj DC portova na gubitke u distributivnom sistemu za različit broj DC portova u distributivnom sistemu. Analizirani rezultati su za sistem sa uvedenim modifikacijama i bez modifikacija. Na slikama 87 i 88, dato je koliko snage po satu je potrebno da se pokriju gubici u sistemu, odnosno energija po satu utrošena da se gubici pokriju. Prva dva DC porta su između čvorova 42-41 i 43-20, druga dva između 44-34 i 45-3 i treća dva između 46-10 i 47-22.

Energija da se pokriju gubici za cijeli dan u sistemu bez modifikacija i sa modifikacijama dati su u tabeli 59. U tabeli se vidi da sa modifikacijama dolazi do povećanja energije gubitaka za 400 kWh u odnosu na slučaj bez modifikacija sistema. Sa slika 87 i 88, može se vidjeti porast snage gubitaka u periodu kada proizvode mSE. Na povećanje ovih gubitaka utiču i punionice za električna vozila koja se priključuju u sistem, ali upoređivanjem grafova može se primijetiti da u periodu od 7 do 15 sati dolazi do zaobljenja grafika koji ima velike sličnosti sa dijagramom proizvodnje mSE (slika 36), a kojega nema na slici 87 kad nema modifikacija. Sam porast gubitaka po satu koji prati oblik proizvodnje mSE, pokazuje da mSE dovode do povećanja ukupne energije potrebne da se pokriju gubici u sistemu.

Sa slika 87 i 88, vidi se da sa ugradnjom DC portova dolazi do smanjenja u energiji potrebnoj da se pokriju gubici s povećanjem broja DC porta. Najmanji gubici po satu se javljaju sa šest DC portova u oba slučaja, ljubičasti graf sa slika 87 i 88. Ukupni gubici u sistemu s ugradnjom DC portova dovode do smanjenja energije gubitaka za 291 kWh i 508kWh u slučajevima bez i sa modifikacijama sistema u slučaju sa 6 DC portova (tabela 59). Ovo pokazuje veću mogućnost integracije OIE u ovim sistemima.



Slika 87. Ukupni gubici po satu za dio 10 kV distributivnog sistema Cetinja bez modifikacija sistema



Slika 88. Ukupni gubici po satu za dio 10 kV distributivnog sistema Cetinja sa modifikacijama sistema

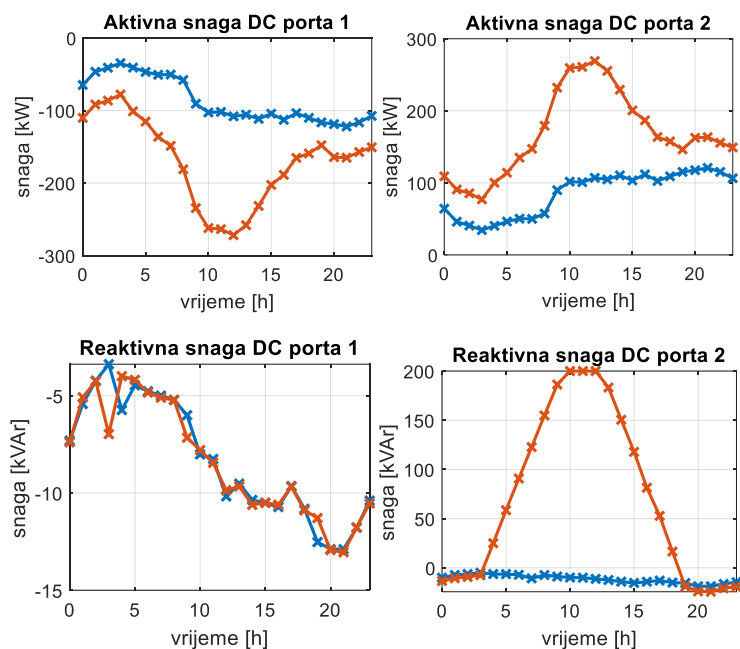
Tabela 59. Ukupna energija potrošena na gubitke za 24h u sistemu Cetinja i okolnim sistemima

Energija potrošena na gubitke za 24 h	
Gubici sistema bez modifikacija, bez DC portova	408 kWh
Gubici sistema bez modifikacija, sa 2 DC porta	272 kWh
Gubici sistema bez modifikacija, sa 4 DC porta	253 kWh
Gubici sistema bez modifikacija, sa 6 DC portova	177 kWh
Gubici sistema sa modifikacijama, bez DC portova	806 kWh
Gubici sistema sa modifikacijama, sa 2 DC porta	573 kWh
Gubici sistema sa modifikacijama, sa 4 DC porta	517 kWh
Gubici sistema sa modifikacijama, sa 6 DC portova	298 kWh

Sa povećanjem broja DC portova dolazi do smanjenja ukupnih gubitaka. Međutim, sa ugradnjom četiri DC porta dolazi do manje promjene u odnosu na slučaj sa dva DC porta. Energija gubitaka sa dva DC porta bez modifikacija se smanjuje sa 20kWh za cio dan (tabela 59). Sa slike 87 se vidi da dodatna dva DC porta pomažu smanjenju gubitaka kako opterećenje sistema raste od osmog sata i da je to smanjenje po satu prilično konstantno. U 12h ovo smanjenje iznosi 1.1 kW dok u 21h iznosi 1.3kWh. Sa modifikacijama ova razlika od 8h se povećava u periodu proizvodnje mSE. U 12h razlika iznosi 6.4 kWh, dok u 21h ona iznosi 0.6 kWh. Ukupni gubici sa modifikacijama i dva DC porta se, sa ugradnjom još dva DC porta, smanjuje za 50kWh za dan. Najveće smanjenje je upravo u periodu proizvodnje mSE, što nam pokazuje da DC portovi pomažu boljem plasiranju energije iz mSE.

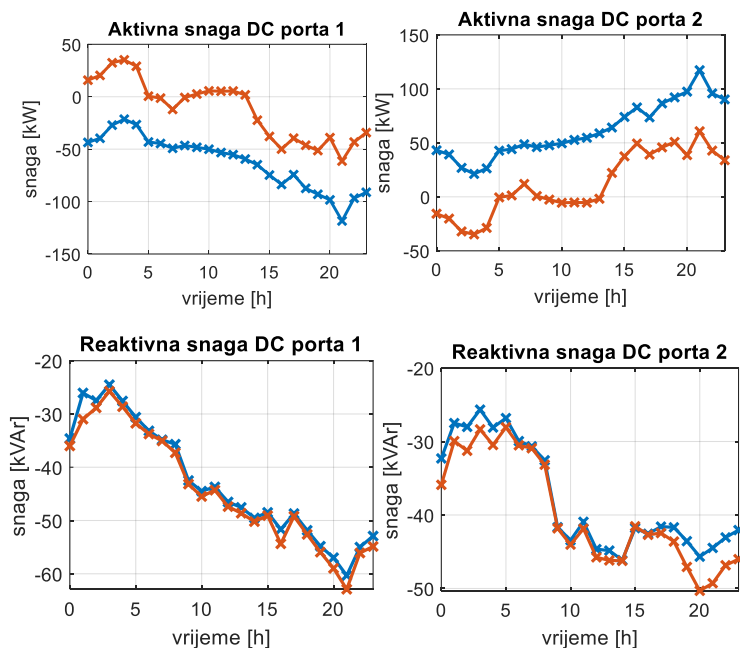
Na slikama 89, 90, 91, 92, 93 i 94 date su aktivne i reaktivne snage koju uzimaju ili daju krajevi DC portova bez modifikacija, plavi graf, i sa modifikacijama, crveni graf, za slučaj kada sistem ima šest DC portova. DC port 1 i 2 sa slika, predstavljaju konvertore i krajeve DC portova.

DC portovi između čvorova 42 i 41 sa uvođenjem modifikacija, povećavaju aktivnu snagu koja se prenosi preko DC portova (slika 89). Ovo povećanje je izraženo tokom perioda proizvodnje mSE i najizraženije je u 12h. Promjena predate reaktivne snage na prvom DC portu je mala u odnosu na slučaj bez modifikacija, ali za konvertor DC port 2 dolazi do promjene režima rada DC porta. Konvertor DC port 2 prelazi u induktivni režim rada i dok god proizvode mSE do 18h, rade u induktivnom režimu sa ciljem spuštanja visokih napona koji su posljedica injektiranja reaktivne snage iz mSE zbog njenog kapacitivnog režima rada sa faktorom snage 0.95.



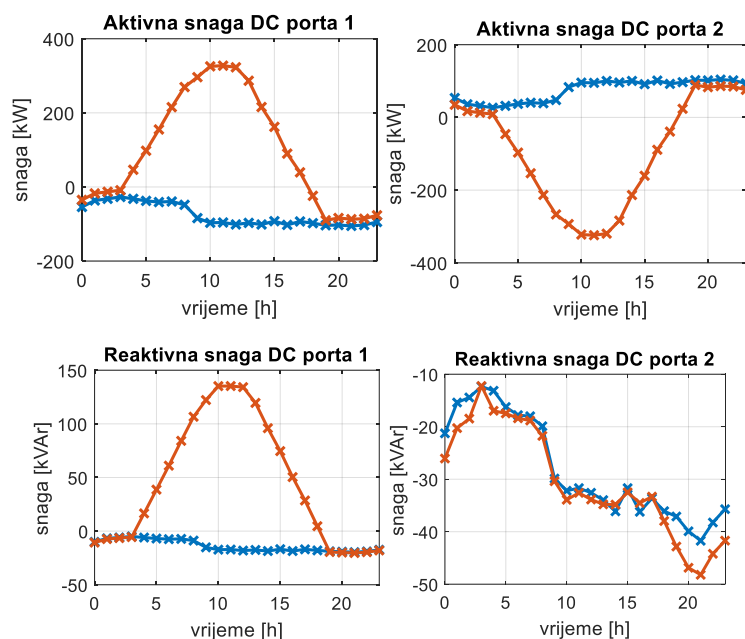
Slika 89. Rad DC porta između čvorova 42-41 bez i sa modifikacijama sistema

Na slici 90, vidi se da DC port između čvorova 43-20 sa modifikacijama dovodi do promjena u prenosu snage kroz DC port. Tokom većine dana dolazi do smanjenja snage koja se prenosi preko DC porta, osim u 3, 4 i 5 sati kada dolazi do povećanja prenosa i promjene smjera prenosa preko DC porta. Reaktivne snage koje daje DC port sa modifikacijama se ne mijenjaju previše u odnosu na slučaj bez modifikacije. Sa modifikacijama dolazi do malog povećanja predate reaktivne snage, koja dolazi zbog povećanog opterećenja konzuma i lošijih naponskih prilika.



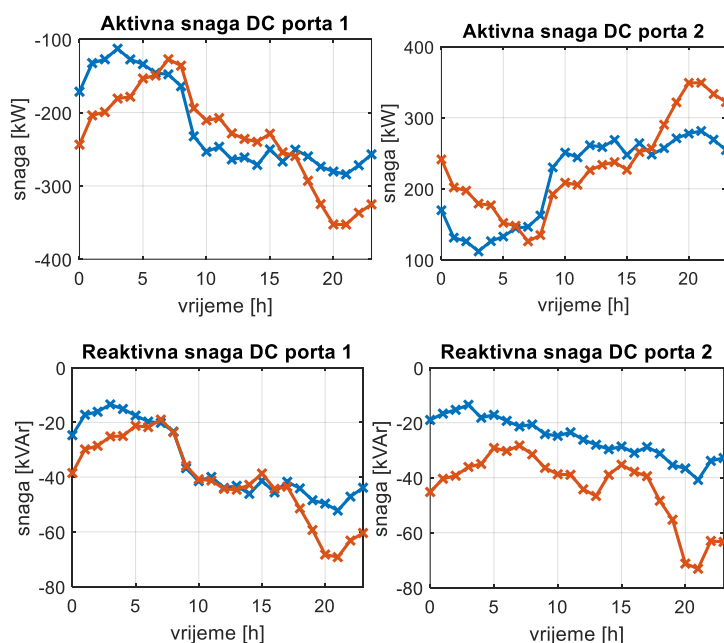
Slika 90. Rad DC porta između čvorova 43-20 bez i sa modifikacijama sistema

Na slici 91, vidi se najveća promjena u prenosu aktivne snage zbog proizvodnje mSE. Sa slike se primjećuje sličnost grafika aktivne snage DC porta i reaktivne snage konvertora DC porta 1 sa proizvodnjom iz mSE. Konvertor DC port 1 mijenja režim rada iz kapacitivnog u induktivni, s ciljem kompenzacije reaktivne snage injektirane zbog proizvodnje mSE.



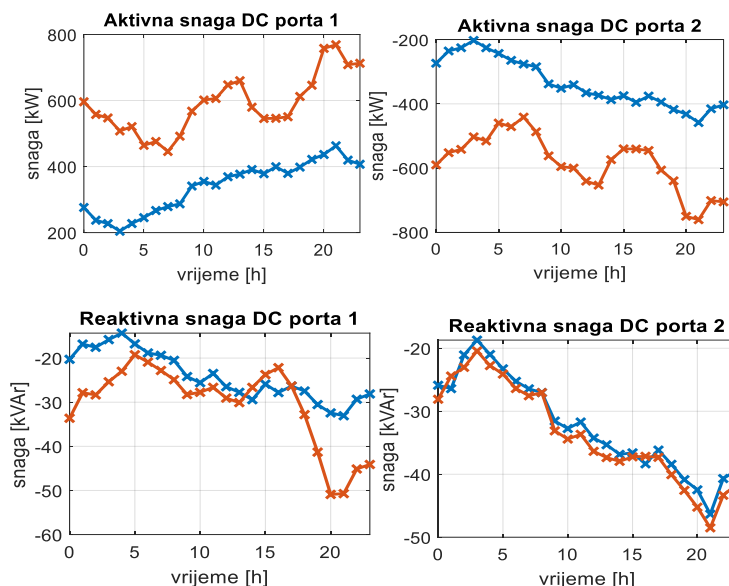
Slika 91. Rad DC portova između čvorova 44-34 bez i sa modifikacijama sistema

Na slici 92, vidi se da u periodu od 6 do 18 h dolazi do smanjenja prenosa snage preko DC porta između čvora 45-3, odnosno u periodu proizvodnje iz mSE, jer mSE rasterećuju izvođe koje vezuju DC portovi. Van ovoga vremenskog perioda DC portovi prenose više snage nego bez modifikacija. Reaktivne snage konvertora DC porta 2 se povećavaju tokom cijelog dana, dok za konvertor DC port 1 povećanje dolazi u periodu kada mSE ne rade. Razlog smanjenog injektiranja reaktivne snage su bolje naponske prilike na izvodu koji se preko konvertora DC porta 1 veže sa konvertorom DC port 2, zbog proizvodnje iz mSE.

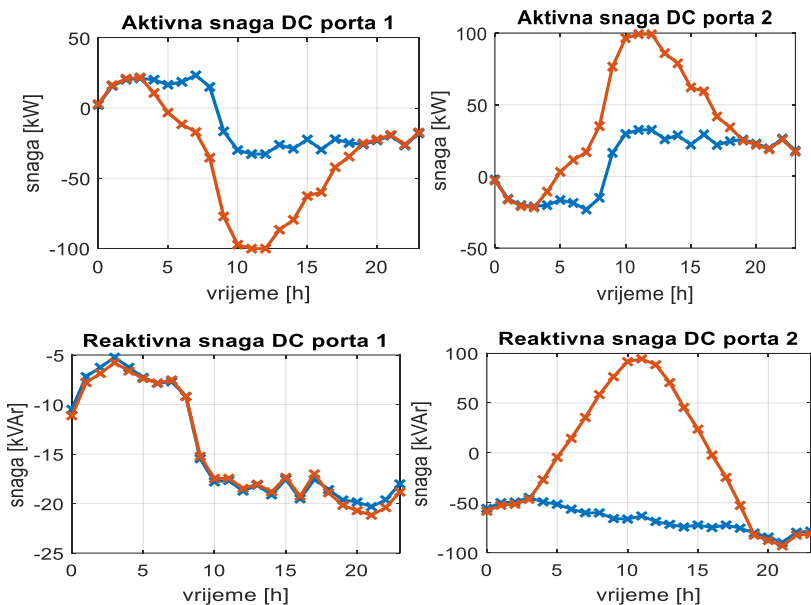


Slika 92. Rad DC porta između čvorova 45-3 bez i sa modifikacijama sistema

Na slici 93 dolazi do povećanja prenosa aktivne snage koja se prenosi preko DC porta. Raste sa uvođenjem modifikacija u sistemu, koje nastaje kao posljedica povećanja opterećenja konzuma. Grafici vizuelno imaju sličnosti sa graphicima ukupnih gubitaka za 24h sa i bez modifikacija sa slika 87 i 88, graf plave boje sa obje slike. Reaktivna snaga koju konvertori DC porta daju je blago veća zbog povećanja opterećenja konzuma, pa je potrebno injektiranje veće količine reaktivne snage, da bi napon bio bolji.



Slika 93. Rad DC porta između čvorova 46-10 bez i sa modifikacijama sistema



Slika 94. Rad DC porta između čvorova 47-22 bez i sa modifikacijama sistema

Sa slike 94, vidimo sličan zaključak kao sa slika 91 i 89, gdje sa najveće promjene prenosa aktivne snage dešavaju u periodu kada mSE proizvode. Pored ove promjene dešavaju se promjene i u režimu rada konvertora DC porta 2 koji mijenja režim rada iz induktivnog u kapacitivni i smanjuje injektiranu reaktivnu snagu iz mSE. Konvertor DC port 1 nema većih promjena u predatoj reaktivnoj snazi zbog stabilnih naponskih prilika na izvodu vezanog za DC port 1.

5. ZAKLJUČAK

S ciljem veće proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije, u elektroenergetskim sistemima dolazi do značajnih promjena u distributivnim mrežama. Savremene distributivne sisteme karakterišu novi izazovi kao što su: integracija distributivnih generatora, upravljiva potrošnje, formiranje tržišta električne energije na distributivnom nivou, razvoj zahtjevnih potrošača, svakodnevno povećanje konzuma i opterećenja elemenata sistema. Svi ovi izazovi čine da tradicionalne pasivne mreže postaju aktivne, što uvodi nove tehnike i strategije upravljanja mrežama. Kako bi se distributivni sistemi prilagodili promjenama i izazovima, razvijaju se novi upravljački resursi koji omogućavaju bolje suočavanje distributivnih sistema sa ovim izazovima.

U radu je usmjerena pažnja na izazov integracije obnovljivih izvora električne energije u distributivnim sistemima. Zaključak analize integracije obnovljivih izvora pokazuje da proizvodnja iz ovih izvora može imati pozitivan i negativan uticaj na distributivne sisteme. Pozitivan uticaj je kada izvori pomažu rasterećenju elemenata mreže i dovode do poboljšanja naponskih prilika u sistemu. Međutim, ovaj doprinos zavisi od proizvodnje i opterećenja konzuma. Potrebno je da se ova dva parametra tako pogode da bi obnovljivi izvori imali doprinos mreži. Zbog promjenljive proizvodnje i potrošnje teško je prilagoditi ova dva parametra tokom dana, tako se u simuliranim rezultatima za opterećenje od 24h može vidjeti da proizvodnja iz obnovljivih izvora povećava ukupnu energiju potrebnu da se pokriju gubici u mreži, ali opet postoje oni sati kada je njihov doprinos primjetan.

U svrhu povećanja integracije i doprinosa integracije obnovljivih izvora električne energije, u drugom dijelu rada prikazani su jednosmjerni portovi kao novi upravljački resursi, koji se baziraju na elementima energetske elektronike. Osnovna ideja jednosmjernih portova jeste zatvaranje petlje, balansiranje i regulacija tokova snaga u određenim djelovima mreže i sistemu koji se preko jednosmjernih portova povezuju. S njihovim priključenjem omogućava se posredno zatvaranje petlje, bez negativnih posljedica za mrežu, što stvara novi pogled na upravljačku strategiju upravljanja distributivnom mrežom.

U radu je razvijen algoritam i model DC portova koji treba da omoguće integraciju DC portova u strategiju upravljanja distributivnom mrežom u normalnim uslovima rada. Određivanje upravljačkih promjenljivih DC portova se utvrđuje na osnovu rezultata algoritma koji se bazira na proračunu optimalnih tokova snaga u kojem je integrisan optimizacioni algoritam, koji je razvijen s ciljem određivanja upravljačkih promjenljivih DC portova, da bi se dostiglo željeno optimalno stanje mreže. U radu je prikazana implementacija ovoga algoritma na tri distributivna sistema gdje je željeno stanje minimizacija aktivnih gubitaka u sistemima.

U pregledu rezultata rada prikazana je implementacija ovoga algoritma i prikazani rezultati upravljačkih promjenljivih za DC portove ugrađene u izvedenim i postojećim sistemima 35 kV Podgorice, Cetinja i dijela 10 kV sistema Cetinja. U sistemu 10 kV Cetinja, za potrebe algoritma, ugrađeno je 6 DC portova, čime se prikazuje veća mogućnost ugradnje DC portova u sistemima ovoga naponskog nivoa zbog veće upetljanosti i povezanosti sistema. Na 35 kV naponskom nivou njihovu integraciju je teže realizovati, jer 35 kV mreže pokrivaju veće površine nego 10 kV mreže, što ih čini manje upetljanim i povezanijim. U radu su svi DC portovi uzeti s istim nominalnim snagama i u četvrtom poglavlju su prikazane optimalne upravljačke promjenjive gdje se primjećuje da su neki DC portovi više iskorišćeni nego drugi DC portovi. Samim time, ovaj rad može biti osnova za druge radove u određivanju optimalnih snaga DC portova.

Iz prikazanih rezultata se vidi da sa ugradnjom DC portova u ove sisteme dolazi do smanjenja ukupnih gubitaka i poboljšanja naponskih prilika u sistemima. Ovo smanjenje gubitaka dolazi zbog regulacije tokova snaga kroz distributivnu mrežu, čime se bolje plasira energija preuzeta iz prenosne mreže i energija proizvedena iz obnovljivih izvora ka potrošačima. S promjenom opterećenja ili proizvodnje iz obnovljivih izvora integrisanih u ovim sistemima, vidi se da se upravljačke promjenljive DC portova mijenjaju i prate ove promjene. Zato, dolazimo do zaključka da DC portovi pomažu boljem plasiranju energije kroz sistem i stvaraju prostor za novu integraciju obnovljivih izvora, jer smanjuju gubitke aktivne snage i regulišu naponske prilike u sistemu.

Budući radovi koji se mogu nadovezati na ovaj rad se mogu baviti detaljnijom izradom modela DC portova, koji bi mogli dati preciznije rezultate razvijenog algoritma i porediti postigute rezultate tog modela s modelom generičkog injektiranja, preko kojega su modelovani DC portovi u ovome radu. Predmet daljih istraživanja bi se ogledao u primjeni drugih optimizacionih algoritama i poboljšanju rezultata algoritma upravljanja DC portova. Rad može poslužiti ka osnova za analizu odabira najbolje lokacije u kojoj tereba postaviti DC portove, zbog ograničenja kao što su: učestalost kvarova i ispada na lokaciji gdje se postavljaju DC portovi, fizička ograničenja postrojenja u kojima se ugrađuju DC portovi, mogućnost ugradnje dodatnih veza koje zahtijevaju DC portovi, itd. Uzimanjem u obzir ovih uticaja mogla bi se dobiti preciznija slika gdje postaviti DC portove i kakav doprinos daju na toj lokaciji.

LITERATURA

- [1] K. S. Fuad, H. Hafezi, K. Kauhaniemi, H. Laaksonen: *Soft Open Point in Distribution Networks*, IEEE Access, 2020.
- [2] H. Ji, C. Wang, P. Li, J. Zhao, G. Song, J. Wu: *Quantified flexibility evaluation of soft open points to improve distributed generator penetration in active distribution networks based on difference-of-convex programming,*” Appl. Energy, 2018.
- [3] J. M. Bloemink, T. C. Green: *Increasing distributed generation penetration using soft normally-open points*, IEEE PES Gen. Meeting, 2010.
- [4] H. Ji, P. Li, C. Wang, G. Song, J. Zhao, H. Su, J. Wu: *A strengthened SOCP-based approach for evaluating the distributed generation hosting capacity with soft open points*, Energy Procedia, 2017.
- [5] H. Ji, C. Wang, P. Li, F. Ding, J. Wu: *Robust operation of soft open points in active distribution networks with high penetration of photovoltaic integration*, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2018.
- [6] R. Hidalgo, C. Abbey, G. Joos: *A review of active distribution networks enabling technologies*, Power and Energy Society General Meeting, 2010.
- [7] Y. Zhao, Y. An, Q. Ai: *Research on size and location of distributed generation with vulnerable node identification in the active distribution network*, IET Generation, Transmission & Distribution, 2014.
- [8] C. Han, S. Song, Y. Yoo, J. Lee, G. Jang, M. Yoon, *Optimal operation of soft-open points for high penetrated distributed generations on distribution networks*, 10th Int. Conf. Power Electron, 2019.
- [9] M. B. Shafk, G. I. Rashed, H. Chen, M. R. Elkadeem, S. Wang: *Reconfiguration strategy for active distribution networks with soft open points*, IEEE Conf. Ind. Electron. Appl, 2019.
- [10] T. Adefarati, R. C. Bansal: *Integration of renewable distributed generators into the distribution system: a review*, IET Renewable Power Generation, 2016.
- [11] R. Verma, M. Kashyap: *DG Penetration in Distribution Networks*, International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, 2021
- [12] R. A. Badwawi, M. Abusara, T. Mallick: *A review of hybrid solar PV and wind energy system*, Smart Science, 2015.
- [13] T.Z. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. S. Das: *A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions*, Energy Strategy Reviews, 2022.
- [14] S. Fatima, V. Puvi, M. Lehtonen: *Review on the PV hosting capacity in distribution networks*, Energies, 2020.
- [15] S. Sakar, M. E. Balci, S. Aleem, A. F. Zobaa: *Increasing PV hosting capacity in distorted distribution systems using passive harmonic filtering*, Electric Power Systems Research, 2017.

- [16] Cattani, I. Benitez, E. Chaparro, B. Baran: *Assessment and Simulation of Strategies to Enhance Hosting Capacity and Reduce Power Losses in Distribution Networks*, IEEE Latin America Transactions, 2024.
- [17] J. M. Bloemink, T. C Green: *Increasing Distributed Generation Penetration using Soft Normally-Open Points*, Power and Energy Society General Meeting, 2010.
- [18] D. Treballe, B. Valecillos: *Optimal operation of paralleled power transformers*, RE&PQJ, 2008.
- [19] Deka, Deepjyoti, S. Backhaus, M. Chertkov: *Structure learning in power distribution networks*, IEEE Transactions on Control of Network Systems, 2017.
- [20] V.Katić, A.Tokić, T.Konjić: *Kvalitet električne energije*, Cost effective and environmentally friendly energy systems – cefes tempus programme, 2007.
- [21] R.Ranjan, D.Das: *Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks" Electric Power Components and Systems*, online, 2010.
- [22] J.Maljković, A.Vujović, S. Živković, V. Ivanović: *Regulatorni tretman gubitaka električne energije kod operatora distributivnog sistema u Crnoj Gori*, CIRED Srbija, 2024.
- [23] P. Cong, W. Tang, C. Lou, Bo Zhang, X. Zhang: *Multi-stage coordination optimisation control in hybrid AC/DC distribution network with high-penetration renewables based on SOP and VSC*, The Journal of Engineering, 2018.
- [24] P. Li, H. Ji, H. Yu, J. Zhao, C. Wang, G. Song: "Combined decentralized and local voltage control strategy of soft open points in active distribution networks." Applied energy 241 (2019)
- [25] S. Li, M. Fairbank, C. Johnson, D. C. Wunsch: *Artificial neural networks for control of a grid-connected rectifier/inverter under disturbance, dynamic and power converter switching conditions*, IEEE transactions on neural networks and learning systems, 2013.
- [26] D. R. Ivić: *Razvoj upravljačkih algoritama za upravljanje jednosmernim portovima u distributivnim mrežama sa distributivnim generatorima*, doktorska disertacija, 2022.
- [27] M. B. Shafk, G. I. Rashed, H. Chen, M. R. Elkadeem, S. Wang, *Reconfiguration strategy for active distribution networks with soft open points*, 14th IEEE Conf.Ind. Electron. Appl. (ICIEA), 2019.
- [28] P. Li, G. Song, H. Ji, J. Zhao, C. Wang, J. Wu: *A supply restoration method of distribution system based on soft open point*, IEEE Innov. Smart Grid Technol. Asia (ISGT–Asia), 2016.
- [29] M. Altorok, A. Ukil, N. K. C. Nair, R. Rayudu: *Review on optimal power flow in a hybrid AC/DC distribution network*, Electric Power Systems Research, 2024.
- [30] W. Cao, J. Wu, N. Jenkins, C. Wang, T. Green: *Benefits analysis of Soft Open Points for electrical distribution network operation*, Article in Applied Energy, 2016.
- [31] H. Požar: *Visokonaponska rasklopna postrojenja*", drugo izdanje, Tehnička knjiga, 1973.
- [32] J.D. Glover, M.S. Sarma, T.J Overbye: *Power Systems Analysis and Design Fifth edition*, Cengage Learning, 2012.
- [33] N. Rajaković: *Analiza elektroenergetskih sistema I*, Beograd 2002.

- [34] A. Yazdani, R. Iravani: *Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Applications*, Jhon Wiley & Sons, 2010.
- [35] G. G. Pinheiro, G. Gonçalves: *Power flow control using series voltage source converters in distribution grids*, Energies, 2022.
- [36] K. Hou, Y. Zheng, X. Wang, W. LI, A. He and Y. Jiang: *Practical Research on VSC Prototype Based on IGBTs Serial Connected Technology*, IEEE Transactions on Power Electronics, 2019.
- [37] M. Schweizer, T. Friedli, J. W. Kolar: *Comparative Evaluation of Advanced Three-Phase Three-Level Inverter/Converter Topologies Against Two-Level Systems*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012.
- [38] Q. C. Zhong, T. Hornik: *Control of Power Inverters in Renewable Energy and Smart Grid Integration*, Jhon Wiley & Sons, 2013.
- [39] Md. S. Islam, N. İ. Raju, A. U. Ahmed: *Sinusoidal PWM signal generation technique for three phase voltage source inverter with analog circuit & simulation of PWM inverter for standalone load & micro-grid system*. International journal of renewable energy research, 2013.
- [40] X. Jiang; X. Fang; J. H. Chow; A. A. Edris; E. Uzunovic, M. Parisi: *A Novel Approach for Modeling Voltage-Sourced Converter-Based FACTS Controllers*, in IEEE Transactions on Power Delivery, 2008.
- [41] R.W. Erickson, D. Maksimovic: *Fundamentals of Power Electronics*, Soringer, 2020.
- [42] W. Cao, J. Wu, N. Jenkins, C. Wang, T. Green: *Operating principle of Soft Open Points for electrical distribution network operation*, Applied Energy, 2016.
- [43] H. Hafezi, R. Faranda: *A New Approach for Power Losses Evaluation of IGBT/Diode Module*, Electronics, 2021.
- [44] M. Fakharmanesh, C.M. Hackl, R. Perini: *Instantaneous Conduction and Switching Losses in Two-level Voltage Source Inverters*, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), 2017.
- [45] D. Graovac, M. Pürschel: *IGBT Power Losses Calculation Using the Data-Sheet Parameters*, Infineon Application Note, Infineon Technologies AG, 2009.
- [46] Ali M. Eltamaly, Yehia Sayed, Abou-hashema M. El-sayed, Amer Nasr A. Elghaffar: *Optimum power flow analysis by Newton raphson method, a case study*, International Journal of Engineering, 2018.
- [47] Y. Ren, Bo Zhang, H. Qiao: *A simple Taylor-series expansion method for a class of second kind integral equations*, Journal of Computational and Applied Mathematics, 1999.
- [48] D. Freitas, L. G. Lopes, F. M. Dias: *Particle Swarm Optimisation: A Historical Review Up to the Current Developments*", Entropy, 2020.
- [49] M. Elbes, S. Alzubi, T. Kanan, A.Al-Fuqaha, B. Hawashin: *A survey on particle swarm optimization with emphasis on engineering and network applications*, Evolutionary Intelligence, 2019.
- [50] K.Zielinski, R. Laur: *Stopping criteria for a constrained single-objective particle swarm optimization algorithm*, Informatica, 2007.