

Danijel Variola
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
danijel.variola@hep.hr

Arsen Jurasić
HEP ODS
arsen.jurasic@hep.hr

Igor Volarić
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
igor.volario@hep.hr

UTJECAJ KAPACITIVNIH STRUJA KABELA NA NAPONSKE PRILIKE, GUBITKE I SKLOPNU OPREMU SN MREŽE OTOKA KRKA

SAŽETAK

Kompletna SN mreža otoka Krka napaja se iz dvije pojne stanice, TS 110/35/20 kV Krk i TS 110/20 kV Dunat. SN mreža je sastavljena većinom od 20 kV kablinskih vodova. Predmetna konfiguracija mreže s perspektive pouzdanosti i raspoloživosti ima određenu prednost nad nadzemnim vodovima, omogućavajući distribuciju većih snaga s manjim indeksima kvarova. Kabeli svojim kapacitetom doprinose generiranju kapacitivne struje, koja u vrijeme niskih opterećenja, predstavlja opterećenje sustava jalovom snagom, odnosno energijom u kapacitivnom području. Ovakav karakter tereta ima izravan utjecaj na povećanje ukupnih tehničkih gubitaka u mreži, remeti naponske prilike u SN mreži i utječe na skraćivanje životnog vijeka sklopne opreme.

U radu se daje osvrt na postojeće stanje 20 kV mreže otoka Krka, kao i prijedlozi regulacije jalove snage u SN mreži.

Ključne riječi: kablinski vodovi, kapacitivne struje, opterećenje, gubici

INFLUENCE OF CAPACITIVE CABLE CURRENTS ON VOLTAGE CONDITIONS, LOSSES AND SWITCHING EQUIPMENT OF ISLAND OF KRK MEDIUM VOLTAGE GRID

SUMMARY

Island of Krk complete consumption is powered by two substations TS 110/35/20 kV Krk and TS 110/20 kV Dunat. Their 20 kV networks are mainly constructed of underground 20 kV power cables. Grid configuration that is the focus of this paper from the aspect of reliability and availability has a defined advantage over the one with overhead power line. Underground grid configuration is allowing itself to distribute greater power with smaller fault index. Underground cables with their capacities contribute to generating currents which, in times with low load, represent adding reactive load to the network. Such a load character has a direct influence on the increase of technical losses in the grid. It negatively affects voltage conditions in a MV grid and influences lifetime of switching equipment.

This paper gives a review on the condition of 20 kV island of Krk grid, as well as suggestions on regulating the reactive power in the grid.

Key words: underground cable, capacitive currents, loading, losses

1. UVOD

Kompletna mreža otoka Krka napaja se iz dvije pojne stanice, TS 110/35/20 kV Krk i TS 110/20 kV Dunat. Urbanizacija i razvoj otoka Krka, osobite turističke djelatnosti, pratila je i sve veća potreba za izgradnjom infrastrukture, pa tako i distribucijske mreže. Kako se prilikom izgradnje novih SN mreža u urbaniziranim sredinama većinom pribjegava izgradnji kablinskih vodova, tako većinu 20 kV mreže otoka Krka čine kablanski vodovi.

Ovakva struktura mreže s perspektive pouzdanosti i raspoloživosti ima određenu prednost na nadzemnim vodovima, omogućavajući distribuciju većih snaga sa manjim indeksima kvarova. Budući da je kapacitet distribucijske mreže dimenzioniran prema zahtjevima raspoloživosti snage u svakom trenutku, a dijagrami opterećenja otoka Krka su izrazito sezonskog karaktera, do izražaja dolazi i negativna komponenta kablinskih vodova koji su izvan turističke sezone slabo opterećeni. Kabeli svojim kapacitetom doprinose generiranju kapacitivne struje, koje u vrijeme niskih opterećenja, predstavlja opterećenje sustava reaktivnom snagom, odnosno energijom u kapacitivnom području. Ovakav karakter tereta ima izravan utjecaj na povećanje ukupnih tehničkih gubitaka u mreži, remeti naponske prilike u SN mreži i utječe na skraćenje životnog vijeka sklopne opreme

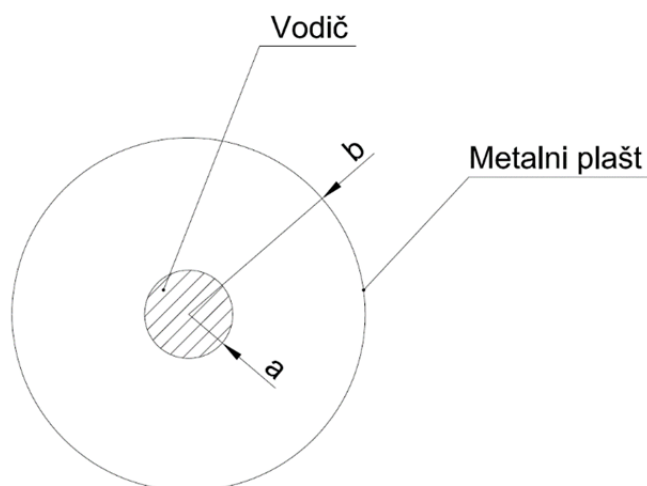
Mjerenja pokazuju kapacitivni karakter tereta tijekom cijele godine iz čega je vidljivo da je kapacitivni karakter kabela prevladavajući, odnosno faktor snage $\cos \varphi$ je „duboko“ u kapacitivnom području.

2. KAPACITET KABELA

Pod kablom podrazumijevamo vodiče od dobro vodljivog materijala (bakar, aluminij), koji su električki izolirani i smješteni u zajednički vanjski omotač za zaštitu kabela od vanjskih utjecaja (vlaga, mehanička oštećenja, korozija). Ovisno u kakvu sredinu se vrši polaganje kabela (neposredno u zemlju, vodu, kablanski kanal) i ovisno o visini napona, pojedini dijelovi konstrukcije različito su naglašeni.

Termoplastične umjetne tvari se danas najviše koriste u svrhu izolacije srednjenaponskih kabela te imaju prednost pred kablom s papirnom izolacijom, uglavnom zbog jednostavnije izvedbe kablinskih glava i nastavaka, te jednostavnije i sigurnije eksploatacije.

Za ove materijale upotrebljavaju se plastomeri, koji su plastični na nekim temperaturama. To su polietilen (neumreženi (PE) ili umreženi (XLPE)) i polivinilklorid (PVC). Od svih umjetnih tvari najbolja električna i termička svojstva ima polietilen.



Slika 1. Presjek jednožilnog kabela za izračun kapaciteta

Kod jednožilnih kabela (slika 1.) oko vodiča se nalazi koncentrični metalni plašt, odnosno metalno zakrilje. Kod ovih kabela silnice električnog polja završavaju na metalnom plaštu, pa je

područje električnog polja od a do b, zbog toga se može međusobni kapacitet između kabela zanemariti te egzistira jedino dozemni kapacitet između vodiča i električne zaštite.

Pogonski kapacitet kabela određen je omjerom ukupnog naboja na vodiču i njegovog potencijala. Veličina pogonskog kapaciteta za određenu duljinu kabela ovisi o geometrijskim veličinama kabela te o relativnoj dielektričnoj konstanti izolacije [1].

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot L}{18 \cdot 10^9 \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (1)$$

Gdje je:

C - kapacitet kabela [μF]

ε_r - relativna dielektrična konstanta izolacije

L - duljina kabela [km]

a - promjer preko vodiča, uključivo poluvodljivi sloj [mm]

b - promjer preko izolacije [mm]

Stavljanjem kablenskog voda pod napon, kapacitet kabela uzrokuje trajnu struju nabijanja koja se manifestira kao izmjenična kapacitivna struja I_C s kojom je povezana odgovarajuća reaktivna snaga na vodu Q_C a računaju se iz sljedećih relacija.

$$I_C = V \cdot \omega \cdot C \cdot 10^{-3} = \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{X_C} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_C = \frac{U^2}{X_C} \quad (3)$$

Gdje je:

U - linijski napon mreže [kV]

V - fazni napon mreže [kV]

ω - kružna frekvencija [1/s]

X_C - kapacitivna reaktancija [Ω]

Tablica I. Kapacitet jednožilnog kabela za napon od 21 kV [1]

| Presjek vodiča [mm ²] | Kapacitet vodiča [$\mu F/km$] | I_c [A/km] | $3I_c$ [A/km] |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------|
| 95 | 0,215 | 0,819 | 2,457 |
| 120 | 0,233 | 0,887 | 2,661 |
| 150 | 0,251 | 0,956 | 2,868 |
| 185 | 0,272 | 1,036 | 3,108 |
| 240 | 0,302 | 1,150 | 3,450 |

2.2. Proračun kapacitivnih struja srednjenaponske mreže otoka Krka

Sve trafostanice 20/0,4 kV su napajane jednostrano iz pojmih 110/20 kV trafostanica Krk i Dunat. Mreža je građena prstenasto koju karakteriziraju zrakasti srednjenaponski vodovi spojeni u razdjelnoj stanici (rasklopno mjesto). U normalnim pogonskim uvjetima, rasklopno mjesto je otvoreno tako da je mreža u stvari zrakasta (radijalna) [2].

Srednjenaponska mreža otoka Krka ukupne je dužine 370 km i sastoji se od kablenskih vodova ukupne dužine 297 km (80%) i nadzemnih vodova dužine 59 km (20%). Najzastupljeniji je jednožilni

kabel NA2XS(F)2Y 1x150RM/25 12/20 kV kojeg u mreži ima u duljini od 170 km te kabel NA2XS(F)2Y 1x185RM/25 12/20 kV duljine 75 km [3].

Proračun kapacitivne struje izvršen je pomoću programskog paketa Neplan. U svrhu izračuna kapacitivne struje srednjenaponske mreže, potrebno je pribaviti sve potrebne tehničke karakteristike mreže među koje se ubrajaju jednopolne sheme postrojenja, popis vodova s pripadajućim karakteristikama, popis dionica s pripadajućim duljinama, jednopolna shema mreže i njena topologija te uklopna stanja mreže [2].

Transformatorske stanice TS 110/35/20 Krk i TS 110/20 Dunat opremljene su sustavom za automatsku regulaciju napona (ARN) te je u istima postavljena referentna vrijednost napona iznosa 21 kV (105% U_n). Zbog navedenog, proračun kapacitivnih struja nije izvršen za nazivni napon mreže, već za stvarni pogonski napon, odnosno u Neplanu je postavljena vrijednost napona sekundarnih sabirnica u TS 110/35/20 kV Krk i TS 110/20 kV Dunat na 21 kV.

Karakteristično za kapacitivnu struju je to da njezin iznos raste od kraja voda, odnosno vodnog polja prema početku. Stoga je za ukupnu kapacitivnu struju vodnog polja uzet iznos struje prve dionice vodnog polja.

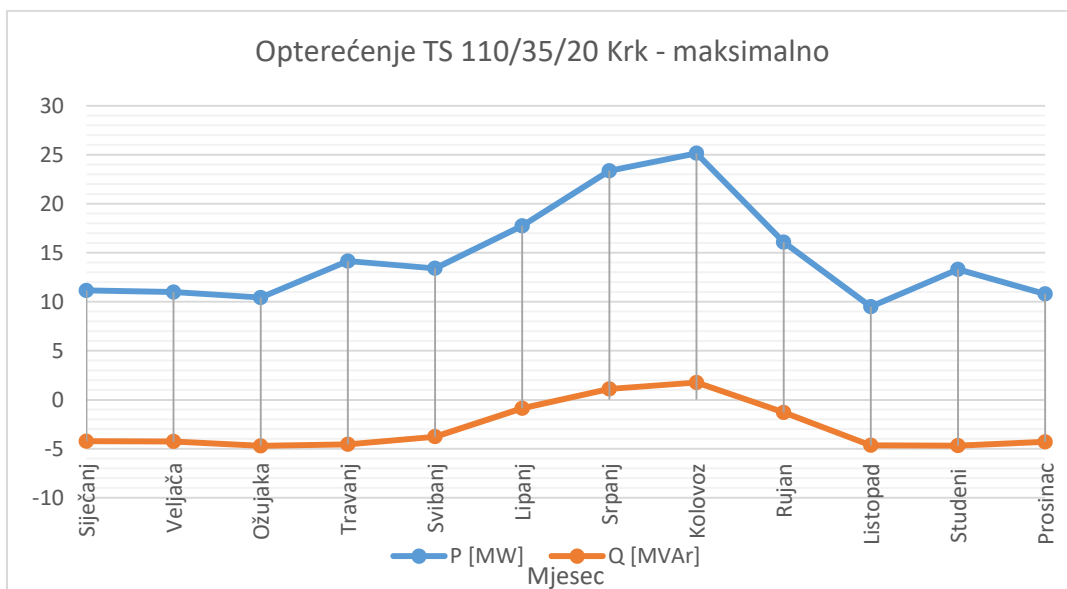
Tablica II. Prikaz ukupnih kapacitivnih struja i reaktivnih snaga za napojne transformatorske stanice Krk i Dunat

| TS | 3 Ic [A] | Qc [Mvar] |
|-------------------------|----------|-----------|
| 110/35/20 kV Krk | 628 | -7,618 |
| 110/20 kV Dunat | 283 | -3,430 |

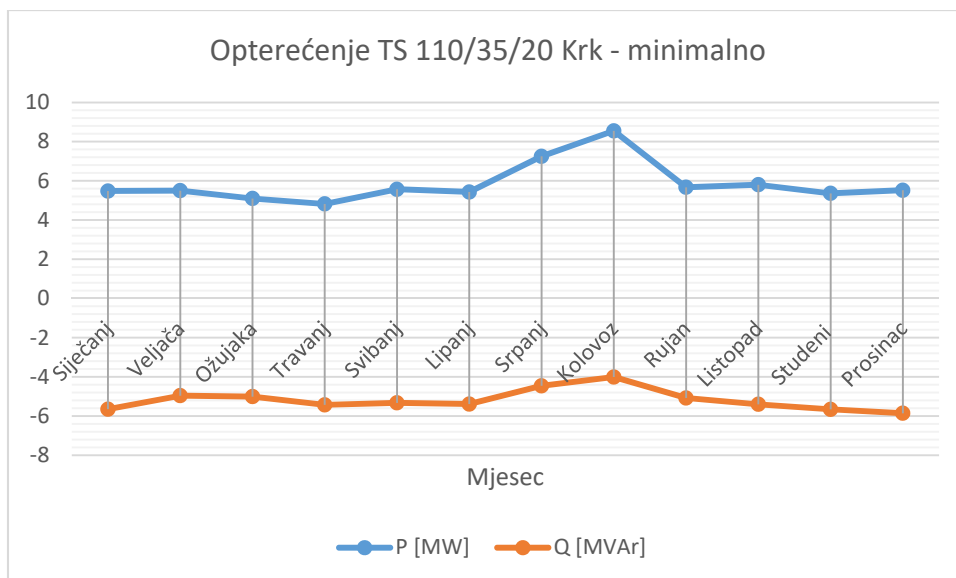
3. UTJECAJ KAPACITIVNE STRUJE NA NAPONSKE PRILIKE

U ovom poglavlju dat je prikaz maksimalnog i minimalnog kretanja radnog i reaktivnog opterećenja djela mreže otoka Krka, odnosno mreže napajane iz TS 110/35/20 kV Krk za 2019. godinu. Mjerenja su preuzeta iz aplikacije SCADA info koja omogućava pristup mjerenim podacima iz transformatorskih stanica 110/x kV. Pored krivulja opterećenja, prikazano je i kretanje napona na 110 kV sabirnicama u TS 110/35/20 kV Krk te položaji regulacijske sklopke transformatora. Opseg regulacije napona iznosi $110 \text{ kV} \pm 10 \times 1,5 \%$.

3.1. Postojeće stanje u mreži



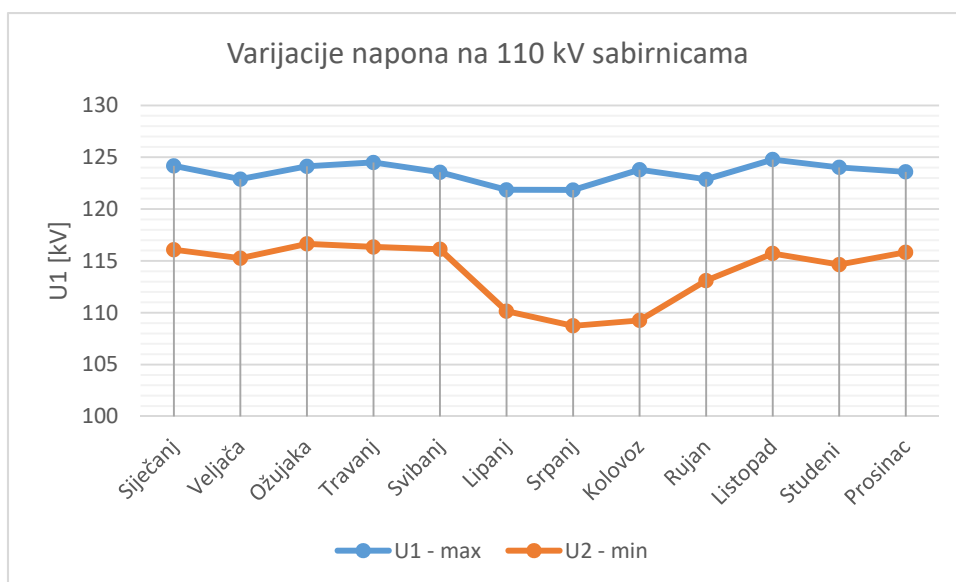
Slika 2. Maksimalne vrijednosti radnog i reaktivnog opterećenja TS 110/35/20 kV Krk



Slika 3. Minimalne vrijednosti radnog i reaktivnog opterećenja TS 110/35/20 kV Krk

Iz prikazanih grafova vidimo karakteristično sezonsko opterećenje otoka Krka gdje se vršno opterećenje dostiže tijekom ljetnih mjeseci zbog turizma na otoku što doprinosi većem broju potrošača električne energije. Zbog navedenog, mreža mora biti dimenzionirana za vršna opterećenja koja se javljaju samo tijekom mjeseca srpnja i kolovoza dok je preostali dio godine mreža podopterećena.

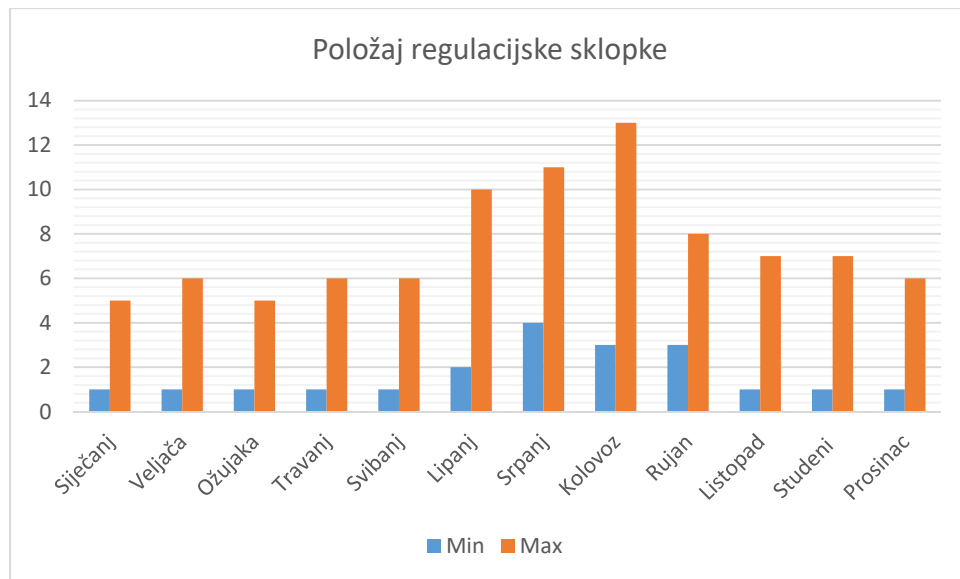
Opterećenje mreže je kapacitivnog karaktera, uzrokovano pretežito kabelskom mrežom, stoga imamo inverzne tokove reaktivne snage prema napojnoj TS 110/35/20 kV Krk što predstavlja negativan predznak na grafovima. Samo tijekom vršnih opterećenja je TS 110/35/20 kV Krk opterećena induktivno što je prikazano pozitivnim predznakom na grafu.



Slika 4. Minimalne i maksimalne vrijednosti napona na 10 kV sabirnici u TS 110/35/20 kV Krk

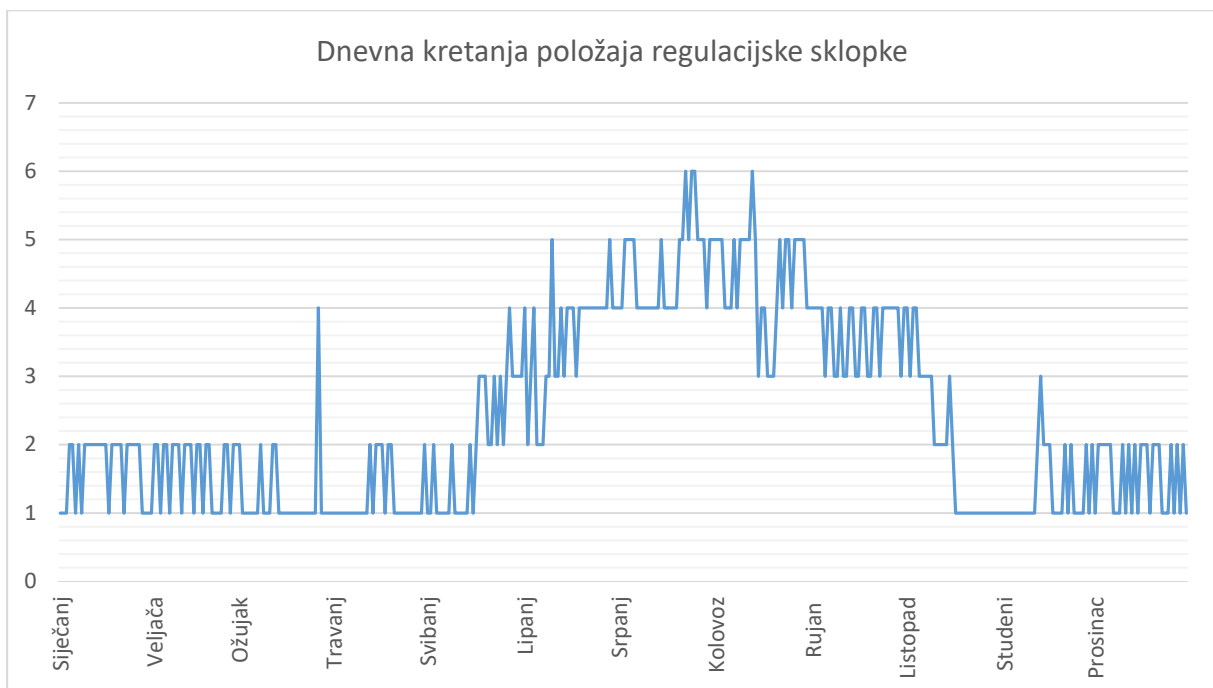
Okolna prijenosna mreža koja opskrbljuje otok Krk električnom energijom sastoji se od zračnih i kabelskih (kopnenih i podmorskih) vodova koji i sami doprinose porastu napona u prijenosnoj mreži uz već opisan doprinos reaktivnom snagom negativnog predznaka iz distribucijske mreže. Zbog velikog kapaciteta mreže i malog opterećenja, naponi u prijenosnoj mreži nalaze se tijekom minimalnih opterećenja i iznad dozvoljenih granica.

Sustavu automatske regulacije napona u cilju je održavanje napona na sekundarnoj strani transformatora na referentnom iznosu od 21 kV. Da bi regulacijska sklopka održala zadani napon, sklopka mora biti u krajnjem položaju tijekom visokih napona na primarnoj strani transformatora, odnosno slabog opterećenja distribucijske mreže.



Slika 5. Minimalni i maksimalni položaj regulacijske sklopke transformatora

Iz slike 5. vidimo kretanje položaje regulacijske sklopke koja jedino u ljetnim mjesecima nije u položaju 1 (krajnji položaj) već dolazi do srednjeg položaja. U trenutku kada je regulacijska sklopka u krajnjem položaju, svako povišenje napona na primarnoj strani transformatora VN/SN prouzročiti će povišenje napona na sekundarnoj strani transformatora, odnosno u sredjenaponskoj mreži što znači da nema daljnje mogućnosti regulacije napona.



Slika 6. Dnevna kretanja položaja regulatora napona u 2019. godini

4. KOMPENZACIJA JALOVE SNAGE PRIGUŠNICOM

Zbog značajnog udjela kablskih dionica i slabe opterećenosti distribucijske mreže u većem dijelu godine, posebice tijekom jesenskih i proljetnih mjeseci, postoje inverzni tokovi reaktivne snage. Navedeni tokovi reaktivne snage nepovoljno utječu na naponske prilike u distribucijskoj mreži, povećavaju opterećenje vodova i stvaraju dodatne gubitke u mreži.

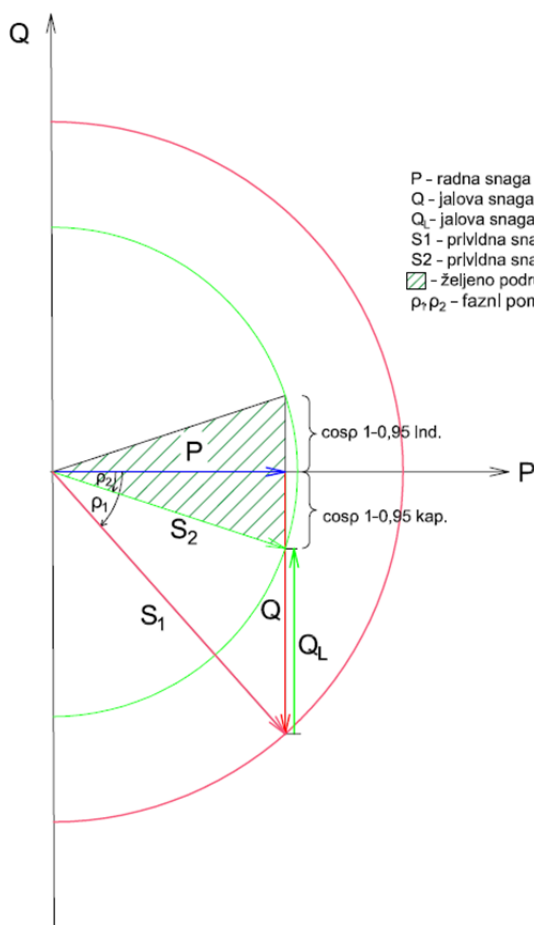
Kompensacijske prigušnice postavljaju se kao rješenje za kompenzaciju izrazito velikih tokova reaktivne snage negativnog predznaka. Fiksna shunt prigušnica danas se najviše koristi za kompenzaciju kapacitivnih struja, dok se za složenije slučajeve kod velikih varijacija opterećenja mreže primjenjuju regulacijske prigušnice, a u novije doba sve više se primjenjuje i kombinacija s aktivnim filtrima.

U nastavku rada analizirat će se utjecaj kompenzacijske prigušnice na tokove snaga u elektroenergetskoj mreži za slučaj centralne kompenzacije jednom prigušnicom i kompenzacija sa jednom prigušnicom po svakom vodnom polju.

4.1. Centralna kompenzacija

U ovom slučaju razmatrat će se ugradnja prigušnice u TS 110/35/20 kV Krk na 20 kV sabirnice. Model ukupne SN mreže izrađen je u programskom paketu Neplan, a analiza tokova snaga provedena je za uvjet minimalnog opterećenja, odnosno za opterećenje zabilježeno na dan 3.4.2019.

Cilj je na ovoj poziciji ugradnje prigušnice, odnosno na sekundaru transformatora 110/20 kV svesti $\cos \varphi$ u željeno područje odnosno unutar područja 0.95 kap - 0.95 ind.



$$P = 5,089 \text{ MW}$$

$$Q = 5,606 \text{ MVar}$$

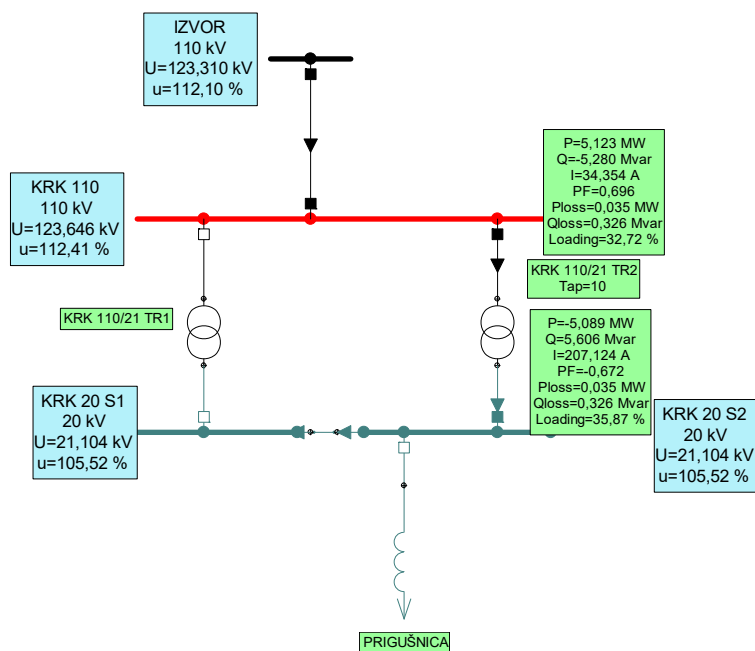
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = 0,67 \text{ kap.}$$

$$\text{željeni } \cos \varphi \geq 0,95 \text{ kap}$$

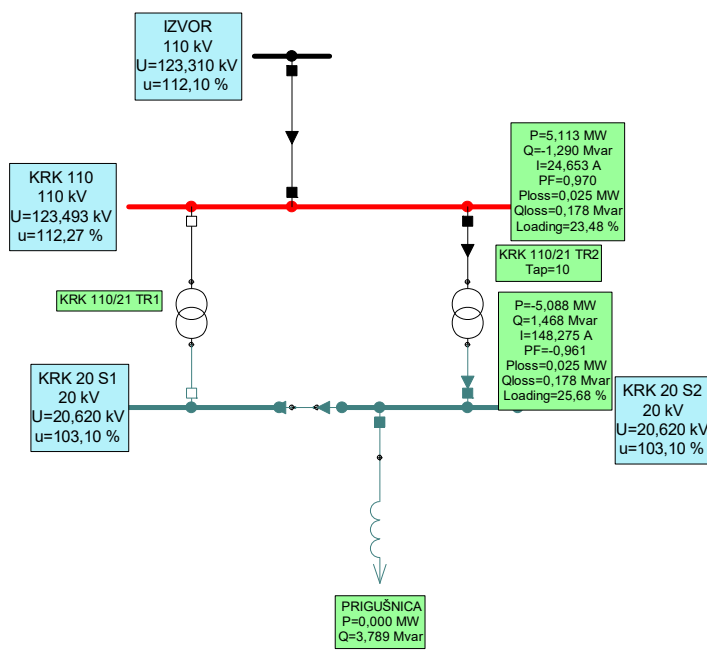
$$Q_L = Q - \sqrt{\left(\frac{P}{\cos \varphi}\right)^2 - P^2}$$

$$Q_L = 3,93 \text{ MVar}$$

Slika 7. Prikaz trokuta snaga i izračun veličine kompenzacijske prigušnice



Slika 8. Prikaz stanja djela mreže i rezultata proračuna u Neplanu bez uključene kompenzacijske prigušnice



Slika 9. Prikaz stanja djela mreže i rezultata proračuna u Neplanu s uključenom kompenzacijskom prigušnicom

Zabilježeno djelatno opterećenje za trenutak analize mreže iznosi 5,089 MW dok je reaktivna snaga iznosa -5,606 MVar što čini faktor snage 0,67 kapacitivno. Jednostavnim matematičkim izračunom dolazi se do potrebne reaktivne snage kompenzacijske prigušnice iznosa 3,93 MVar kako bi sveli faktor snage unutar zadovoljavajućeg područja, odnosno na minimalni iznos od 0,95 kap. na sekundarnoj strani napojnog transformatora.

Tablica III. Prikaz promjena karakterističnih veličina na sekundaru transformatora u TS 110/35/20 kV KRK

| | | Bez kompenzacijske prigušnice | S kompenzacijskom prigušnicom | Promjena | Promjena [%] |
|-------------------------|--------|-------------------------------|-------------------------------|----------|--------------|
| U1 | [kV] | 123,646 | 123,493 | -0,153 | -0,124 |
| U2 | [kV] | 21,104 | 20,620 | -0,484 | -2,293 |
| P | [MW] | 5,089 | 5,088 | - | - |
| Q | [MVar] | -5,606 | -1,468 | 4,138 | -73,814 |
| I | [A] | 207,124 | 148,275 | -58,849 | -28,412 |
| Opterećenje | [%] | 35,870 | 25,680 | -10,190 | -28,408 |
| P_{loss} | [kW] | 35,000 | 25,000 | -10,000 | -28,571 |
| Q_{loss} | [kVar] | 326,000 | 178,000 | -148,000 | -45,399 |
| faktor snage | | 0,672 | 0,96 | | |

Iz prikazanih rezultata proračuna tokova snaga može se uočiti da priključenjem kompenzacijske prigušnice dolazi do smanjenja napona na primarnoj i sekundarnoj strani transformatora uz isti položaj regulacijske sklopke transformatora. Kao što je bilo i očekivano, najveći utjecaj priključenja prigušnice očituje se u tokovima reaktivne snage koji su se smanjili za 73% u odnosu na početno stanje. Smanjenje tokova reaktivne snage posljedično je utjecalo i na smanjenje protoka struje kroz transformator, odnosno na opterećenje istoga. Također, priključenjem kompenzacijske prigušnice smanjili su se radni (P_{loss}) i jalovi (Q_{loss}) gubici na transformatoru, a faktor snage je doveden unutar željenog područja.

4.2. Kompenzacija po vodnim poljima

Osim centralne kompenzacije razmatrana je i mogućnost kompenzacije prekomjerne reaktivne snage prigušnicama priključenim po vodnim poljima napajanim iz TS 110/35/20 kV Krk. Analiza je provedena za isto početno stanje mreže kao i u prethodnom slučaju ali se sada ukupna snaga centralne prigušnice raspodjeljuje na 14 manjih prigušnica priključenih po vodnim poljima. U svako vodno polje ugrađuje se jedna prigušnica od 280,7 kVAr. Za ovakav način kompenzacije promatrat ćemo strujno naponske prilike u vodnom polju Jezero sa najvećim iznosom kapacitivne struje, odnosno reaktivne snage negativnog predznaka te sumarno po vodnim poljima.

Tablica IV. Prikaz tokova snaga po vodnim poljima bez priključenih kompenzacijskih prigušnica i sa priključenim kompenzacijskim prigušnicama iz Neplana

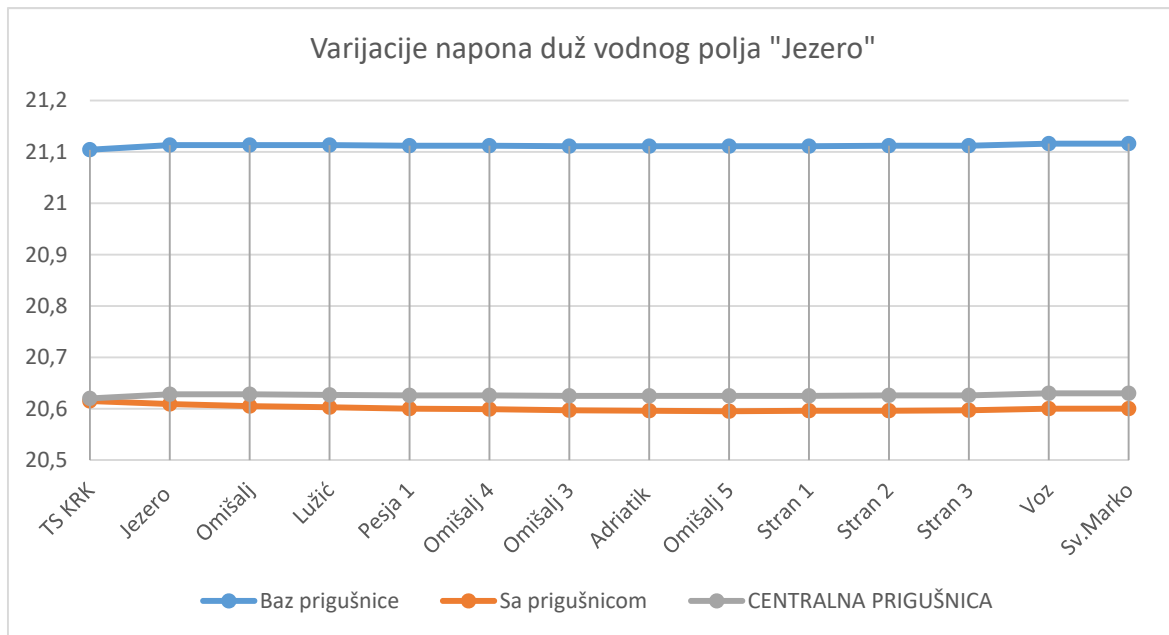
| TS 110/35/20 kV Krk | Bez kompenzacijskih prigušnica | | | | S kompenzacijskim prigušnicama | | | |
|------------------------|--------------------------------|--------|---------|----------|--------------------------------|--------|---------|----------|
| | Naziv vodnog polja | P[MW] | Q[MVAr] | I[A] | cos ρ | P[MW] | Q[MVAr] | I[A] |
| Vrutak 2 | 0,452 | -0,544 | 19,335 | 0,64 kap | 0,451 | -0,236 | 14,265 | 0,89 kap |
| Peharček 1 | 0,32 | -0,384 | 13,688 | 0,64 kap | 0,32 | -0,094 | 9,351 | 0,96 kap |
| Sv.Vid 3 | 0,18 | -0,051 | 5,121 | 0,96 kap | 0,18 | 0,224 | 8,054 | 0,63 ind |
| Dobrinj | 0,401 | -0,541 | 18,425 | 0,60 kap | 0,4 | -0,235 | 13,008 | 0,86 kap |
| Maršići | 0,792 | -0,19 | 22,295 | 0,97 kap | 0,792 | 0,102 | 22,377 | 0,99 ind |
| Bajčići 2 | 0,249 | -0,805 | 23,061 | 0,30 kap | 0,248 | -0,497 | 15,558 | 0,45 kap |
| Barušić | 0,349 | -0,434 | 15,232 | 0,63 kap | 0,348 | -0,137 | 10,483 | 0,93 kap |
| Sv.Ivan | 0,352 | -0,698 | 21,374 | 0,45 kap | 0,351 | -0,388 | 14,643 | 0,67 kap |
| Žgombići | 0,601 | -0,341 | 18,906 | 0,87 kap | 0,601 | -0,049 | 16,89 | 1,00 kap |
| Gabonjin 2 | 0,2 | -0,152 | 6,881 | 0,80 kap | 0,2 | 0,127 | 6,632 | 0,84 ind |
| Kremenići | 0,081 | -0,11 | 3,741 | 0,59 kap | 0,081 | 0,167 | 5,204 | 0,44 ind |
| Malinska 8 | 0,755 | -0,397 | 23,333 | 0,89 kap | 0,755 | -0,103 | 21,334 | 0,99 kap |
| Kijac 1 | 0,116 | -0,232 | 7,091 | 0,45 kap | 0,116 | 0,058 | 3,638 | 0,89 kap |
| Jezero | 0,24 | -0,724 | 20,866 | 0,31 kap | 0,238 | -0,36 | 12,088 | 0,55 kap |
| Trafo 2 | 5,089 | -5,606 | 207,124 | 0,67 kap | 5,083 | -1,423 | 147,844 | 0,96 kap |

Iz prikazanih rezultata vidimo da u normalnom pogonskom stanju mreže imamo značajno izražene tokove reaktivne snage koji kapacitivno opterećuju vodna polja te se time smanjuje prijenosna moć istih. Za vrijeme minimalnih opterećenja imamo više proizvedene reaktivne snage iz pretežito kabela mreže, te je zbog toga tok reaktivne snage usmjeren prema napojnoj TS 110/35/20 kV Krk na što ukazuje negativan predznak.

Faktor snage je gotovo u svim vodnim poljima kapacitivnog predznaka, odnosno kapacitet kabela je prevladavajući u odnosu na induktivno opterećenje koje predstavljaju potrošači i distributivni transformatori.

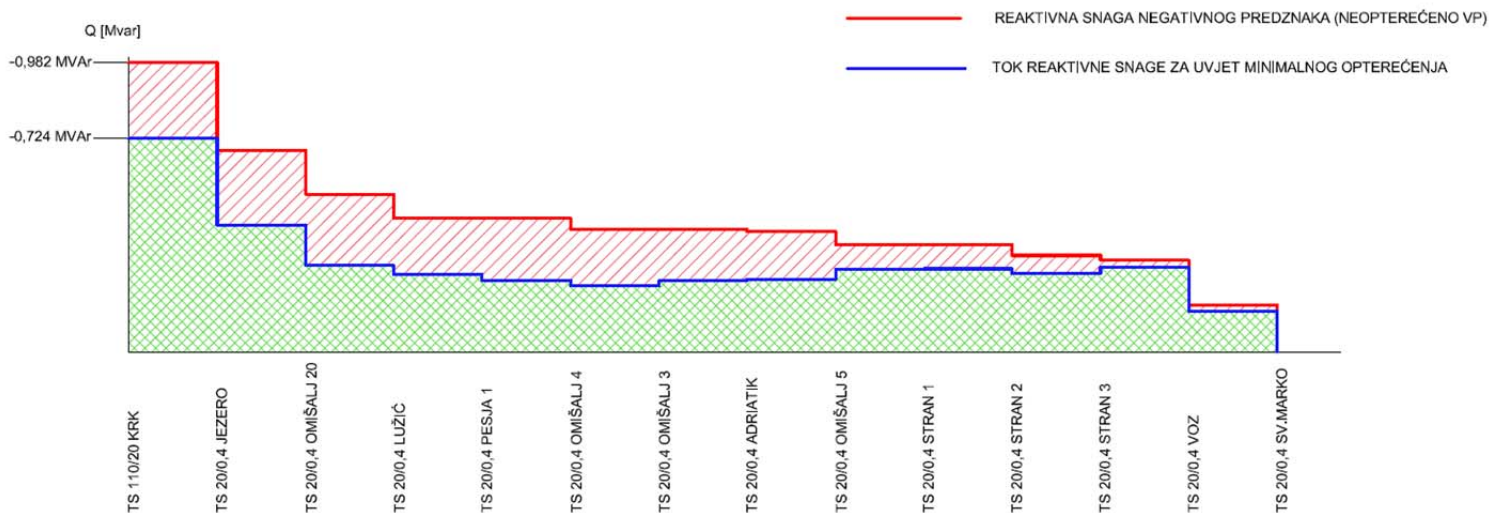
Priključenjem kompenzacijskih prigušnica po vodnim poljima (jedna po vodnom polju) iznosa 280,7 kVAr doveden je faktor snage na sekundaru transformatora unutar željenih granica dok je pojedinačno po vodnim poljima i dalje većinom ostao kapacitivnog karaktera ali većeg iznosa. Strujno opterećenje se po pojedinom vodnom polju i ukupno smanjilo što za posljedicu ima i smanjenje tehničkih gubitaka u samoj distribucijskom mreži.

Pojedina vodna polja koja nisu izrazito dugačka te samim time nemaju značajan iznos reaktivne snage negativnog predznaka ili je potrošnja dovoljno velika da se smanji utjecaj kabela na tokove reaktivne snage, imaju tijekom minimalnog opterećenja zadovoljavajući faktor snage. Dodatnim priključenjem kompenzacijske prigušnice, nad kompenziramo kapacitet kabela te je moguće time stvoriti i negativan učinak odabirom prevelikog iznosa prigušnice što se očituje u vodnom polju Sv.Vid 3.



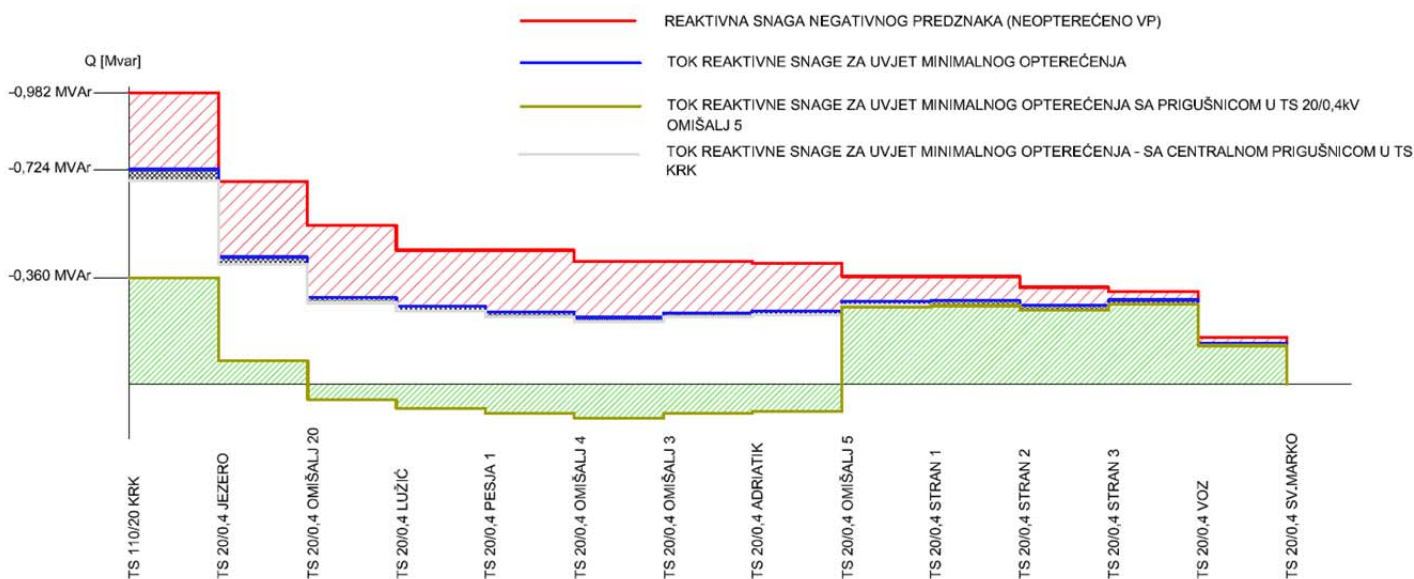
Slika 10. Varijacije napona duž vodnog polja „Jezero“

Zbog slabog opterećenja vodnog polja „Jezero“, a izrazito velike reaktivne snage negativnog predznaka, napon duž vodnog polja blago raste prema kraju istoga za vrijeme minimalnog opterećenja i prelazi 21 kV što za posljedicu ima i povećanje napona na sekundarnoj strani transformatora 20/0,42 kV za srednji položaj regulacijske sklopke te u ovom slučaju napon izlazi iz dozvoljenih granica određenih normom EN 50160. U većini distributivnih transformatorskih stanica 20/0,4 kV, regulacijska sklopka je u krajnjem položaju. Ugradnjom centralne prigušnice ili manje prigušnice po svakom vodnom polju, snižavamo napon napojne 20 kV sabirnice u TS 110/35/20 kV Krk te se time poboljšavaju naponske prilike duž vodno polja.



Slika 11. Prikaz tokova reaktivne snage u vodnom polju „Jezero“

Iz slike 11. vidimo kako se s porastom duljine pojedine kabelske dionice povećava i reaktivna snaga od kraja vodnog polja prema njegovom početku. Veća udaljenost između pojedinih transformatorskih stanica doprinosi izraženijem povećanju reaktivne snage negativnog predznaka. Za uvjet minimalnog opterećenja, tokovi reaktivne snage se smanjuju djelovanjem induktivnog karaktera potrošača ali i dalje se zamjećuje izraženo kapacitivno opterećenje vodnog polja.



Slika 12. Prikaz tokova reaktivne snage u vodnom polju „Jezero“ uz centralnu kompenzaciju i pojedinačno po vodnim poljima

Ugradnjom centralne kompenzacije smanjujemo napon napojne 20 kV sabirnice u TS 110/35/20 kV Krk čime se smanjuju tokovi reaktivnih snaga po vodnim poljima u odnosu na minimalno opterećenje. Navedeni pozitivni učinak malog je iznosa stoga duž vodnog polja i dalje imamo velike iznose reaktivne snage negativnog predznaka.

Priključenjem kompenzacijske prigušnice u TS 20/0,4 kV Omišalj 5 iznosa 280,7 kVar smanjujemo tokove reaktivne snage na djelu vodnog polja do mjesta ugradnje prigušnice. Nakon mjesta ugradnje imamo gotovo iste tokove reaktivnih snaga kao i za početno stanje odnosno za uvjet minimalnih opterećenja. Reaktivna snaga umanjena je za mali iznos samo iz razloga smanjenja napona u 20 kV mreži.

5. ZAKLJUČAK

U prilikama sezonskog opterećenja otoka Krka sve veći je izazov upravljati gubicima u mreži, kao i regulirati napon u takvim uvjetima. Iz prikazanih mjerenja vidljivo je da postoje povišeni naponi u mreži kada je rasterećena. Također se pojavljuju i padovi napona na mjestima koja su udaljena od distributivnih trafostanica. U takvim uvjetima koja su dijametralno suprotna po zahtjevima vođenja mreže potrebno je razmišljati ne samo o kompenzaciji, već kako upravljati s njom.

Zbog takvih početnih zahtjeva rad je obradio mogućnost ugradnje kompenzacije uzduž 20 kV vodnih polja kao i u samoj napojnoj 110/20 kV transformatorskoj stanici. Zasigurno bi još bolje rješenje bilo imati upravljivu kapacitivno-induktivnu kompenzaciju u samom NN bloku. Kako su za takva rješenja potrebni značajni telekomunikacijski zahtjevi naglasak je na rješenjima za koja već postoji pripremljena infrastruktura. Sve 110/20 kV trafostanice su u sustavu daljinskog vođenja i najjednostavnije je rješenje na te lokacije postaviti „centralnu“ kompenzaciju. Rad je prikazao da i takvo rješenje daje dostatne rezultate u regulaciji reaktivne snage i popravlja naponske prilike u mreži kakva je na otoku Krku.

6. LITERATURA

- [1] ELKA, "Energetski srednjenaponski kabeli s XLPE izolacijom za napone do 36 kV," Zagreb, Hrvatska
- [2] R. Goić: "Distribucija električne energije", s Interneta, <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/dm/skriptaDM.pdf>
- [3] D. Variola, V. Kirincic, D. Frankovic, R. Prenc, "Modeliranje elektroenergetskog sustava otoka Krka," CIRED, 13.-16. svibanja, Opatija, Hrvatska