

Igor Volarić, dipl.ing.el.  
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[igor.volaric@hep.hr](mailto:igor.volaric@hep.hr)

Hrvoje Čop, dipl.ing.el.  
HEO – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[hrvoje.cop@hep.hr](mailto:hrvoje.cop@hep.hr)

Ivan Crnković, univ.mag.ing.el.  
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[ivan.crnkovic@hep.hr](mailto:ivan.crnkovic@hep.hr)

Darko Kruljac, ing.el.  
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[darko.kruljac@hep.hr](mailto:darko.kruljac@hep.hr)

## UGRADNJA I PUŠTANJE U RAD KOMPENZACIJSKIH PRIGUŠNICA U DP ELEKTROPRIMORJE RIJEKA

### SAŽETAK

Ovaj referat opisuje tehnički proces ugradnje i puštanja u rad kompenzacijskih prigušnica u trafostanicama TS 35/20 kV Gerovo i TS 20/0,4 kV MHE Curak 1. Problemi previsokih napona, koji su prepoznati kao rezultat kapacitivnih efekata kableske mreže i niske potrošnje, potaknuli su potrebu za ugradnjom prigušnica radi stabilizacije naponskih prilika i smanjenja gubitaka u mreži. Predstavljene su tehničke aktivnosti koje su osigurale uspješnu implementaciju prigušnica u elektroenergetski sustav i njihovu usklađenost s postojećom infrastrukturom.

**Ključne riječi:** previsoki naponi, kompenzacijska prigušnica, regulacija napona, stabilnost, puštanje u rad;

## INSTALLATION AND COMMISSIONING OF COMPENSATION SHUNT REACTORS IN DP ELEKTROPRIMORJE RIJEKA

### SUMMARY

This report describes the technical process of installing and commissioning compensation reactors in substations TS 35/20 kV Gerovo and TS 20/0.4 kV MHE Curak 1. The problems of excessively high voltages, identified as a result of capacitive effects in the cable network and low consumption, prompted the need for the installation of reactors to stabilize voltage conditions and reduce network losses. Technical activities that ensured the successful implementation of the reactors into the power system and their compatibility with the existing infrastructure are presented."

**Key words:** overvoltages, compensating shunt reactor, voltage regulation, stability, commissioning;

## 1. UVOD

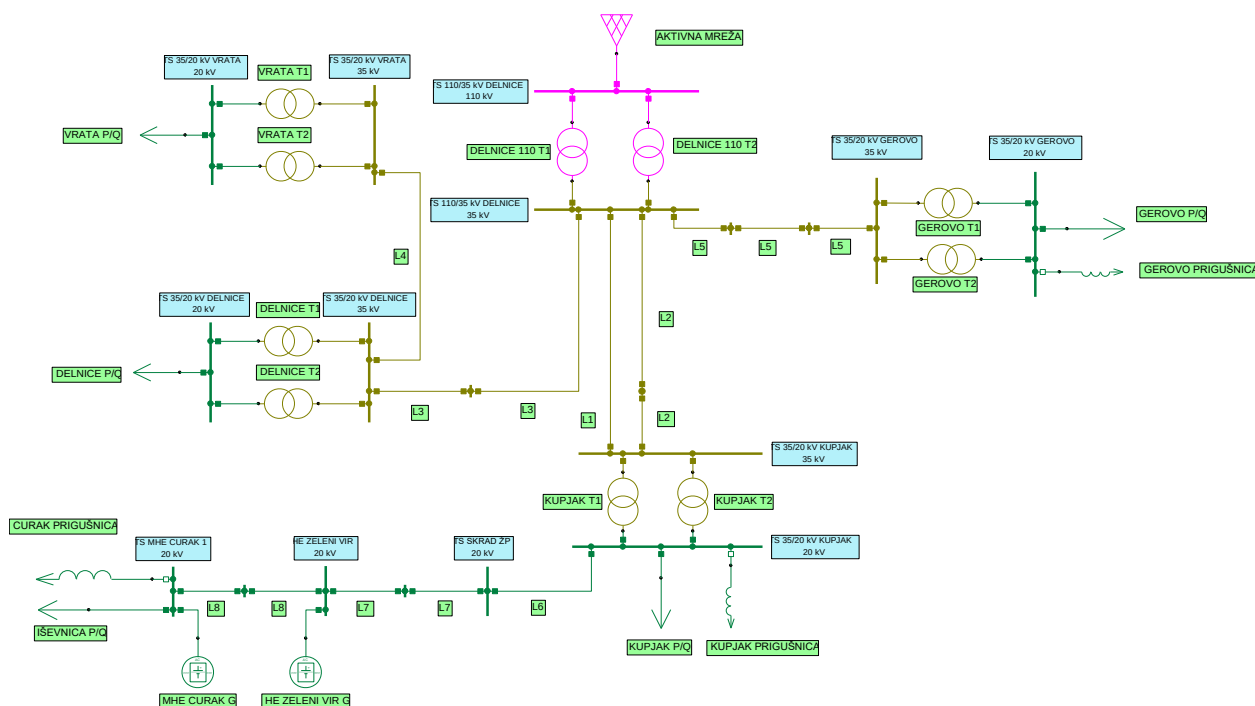
U DP Elektroprimorje Rijeka postoje problemi pojava previsokih napona na području Gorskog kotara. Gorski kotar karakterizira velika geografska površina, uz relativno nisku naseljenost, tj. nisku potrošnju električne energije, što za posljedicu ima pojavu previsokih napona najizraženijih u satima minimalne potrošnje.

Predmetno područje pogođeno je 2014. godine ledolomom, gdje su se prilikom sanacije pogođene mreže, zračni vodovi zamijenili s kablskim, što za posljedicu ima povećane kapacitivne udjele jalove snage.

Zbog navedenih problema previsokih napona, kao tehnička mjera smanjenja jalove energije u 20 kV mreži pristupilo se projektu ugradnje kompenzacijskih prigušnica.

## 2. MREŽNE TOČKE UGRADNJE KOMPENZACIJSKE PRIGUŠNICE

Na slici 1 prikazan je model elektroenergetskog sustava distribucijske i dijela prijenosne mreže Gorskog kotara.



Slika 1. Model elektroenergetskog sustava dijela Gorskog kotara

Na temelju analize mreže i proračuna prikazanih u [1] i [2] izvršena je selekcija mrežnih čvorišta optimalnih za ugradnju kompenzacijskih prigušnica. Predmetna ugradnja s pratećim radovima do potpune projektirane funkcionalnosti realizira se kroz projekt GreenSwitch pod okriljem CEF (eng. Connecting Europe Facilities) fonda Europske komisije.

Tablica 1. Lokacije ugradnje i snage odabranih prigušnica

| ODABRANE LOKACIJE        | SNAGA PRIGUŠNICE | GODINA UGRADNJE |
|--------------------------|------------------|-----------------|
| TS 35/20 kV Gerovo       | 3 MVAr           | 2024.           |
| TS 20/0,4 kV mHE Curak 1 | 1.2 MVAr         | 2024.           |
| TS 35/20 kV Kupjak       | 3 MVAr           | 2025.           |

### 3. PROCES UGRADNJE

Prema planiranoj dinamici realizacije projekta GreenSwitch u 2024. godini ugradnja kompenzacijskih prigušnica izvršena je na objektima TS 35/20 kV Gerovo i TS 20/0,4 kV MHE Curak 1.

Transformatorska stanica TS 35/20 kV Gerovo je zidana trafostanica «Primorsko-goranskog» tipa izgrađena još 1972. godine s instaliranom snagom energetskih transformatora 2 x 4MVA smještenima na vanjskom platou TS. Predmetna TS služi za napajanje šireg područja gerovskog i čabarskog kraja. Prije ugradnje kompenzacijske prigušnice TS 35/20 kV Gerovo je praktički kontinuirano bila opterećena pretežito kapacitivnim teretom s faktorom snage  $\cos\varphi$  u rasponu od 0,2 do 0,7 kapacitvno.

Ugradnja nove kompenzacijske prigušnice u TS 35/20 kV GEROVO obuhvatila je sljedeće aktivnosti:

- izgradnja novog armirano-betonskog postolja prigušnice sa sabirnikom ulja na ravnom terenu neposredno uz postojeću zgradu;
- izgradnja cjevovoda za odvodnju eventualno ispuštenog ulja iz prigušnice od novog sabirnika ulja do novog separatora ulja, gdje se ulje prikuplja nakon havarije i odvozi;
- ugradnja novog tipskog separatora;
- izgradnja novog upojnog bunara.

Postolje za prigušnicu sa sabirnikom ulja izvedeno je kao monolitna armirano betonska konstrukcija temeljena na armirano-betonskoj ploči. Sabirnik ulja dimenzioniran je za prihvatanje ukupne količine eventualno ispuštenog ulja iz prigušnice prilikom havarije. Ispušteno ulje odvodi se prema separatoru PVC cijevima otpornim na djelovanje transformatorskog ulja. Ugrađen je tipski separator ulja s koalescentnim filtrom. Pročišćena voda odvodi se prema novom upojnom bunaru.

Kompenzacijska prigušnica se 20 kV kabelom tipa 3x(NA2XS(F)2Y 1x185RM/25mm<sup>2</sup> 12/20 kV) povezala na 20 kV vodno polje na postojećem 20 kV metalom oklopljenom postrojenju izolirano plinom SF<sub>6</sub>. Vodno polje je opremljeno tropoložajnom rastavnom sklopkom s uzemljivačem i prekidačem, te numeričkim terminalom polja s pripadnim strujnim mjernim transformatorima kao središnjim dijelom sustava upravljanja, signalizacije, mjerenja i zaštite polja.

Transformatorska stanica TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 je kompaktna armirano-betonska transformatorska stanica tipa DTS 24-2x630(2x1000) kVA, proizvođača „Zagorje – Tehnobeton“ d.d.. Predmetna TS služi kao susretno postrojenje prema MHE Curak 1 priključene na 0,4 kV naponskom novu. TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 napaja se iz TS 35/20 kV Kupjak te se nalazi na 20 kV radijalnom vodu na kojem se nalaze TS 20/0,4 kV za napajanje općine Skrad i Brod Moravice te dio kupske doline. Predmetni dio 20 kV mreže karakterizira opet kapacitivni karakter s prosječnim opterećenjem 1,7 MVar.

Unutrašnjost trafostanice se sastoji iz tri prostorije, dvije za smještaj energetskih transformatora i jedne za smještaj SN i NN opreme. U jednoj prostoriji za smještaj energetskih transformatora smješten je energetski transformator snage 630 kVA. Druga prostorija predviđena za smještaj energetskog transformatora iskoristila se za smještaj kompenzacijske prigušnice. Zbog tlocrtnih ograničenja prostorije odabrana je prigušnica nazivne snage 1200 kVar.

Kompenzacijska prigušnica se 20 kV kabelom tipa 3x(NA2XS(F)2Y 1x150RM/25mm<sup>2</sup> 12/20 kV) povezala na 20 kV vodno polje na postojećem 20 kV metalom oklopljenom sklopnom bloku izoliranim plinom SF<sub>6</sub>. Vodno polje je opremljeno tropoložajnom rastavnom sklopkom s uzemljivačem i prekidačem, te numeričkim terminalom polja sa senzorima kao središnjim dijelom sustava upravljanja, signalizacije, mjerenja i zaštite polja.

Radna ambijenta temperatura kompenzacijske prigušnice kreće se u rasponu od -20 do +40 °C. Prigušnica tokom rada disipira 12 kW toplinske energije u prostoriju. Za potrebe hlađenja kompenzacijske prigušnice i održavanja unutarnje temperature zraka ispod 40°C realizirana je mehanička odsisna ventilacija prostora. Ugrađena su dva neovisna sustava odsisnih kanala i aksijalnih ventilatora za potrebe odsisa toplog zraka iz prostora, nominalnog pojedinačnog protoka zraka od 5.000 m<sup>3</sup>/h. Vanjski zrak slobodno prestrujava u komoru pomoću žaluzina smještenih pri dnu ulaznih vrata u komoru te se odsisava u okolinu pomoću odsisnih ventilatora.

Proračunima je ustanovljeno je da je za održavanje potrebnih uvjeta potreban volumni protok zraka od cca 7.200 m<sup>3</sup>/h. U paralelnom radu ventilatori ostvaruju volumni protok zraka od 10.000 m<sup>3</sup>/h.

Regulacija rada ventilatora realizirana je preko tvorničkog regulatora brzine okretaja te preko dva paralelna sustava mjerenja temperature. Prvi sustav mjerenja temperature izveden je preko kontaktnog termometra smještenog na samoj prigušnici. Prvi sustav ventilacije uključuje se kada temperatura ulja prigušnice prelazi 60°C. Kada temperatura ulja prijeđe 70°C uključuje se paralelno i drugi sustav. Drugi sustav mjerenja temperature jest preko dva sobna termostata (dva stupnja) smještena na ulazu u prostoriju. Oba sustava ventilacije uključuju se kada temperatura unutarnjeg zraka prelazi 60°C.

## PRIGUŠNICE

U TS 35/20 kV Gerovo i TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 ugrađene su kompenzacijske prigušnice sljedećih tehničkih podataka.

Tablica 2. Tehnički parametri kompenzacijskih prigušnica u  
TS 35/20 kV Gerovo i TS 20/0,4 kV MHE Curak 1

|                                     | TS 35/20 kV Gerovo           | TS 20/0,4 kV MHE Curak 1     |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Nazivni napon</b>                | 21 kV                        | 21 kV                        |
| <b>Nazivna snaga</b>                | 3000 kVAr (reg snage ± 2.5%) | 1200 kVAr (reg snage ± 2.5%) |
| <b>Nazivna struja</b>               | 82,5 A                       | 33 A                         |
| <b>Broj faza</b>                    | 3                            | 3                            |
| <b>Hlađenje</b>                     | ONAN                         | ONAN                         |
| <b>Frekvencija</b>                  | 50 Hz                        | 50 Hz                        |
| <b>Norma</b>                        | PN-EN 60076-6                | PN-EN 60076-6                |
| <b>Maksimalni radni napon</b>       | Um = 24 kV                   | Um = 24 kV                   |
| <b>Grupa spoja</b>                  | Y                            | Y                            |
| <b>Napon izolacije</b>              | Li 125AC50                   | Li 125AC50                   |
| <b>Ukupni gubici (75°C)</b>         | 20452 W                      | 11387 W                      |
| <b>Radna ambijentna temperatura</b> | -25 / +40 °C                 | -25 / +40 °C                 |
| <b>Buka</b>                         | 65 dB (A)                    | 65 dB (A)                    |
| <b>Dimenzije</b>                    | 3080 x 1680 x 2590 mm        | 1920 x 1050 x 1900 mm        |
| <b>Ukupna masa</b>                  | 7700 kg                      | 3600 kg                      |
| <b>Masa ulja</b>                    | 1970kg                       | 900kg                        |

Prigušnice su tvornički opremljene sa primarnim (tehničkim) zaštitama koje su prikazane u tablici 3.

Tablica 3. Tehničke zaštite kompenzacijskih prigušnica u  
TS 35/20 kV Gerovo i TS 20/0,4 kV MHE Curak 1

| TEHNIČKE ZAŠTITE         | TS 35/20 kV Gerovo       | TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Buchholz relej           | alarm / isklop           | isklop                   |
| Kontaktni termometar     | alarm 85°C / isklop 95°C | alarm 85°C / isklop 95°C |
| Ventil za kontrolu tlaka | isklop 0,35 bara         | isklop 0,30 bara         |
| Nivo ulja                | min i max razina         | -                        |

Pored navedenih zaštita, prigušnica u TS 35/20 kV Gerovo opremljena je funkcijom mjerenja temperature ulja preko kontaktnog termometra.

Na pripadnim numeričkim terminalima polja implementirane su strujne i naponske zaštite koje su prikazane u tablici 4. S obzirom da od proizvođača opreme nisu dobivene smjernice za podešavanje navedenih zaštita, iste su određene na temelju tehničkih parametara prigušnice te uvažavajući iznose napona na 20 kV sabirnicama u pripadnim TS kao i dosadašnju praksu unutar DP Elektroprimorja Rijeka. Posebnost odabira proradne vrijednosti nadstrujne zaštite u prvom stupnju ogledala se u proračunu očekivane struje prigušnice u ovisnosti o naponu na 20 kV sabirnicama. Odabranim podešenjem dozvoljeno je minimalno 10% preopterećenje.

Tablica 4. Prikaz strujnih zaštita prigušnica u TS 35/20 kV Gerovo

| ZAŠTITNA FUNKCIJA | TS 35/20 kV Gerovo                        | TS 20/0,4 kV MHE Curak 1                  |
|-------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $I >$             | 90 A / 1,0 s                              | 37 A / 1,0 s                              |
| $I >>$            | 400 A / 0,1 s                             | 400 A / 0,1 s                             |
| $I_0 >$           | 4 A ( $-30^\circ$ / $+88^\circ$ ) / 0,5 s | 4 A ( $-30^\circ$ / $+88^\circ$ ) / 0,5 s |
| $I_0 >>$          | 40 A / 0,3 s                              | 40 A / 0,3 s                              |
| $I_0 >>>$         | 250 A / 0,05 s                            | 200 A / 0,05 s                            |
| $U >$             | 1,15 $U_n$ / 5,0 s                        | 1,15 $U_n$ / 5,0 s                        |
| $U <$             | 0,90 $U_n$ / 2,0 s                        | 0,90 $U_n$ / 2,0 s                        |

Prema tehničkim uputama dobivenim od strane proizvođača prigušnice, iste imaju ograničenja u radu. Naime, proizvođač je predvidio vremenska ograničenja prilikom manipulacija istom:

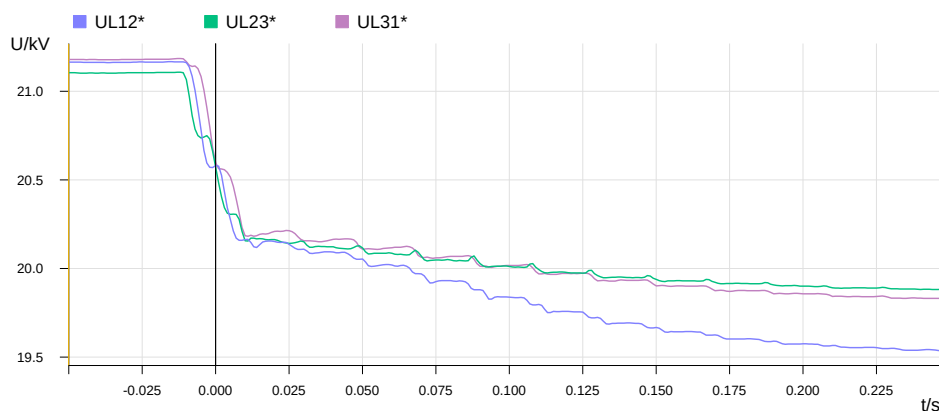
- vremenska pauza između planiranih isključenja i uključanja prigušnice i obrnuto ne smije biti kraća od 15 min;
- vremenska pauza između dva uključanja ne smije biti kraća od 60 minuta;
- u slučaju nestanka napona na 20 kV sabirnicama (kvar na transformatorima ili na napojnom vodu) prigušnica se automatski isključuje, pri čemu ponovno uključanje prigušnice dopušteno je nakon normalizacije pogonskog stanja i isteka vremenske pauze između isključenja i uključanja od 15 minuta
- tijekom 24h prigušnica ne smije imati više od četiri (4) ciklusa uključanja/isključanja

Prethodno navedena ograničenja izvedena su u samoj upravljačkoj logici numeričkog terminala polja s ciljem olakšanja svakodnevnog upravljanja postrojenjem i mrežom pogonskom osoblju.

Osim vremenskih blokada, prema već ustaljenoj praksi kod šticećenja transformatora, izvedena je i blokada uključanja prilikom prorada strujnih zaštita. Predmetna blokada se fizički resetira pomoću ugrađenog tipkala na pripadnom 20 kV polju.

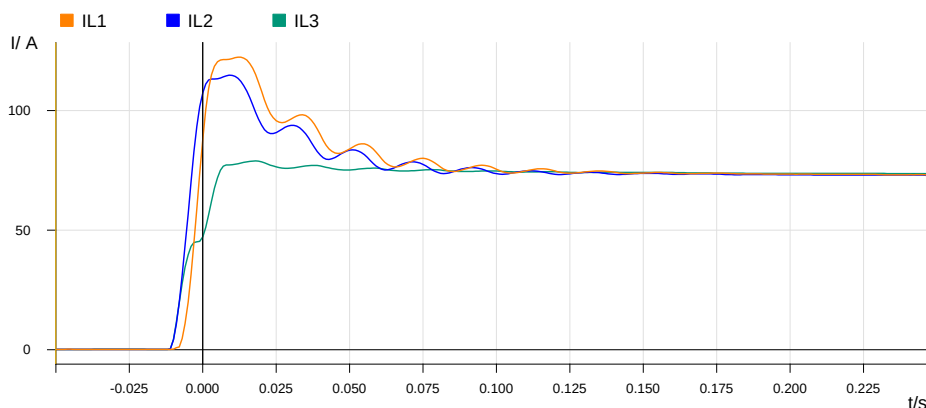
## 5. PUŠTANJE U RAD

Prilikom puštanja u rad najveća nepoznanica su bile potezne struje kompenzacijske prigušnice, te eventualne prijelazne pojave u naponu prilikom uključanja / isključenja. Na sljedećim slikama prikazani su dijagrami struja i napona na kompenzacijskoj prigušnici u TS 35/20 kV Gerovo prilikom uključanja.



Slika 2. Dijagram napona na 20 kV sabirnicama prilikom uključanja u TS 35/20 kV Gerovo

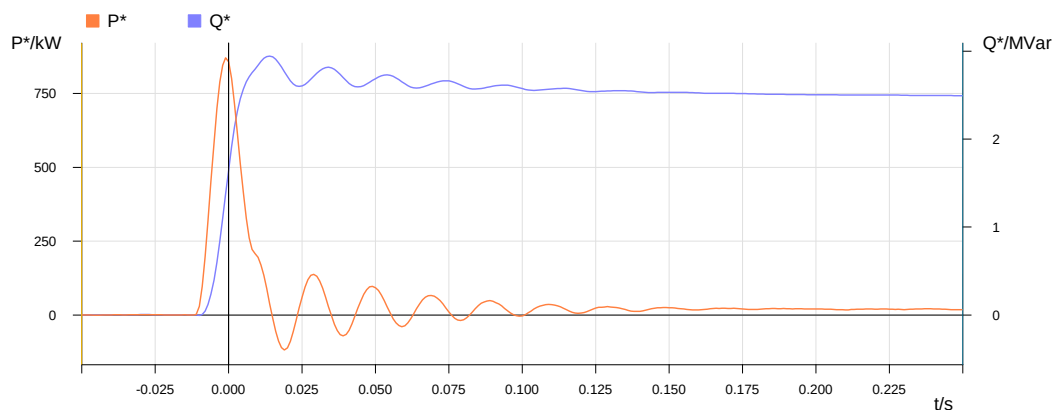
Iz slike 2. vidljivo je da uključanjem prigušnice napon na sabirnicama pada za cca 1,2 kV. Rezultat toga je da se na energetskim transformatorima 35/20 kV u TS 35/20 kV Gerovo regulacijska preklapka morala prebaciti iz najvišeg položaja 1 (36750 V) u položaj 2 (35875 V) s ciljem podizanja napona na 20 kV sabirnicama bliže referentnoj vrijednosti od 21 kV.



Slika 3. Dijagram struje na 20 kV polju kompenzacijske prigušnice prilikom uključanja u TS 35/20 kV Gerovo

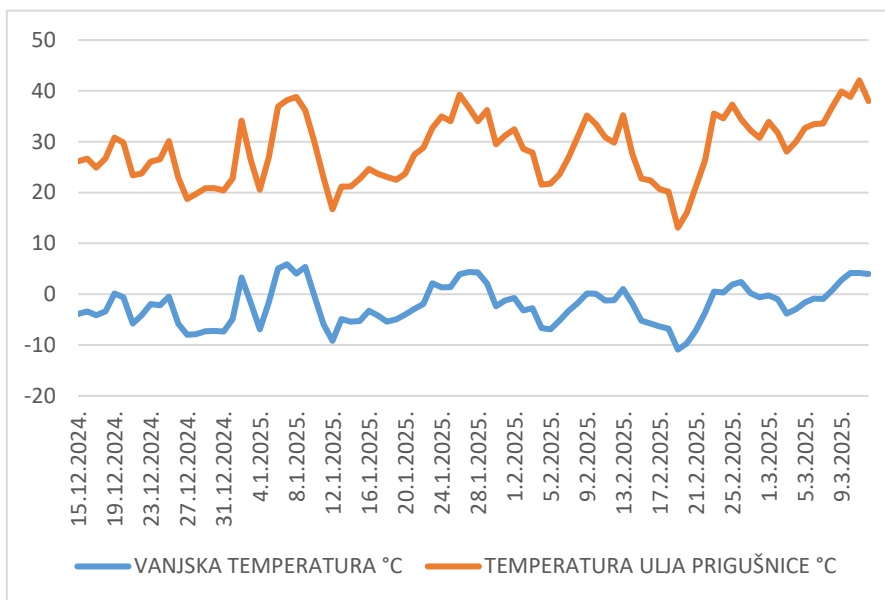
Maksimalna potezna struja iznosila je cca 124 A, što je 1,5 In nazivne struje prigušnice (82,5 A). Vrijeme prijelazne pojave je iznosilo cca 150 ms.

Na slici 4 prikazan je odnos P/Q komponente prigušnice u trenutku uključanja, gdje nakon 150 ms prijelazne pojave kompenzacijska prigušnica "troši" 2.5 MVar kapacitivne komponente jalove snage, te ima cca 18 kW vlastitih radnih gubitaka.



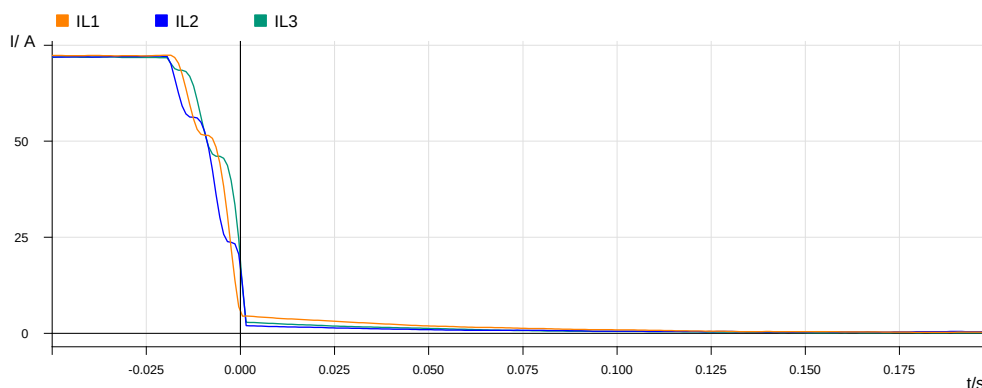
Slika 4. Odnos snaga P/Q prigušnice u trenutku uključenja

S obzirom da kompenzacijska prigušnica praktički radi 0-24 h na nazivnim vrijednostima, zanimljivo je pratiti i kretanje temperature ulja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Slikom 5 prikazan je navedeni odnos u prva 3 mjeseca eksploatacije. Svako će biti zanimljivo pratiti navedeni trend tijekom toplijih ljetnih dana. To se posebice odnosi na prigušnicu ugrađenu u TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 koja je ugrađena u prostoriji s prisilnom ventilacijom. Odnosno pratiti uspješnost i učestalost prisilnog hlađenja.

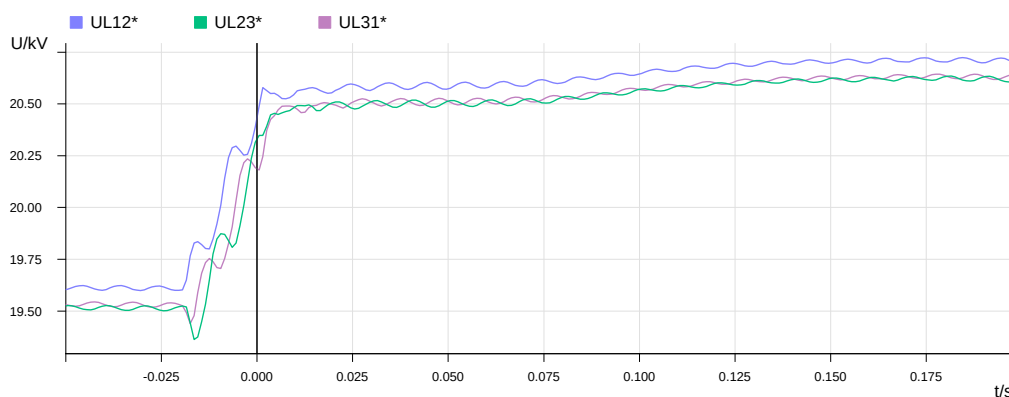


Slika 5. Odnos vanjske temperature i temperature ulje prigušnice

Na slici 6 i 7 prikazane su strujne i naponske prilike u trenutku isključenja kompenzacijske prigušnice, gdje u oba slučaja prijelazna pojava traje 150 ms.



Slika 6. Dijagram struje na 20 kV polju kompenzacijske prigušnice prilikom isključenja u TS 35/20 kV Gerovo



Slika 7. Dijagram napona na 20 kV sabirnicama prilikom isključenja u TS 35/20 kV Gerovo

Uključenjem kompenzacijske prigušnice u TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 dobiveni su slični odazivi sustava, naravno u skladu s tehničkim parametrima predmetne prigušnice.

## 6. ZAKLJUČAK

Ugradnjom i puštanjem u rad kompenzacijskih prigušnica u TS 35/20 kV Gerovo i TS 20/0,4 kV MHE Curak 1 riješen je polazni problem previsokih napona na 20 kV sabirnicama u pripadnoj pojnoj mrežnoj točki, odnosno duž 20 kV radijalnog voda.

Kod razrade projektnog rješenja ovisno o mjestu ugradnje potrebno je posebnu pažnju posvetiti zagrijavanju prigušnice i adekvatnom odvođenju topline. U daljnjoj eksploataciji pratiti će se predmetni parametri s ciljem ostvarenja optimalnih uvjeta za nesmetan rad prigušnica.

Parametri električnih zaštita također su odabrani prema svojevrsnoj ustaljenoj praksi unutar DP-a, prateći zaštitarske zakonitosti konkretnog objekta. Stav autora prema nadstrujnoj zaštiti kompenzacijske prigušnice jest takav da nema potrebe za dozvoljavanjem bitnijeg nadstrujnog opterećenja, tim više što je sam rad prigušnice u korelaciji s povećanim naponom na sabirnicama.

Prilikom uključenja i isključenja prigušnica u dosadašnjem radu nisu detektirane posebnosti kako u prijelaznim pojavama napona i struje, tako niti u eventualnim sklopnim prenaponima.

Potrebno je obratiti pažnju na ograničenja u radu prigušnice s aspekta vremenskih pauza između pojedinih uključenja / isključenja prema uputama proizvođača.



Ovaj rad naglašava važnost pažljive planifikacije i implementacije tehničkih rješenja u distribucijskim mrežama te demonstrira kako kompenzacijske prigušnice doprinose dugoročnoj pouzdanosti, stabilnosti i učinkovitosti sustava. Zaključuje se da su ovakvi projekti ključni za optimizaciju rada elektroenergetskog sustava i prilagodbu suvremenim izazovima distribucijskog sustava.

## 7. LITERATURA

- [1] D. Kruljac, A. Antonić, Razmatranje rješenja smanjenja visokih napona uzrokovanih kabliranjem mreže i malom potrošnjom, CIRED 6. (12.) savjetovanje, svibanj 2018.
- [2] J. Žutolija, V. Komen, Prijedlog smanjenja povišenih napona uzrokovanih kabliranjem mreže i malom potrošnjom, CIRED 8. (14.) savjetovanje, lipanj 2023.
- [3] H. Čop, J. Žutolija Ugradnja kompenzacijske prigušnice u TS 35/20 kV Gerovo, TR-TV-51-23, Elektrotehnički izvedbeni projekt, DP Elektroprimorje Rijeka, lipanj 2023.
- [4] H. Čop, J. Žutolija Ugradnja kompenzacijske prigušnice u TS 20/0,4 kV MHE Curak 1, TR-TV-89-23, Elektrotehnički izvedbeni projekt, DP Elektroprimorje Rijeka, lipanj 2023.