

Arsen Jurasic, mag.ing.el.  
HEP – ODS d.o.o. – Elektroprimorje Rijeka  
[arsen.jurasic@hep.hr](mailto:arsen.jurasic@hep.hr)

Boris Krstulja, dipl. ing. el.  
HEP – ODS d.o.o. – Elektroprimorje Rijeka  
[boris.krstulja@hep.hr](mailto:boris.krstulja@hep.hr)

## POGON DIJELA SN MREŽE OTOKA LOŠINJA POD ZEMNIM SPOJEM PODMORSKOG KABELA

### SAŽETAK

U uvjetima loših vremenskih prilika na moru i ne mogućnošću pristupa otocima, a posebno u zimskom periodu, prilikom kvara na podmorskom kabelu pojavljuje se problem na koji način kupcima isporučiti električnu energiju u tako poremećenim uvjetima pogona.

U rujnu mjesecu 2014. godine zbog kvara na podmorskom kabelu između otoka Male Srakane i otoka Suska napajanje kupaca vršeno je pod zemnim spojem.

U ovom radu prikazuje se tekuća hrvatska zakonska regulativa koja definira uvjete takvog pogona, problematiku vođenja takvog pogona, prenapone, te poduzete mjere.

**Ključne riječi:** podmorski kabel, zemni spoj, pogon u poremećenim uvjetima

## OPERATION OF MV NETWORK PART UNDER SUBMARINE CABLE EARTH FAULT

### SUMMARY

Under bad weather conditions at sea and lack of access to the islands, especially at winter, under submarine cable earth fault there is the problem for customers power supply at that disturbed conditions operation.

In September 2014. due to submarine cable failure between the island Male Srakane and island Susak customers power supply is carried out under the earth fault.

The paper presents the current Croatian legislation which defines the conditions for that operation, problems of managing such operation, overvoltages, and the measures taken.

**Key words:** submarine cable, earth fault, operation in disturbed conditions

## 1. UVOD

Kvar podmorskog kabela srednjeg napona uvijek je bila "noćna mora" operativnog osoblja u distribuciji električne energije. Problemi koji se pojavljuju pri organizaciji i provođenju takvih popravaka zahtijevaju visoki stupanj aktivnosti svih rukovodećih i operativnih radnika u kvalitetnoj pripremi, koordinaciji ekipa unutar i izvan poduzeća (trajekt, ronioci, dozvole, obavještanje, ...), angažiranju odgovarajućeg agregata na prikladnom mjestu uz zahtjevnu logistiku za njegov rad, osiguranju odgovarajućeg materijala za popravak i uvijek uz vrlo nepovoljne vremenske prilike i stanje mora. Popravci takvih kvarova su uvijek vrlo zahtjevni i dugotrajni.

Takvi kvarovi iziskuju višestruko vrijeme trajanja, pripreme, organizacije i rada na samom popravku nego li je to slučaj na kopnu. Potrebno je organizirati: nabavku istovjetnog ili adekvatnog podmorskog kabela, spojnicu za takav specifični kabel, angažman ronioca, nabavku zračnih jastuka za držanje kabela na površini, najam specijalnog plovila (trajekt ili sl.) sa profesionalnom posadom, najam ili nabavka naprave za polaganje podmorskog kabela („žirafe“) i angažman geodeta.

Alternativa samostalnom popravku i organizaciji je angažiranje specijalističke firme koja je sposobna izvesti takve specijalističke radove na popravku podmorskog kabela u cjelini. Kako je u Hrvatskoj deficitaran broj tvrtki koje su u mogućnosti samostalno obaviti takve složene popravke ostaje mogućnost angažmana tvrtke na međunarodnom tržištu ili samostalna organizacija više specijaliziranih subjekata sa vlastitom organizacijom i koordinacijom što je u ovom slučaju napravilo Elektroprimorje Rijeka. Cijena popravka takvog kvara je i do 100 puta veća nego istovjetni kvar podmorskog kabela na kopnenoj dionici. Iz svega navedenog vrijeme za planiranje i realizaciju popravka je bitno da bi troškovi popravka bili što manji. Svo to vrijeme potrebno je omogućiti napajanje kupaca električnom energijom.

U primjeru radijalnog napajanja otoka rješenje je napajanjem agregatom ili koristiti mogućnost napajanja s podmorskim kabelom pod zemnim spojem.

Agregat je potrebno dovesti na otok za što su potrebni povoljni vremenski uvjeti i mogućnost pristanka trajekta. Ukoliko otok prometno povezuje brod, a ne trajekt kao što je bilo u našem slučaju potreban je i najam trajekta. Nakon što se agregat dopremi na otok problem je njegov pristup trafostanici koja je u pravilu u sredini mjesta. Kako u takvim otočnim mjestima nije izgrađena adekvatna cestovna infrastruktura onda i samo spajanje zahtjeva razvlačenje veće količine spojnog kabela. Nakon uključivanja agregata potrebno je organizirati i opskrbu gorivom za isti kao i stalnu posadu za uklope-isklope i praćenje rada agregata.

U našem je slučaju prvo bio problem dopremiti agregat, a nakon što se je drugi dan iznajmljenim trajektom uspio dopremiti nastao je problem snabdijevanja istog gorivom zbog pogoršanih vremenskih uvjeta na moru. Agregat je trošio oko 40 litara goriva na sat pa je opskrbu gorivom bilo potrebno osigurati na dnevnoj bazi.

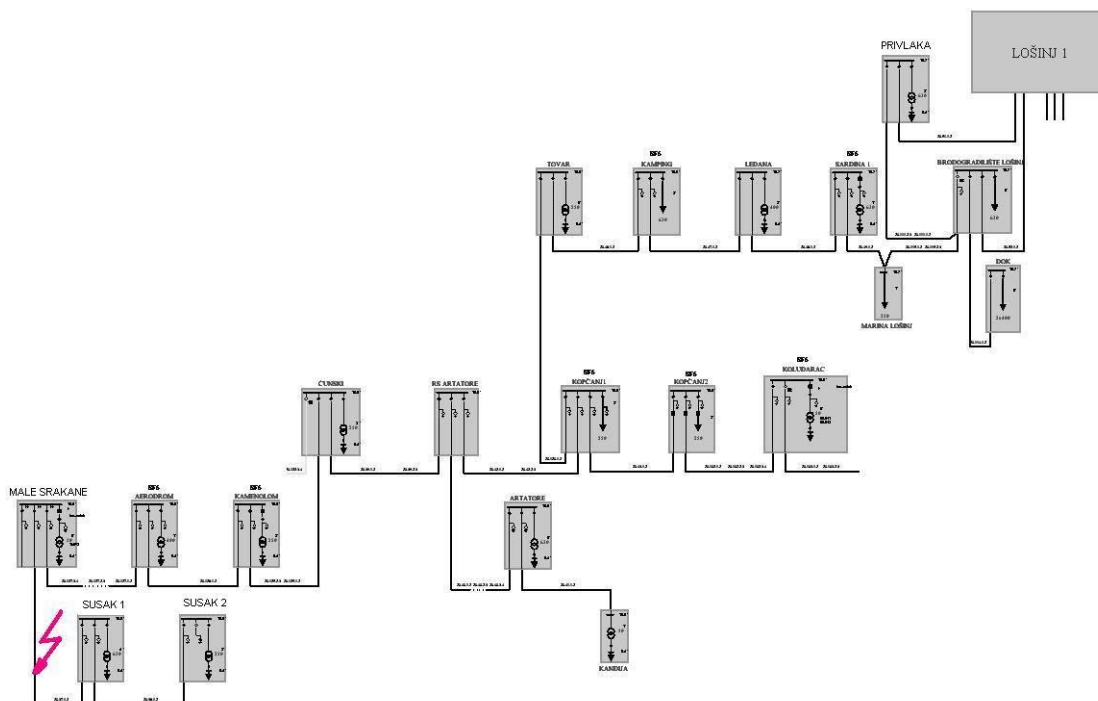
Iz svega navedenog primijenili smo rješenje napajanje otoka Suska podmorskim kabelom pod zemnim spojem uz prethodno ispunjene uvjete koji su u nastavku obrazloženi.



Slika 1: Prijevoz mjernog vozila sa otoka Lošinja na Susak i Male Srakane

## 2. OPIS DOGAĐAJA

Do kvara je došlo u četvrtak 18.09.2014. u 10:46 sati, a koji je prouzročio prorađu električne zaštite od zemnog spoja te trajnog ispada 10 kV vodnog polja Privlaka u TS 35/10 kV Lošinj 1. Uklopno stanje 10 kV dijela mrežekoje je napajalo mjesto kvara u tom trenutku prikazano je na slici 2.[3].



Slika 2. Uklopno stanje 10 kV mreže u trenutku kvara

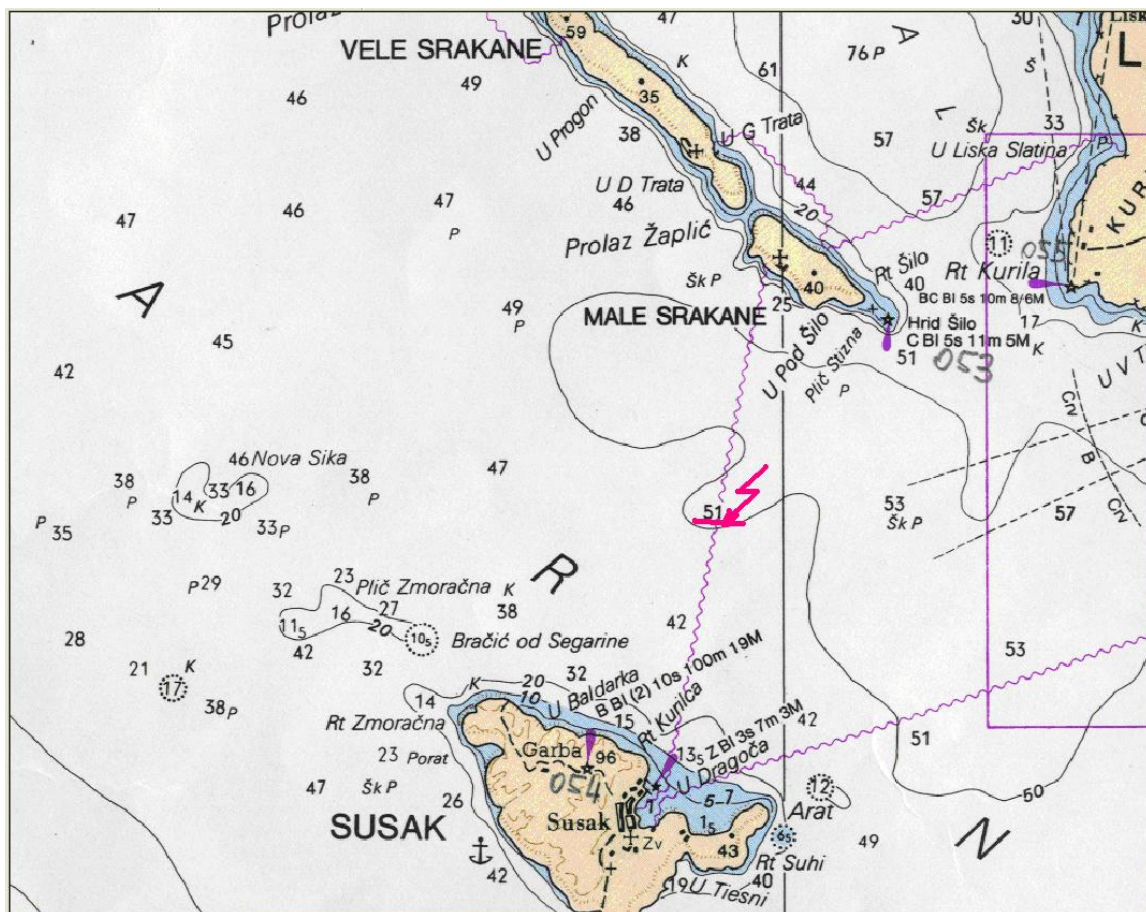
U trenutku kvara došlo je i do poremećaja faznih napona (prekoračenja granica daljinskog mjerenja faznih napona) kao i prorade signalizacije previsokog napona otvorenog trokuta naponskih mjernih transformatora.

Isključenjem 10 kV podmorskog kabla TS 10/0,4 kV Male Srakane – TS 10/0,4 kV Susak 1, putem daljinskog upravljanja u TS 10/0,4 kV Male Srakane, utvrđen je kvar na podmorskom kabeluu četvrtak 18.09.2014. u 12:05 sati.

Nakon proglašenja kvara podmorskog kabela pristupilo se pripremama za dopremu i transport na otok agregata kao i mjernogvozila, kako je prikazano na slici 1. Tijekom sljedećih dana radnici na mjernom vozilusu bili na oba otoka (krajevi podmorskog kabela) i ispitali mjesto kvara sa obje strane podmorskog kabela te locirali mjesto kvara, kako je prikazano na slici 3.

Podmorski kabel TS Male Srakane – TS Susak 1 je ukupne dužine 6931 m. Vodič je tipa RG5H 10 JF 3X70 mm<sup>2</sup>[3].

Zemni spoj 10 kV podmorskog kabela je nastao na oko 4000 m dužine SN kabela od TS Susak 1. Dubina mora je na toj lokaciji oko 50 m. Koordinate mjesta kvara su: 44°32'.303 N i 014°19'.157 E.



Slika 3. Mjesto kvara podmorskog kabela

Uvidjevši da do daljnjega neće biti moguće dopremiti agregat i opskrbiti kupce električnom energijom krenulo se u kapacitivno rasterećenje kompletne napojne TS 35/10 kV Lošinj 1. Kompletan konzum svih vodnih polja, osim VP TS Privlaka koji napaja kvarnu dionicu, je opskrbljen iz susjednih 35/10 kV trafostanica. Na taj način se zemna struja kvara smanjila na kapacitivnu struju koja se ostvaruje samo uzduž dionice od TS 35/10 kV Lošinj 1 do mjesta kvara. Ta je struja proračunom putem sustava SDV (NetworkManager) iznosila 20 A.

Poštujući pozitivne propise privremeno je u 23 sata istog dana uključen podmorski kabel i opskrbljeni su svi kupci električnom energijom.

Zbog značajnog kapacitivnog rasterećenja napojne trafostanice nije bilo potrebno ni isključivanje zaštite od zemnog spoja u istoj jer se kapacitivna struja, koja bi se inače zatvarala preko zdravih vodova zbog prebacivanja istih na drugu napojnu trafostanicu (kapacitivno rasterećenje), ne ostvaruje i na taj način ne djeluje na nju.

U našem slučaju je podešenje zaštite od zemnog spoja iznosilo 4 A/0,7 sek., a ugrađena je i kratkospojna zaštita koja bi djelovala u slučaju dvopolnog kratkog spoja sa zemljom.

Nadzor faznih napona kao i napona otvorenog trokutana sabirnicama u TS 35/10 kV Lošinj 1 stalno su praćeni putem sustava daljinskog vođenja.

Drugog dana je dopremljen agregat koji je privremeno napajao kupce, ali nakon potvrde rješenja, analiziranih rezultata mjerenja vrijednosti uzemljenja i dodirnih napona nakon nastanka kvara i suglasnosti inspektora dana 27.09.2014. u 18 sati, uključena je opskrba kupaca na otoku Susku pod trajnim zemnim spojem podmorskog kabela do daljnjeg. Takav pogon je trajao sve do trajnog uključivanja nakon popravka podmorskog kabela.

Popravkom kabela isti je uključen 03.10.2014.g.

### 3. MOGUĆA RJEŠENJA OPSKRBE KUPACA

#### 3.1. Napajanje agregatom

Alternativa opskrbe kupaca isključivo agregatom uvedena je u što je moguće kraćem roku. Radi procijenjenog dugog vremena za popravak podmorskog kabela, troškova održavanja agregata u pogonu neprestanim dežurstvom radnika, problematične doprema goriva, radnika, vozila i opreme na otok kao i uznemirujuće buke agregata u tihom i malom mjestu za vrijeme turističke sezone nagnali su nas na analizu drugih mogućih rješenja. Napajanje agregatom je ostvarivano za vrijeme radova i ispitivanja koja su uslijedila pri analizi rješenja opskrbe kupaca pod trajnim zemnim spojem.

#### 3.2. Pogon preko dvije faze podmorskog kabela

Alternativa opskrbe kupaca dvofazno, isključenjem samo faze u kvaru, odbačena je nakon, iz dosadašnje dugogodišnje prakse, poznate analize posljedica takvog pogona. Naime u ovom slučaju dolazi do značajnog poremećaja linijskih napona u mreži. Zbog toga je poremećaj faznih napona u 0,4 kV mreži pojedinih trafostanica značajno veći od dozvoljenih vrijednosti sukladno HRN EN 50160.

#### 3.3. Pogon pod trajnim zemnim spojem podmorskog kabela

Alternativa opskrbe kupaca pod trajnim zemnim spojem jedne faze podmorskog kabela pokazala se kao vrlo izvodljiva nakon što su uzeti u obzir svi propisi, ispitivanja i mjerenja koja su pokazala zadovoljavajuće okvire.

##### 3.3.1. Nesimetrija napona uzrokovana zemnim spojem u izoliranoj mreži

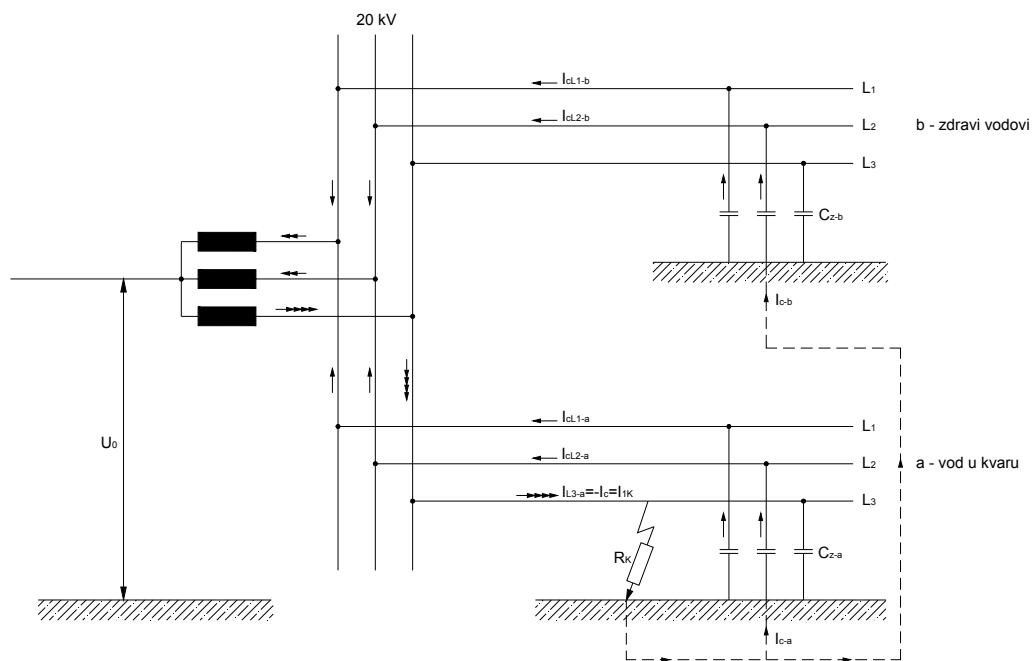
Promatrat će se pojednostavljena shema 10(20) kV mreže (slika 4 a.) preuzetoj iz[3]. Pretpostavit će se zemni spoj faze L3 na vodu "a", te za taj slučaj ucrtati tokovi struje kvara. Zdrave vodove i prilike u njima predstavlja vod "b". Radi bolje preglednosti razmatrat će se zemni spoj bez prijelaznog otpora na mjestu kvara ( $R_k = 0$ ). Isto tako zanemariti će se odvod i uzdužne impedancije vodova, te impedancija napojnog transformatora, koji zbog male vrijednosti u usporedbi s kapacitivnim otporom vodova relativno malo utječu na sliku realnog stanja.

Napon faze u kvaru dolazi na potencijal zemlje, a napon zvjezdista poprima vrijednost napona faze u kvaru, ali suprotnog polariteta. Napon zdravih faza prema zemlji poprima vrijednost linijskog napona. Vektorski zbroj napona svih faza jednak je trostrukoj vrijednosti napona zvjezdista ( $3U_0$ ).

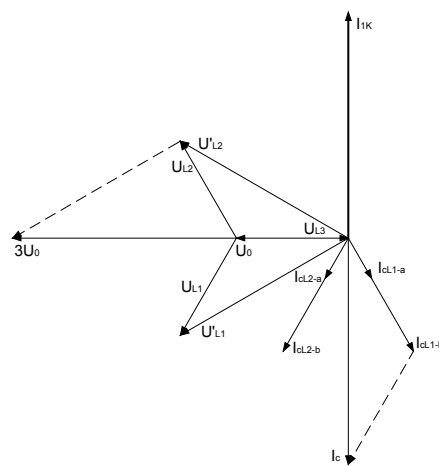
Dakle vrijedi:

$$\begin{aligned}\vec{U}'_{L3} &= 0 \\ \vec{U}'_{L1} &= \vec{U}_{L1} - \vec{U}_{L3} \Rightarrow U'_{L1} = \sqrt{3}U_{L1} \\ \vec{U}'_{L2} &= \vec{U}_{L2} - \vec{U}_{L3} \Rightarrow U'_{L2} = \sqrt{3}U_{L2} \\ 3\vec{U}_0 &= \vec{U}'_{L1} + \vec{U}'_{L2} = -3\vec{U}_{L3} \\ \vec{U}_0 &= -\vec{U}_{L3}\end{aligned}$$

U zdravim vodovima (kao što je npr. vod b), u fazi u kvaru ne teče struja, obzirom da je napon te faze prema zemlji  $U'_{L3}=0$ . U zdravim fazama teku kapacitivne struje  $I_{cL1-b}$  i  $I_{cL2-b}$ , koje kroz dozemne kapacitete voda Cz-b uzrokuju naponi  $U'_{L1}$  i  $U'_{L2}$ , a teku prema izvoru. Obzirom da se radi o strujama kapacitivnog karaktera, ove struje su u vektorskom dijagramu ispred pripadnih napona pomaknute za oko  $90^\circ$ .



a) Tok struja u mreži



b) Vektorski dijagram

Slika 4: Zemni spoj u izoliranom zvjezdištu

Pri tom je:

$$I_{cL1-b} = I_{cL2-b} = \sqrt{3}U_f \omega C_{z-b}$$

$$\vec{I}_{cL1-b} = j\omega C_{z-b} \vec{U}'_{L1}$$

$$\vec{I}_{cL2-b} = j\omega C_{z-b} \vec{U}'_{L2}$$

$$\vec{I}_{c-b} = \vec{I}_{cL1-b} + \vec{I}_{cL2-b}$$

Uvodu koji je definiran da je u kvaru (vod "a"), u zdravim fazama teku struje usporedive strujama u zdravim vodovima  $I_{cL1-a}$  i  $I_{cL2-a}$ , pri čemu je kao i u zdravim vodovima:

$$I_{cL1-a} = I_{cL2-a} = \sqrt{3}U_f \omega C_{z-a}$$

$$\vec{I}_{cL1-a} = j\omega C_{z-a} \vec{U}'_{L1}$$

$$\vec{I}_{cL2-a} = j\omega C_{z-a} \vec{U}'_{L2}$$

$$\vec{I}_{c-a} = \vec{I}_{cL1-a} + \vec{I}_{cL2-a}$$

U fazi u kvaru teče struja koja je ekvivalentna zbroju kapacitivnih struja zdravih faza svih vodova, uključujući vod u kvaru:

$$\vec{I}_c = \vec{I}_{c-a} + \vec{I}_{c-b}$$

Ova struja teče zbog prirode zemnog spoja u suprotnom smjeru (prema mjestu kvara), pa je slijedom toga u vektorskom dijagramu usmjerena suprotno od struje zdravih vodova (primjerice  $\vec{I}_{cL1-b}$ ). Ona je jednaka ukupnoj kapacitivnoj struji mreže, odnosno struji jednopolnog kvara, dakle:

$$\vec{I}_{L3-a} = -\vec{I}_c = \vec{I}_{1k} = -(\vec{I}_{c-a} + \vec{I}_{c-b}) = -j3\omega C_z U_f$$

Apsolutna vrijednost kapacitivne struje zemljospoja je:

$$I_c = 3\omega C_z U_f$$

Veličina kapacitivne struje mreže ovisi o ukupnom kapacitetu mreže faza-zemlja ( $C_z$ ) koji nadalje ovisi o karakteru voda (nadzemni ili kabelski) i duljini svih galvanski povezanih vodova. Ta je struja, ako je kvar bez prijelaznog otpora na mjestu kvara, jednaka na bilo kojem mjestu mreže gdje se dogodi kvar.

### 3.3.2. Propisi

Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV [5], članak 4., stavak 1., se cit.: "ne primjenjuje na nadzemne i kabelske vodove među odvojenim elektroenergetskim postrojenjima", završen citat.

Još važeći Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja [1] navodi u točki 5.403 da se cit.: "U mrežama sa izoliranom nultom tačkom ili u mrežama uzemljenim preko induktivnog otpora (Petersenov kalem) dozvoljava se pogon u režimu jednofaznog zemljospoja sve dok se ne pronađe mjesto kvara. Nadležno pogonsko osoblje ili služba relejne zaštite mreže treba što prije da pronađe mjesto kvara i da dionicu u kvaru isključi iz pogona.", završen citat.

Još važeći Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadnih transformatorskih stanica [2] navodi u članku 64. cit.: "Ako zemljospoj u visokonaponskoj mreži traje dulje od 2 sata, smatra se da su stvoreni uvjeti za pojavu dvostrukog zemljospoja, koji može izazvati velika toplinska naprezanja uzemljivača transformatorskih stanica i veoma visoke dodirne napone. U slučaju iz stava 1. ovog člana treba odvojiti radno i zaštitno uzemljenje, pri čemu mora biti udovoljeno ovim uvjetima ...", završen citat. Uvjeti se svode na isklapanje mjesta kvara u slučaju dvostrukog zemljospoja (dvofazni kratki spoj sa zemljom) i kvalitetnoj izvedbi zaštitnog uzemljenja. Osim toga uvjet je i da cit.: "radno uzemljenje mora udovoljiti uvjetima primijenjene zaštite od opasnih dodirnih napona u niskonaponskoj mreži i instalacijama potrošača", završen citat. Također na radnom uzemljenju se nesmiye pojaviti i održati napon veći od 65 V.

Autori nisu u dostupnoj literaturi našli još izvora koji opisuju zahtijevane uvjete za pogon izolirane sredjonaponske mreže pod zemnim spojem.

### 3.3.3. Poduzete mjere

Kao što je već rečeno izvršena je rekonfiguracija 10 kV mreže na način da se što manji broj trafostanica i kabela napaja u mreži pod trajnim zemnim spojem.

Odspojen je plašt podmorskog kabela s obje strane, odnosno u obje trafostanice na krajevima podmorskog kabela.

Izvršeno je kontrolno mjerenje napona dodira u trafostanicama spojenih na oba kraja podmorskog kabela u kvaru.

Stalno su se pratile naponske prilike u pogođenoj mreži putem lokalnih i daljinskih mjerenja napona. Ključno je, za takav poremećeni pogon mreže, da se svi linijski naponi održavaju unutar dozvoljenih granica. Mjerenja napona 0,4 kV u trafostanicama su pokazala vrijednosti koje su bile unutar dozvoljenih granica (+ 10% i – 15%) za vrijeme tako poremećenog pogona mreže, a sve sukladno HRN EN 50160.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Problemi koji se pojavljuju pri organizaciji i provođenju popravaka podmorskog kabela su brojni. Zahtijevaju veliku aktivnost operative, kvalitetnu pripremu, koordinaciju brojnih ekipa, angažiranje agregata na otoku, i to vrlo često uz vrlo nepovoljne vremenske prilike i stanje mora. Popravci takvih kvarova su uvijek dugotrajni.

Opisani događaj iz rujna 2014. g. kad je konzum otoka Suska ostao bez opskrbe električnom energijom nagnao nas je na analizu mogućeg rješenja pogona mreže pod trajnim zemnim spojem.

Rezultati prikazane analize, mjerenja karakterističnih napona u takvom pogonu i poduzetih mjera za osiguranje ukazuju na mogućnost pogona pod zemnim spojem podmorskog kabela samo u krajnjim i posebnim slučajevima te nakon ispunjavanja uvjeta iz propisa.

#### **6. LITERATURA**

- [1] "Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja", Službeni List SFRJ br. 19/68.
- [2] "Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadnih transformatorskih stanica", Službeni List SFRJ br. 013/1978.
- [3] I. Radetić, "Analiza otklanjanja prolaznih jednopolnih kvarova u srednjenaponskoj mreži", Magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2009.
- [4] Tehnička baza podataka HEP – ODS – Elektroprimorje Rijeka.
- [5] "Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV", Narodne novine, br. 105/2010.