

Robert Kovač, dipl. ing. el.  
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[Robert.Kovac@hep.hr](mailto:Robert.Kovac@hep.hr)

Mario Zadro, dipl. ing. el.  
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[Mario.Zadro@hep.hr](mailto:Mario.Zadro@hep.hr)

## UTVRĐIVANJE TOČNOSTI OPCIJE LOKACIJE KVARA SUVREMENOG ZAŠTITNO UPRAVLJAČKOG TERMINALA POLJA

### SAŽETAK

Radom se želi provjeriti točnost lokatora kvara sadržanog u terminalima polja koji štite 35 kV dalekovode na području DP Elektroslavonije. Lokator kvara testiran je pomoću pokusa jednopolnog kratkog spoja na 35 kV dalekovodu, nakon čega su se dobivene vrijednosti detaljno analizirale i uspoređivale sa očekivanim vrijednostima. Dodatno, u programu za modeliranje i analizu mreže NEPLAN modeliran je dio 35 kV mreže uključujući i 35 kV dalekovod na kojem je načinjen zemljospoj, te su provedeni proračuni očekivanih struja jednopolnog kratkog spoja.

Rezultati struja, napona i izračunate lokacije kvara naknadno su analizirani, a snimljeni valni oblici kvara dodatno su reproduciran u terminale polja pomoću uređaja za ispitivanje relejne zaštite.

**Ključne riječi:** lokator kvara, terminal polja, NEPLAN, jednopolni kratki spoj

## DETERMINING THE ACCURACY OF THE MODERN FAILURE LOCATION OPTION IN MODERN PROTECTION AND CONTROL TERMINAL

### SUMMARY

The aim of this paper is to check the accuracy of the fault locator provided in the feeder terminals that protect 35 kV lines in the area of DP Elektroslavonija. The fault locator was tested in such a way that single-pole short-circuit tests were performed on 35 kV line, after which the obtained values were analysed in detail and compared with the expected values. In addition, part of the 35 kV network, including the 35 kV line on which single-pole short-circuit was performed was modelled in the NEPLAN network modelling and analysis program, in which expected currents of a single-pole short circuit were calculated.

The results of currents, voltages, and calculated fault locations were subsequently analysed, and the recorded fault waveform was further reproduced into the field terminal using a relay testing device.

**Key words:** fault locator, feeder terminal, NEPLAN, single pole short circuit

## 1. UVOD

Na dalekovodu kao jednoj od osnovnih sastavnica elektroenergetskog sustava izvjesna je pojava kratkih spojeva. Kratki spojevi za svoju posljedicu imaju termička i mehanička naprezanja električne opreme koja u konačnici mogu dovesti do uništenja pojedinih dijelova elektroenergetskog sustava i dugotrajnijeg prekida opskrbe električnom energijom. Informacija o mjestu nastanka kratkog spoja uvelike bi bila od pomoći pri održavanju i vođenju mreže. Na primjer, ekipe zadužene za održavanje nadzemnih mreža mogle bi u slučaju nastanka kvara na dalekovodu i trajnog prekida opskrbe električnom energijom uz pomoć lokatora kvara saznati mjesto nastanka kvara čime bi se smanjilo vrijeme potrebno za pronalazak kvara i olakšao posao samoj ekipi zaduženoj za održavanje. U distribucijskim mrežama srednjeg napona, komercijalni moduli lokatora kvara pojavljuju se tek posljednjih godina. To su uglavnom lokatori koji procjenu mjesta kvara izvode na osnovu struja i napona osnovne frekvencije i proračuna reaktancije do mjesta kvara. Međutim, valja poznavati ograničavajuće faktore koji utječu na točnost lokatora kvara, kao najvažniji ističe se način uzemljena neutralne točke transformatora. Pri izoliranoj neutralnoj točki transformatora vrijednost struje zemljospoja može biti preniska za pouzdan rad lokatora kvara, u takvom slučaju lokator kvara pouzdano će raditi samo za međufazne kratke spojeve. Drugi najvažniji faktor su odvojci na vodovima kojima distributivna 10 i 20 kV naponska razina obiluje.

Zbog svega gore navedenog, na području DP Elektroslovanije razmatrana je aktivacija lokatora kvara na 35 kV naponskoj razini elektroenergetskog sustava u terminalima polja RFX 632 (Končar), RFX 633 (Končar) i REF 615 (ABB). Prije samog parametiranja lokatora kvara i njegovog puštanja u pogon potrebno je bilo uvjeriti se u njegovu točnost, te najbitnije, upoznati se sa faktorima koji utječu na točnost proračuna udaljenosti do mjesta kvara. Olakotne okolnosti su te što 35 kV dalekovodi u pravilu nemaju odvojke, a neutralna točka sekundara transformatora 110/35 kV uzemljena je preko otpornika što osigurava dovoljno veliku struju zemljospoja za pouzdan rad lokatora kvara.

Kako bi zaključili jesu li proračunate vrijednosti udaljenosti do kvara od strane navedenih terminala polja korektna, izvedeno je nekoliko pokusa zemljospoja na 35 kV dalekovodu, te niz sekundarnih ispitivanja u laboratoriju.

## 2. LOKATOR KVARA U TERMINALIMA POLJA

### 2.1. RFX 632 – 21FL

Proračun udaljenosti do mjesta kvara kod ovog terminala polja zasniva na metodi koja računa impedanciju pomoću faznih struja i napona, odnosno njihovih simetričnih komponenti. Kao rezultat svog proračuna metoda daje direktnu reaktanciju gledano sa mjesta mjerenja struja i napona koja se kasnije preračunava u udaljenost do mjesta kvara. Lokator kvara u terminalu polja RFX za svoje parametre (slika 1) ima direktni (*21FL S1R1*) i nulti (*21FL S1R0*) radni otpor sekcije, direktnu (*21FL S1X1*) i nultu (*21FL S1X0*) reaktanciju sekcije, duljinu sekcije (*21FL S1Length*) i odabir načina starta lokatora kvara (*21FL Start*), lokator kvara pruža mogućnost unosa parametara do najviše tri sekcije voda. Relativno manji broj parametara za posljedicu ima jednostavno parametiranje ove funkcije. Podatak o mjestu kvara kod ovog terminala polja može se iščitati daljinski ostvarivanjem komunikacije sa terminalom polja. Uz podatak o udaljenosti do mjesta kvara terminal polja bilježi izračunatu reaktanciju do mjesta kvara, odabranu petlju po kojoj je izvršen proračun udaljenosti do mjesta kvara, kao i sud o kvaliteti proračunate duljine[1].

Description	Value	Unit
21FL Function Active	OFF	
21FL Start	TRIP	
21FL S1Length	0,1	km
21FL S1R1	0,1500	Ω/km
21FL S1X1	0,1500	Ω/km
21FL S1R0	0,1500	Ω/km
21FL S1X0	0,1500	Ω/km
21FL S2Length	0,1	km
21FL S2R1	0,1500	Ω/km
21FL S2X1	0,1500	Ω/km
21FL S2R0	0,1500	Ω/km
21FL S2X0	0,1500	Ω/km
21FL S3Length	0,1	km
21FL S3R1	0,1500	Ω/km
21FL S3X1	0,1500	Ω/km
21FL S3R0	0,1500	Ω/km
21FL S3X0	0,1500	Ω/km

Slika 1. Postavke funkcije 21FL (default settings)

## 2.2. REF 615 – SCEFRFLO

Funkcija lokatora kvara kod terminala polja REF 615 zasniva se također na mjerenju impedancije. Predviđena je za rad u radijalnim distribucijskim sustavima, pruža mogućnost lokacije kvara za jednopolne kratke spojeve u direktno uzemljenim mrežama i mrežama uzemljenim preko otpora ili reaktancije. Sa određenim ograničenjima lokator kvara kod ovog terminala polja može biti primijenjen i u izoliranim mrežama. Lokator kvara kao i kod velike većine suvremenih terminala polja svoj rad zasniva na mjerenju struja i napona osnovne frekvencije. Kako bi se omogućilo mjerenje udaljenosti do mjesta kvara za sve vrste kvarova na terminal polja potrebno je privesti sva tri fazna napona i sve tri fazne struje, moguća je funkcionalnost lokatora kvara i pri privođenju linijskih napona, međutim tada se lokacija kvara za jednopolne kratke spojeve ne može odrediti. Proračun udaljenosti kod ovog terminala polja vrši u dva koraka. Prvo se određuje kvarna petlja na temelju logike odabira faza (*Phase Selection Logic*), potom se izračunava sama udaljenost do mjesta kvara [2].

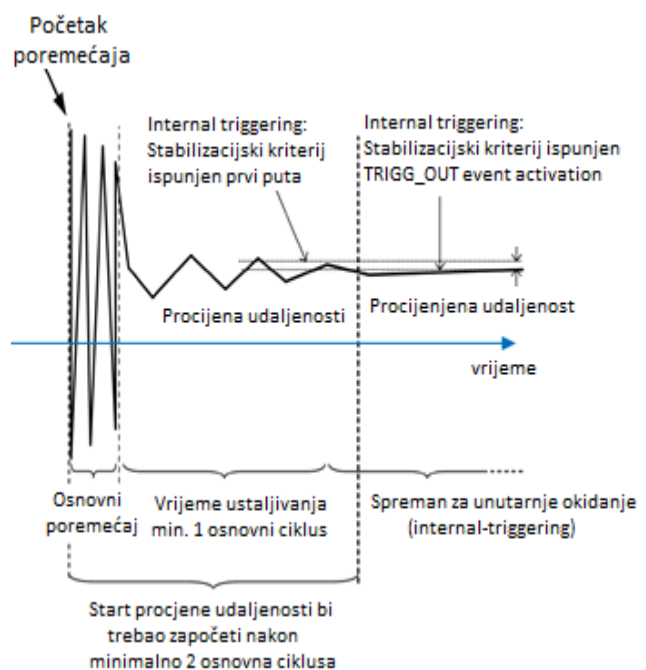
Lokator kvara može biti pokrenut unutarnjim ili vanjskim putem, uvjet za proračun lokacije kvara je taj da struje budu veće od 2% od  $I_n$ , a naponi veći od 3%  $U_n$ . Također lokator kvara neće prikazati udaljenost do kvara ako je kvar u suprotnome smjeru [2].

Funkcija lokatora kvara kod terminala polja REF 615 ima povećani broj parametara od kojih su kao najbitniji izdvojeni: direktni (*R1 line section A*) i nulti (*R0 line section A*) radni otpor sekcije, direktna (*X1 line section A*) i nulta (*X0 line section A*) reaktancija sekcije, duljina sekcije (*Line Len section A*), nulta kapacitivna reaktancija dalekovoda (*Ph capacitive React*), poprečni otpor propuštanja (*Ph leakage Ris*), algoritam za određivanje udaljenosti kod kratkih spojeva sa zemljom (*EF algorithm Sel*), te odabir načina pokretanja proračun udaljenosti do kvara (*Calculation TRG mode*). Parametri lokatora kvara prikazani su na slici 2.

Pokretanje proračuna udaljenosti do kvara nekom od vanjskih funkcija u terminalu polja (npr. nalogom za isklon određene zaštite) ima velikog benefita u praksi. Ovakvim načinom pokretanja proračuna može se izbjeći situaciju u kojoj terminal polja u proračun krene prerano, odnosno za vrijeme trajanja prijelazne pojave (tipično dvije do tri periode) čime bi rezultat proračuna bio manje točan. Također moguće je proračun odgoditi do posljednjeg trenutka, odnosno pred samo djelovanje prekidača kojem je obično potrebno 40-50 ms za otvaranje polova, čime se dodatno produžava vrijeme u kojem mjerene veličine postižu svoje ustaljeno stanje. Na slici 3 prikazan je proračun udaljenosti do kvara ovisno o vremenu nakon nastanka poremećaja.

FLOC(1)		
Operation		on
Phase voltage Meas		Accurate
Calculation Trg mode		External
EF algorithm Sel		Load modelling
EF algorithm Cur Sel		Io based
Load Com PP loops		Enabled
Enable simple model		Disabled
Distance estimate Va		0,005
[+] Setting Group 1		
Setting Group 2		
High alarm Dis limit	0,000	pu
Low alarm Dis limit	0,000	pu
Z Max phase load	80,0	ohm
Ph leakage Ris	210000	ohm
Ph capacitive React	7000	ohm
Equivalent load Dis	0,50	
R1 line section A	1,000	ohm / pu
X1 line section A	1,000	ohm / pu
R0 line section A	4,000	ohm / pu
X0 line section A	4,000	ohm / pu
Line Len section A	0,000	pu

Slika 2. Postavke funkcije SCEFRFLO (default settings)

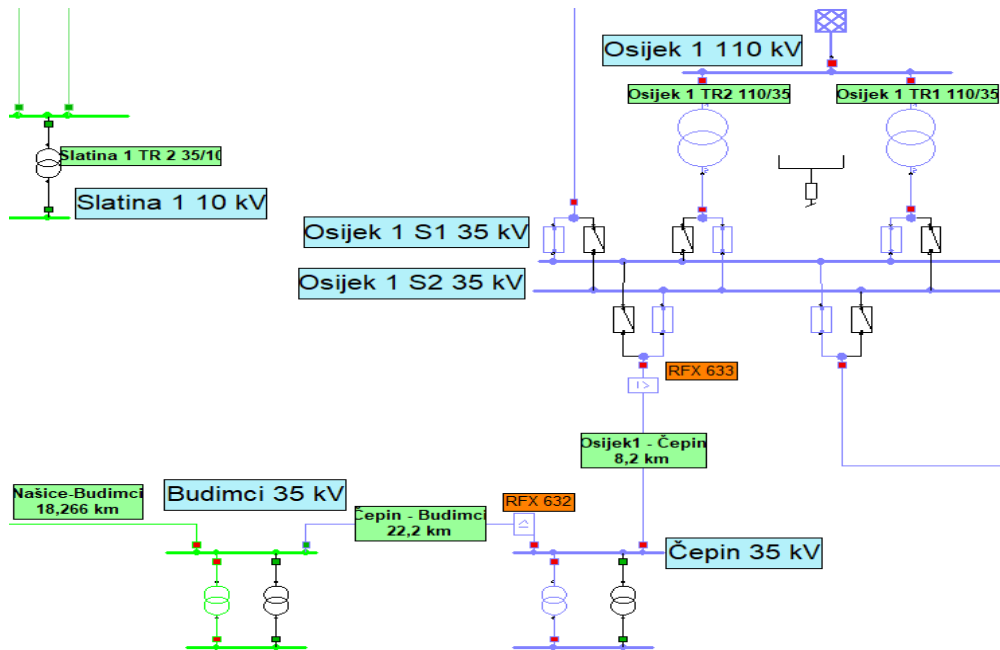


Slika 3. Priroda proračunatih vrijednosti udaljenosti do kvara u vremenu.

### 3. PRIPREMA POKUSA JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

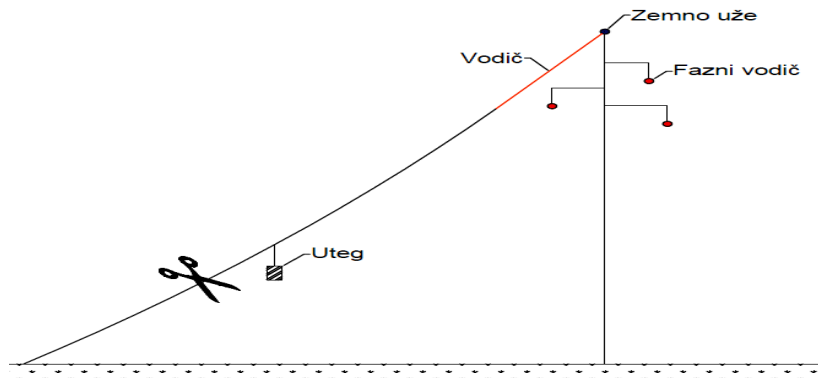
#### 3.1. Plan izvođenja pokusa

Kako se testiranje planira raditi na terenu, u stvarnim pogonskim uvjetima, velika pažnja posvećena je sigurnosti osoba koje sudjeluju pri provedbi pokusa uz obavezno poštivanje pravila o radu na siguran način. Za izvođenje pokusa odabran je 35 kV dalekovod Čepin-Budimci, iz dva osnovna razloga. Prvi razlog je taj što je ovaj dalekovod pri uobičajenom uklopnom stanju 35 kV mreže u praznome hodu, a drugi što se na ovom dalekovodu pojavljuje znatniji broj prolaznih kvarova čije bi se eventualne lokacije zabilježene od strane terminala polja mogle detaljnije analizirati. Razmatrani dio srednje naponske mreže prikazan je na slici 4.



Slika 4. Razmatrani dio 35 kV mreže

Pokus je zamišljen na slijedeći način. Ekipe nadzemnih mreža na zemno uže prethodno isključenog i obostrano uzemljenog 35 kV dalekovoda Čepin-Budimci spaja vodič koji je dovoljno dugačak da može dodirnuti fazni vodič. Potom se na drugi kraj ovog vodiča veže najlonska nit sa utegom, nakon čega se vodič postavlja pod određenim kutom tako da je na sigurnoj udaljenosti od faznog vodiča kako ne bi došlo do preskoka električnog luka pri ponovnom uključanju dalekovoda pod napon. Kada je dalekovod uključen i ostale ekipe spremne za daljnje izvođenje pokusa najlonska nit se presijeca nakon čega prethodno zavezani vodič za zemno uže dodiruje fazni vodič čime izaziva jednopolni kratki spoj [3]. Jedna ekipa inženjera relejne zaštite očitava proračunatu udaljenost do mjesta kvara od strane terminala polja u TS 110/35 kV Osijek 1, druga nakon isklopa zaštite očitava proračunatu udaljenost do mjesta kvara od strane terminala polja u TS 35/10 kV Čepin.



Slika 5. Način izvođenja pokusa

### 3.2. Izračun jediničnih parametara dalekovoda

Karakteristične veličine definiraju prilike na dalekovodu u svim pogonskim slučajevima. Brojčane vrijednosti parametara dalekovoda ovise o svojstvima materijala iz kojih su konstruirane, o svojstvima sredine koja ih okružuje, te o geometrijskim odnosima dijelova međusobno i prema okolini. Pri tome treba znati da su mnoge od tih navedenih utjecajnih veličina podložne promjenama npr. uslijed promjene temperature, vlažnosti i sl. Kompleksom pitanja u svezi s impedancijom strujne petlje uz uzimanje u obzir zemlje bavilo se više autora, među kojim je najpoznatije rezultate dao Carson (1926.). Carsonove je formule za vlastite i međusobne impedancije vodiča uz prisutnost zemlje pojednostavio Clem i učinio ih primjenjivima za nadzemne dalekovode. Pomoću Carson-Clemovih formula primijenjenih na matrični oblik Ohmovog zakona u konačnici se dolazi do matrice impedancija odnosno matrice simetričnih komponenti (1) [4].

$$[\bar{Z}_{0,i,d}] = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_d & 0 \\ 0 & 0 & Z_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

Gdje je:

$[\bar{Z}_{0,i,d}]$  - matrica simetričnih komponenti

$Z_0$  - nulta impedancija dalekovoda

$Z_d$  - direktna impedancija dalekovoda

$Z_i$  - inverzna impedancija dalekovoda

Uz malo vještine naporno računanje sa matricama i ostalim računskim izrazima može se olakšati upotrebom programa *Microsoft Office Excel*. U tom slučaju za dobivanje matrice simetričnih komponenti, uz prethodno definirane matematičke izraze, dovoljno je poznavati karakteristike faznog vodiča, karakteristike zaštitnog užeta, geometrijski raspored vodiča i otpornost tla. Dalekovod Čepin-Budimci ima vodiče načinjene od Al-čelika, presjeka 120/20 mm<sup>2</sup>, zaštitno uže načinjeno od čelika presjeka 35 mm<sup>2</sup>. Geometrijski raspored vodiča koji prevladava na trasi dalekovoda također je poznat i odgovara tipu "jela". Duljina dalekovoda iznosi 22,2 km, a za otpornost tla uzima se 65 Ωm što je prosjek za geografsko područje po kojem prolazi trasa dalekovoda. Prema Carson-Clemovim formulama matrica simetričnih impedancija za promatrani 35 kV dalekovod izgleda ovako:

$$[\bar{Z}_{0,i,d}] = \begin{bmatrix} 0.464 + j1.408 & 0 & 0 \\ 0 & 0.236 + j0.377 & 0 \\ 0 & 0 & 0.236 + j0.377 \end{bmatrix} \quad (2)$$

U slučaju terminala polja REF 615 za pouzdan rad lokatora kvara pri jednopolnim kratkim spojevima potrebno je podesiti parametre *Ph capacitive React* i *Ph leakage Ris* koji se računaju pomoću dozemnog kapaciteta dalekovoda. Dozemni kapacitet dalekovoda može biti problematično izračunati, stoga postoje dijagrami pomoću kojih ga je uz zadovoljavajući točnost moguće odrediti. Međutim, zbog što točnijeg izračuna lokacije kvara, odnosno što točnijih ulaznih podataka, dozemni kapacitet dalekovoda izračunat je pomoću jednog od programa za analizu mreže. U programu je modeliran stup koji prevladava na promatranom dalekovodu, nakon čega je izračunata struja kapacitivnog doprinosa iz koje je kasnije lagano izračunati dozemni kapacitet dalekovoda  $C_0$ . Na slici 6 uz ostale parametre 35 kV dalekovoda Čepin-Budimci prikazana je i struja kapacitivnog doprinosa dobivena modeliranjem stupa koji prevladava na ovom dalekovodu.

Pos. Seq. Impedance, Z1	9,826842 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	57,51968 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	5,277111 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	8,289688 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	10,19611 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	31,55452 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	2,143263 A
Earth Factor, Magnitude	0,8066061
Earth Factor, Angle	20,54183 deg

$$C_0 = \frac{I_{ce}}{3 * U_f * \omega} \quad (3)$$

$$C_0 = \frac{2.14}{3 * \frac{35000}{\sqrt{3}} * 314.16} = 1.124 * 10^{-7} [F]$$

Gdje je:

$C_0$  – dozemni kapacitet dalekovoda

$I_{ce}$  - struja zemljospoja

$U_f$  - fazni napon

$\omega$  - kutna brzina

Slika 6. Struja kapacitivnog doprinosa  $I_c$

### 3.3. Izračun očekivane struje kratkog spoja

Kao lokacija kvara na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci odabrano je stupno mjesto br. 91 koje je udaljeno 14.5 km od TS 35/10 kV Čepin. Napajanje TS 35/10 kV Čepin vrši se iz TS 110/35 kV Osijek 1 putem 35 kV dalekovoda Osijek 1-Čepin dugačkog 8.2 km čiji su jedinični parametri jednaki jediničnim parametrima 35 kV dalekovoda Čepin-Budimci. Pomoću programskog alata NEPLAN na modelu 35 kV mreže DP Elektroslavonije izvršen je izračun struje jednopolnog kratkog spoja čija vrijednost za kvar na stupnom mjestu br. 91 dalekovoda Čepin-Budimci iznosi 336 A. Kako je neutralna točka transformatora 110/35 kV u TS 110/35 kV Osijek 1 uzemljena preko otpornika  $R=70\Omega$ , struja jednopolnog kratkog spoja trebala bi biti manja od 300 A, međutim zbog velikog kapacitivnog doprinosa 35 kV kabela mreže napajane iz TS 110/35 kV Osijek 1 izračunata struja jednopolnog kratkog spoja iznosi spomenutih 336 A.

### 3.4. Spoj faznog vodiča i zemnog užeta

Za spoj faznog vodiča i zemnog užeta odabran je kruti vodič od 2.5 mm<sup>2</sup>. Polazna točka za odabir ovog vodiča je izračunata struja jednopolnog kratkog spoja. Odabir vodiča koji će spojiti fazni vodič i zemno uže vršio se pomoću strujnog izvora pri narinutoj struji od 600 A. Nakon nekoliko pokušaja sa različitim presjecima, odabran je spomenuti kruti vodič presjeka 2.5 mm<sup>2</sup> iz nekoliko razloga. Prvo, ovaj vodič je struju od 600 A izdržao 1.5 sekundi prije nego što se rastalio, što je duže od predviđenog djelovanja zemljospojne zaštite. Drugo, kruti vodič od 2.5 mm<sup>2</sup> je lako savijati i oblikovati prema potrebi. Treće, ovaj vodič je lagan i neće načiniti mehaničku štetu prilikom udara u fazni vodič. Kao dodatna mjera sigurnosti na fazni vodič 35 kV dalekovoda Čepin-Budimci namotana je aluminijska traka radi sprječavanja mehaničkih i termičkih oštećenja. Detalji pokusa (ispitna struja, vrijeme taljenja vodiča i odabrani vodič) u kojem je odabran presjek žice vidljivi su na slikama 7 i 8.



Slika 7. Struja prilikom testiranja i vrijeme taljenja vodiča



Slika 8. Vodič priključen na strujni izvor

## 4. PRVI POKUS JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

### 4.1. Parametriranje terminala polja

Sama provedba pokusa odvija se prema postupku opisanom u poglavlju 3.1. U TS 110/35 kV Osijek 1 lokator kvara u terminalu polja RFX 633, na 35 kV dalekovodu Osijek 1-Čepin postavljen je tako da njegovu aktivaciju pokreće start zaštite, pošto su zaštite dulje vremenski zategnute od zaštite na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci u TS 35/10 kV Čepin. U TS 35/10 kV Čepin zemljospojna zaštita se vremenski zateže na 50 ms, dok se aktivacija lokatora kvara na terminalu polja RFX 632 ostvaruje isklupom jedne od zaštitnih funkcija. Parametri funkcije lokatora kvara prikazane su na slici 9, odnosno 10.

Fault Locator (21FL)			
ID	Description	Value	Unit
1701	21FL Function Active	ON	
1702	21FL Start	PICKUP	
1707	21FL S1Length	30,4	km
1703	21FL S1R1	0,2360	$\Omega$ /km
1704	21FL S1X1	0,3770	$\Omega$ /km
1705	21FL S1R0	0,4640	$\Omega$ /km
1706	21FL S1X0	1,4080	$\Omega$ /km

Slika 9. Postavke lokatora u TS 110/35 kV Osijek 1

Fault Locator (21FL)			
ID	Description	Value	Unit
1701	21FL Function Active	ON	
1702	21FL Start	TRIP	
1707	21FL S1Length	22,2	km
1703	21FL S1R1	0,2360	$\Omega$ /km
1704	21FL S1X1	0,3770	$\Omega$ /km
1705	21FL S1R0	0,4640	$\Omega$ /km
1706	21FL S1X0	1,4080	$\Omega$ /km

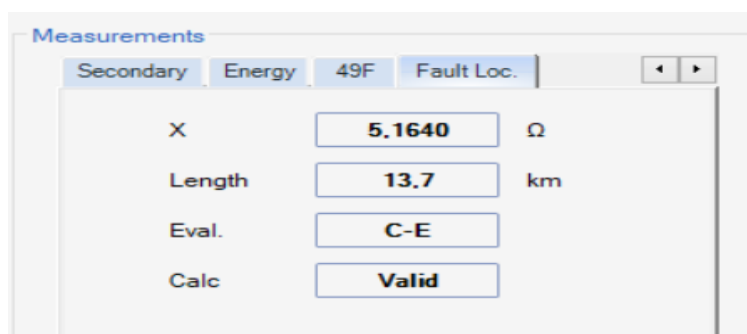
Slika 10. Postavke lokatora u TS 35/10 kV Čepin

Prilikom testiranja obavljena su dva jednopolna kratka spoja nakon čega su iz oba terminala polja preuzeti zabilježeni oscilogrami kvara i očitane vrijednosti do mjesta kvara koje su proračunali terminali polja.

#### 4.2. Rezultati testiranja

Nakon oba pokusa jednopolnog kratkog spoja terminal polja u TS 110/35 kV Osijek 1 i TS 35/10 kV Čepin zabilježili su netočne udaljenosti do mjesta kvara. Terminal polja u TS 110/35 kV Osijek 1 zabilježio je udaljenost do mjesta kvara 13.7 km (točna udaljenost do mjesta kvara iznosi 22.7 km). Terminal u TS 35/10 kV Čepin zabilježio je udaljenost do mjesta kvara 6.4 km (točna udaljenost do mjesta kvara iznosi 14.5 km).

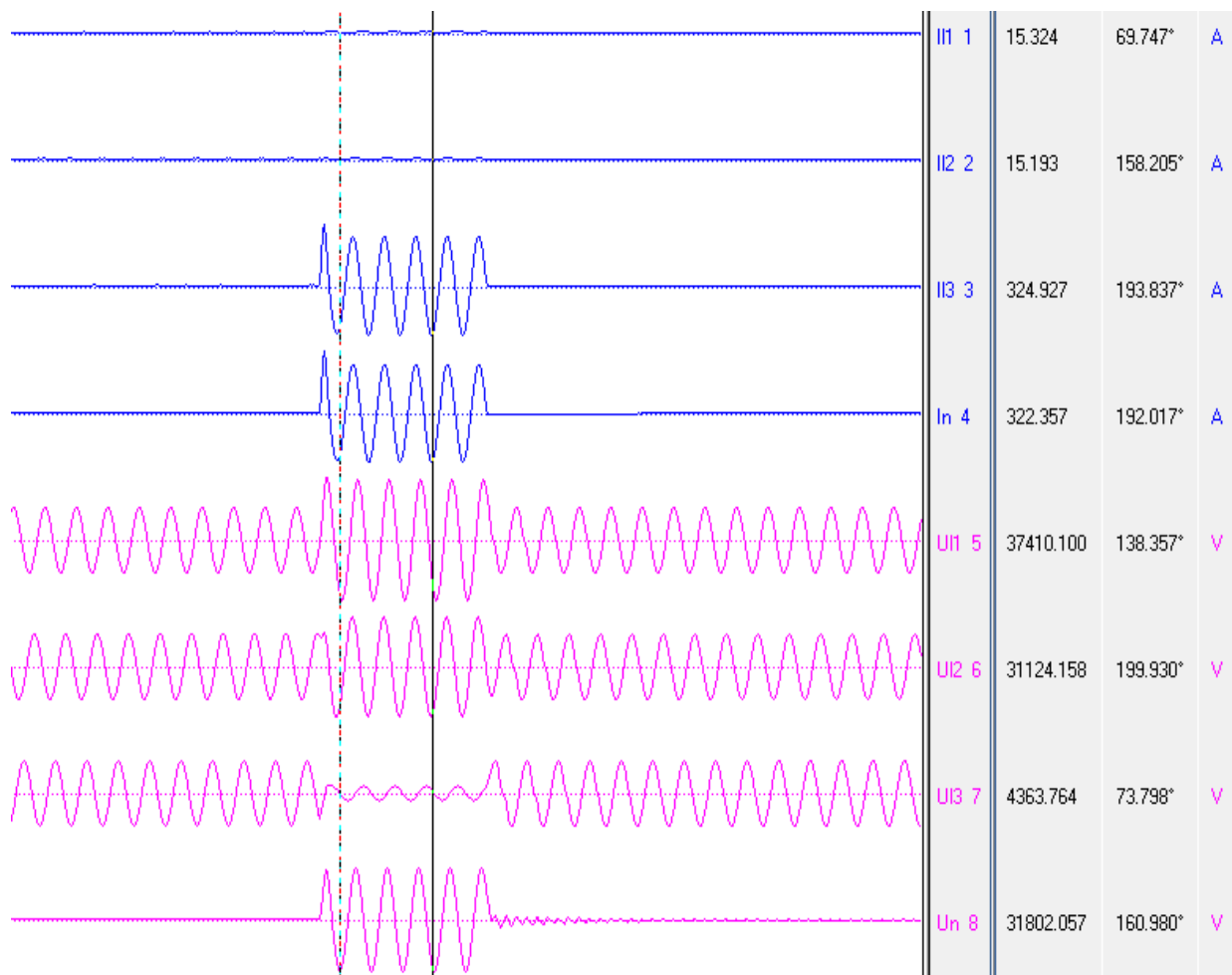
Pregledom oscilograma kvara prikazanog na slici 13 utvrđeno je da je valni oblik struje kvara trajao 100 ms, te da je prema očekivanom zemljospojna zaštita isključila kvar na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci. Terminal polja je zabilježio struju kvara od 325 A što je veoma blizu vrijednosti dobivenoj proračunom u NEPLAN-u. Na slici 11 prikazano je očitavanje funkcije lokatora kvara u TS 110/35 Osijek 1 (RFX 633), dok je na slici 12 prikazano očitavanje funkcije lokatora kvara u TS 35/10 Čepin (RFX632).



Slika 11. Očitavanje u TS 110/35 kV Osijek 1



Slika 12. Očitavanje u TS 35/10 kV Čepin



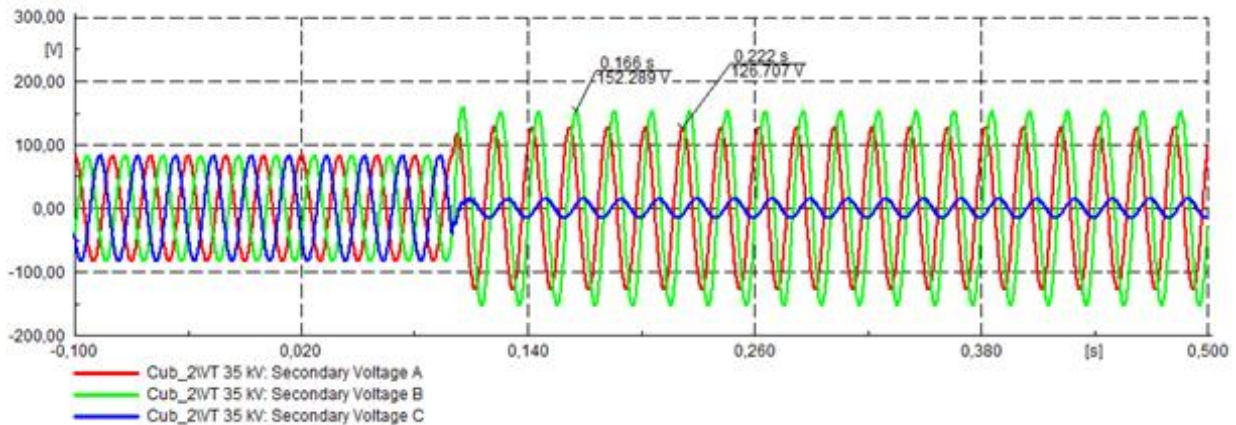
Slika 13. Zabilježeni oscilogram kvara na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci u TS 35/10 kV Čepin

Nakon odrađene prve serije pokusa jednopolnog kratkog spoja odlučeno je da se sa zabilješnim vrijednostima i oscilogramima kvara krene u detaljnu analizu i ispitivanje načina rada lokatora kvara kod terminala polja RFX 632 i RFX 633. Dodatno, odlučeno je da se lokator kvara testira i kod terminala polja REF 615.

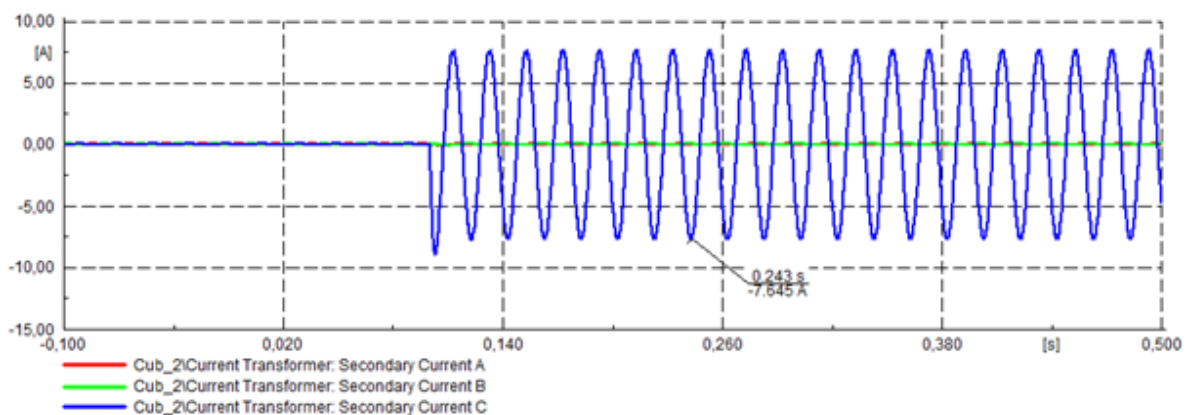
Radi potrebe analize rada lokatora kvara u programskom jeziku *Python* načinjena je skripta pomoću koje se na osnovu *takagi* metode može izračunati direktna komponenta reaktancije do mjesta kvara, odnosno sama lokacija kvara[5]. Skripta za svoje ulazne podatke koristi fazne struje i napone u trenutku kvara koje je moguće očitati jednostavnim pregledom oscilograma, direktnu i nultu impedanciju dalekovoda i podatak o vrsti kvara kojeg na temelju promatranog oscilograma unosi sam korisnik.

Također se u jednom od računalnih programa za analizu mreže načinila simulacija trofaznog, dvopolnog i jednopolnog kratkog spoja. Simulacijom su dobiveni valni oblici veličina na sekundarima strujnih i naponskih mjernih transformatora 35 kV dalekovoda Čepin-Budimci. Dobiveni valni oblici izvezeni su iz računalnog programa u COMTRADE datoteku koja se pomoću ispitnog uređaja može reproducirati u ispitivani terminal polja. Na slici 14 prikazan je valni oblik sekundara naponskih mjernih transformatora za simulirani jednopolni kratki spoj, dok je na slici 15 prikazan valni oblik sekundara strujnih mjernih transformatora za simulirani jednopolni kratki spoj.





Slika 14. Valni oblik sekundara naponskih mjernih transformatora.



Slika 15. Valni oblik sekundara strujnih mjernih transformatora.

Nakon detaljne analize i niza sekundarnih ispitivanja terminala polja RFX 632, RFX 633 i REF 615 dolazi se do slijedećih zaključaka;

Terminali polja RFX 632 i RFX 633 udaljenost do mjesta kvara pouzdano će izračunati ako valni oblik struja i napona tijekom kvara traje duže od 300 ms. Za valne oblike koji su trajali kraće od 300 ms terminal polja ili nije pokrenuo algoritam za proračun udaljenosti do mjesta kvara ili su proračunate vrijednosti uvelike odstupale od točnih vrijednosti. Usmjerenje zaštite kod ovog terminala polja ne igra ulogu pri izračunu udaljenosti do kvara, odnosno ako su struje na terminal polja privedene u suprotnom smjeru, udaljenost do mjesta kvara kao i reaktancija imati će negativni predznak.

Kod terminala polja REF 615 od velike važnosti su parametri *Ph capacitive React* i *Ph leakage Ris*. Ukoliko pri sekundarnom ispitivanju ovi parametri nisu odgovarali parametrima dalekovoda javljala se značajna greška kod izračuna udaljenosti do mjesta kvara. Kao vrijeme trajanja valnog oblika struja i napona potrebno za pouzdan izračun udaljenosti do mjesta utvrđena je vrijednost od 60 ms. Kod usmjerenja valja obratiti pažnju na ispravan smjer, jer ovaj terminal polja neće dati valjane rezultate ako kvar "vidi" u suprotnome smjeru.

## 5. DRUGI POKUS JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

Nakon provedene analize prvog pokusa jednopolnog kratkog spoja i sekundarnih ispitivanja na terminalnima polja RFX 632, RFX 633 i REF 615, odlučeno je da se rezultati ovih ispitivanja potvrde još jednim pokusom jednopolnog kratkog spoja.

## 5.1. Parametriranje terminala polja

Provedba pokusa odvija se na isti način kao i pri prvom pokusu, odnosno prema postupku opisanom u poglavlju 3.1. Lokator kvara na 35 kV dalekovodu Osijek 1-Čepin u TS 110/35 kV Osijek 1 postavljen je tako da njegovu aktivaciju kao i u prvom slučaju pokreće start zaštite. U TS 35/10 kV Čepin zemljospojna zaštita se vremenski zateže na 500 ms, dok se aktivacija lokatora kvara na terminalu polja RFX 632 ostvaruje isklupom jedne od zaštitnih funkcija. REF 615 Postavlja se na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci u TS 35/10 kV Čepin, zbog koordinacije terminala polja djelovanje zemljospojne zaštite (što je ujedno i nalog za pokretanje proračuna udaljenosti do mjesta kvara) kod ovog terminala polja postavljeno je na 300 ms. Prekidač na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci isključuje terminal polja RFX 632.

Parametri lokatora kvara za terminale polja RFX 632 (TS 35/10 kV Čepin) i RFX 633 (TS 110/35 kV Osijek1) identični su kao i pri provedbi prvog pokusa jednopolnog kratkog spoja, dok su parametri za terminal polja REF 615 prikazani na slici 16.

FLOC(1)			
Operation		on	
Phase voltage Meas		Accurate	
Calculation Trg mode		External	
EF algorithm Sel		Load modelling	
EF algorithm Cur Sel		Io based	
Load Com PP loops		Enabled	
Enable simple model		Disabled	
Distance estimate Va		0,005	
Setting Group 1			
High alarm Dis limit		0,000	pu
Low alarm Dis limit		0,000	pu
Z Max phase load		53,9	ohm
Ph leakage Ris		990080	ohm
Ph capacitive React		28288	ohm
Equivalent load Dis		1,00	
R1 line section A		0,236	ohm / pu
X1 line section A		0,377	ohm / pu
R0 line section A		0,464	ohm / pu
X0 line section A		1,408	ohm / pu
Line Len section A		22,200	pu

Slika 16. Postavke lokatora kvara na 35 kV dalekovodu Čepin-Budimci u TS 35/10 kV Čepin (REF 615)

## 5.2 Rezultati testiranja

Prilikom drugog testiranja pokus je izveden tri puta. U prvome navratu terminal polja RFX 632 postavljen u TS 35/10 kV Čepin isključuje 35 kV dalekovod Čepin-Budimci za 550 ms, a za udaljenost do mjesta kvara pokazuje vrijednost 15.4 km. RFX 633 postavljen u TS 110/35 kV Osijek 1 za udaljenost do mjesta kvara proračunao je vrijednost od 22.6 km. REF 615 nije proračunao vrijednosti jer je smjer struje registrirao kao da je kvar bio u suprotnome smjeru.

U drugom navratu podešenja su identična, osim što su na terminalnu polja REF 615 invertirani strujni ulazi. Nakon provedbe zemljospoja RFX 632 u TS 35/10 kV Čepin prikazuje udaljenost do kvara od 15.2 km (slika17), REF 615 u TS 35/10 kV Čepin prikazuje udaljenost do kvara od 15.99 km (slika18), u TS 110/35 kV Osijek 1 terminal polja RFX 633 pokazuje udaljenost od 22.7 km (slika 19).

Zemljospoj je izveden posljednji, treći, put uz izmjenu parametra *EF algorithm Sel* kod terminala polja REF 615. Za ovaj parametar je umjesto dosadašnje opcije *Load modelling*, odabrana opcija *Load compesation*. Nakon provedenog zemljospoja terminali polja su prikazivali slijedeće udaljenosti do mjesta

kvara. U TS 35/10 kV Čepin RFX 632 prikazuje 15.2 km, REF 615 prikazuje 16.04 km, u TS 110/35 kV Osijek 1 RFX 633 prikazuje 22.3 km.

Measurements	
Secondary	Energy
X	5,7174 Ω
Length	15,2 km
Eval.	C-E
Calc.	Valid

Slika 17. Očitanje u TS 35/10 kV Čepin (RFX 632)

FLOC(1)	
Triggering time	10.2.2020 10:27
FIt loop	CG Fault
FIt distance	15,99
FIt Dist quality	1
FIt loop resistance	6,6
FIt loop reactance	11,4
FIt phase reactance	6,0
FIt point resistance	1,6

Slika 18. Očitanje u TS 35/10 kV Čepin (REF 615)

Measurements	
Secondary	Energy
X	8,5680 Ω
Length	22,7 km
Eval.	C-E
Calc.	Valid

Slika 19. Očitanje u TS 110/35 kV Osijek 1 (RFX 633)

## 6. ZAKLJUČAK

Nakon izvršenih pokusa i sekundarnih ispitivanja može se zaključiti da lokator kvara kod sva tri terminala polja daje zadovoljavajuće točne udaljenosti do mjesta kvara.

Terminali polja RFX 632 i RFX 633 koji koriste isti algoritam dali su prilikom ispitivanja nešto točnije udaljenosti do mjesta kvara sa maksimalnom relativnom pogreškom od 6,2% (900 m). Ako se u obzir uzme duljina dalekovoda od 22,2 km, odnosno 30,4 km, pogreška od 6,2% prihvatljiva je pri makro lociranju kvara. Moguće netočne proračune kod ovih terminala polja mogu izazvati bliski kratki spojevi koji za posljedicu imaju djelovanje zaštite kraće od 300 ms. Također od velike koristi bi bila mogućnost slanja informacije o lokaciji kvara i reaktanciji petlje u sustav SCADA-e.

Terminal polja REF 615 je pri određivanju udaljenosti do mjesta kvara imao veću relativnu pogrešku od 10% (1500m) za koju bi također mogli reći da je dovoljna za makro lociranje kvara. Od velike koristi je mogućnost slanja udaljenosti do mjesta kvara i reaktancije petlje u sustav SCADA-e i praktički neovisnost o duljini trajanja kvara. Međutim, zbog primijećenog velikog utjecaja parametara *Ph capacitive React* i *Ph leakage Ris* na izračun udaljenosti do mjesta kvara valja njihovom podešenju posvetiti značajniju pažnju jer je dozemni kapacitet zračnog dalekovoda ponekad teško izračunati, pa se radije preporuča mjerenje istoga.

Zaključno, na 35 kV naponskoj razini pogon mreže je radijalan, a struje kvara su takvog karaktera da omogućuju primjenu lokatora kvara. Informacija o makro lokaciji kvara olakšala bi posao ekipama na terenu i skratila vrijeme do pronalaska kvara. Dodatno valja obratiti pažnju na moguće faktore koji utječu na proračuna udaljenost do mjesta kvara kao što su: točnost strujnih i naponskih mjernih transformatora, točnost samog terminala polja, prijelazni otpor na mjestu kvara, prijelazne pojave izražene kod APU-a isl.

## 7. LITERATURA

- [1] RFX – terminal polja, opis funkcijskih blokova
- [2] 615 Series Technical manual, 2018.
- [3] Damir Karavidović, Analiza primarnih ispitivanja u mreži 110 kV Elektroslavonije, Osijek 1980.
- [4] Krešimir Fekete, Konstrukcijski Zadatak iz kolegija elektroenergetske mreže, FERIT, Osijek 2011.
- [5] Šeila Gruhonjić Ferhatbegović, Doktorski rad: "Određivanje mjesta jednofaznog kvara u distribucijskim mrežama zasnovano na putnim valovima", Zagreb 2012.