

# **Analiza ispitivanja energetskog kablovskog voda primenom mernih kola**

*Dragan Brajović<sup>1</sup>, Aleksandar Stoilković<sup>2</sup>*  
[dragan.brajovic@ftn.kg.ac.rs](mailto:dragan.brajovic@ftn.kg.ac.rs) , [aleksandarstoilkovic94@gmail.com](mailto:aleksandarstoilkovic94@gmail.com)

## **REZIME:**

U radu su definisane analize ispitivanja prilikom kvara i nakon saniranja kvara sa ciljem da se kvar eliminiše u što kraćem vremenu i nakon toga da se izvrši ispitivanje energetskog kablovskog voda pre puštanja u rad pod naponskim opterećenjem, da bi otklonili sve dileme oko neispravnosti u energetskom kablovskom vodu.

**Ključne reči:** merna kola, energetski kablovski vod, ispitivanje, kvar.

## **Analysis of testing of energy cable lines using measuring circuits**

### **ABSTRACT:**

The paper defines the analyzes of the tests during the failure and after the repair of the failure with the aim of eliminating the failure in the shortest possible time and after that to perform the testing of the power cable line before putting it into operation under a voltage load, in order to eliminate all dilemmas about malfunctions in the power cable line.

**Key words:** measuring circuit, energy cable line, testing, failure.

## **1.UVOD**

Za prenos električne energije ranijih godina sredinom 19. veka koristila su se najčešće nadzemni vodovi jer se kvar mogao nalaziti pre i u tom vremenu nije bilo popularno prenos električne energije kablovskim vodom. Početkom 19-tog

veka podzemni kablovi su se koristili za detonaciju rudarskih eksploziva, a sredinom 19-tog veka koristili su se za prenos telegrafskih signala. Krajem 20-tog veka podzemni energetske kablovski vodovi su počeli znatno da napreduju što se tiče korišćenja prenosa električne energije u odnosu na nadzemne vodove koje su dugi niz godina dominirale. Za takav napredak najviše zasluge ima uređaj koji nosi naziv "Merna Kola" koja su sve više zastupljenija i njihova tehnologija koja godinama u napred ima napredak. Sama pomisao kada želimo da prenos električne energije koristimo ispod zemlje na prvi pogled izgleda lakša varijanta u odnosu na nadzemne vodove, jer kao prvo ne uzima proctor, nemora se održavati što se tiče seče rastiwa ako se vod nalazi u šumi ili van asfaltnog puta, što se tiče udara groma dosta je manja verovatnoća prekida napajanja kada dođe do atmosferskih pražnjenja itd. ali kada se pogleda na dugi niz perioda kada se desi kvar onda je mnogo teže naći kvar u odnosu na nadzemne vodove. Za kvarove na podzemnim kablovskim vodovima kao i ispitivanja na kablovskim vodovima se pobrinula merna kola i sve su više zastupljenija u odnosu na nadzemne vodove zato što kada se desi kvar što je i najviše osporavalo da kablovski vodovi pre zažive, poslednih godina kako napreduje tehnologija sve se može brže i lakše rešiti kvarovi koji postoje na kablovskim vodovima. U ovom radu ću obrazložiti jedan primer na planinini Jastrebac prenos podzemnog energetskeg kablovskog voda kada dođe pri kvaru i kako da najefikasnije analiziramo puštanje takvog kabla pod naponom uz visokonaponske opreme i sistema. Ovaj rad je sačinjen u 8 poglavlja. Drugo poglavlje je sačinjeno od visokonaponske opreme koje se koriste u mernim kolima. U trećem poglavlju su opisani problem koji se javljaju na podzemnim energetskekim kablovskim vodovima. U četvrtom poglavlju je opisan kablovski vod koji koristimo u praktičnom primeru. U petom poglavlju opisane su metode, šeme i dijagrami koji se koriste u mernim kolima. Šesto poglavlje je sačinjeno od praktičnog ispitivanja lociranog kvara i ispitivanja podzemnog energetskeg kablovskog voda nakon saniranja kvara. U sedmom poglavlju je izvršena analiza dobijenih rezultata za ove dve vrste ispitivanja koje su praktično objašnjene.

## **2. OSNOVNO O MERNIM KOLIMA**

Od sredine 20.-og veka kada se govorilo o podzemnim energetskekim kablovskim mrežama električne energije u Elektroprivredi Srbije, dosta je postojala nedoumica o tome kako će se sve to sprovesti na dužim stazama u vidu kvara ili fizičkog oštećenja kada bude došlo do njih i na koji način može da se realizuje otklanjanje kvarova na energetskekim kablovskim vodovima kada je kabli pod zemljom. Međutim posle nekog vremena pojavom mernih kola nedoumica je svedena na minimum i time bi se mogao realizovati rešenje da se kablovski vod može pustiti pod naponom ispod zemlje.

## **2.1. Uvod u merna kola**

Merna kola je uređaj koji služi da kada se desi neki kvar na kablovskim vodovima ispod zemlje koji nije vidljiv ili je vidljiv, realizuje mesto kvara na kojoj se nalazi mesto kvara. Isto tako merna kola služe i za ispitivanje energetskog kablovskog voda pre puštanja kabla pod naponom i opterećenjem, bilo da se radilo o novim kablovima ili kablovima koji su već bili iskorišćeni za prenos električne energije. U mernim kolima imaju razni uređaji, delovi i opreme na osnovu kojih merna kola funkcionišu da bi rešili problem na energetskom kablovskom vodu. Slede nazivi uređaja u mernim kolima na mestu mestu gde se sve povezuje : bubanj visokonaponskog kabla; priključni utikač mernog objekta; visokonaponski priključak sa spojem za zemlju; glavna stezaljka za priključak uzemljenja; kabal za zaštitno uzemljenje; držač sa sondom i čekićem; bubanj zaštitnog voda; priključni oramrić zaštitne sklopke; bubanj mrežnog kabla; utikač za mreženi priključak; rezervna kućišta za povezivanje. Upravljačka jedinica je mozak u mernim kolima koji se koristi pri podešavanjima zavisno o tome šta koristimo za tu vrstu ispitivanja kao na primer mi ćemo koristiti ispitivanje otkrivanja lociranog kvara i ispitivanje VLF. Slede naziv šta sve postoji u mernim kolima: 1-matrični prikaz, 2-tasteri za izbor faze, 3-tasteri za jedan udar generatora, 4-taster za samotestiranje, 5-taster Esc, 6-tasteri kursora, 7-šift bez funkcije, 8-upis završen, 9-merenje refleksije sa Telefleks uređajem, 10-ton generator, 11-vanjsko merenje otpora, 12-ommetar, 13-ispitivanje sa 0,1 Hz (VLF opcija), 14-propaljivač 15kV, 15-lučno udarni postupak 3/6/12 (ARM), 16- lučno udarni postupak 50 kV(ARM), 17-udarno 3/6/12 kV, 18-udarno 25 kV, 18- udarno 50 kV, 20- visokonaponsko ispitivanje, 21-uključenje visokonaponskog ispitivanja, 22- uključenje i isključenje uređaja upravljačke jedinice.

## **3. PROBLEMI UOČENI NA KABLOVSKIM VODOVIMA**

Uočeni problemi na energetskim kablovskim vodovima koje ćemo definisati i opisati za ovu temu master rada su problemi koji nastaju prilikom kvara na podzemnom kablovskom vodu i problemi nastali prilikom puštanja podzemnog kablovskog voda pod naponom nakon saniranja kvara na energetskom kablovskom vodu.

## **4.OSNOVNI PARAMETRI KABLOVSKOG VODA**

Energetski kablovski vod(EKV) koji ćemo iskoristiti tokom ispitivanja kada nalazimo kvar na kablovskom vodu i kada ispitujemo ceo kablovski vod nakon saniranja kablovskog voda je kabl NPH0, 13-A, 3x50mm<sup>2</sup>, 6/10 kV. Detaljan opis ovog kablovskog voda opisan je u nastavku: Trožilni kabl sa aluminijumskim okruglim provodnicima i izolacijom od naročito impregnisanog papira, sa slaboprovodnim slojem ispod i iznad izolacije, sa olovnim plaštom, apmaturom od dve čelične trake i antikoroziivnom zaštitom od slojeva jute i bitumena.

## **5. METODA O REALIZACIJI ISPITIVANJA EKV-A**

Da bi izvršili lociranja i ispitivanja kablovskog voda potrebno je znati i metode da bi u praktičnoj realizaciji ciljanog rezultata ispravno postupili. Zato ćemo u ovom poglavlju pojasniti malo i o metodi refleksije luka (ARM metode) pošto ćemo ovu metodu koristiti pri praktičnom primeru.

### **5.1. Metoda refleksije luka (ARM metoda)**

Metoda refleksije luka je modifikovana metoda prenaponskog talasa: dodato je kolo za formiranje i oblikovanje impulsa O/mp i filter RFE koji ne propušta talas od udarnog generator ka radaru. U prvoj fazi se šalju impulsi iz radara koji kroz kabal samo snima referentnu krivu ali u ovoj fazi ispitivanja se kvar ne uočava. Kada dođemo do druge faze ispitivanja uključujemo udarni generator koji izaziva preskok na mestu kvara (propaljivanje greške na kablju – smanjenje otpora na mestu kvara).

## **6. PRAKTIČAN PRIMER ISPITIVANJA EKV-A POMOĆU MERNIH KOLA**

Pre pronalaska kvara i ispitivanja energetskog kablovskog voda mernim kolima potrebno je da se ispoštuju praktični redosledi koji se koriste u praksi i time utvrdili neispravnosti i efikasnosti pri odabiru programa koji koristimo u mernim kolima. U nastavku ovog poglavlja objasnićemo kako idu povezivanja na uređajima da bi započeli ispitivanje EKV korak po korak i ta ispitivanja su za pronalaženje trase kvara na EKV-u i ispitivanje EKV-a nakon saniranja kvara pomoću VLF (very low frequency) – metodom.

### **6.1. Povezivanje i realizacija ispitivanja EKV-a**

Pre samog procesa ispitivanja EKV-a pomoću mernih kola moramo izvršiti detaljni process pred ispitivanje radi sigurnosti i bezbednosti prilikom ispitivanja. Redosled kojim trebamo izvršiti process ispitivanja EKV-a je da se razvežu kablovski vodovi sa obe strane, ispitivanje EKV-a megaometrom na sve tri faze (dovoljno je ispitivanje na jednoj strani gde ćemo pustiti generator za pronalaženje kvara na EKV-u), uzemljivanje mernih kola, priključivanje utikača visokonaponskog kabla (VN) mernog objekta na neispravnu žilu (koliko žila na kablovskom vodu su neispravne toliko VN kablova povezujemo na neispravne žile) i uzemljivanje ispravnih žila (ako bude bila ispravna) i pletenice koja se nalazi na kablju sa uzemljenjem u našem slučaju u trafostanici.

### 6.1.1. Ispitivanje lociranja kvara na EKV-u pomoću mernih kola

Povezivanjem mernih kola sa EKV-om dolazimo do sledećeg koraka da izvršimo podešavanje i ispitivanje kvara na kablu. Nakon ponovne provere da li smo sve povezali na EKV-u, obezbedili i osigurali mesto trakama gde je mesto opasno po život, dalji korak nas vodi ka računarskom delu u mernim kolima. U nastavku ćemo korak po korak objasniti kako koristimo i podešavamo uređaje da bi locirali kvar na EKV-u. Prvo što trebamo izračunati jeste koliki napon smemo da zadamo kada koristimo udarni generator. Ta formula iznosi:

$$U_S = 2,5 \cdot U_n \quad (1)$$

gde je:

$U_n$  - nominalni napon EKV-a (6 kV),

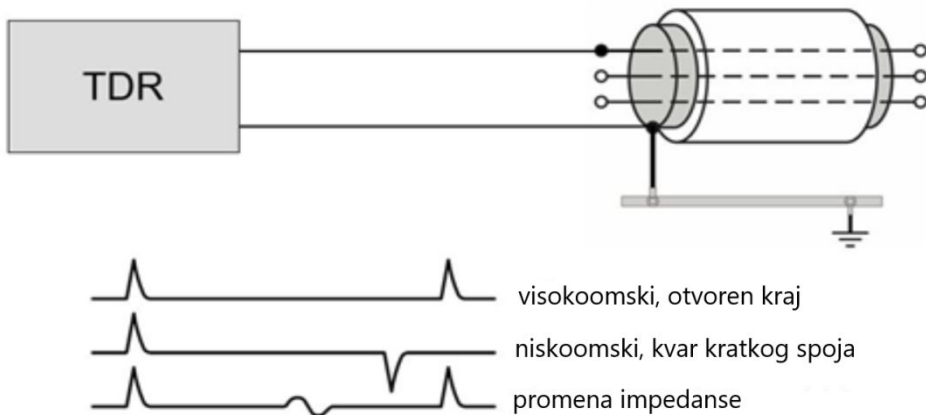
$U_S$ - udarni napon (surge voltage)

odatle sledi:

$$U_S = 2,5 \cdot 6$$

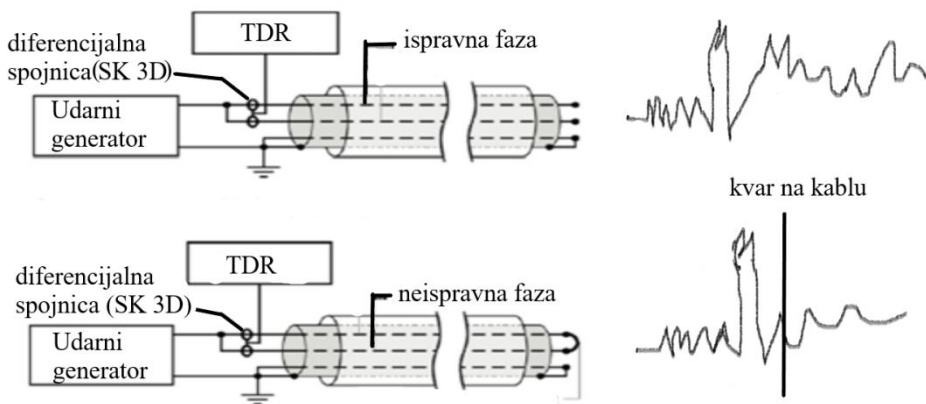
$$U_S = 15 \text{ kV}$$

Na upravljačkoj jedinici prvo trebamo uključiti uređaj nakon toga pokrećemo uređaj TDR (time domain reflection) da bi izmerili dužinu kablovskog voda , a šema mu je na "Slici 1".



Slika 1: Šema veze TDR-a u praktičnom primeru

Nakon toga kada smo odredili deonicu koja je duga 4,3 km nakon toga podešavamo uređaj preko upravljačke jedinice ARM metodom, zatim na uređaju udarnog generatora podesimo napon od 15kV i na VN jedinicu uključimo uređaj sve je spremno za lociranje kvara. Na “Slici 2” je prikazan metod koji uređaj “Teleflex” pokazuje.



Slika 2: Referentna kriva(1) i kriva kvara(2) na “Teleflex” uređaju

Analizu ispitivanja lociranog kvara ćemo pokazati u sedmom poglavlju.

### 6.1.2. Ispitivanje EKV-a nakon lociranja kvara VLF metodom pomoću mernih kola

Kada se sanira kvar na EKV-u trebamo izvršiti ispitivanja EKV-a da bi se uverili da li je saniranje kvara uspešno odrađeno i da li nakon tog saniranog kvara ima još neki kvar na EKV-u. Prvo što trebamo da odredimo jeste koliki napon trebamo da zadamo VLF metodom. Formula za kablove koje su se koristili dugi niz godina je:

$$U_{VLF} = 1,7 \cdot U_N \quad (2)$$

gde su:

$U_{VLF}$  - napon VLF-a

$U_N$  – nominalni napon (6 kV)

odakle sledi

$$U_{VLF} = 1,7 \cdot 6$$

$$U_{VLF} = 10,2 \text{ kV}$$

Nakon što smo odredili napon , prvo što trebamo da uradimo da bi pokrenulu uređaj jested a uključimo upravljačku jedinicu i na njoj izaberemo dugme VLF, nakon toga na VLF uređaju podesimo napon od 10,2 kV i uključujemo uređaj VN. Radi efikasnijeg ispitivanja iz tabele 1 najbolje je ispitivati na 60 minuta kako bi efikasnost ispitivanja bila na najvišem nivou.

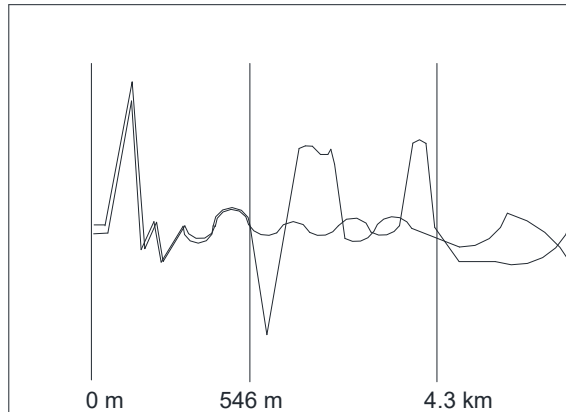
*Tabela 1 : Efikasnost pri ispitivanju EKV-a pomoću VLF metodom*

vreme perionda ispitivanja EKV-a	procenat uspešnosti i sigurnosti ispitivanja EKV-a
5 minuta	60 %
15 minuta	80 %
30 minuta	90 %
60 minuta	95 %

Dijagram analize ispitivanja EKV-a pomoću VLF – uređaja data je u poglavlju 7.

## **7. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA**

U prethodnom poglavlju smo definisali kako da uređaje podešavamo za ona ispitivanja koja su nam bitna. Nakon što smo izvršili testiranja EKV-a u poglavlju 6, u ovom poglavlju trebamo izvršiti analize ispitivanja kada smo ispitivanje vršili da bi pronašli kvar na EKV-u i ispitivanje nakon saniraja kvara radi efikasnosti EES-ma. Na “Slici 3” je prikazana analiza ispitivanja lociranog kvara na EKV-u .

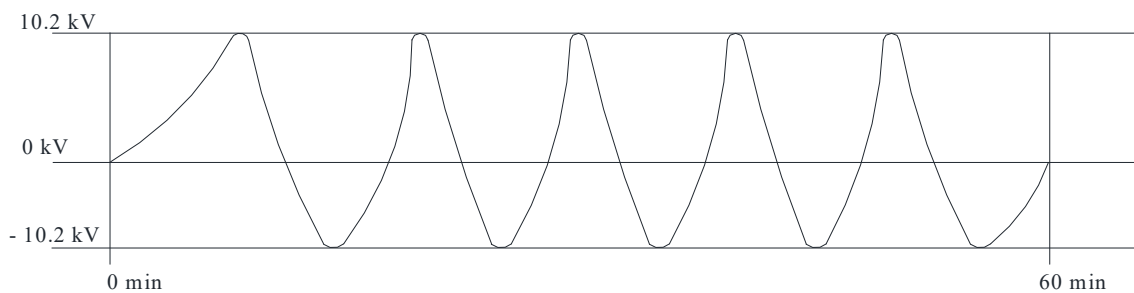


Udaljenost kvara : 546m ; Kraj kablovskog voda:4.3km

Metoda :	ARM zdrava slika	ARM slika sa greškom
dat. mer. :	16.01.22.	16.01.22.
sat. mer. :	09:55:38	09:56:22

*Slika 3: Analiza ARM metode lociranog kvara na EKV-u*

Dijagram na “Slici 3” je pokazao kvar na dužini od 546metara.Nakon lociranja kvara uređajem “digiphone” kada smo izvršili saniranje kvara na kablju , nakon toga smo izvršili analizu ispitivanja VLF uređaja na 60 minuta koju možemo videti na “Slici 4”.



*Slika 4: Analiza ispitivanja EKV- a na saniranoj fazi kvara pomoću VLF – uređaja*



Dijagram na “Slici 4” pokazuje da je provodnih u ovoj fazi ispravan i da ne postoje niti jedan kvar na EKV-u nakon saniranog kvara u fazi 1.

## 8. ZAKLJUČAK

Krajnji rezultati koje smo realizovali u poglavlju 7 analize dobijenih rezultata su pokazala da se na EKV-u nakon analiziranja ispitivanja lociranog kvara, kvar nađen pomoću uređaja “digiphone” se pokazao na tačnoj distance na kojoj je pokazivao uređaj “Teleflex” njegovim grafikonom što je i dobro rešenje i realizovanje problema koje smo imali na EKV-u. Posle realizacije kvara na EKV-u kada smo sanirali kvar, pokrenuli smo analizu ispitivanja EKV-a pomoću VLF metode da bi se uverili da li je oštećen kvar odrađen na način da ne dođe do prekida napona na EKV-u i da li postoje još neke slabe tačke nakon kvara na EKV-u koje će doći do proboja nakon puštanja napona pomoću VLF-uređaja. VLF-uređaj se pokazao izuzetno pouzdano zato što starija merenja jednosmernim ispitivanjem stvaraju vodene staze na kablovima I time stvaraju kasniju neispravnost na kablovima što nije dobro rešenje za sami process prenošenja naponskog voda, dok VLF – uređaj ima kosinusne uglove prilikom ispitivanja I kod ove metode nemogu se pokrenuti vodene staze na kablovskom vodu. VLF metodom merenja na uređaju “Teleflex” pokazala da je grafikon onoj fazi (L1) gde je bio kvar i nakon toga kvar je saniran, pokazao ispravnost na osnovu merenja u vremenskom periodu od 60 minuta na celoj dužini kablovskog voda od 4,3 kilometara I time potvrdili da je EKV ispitivan sa procentom od 95 % ispravnosti pod maksimalnim opterećenjem koji ovaj EKV može da izdrži, ali mora se napomenuti da se ovaj kablovski vod dugi niz godina koristi i da je njegova maksimalna preporučiva opteretivost sada 10.2 kV. Period eksploatacije EKV-a je oko 30 godina pa bi moglo za dalji cilj mogao preporučiti da EKV-ovi koji su stariji više od 20 godina ispituju jednogodišnjim ispitivanjima VLF uređajem u mernim kolima kako bi smanjili procentualno gubitak napona na EKV-u na minimumu.

## 9. LITERATURA

1. Cable Fault Location Measuring Method, 2021, HV TECHNOLOGIES, INC
2. dr Milan Savić: Visokonaponski rasklopni aparati, Elektrotehnički fajultet, Beograd, Akademska misao, Beograd,2004.
3. Equipment for cable fault location, testing and diagnostics brochure, Megger, Copyright 2016

4. PRIMEON Centrally controlled and automated cable fault location and cable testing van, Megger, 2021
5. Reliable and highly flexible Cable Fault Locating System, seba KTM, 2011
6. SRPS N.C5.025 „Ispitivanje kablova sa izolacijom od impregnisanog papira i metalnim plaštom za nazivne napone do 60 kV“
7. Tehnička preporuka TP3, „Osnovni tehnički zahtevi za izbor i montažu energetskih kablova i kablovskih pribora u elektrodistributivnim mrežama 1 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV, 110 kV“ 2012. godina
8. Test and measurement equipment for the power industry brochure, BUTKO, 2018
9. Underground Cable Fault Locating Using the Arc Reflection Method, Mike Scott, Product Manager, Megger , 2004
10. VLF Test systems 28 kV- 60 kV brochure , seba KTM, 2005