

Ispitivanje kablovskih vodova 35kV tip IPZO 13 i vraćanje u pogon nakon oštećenja izazvanih poplavom

Ninoslav Simić¹, Jovan Mrvić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Koste Glavinića 8a
11000 Beograd, Srbija
ninoslav.simic@ieent.org

Kratak sadržaj: U radu je prezentovan jedan pristup ispitivanju stanja kablova u pogledu dalje eksploatacije. Napomenute su prednosti i nedostaci korišćenja jednosmernog i VLF ispitnog napona. Dat je opis dva oštećena kablovska voda koji napajaju gradski konzum. Predložen je redosled realno mogućeg niza ispitivanja u cilju procene stanja izolacije kablova. Najpre su dati i objašnjeni rezultati otpora izolacije. Potom su tumačeni rezultati ispitivanja kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka pri naizmjeničnom naponu 50Hz. Na kraju su obavljena ispitivanja izolacije visokim jednosmernim naponom prema standardu. Po uključanju kablova obavljeno je termovizijsko ispitivanje i prikazani su primeri uočenih neregularnosti. U zaključku se ističe potreba za istovremenom primenom više različitih ispitnih metoda i sistematskim prikupljanjem podataka o izolaciji kablova.

Ključne reči: kabl, otpor izolacije, faktor dielektričnih gubitaka tgδ, kapacitet, jednosmerni ispitni napon, termovizijsko ispitivanje.

1. Uvod

Ispitivanje izolacije kablovskih vodova na terenu je izuzetno zahtevno, zbog nemogućnosti da se obezbede odgovarajući izvori napajanja za sve vrste kablova. Različiti naponski nivoi i tipovi izolacije kablova (impregnirani papir u ulju, umreženi polietilen, plastična izolacija...) zahtevaju primenu različitih standarda i metoda ispitivanja. Otežavajuća okolnost je da su kablovi pretežno kapacitivno opterećenje, naročito izraženo pri velikim dužinama. U praksi se stoga, nakon sanacije mesta proboja izolacije, najčešće pribegava metodi ispitivanja izolacije podnosivim jednosmernim naponom u određenom vremenskom intervalu [1] [2] [3]. Često se koriste i VLF (very low frequency) izvori napajanja [4], ali u oba slučaja radi se o metodama, koje su stresne za izolaciju i pri tom daju samo trenutni rezultat, bez mogućnosti procene stanja izolacije u dužem vremenskom periodu. U ovom radu su upravo prikazana dva

kablovska voda, koja su bila sanirana posle poplavnog talasa. Izolacija kabla je potom prošla ispitivanje visokim jednosmernim naponom, ali bi po uključenju kabla na naizmenični napon, nakon nekoliko časova dolazilo do proboja. Stoga su usaglašene druge vrste ispitivanja, koja su se mogla obaviti na terenu sa raspoloživim naponskim izvorima i mernom opremom. Obavljene metode ispitivanja su već poznate, ali su primenjeni ispitni naponi niži od standardnih, pa tumačenje rezultata dobijeno ovim ispitivanjem najviše zavisi od iskustva ispitivača. Cilj ovih ispitivanja je bio da se proceni da li navedeni kablovski vodovi mogu biti vraćeni u eksploataciju na duži period ili je neminovna njihova zamena.

2. Opis kablovskih vodova

Kablovski vodovi imaju izolaciju od impregnisanog papira, prema projektu tip IPZO 13, preseka provodnika $3 \times 95 \text{ mm}^2$, izrađeni od bakra, za naponski nivo 35 kV. Proizvedeni su 1978 godine, dok su dužine kablovskih vodova 1800 metara. Svaki od dva kablovska voda oznaka KV1 i KV2, ima svoj konzum, a po potrebi mogu biti u paralelnom radu. Kablovi povezuju ćelije u dve transformatorske stanice ODS na području grada. Prema prikupljenim podacima, maksimalna opterećenja kablova u toku životnog veka su sledeća:

-Zabeležen je slučaj paralelnog rada kablova KV1 i KV2, kada su kablovi delili opterećenje od 440 A.

-U normalnom radnom stanju, pojedinačno, struja prvog kablovskog voda je dostizala 170 A, a struja kablovskog voda se kretala do 80 A.

Zaštitni uređaji kablovskih vodova su podešeni u opsegu od 270A do 250A. U posmatranoj distributivnoj mreži struja zemljospoja na strani naponskog nivoa 35 kV je ograničena na 300 A. Trasa dvostrukog kablovskog voda 35 kV, postavljenog između TS1 110/35 kV i TS2 35/10 kV, u velikom delu ide levim forlandom reke, koji je na više mesta oštećen, odnosno devastiran usled delovanja poplavnog talasa. Visinska razlika između ove dve transformatorske stanice je 70 metara. Posledice mehaničkih naprezanja nastalih usled delovanja poplavnog talasa su jasno vidljive. Uočavaju se fizička oštećenja čeličnih traka i jutanog dela, te savijanje kabla. Na mestima gde su kablovi prelomljeni preko kamenja i na mestu proboja izolacije ima tragova od ulja. Na delu kabla koji je ležao u vodi nedostaje zaštitni sloj preko čelične oplata i primetna je korozija (slike 1 i 2).



Slika 1



Slika 2

Vizuelnim pregledom kablovskih glava u TS1 uočeno je isticanje ulja iz ljubičaste i zelene faze kabla KV2 (slika 3). Ovo je u praksi često primetno kao posledica postojanja ozbiljnijih kvarova na izolaciji ovog tipa kablova.



Slika 3

3. Ispitivanje električnog izolacionog sistema (EIS) energetskih kablova

U cilju određivanja mogućnosti naponskog ispitivanja kablova, obavljena su prva merenja otpornosti izolacije kablova, kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka (slike 4a i 4b). Rezultati ovih ispitivanja su dati u tabelama 1 i 2.



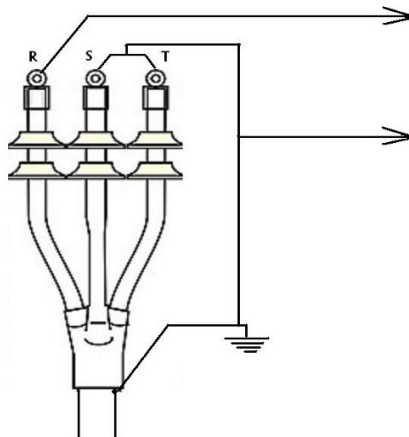
a)



b)

Slika 4: Prikaz izvoda kablova u TS1 110/35kV a) izvod KV1 b) izvod KV2

Ispitivanje izolacionog sistema energetskih kablova obavljeno je za svaku kablovsku žilu, pri čemu su ostale dve žile uzemljene zajedno sa plaštom kabla.



Slika 5: Šema veza pri ispitivanju elektroizolacionog sistema faze „R“

3.1. Ispitivanje električnog izolacionog sistema energetskog kabla KV1 (izolacioni otpori, faktor dielektričnih gubitaka i kapacitet)

Tabela 1: Ispitivanje EIS energetskog kabla KV1 (Riz, tgδ, C)

Merni spoj	Izolacioni otpori Riz			Faktor diel. gubitaka tgδ i kapacitet kabl.žila C		
	R60" (MΩ)	N (-)	Uisp (kVdc)	tgδ (%)	C (nF)	Uisp (kV)
R: (S+T+M)	925	2.09	5	0.356	249.2	0.5
				0.356	249.2	1
				0.355	249.3	3
S: (R+T+M)	361	2.39	5	0.410	671.7	0.5
				0.412	671.7	1
T: (R+S+M)	393	2.50	5	0.404	671.8	0.5
				0.417	671.8	1

Napomena: Oznake faza u tabeli su: R (žuta faza), S (zelena faza), T (ljubičasta faza) – žile energetskog kabla, M – uzemljeni plašt, N= R_{60"}/ R_{15"}

Na osnovu ispitivanja otpornosti, jasno je da je žila faze „R“ u prekidu na oko trećine dužine od TS1.

3.2. Ispitivanje električnog izolacionog sistema energetskog kabla KV2 (izolacioni otpori, faktor dielektričnih gubitaka i kapacitet)

Tabela 2: Ispitivanje EIS energetskog kabla KV2 (Riz, tgδ, C)

Merni spoj	Izolacioni otpori Riz i			Faktor diel. gubitaka tgδ i kapacitet kabl.žila C		
	R60" (MΩ)	N (-)	Uisp (kVdc)	tgδ (%)	C (nF)	Uisp (kV)
R: (S+T+M)	0	-	5	-	-	0.5
				-	-	1
S: (R+T+M)	419	2.50	5	0.387	668.5	0.5
				0.388	668.5	1
T: (R+S+M)	406	2.46	5	0.374	670.0	0.5
				0.374	670.0	1

Napomena: Oznake faza u tabeli su: R (žuta faza), S (zelena faza), T (ljubičasta faza) – žile energetskog kabla, M – uzemljeni plašt, N= R_{60"}/ R_{15"}

Sva ispitivanja su obavljena pri temperature ambijenta 22°C.

Na osnovu ovog ispitivanja, jasno je da je žila faze „R“ u direktnom spoju sa uzemljenim delovima.

Merenje otpora je obavljeno prenosnim merilom („Megger“), dok je merenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka obavljeno mernim mostom, koristeći izvor napajanja naizmjeničnog napona, pri učestanosti 50Hz. Zbog toga su vrednosti Uisp relativno male, ali su dobijeni rezultati upotrebljivi za procenu stanja izolacije kabla. Ispitivanje je obuhvatilo i instalirani kablovski pribor, odnosno rezultati ispitivanja se odnose na kablovski sistem. Danas

postoje merna kola sa VLF mernim mostom za merenje faktora dielektričnih gubitaka, ali su tako dobijene vrednosti veoma različite od vrednosti dobijene merenjem pri 50Hz. Vrednosti tgδ su kod ovog tipa kablova vrlo promenljive sa temperaturom, uopšte sa padom temperature raste vrednost tgδ. Takođe vrednost tgδ raste i sa smanjenjem frekvencije naizmennog napona.

Poredeći izmerene vrednosti kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka, kako između kablova, tako i između različitih faza nameće se zaključak da kablovi tokom radnog veka dužeg od 30 godina nisu bili preopterećeni, te da je kabl KV2 imao manje opterećenje od kabla KV1 (tgδ i C su manji u slučaju KV2). Ovo odgovara prikupljenim podacima, o manjem strujnom opterećenju na drugom kablju. Takođe, sve izmerene vrednosti na ispravnim žilama kablova su ujednačene, a niske vrednosti tgδ ukazuju da kablovi nakon saniranja mesta prekida i mesta kratkog spoja, mogu još dugo biti u pogonu. Ujednačene vrednosti kapaciteta ne ukazuju na postojanje vlage u izolaciji. Na osnovu ovih rezultata dalje su pristupilo zameni oštećenih delova kablova na trasi, u ukupnoj dužini od 25 metara, nakon čega su obavljena ispitivanja jednosmernim naponom prema TP3 [5].



Slika 6: Izgled kablovske žile nakon sanacije

3.3. Ispitivanje električnog izolacionog sistema (EIS) energetskog kabla KV1 jednosmernim naponom

Tabela. 3: Ispitivanje EIS energetskog kabla KV1 jednosmernim naponom

Oznaka faze	Ispitni jednosmerni napon	struje curenja kroz izolaciju (mA) (početak/kraj ispitivanja)	proboj izolacije kablovske žile prilikom ispitivanja (da/ne)
R	84 kV / 5 minuta	0,29 / 0,27	ne
S	84 kV / 0 minuta	-	da*
T	84 kV / 5 minuta	0,30 / 0,29	ne

Napomena*: Proboj izolacije kablovske žile je zabeležen pri podizanju napona na vrednosti od 74 kV. Lokacija ovog mesta kvara je na 240 metara od TS1 u kablovskoj spojnici, te se radi o novom mestu proboja. Ovim je jasno pokazano da ispitivanja visokim naponom na starim kablovima, stresno utiču na izolaciju, skraćuju njen vek i mogu dovesti do proboja. Nakon saniranja i ovog mesta proboja, ispitana je ponovo samo ova žila i kablovski vod KV1 je pripremljen za uključanje.

3.4. Ispitivanje električnog izolacionog sistema (EIS) energetskog kabla KV2 jednosmernim naponom

Tabela. 4: Ispitivanje EIS jednosmernim naponom energetskog kabla KV2

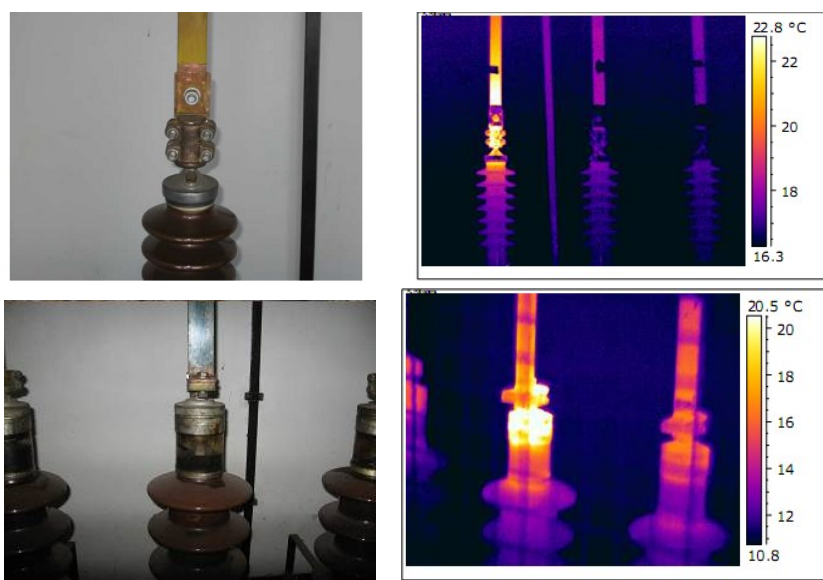
Oznaka faze	Ispitni jednosmerni napon	struje curenja kroz izolaciju (mA) (početak/kraj ispitivanja)	proboj izolacije kablovske žile prilikom ispitivanja (da/ne)
R	84 kV / 5 minuta	0,28 / 0,26	ne
S	84 kV / 5 minuta	0,28 / 0,27	ne
T	84 kV / 5 minuta	0,29 / 0,27	ne

Napomena: Oznake faza u tabeli su: R (žuta faza), S (zelena faza), T (ljubičasta faza) – žile energetskog kabla

Poređenjem struja curenja kroz izolaciju konstatuje se da su sve vrednosti približno iste i da nema sumnje, da je izolacija na svim kablovskim žilama u dobrom stanju. Po završenom ispitivanju oba kabla su postavljena na trasu prema projektnoj dokumentaciji i priključena na napon, u trajanju 24h u praznom hodu. Do danas je kablovski sistem već 4 godine u pogonu.

4. On-line termovizijsko ispitivanje kablovskog pribora

Po uključenju i dostizanju stacionarnog stanja, kablovski sistem je ispitan metodom merenja temperature termovizijskom kamerom. Ova metoda je veoma pogodna za otkrivanje neregularnosti na kablovskom priboru. Pri tome je kablovski sistem u pogonu, a moguće je uočiti kako probleme izazvane strujnim opterećenjem (npr. prelazni otpori priključaka, cirkulacione struje kroz električnu zaštitu kabela, nedostatak ulja u kablovskim glavama), tako i proboje po površini izolatora, kablovskih spojnica i završnica. Na slici 7 dati su primeri grejanja na priključku kablovske glave $U_n=35\text{kV}$, kao i uočen nedostatak ulja u jednoj od kablovskih glava.



Slika 7 Termografski prikaz kablovske glave i priključaka:

5. Zaključak

Ispitivanje kablovskog sistema u dugogodišnjoj eksploataciji iziskuje specifičan pristup koji zavisi od trase, starosti kabela, eksploatacionih uslova, tipa izolacije, vrste provodnika, naponskog nivoa, uslova uzemljenja mreže itd. Naravno, uvek treba težiti primeni standardnih metoda ispitivanja, a u slučajevima kada to nije tehnički izvodljivo, treba primeniti set ispitivanja, koji je dogovoren između vlasnika kablovskog sistema i ispitivača. U standardima se vrlo često napominje da su visina ispitnog napona i vreme trajanja ispitivanja za stare kablove stvar dogovora, te da ispitivanje treba prilagoditi stanju kabela. Ne preporučuje se ispitivanje visokim jednosmernim naponom, osim za kablove slične tipu IPZO (impregnisani papir). S druge strane činjenica je da se i danas kod nas najviše upotrebljava jednosmerni ispitni napon, zbog jednostavnosti

primene i kratkog vremenskog intervala.

U ovom radu su navedeni rezultati ispitivanja dobijeni na osnovu iskustva primenom više metoda, koji su za cilj imali procenu mogućnosti vraćanja kabla u eksploataciju na duži vremenski period. Sličan pristup je moguće primeniti na sve kablove, a rezultate bi trebalo skladištiti u baze podataka, te bi se vremenom mogle korigovati vrednosti ispitnih napona. Svrha ovog pristupa je da se usvoje i definišu druge ispitne metode i granične vrednosti, koje bi se mogle primeniti u realnim pogonskim uslovima, a sve u cilju procene preostalog životnog veka kablova.

Literatura

- [1] SRPS N.C5.025 „Ispitivanje kablova sa izolacijom od impregnisiranog papira i metalnim plaštom za nazivne napone do 60 kV“
- [2] SRPS IEC 60055-1: 2013 „Kablovi sa izolacijom od papira i metalnim plaštom, za naznačene napone do 18/30 kV“
- [3] IEEE 400.1 – 2007 „Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with High Direct Current Voltage“
- [4] IEEE 400.2 - 2006 „Guide for Field Testing Shield Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)“
- [5] Tehnička preporuka TP3, 2012. godina „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“

Abstract: This paper presents an improved approach to testing the condition of cables in terms of further exploitation. The advantages and disadvantages of using DC and VLF test voltages are noted. A description of two damaged electric power cables in a city is given. The sequence of a realistic possible set of tests is proposed in order to assess the condition of cable insulation. Firstly, the results of the isolation resistance were explained. The results of the testing of capacitance and factor of dielectric losses at the AC 50Hz test voltage are then evaluated. At the end, insulation tests are performed with high DC voltage according to the standard. After switching on the cables, a thermographic test is performed and examples of observed irregularities are shown. In conclusion, the need for simultaneous application of several different test methods and the systematic collection of data on cable insulation is emphasized.

Keywords: cable line, insulation resistance, dielectric loss factor $\text{tg}\delta$, cable capacity, high voltage DC, thermographic inspection.

Testing 35kV Cable Lines Type IPZO13 and Re-energized after Flood Damage

Ninoslav Simić, Jovan Mrvić

Rad primljen u uredništvo: 02.11.2018. godine

Rad prihvaćen: 28.11.2018. godine