

## **ANALIZA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA 110/x kV I 35/10 kV NA OSNOVU IZVEŠTAJA ODRŽAVANJA**

**S.Živanić<sup>1</sup>, PD „Elektrodistribucija Beograd“ d.o.o., Srbija  
N.Stojanović, PD „Elektrodistribucija Beograd“ d.o.o., Srbija  
M.Luković, PD „Elektrodistribucija Beograd“ d.o.o., Srbija  
B.Brčić, „Stucke elektronik Balkan“ d.o.o., Srbija**

### **UVOD**

Ovim radom su predstavljene metode održavanja energetskih transformatora 110/x kV i 35/10 kV. Na osnovu dugogodišnjeg iskustva i analize podataka održavanja i intervencija na energetskim transformatorima i transformatorskim stanicama 110/x kV i 35/10 kV sa primerima iz prakse došlo se do određenih zakonitosti između podataka dobijenih merenjima na terenu i mogućih nedostataka na energetskim transformatorima. Da bi se izvršila potrebna detaljna analiza energetskih transformatora potrebno je: angažovanje većeg broja ljudi, više vremena i primena specifične opreme. Zbog ograničenosti resursa na terenu, navedena ispitivanja nije moguće izvršiti za svaki energetski transformator i merenja koja se vrše su daleko manjeg obima. Koristeći iskustva iz prakse a na osnovu merenja manjeg broja karakteristika koja se vrše na terenu dolazi se do zaključaka: koji od energetskih transformatora može da se pusti u rad i ne zahteva detaljnije ispitivanje, koji energetski transformatori moraju biti poslani na fabrički remont i koji od energetskih transformatora zahteva detaljniju analizu. U ovom radu su predstavljeni slučajevi iz prakse gde su zaključci donešeni na osnovu merenja manjeg obima koja se vrše na terenu a potvrđeni su detaljnim fabričkim ispitivanjem i remontom. Bilo je slučajeva da je donešeni zaključak na osnovu merenja na terenu bio preuveličan u smislu obima oštećenja na energetskom transformatoru, ali nijedan zaključak nije bio neopravdan i predupredio je havariju. Za analizu stanja korišćeni su podaci i merenja na energetskim transformatorima koji su u eksploataciji u proseku 40 godina. Adekvatnim održavanjem, koje je rezultat donešenih zaključaka koji su predstavljeni u ovom radu, radni vek energetskih transformatora može biti znatno produžen, kao i znatno smanjena mogućnost pojave havarija. U osnovi, metode održavanja energetskih transformatora su:

1. merenje otpornosti izolacije namotaja energetskih transformatora,
2. analiza dielektričkih svojstava ulja,
3. analiza fizičkih oštećenja izolatora,
4. termovizijska snimanja.

Havarije se takođe mogu preduprediti i uvođenjem online monitoringa stanja i temperatura karakterističnih delova energetskih transformatora. Sistemom za konstantno praćenje i snimanje stanja transformatora ne smanjuje se samo rizik od pojave havarije nego se i produžava njegov vek trajanja, jer se na vreme mogu primetiti nedostaci u njegovom radu i isti otkloniti.

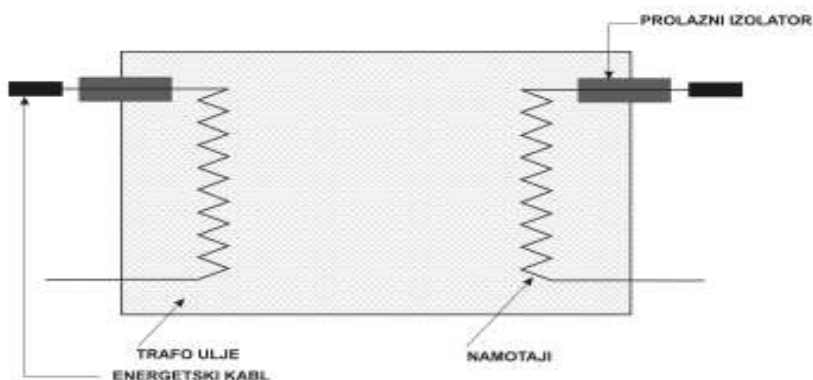
<sup>1</sup>dipl.ing.el. Slavka Živanić, PD „Elektrodistribucija Beograd“ d.o.o., Vojvode Stepe 422, Beograd  
e-mail: szivanic@edb.rs

## RAD

Navoji energetskih transformatora moraju biti izolovani jedni od drugih kako bi se osigurao protok struje kroz celokupan namotaj. Pojava oštećenja u izolaciji između navoja može prouzrokovati sledeće posledice: poremećen rad, pregrevanje, poremećaj u kvalitetu isporučene električne energije i pojavu havarije koja u najboljem slučaju može dovesti samo do materijalne štete. Pomenuta problematika se takođe odnosi i na izolovanost namotaja prema kućištu transformatora. Za izolaciju između navoja i namotaja koristi se impregnirani papir i transformatorsko ulje, dok se prolazni izolatori koriste za izolovanje mesta ulaska enegetskih vodova u transformator [1]. Analizom uprošćene skice energetskog transformatora prikazane na slici 1. dolazi se do preliminarnog zaključka da je najkritičnija komponenta koja može uticati na otpor izolacije između namotaja kvalitet mineralnog trafo ulja i impregniranog papira. Takođe, najkritičnija komponenta za otpor izolacije između namotaja i kućišta transformatora je stanje provodnih izolatora. Detaljna analiza zahteva:

1. analizu transformatorskog ulja - koncentraciju vodonika i koncentraciju ostalih gasova koji ukazuju na degradaciju ulja  
(Transformatorsko ulje je mineralnog porekla, proizvodi se iz sirove nafte i po svom hemijskom sastavu predstavljaju smešu parafinskih, naftenskih i aromatskih ugljovodonika povezanih u molekularne strukture različitih vrsta – produkt razgradnje ovih hemijskih struktura je uglavom vodonik  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  itd.)
2. hemijsku analizu sastava izolacionog papira  
(Osnovni sastav izolacionog papira je celuloza, degradacija celuloze prouzrokuje povećanje koncentracije gasova  $CO$  i  $CO_2$  u ulju transformatora)
3. visokonaponsku test opremu za ispitivanje izolacije.

Merenja koja se vrše na terenu uglavnom se obavljaju korišćenjem uređaja za merenje otpora izolacije pri jednosmerom naponu od 5000V. Na osnovu navedenog merenja često je neophodno doneti zaključak da li je energetski transformator moguće vratiti u pogon ili zahtevati detaljniju analizu komponenti transformatora. U ovu studiju uključeni su rezultati merenja 183 energetska transformatora koja se sprovode na svake 2 do 4 godine u zavisnosti od vrste i starosti transformatora, zahtevima za raspoloživost trasformatora, ali i izloženosti „stresnim situacijama“ kao što su: kratki spojevi, preopterećenja, popravke na terenu i slično.



Slika 1. - Skica energetskog transformatora

Zbog ograničenih resursa u ljudstvu i opremi za testiranje, ispitivanja i procena spremnosti za rad energetskih transformatora tokom remonta se prvenstveno svodi na merenje izolacije visokonaponskih prema niskonaponskih namotajima kao i viskonaponskih namotaja i niskonaponskih namotaja prema kućištu transformatora. Na osnovu dugogodišnjeg rada na održavanju transformatorskih stanica 110/35kV i 35/10kV kreirana je baza podataka u koju su uvršteni:

1. rezultati merenja dobijeni na terenu,
2. lista kvarova na energetskim transformatorima
3. rezultati detaljih laboratorijskih analiza komponenti energetskih transformatora.

Jedan deo baze podataka prikazan je u tabeli 1. Na osnovu analize podataka iz pomenute baze podataka i na osnovu iskustvenih zaključaka došlo se do određenih zakonitosti koje se mogu primeniti sa velikom sigurnošću. Ove zakonitosti praktično predstavljaju vezu između vrednosti otpora izolacije dobijenih merenjima na terenu i stanja izolacionih komponenti energetskih transformatora. Pomenuti

princip i zaključci su primenjeni prilikom remonta transformatorskih stanica 2009.godine i pokazali su se prilično pouzdanim jer je i broj havarija u odnosu na prethodne godine smanjen je za oko 20%.

PRENO SNI ODNOS [kV]	Sn [MVA]	Riz VN-NN [MΩ]	Riz VN-KUĆIŠTE [MΩ]	ε [kV/cm]	ZAPAŽANJE NA TERENU	REZULTATI DETALJNE LAB. ANALIZE
110/35/10	31,5	7000	7200	200	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
110/35/10	31,5	5000	5100	230	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
110/10	40	8000	8150	240	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
110/10	40	1900	1900	200	Trafo ulje curi na spoju rebra hladnjaka i tela ET	ET potrebno poslati na fabrički remont
110/10	40	2700	2800	220	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
110/10	40	6200	6300	250	Trafo ulje curi na Buholcu	ET može da se pusti u pogon
110/10	31,5	3500	3500	230	Trafo ulje curi na spoju rebra hladnjaka i tela ET	ET može da se pusti u pogon
110/10	31,5	2800	2800	230	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
110/10	31,5	1500	1500	200	Trafo ulje curi na ploči	ET potrebno poslati na fabrički remont
110/10	31,5	4100	4220	200	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	1450	1600	200	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	700	760	210	Trfo ulje curi na 35kV izolatoru	ET potrebno poslati na fabrički remont
35/10	10	2200	2350	250	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	450	500	210	Trafo ulje curi na 10kV izolatoru	ET potrebno poslati na fabrički remont
35/10	10	1150	1200	230	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	900	1050	240	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	2800	3000	230	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	1300	1430	220	Trafo ulje curi na Buholcu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	1940	2100	240	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	10	650	730	240	Trafo ulje curi na dihtinzima	ET potrebno poslati na fabrički remont
35/10	8	3600	3780	230	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	8	650	700	210	Trafo ulje curi na 10kV izolatoru	ET potrebno poslati na fabrički remont
35/10	8	900	970	250	Trafo ulje curi na Buholcu	ET može da se pusti u pogon
35/10	8	420	500	200	Rebra hladnjaka su korodirala	ET potrebno poslati na fabrički remont
35/10	8	1450	1500	250	sve je u redu	ET može da se pusti u pogon
35/10	8	1500	1600	240	Trafo ulje curi na Buholcu	ET može da se pusti u pogon

Tabela 1. – vrednosti otpora izolacije visokonaponskih prema niskonaponskim namotajima

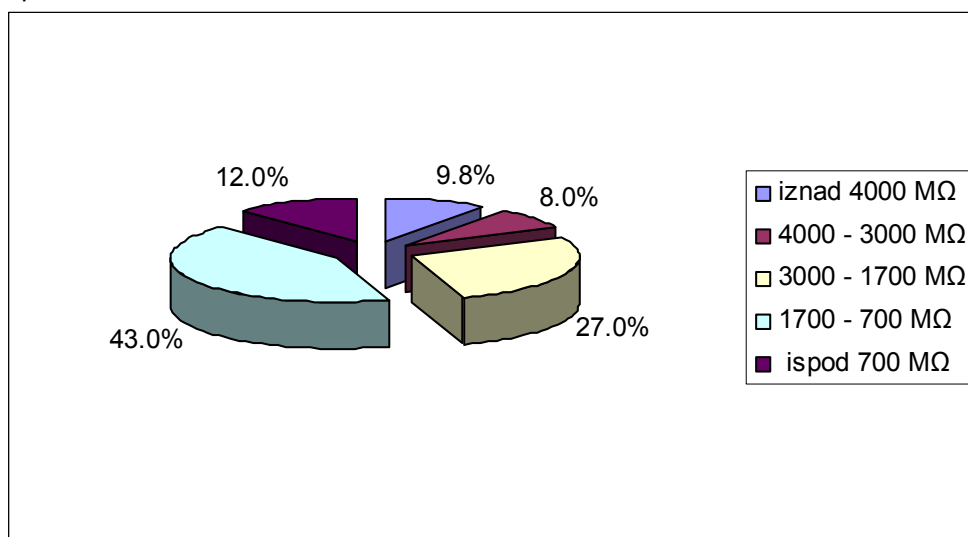
Obradom vrednosti prikazanih u bazi podataka i praktičnih iskustva došlo se do sledećih rezultata:

- **Otpornosti izolacije visokonaponskih prema niskonaponskim namotajima**
    1.  $>4000M\Omega$  - Dobro stanje – nisu potrebne dodatne analize i transformator je bezbedno pustiti u rad;
    2.  $4000M\Omega > R_{iz-VN-NN} > 3000M\Omega$  - Postoji mogućnost curenja ulja na delovima transformatora, treba dobro obratiti pažnju, ako je sve u redu transformator je bezbedno pustiti u rad;
    3.  $3000M\Omega > R_{iz-VN-NN} > 1700M\Omega$  - Postoji velika verovatnoća da negde curi ulje, transformator je prilično dugo u eksploataciji i treba ga češće kontrolisati, poželjno je ponovo obaviti merenja nakon ponovnog čišćenja i obratiti pažnju na bilo kakva fizička oštećenja na transformatoru;
    4.  $1700 M\Omega > R_{iz-VN-NN} > 700M\Omega$  - Obavezno treba ponoviti merenja nakon detaljnijeg čišćenja, ako se rezultati ne poprave obaviti detaljnu laboratorijsku analizu – najverovatnije je potrebno planirati da se energetski transformator pošalje na fabrički remont;
    5.  $700 > R_{iz-VN-NN}$  – Potrebno je transformator isključiti iz pogona i obaviti detaljnu laboratorijsku analizu – najverovatnije planirati da se transformator pošalje na fabrički remont pogotovo ako se pregrejava na pojedinim mestima.
  - **Otpornosti izolacije visokonaponskih i niskonaponskih namotaja prema kućištu transformatora**
    1.  $>3000M\Omega$  - Dobro stanje – nisu potrebne dodatne analize i transformator je bezbedno pustiti u rad;
    2.  $3000M\Omega > R_{iz-VN\&NN-GND} > 1000M\Omega$  - Zaprljanost provodnih izolatora je najverovatnije prilično velika, ponovo obaviti merenja nakon ponovnog čišćenja, obratiti pažnju na bilo kakva fizička oštećenja na provodnim izolatorima;
    3.  $1000 M\Omega > R_{iz-VN\&NN-GND}$  - Obavezno ponoviti merenja nakon detaljnijeg čišćenja, ako se rezultati ne poprave najverovatnije postoji fizičko oštećenje izolatora i treba planirati da se u skorijem vremenskom periodu transformator pošalje na fabrički remont ili zameni provodni izolator.
- Rezultate je moguće predstaviti i grafičkim putem i predstavljen su u tabeli 2.

<b>Otpor izolacije između namotaja</b> $R_{iz-VN-NN}$	$>4000M\Omega$	$>3000M\Omega$	$>1700M\Omega$	$>700$	$<700$
<b>PRETPOSTAVKA</b>	DOBRO STANJE MOŽE DA SE PUSTI U RAD	PROVERITI CURENJE FIZIČKA OŠTEĆENJA MOŽE DA SE PUSTI U RAD	PONOVITI ČIŠĆENJE PONOVITI MERENJA PROVERITI OŠTEĆENJA NAKON PUŠTANJA U RAD PROVERITI DA LI SE TRAFU PREGREVA	OBAVEZNO PONOVITI MERENJA PROVERITI PREGREVANJE PLANIRATI REMONT U SKORIJE VREME	OBAVEZNO PLANIRATI DETALJNU ANALIZU NE PUŠTATI U RAD
<b>Otpor izolacije između namotaja i kućišta</b> $R_{iz-VN\&NN-GND}$	$>3000M\Omega$		$>1000M\Omega$		$<1000M\Omega$
<b>PRETPOSTAVKA</b>	DOBRO STANJE MOŽE DA SE PUSTI U RAD		PROVERITI CURENJE FIZIČKA OŠTEĆENJA MOŽE DA SE PUSTI U RAD		OBAVEZNO PONOVITI MERENJA PROVERITI PREGREVANJE PLANIRATI REMONT U SKORIJE VREME

Tabela 2. -  $R_{iz-VN-NN}$  i  $R_{iz-VN\&NN-GND}$  i pretpostavke o stanju energetskih transformatora

Rezultati ispitivanja otpornosti izolacije visokonaponskih prema niskonaponskim namotajima energetskih transformatora su prikazani na slici 2. Energetski transformatori su svrstani u pet kategorija, prema tabeli 2.



Slika 2. - Rezultati ispitivanja otpornosti izolacije visokonaponskih prema niskonaponskim namotajima energetskih transformatora na terenu

## ZAKLJUČAK

Razvoj elektroenergetskih sistema zahteva stalnu potrebu za: smanjenjem troškova održavanja pogona, povećanu raspoloživost transformatora, povećanje pouzdanosti spečavanja nastanka kvarova, povećanje sigurnosti osoblja i bolju zaštitu životne sredine. Da bi se ostvarili pomenuti zahtevi neophodna je primena dijagnostike i stalnog posmatranja stanja energetskih transformatora (on-line monitoring). Posmatranje energetskih transformatora je automatizovani i kontinualni nadzor stanja transformatora, sistem za obradu podataka i pomoć u donošenju odluke. Pored kontinuiranog nadzora parametara rada transformatora pri donošenju odluke i boljem sagledavanju stanja energetskih transformatora jako je bitno imati u vidu rezultate merenja koja se vrše na terenu (merenje otpora izolacije, termovizija itd.). Posmatranje energetskih transformatora obuhvata: merenje određenih fizičkih veličina transformatora, praćenje stanja opreme transformatora, procena određenih parametara, arhiviranje podataka dobijenih merenjima i procenom, odgovarajuća dijagnostika stanja pojedinih delova transformatora i pristup rezultatima merenja. Jedan od primera on-line monitoringa je SCADA sistem (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition*) koji nudi mogućnost pristupa sistemu posmatranja sa udaljenog mesta. [2] [3] [4]. Zadatak samog posmatranja treba da ispuni sledeće uslove: da smanji troškove održavanja pogona i poveća raspoloživost energetskih objekata. Da bi on-line monitoring ispunio te zahteve sistem posmatranja treba da obrađuje odgovarajući broj mernih veličina koje dovoljno dobro opisuju stanje energetskih transformatora. Takođe, sistem posmatranja treba da bude otporan na smetnje i fleksibilan, da omogućava montažu na već postojeći energetski transformator koji je u pogonu i da je pristupačne cene. Uvođenje SCADA sistema koji u potpunosti prati stanje energetskih transformatora (ne samo temperature ulja i namotaja) zahteva veliko angažovanje ljudstva, vremena i sredstava. Kao prelazno rešenje može se koristiti baza podataka koja se redovno ažurira merenjima koja se vrše na terenu i unapređuje sistem odlučivanja na osnovu zapažanja o fizičkom i električnom stanju energetskih transformatora. Podaci dobijeni na terenu mogu biti smešteni u MS Access ili MySQL bazi podataka što omogućava brzi pristup, dodavanje podataka i kreiranje različitih vrsta dinamičkih izveštaja dobijenih na osnovu tih podataka. Kao rezultat angažovanja profesionalno osposobljenih ljudskih resursa (kadrova) koji manipulišu dinamičkim izveštajima dobijamo brza i u većini slučajeva tačna predviđanja budućih stanja energetskih transformatora kao i predviđanja mogućih kvarova. Baza se može kasnije implementirati u SCADA sistem nakon njegovog uvođenja kako bi se broj osvežavanja on-line podataka kritičnih tačaka povećavao, a vreme između dva osvežavanja smanjilo.

**Ključne reči:** održavanje energetskih transformatora, otpornost izolacije namotaja, dielektrična svojstva ulja, termovizijska snimanja.

## LITERATURA

1. Nahman J. i Mijailović V, 2000, "Visokonaponska postrojenja", "Beopres", 236-254
2. Mikulecky A. i Knez N, 1999, "Zbornik IV. Savjetovanja HK CIGRE", R-12-03  
[http://bib.irb.hr/datoteka/43558.12\\_03.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/43558.12_03.pdf)

---

3. W. H. Bartley, "Analysis of Transformer Failures", International Association of Engineering Insurers 36th Annual Conference Stockholm, 2003,  
[http://www.imia.com/documents/wgp33\(03\).pdf](http://www.imia.com/documents/wgp33(03).pdf)
4. Keitoue S, "Motrenje energetskih transformatora",  
[http://www.fer.hr/download/repository/Kvalifikacijski\\_doktorski\\_ispit\\_-\\_Samir\\_Keitoue.pdf](http://www.fer.hr/download/repository/Kvalifikacijski_doktorski_ispit_-_Samir_Keitoue.pdf)