

## **DETALJNA ANALIZA STANJA NEKOLIKO MERNIH TRANSFORMATORA 110 kV**

D. Obradović, EPS - P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Srbija

### **UVOD**

U prethodnim godinama je na velikom broju strujnih i naponskih mernih transformatora 110 kV izvršeno ultrazvučno ispitivanje parcijalnih pražnjenja i gasnohromatografska analiza ulja. Na osnovu rezultata tih ispitivanja deo mernih transformatora 110 kV je zamenjen, a deo je menjan prilikom rekonstrukcija trafostanica. U pojedinim 110 kV poljima su pored mernih transformatora 110 kV koji su prema gasnohromatografskoj analizi ulja imali utvrđena parcijalna pražnjenja ili izuzetno velike količine pojedinih gasova zamenjeni i preostali merni transformatori 110 kV iz istog polja koji su također imali velike količine pojedinih gasova sa istom ili drugom vrstom uzroka. Zbog velikih količina gasova predmetni merni transformatori 110 kV nisu predviđeni za ponovnu upotrebu i planirani su za rashod. Na pojedinim tipovima mernih transformatora 110 kV koji su u pogonu je uočeno da veliki postotak ispitanih ima povišen nivo jednog ili više gasova u sličnim odnosima kao i nekoliko demontiranih koji su predviđeni za rashod. Zbog toga je uzet uzorak tih tipova koji bi se detaljno ispitao kako bi se na osnovu uzorka mogla doneti procena stanja i na osnovu toga odluka da li se taj tip treba učestalije nadzirati (gasnohromatografska analiza ulja) ili se treba menjati. Za uzorkovane merne transformatore 110 kV se daju podaci o merenjima i ispitivanjima pre i posle demontiranja iz pogona i podaci o detaljnom vizuelnom pregledu nakon rasklapanja. Na osnovu toga se daje analiza stanja i predlog postupanja sa mernim transformatorima 110 kV određenog tipa.

### **PRAĆENJE STANJA STRUJNIH I NAPONSKIH MERNIH TRANSFORMATORA 110 kV**

Zbog kvarova i zbog potrebe da se utvrdi stanje mernih transformatora 110 kV u prethodnim godinama se počelo sistematično pratiti stanje mernih transformatora 110 kV. Na svim mernim transformatorima 110 kV gde je bilo moguće (konstruktivni razlog) izvršeno je merenje parcijalnih pražnjenja ultrazvučnom metodom. Na 59 mernih transformatora tipa TPE-11 je utvrđeno prisustvo parcijalnih pražnjenja, a isto je potvrđeno rezultatima gasnohromatografske analize ulja sa velikim količinama vodonika i manjim količinama pratećih gasova (metan i etan). Isti su reparisani i ugrađeni, a provera parcijalnih pražnjenja ultrazvučnom metodom i gasnohromatografskom analizom će biti obavljena posle izvesnog vremena u pogonu. Najstariji merni transformatori 110 kV su zamenjeni zbog povišenih količina gasova i delom zbog povišenog sadržaja vode u ulju.

Pošto deo mernih transformatora 110 kV nije mogao da bude ispitan ultrazvučnom metodom i zbog toga što parcijalna pražnjenja mogu biti prolazna (pojave se, nestanu i opet se pojave) zaključeno je da verovatno ima još mernih transformatora 110 kV sa parcijalnim pražnjenjima. Zbog ovog, zbog kvarova na tipovima koji nemaju parcijalna pražnjenja, a i zbog mogućnosti utvrđivanja stanja mernih transformatora 110 kV odlučilo se da se gasnohromatografska analiza uradi na mernim transformatorima 110 kV na kojima se zbog konstrukcije nije moglo obaviti merenje parcijalnih

*Dušan Obradović, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (dusan.obradovic@ev.rs)*

pražnjenja i na drugima gde merenje parcijalnih pražnjenja nije pokazalo postojanje parcijalnih pražnjenja, a imali su veći broj kvarova.

Na 3 komada naponskih mernih transformatora tipa 3VPU-123 gde nije bilo moguće raditi ultrazvučnu metodu je gasnohromatografskom analizom ulja pronađeno da imaju parcijalna pražnjenja od čega dva sa izuzetno velikim količinama vodonika (svi su proizvedeni 1978. i 1979. godine). Daljom analizom uočeno je da veliki postotak naponskih transformatora tipova 3VPU-123, 5VPU-123 i 6VPU-123 kojima je urađena gasnohromatografska analiza ulja ima jedan ili više gasova u količinama koje prelaze maksimalno dozvoljene prema [1]. Pored ovog zanimljivo je da najstariji naponski transformatori 110 kV tipa 3VPU-123 iz 1975. godine imaju daleko bolje rezultate gasnohromatografske analize ulja od novijih istog tipa i od novijih tipova 5VPU-123 i 6VPU-123. Kod velikog broja naponskih transformatora 110 kV navedenih tipova je sadržaj ugljen dioksida i ugljen monoksida izuzetno visok uz postojanje (uglavnom iznad granica) metana, etilena i etana. Ovo ukazuje na značajno pregrevanje celulozne izolacije tako da je ista verovatno oštećena, a to može da bude uzrok proboja.

Ni kod jednog od strujnih mernih transformatora 110 kV na kojima je izvršena gasnohromatografska analiza ulja nije bilo vodonika u većim količinama pa time ni parcijalnih pražnjenja. Kod dela strujnih mernih transformatora je bilo etilena u količinama većim od graničnih, kod nekoliko je bilo metana iznad graničnih količina, a kod dela je bilo etana u značajno većim količinama od graničnih. Ovo ukazuje da postoji pregrevanje ulja s obzirom da količine ugljen monoksida i ugljen dioksida nisu na visokom nivou.

Redni broj	Datum kvara	Tip mernog transformatora	Godina proizvodnje	Uzrok	Šteta (dinara)	TS
1	21.07.2003.	APU-123	1975	Proboj	350.000	Sombor 2
2	20.09.2003.	APU-123	1975	Proboj	350.000	Odžaci
3	24.08.2004.	4APU-123	1980	Proboj	350.000	Novi Sad 2
4	06.04.2005.	VPU-110	1964	Proboj	3.500.000	Kikinda 1
5	31.07.2005.	APU-123	1975	Proboj	4.180.000	Pančevo 3
6	26.01.2006.	VPU-123	1986	Proboj	350.000	Kovin
7	05.12.2006.	TPE-11C	1984	Parc. praž.	200.000	Subotica 1
8	11.05.2007.	VPU-123	1969	Proboj	800.000	S.Mitrovica 1
9	16.08.2008.	APU-123	1969	Proboj	2.000.000	S.Mitrovica 1
10	08.12.2008.	VPU-123	1969	Proboj	1.500.000	S.Mitrovica 1
11	03.08.2009.	3VPU-123	1986	Proboj	700.000	B.Palanka 2
12	16.02.2010.	3VPU-123	1978	Proboj	700.000	Šid

TABELA 1 – Podaci o kvarovima mernih transformatora 110 kV

Procena štete je iz vremena kada se havarija dogodila. Godišnje prosečno dolazi do 1,5 kvara mernih transformatora 110 kV, a u poslednje vreme učestaliji kvarovi su kod naponskih mernih transformatora 110 kV.

#### DETALJNA ANALIZA 4 MERNIA TRANSFORMATORA 110 kV

Zbog značajnih količina gasova uzet je uzorak od 4 merna transformatora 110 kV kako bi se na osnovu uzorka mogla doneti procena stanja i na osnovu toga odluka da li se ti tipovi trebaju učestalije nadzirati (gasnohromatografska analiza ulja) ili se treba menjati. Strujni transformatori 110 kV tipa 4APU-123 f.br. 986438/80 i 986439/80 su demontirani iz pogona prilikom rekonstrukcije 110 kV polja, a dva naponska merna transformatora 110 kV tipa 3VPU-123 su demontirani nakon eksplozije jednog od tri iz istog polja. Ovi tipovi su odabrani za detaljnu analizu jer većina mernih transformatora 110 kV ovog tipa ima povišene gasove koji ukazuju na pregrevanje i uljne i papirne izolacije, a na njima je bilo havarija.

Granice prema IEC 60422	Dobro	Zadovoljavajuće	Loše
Dielektrična čvrstoća (kV/cm)	>200	160-200	<160
Međupovršinski napon (mgKOH/g)	>28	22-28	<22
Tangens delta (*10e-3)	<100	100-300	>300
Specifični otpor na 90 °C (GΩm)	>3	0,4-3	<0.4
Sadržaj vode (ppm)	<5	5-15	>15
Talog	Rezultat manji od 0,02 % mase može biti zanemaren		

TABELA 2 - Granice za ispitane fizičke, hemijske i električne karakteristike ulja klase E prema [1]

Dušan Obradović, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (dusan.obradovic@ev.rs)

Merni transformatori 110 kV spadaju u klasu E (do i uključujući nominalni napon mreže od 170 kV). Međupovršinski napon nije rutinski test i u tabeli su ubačene vrednosti za energetske transformatore. Granične vrednosti tangensa delta za merne transformatore klase D (iznad 170 kV) su 10 puta manje od klase E (u tabeli 5 [1] se navodi da su kod nekih tipova već kod vrednosti tangens delta od  $40 \cdot 10^{-3}$  prijavljenei ozbiljni kvarovi).

Fabrički broj	Dielektrična čvrstoća (kV/cm)	Međupovršinski napon (mgKOH/g)	Tangens delta ( $\cdot 10^{-3}$ )	Specifični otpor ( $G\Omega m$ )	Sadržaj vode (ppm)	Talog
986438/80	294.4	26.3	85.9	8.1	6	nema
986439/80	293.2	27.0	89.8	9.0	11	nema
783347/79	197.6	25.5	14.6	29.3	11	nema
782280/76	286.0	23.6	13.3	31.8	6	nema

TABELA 3 - Rezultati FHE analize ulja

Ispitivanje kiselosti kao standardnog ispitivanja nije moglo biti obavljeno zbog nedostatka materijala potrebnog za ispitivanje. U tabeli 3. se vidi da su sve vrednosti ispitanih FHE karakteristika dobre ili zadovoljavajuće.

	H <sub>2</sub> (ppm)	CH <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
Granice prema IEC 60599	300	30	2	10	50	300	900
Granice za Pfiffner	1000	75	10	25	70	1000	2000

TABELA 4 - Granice za gasove prema [2] i za Pfiffner [3]

U tabeli 4. su u redu za granice prema IEC 60599 date maksimalno dozvoljene vrednosti za zaptivene transformatore bez potrebe za bilo kakvom preporučenom aktivnošću. Date su i granice koje preporučuje proizvođač za svoje merne transformatore.

Fabrički broj	H <sub>2</sub> (ppm)	CH <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
986438/80	14	18	<1	72	10	1379	2854
986438/80	15	16	<1	71	4	1327	2915
986439/80	9	21	<1	65	12	1074	2296
986439/80	10	17	<1	68	4	1245	2566
783347/79	<5	140	<1	175	47	2773	14474
783347/79	<5	114	<1	151	34	1629	6654
782280/76	<5	48	<1	81	38	1394	8576
782280/76	<5	46	<1	74	27	1234	6469

TABELA 5 - Rezultati gasnohromatografske analize ulja

U tabeli 5. su dati rezultati gasnohromatografske analize ulja mernih transformatora 110 kV pre ili odmah nakon demontaže iz pogona i nakon stajanja van pogona duže vremena (godinu dana ili više). Na f.br. 783347/79 je došlo do značajnijeg smanjenja količine gasova iz razloga što postoji vlaženje ulja tako da je deo gasova "ispario". Ispitivanje ultrazvučnom metodom kod strujnih mernih transformatora f.br. 986438/80 i 986439/80 je pokazalo da nema parcijalnih pražnjenja. Analiza gasova rastvorenih u ulju pokazuje veoma slične odnose gasova, a nešto veća količina gasova je kod f.br. 986438/80. Količine i odnosi gasova pokazuju da postoji vruće mesto sa temperaturom  $>700$  °C te da su visokoj temperaturi izloženi i ulje i celulozna izolacija. Za tip 3VPU-123 se može izvući sličan zaključak. Nejasno je samo na kojim mestima postoje pregrevanja.

Merenja tangens delta i kapaciteta i merenja otpora izolacije su obavljena prema uputstvu i šemama vezivanja iz [5].

Tip	Fabrički broj	God. proizv.	Temperatura (°C)	Tangens delta (%)	Kapacitet (pF)
4APU-123	986438/80	1980	20	0.4024	423.9
4APU-123	986439/80	1980	20	0.5054	421.3
3VPU-123	783347/79	1979	20	0.5804	191.3
3VPU-123	782280/76	1976	-	-	-

TABELA 6 - Rezultati merenja tangens delta i kapaciteta

Zbog izvedbe naponskog mernog transformatora 3VPU-123 f.br. 782280/76 nije bilo moguće izvršiti merenje tangens delta i kapaciteta. U [4] su date granice za vrednosti tangens delta i otpora izolacije na 60 sekundi za preporuku regeneracije izolacije. Pored toga su date i granice za regeneraciju izolacije i granice za isključenje iz pogona. Granice za preporuku regeneracije izolacije za tip 4APU-1123 su vrednost tangens delta veća od 1 % i vrednost otpora izolacije na 60 sekundi manja od 150-200 GΩ, dok su za tip 3VPU-123 vrednost tangens delta veća od 1,3 % i vrednost otpora izolacije manja od 15-30 GΩ. U [5] su date granice za isključenje iz pogona, obaveznu regeneraciju i preporuku regeneracije za vrednost tangens delta, otpora izolacije nakon 10 minuta i polarizacionog indeksa  $R_{10}/R_{15}$ . Za preporuku regeneracije izolacije za tip 4APU-123 tangens delta treba da je manji od 1,3 %, otpor izolacije nakon 10 minuta veći od 160-240 GΩ i polarizacioni indeks veći od 2 dok za tip 3VPU-123 tangens delta treba da je manji od 1,3 %, otpor izolacije nakon 10 minuta treba da je veći od 20-40 GΩ i polarizacioni indeks veći od 1,4.

Vreme (s)	R (MΩ)					
	4APU-123 986438/80	4APU-123 986439/80	3VPU-123 783347/79		3VPU-123 782280/76	
	VN-M	VN-M	VN-NN	VN-M	VN-NN	VN-M
15	44400	41400	33200	136000	40800	34.4
60	162000	152000	80500	258000	60000	85.0
120	222000	214000	-	300000	69500	93.5
180	276000	254000	-	314000	76500	104.0
240	308000	282000	-	342000	81500	100.0
300	336000	306000	143000	316000	86000	110.0
360	354000	324000	153000	370000	90000	118.0
420	378000	336000	160000	380000	92000	126.0
480	398000	348000	168000	384000	95500	133.0
540	416000	356000	173000	394000	98000	127.0
600	428000	364000	182000	390000	100000	139.0
$R_{60}/R_{15}$	3.65	3.67	2.42	1.90	1.47	2.47
Ocena stanja	Dobro	Dobro	Dobro	Dobro	Sumnjivo	Dobro
$R_{10}/R_{15}$	2.64	2.39	2.26	1.51	1.67	1.63
Ocena stanja	Dobro	Dobro	Dobro	Sumnjivo?	Sumnjivo?	Sumnjivo?
$R_{60}$	162000	152000	80500	258000	60000	85
Ocena stanja	Sumnjivo	Sumnjivo	Dobro	Dobro	Dobro	Loše
$R_{10}$	428000	364000	182000	390000	100000	139
Ocena stanja	Dobro	Dobro	Dobro	Dobro	Dobro	Loše

TABELA 6 - Rezultati merenja tangens delta i kapaciteta

Merenje otpora izolacije za VN-M i/ili VN-NN sa određivanjem polarizacionih odnosa  $R_{60}/R_{15}$  i  $R_{10}/R_{15}$  je odrađeno pri temperaturi ulja i ambijenta od 20 °C u radionici.

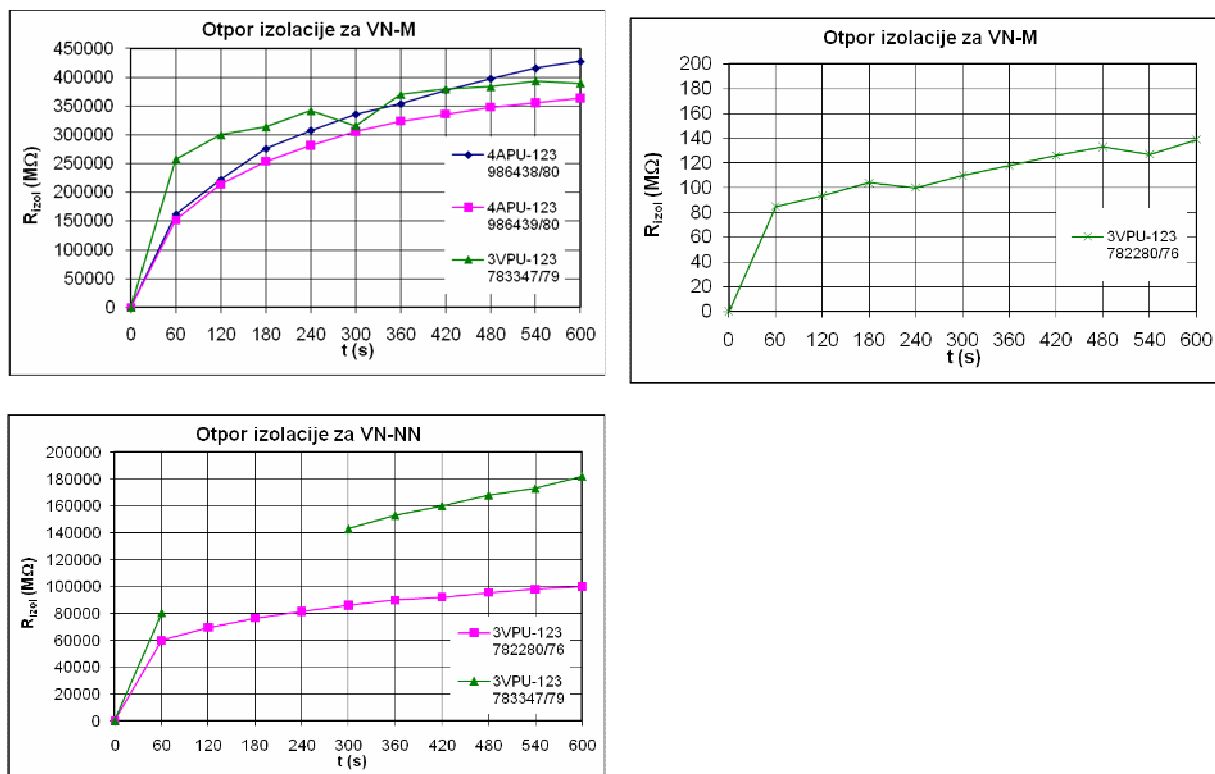
Vrednosti otpora izolacije VN-NN za tip 4APU-123 je veoma kratko nakon početka merenja premašio maksimalno moguću merenu vrednost od 1 TΩ. Sagledavajući granice za preporuku regeneracije izolacije vidi se da su po otporu izolacije i indeksima u nešto boljem stanju strujni transformatori 4APU-123.

Očigledno je da vrednost otpora izolacije izuzev u jednom slučaju ima veoma visoke vrednosti pa bi se moglo reći da je izolacioni sistem dobar, ali visoke vrednosti otpora izolacije ne znače da je i stanje izolacionog sistema dobro.

Na slici 1 su prikazane karakteristike promene otpora izolacije u vremenu. Zbog jednostavnije izrade grafika u graficima se ne vidi podatak o otporu izolacije na 15 sekundi. Prekid kod karakteristike otpora izolacije VN-NN za 3VPU-123 f.br. 783347/79 znači da nisu zabeležene vrednosti na 2, 3 i 4 minuta. Sagledavajući karakteristike promene otpora izolacije u odnosu na vreme kod tipa 4APU-123 vidi se nagli porast otpora izolacije na početku (što je normalno), a ravnomeran rast postoji i u blizini 10 minutnog merenja. Ako uzmemo u obzir da je kod f.br. 986438/80 sadržaj vode u ulju manji kao i vrednost tangens delta može se reći da je stanje izolacionog sistema f.br. 986438/80 u boljem stanju nego f.br. 986439/80.

Kod tipova 3VPU-123 vidi se da je stanje izolacionog sistema lošije nego kod tipa 4APU-123. Vrednost tangens delta kod jednog naponskog mernog transformatora tipa 3VPU-123 je veća, ali zbog nepoznavanja početnih vrednost ovo ne može biti razlog da kažemo da je izolacioni sistem lošiji nego

kod 4APU-123. Sagledavanjem vrednosti otpora izolacije možemo reći da naponski merni transformator 3VPU-123 f.br. 782280/76 ima nisku vrednost otpora izolacije VN-M. Ostale vrednosti otpora izolacije za 3VPU-123 su visoke. Karakteristike sa slika pokazuju da kod 3VPU-123 postoje oscilacije vrednosti otpora izolacije. Na karakteristikama su one manje nego što su uočene između pojedinih tačaka očitavanja.



SLIKA 1 - Karakteristike promene otpora izolacije

Na pojedinim karakteristikama otpora izolacije se vidi oscilovanje vrednosti otpora izolacije, a na drugima se to oscilovanje ne vidi. Mora se reći da je oscilovanje bilo na svim merenjima između tačaka očitavanja, čak i u većoj meri nego što se vidi na karakteristikama. U [6] je dat prikaz oscilovanja vrednosti otpora izolacije kod izolacije zaprljane po površini. Moguće je da je i kod ispitanih mernih transformatora 110 kV površina izolacije zaprljana.

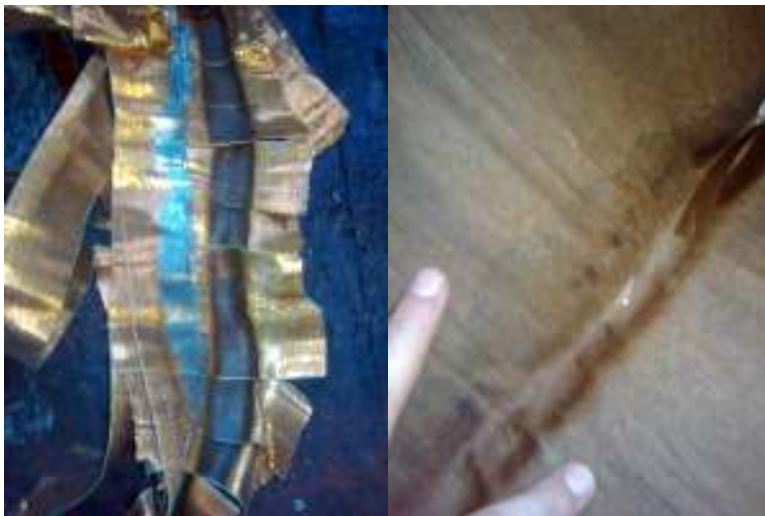
GH analizom koja pokazuje pregrevanje ulja i papira i merenjima koja ukazuju na (lokalnu) zaprljanost površine izolacije se ne može utvrditi tačan izvor i lokacija problema. Lokacija je od presudne važnosti jer ukoliko se time narušava izolacioni sistem može doći do proboja sa eksplozijom mernog transformatora i oštećenjem ili uništenjem okolne opreme. Izvor je bitan konstruktorima kako bi izborom odgovarajuće izvedbe i korišćenjem odgovarajućih materijala izbegli uočene nedostatke. Zbog visokih količina gasova odabrana su dva "lošija" merna transformatora i izvršena je kompletna demontaža kako bi se utvrdio izvor i lokacija problema.

Na slici 2 su prikazane tri fotografije su za tip 3VPU-123 f.br. 782280/76 sa mestima na kojima su uočene promene. Prva fotografija sa leva prikazuje nagoren bužir na izvodu od priključne stezaljke mernog transformatora verovatno od pregrevanja usled lošijeg kontakta. Druga fotografija sa leva prikazuje oštećenje (srpolika traka) na ekranu dok u blizini nije uočeno oštećenje papirne izolacije. Treća fotografija sa leva prikazuje gvozdene vijke koji služe za vertikalno učvršćenje magnetnog kola preko bukovih isečaka. Dva vijka i dva izolaciona cilindra (kao i ulje koje se tu nalazilo) su bili izloženi visokim temperaturama što se vidi po promeni boje i oni su bili u neposrednoj blizini magnetnog kola, dok je treći vijak udaljen od magnetnog kola. Na samom magnetnom kolu nisu uočene promene boje. Očigledno je da je glavni izvor visokih količina gasova pregrevanje gvozdениh vijaka usled vrtložnih struja zbog zatvaranja magnetnog fluksa preko vijaka zbog blizine magnetnog kola, ali ova lokacija zbog relativno velike udaljenosti od namotaja teško da može uzrokovati oštećenje papirne izolacije namotaja i sledstveno tome proboj. Preostale dve lokacije su manji izvor gasova, ali oštećenje ekrana bi moglo biti uzrok proboja ukoliko ovo oštećenje u daljem toku oštećuje izolaciju namotaja.



SLIKA 2 - Fotografije naponskog mernog transformatora 3VPU-123 f.br. 782280/76

Na slici 3 su za tip 4APU-123 f.br. 986438/80 prikazane fotografije sa mestima gde su uočene promene. Prva fotografija sa leva prikazuje izgled ekrana na prvom stepenastom prelazu polazeći od vrha mernog transformatora. Vidi se da je na tom mestu ekran zatamnjen. Na tom mestu se nalazi crni gumeni obruč koji može biti uzrok crnila (puštanje boje usled visoke temperature), ali i ne mora. Na drugoj fotografiji sa leva je prikazan sloj papira koji se naslanja na ekran sa prve fotografije sa leva. Vidi se da je papir također potamnio i to u više slojeva. I na drugom prelazu (polazeći od vrha) je uočeno isto. Pored ovog jak miris i krtost gumenog obruča odaju da je na tim delovima bilo značajnog pregrevanja. Na drugim mestima nisu uočene promene pa pretpostavljam da je uzrok pregrevanja izloženost ekrana jakom električnom polju. Oštećenje izolacije usled pregrevanja ekrana može da bude uzrok eventualnog proboja mernog transformatora.



SLIKA 3 - Fotografije strujnog mernog transformatora 4APU-123 f.br. 986438/80

## ZAKLJUČAK

Ovaj referat je pokušaj da se obavi detaljna analiza dva tipa mernih transformatora koji imaju pregrevanje prema GH analizi kao i veći deo tih tipova koji je u pogonu. Deo željenih ispitivanja je obavljen, a neka dodatna ispitivanja koja bi detaljnije oslikala stanje izolacionog sistema (npr. analiza furana i stepen depolimerizacije papira iz različitih slojeva) nisu obavljena. Polarizacioni odnos  $R_{10}/R_1$  je bolje upotrebljavati jer za prvu procenu stanja izolacije daje kvalitetnije podatke. Za detaljniju analizu može da se koristi i polarizacioni odnos  $R_{60}/R_{15}$ .

Po merenjima otpora izolacije i tangens delta izolacioni sistem je u zadovoljavajućem stanju (izuzev f.br. 782280/76). FHE analiza ulja pokazuje da su ulja dobrih ili zadovoljavajućih karakteristika.

GH analiza ukazuje na probleme pregrevanja, a to je potvrđeno detaljnim vizuelnim pregledom sa uočenim mestima pregrevanja. Verovatno su i na drugim mernim transformatorima istih tipova slični

problemi pregrevanja, ali možda postoje i drugi. Odnosi CO<sub>2</sub>/CO veći od 10 ili manji od 3 koji prema različitim merilima pokazuju raspadanje papirne (celulozne) izolacije zadovoljavaju za strujne merne transformatore, ali ne zadovoljavaju za naponske merne transformatore jer je za oba tipa pregledom utvrđeno temperaturno razlaganje celulozne izolacije.

Nastaviti sa detaljnim ispitivanjima i na osnovu većeg uzorka pokušati doći do ocene stanja izolacionog sistema. Kao krajnji cilj bi se odredili merni transformatori ili grupa mernih transformatora (po tipu, godini proizvodnje,...) koji su sumnjivi na povećanu mogućnost vremenski bliskog kvara kako bi se na vreme izvršila zamena sumnjivih.

## LITERATURA

1. IEC 60422:2005, Mineralna izolaciona ulja u električnoj opremi - Vodič za nadzor i održavanje, Medunarodna elektrotehnička komisija (IEC)
2. IEC 60599:1999+A1:2007 "Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - guide to the interpretation of dissolved and free gas analysis"
3. Pfiffner, "Uputstvo za montažu i održavanje - strujni transformator za spoljnu montažu tip JOF 123-170", Septembar 2004.
4. Elektrotehnički institut "Rade Končar" - Zavod za visoki napon, "Preventivne kontrole mjernih i energetskih transformatora u pogonu", Jun 1990.
5. Elektroprivreda Srbije - Grupa autora, "Kontrola, ispitivanje i ocena stanja mernih transformatora", Beograd, 1996.
6. David L. McKinnon, "Insulation resistance profile (IRP) and its use for predictive maintenance on motors"