

## **ISKUSTVA U REPARACIJI MERNIH TRANSFORMATORA 110 kV**

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

### **UVOD**

U referatu se daje prikaz iskustava u reparaciji mernih transformatora 110 kV kod proizvođača. Prikazuje se tehnologija reparacije, merenja i ispitivanja obavljena pre i posle reparacije. Porede se troškovi reparacije mernih transformatora i zamene novim mernim transformatorima. U zaključku se sažeto daje mišljenje o kvalitetu obavljene reparacije, kao i mogući pravci delovanja kod starih mernih transformatora s obzirom na stanje uljno-papirne izolacije.

Referat prezentuje način i metode kojima su rešavana vanredna stanja u eksploataciji mernih transformatora. Merni transformatori u pogonu elektroenergetskog sistema P.D. "Elektrovojvodina" su u velikoj većini koncipirani na bazi uljno-papirne izolacije. Iskustveno se može tvrditi da je životni vek mernih transformatora 110 kV oko 30 godina, što je dokazano analizom hemijskih procesa starenja u izolaciji, koji imaju nepovratni karakter. Usled termičkog naprezanja i prisustva kiseonika i vlage postepeno dolazi do degradacije izolacionog sistema.

### **STARENJE IZOLACIJE**

Veoma je bitno proceniti prisustvo ubrzanog starenja ili predhavarijskog stanja. Prirodno starenje koje se ne može zaobići u radu mernih transformatora ne sme biti uzrok neočekivanih sistemskih kvarova. Osim što su merni transformatori 110 kV podvrgnuti naponskim naprezanjima industrijske frekvencije podvrgnuti su i prelaznim prenaponskim naprezanjima (atmosferski, sklopni prenaponi). Ovi prenaponi mogu biti različitog intenziteta, oblika i trajanja. Slabljenje svojstava izolacionog materijala povezano je sa hemijskim reakcijama koje se javljaju unutar materijala, posebno u slojevitoj celuloznoj izolaciji namotaja. Ove reakcije su izazvane pirolizom, oksidacijom i hidrolizom, a ubrzane povišenjem temperature, sadržaja kiseonika i vlage. Hemijske reakcije dovode do pucanja molekula celuloze i sniženja stepena polarizacije. Pored niza drugih faktora na starenje uljno-papirnog izolacionog sistema najveći uticaj imaju voda i kiseonik. Papir sa 1% sadržaja vlage stari i do 10 puta brže nego sa sadržajem vlage od 0,1%. Voda je naročito razlažući oksidacioni proizvod i ubrzava oksidacione procese. Voda je i uzrok i rezultat razlaganja papira. Voda na transformatorima u pogonu se kreće ka hladnijim delovima transformatora i mestima najvećih električnih naprezanja. Voda će se nejednako rasporediti sa mnogo više vode u papiru nego u ulju.

Voda može biti u izolaciji prilikom isporuke iz fabrike. Vлага može da uđe u slučajevima: otvaranja mernih transformatora - apsorpcija iz atmosfere, ako postoji curenje (ili disanje preko membrane) - ulazi u obliku vode ili vlage iz vazduha i degradacijom izolacije starenjem - stvara se vlaga.

Pogoršane karakteristike ulja uzrokuju i pogoršanje stanja čvrste izolacije. Glavni parametri koji imaju uticaj na starenje čvrste i tečne izolacije su temperatura uljnog/celuloznog dielektrika, prisutnost vode i

prisutnost kiseonika. Ukoliko je tehnološkim procesom izrade mernog transformatora obezbeđen nizak sadržaj kiseonika i nizak sadržaj vlage u papiru i ulju može se i nakon dužeg vremena pogona očekivati nizak sadržaj kiseonika i vlage ukoliko je zaptivenost mernog transformatora očuvana i ukoliko nije došlo do značajne ostarelosti uljno-papirne izolacije.

## TEHNOLOGIJA REPARACIJE MERNIH TRANSFORMATORA

Obzirom da je već početkom devedesetih godina dvadesetog veka bilo dosta opreme na izmaku „projektovanog“ životnog veka sa dokazanim pogoršanim karakteristikama (prisutnost parcijalnih pražnjenja dokazanih analizom gasova rastvorenih u ulju) te da su počele društvene i privredne neprilike pristupilo se razmatranju mogućnosti prevazilaženja problema na najoptimalniji način, s obzirom da rezerva mernih transformatora 110 kV nije bila neograničena. Tako se došlo u situaciju da se tražilo rešenje na domaćem terenu i već u toku 1993.godine se krenulo sa reparacijom neispravnih mernih transformatora 110 kV u domaćoj fabrici mernih transformatora srednjeg napona. To je bio jedini način da se obezbedi potrebna rezerva za održavanje elektroenergetskih objekata. U narednom periodu do uspostavljanja normalnijih spoljnotrgovinskih odnosa izvršena je potpuna ili delimična reparacija sa finalnim komadnim ispitivanjima na 48 mernih transformatora 110 kV. U istom periodu reparisani merni transformatori 110 kV su po potrebi montirani u pogon.

Potpuna reparacija strujnih mernih transformatora 110kV se sastoji iz tri grupe aktivnosti.

- Prvi deo je defektaža koja podrazumeva vizuelnu kontrolu, merenje tg  $\delta$ , otpora izolacije, merenje parcijalnih pražnjenja, podnosivi jednominutni napon, kontrolu probojne čvrstoće ulja, ispuštanje ulja, demontažu odnosno vađenje aktivnog dela i skidanje stare izolacije.

- Drugi deo aktivnosti je formiranje „novog“ mernog transformatora što podrazumeva motanje nove bakarne trake, motanje nove izolacije, kompletan proces sušenja sistema izolacije transformatora i impregnacije novim uljem, promena zaptivača, ugradnja nove dilatacione membrane, otklanjanje curenja ulja na aralditnim delovima, kompletiranje nedostajućim delovima i završna montaža.

- Treći deo su finalna komadna ispitivanja.

Delimična reparacija zahteva ispuštanje ulja bez zamene osnovne primarne izolacije, ali sa izvođenjem tehnološkog procesa ispiranja ovlažene uljem impregnisane izolacije i impregnacije prečišćenim ili novim uljem pod temperaturom i vakuumom.

Potpuna reparacija zahteva izradu nove primarne izolacije čime se praktično ima nov merni transformator.

Približna vrednost delimične reparacije je 30% od vrednosti novog mernog transformatora a vrednost potpune reparacije je do 60% vrednosti novog mernog transformatora.

## REZULTATI REPARACIJE MERNIH TRANSFORMATORA 90-IH GODINA 20. VEKA

Ovde će se prikazati obrađeni podaci o potpuno reparisanim mernim transformatorima u 90-im godinama 20. veka. Nakon reparacije i ispitivanja u fabrici su svi prikazani merni transformatori imali dobre karakteristike. U Tabeli 1. su dati podaci o rezultatima ispitivanja parcijalnih pražnjenja mernih transformatora reparisanih 90-ih godina 20. veka. Ispitivanja parcijalnih pražnjenja metodom ultrazvuka su obavljena u 2005. godini.

Vrsta MT	Tip(ovi)	Reparisano (komada)	Neispravan po PP i GH (komada)
SMT	TPE-11B, TPE-11C	28	1
SMT	APU-123, 4APU-123, 5APU-123 i 6APUm-123	11	-
NMT	VPU-123, 6VPU-123	9	-

TABELA 1 - ISPITANI MERNI TRANSFORMATORI REPARISANI 90-IH GODINA 20. VEKA

Vidi se da je od 48 komada potpuno reparisanih mernih transformatora nakon ispitivanja parcijalnih pražnjenja (oko 10 godina nakon reparacije) pronađen jedan koji je označen kao neispravan i na njemu je izvršena analiza gasova rastvorenih u ulju potvrđujući rezultat ispitivanja parcijalnih pražnjenja. Rezultati analize gasova rastvorenih u ulju za predmetni merni transformator se daju u Tabeli 2. Očigledno je prema velikoj količini vodonika da su u pitanju parcijalna pražnjenja, a zbog velike količine metana i etana u pitanju su i pražnjenja niske energije, tj. varničenje. Predmetni merni transformator je ponovo reparisan 2006. godine i montiran u pogon. U narednom periodu će se izvršiti ponovljeno ispitivanje parcijalnih pražnjenja i analiza gasova rastvorenih u ulju.

*Dusan Obradovic, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (dusan.obradovic@ev.co.yu)*

Tip	God.	Fabr. br.	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
TPE-11C	1984	6007	46690	12270	1149	1	17	160	1134	10

TABELA 2 – REZULTATI ANALIZE GASOVA RASTVORENIH U ULJU

Ostalih 47 repariranih mernih transformatora je ispravno nakon desetak godina pogona od reparacije pa se može zaključiti da je reparacija bila uspešna s obzirom na privredne i društvene uslove u periodu u kojem je vršena reparacija. U narednom periodu će se nastaviti sa proverama repariranih mernih transformatora, tj. na odgovarajućem uzorku će se izvršiti analiza gasova rastvorenih u ulju kako bi se potvrdili rezultati ispitivanja parcijalnih pražnjenja.

## REZULTATI REPARACIJE MERNIH TRANSFORMATORA 2006. I 2007. GODINE

Ovde će se prikazati obrađeni podaci o potpuno repariranim mernim transformatorima 2006. i 2007. godine. Daju se podaci o merenjima pre i posle reparacije (fabrička ispitivanja) i daju se podaci o obavljenim merenjima parcijalnih pražnjenja i (ili) analize gasova rastvorenih u ulju nakon reparacije. Nakon reparacije su svi prikazani merni transformatori nakon fabričkog ispitivanja imali dobre karakteristike.

U 2005. godini je na velikom broju 110 kV strujnih mernih transformatora i naponskih mernih transformatora izvršeno od strane trećeg lica ultrazvučno ispitivanje sa uzimanjem uzoraka ulja za gasnohromatografsku analizu ulja iz mernih transformatora koji su bili sumnjivi (ultrazvučni uređaj pokazao postojanje parcijalnih pražnjenja) i metoda je potpuno potvrđena analizom gasova rastvorenih u ulju. Utvrđena je sumnja na kvar na približno 3% od ukupnog broja ispitanih mernih transformatora 110 kV. Pristupilo se potpunoj reparaciji neispravnih mernih transformatora 110 kV u fabrici mernih transformatora iz okruženja Republike Srbije. U Tabeli 3. su prikazani, radi poređenja, rezultati merenja kapaciteta, faktora dielektričnih gubitaka i nivoa parcijalnih pražnjenja za deo navedenih iz pogona demontiranih sumnjivih mernih transformatora 110 kV pre i posle reparacije istih u 2006. i 2007. godini u navedenoj fabrici.

Tip	F.br.	C (pF) pre	C (pF) posle	tg δ (%) pre	tg δ (%) posle	PP(pC) pre	PP(pC) posle
TPE-11C	9817	619	600	1,29	0,302	1,5	1,5
TPE-11C	13052	574	644	0,908	0,31	60	3,5
TPE-11C	8523	590	596	1,02	0,329	10000	1,5
TPE-11C	9837	644	604	4,26	0,3	-	1,5
TPE-11C	15792	619	657	0,547	0,308	30	3
TPE-11C	8495	598	591	0,96	0,35	90	1,5
TPE-11C	13058	600	631	0,592	0,23	700	2
TPE-11C	13084	585	603	1,66	0,247	2000	2
TPE-11C	14818	583	574	1,34	0,257	15000	3
TPE-11C	13080	602	632	1,38	0,256	4,00	1,5
TPE-11C	13088	584	553	1,7	0,25	120	2
TPE-11C	13078	607	590	1,19	0,23	1500	3,5
TPE-11C	14544	544	563	2,03	0,244	4500	2
TPE-11C	9834	609	557	1,78	0,246	3000	3
TPE-11C	14815	583	621	1,34	0,242	15000	6
TPE-11C	13080	602	631	1,38	0,418	400	2
TPE-11C	8519	583	594	1,38	0,29	10000	8
TPE-11C	13060	565	596	1,0	0,289	1100	2
TPE-11C	14817	607	613	1,29	0,27	1500	2
TPE-11B	6361	396	399	8,94	0,39	3000	6
TPE-11B	6359	435	425	1,64	0,28	10000	2

TABELA 3 - REZULTATI ISPITIVANJA MERNIH TRANSFORMATORA PRE I POSLE REPARACIJE

Iz prikaza rezultata merenja kapaciteta, faktora dielektričnih gubitaka i nivoa parcijalnih pražnjenja evidentno je da su navedene vrednosti pre reparacije iznad dozvoljenih, a da je reparacija uspeła.

*Dusan Obradovic, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (dusan.obradovic@ev.co.yu)*

Navedeni strujni merni transformatori su posle reparacije montirani u pogon. Deo reparisanih strujnih mernih transformatora je posle približno godinu i po posle montaže u pogon podvrgnut analizi gasova rastvorenih u ulju i zadovoljili su kriterijume ispitivanja gasnih karakteristika.

## NASTAVAK PREVENTIVNE KONTROLE STANJA MERNIH TRANSFORMATORA 110 kV

Preventivna vizuelna kontrola stanja mernih transformatora 110 kV na području P.D. „Elektrovojvodina“ vršena je sistematski u predviđenim periodima. Također, jednom godišnje vršena je termovizijska kontrola spojeva elemenata elektroenergetskog sistema. Za uočene sumnjive elemente vršeno je uzimanje uzoraka ulja i vršena analiza gasova rastvorenih u ulju istih. Analizom gasova rastvorenih u ulju na osnovu kvantitativnog nivoa i kvalitativnog odnosa karakterističnih gasova označavan je tip i intenzitet kvara na mernim transformatorima.

Tip	Klasifikacija tipa kvara	Odnosi gasova		
		C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6
1	Bez kvara	<0,1	0,1 - 1	<1
2	Parcijalna pražnjenja male energije	<0,1	<0,1	<1
3	Parcijalna pražnjenja velike energije	0,1 – 0,3	<0,1	<1
4	Pražnjenja male energije	0,1 – 0,3 >3,0	0,1 – 1,0	<0,1 – 0,3 >3,0
5	Pražnjenja velike energije	0,1 – 0,3	0,1 – 1,0	>3
6	Termički kvar t<150°C	<0,1	0,1 – 1,0	1,0 – 3,0
7	Termički kvar 150<t<300°C	<0,1	>1,0	<0,1
8	Termički kvar 300<t<700°C	<0,1	>1,0	1,0 – 3,0
9	Termički kvar t>700 °C	<0,1	>1,0	>3

TABELA 4 – KLASIFIKACIJA TIPRA KVARA PREMA ODNOSU KONCENTRACIJE GASOVA

U toku 2007.godine pristupilo se dodatnom uzimanju uzoraka ulja iz strujnih mernih transformatora 110 kV i analizi gasova rastvorenih u ulju istih iz grupe koja je bila označena kao sumnjiva po pitanju verodostojnosti merenja obavljenih u 2005. godini. U sledećoj tabeli su prikazani rezultati navedene GH kontrole.

	TS, Polje, Faza	Tip	God.	Fabr. br.	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Granične vrednosti prema standardu (ppm)					100	50	50	5	25	1000	5000	30
1	Novi Sad4, T101, "0"	APU-123		983406	<5	10	7	<1	48	196	4700	8
2	Novi Sad4, T101, "4"	APU-123		983367	8	16	3	<1	52	612	6107	12
3	Novi Sad4, T101, "8"	APU-123		983363	<5	14	4	<1	25	333	3486	15
4	B.Palanka2, T101, "0"	3APU-123		986435	5	9	7	<1	45	419	1923	10
5	B.Palanka2, T101, "4"	TPE-11B		5722/91	<5	1	<1	<1	5	140	799	8
6	B.Palanka2, T101, "8"	3APU-123	1975	984163/75	<5	2	<1	<1	3	83	860	23
7	Indija, T101, "0"	APU-123		983011	<5	14	10	<1	13	336	1176	3
8	Indija, T101, "4"	APU-123		983028	<5	3	2	<1	3	83	1653	16
9	Indija, T101, "8"	APU-123		983042	5	15	8	<1	8	401	1149	6
10	Sombor2, S100, "0"	APU-123		984147	<5	4	<1	<1	10	56	955	15
11	Sombor2, S100, "4"	APU-123		984143	8	12	5	<1	11	406	1038	10
12	Sombor2, S100, "8"	APU-123		984148	<5	<1	3	<1	2	<1	1117	24
13	Novi Sad2, T101, "0"	4APU-123	1980	986439/80	9	21	12	<1	65	1074	2296	11
14	Novi Sad2, T101, "4"	4APU-123	1980	986438/80	14	18	10	<1	72	1379	2854	10
15	Novi Sad2, T101, "8"	4APU-123	1980	986442/80	9	25	9	<1	80	1210	2184	7
16	Sr.Mitrovica1, DV170/, "4"	APU-123		982560	10	30	300	<1	20	92	1916	7
17	Kikinda1, T101, "0"	APU-123		983442	13	11	7	<1	35	922	3848	8
18	Kikinda1, T101, "4"	APU-123		983593	29	42	14	<1	82	962	3400	4
19	Kikinda1, T101, "8"	APU-123		983592	42	41	15	<1	72	923	4123	4
20	Subotica1, DV135/1, "0"	APU-110		980394	21	4	12	<1	8	120	1598	32
21	Subotica1, DV135/1, "8"	APU-110		980395	33	1	4	<1	2	103	1246	39
22	Subotica2, T101, "0"	APU-123	1975	984154/75	<5	14	10	<1	88	715	2651	22

23	Subotica2, T101, "4"	APU-123	1975	984151/75	<5	16	11	<1	<b>80</b>	789	2810	25
	<b>TS, Polje, Faza</b>	<b>Tip</b>	<b>God.</b>	<b>Fabr. br.</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>
24	Subotica2, T101, "8"	APU-123	1975	984149/75	<5	16	12	<1	<b>95</b>	706	2499	25
25	Subotica2, T102, "0"	APU-123	1975	984161/75	5	19	6	<1	<b>90</b>	<b>1056</b>	2894	20
26	Subotica2, T102, "4"	APU-123	1975	984153/75	<5	15	10	<1	<b>92</b>	671	2317	21
27	Subotica2, T102, "8"	APU-123	1975	984162/75	<5	15	7	<1	<b>100</b>	830	2799	21
28	Sr.Mitrovica1, DV170/"0"	APU-123		982549	22	2	<b>128</b>	<1	14	124	3934	21
29	Sr.Mitrovica1, DV170/"4"	APU-123		982560	9	26	<b>302</b>	<1	24	108	1964	11
30	Subotica1, DV160/4, "0"	APU-110	1980	986401/80	15	18	4	<1	<b>67</b>	1016	2069	11
31	Subotica1, DV160/4, "4"	APU-110	1980	986398/80	11	15	7	<1	<b>36</b>	366	2180	14
32	Subotica1, DV160/4, "8"	APU-110	1980	986397/80	15	13	2	<1	<b>29</b>	294	1799	11
33	Vrbas1, DV181, "0"	TPE-11B	1985	15792/85	7	2	<1	<1	2	59	336	18
34	Vrbas1, DV181, "4"	APU-123		984146	<5	8	2	<1	19	368	1351	7
35	Vrbas1, DV181, "8"	TPE-11B		5581	19	20	14	<1	17	478	1209	6
36	Sombor2, T101, "0"	APU-123	1976	984524	13	10	4	<1	17	341	2102	18
37	Sombor2, T101, "4"	APU-123	1976	984521								
38	Sombor2, T101, "8"	APU-123	1976	984517/76	<5	3	3	<1	7	41	1008	16
39	Sombor2, T102, "0"	APU-123	1975	984155/75	<5	55	2	<1	12	100	1056	<b>55</b>
40	Sombor2, T102, "4"	APU-123	1975	984166/75	<5	3	2	<1	2	73	726	13
41	Sombor2, T102, "8"	APU-123	1975	984165/75								
42	Odžaci, S100, "0"	APU-123	1976	984528/76	<5	1	2	<1	4	240	1769	
43	Odžaci, S100, "4"	APU-123	1976	984526/76	<5	<1	<1	<1	1	44	619	
44	Odžaci, S100, "8"	APU-123	1976	984527/76	<5	3	2	<1	5	48	870	
45	Subotica 2, S100, "0"	4APU-123	1980	986384/80	8	17	6	<1	75	<b>1082</b>	2379	6
46	Subotica 2, S100, "8"	4APU-123	1980	984142	<5	10	7	<1	49	419	1153	8
47	Pančevo 3, S100, "0"	TPE-11B		5748	<5	2	5	<1	13	116	1510	15
48	Pančevo 3, S100, "4"	APU-123		984144	<5	69	29	<1	93	685	3360	7
49	Pančevo 3, S100, "8"	APU-123		984141	<5	4	9	<1	35	97	2523	12

TABELA 5 – PRIKAZ REZULTATA PREVENTIVNE GASNO-HROMATOGRFSKE ANALIZE ULJA

Iz rezultata analize gasova rastvorenih u ulju mernih transformatora iz tabele 5 se može videti niska koncentracija vodonika što upućuje na zaključak da parcijalnih pražnjenja nije bilo te da je ispitivanje parcijalnih pražnjenja iz 2005. bilo potpuno verodostojno. Zanimljivo je da je analiza gasova rastvorenih u ulju na delu mernih transformatora pokazala povećan nivo etilena sa povećanim nivoom ugljen monoksida, a nekoliko mernih transformatora ima povišen nivo metana i tu je teško odrediti uzrok pojave ovih gasova, tj. vrstu eventualnog kvara.

Pored navedenih aktivnosti, nabavkom savremenog uređaja za primarna ispitivanja transformatora i merenja ugla gubitaka i kapaciteta krajem 2006. godine je započeto merenje od strane zaposlenih i izvršena su merenja na manjem broju strujnih i naponskih mernih transformatora koji se nalaze na rezervi i određene provere na terenu.

## ZAKLJUČAK

Postojeću rezervu mernih transformatora 110 kV i nadalje održavati u ispravnom stanju. Merne transformatore kojima je neophodna zamena ili reparacija menjati sa rezervnim mernim transformatorima, ali zadržati optimalan broj u rezervi s obzirom na brojnost mernih transformatora različitih po prenosnom odnosu i klasi u pogonu.

Planirati veća novčana sredstva za učestalije analize gasova rastvorenih u ulju. U cilju preventivnog održavanja planirati veća novčana sredstva za fabričke reparacije sa zamenom ulja i izvršiti odgovarajuću pripremu po pitanju izrade planova, pokretanja javne nabavke i slično.

Potrebno je nastaviti sa merenjima novim uređajima za precizno dijagnosticiranje stanja mernih transformatora 110kV i po potrebi vršiti analizu gasova rastvorenih u ulju iz istih.

## LITERATURA

- IEC 60599 (Ed.2.1), Električna oprema u pogonu impregnirana mineralnim uljem – Vodič za Dusan Obradovic, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (dusan.obradovic@ev.co.yu)

tumačenje ispitivanja rastvorenih i slobodnih gasova, Medunarodna elektrotehnička komisija (IEC)