

## **ANALIZA GASOVA RASTVORENIH U ULJU DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA 110/x kV**

S. Spremić, EPS - P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Srbija  
D. Petrović, EPS – P.D. "Elektrovojvodina" – Ogranak "ED Subotica", Srbija

### **UVOD**

Analiza gasova rastvorenih u ulju (u daljem tekstu: AGRU) je dijagnostička metoda za određivanje uzroka povećanja nivoa karakterističnih gasova („gasovi kvara“). Pored vodonika i ugljovodonika (metan, acetilen, etilen i etan) određuje se količina ugljen monoksida, ugljen dioksida, kiseonika i azota. Redovne AGRU energetske transformatora su neophodne u cilju praćenja stanja izolacionog sistema. Za distributivne energetske transformatore 110/x kV se redovno vrše AGRU sa periodom od 2 godine izuzev u slučajevima kada su količine karakterističnih gasova povećane (uopšte ili u odnosu na prethodnu AGRU) i tada se AGRU vrše češće zavisno od slučaja do slučaja. IEC 60599 daje opsege 90 % tipičnih količina karakterističnih gasova u ulju energetske transformatora (u daljem tekstu: opsege), a nacionalne laboratorije zavisno od stanja energetske transformatora u nacionalnim okvirima daju svoje opsege koji se mogu razlikovati od opsega prema IEC 60599. Za određivanje stanja transformatora AGRU je veoma dobra dijagnostička metoda koja koristi analizu količina i odnosa karakterističnih gasova, kao i praćenje promene količina gasova, ali i ona ima određene nedostatke jer se u nekim slučajevima ne može dati precizna dijagnoza, a neka oštećenja se sa AGRU ne mogu videti. Svaki karakterističan gas se stvara u unutrašnjosti transformatora pod određenim uticajima. Ti uticaji su parcijalna pražnjenja, varničenje, električni luk, tople (vruće) tačke i starenje izolacije. Samostalno ili zajedno sa klasičnim mernim metodama i novijim ispitnim metodama otkriva važne detalje o stanju transformatora. U ovom referatu se daje prikaz opsega prema IEC 60599, prikaz i razmatranje rezultata AGRU distributivnih energetske transformatora 110/x kV EPS - P.D. Elektrovojvodina po tipovima i daju predlozi za vršenje kvalitetnijih analiza u cilju dobijanja boljih analiza stanja transformatora. U zaključku se predlaže određivanje opsega svih energetske i distributivnih transformatora naponskog nivoa 110 kV i višeg za područje Srbije te opsege po funkciji (ili drugim uslovima) transformatora u elektroenergetskom sistemu ukoliko postoji dovoljno velik uzorak. Ukazuje se na neophodnost vođenja uredne baze podataka o transformatorima (uključujući i podatke AGRU) u cilju omogućavanja najbolje moguće dijagnostike na osnovu AGRU i neophodnost da se i nadalje vrše redovne i učestalije AGRU, a kod sumnjivih transformatora vršenje specijalnih ispitivanja.

### **PRIKAZ OPSEGA**

U ovoj tački će se dati prikaz opsega prema IEC 60599 i predlog za moguće izmene u određivanju opsega. Poređenjem količina pojedinih gasova iz rezultata AGRU u odnosu na opsege se može dobiti veoma gruba slika o stanju transformatora, ali za pravu sliku stanja transformatora neophodno je detaljnije sagledavanje za šta će u nastavku biti dat detaljan prikaz.

*Siniša Spremić, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (sinisa.spremic@ev.rs)*

U TABELI 1 je dat prikaz opsega (u ppm) prema IEC 60599 [1].

	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Svi transformatori	50-150	30-130		60-280	20-90	400-600	3800-14000
Bez reg. sklopke			2-20				
Sa reg. sklopkom			60-280				

TABELA 1 – PRIKAZ OPSEGA PREMA IEC 60599

Opsezi iz Tabele 1. su utvrđeni prema podacima sa 25 električnih mreža širom sveta koje uključuju više od 20000 transformatora.

Tipične količine su prihvatljive količine gasa ispod kojih iskustveno nema utvrđenog ili početnog kvara i koje su pređene samo proizvoljno malim postotkom veće količine gasa, npr. 10 % [1].

Najjednostavniji način za proračun tipičnih količina i opsega se sastoji u tome da se sakupe svi poslednji rezultati AGRU uzimajući u obzir poseban tip opreme. Za svaki razmatrani karakterističan gas se izvrši ređanje tako da se poređaju u niz počev od najmanje prema najvećoj količini gasa. Krećući se od najmanje količine gasa prema najvećoj uzmemo određeni postotak transformatora, npr. ako uzmemo opseg 90 % to znači da ako imamo 200 transformatora doći ćemo do 180-tog transformatora i količina gasa tog transformatora će biti gornja granica, dok će donja granica biti najmanja količina gasa. Dalje se opsezi odrede za svaki razmatrani karakteristični gas na isti način. Cilj korišćenja opsega je u tome da se veća pažnja na praćenju stanja i održavanju posveti transformatorima kojima količine pojedinih gasova izlaze iz opsega u smislu da povećana količina gasova može da ukaze na početnu fazu razvijanja kvara.

Mogući su i drugačiji načini određivanja opsega. U [2] je prikazan drugačiji način određivanja opsega (opštih graničnih vrednosti) svakog gasa pojedinačno koristeći veliku statističku populaciju transformatora (oko 10000 AGRU) korišćenjem normalne (Gauss) raspodele uz statističku analizu celokupne baze podataka sa 95 % nivoom poverenja. Na ovaj način su statistički obrađeni podaci za kompletnu bazu podataka. Pored ovog vrši se i statistička obrada rezultata svakog pojedinačnog transformatora. Moguće je korišćenje Vejbulove (Weibull) raspodele. Smatram da nema potrebe da se za određivanje opsega statistički obrađuju i uključuju prethodne AGRU, ali bi trebalo proveriti rezultate dobijene na oba načina.

S obzirom da blok transformatori, transformatori prenosne mreže i distributivni transformatori rade u različitim uslovima (posebno su bitna opterećenja, tj. radne temperature), pri različitim naponskim nivoima i da su različite starosti bilo bi neophodno da se odrede opsezi po mestu i funkciji u elektroenergetskom sistemu (blok transformator, distributivni, prenosni,...) kako bi se dobili tačniji opsezi. Po starosti je problematično razvrstavanje jer su noviji tipovi transformatora pored konstrukcionih sličnosti ipak i konstrukciono različiti od starijih tipova transformatora pa je teško razlučiti uticaj starosti od drugih uticaja. Problem za određivanje opsega može da predstavlja mala brojnost pojedine "vrste" transformatora.

Pojedinačne mreže se podstiču da računaju tipične količine koje odgovaraju njihovom posebnom skupu transformatora [1]. Opsezi i tipične količine navedene u [1] treba da se koriste kao uobičajene samo kada nisu dostupne tipične količine pojedinačnih mreža.

Opsezi bi se morali odrediti i po tome da li su transformatori bez disanja gde gasovi ostaju zarobljeni u sudu ili slobodnodišući gde gasovi mogu da isparavaju iz ulja u konzervator i dalje preko sušionika vazduha u atmosferu. Ovde treba uzeti u obzir da neki transformatori imaju zajednički konzervator za ulje suda transformatora i suda regulacione preklopke tako da je moguće da gasovi iz ulja regulacione preklopke preko vazduha/gasa konzervatora prelaze u ulje suda transformatora. Ovde je bitno i kako se kreće temperatura transformatora, tj. kakva je cikličnost/periodičnost, zbog skupljanja/širenja ulja i time uvlačenja/izbacivanja gasa (vazduha) iz konzervatora.

Pored ovog opsezi se mogu odrediti i po tipovima transformatora za šta će u narednoj tački biti dat prikaz rezultata AGRU koji su svojstveni za pojedini tip (ili proizvođača). Možda bi bilo poželjno da se iz određivanja opsega isključe transformatori koji imaju značajna odstupanja od većine, tj. oni za koje se zna da imaju određeni problem (na primer mešanje ulja suda regulacione preklopke sa uljem suda transformatora, "stray gassing",...) ili postoji iskustveno opravdana sumnja da imaju značajniji problem (termički problem, parcijalna pražnjenja,...) koji dozvoljavaju rad, ali uz oprez uz češće AGRU i po potrebi specijalna ispitivanja. Dalja razmatranja pored AGRU bi se radila samo za one transformatore kojima se količine jednog ili više gasova razlikuju od opsega utvrđenog za taj tip transformatora uvažavajući kretanje promene sadržaja gasova.

Bez obzira na način određivanja opsega, za stanje transformatora prema AGRU je osnova količina i odnosi pojedinih gasova, a pored toga kretanje promene količina gasova. Dodatno se zbog poređenja mogu sagledati i rezultati AGRU drugih transformatora istog tipa.

### PRIKAZ I RAZMATRANJE REZULTATA AGRU DISTRIBUTIVNIH ENERGETSKIH TRANSFORMATORA 110/x kV EPS – P.D. ELEKTROVOJVODINA

U Tabeli 2. su dati rezultati poslednjih AGRU obavljenih 2008. i 2009. godine distributivnih energetskih transformatora 110/x kV EPS-P.D. Elektrovojvodina prema tipovima transformatora.

Tip ET i godišta	Broj ET		Količina gasova (ppm)						
			H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
2TRP 31500-123 1978-1988	28	Ukupan opseg	2-74	1-20	2-44	4-79	0-16	52-458	597-2729
		Srednja vrednost	9.89	4.21	11.32	19.68	2.18	143.04	1233.04
TDLF40000 -110 MCu 1974-1977	10 (11)	Ukupan opseg	6-33 (78)	4-12 (22)	8-50 (184)	5-87 (70)	2-8 (6)	59-662 (187)	1084-4281 (2011)
		Srednja vrednost	15 (20.73)	7.2 (8.55)	19.7 (36.64)	39.9 (42.64)	4 (4.18)	288.5 (279.27)	2228.2 (2208.45)
PDRF 25001-110 1969	4	Ukupan opseg	3-14	1-3	4-10	3-10	0-2	45-180	763-1266
		Srednja vrednost	7.25	2.5	6.5	6	1.25	101	908
TPv-7309- 31.5 1975-1978	2 (3)	Ukupan opseg	3-8 (20)	2-2 (11)	0-11 (68)	3-6 (31)	0-0 (2)	59-75 (177)	824-875 (1397)
		Srednja vrednost	5.5 (10.33)	2 (5)	5.5 (26.33)	4.5 (13.33)	0 (0.67)	67 (103.67)	849.5 (1032)
TPv-7410- 31.5 1976	3	Ukupan opseg	2-6	2-5	32-49	14-21	1-1	81-136	572-1100
		Srednja vrednost	3.33	3.67	38	16.67	1	102	781.67
TP(v)7619- 31.5 1977-1980	8	Ukupan opseg	0-24	3-16	1-47	4-28	0-5	70-199	599-1308
		Srednja vrednost	8.75	6	30.13	15.5	1.63	146.38	1030.5
TP-8217- 31.5 1982-1990	6	Ukupan opseg	2-8	2-8	0-4	6-17	0-3	145-261	1430-3060
		Srednja vrednost	4.33	3.5	1	12.67	0.5	192.83	1887.83
TP-9407- 31.5 1994-1995	3 (4)	Ukupan opseg	0-4 (12)	2-3 (8)	0-1 (79)	6-17 (16)	0-1 (2)	145-161 (73)	1114-2447 (1422)
		Srednja vrednost	2 (4.5)	2.33 (3.75)	0.33 (20)	10.67 (12)	0.66 (1)	152.67 (132.75)	1745 (1664.25)
TP-9801- 31.5 2002-2004	9	Ukupan opseg	1-4	1-3	0-4	4-8	0-0	84-220	1000-1939
		Srednja vrednost	2.67	1.89	0.44	5.67	0	158.44	1484.89
TTUS-NS 1967-1968	3	Ukupan opseg	12-43	4-15	72-89	23-45	2-3	122-200	1341-1860
		Srednja vrednost	24	9.33	80	32.33	2.33	165	1686
SVI IZNAD 1967-2004	79	Ukupan opseg	0-74	1-22	0-89	3-87	0-16	45-662	572-4281
		Srednja vrednost	9.94	4.77	19.11	19.37	1.82	163.01	1424.57
SVI 1958-2004	98	Ukupan opseg	0-131	0-22	0-184	0-87	0-36	40-662	439-13638
		Srednja vrednost	11.72	5.22	20.28	21.10	2.29	174.87	1698.50

TABELA 2 –OBJEDINJENI REZULTATI POSLEDNJIH AGRU DISTRIBUTIVNIH ENERGETSKIH TRANSFORMATORA 110/x kV PO TIPOVIMA

Kod većeg broja transformatora određenog tipa je u redu tabele za svaki gas dat ukupan opseg količina karakterističnih gasova u ulju energetskih transformatora i srednja vrednost. Za tipove transformatora čiji je uzorak manji od 3 u ovoj tabeli nisu posebno prikazani podaci.

Kod tipova TDLF 40000-110 MCu, TPv-7309-31.5 i TP-9407-31.5 podaci koji nisu u zgradama se odnose na podatke AGRU transformatora tog tipa izuzev podataka AGRU jednog transformatora istog tipa koji ima količine nekih gasova značajno iznad ostalih. U Tabeli 2. je u koloni "BROJ ET" u zgradama dat ukupan broj transformatora određenog tipa, a van zagrada dat broj transformatora bez jednog koji ima jedan ili više gasova čije se količine značajno razlikuju od ostalih istog tipa. U podredu "ukupan opseg" Tabele 2. je za navedene tipove transformatora u zgradama prikazan podatak o količini pojedinih gasova transformatora koji ima jedan ili više gasova značajno većih količina od ostalih tog tipa transformatora za koje je ukupan opseg dat van zagrada. U podredu "srednja vrednost" Tabele 2. je u zgradama data srednja vrednost svih transformatora određenog tipa uključujući i onog koji ima jedan ili više gasova značajno većih količina od ostalih tog tipa transformatora za koje je srednja vrednost data van zagrada. Kod tipova transformatora gde nema zagrada prikazan je ukupan broj transformatora određenog tipa i dati podaci o ukupnom opsegu i srednjoj vrednosti za sve transformatore.

Kod većine transformatora tipa TDLF 40000-110 MCu, svih transformatora tipa TTUS-NS i pojedinih transformatora drugih tipova su vršene obrade ulja prilikom kojih je izvršena i degazacija, ali se već kod sledeće AGRU vide približno jednake količine gasova. Kod transformatora gde je vršena zamena regulacionih sklopki (uz obradu ulja sa degazacijom) se primećuje da su pojedini gasovi već nakon četiri do šest godina došli do nivoa pre degazacije, dok se neki nisu pojavili što ukazuje da je pre zamene regulacione sklopke postojala propusnost između suda regulacione preklopke i suda transformatora.

Tumačenje rezultata AGRU se vrši preko količina gasova rastvorenih u ulju i preko odnosa pojedinih gasova. Postoje različita merila IEC 60599 [1], Doernenberg-a [3], Rogers-a te Mueller, Schliesing i Soldner-a [4], postoji i Duval-ov trougao [3, 5] i metoda prikazana u [6, 7]. Najčešće se koriste gasovi navedeni u drugoj rečenici uvoda, ali se često koristi i propilen ( $C_3H_6$ ) za odnos  $C_2H_4/C_3H_6$  za određivanje temperaturnog opsega pregrevanja ulja, kao i propan ( $C_3H_8$ ) koji je tipičan prateći gas u većoj količini kod lokalnih pregrevanja do 300 °C [4]. Kod merila se po dobijenim brojevanim šiframa može odrediti vrsta nedostatka ("kvara") iako se u nekim slučajevima ne dobija šifra koja je navedena u merilu pa se na osnovu količina pojedinih gasova i toga da li su ključni ili prateći gasovi može izvesti zaključak o nedostatku. Šifra koja ne postoji u merilu može da znači da ne postoji samo jedan uzrok povišene količine karakterističnih gasova već dva, a možda i više.

Nijedno od merila za tumačenje rezultata AGRU nije potpuno primenjivo u smislu da će nesumnjivo dati tačnu dijagnozu problema. Zato bi u svakom slučaju trebalo uporedno sagledati više merila kako bi se izvukla najbolja dijagnoza.

Opsezi 90 % tipičnih količina karakterističnih gasova u ulju energetskih transformatora iz Tabele 2. su dati u Tabeli 3. (u ppm). Za svaki razmatrani karakterističan gas iz poslednje AGRU svakog transformatora je izvršeno ređanje tako da se poređaju u niz počev od najmanje prema najvećoj količini gasa. Krećući se od najmanje količine gasa prema najvećoj uzeto je 90 % transformatora (88 od 98 transformatora). Količina gasa osamdesetosmog transformatora je uzeta kao gornja granica opsega, a donja granica je najmanja utvrđena količina gasa. Kod vrednosti količine donje granice jednakoj nula uglavnom ima više slučajeva.

	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Svi transformatori	0-22	0-11	0-49	0-51	0-5	40-295	439-2335

TABELA 3 – PRIKAZ OPSEGA DISTRIBUTIVNIH ENERGETSKIH TRANSFORMATORA EPS-P.D. ELEKTROVOJVODINA

Očigledno je da su opsezi značajno uži u odnosu na opsege prema IEC 60599 koji su prikazani u Tabeli 1. Također su izuzev za acetilen i donje i gornje granice pojedinačnih opsega značajno niže. Za izračunavanje opsega u Tabeli 3. su uključeni svi transformatori (98 komada) sa rezultatima poslednjih AGRU, uključujući i transformatore kod kojih je poznato da imaju mešanje ulja suda regulacione preklopke sa uljem suda transformatora.

Mogući uzroci uskim opsezima su mali uzorak i korišćenje samo podataka poslednje AGRU svakog transformatora. Mogući uzrok značajno nižih donjih i gornjih vrednosti opsega gasova koji se stvaraju pregrevanjem uljne i papirne izolacije kod distributivnih energetskih transformatora 110/x kV EPS-P.D. Elektrovojdina je rad na nižim temperaturama i odsustvo vrućih tačkaka. U letnjem periodu su opterećenja najčešće ispod 50 % tako da je temperatura gornjeg ulja i u najtoplijim danima pri

osunčanom transformatoru manja od 60 °C. Temperatura gornjeg ulja u zimskom periodu je u prethodnom periodu korišćenja veoma retko bila iznad 60 °C uz opterećenja od oko 80 % zbog niže temperature ambijenta i podešenosti prorade ventilatora na 60 °C.

U [8] je prikazano da se gasovi pri zagrevanju ulja i zagrevanju ulja i papira stvaraju i pri nižim temperaturama od 90 °C i 150 °C. U Tabeli 4. su prikazani rezultati količina gasova rastvorenih u ulju za zagrevanje mineralnog ulja [8], a u tabeli 5. su prikazani rezultati količina gasova rastvorenih u ulju kod zagrevanja mineralnog ulja i papira [8]. Ispitivanja su odrađena za različite temperature pri različitom trajanju ispitivanja.

Količina gasova rastvorenih u ulju u ppm za zagrevanje mineralnog ulja						
Temperatura	90 °C			150 °C		200 °C
Vreme	Početno	3 dana	14 dana	3 dana	14 dana	1 sat
H <sub>2</sub>	5	16	38	14	16	21
CH <sub>4</sub>	1	2	4	48	194	95
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	1	2	28	125	48
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1	1	1	7	14	9
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1	0	1	0	0	5
CO	18	25	98	262	592	148
CO <sub>2</sub>	73	165	502	1976	3354	1006
TDCG	26	45	144	359	941	326

TABELA 4 – Količine gasova rastvorenih u ulju kod zagrevanja mineralnog ulja [8]

Količine gasova rastvorenih u ulju u ppm za zagrevanje ulja i papira				
Temperatura	90 °C		150 °C	200 °C
Vreme	Početno	14 dana	14 dana	1 sat
H <sub>2</sub>	8	46	34	19
CH <sub>4</sub>	1	10	259	90
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	2	187	43
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1	2	25	5
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1	1	1	0
CO	6	590	9187	890
CO <sub>2</sub>	108	3407	101167	19603
TDCG	17	654	9693	997

TABELA 5 – Količine gasova rastvorenih u ulju kod zagrevanja mineralnog ulja i papira [8]

Iz Tabela 4 i 5 se vidi da su kod zagrevanja samog ulja količine ugljen monoksida i ugljen dioksida rastvorenih u mineralnom ulju značajno manje nego kod zagrevanja ulja i papira. Vidi se i da su količine vodonika, metana, etilena i etana nešto veće kod zagrevanja ulja i papira u odnosu na zagrevanje samog mineralnog ulja. Iz ovog se vidi da kod transformatora koji rade pri relativno visokim temperaturama (oko 100 °C) može da dođe do povećanja količina gasova rastvorenih u ulju, posebno vodonika, metana, ugljen monoksida i ugljen dioksida. Do povećanja količina navedenih gasova može doći i u slučaju da nije zahvaćena papirna izolacija (topla tačka koja zahvaća samo mineralno ulje), ali sa značajno nižim količinama ugljen monoksida i ugljen dioksida.

Slučajevi pokazuju da u odsustvu kvara vremenom dolazi do značajnog smanjivanja količina svih gasova. Prilikom atmosferskih pražnjenja može doći do manjeg pražnjenja (varničenje ili luk) kroz ulje (male količine ugljen monoksida) ili kroz ulje i papir (veće količine ugljenmonoksida) uz veće količine acetilena, a nakon toga transformator nastavi normalan rad sa smanjenjem količina gasova. Uбудuće je neophodno da se kod AGRU koji pokazuju sumnju na varničenje ili električni luk proveru da li je između dve AGRU bilo atmosferskih pražnjenja i ispada uzrokovanih atmosferskim pražnjenjima ili ispada usled prorade diferencijalne zaštite ili buholca.

Prema rezultatima AGRU iz Tabele 2. samo kod nekoliko transformatora postoji sumnja na kvar i kod njih se vrše učestalije AGRU, a izvršene su i dodatne AGRU iz suda regulacione preklopke, pregled podataka o održavanju regulacione preklopke i mešanju ulja i neka specijalna ispitivanja. Na nekoliko transformatora se prilikom radova na remontu regulacione preklopke mora snimiti da li postoji (barem minimalan) dotok ulja iz suda transformatora u sud regulacione preklopke.

Na sedam transformatora povišen nivo etilena iznad opsega prema Tabeli 3. sa odgovarajućim odnosima gasova ukazuje da postoji vruća tačka. Količine etilena su u okviru opsega datog u Tabeli 1. Od tih sedam transformatora samo u jednom slučaju je količina ugljenmonoksida i ugljendioksida povišena prema Tabeli 3., ali ulazi u opseg prema Tabeli 1.

## MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA AGRU I DIJAGNOSTIKE TRANSFORMATORA

U daljim razmatranjima za kvalitetniju AGRU bi se uzimali i drugi podaci kao što su opterećenja i temperature u prethodnom vremenu eksploatacije, moguće mešanje ulja suda regulacione preklopke i suda transformatora sa podacima o veličini mešanja na osnovu dotoka ulja iz suda transformatora u sud regulacione preklopke, tipu regulacione sklopke i broju prorada, sadržaj vode u ulju suda transformatora (i u papiru - celulozi), fizičke, hemijske i električne karakteristike ulja, analiza furana u ulju, prisustvo korozivnog sumpora u ulju i podaci o prethodnim radovima na ulju (zamene i obrade ulja).

Za detaljnija razmatranja bi se koristili podaci o merenjima i ispitivanjima koji se poseduju ili bi se odradila neka ispitivanja (što zavisi od rezultata AGRU) kao što su ispitivanje stepena polimerizacije papira (ukoliko je moguće), ispitivanje sadržaja vlage u papiru (ukoliko je moguće), merenja tangens delta i kapaciteta, merenja otpora izolacije i specijalna ispitivanja kao FDS-frequency domain spectroscopy (spektroskopija u frekventnom području), SFRA-sweep frequency response analysis (analiza širokopojasnog frekventnog odziva), PDC-polarisation and depolarisation current (struja polarizacije i depolarizacije) i ispitivanja parcijalnih pražnjenja. Dodatna ispitivanja mogu da potvrde zaključke dobijene AGRU ili da pomognu da se dobije pravi zaključak ukoliko rezultati dobijeni AGRU ne mogu jednoznačno ukazati na mogući nedostatak („kvar“).

Prema prethodno rečenom neophodno je urediti potpunu bazu podataka o svim transformatorima koja mora da sadrži osnovne podatke o transformatoru, rezultate AGRU i FHE analize ulja, rezultate izvršenih merenja i ispitivanja uključujući i specijalna ispitivanja, uslove rada transformatora (opterećenja i temperature), izvršene radove na transformatoru (obrade ulja, zamene ulja, radovi na premeštanju, zaptivanje,...), podatke o značajnijim ekstremnim uslovima rada ukoliko se mogu prikupiti (atmosferski i sklopni prenaponi, kratki spojevi, preopterećenja,...), podatke o regulacionim preklopkama (mešanje ulja regulacione preklopke sa uljem suda transformatora, broj prorada regulacione preklopke, ispitivanja regulacione sklopke, vreme remonta sa stanjem regulacione preklopke,...). Baza podataka mora da se ažurira i po uočenoj potrebi nadograđuje.

## ZAKLJUČAK

Prikazani opsezi distributivnih transformatora 110/x kV u EPS-P.D. Elektrovojvodina su značajno manji od datih u [1]. Čak su i ukupni opsezi za većinu gasova manji od datih u [1]. U narednom periodu za područje Srbije treba odrediti opsege svih energetskih i distributivnih transformatora naponskog nivoa 110 kV ili višeg na način prikazan u referatu, te onda opsege po funkciji (ili drugim uslovima) transformatora u elektroenergetskom sistemu ukoliko postoji dovoljno velik uzorak i rezultate uporediti sa opsezima određenim statističkom obradom rezultata AGRU. Na osnovu iskustva pomeriti granicu opsega sa 90 % naviše. Pored ovog za distributivne transformatore 110/x kV pokušati obraditi veći uzorak (više transformatora sa većim brojem AGRU po pojedinačnom transformatoru). Dobijene rezultate uporediti sa rezultatima nacionalne laboratorije dobijene statističkom obradom za distributivne transformatore 110/x kV.

Opsege koristiti prvenstveno za uočavanje transformatora sa mogućim problemom, ali prava analiza mora obuhvatiti analizu količina i odnosa gasova koristeći različita merila i po mogućnosti sagledavanja „šire“ slike razmatranjem podataka o transformatoru (stanje, obavljani radovi, ispitivanja, režim rada,...)

Korisnici transformatora moraju urediti potpunu bazu podataka, po mogućnosti u takvom obliku da se veoma brzo mogu uraditi odgovarajući izveštaji kako bi se obezbedila najbolja moguća dijagnostika na osnovu AGRU. Bazu podataka ažurirati i po potrebi nadograđivati.

Nastaviti redovne i po potrebi učestalije AGRU i kod sumnjivih transformatora vršiti specijalna ispitivanja.

## LITERATURA

1. IEC 60599:1999+A1:2007 "Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - guide to the interpretation of dissolved and free gas analysis"
2. Jelena Lukić, Velinka Pejović, Ksenija Drakić, Slađana Teslić, "Hemijske instrumentalne metode u dijagnostici energetskih i mernih transformatora", Elektrotehnički institut Nikola Tesla, 2006.
3. Lance Lewand, "Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers", IEEE Conference, 2006.
4. Operating instruction for degassing of oil samples, ECH Elektrochemie Halle GmbH
5. Michel Duval, "Dissolved Gas Analysis and the Duval Triangle", IEEE Conference, 2006.
6. H. Okubo, et al., „Electrical Insulation Diagnostic Method and Maintenance Criteria for Oil-

Immersed Power Transformers“, Proceedings of the 13th International Conference on Diagnostic Liquids (ICDL 99), Nara, Japan, July 20- 25,1999

7. H.Tsukioka et al., „Behavior of gases generated from decomposition of insulating oils under effect of localized heating“, Denki Gakkai Rombunsi, 1978, vol.98-A, #7, 381-388
8. Imad-U-Khan, Zhongdong Wang, Ian Cotton, Susan Northcote, "Dissolved Gas Analysis of Alternative Fluids for Power Transformers", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 23 No. 5., September/October 2007.

**KLJUČNE REČI:** transformator, ispitivanje, analiza, ulje, papir, gas, kvar, opseg