

## **OCENA POGONSKOG STANJA DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA SREDNJEG NAPONSKOG NIVOVA**

V. Radin, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija  
N. Stojanović, PD “Elektrodistribucija Beograd” d.o.o, Srbija  
N. Ristović, PD “Elektrodistribucija Beograd” d.o.o, Srbija

### **KRATAK SADRŽAJ**

Kako transformator tokom pogona stari, tako se menja i njegovo unutrašnje stanje što povećava rizik od pojave kvara. Održavanje transformatora u dobrom pogonskom stanju i prevencija kvarova spadaju u prioritete elektroenergetskog sistema, a jedan od glavnih dijagnostičkih alata za to je analiza sadržaja gasova rastvorenih u ulju transformatora (GH analiza). U radu je na praktičan način opisana primena gasne hromatografije u dijagnostici energetskih transformatora sa opisom fenomena koji se odigravaju u ulju tokom uobičajenog i neuobičajenog rada transformatora.

U cilju primene adekvatne dijagnostike pogonskog stanja transformatora, urađena je statistička obrada rezultata sadržaja gasova rastvorenih u ulju kod 35 kV transformatora, distributivne mreže Srbije (baza podataka Elektrotehničkog Instituta „Nikola Tesla“) čime je definisan opseg tipičnih koncentracija gasova kvara za 95 % nivoom pouzdanosti. Takođe je istaknut značaj gasnohromatografske analize ulja, što omogućava uvid u pogonsko stanje transformatora, pravovremeno otkrivanje nepravilnosti rada i određivanje adekvatnog vremena za izvođenje revizije. U radu je prikazana procentualna raspodela tipičnih kvarova kod distributivnih transformatora, kao i opis osnovnih principa dijagnostike od detekcije kvara do popravke transformatora u fabrici.

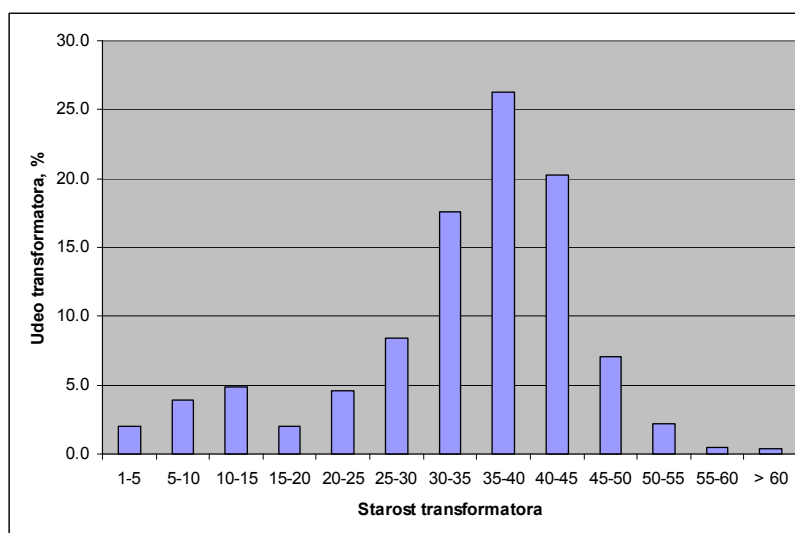
Ključne reči: dijagnostika transformatora, gasnohromatografska analiza, sadržaj gasova, transformatorsko ulje, vrste kvarova

### **1. UVOD**

Energetski transformator predstavlja neophodan i ključni deo svake prenosne i distributivne mreže. Iako su vrlo kompleksni, uglavnom su vrlo pouzdani i dizajnirani tako da rade dugi niz godina. Prosečan životni vek transformatora je oko 40 godina, ali uz dobro održavanje u nekim slučajevima rade i preko 60 godina. Uprkos tome, kod transformatora u pogonu, kvarovi predstavljaju potencijalnu opasnost po ljudstvo, životnu sredinu, a uz to uzrokuju značajne troškove popravke ili zamene. Sa

porastom starosti transformatora, povećava se rizik od pojave kvara zbog izraženije degradacije celokupnog izolacionog sistema. Novi transformatori imaju dovoljnu mehaničku čvrstoću da izdrže izrazite pogonske stresove. Nasuprot tome, kako transformator stari, njegova izolaciona čvrstoća može da degradira do tačke u kojoj ne može da izdrži sistemske događaje kao što su kvarovi usled kratkog spoja ili prenapona u prelaznim pojavama. Prosečna starost 35 kV transformatora u distributivnim mrežama Republike Srbije, prema podacima Elektrotehničkog Instituta „Nikola Tesla“, je oko 35 godina, a značajan je i udeo transformatora starijih od 40 godina (30 %). Sve to iziskuje veću pažnju u održavanju, kao i prilikom dijagnostike. Na Slici 1. prikazana je procentualna raspodela transformatora prema godinama pogona (starosti).

Održavanje transformatora u dobrom pogonskom stanju i prevencija kvarova spadaju u prioritete elektroenergetskog sistema. Tradicionalna praksa kod nas je, rutinsko održavanje transformatora (vizuelni pregled, zamena silikonskog gela, provera nivoa ulja, kontrola dielektrične čvrstoće...) u kombinaciji sa periodičnim ispitivanjima. U cilju smanjenja troškova održavanja, u svetu postoji trend prelaska sa vremenski baziranog plana održavanja na održavanje prema stanju. Umesto revizije transformatora u redovnim vremenskim intervalima, preporučuje se revizija na osnovu stanja, odnosno onda kada pogonsko stanje transformatora to zahteva. Jedan od glavnih dijagnostičkih alata za kontrolu pogonskog stanja transformatora je kontrola sadržaja gasova rastvorenih u ulju metodom gasne hromatografije (GH analiza). Za uvođenje ovakvog vida održavanja postoje dva podjednako važna razloga: povećani zahtevi korisnika za pouzdano napajanje električnom energijom i mogućnost optimizacije troškova održavanja.



Slika 1. Starost 35 kV transformatora distributivne mreže Srbije

## 2. PRINCIPI NASTAJANJA GASOVA

Vršeci svoju funkciju medijuma za toplotnu i električnu izolaciju u transformatoru, ulje je u stalnom kontaktu sa zagrejanim metalnim površinama. Konstantna izloženost toploti tokom dugog vremenskog perioda je uzrok dekompozicije velikih ugljovodoničnih molekula iz kojih je ulje sastavljeno. Pri tom dolazi do kidanja velikih lanaca i nastajnja manjih stabilnijih molekula, a sam proces predstavlja starenje, odnosno degradaciju ulja. Kao krajnji produkti starenja nastaju stabilni gasoviti molekuli: vodonik ( $H_2$ ), metan ( $CH_4$ ), acetilen ( $C_2H_2$ ), etilen ( $C_2H_4$ ) i etan ( $C_2H_6$ ), ugljen-monoksid (CO) i ugljen-dioksid ( $CO_2$ ). Prisustvo kiseonika i azota rastvorenih u ulju je posledica kontakta ulja sa atmosferskim vazduhom što je pogotovo izraženo kod transformatora koji dišu. Nastali gasovi se rastvaraju u transformatorskom ulju, i mogu se brzo i precizno meriti metodom gasne hromatografije.

Količina ovih gasova u velikoj meri zavisi od temeperature transformatora, kao i količine materijala (ulja i metala) na toj temperaturi. Prilikom uobičajenog rada transformatora, u njemu je prisutna velika količina zagrejanog ulja na umerenoj radnoj temperaturi, koja proizvodi određenu količinu gasovitih produkata.

Neuobičajen rad, odnosno pojava kvara na transformatoru je uglavnom praćena oslobađanjem velike količine energije i pojavom toplih mesta usled čega nastaju i veće količine gasovitih produkata degradacije ulja. Odavde sledi da se koncentracije pojedinačnih gasova, rastvorenih u ulju, mogu

direktno koristiti u proceni pogonskog stanja transformatora. Pažljivim praćenjem količine rastvorenih gasova u ulju dolazi se do dragocenih informacija o pogonskoj ispravnosti transformatora.

Imajući u vidu sve gore navedeno, za adekvatnu dijagnostiku potrebno je odrediti tipične vrednosti gasova. Pod tipičnim vrednostima koncentracija gasova smatraju se one količine, uočene kod određene populacije transformatora (npr. 90 %), sa normalnim radom u uobičajenim pogonskim uslovima [1]. Ispod tipičnih vrednosti koncentracija gasova u ulju mogućnost od pojave kvara je jako niska. S obzirom da tipične vrednosti u velikoj meri zavise od tipa transformatora i operativnih uslova, preporuka standarda IEC 60599 je da se one posebno izračunaju za različite populacije transformatora.

U cilju definisanja tipičnih vrednosti za pojedinačne gasove, urađena je statistička obrada rezultata merenja sadržaja gasova (baza podataka Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla“). Tom prilikom su obuhvaćeni 35/x kV transformatori distributivne mreže Republike Srbije, a dobijene vrednosti su prikazane u tabeli 1.

Tabela 1. Tipične vrednosti koncentracija gasova sa 95 % nivoom pouzdanosti, uočene u transformatorima srednjeg naponskog nivoa (35/x kV) distributivne mreže Srbije

	Koncentracije 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>
Tipične vrednosti	<b>61</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>51</b>	<b>30</b>	<b>374</b>	<b>3577</b>

Tipične vrednosti pojedinačnih gasova, karakterističnih za određenu vrstu transformatora su pogodan alat za dijagnostiku stanja u slučaju kada ne postoje prethodna merenja.

U dijagnostici su značajnije individualne tipične vrednosti koncentracija gasova specifične za svaki pojedinačni transformator. Redovnom kontrolom sadržaja gasova, stiče se uvid u pogonsko stanje transformatora i u njegove tipične vrednosti gasova. Ukoliko su izmerene koncentracije gasova u okviru individualnih statističkih granica karakterističnih za normalan rad transformatora pod uobičajenim pogonskim uslovima, trafo se ocenjuje kao ispravan. U okviru statističke analize svakog pojedinačnog transformatora ili grupa transformatora veoma su korisne analize i analogije istih „sestrinskih“ jedinica (eng. „sister units“). Pod „sestrinskim“ jedinicama se podrazumevaju transformatori istog proizvođača, starosti i konstrukcije koji se nalaze u pogonu u istim ili sličnim uslovima eksploatacije.

Svako značajnije odstupanje od tipičnih vrednosti transformatora može biti indikacija neuobičajenog rada transformatora ili pojave kvara.

Određena količina gasa može nastajati tokom dužeg vremenskog perioda usled relativno malog kvara ili za jako kratko vreme kao posledica ozbiljnijeg kvara. Odatle sledi da jedno merenje u najvećem broju slučajeva ne može reći dovoljno o ozbiljnosti kvara (posebno kada ne postoji istorijat prethodnih merenja). Izuzetak su kvarovi usled kojih dolazi do formiranja velikih količina gasova i prorade Buholc releja. U takvim slučajevima, posebno kada je pored uzorka ulja iz glavnog suda transformatora moguće uzeti i ispitati uzorak ulja i gasa iz Buholc releja, može se steći uvid o prirodi i brzini razvoja kvara.

Jednom kada je detektovan skok koncentracije jednog ili više gasova i kada se pojavi sumnja u ispravnost transformatora, vrlo je važno utvrditi da li je kvar usled koga je gas nastao i dalje aktivan. Aktivnost kvara se utvrđuje praćenjem trenda promene brzine formiranja gasova, jednačina 1 [4].

$$V = \frac{(C_T - C_0)}{T} \quad (1)$$

Pri čemu je V – brzina nastajanja gasa u ppm/god ili ppm/dan, C<sub>0</sub> – koncentracija gasa prvog uzorka u ppm, C<sub>T</sub> – koncentracija gasa nakon određenog vremenskog perioda u ppm, T – protekli vremenski period između dva uzorka ulja.

Tipične brzine porasta uočene kod 90 % energetskih transformatora svih tipova su date u stadardu IEC 60599 i prikazane su u tabeli 2.

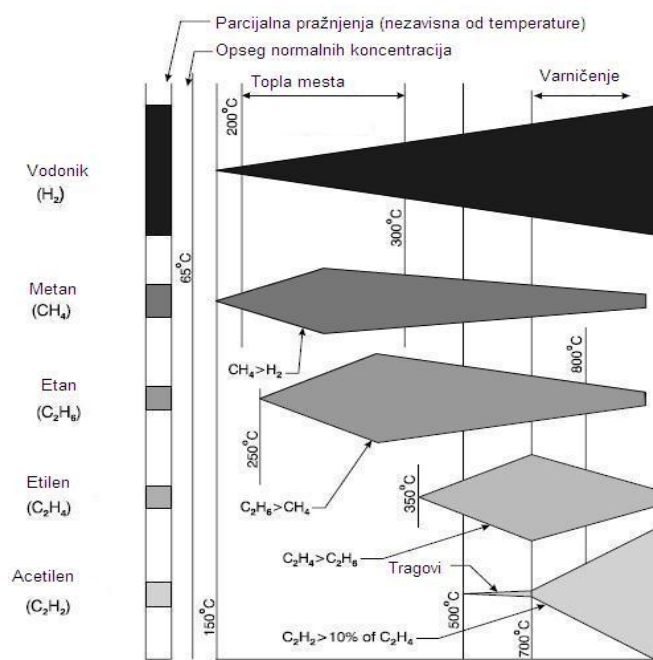
Tabela 2. Opseg tipičnih brzina porasta gasova [2] za transformatore bez regulatora napona

	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>
ppm/god	35 - 132	10 - 120	0 - 4	32 - 146	5 - 90	260 - 1060	1700 - 10000

### 3. NASTAJANJE GASOVA USLED POJAVE KVARA

Povećana proizvodnja jednog ili više gasova u transformatoru, najčešće je posledica pojave kvara termičke ili električne prirode. Koncentracije nastalih gasova zavise od prirode, mesta i intenziteta kvara. Najčešće gasovi ostaju rastvoreni u ulju, ali pri nastanku značajne količine i/ili pri velikoj brzini produkcije, gasovi se mogu izdvajati iz ulja i sakupljati u gasnom (Buholc) releju.

Sa dijagrama nastajanja gasova, Slika 2, mogu se uočiti relativne količine gasova kao i približne temperature na kojima oni nastaju. Dijagram ne treba koristiti kao skalu nego kao ilustraciju veze između temeperatura koje se mogu javiti u transformatoru i vrste i količina gasova. Sa slike 2 se vidi da na različitim temepraturama dominiraju različiti gasovi. Količine pojedinačnih gasova i njihovi međusobni odnosi zavise od vrste kvara. To znači da se u zavisnosti od vrste kvara, određeni gasovi javljaju kao vodeći. Vodećim gasovim se nazivaju oni koji su prisutni u značajnijim koncentracijama dok su ostali prisutni u manjim količinama i nazivaju se prateći gasovi.



Slika 2. Dijagram nastajanja gasova degradacijom ulja sa porastom temeperature [3]

Kvarovi na transformatorima se prema svojoj prirodi mogu grubo podeliti u dve grupe: električne i termičke, Tabela 3. Postoji više tehnika za interpretaciju sadržaja gasova rastvorenih u ulju kao što su IEC metoda, primena Rogers kriterijuma, Duvalov trougao i druge. U ovom radu je opisana primena IEC metode kao jedne od najzastupljenijih, Tabela 3. Metoda je zasnovana na tri karakteristična odnosa gasa koji imaju različite opsege u zavisnosti od vrste kvara.

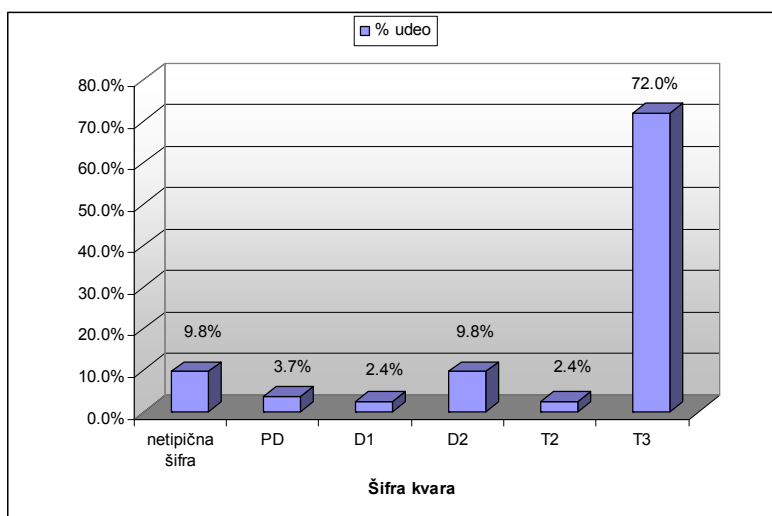
Tabela 3. Tipovi kvarova kod energetskih transformatora i odnosi koncentracija

Priroda kvara	Vrsta kvara	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
Električni	Parcijalna pražnjenja, PD	NS <sup>1)</sup>	<0,1	<0,2
	Pražnjenja male gustine energije, D1	>1	0,1-0,5	>1
	Pražnjenja velike gustine energije, D2	0,6-2,5	0,1-1	>2
Termički	Termički kvar sa temperaturama manjim od 300 °C, T1	NS <sup>1)</sup>	>1 ali NS <sup>1)</sup>	<1
	Termički kvar sa temperaturama od 300 do 700 °C, T2	<0,1	>1	1-4
	Termički kvar sa temperaturama preko 700 °C, T3	<0,2 <sup>2)</sup>	>1	>4

<sup>1)</sup> NZ – nije značajno, bilo koja vrednost; <sup>2)</sup> Porast količine C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> može ukazivati da je temperatura tople tačke iznad 1000 °C

Ovde treba naglasiti da se odnosi gasova navedeni u tabeli 3, mogu primenjivati samo kada je jedan ili više gasova detektovan u koncentraciji značajno većoj od tipičnih vrednosti. Izračunavanjem odnosa koncentracija gasova bliže se određuje vrsta kvara. Ponekad se javljaju kombinacije odnosa koncentracija gasova koje su van opsega vrednosti prikazanim u tabeli 3. Kod takvih slučajeva najverovatnije je u pitanju kombinacija više kvarova i nije moguće odrediti vrstu kvara, pa se preporučuje primena neke od drugih metoda interpretacije.

Statističkom obradom podataka iz baze Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla“, izvršena je analiza 35 kV transformatora distributivne mreže Srbije, kod kojih je na osnovu gasnohromatografske analize ulja detektovan kvar, Slika 3. Sa slike 3 se vidi da su u najvećoj meri, oko 72 %, zastupljeni kvarovi termičke prirode (T3) sa temperaturama toplog mesta od preko 700 °C. Oko 10 % svih kvarova su kvarovi električne prirode (D2) nastalih usled pražnjenja sa velikom gustinom energije. Sledeću grupaciju kvarova, oko 10 %, čine kvarovi sa netipičnom šifrom. Netipična šifra se najčešće javlja kada u transformatoru postoji kombinacija termičkog i električnog kvara. U manjoj meri su zastupljene ostale vrste kvarova kao što su parcijalna pražnjenja, pražnjenja sa malom gustinom energije i termički kvarovi u nižem temperaturnom opsegu.



Slika 3. Raspodela različitih vrsta kvarova kod 35/x kV transformatora distributivne mreže Srbije

Sa operativne tačke gledišta, u dijagnostici transformatora važno je ustanoviti sledeće prioritete:

- **Detekcija.** Detektovanje bilo kog gasa u koncentraciji većoj od tipičnih vrednosti i upotreba odgovarajućih smernica da se mogući kvar uoči na vreme u cilju sprečavanja većeg kvara.
- **Procena.** Procena uticaja kvara na pogonsku raspoloživost transformatora.
- **Akcija.** Preduzimanje konkretne akcije, počevši od pooštrene kontrole transformatora i potvrde kvara, eventualnog smanjenja opterećenja transformatora ili uklanjanja jedinice iz pogona.

Detekcija dve najčešće vrste kvarova i principi dijagnostike pogonskog stanja transformatora prikazani su kroz primere iz prakse.

**PRIMER IZ PRAKSE 1.** Kod energetskog transformatora naponskog nivoa 35/10 kV, snage 12,5 MVA, prilikom redovne periodične kontrole utvrđena je povišena koncentracija etilena kao vodećeg gasa, uz prisustvo metana i etana. Zbog nedostatka istorijata rada transformatora, preporučena je pooštrena kontrola transformatora nakon 9-12 meseci pogona.

Tabela 4. Sadržaj gasova rastvorenih u ulju

Datum	Pojedinačne koncentracije gasova, ppm									Int	Preporuka
	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>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
Okt 2010	3	14	2	<b>138</b>	<b>21</b>	52	907	29219	62319	A*	9–12 meseci
Feb 2011	31	74	5	<b>271</b>	<b>37</b>	60	1104	23251	58077	C(T3)	1-3 meseca
Jun 2011	12	63	4	<b>421</b>	<b>62</b>	68	1204	30180	64737		1 mesec
Avg 2011	28	109	5	<b>530</b>	<b>79</b>	134	1686	27587	63455		remont
Apr 2012	3	1	2	36	9	86	1810	27766	64836	A	1 godina

Daljim praćenjem transformatora u režimu pooštrene kontrole, uočen je konstantan porast količine etilena i etana, sa brzinom nastajanja etilena koja je oko tri puta veća od uobičajene, Tabela 5.

Tabela 5. Brzina nastajanja gasova kvara

Vremenski period	Porast gasova, ppm/dan						
	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>
Okt 2010 – Feb 2011	0,26	0,55	0,03	<b>1,22</b>	<b>0,15</b>	0,07	1,81
Feb 2011 – Jun 2011	<0,01	<0,01	<0,01	<b>1,22</b>	<b>0,20</b>	0,07	0,81
Jun 2011 – Avg 2011	0,3	0,9	0,06	<b>2,2</b>	<b>0,3</b>	1,3	9,8
<b>Granične vrednosti prema IEC 60599</b>	<b>0,1-0,4</b>	<b>0-0,3</b>	<b>0-0,01</b>	<b>0,1-0,4</b>	<b>0-0,2</b>	<b>0,7-2,9</b>	<b>4,7-27,4</b>

Kao prateći gas javlja se acetylen, čije prisustvo u tragovima ukazuje na pojavu kvara termičke prirode sa temperaturama toplog mesta iznad 700 °C. S obzirom da se brzina porasta etilena uvećavala, što znači da je kvar i dalje aktivan preporučena su hitna električna merenja u cilju potvrde dobijenih rezultata i remont transformatora.

Prilikom defektaže transformatora u fabrici utvrđeno je oštećenje linijskog regulatora napona sa kliznim kontaktima, koji vrši promenu prenosnog odnosa u brznaponskom stanju (Slika 4). Regulator napona, kao pokretni deo, je među najkritičnijim pogotovo ako se uzme u obzir prosečni predviđeni radni vek transformatora.

Tokom remonta navedenog transformatora, postojeći regulator, sa oštećenom letvom i kliznim kontaktima na kojima se vide tragovi grejanja, je zamenjen novim. Nakon revizije ostalih delova i sklapanja transformatora izvršeno je ispitivanje električnog izolacionog sistema namotaja i uvodnih (provodnih) izolatora pri čemu su dobijene zadovoljavajuće vrednosti.

Transformator je nakon popravke vraćen u pogon, a u aprilu 2012. je izvršena kontrola pogonske ispravnosti transformatora merenjem sadržaja gasova, Tabela 4. Izmerene koncentracije gasova su u okviru preporučenih granica i karakteristične su za normalan rad transformatora pod uobičajenim pogonskim uslovima.

Slika 4. Oštećenja na transformatoru – Primer 1



**PRIMER IZ PRAKSE 2.** U narednom primeru opisana je dijagnostika pogonskog stanja 35/10 kV transformatora, snage 8 MVA nakon izbacivanja iz pogona usled delovanja diferencijalne i Buholc zaštite. Na osnovu rezultata merenja sadržaja gasova kod ulja iz donjeg nivoa glavnog suda i ulja i gasa iz Buholc releja, kod transformatora je detektovan kvar električne prirode, sa šifrom D2, Tabela 6.

U ulju glavnog suda (D) su izmerene visoke koncentracije vodonika i acetilena što ukazuje da su u transformatoru prisutna električna pražnjenja velike gustine usled pojave luka - proboja ulja između namotaja ili između namotaja i zemlje. U gasu (GBR) i ulju (UBR) Buholc releja takođe su izmerene visoke koncentracije gasova kvara, u prvom redu acetilena i vodonika, kao i etilena što potvrđuje kvar električne prirode, tj. proboj izolacije.

U gasu je detektovana i značajna količina ugljen-monoksida, koji nastaje usled sagorevanja čvrste izolacije, što je pokazatelj proboja celulozne izolacije namotaja.

Tabela 6. Rezultati gasnohromatografske analize ulja i gasa Buholc releja

Nivo	Uk,g ml/l	Pojedinačne koncentracije gasova, ppm									Int
		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>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
D	78,8	210	68	427	188	12	286	2935	15061	59580	C(D2)
UBR	92,2	1718	480	3445	985	62	329	2405	20807	61867	C(D1)
GBR	%	46,4	2,4	10,6	1,2	0,03	3,6	0,2	11,7	44,5	C
Ce	/	23190	10526	144024	22878	816	4368	2694	19924	40068	C(D1)

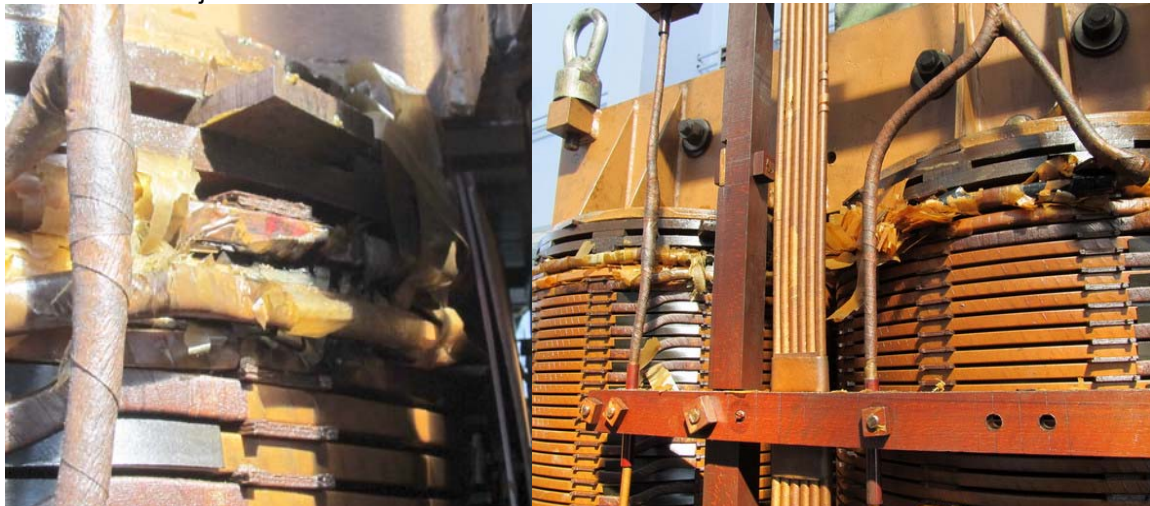
U cilju dobijanja preciznije dijagnostike, izmerene koncentracije slobodnih gasova iz Buholc releja, su preračunate na ekvivalentne koncentracije gasa u ulju (Ce). Ekvivalentne koncentracije gasa predstavljaju onu količinu slobodnog gasa koja bi se rastvorila u ulju kada bi gas dugo vremena bio u kontaktu sa uljem. Poređenjem koncentracija gasova u ulju glavnog suda, ulju Buholc releja i ekvivalentnih koncentracija može se steći uvid u brzinu razvoja kvara. Preračunavanjem su dobijene ekvivalentne koncentracije koje su mnogo većih vrednosti nego koncentracije gasova kvara u samom ulju. To znači da je brzina nastanka gasova značajno veća od brzine rastvaranja, odnosno da je kvar intenzivan i brz.

U cilju potvrde detektovanog kvara, preporučena su hitna električna merenja.

Prilikom defektaže transformatora u fabrici, utvrđeno je da je dejstvom prenapona došlo do proboja izolacije sva tri namotaja visokog napona, Slika 5. Vidljivo oštećenje celulozne izolacije i bakarnog namotaja uzrokovalo je nefunkcionalnost nekoliko ulaznih navojaka u sve tri faze namotaja visokog napona.

Tokom remonta premotane su, i zamenjene novim, ulazne sekcije na sve tri faze namotaja visokog napona. Namotaji su očišćeni i oprani pod pritiskom od bakarnih granula, a postojeće transformatorsko ulje je filtrirano. Nakon revizije ostalih delova i sklapanja transformatora izvršeno je ispitivanje električnog izolacionog sistema namotaja i uvodnih (provodnih) izolatora i nakon pozitivnih rezultata transformator je vraćen u pogon.

Slika 5. Oštećenja na transformatoru – Primer 2



#### 4. ZAKLJUČAK

Rana detekcija kvara je uslov za blagovremenu akciju u cilju sprečavanja veće havarije transformatora. Uslov za ranu detekciju kvarova je redovna periodična kontrola pogonske ispravnosti transformatora merenjem sadržaja gasova rastvorenih u ulju.

Pored toga što je u pitanju jeftina i brza metoda ispitivanja koja ne zahteva isključivanje transformatora, metoda gasnohromatografske analize ulja transformatora pruža mnoge druge informacije od značaja za održavanje transformatora kao što su:

- Rano otkrivanje kvara i njegova potvrda
- Određivanje vrste i lokacije kvara (zahvaćenost čvrste izolacije, pregrevanje na površini metala...)

- Procena termičke degradacije čvrste izolacije (uz analizu sadržaja furana u ulju)
- Praćenje brzine razvoja i procena intenziteta kvara
- Praćenje stanja transformatora tokom preopterećenja i/ili disfunkcije hlađenja
- Mogućnost planiranja revizija/remonta

Preventivno održavanje i dijagnostika stanja transformatora ima veliki značaj u planiranju sistema, oceni pouzdanosti i raspoloživosti opreme. Održavanje transformatora u dobrom pogonskom stanju i prevencija kvarova spadaju u prioritete elektroenergetskog sistema. Nasuprot tome, popravka transformatora u remontnim radionicama, koja obuhvata probleme transporta kao i dugo vreme trajanja procesa popravke mogu izazvati dodatne nepredviđene troškove.

Iz tih, tehnološko-ekonomskih razloga je veoma važno da se kvar otkrije u začetku i blagovremeno otkloni sa ciljem da se preduprede mogući veći kvarovi.

Gasnohromatografska analiza, kao standardna metoda za održavanje i prevenciju kvarova, je jedna od ključnih dijagnostičkih metoda, a najveći značaj ima kao trend analiza koja pruža mogućnost praćenja promena pogonskog stanja transformatora i razvoj kvarova.

## LITERATURA

- [1] Recent Developments in DGA Interpretation, CIGRE Brochure 296, joint Task Force D1.01/A2.11, June 2006
- [2] IEC 60599/2007 Edition 2.1, Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis
- [3] FIST 3-30, Transformer Maintenance, Facilities Instructions, Standards and Techniques, October 2000
- [4] IEEE Std C57.104-2008, Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers

## DIAGNOSTICS OF DISTRIBUTIVE POWER TRANSFORMER FOR MV/LV

### ABSTRACT

During transformer service, ageing process of active part and other components cause the increase of risk of failure. Maintenance of transformers in good working condition and failures prevention is a very important task for electrical power system. Dissolved gas analysis (DGA) is the most important diagnostic tool in determining the transformer condition. This paper describes, in a practical way, application of dissolved gas analysis in diagnostics of power transformers. It also describes phenomena of gas forming in transformers during regular operating condition and when failure is suspected and in development.

In order to achieve reliable diagnostics, DGA data base statistical analysis has been done for 35 kV transformers of Serbian distributive network (data base of Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla“). Limiting value for 95 % interval of confidence were determined using statistical analysis of IEENT data base. Significance of DGA is emphasized, being valuable diagnostic tool for evaluation of transformer working condition which gives opportunity to discover potential faults in early stage. Percentage distribution of typical faults in distributive network transformers has been given, along with basic diagnostic and maintenance strategy from fault detection to the transformer repair.

Key words: transformer, diagnostics, dissolved gas analysis, DGA, insulating oil, fault detection

Kontakt informacije o autorima:

Vesna Radin

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd

Tel: 011/3952-067, Fax: 011/3952-072, Mob: 064/8259-759, e-mail: [vesna.radin@ieent.org](mailto:vesna.radin@ieent.org)

Nenad Stojanović

PD "Elektrodistribucija Beograd" d.o.o, Beograd

Tel: 011/2473-392, Fax: 011/2492-398, Mob: 064/8974-677, e-mail: [nenad.stojanovic@edb.rs](mailto:nenad.stojanovic@edb.rs)

Nenad Ristović

PD "Elektrodistribucija Beograd" d.o.o, Beograd

Tel: 011/2473-392, Fax: 011/2492-398, Mob: 064/8974-605, e-mail: [nenad.ristovic@edb.rs](mailto:nenad.ristovic@edb.rs)