

PODROBNO RAZMATRANJE SLUČAJEVA KVAROVA TRANSFORMATORA

S. SPREMIĆ¹, EPS - P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Srbija
R. SAVIĆ, Minel Dinamo d.o.o., Srbija

UVOD

Održavanje transformatora 35/x kV se svodi na godišnje revizije, merenje otpora izolacije namotaja međusobno i prema masi i periodičnu proveru dielektrične čvrstoće ulja, a ove poslove obavljaju zaposleni Ogranaka.

Redovno se vrši i analiza fizičkih, hemijskih i električnih (u daljem tekstu: FHE) karakteristika izolacionog ulja uz uzorkovanje od strane obučениh radnika. Nabavkom uređaja za vršenje analize gasova rastvorenih u ulju (u daljem tekstu: AGRU) H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CO i CO₂ i sadržaja vode je u poslednjih 5 godina (2009. - 2013.) na svih 144 transformatora u pogonu urađena AGRU. AGRU su u nekoliko slučajeva gde nije bilo ispada transformatora pokazale postojanje kvara manjeg obima unutar transformatora zbog kojeg nije bilo potrebno isključiti transformator iz pogona. Na nekoliko transformatora sumnjivih na kvar se vrše učestalije AGRU u cilju praćenja promena količina gasova.

U slučaju ispada transformatora kada postoji sumnja na kvar obavezno se uzima uzorak ulja za analizu gasova rastvorenih u ulju i vrsta kvara se određuje koristeći podatke o količinama i odnosima gasova [1, 2, 3, 4]. Izvrše se merenja otpora izolacije namotaja međusobno i prema masi, otpor namotaja u zatečenom položaju i u ostalim položajima i prenosni odnos, a po proceni i druga merenja. Ukoliko vreme dozvoli izvrši se i merenje tangens delta i kapacitivnost namotaja međusobno i prema masi, a takođe i ispitivanje SFRA (Sweep Frequency Response Analysis). Kod prorade buholc alarma preduzimaju se slične mere.

Ovde će se podrobno razmotriti slučajevi kvarova dva transformatora istog tipa sa mineralnim izolacionim uljem sa regulacionom sklopkom bez tereta (u daljem tekstu: besteretni menjač) starosti 30 godina. Slučajevi kvarova se odnose na kvarove koji su povezani sa pregrevanjem na visokim temperaturama, a u jednom slučaju pored dominantnog pregrevanja postojali su kvar električnog pražnjenja, parcijalna pražnjenja i pregrevanje čvrste izolacije. Količine karakterističnih gasova su bile daleko veće od standardom preporučenih, a transformatori su nakon mehaničke razrade kontakata besteretnog menjača duži period bili u pogonu pre popravke.

SLUČAJ 1 – TRANSFORMATOR “A”

U cilju uvida u stanje transformatora “A” uzorkovano je ulje dana 30.03.2010. godine i obavljena prva AGRU od puštanja transformatora u pogon. Rezultati prve i nekih kasnijih AGRU su prikazani u Tabeli 1. Prva AGRU je pokazala vrstu kvara – termički kvar visoke temperature T3 prema Duvalovom trouglu. S obzirom na male količine ugljenmonoksida CO može se zaključiti da nema pregrevanja celulozne izolacije, a relativno mala količina ugljendioksida CO₂ ukazuje da je pregrevanje ulja prisutno u manjoj meri (volumenu). Prema FHE

¹ Siniša Spremić, EPS-P.D. "Elektrovojvodina" - Sektor eksploatacije Uprave, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (sinisa.spremic@ev.rs)

analizi ulja ulje je A klase za korišćena ulja, inhirano je (0,25 %) sa zadovoljavajućim sadržajem vode u ulju.

TABELA 1 – REZULTATI AGRU TRANSFORMATORA “A”

Datum	GAS						
	H ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
20100330	61	454	5	1669	253	127	1573
20110627	5	16	1	233	67	92	959
20120409	65	338	8	1158	189	77	892
20131203	5	47	1	190	43	49	1008

Dana 15.04.2010. godine su izvršena merenja na transformatoru u cilju utvrđivanja uzroka i mesta kvara. U zatečenom 5. položaju besteretnog menjača sve tri vrednosti međufaznog otpora visokonaponskog (u daljem tekstu: VN) namotaja su bile daleko iznad očekivanih vrednosti (vidi Tabelu 2). Nakon toga je izvršena mehanička razrada kontakata besteretnog menjača višestrukim promenom položaja pre merenja otpora izolovanosti namotaja međusobno i prema masi, merenja tangens delta i kapacitivnosti namotaja međusobno i prema masi, prenosnog odnosa u nekoliko položaja besteretnog menjača, faznih otpora niskonaponskog (u daljem tekstu: NN) namotaja, te nakon višestrukih promena položaja tokom prethodno navedenih merenja i merenje međufaznih otpora VN namotaja u 1., 3. i 5. položaju (vidi Tabelu 3). Temperatura ulja očitana na kontaktnom termometru je bila 24 °C, a okoline 15 °C. Struja prilikom merenja otpora je iznosila 5 A.

TABELA 2 – REZULTATI MERENJA OTPORA VN U ZATEČENOM 5. POLOŽAJU

	Otpor R (Ω)	Napomena
Faza "A-B"	2,12	Prilikom merenja u fabrici podatak od 0,82 do 0,83 Ω (prosek dve faze) u položaju 0% (položaj 3) pri 16° C.
Faza "B-C"	1,73	
Faza "A-C"	1,45	

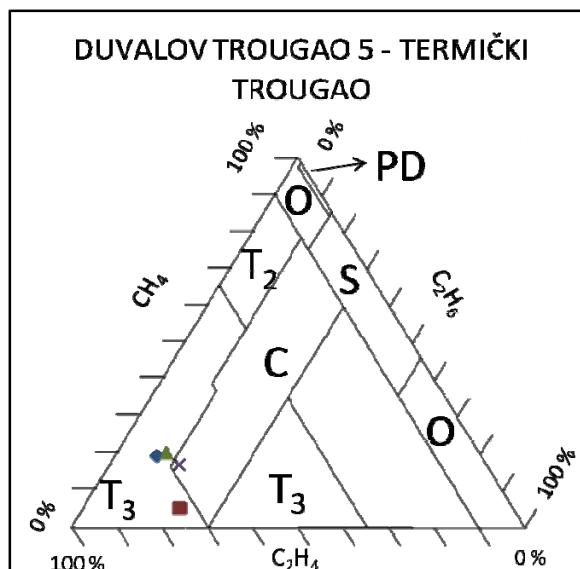
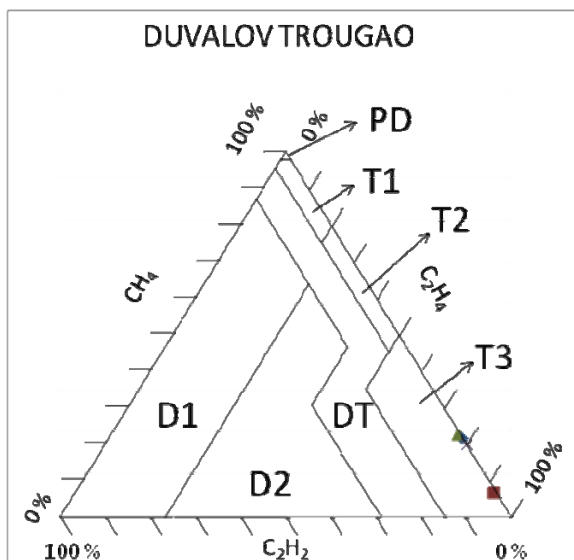
TABELA 3 – REZULTATI MERENJA OTPORA VN NAKON RAZRADE BESTERETNOG MENJAČA

Položaji 1, 3 i 5	Otpor R (Ω)	Napomena
Faza "A-B"	0,9; 0,85; 0,91	Prilikom merenja u fabrici podatak od 0,82 do 0,83 Ω (prosek dve faze) u položaju 0% (položaj 3) pri 16° C.
Faza "B-C"	0,94; 0,86; 0,81	
Faza "A-C"	0,92; 0,87; 0,91	

Izuzev međufaznih otpora VN namotaja ostale merene vrednosti su bile dobre. Na osnovu rezultata AGRU i merenja zaključeno je da je glavni uzrok pregrevanja veliki prelazni otpor na kontaktima faze “A”. Razlika otpora u 5. položaju je ostala relativno velika (oko 0,1 Ω) i nakon višestruke mehaničke razrade kontakata promenom položaja. Odlučeno je da transformator nastavi rad uz učestale AGRU. Učestale AGRU u narednom periodu od oko 15 meseci su pokazale težnju smanjenja količina svih gasova.

U periodu između dve AGRU od 27.06.2011. do 09.04.2012. godine došlo je do značajnog povećanja količina vodonika i ugljovodonika. Odnosi gasova AGRU od 30.03.2010. i od 09.04.2012. godine su slični tako da je pretpostavljeno da su uzrok i mesto ponovljenog pregrevanja isti. Dana 24.05.2012. godine su opet izvršena merenja na transformatoru i ista su pokazala slične rezultate, s tim da su u zatečenom stanju veličine međufaznih otpora VN namotaja u drugim položajima bile veće od očekivanih. Nakon višestruke mehaničke razrade kontakata besteretnog menjača u 5. položaju su dobijene vrednosti otpora slične prvom merenju. Transformator je pušten u pogon i opet je uz učestale AGRU došlo do smanjenja količina vodonika i ugljovodonika. Ovde se mora napomenuti da je u jednom periodu od oko 6 meseci kod dve uzastopne AGRU bilo prisutno održavanje količina gasova na približno jednakom nivou.

Na Slici 1 su prikazani osnovni Duvalov trougao i Duvalov trougao 5 koji se napravljen za termičke kvarove na visokim temperaturama oznake T2 i T3, tj, za dobijanje više podataka o termičkim kvarovima na visokim temperaturama ukoliko osnovni Duvalov trougao ukaže na iste. Sa Slike 1 se vidi da Duvalov trougao 5 ispravno postavlja tačke romba i trougla (rezultati AGRU iz prvog i trećeg reda Tabele 1). Bliskost tih tačaka pokazuje da su odnosi gasova približno jednaki, tj. da je kod oba rezultata AGRU reč o istom kvaru. Za Duvalov trougao 5 sa slike 1 se mora napomenuti da su za razliku od originalnog strane etana i metana zamenjene – obrnute, ali bez obzira na to postavljanje tačaka u odgovarajuća područja je ostalo isto.



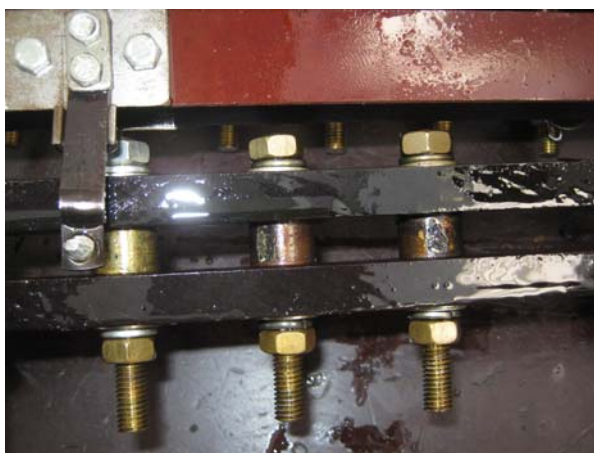
SLIKA 1 – Osnovni Duvalov trougao i Duvalov trougao 5 (termički trougao) za slučaj 1

U osnovnom Duvalovom trouglu područje D1 označava kvarove slabijih električnih pražnjenja, D2 jakih električnih pražnjenja, DT područje mogućih zajedničkih električnih pražnjenja i termičkih kvarova, T1 termičkih kvarova nižih temperatura $<300\text{ }^{\circ}\text{C}$, T2 termičkih kvarova u opsegu temperatura $300\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, T3 termičkih kvarova visokih temperatura $>700\text{ }^{\circ}\text{C}$ i PD područje parcijalnih pražnjenja.

U Duvalovom trouglu 5 značenja područja T2 i T3 označava temperaturne opsege kao što je prethodno navedeno, ali s tim da su to područja gde postoji samo pregrevanje ulja. Područje C označava područje gde je moguće (ali ne i sigurno) ugljenisanje papirne izolacije. Za područja O, S i PD se preporučuje korišćenje Duvalovog trougla 4, a značenje područja O je pregrevanje na $T < 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez ugljenisanja papira dok područje S označava gasiranje ulja (stray gassing) na $T < 200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zbog mogućeg ponovljenog povećanja količina gasova izvršena je priprema za zamenu transformatora i ista je obavljena krajem 2013. godine. Zbog konstrukcije transformatora nije bilo mogućnosti da se pregled i utvrđivanje obima kvara obavi na mestu rezerve transformatora pa je transformator poslat na popravku.

Nakon otvaranja transformatora pregledom je utvrđeno da nepokretni kontakti besteretnog menjača izrađeni od mesinga imaju oštećenja u svim fazama za 5. položaj. Na Slici 2 je prikazan deo kontakata.



SLIKA 2 – Fotografije nekoliko oštećenih nepokretnih kontakata besteretnog menjača

Pregledom je utvrđeno da su i pokretni kontakti u svim fazama oštećeni u manjoj ili većoj meri. Pokretni kontakti su izrađeni od bakra. Na Slici 3 su prikazani pokretni kontakti sa letve regulatora koja je smeštena sa VN strane transformatora sa oznakama faza na papiru na kojem su postavljeni. Slično izgledaju i pokretni kontakti sa letve regulatora koja je smeštena sa NN strane transformatora.



SLIKA 3 – Fotografije nekoliko oštećenih pokretnih kontakata besteretnog menjača

Pre pregleda transformatora AGRU je dala vrstu kvara, a merenja su ukazala na mesto kvara. Merenja su ukazala na značajan problem na kontaktima besteretnog menjača u fazi “A” sa razlikom otpora od 0,1 Ω . Merenja u zatečenom 5. položaju su pokazala da su vrednosti otpora i u drugim fazama bile značajno povećane. Prilikom merenja otpora VN namotaja drugih transformatora iz pogona u zatečenom stanju su se dobijale dobre vrednosti otpora. Povećana vrednost otpora u zatečenom stanju transformatora iz pogona može da znači da postoje oštećenja kontakata uz moguće slabo naleganje kontakata (mali kontaktni pritisak i/ili mala površina naleganja). Oštećenja kontakata se ogledaju u neravninama i stvaranju naslaga gareži što povlači smanjenu kontaktnu površinu i povećanje prelaznog otpora čime se dalje povećava zagrevanje.

Na nekim pokretnim i nepokretnim kontaktima sa Slika 2 i 3 se vide neravnine za koje bi se moglo reći da im je uzrok slabo varničenje na maloj udaljenosti čemu bi mogao biti uzrok stvaranje gareži od ulja prilikom prethodnog pregrevanja. Postojanje male količine acetilena bi moglo značiti da se povremeno javlja slabo varničenje, iako se smatra da se manje količine acetilena stvaraju u tragovima već na temperaturama većim od 500 °C [5]. Kod nekih slučajeva sličnih kvarova sa oznakom kvara T3 nije bilo acetilena iako su postojale veće količine etilena nego u ovom slučaju sa sličnim odnosima gasova. Svaka pojava acetilena, čak i u veoma malim količinama reda nekoliko ppm, mora da navede na dodatnu pažnju.

Pregledom je potvrđena vrsta kvara utvrđena sa AGRU i potvrđeno je glavno mesto kvara utvrđeno merenjima. Pregled je bio neophodan kako bi se utvrdio obim kvara. U odnosu na transformator prikazan u [6] koji je imao sličan kvar ovde su količine gasova bile značajno veće, a transformator je uz učestale AGRU radio oko 3 godine. Izvršena je zamena besteretnog menjača.

SLUČAJ 2 – TRANSFORMATOR “B”

Dana 18.08.2012. godine se pojavio signal buholc alarm. Gasovi iz buholca su bili zapaljivi. Dva dana kasnije 20.08.2012. godine je uzorkovano ulje za prvu AGRU od puštanja transformatora u pogon i obavljena su merenja na transformatoru. Rezultati prve i nekih kasnijih AGRU su prikazani u Tabeli 4. Duvalov trougao je za prvu AGRU ukazao na termički kvar visoke temperature T3. Povećana količine ugljenmonoksida CO ukazuje na pregrevanje čvrste izolacije. Zbog prisustva relativno velike količine acetilena C_2H_2 i sakupljenih zapaljivih gasova u buholcu pretpostavljeno je da je postojalo varničenje, tj. slabije električno pražnjenje oznake kvara D1. Kod nekih drugih kvarova tipa T3 gde je količina etilena C_2H_4 bila daleko veća nego u ovom slučaju nije bilo acetilena C_2H_2 i nije bilo sakupljanja gasova u buholcu. Na postojanje parcijalnih pražnjenja ukazuje velika količina vodonika H_2 u odnosu na acilen C_2H_2 i u odnosu na metan CH_4 . Odnos H_2/CH_4 bi bio daleko veći u slučaju odsustva pregrevanja. Relativno mala količina ugljendioksida CO_2 ukazuje da je pregrevanje ulja prisutno u manjoj meri (volumenu). Prema FHE analizi ulja ulje je A klase za korišćena ulja, inhibirano je (0,2 %) sa zadovoljavajućim sadržajem vode u ulju.

TABELA 4 – REZULTATI AGRU TRANSFORMATORA “A”

Datum	GAS						
	H_2 (ppm)	CH_4 (ppm)	C_2H_2 (ppm)	C_2H_4 (ppm)	C_2H_6 (ppm)	CO (ppm)	CO_2 (ppm)
20120820	1773	627	136	2758	455	558	1249
20130515	5	117	39	1255	171	154	1366
20130903	5	274	14	2186	2416	154	1450

Dana 20.08.2012. godine su izvršena merenja na transformatoru u cilju utvrđivanja uzroka i mesta kvara. U zatečenom 3. položaju besteretnog menjača za međufazne otpore VN namotaja "A-B" i "A-C" su bile daleko iznad očekivanih vrednosti (vidi Tabelu 5). Nakon toga je izvršena mehanička razrada kontakata besteretnog menjača višestrukum promenom položaja pre merenja otpora izolovanosti, merenja tangens delta i kapacitivnosti, prenosnog odnosa u svim položajima besteretnog menjača, te nakon višestrukih promena položaja tokom prethodno navedenih merenja i merenje međufaznih otpora VN namotaja u 2., 3., 4. i 5. položaju (vidi Tabelu 6) i faznih otpora NN namotaja. Temperatura ulja očitana na kontaktnom termometru je bila 30 °C, a okoline 30 °C. Struja prilikom merenja otpora je iznosila 5 A.

TABELA 5 – REZULTATI MERENJA OTPORA VN U ZATEČENOM 3. POLOŽAJU

	Otpor R (Ω)	Napomena
Faza "A-B"	7,7	Prilikom merenja u fabrici podatak od 0,82 do 0,83 Ω (prosek dve faze) u položaju 0% (položaj 3) pri 16° C za drugi ET istog tipa.
Faza "B-C"	0,9	
Faza "A-C"	7,7	

TABELA 6 – REZULTATI MERENJA OTPORA NAKON RAZRADE BESTERETNOG MENJAČA

Položaji 2, 3, 4 i 5	Otpor R (Ω)	Napomena
Faza "A-B"	0,9330; 1,4007; 0,8335; 0,8109	Prilikom merenja u fabrici podatak od 0,82 do 0,83 Ω (prosek dve faze) u položaju 0% (položaj 3) pri 16° C za drugi ET istog tipa.
Faza "B-C"	0,9319; 0,8575; 0,8592; 0,8118	
Faza "A-C"	0,9014; 1,4105; 0,9179; 0,8138	

Izuzev međufaznih otpora VN namotaja ostale merene vrednosti su bile dobre. Na osnovu rezultata AGRU i merenja zaključeno je da je uzrok pregrevanja veliki prelazni otpor na kontaktima faze "A". Kako svaki položaj obuhvata dva nepokretna kontakta i u 4. položaju postoji relativno velika razlika otpora zbog učešća jednog nepokretnog kontakta koji se koristi i za 3. položaj (vidi Sliku 4).

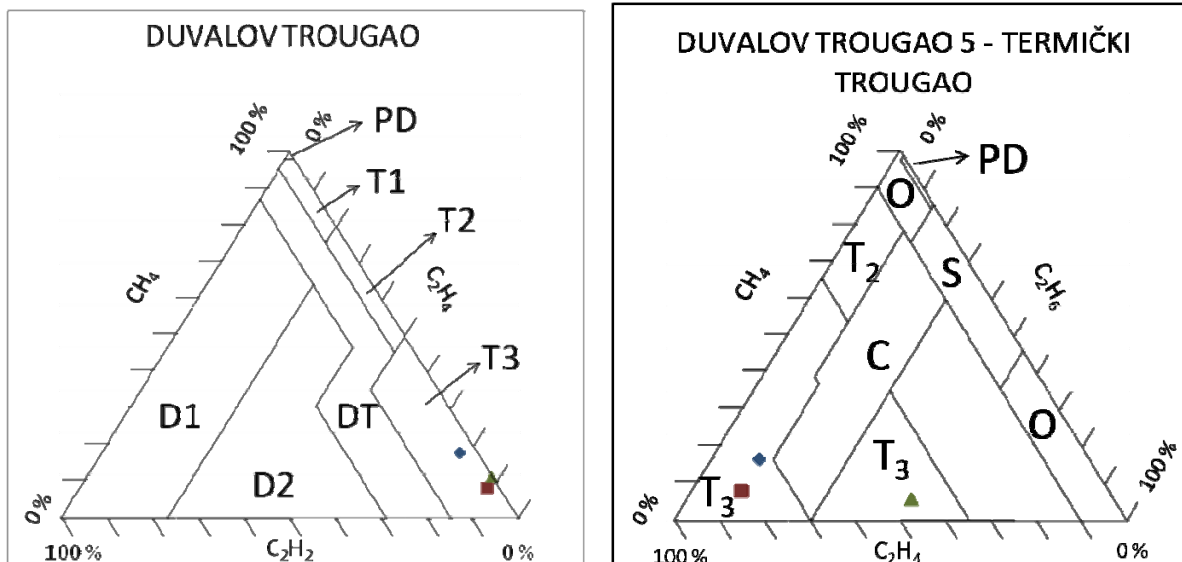


SLIKA 4 – Fotografija nosača nepokretnih kontakata (letve)

Razlika otpora u 3. položaju je ostala prevelika (oko 0,6 Ω) i nakon višestruke mehaničke razrade kontakata promenom položaja tako da se dalji rad u tom položaju nije mogao dozvoliti. Rad u 4. položaju se takođe morao izbeći zbog mogućeg značajnijeg oštećenja nepokretnih kontakata i razlike merenih vrednosti međufaznih otpora VN namotaja. Odlučeno je da transformator nastavi rad u 2. položaju gde su vrednosti međufaznih otpora VN namotaja imale manje razlike uz praćenje stanja učestalim AGRU. Učestale AGRU u periodu od oko 9 meseci su pokazale težnju smanjenja količina svih gasova.

Poslednja AGRU od 03.09.2013. godine je pokazala veoma značajan porast količina etana C₂H₆, etilena C₂H₄ i značajan porast količine metana CH₄. Prema Duvalovom trouglu kvar je ostao T3, tj. termički kvar visoke temperature veće od 700 °C. Mišljenje autora je da je ovo kvar T2, tj. termički kvar srednje temperature od 300 °C do 700 °C zbog odnosa etana C₂H₆ i etilena C₂H₄. Moguće je da je i u periodu kada su se smanjivale količine vodonika, ugljovodonika i ugljenmonoksida postojalo pregrevanje, ali u manjoj meri.

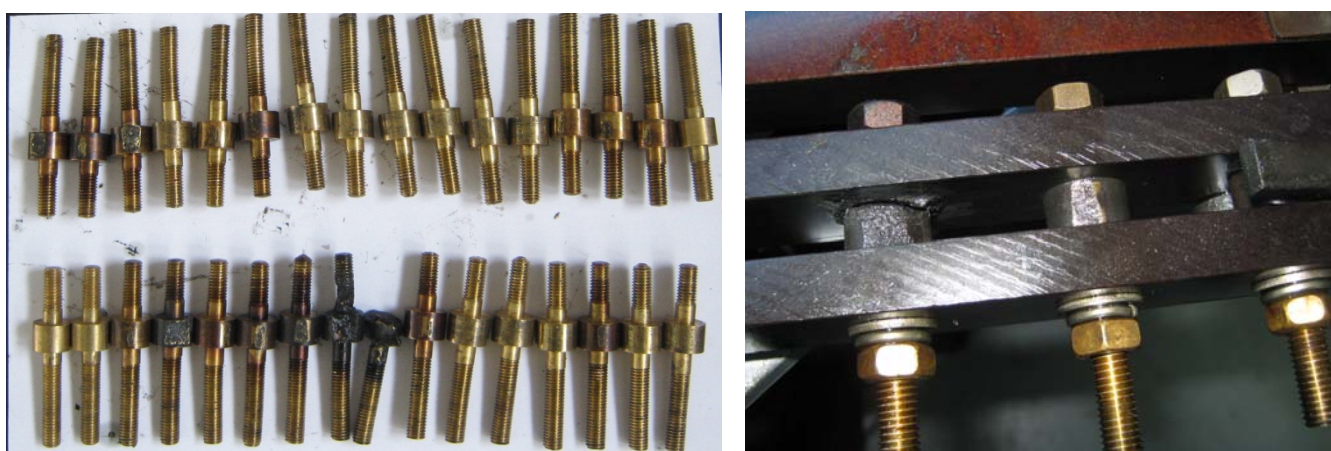
Na Slici 5 su prikazani osnovni Duvalov trougao i Duvalov trougao 5 za slučaj 2. Sa Slike 5 se vidi da su u osnovnom Duvalovom trouglu tačke oblika romba i trougla (rezultati AGRU iz prvog i trećeg reda Tabele 4) na većoj udaljenosti što ukazuje na promenu temperature kvara. Sagledavanje ostalih gasova i posebno velike količine etana C₂H₆ i relativno male količine metana CH₄ ukazuje da termički kvar za rezultat AGRU iz trećeg reda Tabele 4 nije tipa T3 nego T2 čime u ovom slučaju osnovni Duvalov trougao čini grešku. Pored ovog očigledno postojanje varničenja što pokazuje odrada buholic alarma sa zapaljivim gasovima nakupljenim u istom i relativno velika količina acetilena C₂H₂ u ulju bi rezultat AGRU iz prvog reda Tabele 4 (tačka oblika romba) trebalo postaviti u područje DT. Za Duvalov trougao 5 se mora napomenuti da i on postavlja tačku oblika trougla u područje T3 iako bi barem deo područja T3 u kojem se nalazi tačka oblika trougla trebao biti područje T2.



SLIKA 5 – Osnovni Duvalov trougao i Duvalov trougao 5 (termički trougao) za slučaj 2

Na Duvalovom trouglu 5 bi se tačka oblika romba trebala nalaziti u području C koje označava moguće ugljenisanje papira. Moguće je i ugljenisanje druge vrste čvrste izolacije, u ovom slučaju nosača nepokretnih kontakata od tekstolita koji je napravljen od pamuka i fenolne smole. Pamuk je materijal čiji je hemijski sastav sličan papiru.

Zbog značajnog povećanja količina gasova odlučeno je da se izvrši zamena transformatora. Transformator je poslat u fabriku i nakon otvaranja je utvrđeno značajno oštećenje većeg broja nepokretnih kontakata izrađenih od mesinga u svim fazama što je prikazano na Slici 6. I pokretni kontakti izrađeni od bakra su imali značajna oštećenja.



SLIKA 6 – Fotografija nepokretnih kontakata (levo) i nosač nepokretnih kontakata pre rastavljanja (desno)

Pregledom je utvrđeno da nepokretni kontakti besteretnog menjača imaju oštećenja u svim fazama za 3. položaj s tim da su oštećenja najveća u fazi "A". S obzirom da kontakti u 1. položaju besteretnog menjača imaju oštećenja transformator je u nekom ranijem periodu radio u 1. položaju. Nepokretni kontakti (parovi kontakata) su neoštećeni za 5. položaj u svim fazama.

Pre pregleda transformatora prva AGRU je ukazala na T3 kao kvar prema Duvalovom trouglu, ali se može reći da je T3 preovlađujući kvar, a sam pregled je pokazao da su na kontaktima postojala slabija električna pražnjenja - varničenje D1 i parcijalna pražnjenja PD (Slika 6). Takođe oštećenja na nosačima kontakata (letvama) izrađenim od tekstolita koji se sastoji od pamuka i fenolne smole ukazuju da je izvor povećane količine ugljenmonoksida CO pregrevanje tekstolita (Slika 4).

Pregledom je potvrđena preovlađujuća vrsta kvara T3 utvrđena sa prvom AGRU prema Duvalovom trouglu, potvrđeno pregrevanje čvrste izolacije i potvrđeno je mesto kvara utvrđeno merenjima. Pregledom je takođe uočeno da postoje ili su postojale druge vrste kvarova. Pregled je bio neophodan kako bi se utvrdio obim kvara. Izvršena je zamena besteretnog menjača.

ZAKLJUČAK

U radu su prikazana dva slučaja kvara od kojih je kod transformatora "A" čist termički kvar oznake T3. Kod transformatora "B" u jednom slučaju imamo preovlađujuće termički kvar oznake T3 sa prisutnim slabim električnim pražnjenjima oznake D1, parcijalnim pražnjenjima oznake PD i pregrevanjem čvrste izolacije, u ovom slučaju tekstolita. Kod zadnje AGRU kod transformatora "B" je čist termički kvar oznake T2.

Prikazani slučajevi pokazuju da je moguć dalji rad kod termičkih kvarova sa količinama gasova karakterističnih za određeni termički kvar koje su daleko veće od preporučenih standardom [1]. Podrazumeva se da je takav rad povezan sa povećanim rizikom od daljeg razvoja iste vrste kvara sa mogućnošću da se pojavi i druga vrsta kvara. Postojeće metode: Doernenburg, Rogers ratios, MSS (Mueller, Schliesinger and Soldner), Duval Triangle, Key Gas, Logarithmic nomograph, IEC ratios, IEEE,... u tumačenju rezultata AGRU, tj. u određivanju vrste kvara u nekim slučajevima ne prepoznaju kvar, u nekim slučajevima greše, a kod slučajeva gde postoji više kvarova uglavnom ne prepoznaju kvar ili daju krivo tumačenje. Razlog je što je većina metoda pojednostavljena u cilju da omogući korisnicima da na lak način dođu do tumačenja.

Standardne metode merenja i ispitivanja koje se mogu obaviti na licu mesta (otpor namotaja, prenosni odnos, otpor izolacije, tangens delta i kapacitivnost) uz AGRU koja se može obaviti i na terenu su u većini slučajeva dovoljne u određivanju vrste i mesta kvara. Standardna merenja ukazuju na mesto kvara, a zajedno sa AGRU pokazuju i vrstu i mesto kvara.

U prikazanim slučajevima kvarova nalazi pregleda su pokazali da su mesto i vrsta kvara određeni iz rezultata AGRU i standardnih merenja potpuno ispravni.

AGRU je veoma dobra metoda za određivanje vrste kvara i neophodno ju je izvršiti nakon svakog ispada kod kojeg postoji sumnja na kvar unutar transformatora. Dobra strana AGRU je izostanak potrebe za isključenjem transformatora za razliku od standardnih merenja. Poželjno bi bilo periodično vršiti AGRU kako bi se na taj način pratilo stanje transformatora.

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. Lance Lewand, 2006, "Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers", IEEE Conference
3. Operating instruction for degassing of oil samples, ECH Elektrochemie Halle GmbH
4. Michel Duval, 2006, "Dissolved Gas Analysis and the Duval Triangle", IEEE Conference
5. Hydroelectric Research and Technical Services Group, 2000, FIST 3-30 Transformer Maintenance
6. V. Radin, N. Stojanović, N. Ristović, 2012, "Ocena pogonskog stanja distributivnih transformatora srednje napona", 8. savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem (CIRED Srbija)

KLJUČNE REČI: transformator, termički, kvar, ulje, gas, regulacija, sklopka, položaj