

KVAROVI REGULACIONIH SKLOPKI POD OPTEREĆENJEM

FAILURES OF ON-LOAD TAP CHANGERS

Goran FILIPOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad, Srbija
Aleksandar ANTONIĆ, Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad, Srbija
Siniša SPREMIĆ, Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Regulaciona sklopka pod opterećenjem sa pripadajućim motornim pogonom je zahtevan uređaj za održavanje. Uprkos redovnim revizijama i remontima sa zamenom delova u prekidačkom delu regulacionih sklopki sa starenjem sve češće dolazi dolazi do kvarova na regulacionim sklopkama i na motornim pogonima regulacionih sklopki. U motornim pogonima regulacionih sklopki se delovi uglavnom menjaju samo po potrebi, tj. po uočenom kvaru u motornom pogonu. U radu je dat prikaz kvarova na regulacionim sklopkama. Nekoliko posebnih slučajeva kvarova na prekidačkom delu regulacionih sklopki su detaljnije razmotreni sa fotografijama koje pokazuju mesto kvara. Prikazani su rezultati gasnohromatografskih analiza. U zaključku se predlaže dalji način održavanja regulacionih sklopki i motornih pogona.

Ključne reči: greška, kvar, regulaciona sklopka

ABSTRACT

The On-Load Tap changer with associated motor drive unit is a demanding device for maintenance. Despite regular revisions and overhauls with the replacement of parts in the diverter switch of the On-Load Tap Changer, as they age, malfunctions occur more often on the On-Load Tap Changers and on the motor drive units of the On-Load Tap Changers. In motor drive units of On-Load Tap Changers, parts are generally changed only when necessary, i.e. after a detected malfunction in the motor drive unit. The paper describes the failures of the On-Load Tap Changers. Several special cases of failures in the switching part of the On-Load Tap Changers are discussed in more detail with photographs showing the location of the failure. The results of dissolved gas analysis are presented. In the conclusion, a further way of carrying out the maintenance of On-Load Tap Changers and motor drives is proposed.

Key words: Failure, Fault, On-Load Tap Changer

Goran Filipović, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad, Srbija, goran.filipovic@eps.rs
Aleksandar Antonić, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad, Srbija, aleksandar.antonice@ods.rs
Siniša Spremić, Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad, Srbija, sinisa.spremic@ods.rs

1. UVOD

Regulaciona sklopka pod opterećenjem (u daljem tekstu: RS) sa pridruženom opremom (motorni pogon regulacione sklopke, prenosnici, vratila, zaštitni releji regulacionih preklopki, dilatacioni sudovi regulacionih preklopki, uljokazi na dilatacionim sudovima regulacionih preklopki i dr.) sastavni su deo energetskih transformatora i služe za dobijanje željene vrednosti napona na niženaponskoj strani transformatora pod opterećenjem. Promena napona na niženaponskoj strani se vrši promenom položaja RS promenom broja navojaka na primarnoj (višenaponskoj strani). Promena napona niženaponske strane transformatora je neophodna zbog promena napona na primarnoj strani transformatora ili zbog promene opterećenja niženaponske strane transformatora (zbog padova napona na dužim izvodima) kako bi se napon na niženaponskoj strani održao u željenim granicama.

RS je složen elektromehanički uređaj sa pokretnim delovima i neophodno je posvetiti punu pažnju pregledu i održavanju svih pristupačnih delova. RS koje se koriste za distributivne transformatore 110/x kV u distributivnom

području (DP) Novi Sad, što se tiče načina ugradnje, sve su “in tank” tipa, tj. ugrađene su unutar suda transformatora. Što se tiče izvedbe načina prebacivanja položaja većinom su tipa “diverter switch”, a manjim delom “selector switch” tipa [1]. Kod svih RS mošćenje struje u prelaznom postupku promene položaja vrši se prelaznim otpornicima. Starije RS imaju prekidanje/uspostavljanje struje u prelaznom procesu na kontaktima u ulju, a novije vakuumske u vakuumskoj boci.

Uz redovno održavanje prema preporukama proizvođača retko se događaju kvarovi RS, ali se ipak događaju. Kvarovi manjeg obima bez ispada transformatora i ozbiljnije štete na RS ili transformatoru, koji se utvrde prilikom redovnih remonata ili revizija, otklanjaju se na licu mesta za kratko vreme, zamenom oštećenih delova. Za veće kvarove za koje je potrebno otvaranje transformatora u većini slučajeva se popravka vrši u fabrici.

2. ODRŽAVANJE RS

Održavanje RS i motornih pogona regulacione sklopke (u daljem tekstu: MP) se obavlja u rokovima određenim proizvođačkom dokumentacijom i na osnovu iskustva. U tabeli I su dati podaci o rokovima remonata/broj odrada. Rok remonta se daje u godinama ili nakon određenog broja operacija (odrada) RS. U dužem vremenskom razdoblju je jedan tip RS i pridruženih motornih pogona zamenjen u potpunosti zbog problema od početka korišćenja i lošeg kvaliteta. Nekim tipovima RS su zamenjeni svi motorni pogoni uz potrebna prilagođenja. Neki tipovi RS su u potpunosti zamenjeni zbog dotrajalosti i nemogućnosti nabavke rezervnih delova ili zbog rashodovanja transformatora usled kvara ili dotrajalosti [2].

Tabela 1 – Uslovljenost remonata po vremenu i broju odrada

Oznaka	Tip	Rok remonata (godine)/broj odrada
1	M III 300	5-6/100.000
1	MS III 300	7/100.000
1	M III 350	7/100.000
1	D III 200	5-6/100.000
1	V III 200	6-7/100.000
2	VM III 300	Bez vremenskog ograničenja/300.000
3	SCV 1-630	2
4	SN/110-250	5/50.000
4	RN/110-400	5/50.000

Kod RS tipova oznake 1 iz Tabele I su rokovi u kojima je neophodno obaviti remont svakih 5-6, 6-7 ili 7 godina ili na 100.000 odrada RS. Kod ovih RS se prilikom remonata obavezno menja ulje, ispire (uljem) sud prekidačkog dela i sam prekidački deo, zameni zaptivač poklopca regulacione preklopke i izmere vrednosti prelaznih otpora. Obavi se kompletan vizuelni pregled suda prekidačkog dela i samog prekidačkog dela. Pored ovoga, obavi se i zamena delova nabavljenih po preporuci proizvođača RS. U prethodnom periodu su kod starijih RS u redovnim rokovima remonata menjani delovi koje je proizvođač vremenom usavršavao (unapređivao) na osnovu iskustva u eksploataciji RS.

Kod tipa RS oznake 2 ne postoji vremensko ograničenje, a remont se treba obaviti nakon 300.000 odrada RS. Na sedam godina se preporučuje ispitivanje sadržaja vode u ulju i dielektrične čvrstoće ulja RS.

Kod tipa RS oznake 3 su rokovi u kojima je neophodno obaviti remont svake dve godine (bez obzira na broj odrada RS koji je u svakom slučaju za dve godine manji od 50.000 - u praksi između 5000 i 10.000 godišnje), prvenstveno zbog stanja RS. Kod ovih RS se prilikom remonata obavezno menja ulje, ispire (uljem) sud prekidačkog dela i sam prekidački deo, zameni zaptivač poklopca regulacione preklopke i izmere vrednosti prelaznih otpora. Obavi se kompletan vizuelni pregled suda prekidačkog dela i samog prekidačkog dela. Delovi se ne menjaju (u smislu zamene usavršenim delovima) jer ovaj proizvođač odavno više ne radi, a u slučaju potrebe zamene oštećenih i istrošenih delova imamo manji deo rezervnih delova.

Kod tipova RS oznake 4 su rokovi u kojima je neophodno obaviti remont svakih pet godina ili na 50.000 odrada RS. Kod ovih RS se prilikom remonata obavezno menja ulje, ispire (uljem) sud prekidačkog dela i sam prekidački deo, zameni zaptivač poklopca regulacione preklopke i izmere vrednosti prelaznih otpora. Obavi se kompletan vizuelni pregled suda prekidačkog dela i samog prekidačkog dela. Delovi se ne menjaju (u smislu zamene usavršenim delovima) jer proizvođač više ne radi, a u slučaju potrebe zamene oštećenih i istrošenih delova isti se mogu nabaviti.

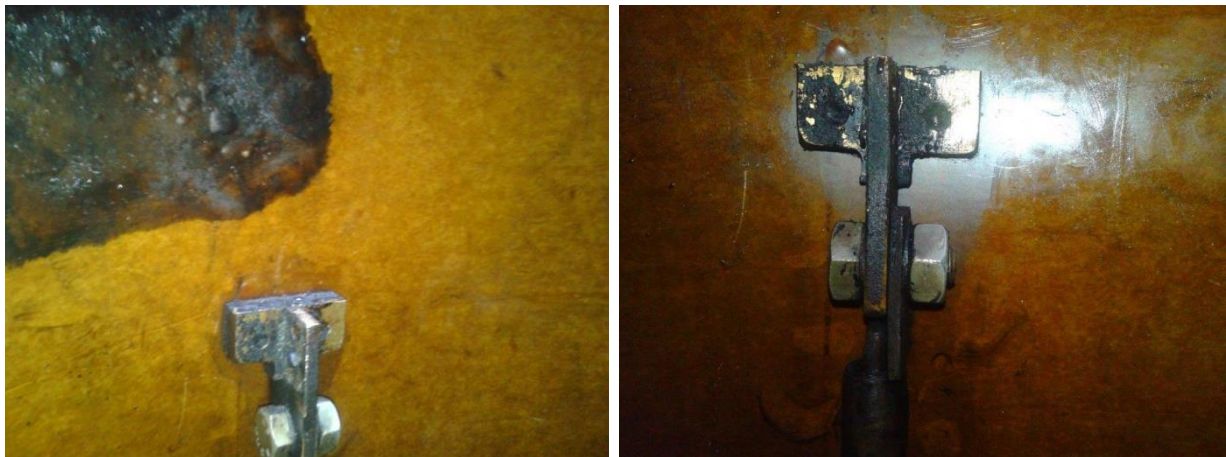
Prilikom održavanja, za određivanje stanja RS i MP su, pored vizuelnog pregleda, dostupne različite metode: merenje struja elektromotora, merenje vibracija, merenje statičkih i dinamičkih otpornosti i gasnohromatografska analiza ulja (u daljem tekstu: GH analiza) suda regulacionog prekidača [3].

3. KVAROVI REGULACIONIH SKLOPKI

Iako se revizije i remontirane u redovnim rokovima, u poslednje vreme sa starenjem RS dolazi do učestalijih kvarova RS. Najčešće su kvarovi RS manjeg obima, ali su se događali i veći kvarovi RS.

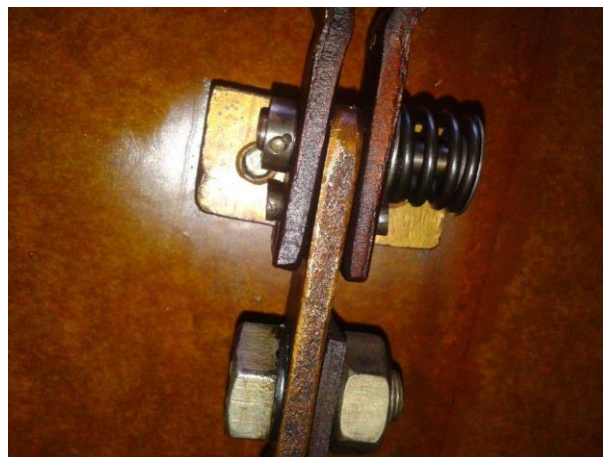
3.1 Kvar na dosednom kontaktu

Krajem 2013. godine je došlo do kvara RS tipa SCV 2-200 uz isključenje transformatora delovanjem zaštitnog releja RS. Na Slici 1 je prikazano oštećenje dosednog kontakta jedne faze i obloge suda prekidačkog dela usled električnog luka. Može se pretpostaviti da je uzrok pojave električnog luka loš kontakt. U početku je zbog lošeg kontakta postojalo grejanje koje se kasnije razvilo u manje varničenje čime je došlo do daljeg oštećenja dosednog kontakta. Kasnije je došlo do otpadanja viljuške sa oprugom u koju ulazi kontakt prekidačkog dela RS. To je na kraju dovelo do električnog luka, moguće prilikom promene položaja RS.



Slika 1 – Električnim lukom oštećeni dosedni kontakt i obloga suda prekidačkog dela RS

Na Slici 2 se vidi neoštećen dosedni kontakt druge faze. Na njemu se vide naslage od prljavog ulja, ali je površina koja je u kontaktu sa kontaktom prekidačkog dela RS ispravna. Na tom dosednom kontaktu nema oštećenja, a ne vide se ni tragovi pregrevanja, ni na kontaktu ni na oblozi suda RS.



Slika 2 – Dosedni kontakt bez oštećenja

Transformator je snage 20 MVA, prenosnog odnosa 110/36,75/10,5 kV. Procenjeno je da nije isplativa popravka u fabrici sa zamenom RS i MP uz potrebu zamene i druge dotrajale opreme na transformatoru (110 kV, 35 kV i 10 kV provodni izolatori, orman zaštite i hlađenja, deo ventilatora, uljokazi...) i transformator je rashodovan.

3.2 Kvar prelaznog otpornika

Krajem 2012. godine je došlo do kvara RS tipa D III 200 uz isključenje transformatora delovanjem zaštitnog releja RS. Na Slici 3 je prikazano oštećenje prelaznog otpornika prekidačkog dela RS. Fotografija je napravljena u radionici. Izuzev potpunog oštećenja prelaznog otpornika drugih oštećenja suda i prekidačkog dela RS nije bilo.

Iako je RS stara proizvođač je obezbedio novi prelazni otpornik. Do zamene prelaznog otpornika iskorišćen je prekidački deo sa transformatora sa RS istog tipa koji je bio na rezervi. Uzrok kvara je nepoznat, a u vreme kvara nije bilo atmosferskih pražnjenja ni sklopnih prenapona usled manipulacija. Moguće je da je uzrok loš kontakt koji je doveo do električnog luka. Nakon zamene prelaznog otpornika originalni prekidački deo je vraćen u sud RS i radi do danas.



Slika 3 – Električnim lukom oštećeni prelazni otpornik prekidačkog dela RS

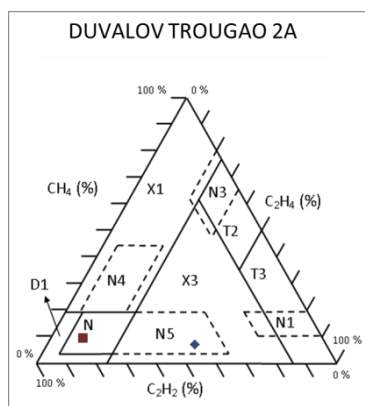
3.3 Oštećenje lučnog štita

Prilikom redovnog remonta RS tipa M III Y 300 110/B 12233G u 2015. godini su zamenjene pletenice od kontakata do veze prema zvezdištu, glavni zaptivač i ulje. Obavljen je kompletan pregled prema listi održavanja i nije uočena nikakva nepravilnost. Uzet je 22.3.2015. godine uzorak za GH analizu ulja pre zamene ulja. Ulje je ispitano prenosnim uređajem u laboratoriji (ne na terenu). U tabeli II su dati rezultati GH analize, a na slici 4 tačka oblika romba u Duvalovom trouglu 2a. Uočeno je tada po Duvalovom trouglu 2 bez područja sa isprekidanim linijama [4] da se tačka nalazi u području X3 sa mogućim nenormalno jakim električnim pražnjenjem. Tačka se nalazi u području N5 koje je u [4] označeno kao područje normalnog rada za ovaj tip RS, a takođe kao područje normalnog rada su za ovaj tip RS označena i područja N i N1.

Bez obzira na to, odlučeno je da se ponovo izvrši pregled prekidačkog dela RS i uzme novi uzorak ulja iz suda RS. Pošto je TS 110/x kV radijalno napojena, isključenjem transformatora svi potrošači ostaju bez napajanja pa se sačekao sledeći remont i isključenje transformatora, za oko godinu dana.

Tabela 2 – Rezultati GH analize ulja sa količinama gasova u ppm

Datum	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
20150322	31.978	1383	10.482	11.944	1823	194	2930
20160522	17.120	2341	22.530	3170	174	475	2694



Legenda područja Duvalovog trougla 2A [5]

N = Normalan rad

T3 = Termički kvar $T > 700^{\circ}\text{C}$

T2 = Termički kvar $300 < T < 700^{\circ}\text{C}$

X1 = Mogući termički kvar T1 ($T < 300^{\circ}\text{C}$) u napretku

X3 = Kvar T3/T2 u napretku (u većini slučajeva) ili nenormalno jako električno pražnjenje D2

D1 = Nenormalno električno pražnjenje D1

N1, N3, N4, N5 = Područja normalnog rada određenih tipova RS [4]

Slika 4 – Duvalov trougao 2A sa tačkama



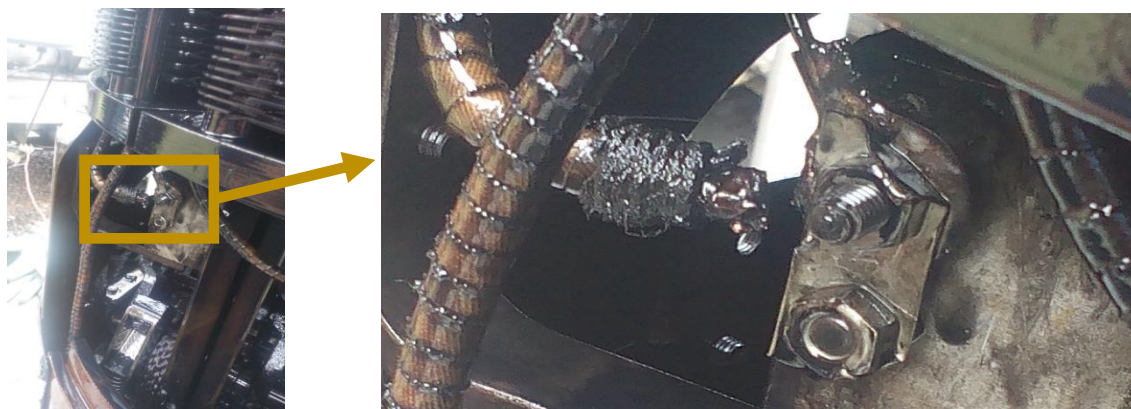
Slika 5 – Oštećeni lučni štít

Tokom ponovljenog remonta, u stvari pregleda prekidačkog dela RS, 22.5.2016. godine je pronađen jedan lučni štít sa polomljenim delom koji je zamenjen novim. Na delu lučnog štita na slici 4 nije primećeno da je bio izložen električnom luku ili pregrevanju. Polomljeni deo je izlomljen na više delova koji su propali na prelazni otpornik i dno suda prekidačkog dela RS. S obzirom da prilikom prethodnog remonta nisu uočeni nedostaci može se pretpostaviti da je uzrok postavljanja tačke u područje „N5“ termički kvar koji je verovatno bio manjeg trajanja, uzrokovan koksovanjem nekog od glavnih kontakata u prekidačkom delu RS.

GH analiza ponovljenog uzorka od 22.5.2016. godine prikazana je tačkom oblika kvadrata na slici 4. Nalazi se u području „N“ i ukazuje na ispravan rad. Polomljeni deo lučnog štita nije izazvao ozbiljniji kvar. S obzirom da je otpali deo bio izlomljen na više delova verovatno je izlomljen prilikom promene položaja RS.

3.5 Prekid provodnika od kontakta do prelaznog otpornika

Tokom remonta RS tipa SCV 1-630 dana 15.9.2014. godine uočen je prekid provodnika od kontakta do prelaznog otpornika, što je prikazano na slici 6. Provodnik nije bio udaljen od veze već je rukom odvojen kako bi se videlo mesto greške. Kod ove RS postoji problem mešanja ulja suda RS i suda transformatora preko semeringa na dnu suda RS. Zbog toga se ulje češće ispitivalo kako bi se otklonila sumnja u moguću kvar unutar suda transformatora jer je GH analiza ulja suda transformatora prema Unapređenom trouglu i Duvalovom trouglu pokazivala kvar oko granice područja D1 i D2, tj. slabih i jakih električnih prажnjenja.



Slika 6 – Prekid provodnika od kontakta do prelaznog otpornika

U tabeli III su prikazani rezultati GH analiza u razdoblju pre uočene greške i na dan remonta 2014. godine.

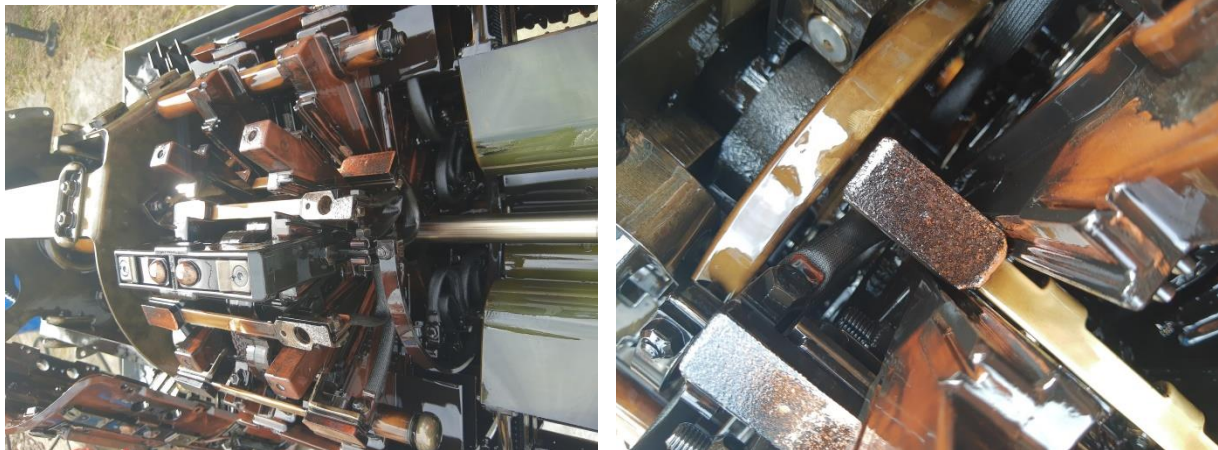
Tabela 3 – Rezultati GH analize ulja sa količinama gasova u ppm

Datum	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
20140915	155.549	890	9159	2045	215	195	2254
20130709	14.865	2428	15.969	1786	67	268	2566
20120703	9443	1803	9686	1527	63	192	2094
20110317	10.631	1078	13.948	1843	63	170	1625
20100913	10.853	1373	8954	1761	74	240	2349
20100224	11.418	1323	11.631	1516	125	195	1710

Prema Duvalovom trouglu 2 svi rezultati GH analize ulja suda RS su se nalazili u „N“ području normalnog rada RS. Veza je popravljena, a kasnije su GH analize ulja suda RS i transformatora pokazivale slične rezultate.

3.5 Slučaj otpadanja dva kontakta

Tokom remonta RS tipa M III 300 110/B 12233G dana 20.10.2023. godine su sa nosača pokretnih kontakata jedne faze otpali po jedan kontakt sa iste strane. Na slici 7 levo je prikazan izgled oba nosača kontakata. Uočena su manja oštećenja nosača kontakata na mestu gde su bili kontakti usled varničenja prilikom prelaznog postupka promene položaja RS. Na slici 7 desno je prikazan preostali kontakt jednog od nosača kontakata gde se vidi da je, zbog gubljenja normalnog naleganja "kontakt na kontakt" sa suprotne strane, došlo do zakošenja nosača kontakata i pokretni kontakt je na nepokretni nalegao samo jednim malim delom na ivici.



Slika 7 – Otpao po jedan kontakt sa nosača pokretnih kontakata (levo) i oštećenje preostalog kontakta (desno)

Otpali kontakti su izvađeni iz suda RS. Nađeno je nekoliko kontakata koji su bili razlabavljeni i oni su dotegnuti. Postojeći kontakti sa manjim oštećenjima su doradjeni turpijom. Nosači kontakata će biti zamenjeni jer ih nije bilo u rezervi. Rezultat GH analize ulja suda transformatora od 14.7.2023. godine je sličan rezultatima u prethodnih 20 godina. GH analiza ulja suda RS nije nikad urađena.

3.5 Slučajevi oštećenja i prekida bakarnih pletenica

Kod starijih RS različitih proizvođača i tipova u poslednje vreme dolazi do oštećenja i prekida bakarnih pletenica. Na slici 8 su prikazana oštećenja i prekidi bakarnih pletenica četiri različite regulacione sklopke koja su uočena prilikom redovnih remonata RS.



Slika 8 – Oštećenja i prekidi bakarnih pletenica

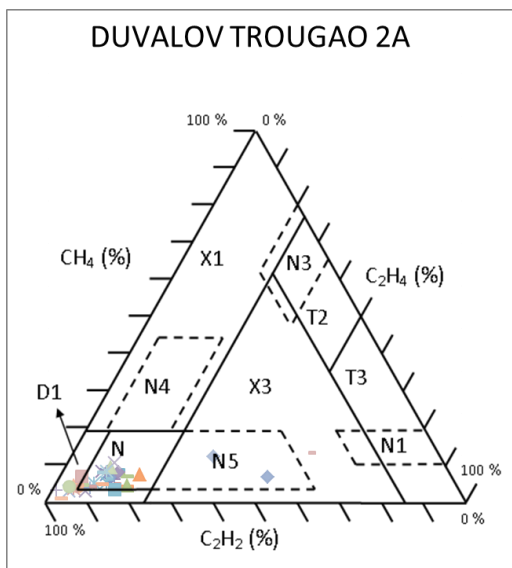
Za jedan tip su oštećene bakarne platenice zamenjene originalnim. Drugi tip RS sa više oštećenih pletenica bez mogućnosti zamene originalnim bakarnim pletenicama i lošim stanjem RS i motornog pogona je zamenjen drugim tipom prilikom remonta transformatora. Za treći tip su potrošene stare ispravne iz rezerve.

Prekid bakarnih pletenica može biti uzrok ozbiljnijeg kvara uz pojavu električnog luka i većih oštećenja prekidačkog dela RS.

I u slučaju da nije zahtevana zamena bakarnih pletenica od strane proizvođača RS, na remonte RS se uvek nosi komplet rezervnih delova kako bi se uočeni nedostaci mogli odmah otkloniti.

4. REZULTATI GH ANALIZA ULJA SUDA RS U DUVALOVOM TROUGLU 2

Tokom dve godine su se prilikom remontata RS uzimali uzorci ulja iz suda RS i obavljale GH analize. Na slici 9 su prikazani rezultati GH analiza RS za tip M i MS.



Sve RS čiji se rezultati GH analize nalaze u području D1 Duvalovog trougla 2 su pokazale normalan rad bez uočenih ikakvih grešaka prilikom remonta RS, tako da se to područje treba smatrati područjem normalnog rada za te tipove RS.

Slika 9 – Rezultati GH analiza za RS tipova M i MS

5. ZAKLJUČAK

Remonti RS treba da budu pripremljeni pažljivo. Prema preporuci proizvođača treba nabaviti i zameniti potrebne delove. Potrebno je pažljivo pregledati i fotografisati sve bitne delove RS radi poređenja sa fotografijama sa sledećeg remonta. Ukoliko se uoči neka greška, treba uzeti uzorak za GH analizu ulja iz suda RS i, po proceni, iz suda transformatora. U slučaju potrebe posavetovati se sa proizvođačem (ako još postoji).

U poslednje vreme su učestale greške na bakarnim pletenicama pa bi trebalo sagledati dokumentaciju svake RS, broj promena položaja RS i proceniti potrebu zamene bakarnih pletenica.

Neophodno je tačno vođenje knjige održavanja za svaku RS.

Dosadašnje metode za tumačenje GH analize ulja iz suda RS Duvalovi trouglovi 2 i PEM metoda [4] nisu dovoljno dobre da bi se sa većom pouzdanošću mogao utvrditi ili potvrditi kvar u sudu RS. Neophodno je razviti nove metode.

LITERATURA

- [1] Axel Krämer, "On-Load Tap-Changers for Power Transformers", MR publication
- [2] Goran Filipović, "Održavanje regulacionih sklopki i motornih pogona", 32. savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor 2015., R A2.02
- [3] Dragan Teslić, Branko Pejović, Branka Đurić, Jelena Janković, Slađana Teslić, Đorđe Jovanović, "Uticaj prisustva regulatora napona na ispitivanje pogonskog stanja energetskih transformatora", 31. savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor 2013., R A2.01
- [4] Technical brochure TB 771, Advances in DGA interpretation, CIGRE Working Group D1/A2.47, July 2019
- [5] Technical brochure TB 443, DGA in Non-Mineral Oils and Load Tap Changers and Improved DGA Diagnosis Criteria, CIGRE Working Group D1.32, December 2010