

PREGLED STANJA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA ANALIZOM BAZE PODATAKA ISPITIVANIH UZORAKA

Ksenija Drakić, Jelena Lukić, Slađana Gavrančić, Snežana. Kovačević
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: *Laboratorija za ispitivanje izolacionih ulja Elektrotehničkog instituta "Nikola Tesla", (INT) dugi niz godina vrši nadzor transformatora u pogonu, ispitivanjem uzoraka ulja. To podrazumeva: - kontrolu ispravnosti transformatora gasnohromatografskom analizom sadržaja gasova rastvorenih u ulju i - utvrđivanje stanja i kvaliteta ulja merenjem fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika ulja. Pored navedenih, u INT se kontinualno radi na uvođenju i primeni novih metoda ispitivanja. To se pre svega odnosi na ispitivanja ulja, novih i iz eksploatacije, kao i ispitivanja na osnovu kojih se vrši procena stanja čvrste izolacije. Sva ispitivanja se vrše u skladu sa stručnom tehničkom literaturom, prvenstveno sa publikacijama Međunarodne Elektrotehničke Komisije IEC. Dugogodišnjom periodičnom, preventivnom kontrolom ulja, u laboratoriji INT, dobijen je izuzetno veliki broj rezultata od kojih je sačinjena jedinstvena baza podataka[1]. Statističkom analizom rezultata i uspostavljanjem korelacija među pojedinim vrstama ispitivanja, moguće je objasniti, pa čak i predvideti određene pojave vezane za procese starenja i degradaciju papirno-uljne izolacije ispitivanih transformatora. U radu je, obradom rezultata baze podataka, dat prikaz:- ispravnosti i pogonske sigurnosti, izabranog skupa transformatora, na osnovu DGA. (Dissolved Gass Chromatography).- presek stanja i kvaliteta ulja energetskih transformatora u Srbiji i Crnoj gori analizom karakteristika: Nb, tgδ i sadržaja H₂O, ispitivanih tokom proteklih nekoliko godina. Tokom poslednje tri godine, u laboratoriji INT uvedene su nove metode ispitivanja sistema izolacije transformatora i druge visokonaponske opreme: analiza derivata furana (2-furfurala) metodom tečne hromatografije (HPLC -High Performance Liquid Chromatography) i određivanje srednjeg viskozimetarskog stepena polimerizacije papira – Dpvsr, koje su u najvećoj meri primenjene u cilju procene stanja i ostarelosti čvrste izolacije transformatora.*

Ključne reči: *baza podataka, transformatorska ulja, čvrsta izolacija*

1. UVOD

Većina energetskih transformatora, na prostorima Srbije i Crne Gore, nalivena su uljem mineralnog porekla. Mineralna izolaciona ulja, po svojoj prirodi, predstavljaju rafinisane vakuum destilate niske viskoznosti, kojima su dodati inhibitori oksidacije i eventualno depresanti tačke stinjavanja.

Dodatak inhibitora oksidacije ima za cilj poboljšanje postojanosti ulja na procese starenja tokom eksploatacije, dok depresanti tačke stinjavanja imaju zadatak da u uslovima nižih temperatura rada (kao što je zimski period) obezbede odgovarajuću viskoznost ulja, a samim tim i odvođenje toplote.

Mineralna izolaciona ulja u najvećoj meri čini smeša naftenskih, parafinskih i aromatskih ugljovodonika. Njihova uloga je da zadovolje dve osnovne funkcije:

- a) izolaciju delova pod naponom, što znači da ulje treba da ima dobre električne karakteristike kao što su dielektrična čvrstoća, sačinitelj dielektričnih gubitaka i specifičan električni otpor.
- b) efikasno odvođenje toplote, što znači da ulje treba da ima odgovarajuću "tečljivost" koja je uslovljena viskoznošću, gustinom i tačkom stinjanja.

Tokom eksploatacije, pod uticajem temperature, vlage, kiseonika iz vazduha i katalitičkog dejstva konstrukcionih materijala, transformatorska ulja stare, odnosno menjaju kvalitet i izolaciona svojstva. Iz gore navedenih razloga neophodno je periodično kontrolisati stanje i kvalitet transformatorskih ulja ispitivanjem fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika i ispitivanje ispravnosti transformatora merenjem sadržaja gasova rastvorenih u ulju metodom gasne hromatografije.

2. ANALIZA BAZE PODATAKA I USPOSTAVLJANJE SOPSTEVNIH KRITERIJUMA KVALITETA

Dugogodišnjim sabiranjem rezultata izvršenih analiza u INT nastala je jedinstvena BAZA PODATAKA. Praćenjem ispravnosti transformatora, na osnovu gasnohromatografske (GH) analize i promena karakteristika ulja ispitivanjem fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika (FHE), uspostavljeni su sopstveni kriterijumi kvaliteta i tumačenja rezultata.

2.1. Pregled pogonskog stanja transformatora distributivne mreže gasnohromatografskom analizom ulja

Za postavljanje dijagnoze o stanju transformatora vrši se kvalitativno i kvantitativno ispitivanje sadržaja gasovitih produkata degradacije: vodonika (H_2), metana (CH_4), acetilena (C_2H_2), etilen (C_2H_4), etan (C_2H_6), ugljenmonoksida (CO) i uglendioksida (CO_2) i vazduha (O_2 i N_2).

Uspostavljene su sopstvene granične vrednosti sadržaja gasova u ulju, za normalan i bezbedan rad transformatora (sa i bez regulacione sklopke) za 95% nivo pouzdanosti, te se tumačenje i interpretacija rezultata gasnohromatografske analize bazira na statističkoj obradi "naše" baze podataka.

2.1.1. Analiza rezultata ispitivanja uzoraka ulja energetskih transformatora

U radu je dat prikaz i analiza skupa energetskih transformatora čija se ispravnost, na osnovu GH analize, kontroliše u određenim vremenskim intervalima, tj. u okviru preventivne periodične kontrole.

Ispitivani skup energetskih transformatora čini pet, po pogonima, razvrstanih grupa. Rezultati i obim izvršenih ispitivanja prikazani su u tabeli 1.

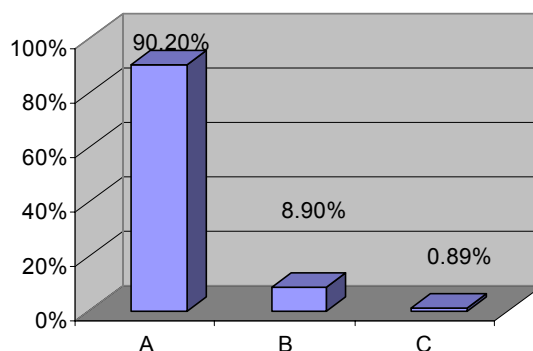
Tabela 1. Obim ispitivanja energetskih transformatora

Grupa	Broj ispitanih transformatora	IEC šifra A	IEC šifra B	IEC šifra C	Ukupan broj GH analiza
I	52	41	8	1	50
II	22	21	1		22
III	13	11			11
IV	15	14			14
V	21	14	1		15

Na osnovu rezultata dobijenih gasnohromatografskim ispitivanjem uzoraka ulja zaključuje se da je većina energetskih transformatora u dobrom pogonskom stanju, odnosno prema kriterijumima IEC ocenjuje se ISPRAVNIM, šifra A.

Od ukupno 123 ispitana energetska transformatora, tj. 112 GH analiza, svih pet grupa, 90.2 % ili 101 ispitani transformator je ispravan. Sumnjivih na kvar ima 10 tj. 8.9 %, dok je neispravnih 0.89 %, odnosno samo jedan transformator.

Grafik 1. Procentualna zastupljenost u odnosu na IEC šifre kvara



Statistički posmatrano, rezultati dobijeni obradom baze podataka govore o visokom broju ispravnih transformatora u odnosu na ukupan broj ispitanih transformatora izabranog skupa transformatora.

Dobro pogonsko stanje transformatora i ispravnost, sa aspekta GH analiza, posledica su redovne kontrole transformatora u odgovarajućim vremenskim periodima.

2.1.2. Analiza rezultata ispitivanja uzoraka ulja mernih transformatora

Kada se govori o preventivnoj kontroli mernih transformatora, potrebno je naglasiti da se kod njih gasnohromatografska ispitivanja, ukoliko to nije potrebno ili posebno predviđeno od strane proizvođača, vrše znatno ređe nego kod energetskih transformatora.

Gasnohromatografska analiza mernih transformatora uglavnom se vrši u slučaju kada već postoji sumnja na prisutan kvar.

U radu je dat prikaz i statistička obrada rezultata, izabranog skupa od 85 mernih transformatora, kod kojih je postojala sumnja na prisustvo kvara.

Na taj način, napravljen je pokušaj da se utvrdi u koliko je % slučajeva GH analiza potvrdila već postojeću sumnju na kvar.

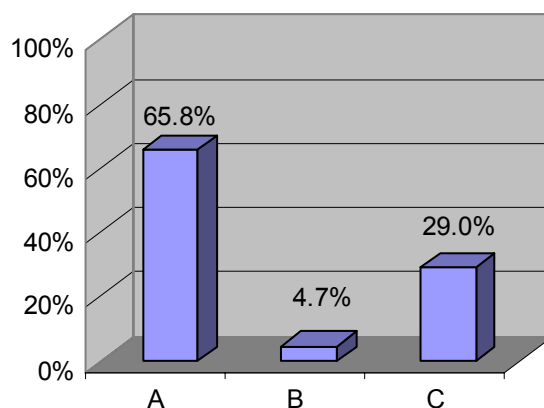
Od ukupno izvršenih 85 gasnih analiza, koliko je obuhvaćeno u ovom istraživanju: 25 transformatora ili 29.0 % je ocenjeno NEISPRAVNIM

4 transformatora ili 4.7 % je ocenjeno SUMNJIVIM na prisustvo kvara

56 transformatora ili 65.8 % je ocenjeno ISPRAVNIM.

Kod neispravnih mernih transformatora najčešće su prisutna ili se sumnja na parcijalna pražnjenja. Kod izvesnog broja transformatora ocenjenih kao NEISPRAVNI, pored parcijalnih pražnjenja prisutno je i razaranje celulozne izolacije. Ispitivani skup mernih transformatora je samo deo jedne veće celine i ne govori o idealnoj pogonskoj sigurnosti mernih transformatora. Stvarna slika stanja mernih transformatora na teritoriji Srbije i Crne Gore, u smislu njihove ispravnosti, biće posebna tema daljih istraživanja.

Grafik 2. Procentna zastupljenost ispravnih, sumnjivih na kvar i neispravnih transformatora



3. ISPITIVANJE STANJA I KVALITETA ULJA ANALIZOM IZMERENIH KARAKTERISTIKA

U većini energetskih transformatora se nalaze duboko rafinisana, visoko kvalitetna transformatorska ulja mineralnog porekla čiji kvalitet prvenstveno zavisi od kvaliteta mineralne baze. Ukoliko je prisutan inhibitor, on samo dodatno produžava radni vek ulja usporavajući proces starenja ulja.

U toku višegodišnje eksploatacije, ulja stare pod pogonskim uslovima, odnosno menjaju svoje izolacione karakteristike. Iz tih razloga pored kontrole ispravnosti transformatora na osnovu DGA, uporedno je vršena provera stanja i kvaliteta ulja, istog skupa transformatora, ispitivanjem fizičkih, hemijskih i električnih osobina uzoraka ulja.

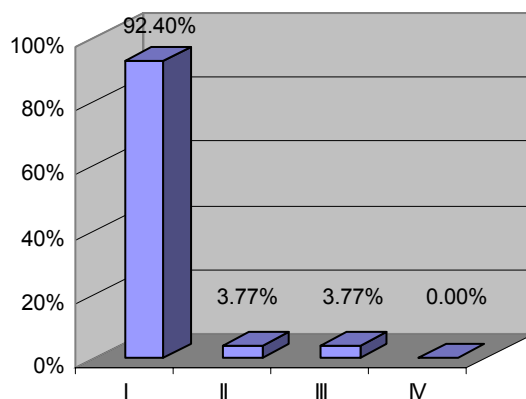
Analizom je obuhvaćeno ispitivanje fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika ulja kod ukupno 54 transformatora, razvrstanih u pet ispitivanih pogona. Od ukupno 54 ispitanih uzoraka ulja uzetih iz 54 različita transformatora, 49 uzoraka ima karakteristike I GRUPE KVALITETA. Ulja 3 transformatora pripadaju III GRUPI KVALITETA. Uzorak ulja jednog transformatora pripada II GRUPI KVALITETA.

Tabela 2. pregled stanja pogonskih ulja prema grupama kvaliteta

POGON	I GRUPA	II GRUPA	III GRUPA	IV GRUPA
Pogon 1	14	1		
Pogon 2	10		1	
Pogon 3	7			
Pogon 4	18	1		
Pogon 5	5		1	
ukupno	49	2	2	/

Na osnovu rezultata dobijenih ispitivanjem karakteristika transformatorskih ulja (Grafik 3) zaključuje se da je većina ulja 92.4%, u dobrom pogonskom stanju malo ostarela i suva sa visokom vrednošću dielektrične čvrstoće, čime su zadovoljeni kriterijumi kvaliteta ulja neophodnih za pogonsku sigurnost transformatora.

Grafik 3. Procentualna zastupljenost po grupama kvaliteta



Ulja koja su izgubila prvobitno kvalitet su značajno ostarila i ovlažena zastupljena su sa po 4% u odnosu na ispitivani skup transformatora. Zahvaljujući preventivnoj kontroli stanja i kvaliteta ulja nije prisutan ni jedan transformator čije ulje, po kvalitetu, ne zadovoljava za dalju upotrebu .

4. PREGLED STANJA I KVALITETA TRANSFORMATORSKIH ULJA U SCG IZ EKSPLOATACIJE

U cilju dobijanja slike o stanju i kvalitetu mineralnih transformatorskih ulja iz eksploatacije izvršena je statistička obrada baze podataka. Statističkom obradom obuhvaćeni su rezultati dobijeni analizom tri ispitane karakteristike, dobijene tokom poslednje tri godine ispitivanja u INT.

Neutralizacioni broj (Nb)

Faktora dielektričnih gubitaka ($\text{tg } \delta$) i

Sadržaj vode rastvorene u ulju, kod uzoraka gde je vrednost preračunata na 20°C i onih kod kojih nije.

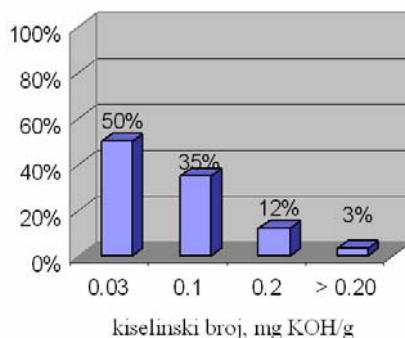
4.1. Kiselinski broj transformatorskih ulja

Kao posledica starenja, tj. oksidacije u ulju se izdvajaju produkti degradacije izolacije, slabe organske i neorganske kiseline koje imaju negativan uticaj na konstrukcione delove transformatora. Ispitivanje ukupne kiselosti transformatorskog ulja, podrazumeva zbir "organske" i "neorganske" kiselosti. Izražava se kao broj miligrama KOH, potrebnih za reakciju sa kiselinama prisutnim u jednom gramu ulja. Broj utrošenih mg KOH se naziva neutralizacioni broj.

Rezultati merenja Nb uzoraka ulja, ispitanih u poslednje tri godine u INT prikazani su na grafiku (4). Na osnovu višegodišnjeg iskustva i analizom rezultata iz baze podataka izvršena je kategorizacija ispitivane karakteristike na četiri grupe.

- Prva ispitivana grupa, gde je prisutna najveća procentna zastupljenost 50%, su transformatorska ulja koja imaju najnižu kiselost, odnosno ne pokazuju značajne znake ostarelosti.
- Druga grupa sa oko 35% zastupljenošću je takođe zadovoljavajuća. To su ulja koja pokazuju umerene znake ostarelosti pod pogonskim uslovima.
- Treća grupa koju čini 12% od ukupnog broja ispitivanih uzoraka, predstavlja, na osnovu ove osobine, ozbiljnog kandidata sa hemijsku regeneraciju.
- Četvrta grupa ispitivanog skupa transformatora koju čini svega 3% transformatora predstavlja, prema ispitivanoj osobini, kandidata za regeneraciju ili zamenu ulja.

Grafik 4: Procentna zastupljenost kiselinskog broja u četiri kategorije kiselosti.



4.2. Faktor dielektričnih gubitaka

Veoma važna električna osobina novih i ulja iz eksploatacije je faktor dielektričnih gubitaka, $\text{tg } \delta$. Statistički obrađeni rezultati merenja $\text{tg } \delta$, odnose se uglavnom na uzorke ulja iz eksploatacije.

Poznato je da se kod transformatora iz pogona, kada počne proces starenja ulja stvaraju peroksidi, metalni kompleksi i ostala jedinjenja koja imaju veći dipolni momenat, što ima za posledicu povećanje dielektričnih gubitaka ulja. [5]

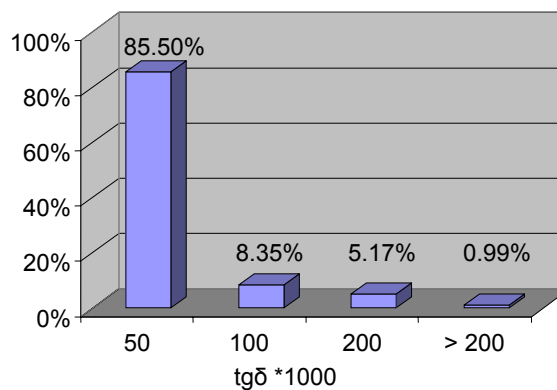
Rezultati ispitivanja $\text{tg} \delta$, prikazani su na priloženom grafiku (5). Vrednosti ispitivane osobine podeljene su takođe u četiri grupe: prva grupa su vrednosti $\text{tg} \delta$ do 50 gde je ujedno i najveća procentna zastupljenost ispitivanih uzoraka ulja. Vrednosti $\text{tg} \delta$ između 50 i 100 su zastupljene u oko 8% slučajeva od svih ispitivanih uzoraka. To je veoma zadovoljavajući rezultat, ukoliko se uzme u obzir da je granična vrednost od 100, već značajna i pokazatelj da je ulje ostarelo pod pogonskim uslovima, odnosno da je već u granicama III grupe kvaliteta. Obradom podataka ispitanih merenja zaključuje se da je prilično mali broj uzoraka ulja, sa karakteristikama $\text{tg} \delta$ između 100 i 200 i preko 200 ‰, što ukazuje na mali broj veoma ostarelih ulja u eksploataciji.

Analizom baze podataka uočeno je da veliki broj uzoraka ulja (85.5%), u odnosu na ispitivani skup transformatora, zadovoljava visoke kriterijume kvaliteta ulja, tj. imaju niske vrednosti $\text{tg} \delta$, manje od 50 ‰.

Tabela 3. Kategorije izmerene vrednosti tg δ , i njihova procentualna zastupljenost.

Karakteristika: tg δ	< 50 ‰	50 – 100 ‰	100 -200 ‰	> 200 ‰
Procentna zastupljenost, %	85.5	8.3	5.2	1.0

Grafik 5. Grafički prikaz procentne zastupljenosti po razvrstanim kategorijama izmerenog tg δ



4.3. Ispitivanje sadržaja vode rastvorene u ulju

Voda u transformatorskom ulju može biti prisutna kao hemijski vezana voda, rastvorena u ulju, emulgovana i slobodna. Prisustvo vode u transformatorskom ulju smanjuje dielektrična svojstva, stoga je merenje sadržaja vode jedno od prioriternih ispitivanja kod novih i transformatorskih ulja u pogonu.

Svi rezultati ispitivanja ulja koja su prošla merenja u laboratoriji, bez obzira na godine eksploatacije i eventualno izvršene postupke obrade ulja, statistički su obrađeni.

Analizom baze podataka INT sačinjene od rezultata ispitivanja i merenja sadržaja vode u ulju ukazuju je da je moć rastvaranja vode u ulju veća kod ulja većeg stepena ostarelosti. S obzirom da je ove godine uvedeno ispitivanje i interpretacija rezultata ispitivanja prema IEC 60422 rev. - 2CD /2003, koji podrazumeva preračunavanje izmerene vrednosti na 200°C, dati su, poređenja radi, rezultati merenja sadržaja vode bez preračunavanja i sa korigovanjem na temperaturu od 200°C.

4.3.1. Sadržaj vode rastvorene u ulju prema IEC 60422/1994.

U priloženoj tabeli (4), odnosno grafiku (6) prikazani su svi rezultati i njihova procentna zastupljenost u odnosu na izmerenu vrednost sadržaja vode. Granične vrednosti za sadržaj vode se prema starom IEC 60422 odnose na ne korigovane vrednosti temperature.

Grafik 6. Procentualna zastupljenost sadržaja vode u graničnim opsezima nepreračunate na 20°C

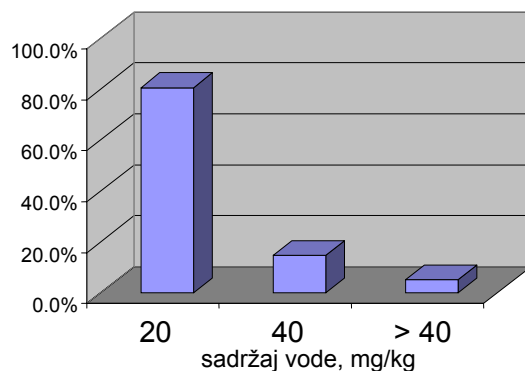


Tabela 4. Procentualna zastupljenost sadržaja vode rastvorene u ulju prema IEC 60422 -2CD/2003.

Sadržaj vode rastvorene u ulju	< 20 ppm	20 – 40 ppm	> 40 ppm
	ispod granične		iznad granične
Procentna zastupljenost	80.5	14.5	5.0

4.3.2. Sadržaj vode rastvorene u ulju IEC 60422 – 2CD/2003

U skladu sa novim IEC 60422 – 2CD/2003 izmerene vrednosti sadržaja vode, kod ulja transformatora u pogonu, na temperaturi uzorkovanja ulja neophodno je korigovati na 200°C, zbog značajne promene koncentracije vode rastvorene u ulju sa promenom temperature ulja. Vrednosti sadržaja vode u ulju ispod 200°C se ne koriguju, zbog smanjene difuzije molekula vode između papira i ulja. Granične vrednosti za sadržaj vode u ulju prema novom IEC 60422 – 2 CD se odnose na korigovane vrednosti na 200°C. [2], [3]

U tabeli (5) i grafiku (7) prikazani su rezultati procentualne zastupljenosti sadržaja vode u ulju korigovani na temperaturu 20°C.

Analizirajući rezultate ispitivanja sadržaja vode rastvorene u ulju u okviru graničnih vrednosti, može se zaključiti da je raspodela izmerenih vrednosti, vrlo slična. poredeći metode IEC 60422/1994 i IEC 60422 – 2CD/2003. (Tabela 4 i 5), što potvrđuje da su granične vrednosti u okviru IEC 60422 – 2CD/2003 dobro postavljene.

Grafik 7. Procentualna zastupljenost sadržaj vode u graničnim opsezima preračunate na 20°C

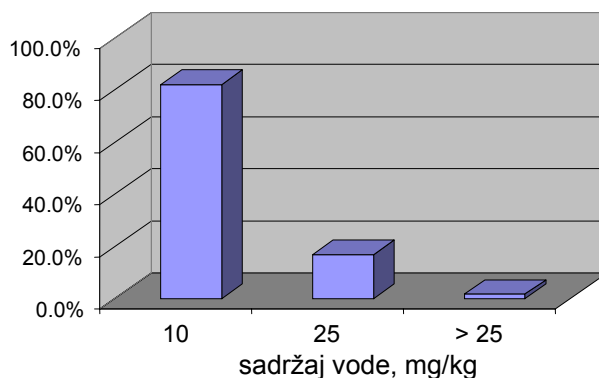


Tabela 5. Procentualna zastupljenost sadržaja vode rastvorene u ulju prema IEC 60422 – 2CD/2003.

Sadržaj vode rastvorene u ulju	< 10 ppm	10 – 25 ppm	> 25 ppm
	ispod granične		iznad granične
Procentna zastupljenost	81.6	16.8	1.6

5. RAZVOJ NOVIH METODA ZA ISPITIVANJE SISTEMA IZOLACIJE VISOKONAPONSKE OPREME

U toku proteklih nekoliko godina u Institutu se pored rutinskih ispitivanja stanja izolacionog sistema intenzivno radi na uspostavljanju i uvođenju novih metoda u redovnu kontrolu. Istraživanje je naročito usmereno na sledeća ispitivanja transformatorskih ulja i celulozne izolacije:

- Analiza derivata jedinjenja furana (2-furfurala) rastvorenih u ulju, metodom tečne hromatografije –HPLC
- Ispitivanje celulozne izolacije transformatora određivanjem srednjeg viskozimetskog stepena polimerizacije papira
- Analiza broja i veličine čestica (klasa čistoće) prisutnih u ulju, metodom optičke mikroskopije

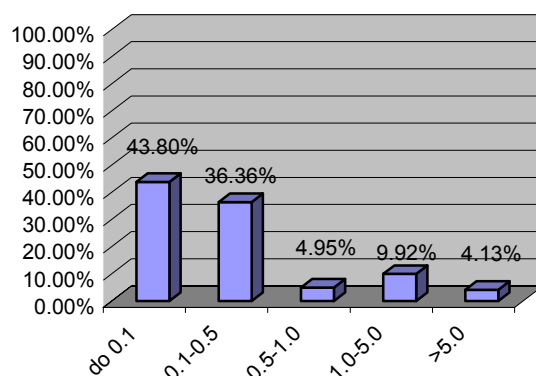
Ova ispitivanja bi, u tom slučaju predstavljala nadgradnju na dugogodišnji rad u oblasti periodičnog ispitivanja transformatorskih ulja (35kV-400kV) transformatora Srbije i Crne Gore. U tom smislu najviše su napredovala ispitivanje stanja celulozne izolacije i analiza derivata furana.

5.1. Određivanje sadržaja u ulju rastvorenog 2- furfurala

Analiza derivata furana rastvorenih u ulju, koji predstavljaju produkte razgradnje celulozne izolacije, vrši se u cilju procene ostarelosti celulozne izolacije transformatora i prognoze njegovog budućeg radnog veka. Ovo ispitivanje je od posebnog značaja za utvrđivanje pogonskog stanja čvrste izolacije starih transformatora u okviru programa njihove revitalizacije i procene preostalog radnog veka.

Analizom baze podataka dosadašnjih rezultata (grafik 8) dobijenih ovim ispitivanjem zaključuje se da je čvrsta izolacija kod većine (tabela 6) ispitanih uzoraka malo ili umereno ostarela.

Grafik 8. Sadržaj 2-furfurala u definisanim opsezima



*Kriterijumi za procenu stanja celuloze prema sadržaju 2-furfurala izvedeni su prema stručnoj tehničkoj literaturi, ispitivanjima i statističkim analizama baze podataka.

Tabela 6. Stanje celuloze u odnosu na koncentraciju 2-furfurala rastvorenog u ulju

konc. 2-furfurala, ppm	stanje celuloze*
<0.1	malo ostarela
0.1-0.5	umereno ostarela
0.5-1.0	dosta ostarela
>1.0	jako ostarela
>5.0	alarmantno stanje

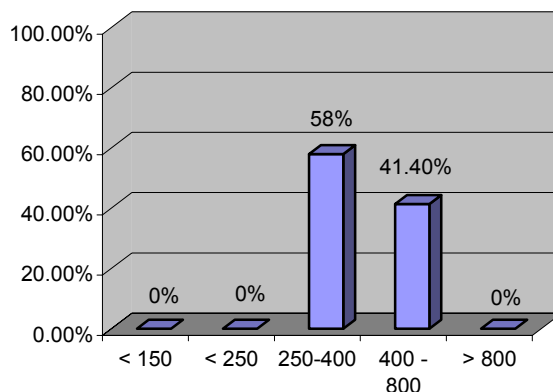
5.2. Merenje stepena polimerizacije papira

Ispitivanje celulozne izolacije transformatora se odnosi na određivanje srednjeg viskozimetarskog stepena polimerizacije (Dp) celuloze i predstavlja direktnu metodu ispitivanja stanja i upotrebljivosti čvrste izolacije transformatora. Smanjenje stepena polimerizacije papira, do kojeg dolazi usled raskidanja polimera celuloze usled ostarelosti papirne izolacije, utiče na pogoršanje mehaničkih osobina celuloze.

U institutu "Nikola Tesla" se ispitivanje stanja celulozne izolacije merenjem srednjeg viskozimetarskog stepena polimerizacije vrši već tri godine. Za ovo vreme u laboratoriju INT uglavnom su stizali uzorci papira havarisanih i transformatora u kvaru. Zato se uočava (grafik 9), da je najveća zastupljenost umereno ostarele i jako ostarele papirne izolacije.

Na osnovu skromnog broja ispitanih uzoraka papira i analizom baze podataka stečena su početna, ali značajna iskustva iz ove oblasti.

Grafik 9. Opsezi vrednosti Dp 30 uzoraka papira obrađenih na osnovu ispitivanja u INT



Iz priloženog grafika, analizom baze podataka ispitivane čvrste izolacije nakon otvaranja transformatora u fabrici, zaključuje se da je u pogonima ispitanih transformatora, odnosno njihove celulozne izolacije u najvećoj meri prisutan papir srednje ostarelosti oko (40%), dok je loš papir koji je zbog havarije izgubio mehaničku čvrstoću prisutan u oko 60% slučajeva [4].

Na osnovu sopstvenih iskustava iz oblasti merenja stepena polimerizacije papira u INT napravljen je prikaz opsega vrednosti Dp i stanja papira.

Dp	stanje papira
>800	malo ostarela
800-400	umereno ostarela
400-250	jako ostarela
<250	izuzetno ostarela
<150	ekstremno ostarela

Poređenja radi dati su (tabela 7) opsezi vrednosti Dp i stanja papira prema autorima, Newselby i Nejedly [6].

Tabela 7. Stanje papira i predložene preporuke u odnosu na stepen polimerizacije

Dp	STANJE PAPIRA / Preporuke
> 1000	Neznatno ostareo
1000-600	Malo ostareo
600-400	Umereno ostareo
400-250	Jako ostareo / ne stavljati trafo pod napon : blok i transformatori prenosne mreže
250-150	Izuzetno ostareo / ne stavljati trafo pod napon: distributivni i transf. Sop. Potrošnje u elektranama
< 150	Ekstremno ostareo / ni u kom slučaju ne stavljati transformator pod napon

6. ZAKLJUČAK

Rezultati gasnohromatografske analize, glavne dijagnostičke metode za utvrđivanje ispravnosti i pogonske sigurnosti transformatora, ukazuju da su transformatori na teritoriji SCG, iako dugi niz godina u eksploataciji, u dobrom pogonskom stanju.

Analizom baze podataka izabranog skupa energetskih i mernih transformatora zaključuje se da je procentualna zastupljenost ispravnih transformatora, daleko veća kod energetskih transformatora u odnosu na ispitivani skup mernih transformatora. To je posledica više razloga: sama periodika ispitivanja, konstrukcijski faktori, različiti uslovi rada koji podrazumevaju i različito opterećenje.

Da bi vršila svoju odgovarajuću funkciju izolovanja i odvođenja toplote mineralna ulja moraju zadovoljavati i odgovarajući kvalitet. Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja kiselinskog broja, tg δ i sadržaja vode, zaključuje se da je u energetskom sistemu SCG prisutan visok kvalitet mineralnog izolacionog ulja.

Na osnovu skromnih iskustava stečenih merenjem sadržaja u ulju rastvorenog 2-furfurala zaključak naše laboratorije je da ova "neagresivna metoda" pruža značajne mogućnosti praćenja stanja čvrste izolacije, posebno zato što je veliki procenat transformatora, na našim prostorima, preko 30 godina u pogonu. Oslanjajući se na iskustva svetskih vodećih laboratorija i stručnu tehničku literaturu, smatra se da ispitivanje prisustva furanskih jedinjenja u ulju treba da bude uvršteno u periodičnu kontrolu zajedno sa ispitivanjem gasnohromatografskom analizom ulja. [7]

Procena stepena ostarelosti čvrste izolacije, ispitivanjem stepena polimerizacije papira daje značajne informacije o njenoj mehaničkoj čvrstoći, daljoj upotrebljivosti i starosti transformatora. Analiza baze podataka ukazuju na visok stepen degradacije čvrste izolacije, što predstavlja očekivan rezultat s obzirom da su ispitivani uzorci papira transformatora nakon kvara ili havarije.

LITERATURA:

- [1] Baza podataka laboratorije za ispitivanje izolacionih ulja Instituta "Nikola Tesla", izvedeno stanje 2004. god.
- [2] IEC 60422, Ed. 3: *Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipment.*
- [3] IEC 60814/1997 second edition, *Insulating liquids - Oil-impregnated paper and pressboard - Determination of water by automatic coulometric Karl - Fisher titration.*
- [4] JUS N.A8.110/1978. u skladu sa IEC 60450. Merenje srednjeg viskozimetskog stepena polimerizacije papira pre i posle starenja.
- [5] V. Pejović, *Hemija u elektroenergetici-transformatorska ulja*, monografija, Beograd 2004.
- [6] J. Nejedly, G. Newesely, "Evaluation of the extent of ageing of paper in oil immersed power transformer", *D1-302, CIGRE* 2004.
- [7] I. Hohlein*, A. J. Kachler Siemens AG, PTD-T, "Progress in transformer ageing research. Impact of moisture on Dp of solid insulation and furane development in oil at transformer service", Nuremberg Germany.

Abstract: Transformer insulation diagnostics by DGA (Dissolved Gas Chromatography) analysis and examination of physical, chemical and electrical properties of transformer oils is the main scope of the work in Chemical laboratory "Nikola Tesla". Beside the above mentioned, laboratory also continuously tends to improve the existing and develop new test methods. They are in the first place based on new oils testing as well as the used oils testing. These results are very useful for paper insulation condition evaluation. All proposed tests are in accordance with appropriate

technical literature and correlated with (IEC) International Electrotechnical Commission.

Long term experience in this field has brought a large number of data that are used to form a unique database. Statistical analysis and establishing the correlations between some examination procedures it is possible to explain and predict some phenomena connected with paper-oil degradation process.

During the past three years laboratory has developed some new methods for evaluation of paper insulation condition such as: measurement of 2 furfal dissolved in oil and measurement of viscosimetric degree of polymerization (Dpv). Reliability and functionality of chosen group of transformers was analyzed based on DGA results, also concerning the condition and oil quality used in transformer that was evaluated on the bases of following oil characteristics: acid number, dielectric dissipation factor and water content.

Key words: database, transformer oils, paper insulation.

REVIEW OF POWER TRANSFORMERS CONDITION BY ANALYZING DATABASE RESULTS OF THE TRANSFORMER INSULATING OILS

Ksenija Drakić, Jelena Lukić, Slađana Gavrančić, Snežana. Kovačević