

NOVI KONCEPT ANALIZE PAPIRNO-ULJNOG IZOLACIONOG SISTEMA TRANSFORMATORA

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

Sadržaj: U radu je prikazan pregled novih metoda ispitivanja papirno-uljnog izolacionog sistema i istaknut je značaj primene novih ispitnih metoda u preventivnoj kontroli energetske transformatora. Periodika i preporuke za primenu novih metoda ispitivanja ulja: sadržaj inhibitora i aromatskih jedinjenja (metoda infracrvene spektrofotometrije – IR), sadržaj vode u ulju, broj i veličina čestica definisane su u programu laboratorije za ispitivanje izolacionih ulja (LIU) koji je u skladu sa novim, tj. revidiranim standardom IEC 60422 – 2 CD/2003. Ispitivanje čvrste izolacije transformatora u pogonu definisano je analizom jedinjenja furana rastvorenih u ulju, koji nastaju kao produkt degradacije čvrste izolacije. Kod transformatora van pogona nakon otvaranja u fabrici moguće je uzimanjem uzorka papira izvršiti određivanje stepena polimerizacije papira – Dp. Rezultati određivanja Dp uzoraka papira nakon havarije i otvaranja transformatora prikazani su u radu. U istraživanju su korelacije između ispitivanja sadržaja vode i furana u ulju sa stanjem i stepenom degradacije izolacionog papira koji se utvrđuje određivanjem stepena polimerizacije papira – Dp.

Glavne reči : papirno-uljni izolacioni sistem transformatora, infracrvena spektrofotometrija, sadržaj vode, furani, stepen polimerizacije papira.

1. UVOD

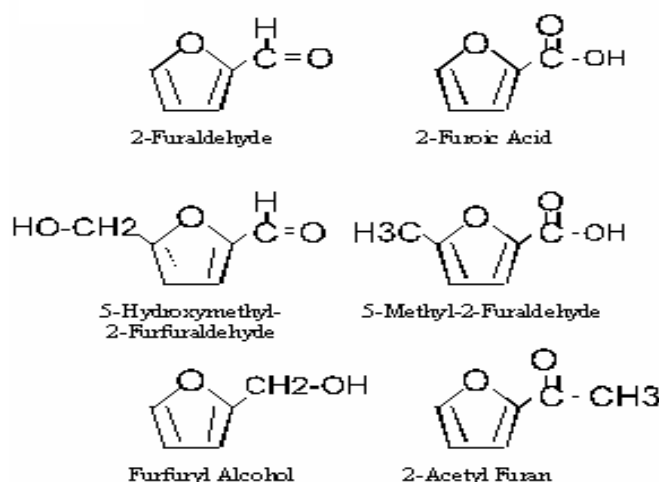
Novo tehnologije izrade transformatora, zahtevi za visokim kvalitetom i performansama opreme uključujući dug radni vek i smanjenje dimenzija transformatora, postavljaju sve strožije zahteve za visokim kvalitetom izolacionih materijala i njihovim dugim radnim vekom. U svetlu novo formiranih kriterijuma, novi koncept ispitivanja i dijagnostike preventivnog održavanja papirno-uljnog izolacionog sistema transformatora se bazira na primeni većeg broja ispitnih metoda kako tačne tako i čvrste – celulozne izolacije, sa ciljem da se integrisano analizira dvojni papirno-uljni izolacioni sistem. Dijagnostika se bazira na primeni novih metoda ispitivanja koja se mogu definisati kao **specijalna-istraživačka ispitivanja**, i na većoj učestanosti ispitivanja uz primenu statističkih analiza rezultata. Nove metode ispitivanja uslovile su pojavu novih i reviziju postojećih IEC standarda (IEC 60422 – 2 CD).

S druge strane u povozu su istraživanja na razvoju i primeni matematičkih modela koji opisuju raspodelu vlage u izolacionom sistemu papir-ulje, u cilju boljeg poznavanja i definisanja svih parametara izolacionog sistema, kako u normalnom radnom režimu, tako i prilikom primene procesa sušenja izolacije.

2. ANALIZA DERIVATA FURANA U ULJU

Monitoring pogonskog stanja i degradacije čvrste izolacije transformatora u pogonu, analizom sadržaja derivata furana rastvorenih u ulju tehnikom tačne hromatografije (HPLC), prema metodi IEC 61198/1993 je u poslednjih nekoliko godina

u širokoj primeni u programima preventivne kontrole energetskih transformatora. Derivati jedinjenja furana kao produkti degradacije čvrste izolacije su **rastvorni** u ulju i služe kao indikator stepena degradacije celulozne izolacije. U okviru radnih grupa IEC i CIGRE problematika analize derivata furana i korelacije sa stepenom polimerizacije celuloze i njenih mehaničkih svojstava je u istraživanju. Za sada granične vrednosti sadržaja 2-furfurala u ulju nisu definisane, kao ni korelacija sa stepenom polimerizacije papira - Dp. Svrishodnost analize derivata furana u dijagnostici pogonskog stanja transformatora se ogleda u praćenju trenda promene sadržaja 2-furfurala, zajedno uz rezultate gasnohromatografske analize (posebno sadržaj CO₂ i CO). Uz analizu sadržaja vode i ostalih fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika ulja, dobija se kompletnija slika pogonskog stanja izolacionog sistema i podiže nivo preventivne kontrole transformatora.



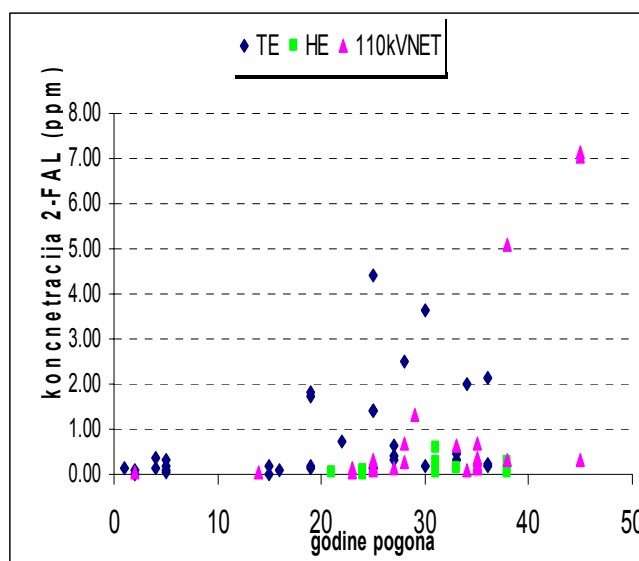
Slika 1. derivati furana

Sadržaj derivata furana u ulju prema IEC preporukama treba vršiti svake godine, zajedno sa gasnohromatografskom analizom ulja (tabela 2). Ruske preporuke [1], navode da ispitivanje jedinjenja furana treba izvršiti kod svih transformatora naponskog nivoa ≥ 110 kV. Periodika za sve transformatore koji su stariji od 24 godine je definisana kao ispitivanje na svake 4 godine pogona transformatora (tabela 2).

Na slici 2 dat je uporedni prikaz rezultata analize sadržaja 2-furfurala u ulju u zavisnosti od godina eksploatacije transformatora u termo-elektranama, hidro-elektranama i prenosnoj 110 kV mreži u Srbiji, iz baze podataka laboratorije za ispitivanje izolacionih ulja instituta (LIU) [2].

Na slici 2 može se uočiti da značajan broj transformatora starijih od 25 godina imaju koncentracije 2-furfurala u opsezima od 0.5 do 1 ppm. Ove koncentracije se smatraju relativno visokim i ukazuju na značajno degradiranu celuloznu izolaciju, što daje informacije o starosnom dobu transformatora. Posmatrajući opsege koncentracija 2-furfurala u ulju, može se zaključiti da je nivo koncentracija kod termo-elektrana i prenosne 110 kV mreže najviši, ukazujući na najveći stepen degradacije čvrste izolacije. Kod hidro-elektrana nivo koncentracija 2-furfurala je znatno niži. Vazdušni sistem hlađenja kod termo-elektrana (OFAF), veći stepen opterećenja i veće srednje vrednosti radnih temperatura, u odnosu na manje radne temperature, manji stepen opterećenja kod hidro-elektrana i sistem hlađenja vodom (OFWF), objašnjava pojavu većeg stepena

razaranja celulozne izolacije kod termo-elektrana u odnosu na hidro-elektrane [2]. Kod transformatora 110 kV iz prenosne mreže pojedine koncentracije 2-furfurala su veoma visoke, veće nego kod termo-elektrana, što je bio iznenađujući nalaz (slika 2). Ova pojava se može objasniti *nižim nivoom preventivne kontrole i održavanja* transformatora nižih naponskih nivoa. Na osnovu podataka o opsezima koncentracija 2-furfurala u pojedinim elektro-energetskim sistemima i vezom sa godinama eksploatacije i iskustvima stečenim u praksi [3], LIU planira periodiku ispitivanja kontrole celulozne izolacije analizom 2-furfurala rastvorenog u ulju (tabela 2).



Slika 2. sadržaj 2-furfurala u ulju u zavisnosti od godina eksploatacije transformatora u termo-elektranama, hidro-elektranama i 110kV prenosnoj mreži

3. IZMENE I DOPUNE STANDARDA– REVIZIJA IEC 60422- ODRŽAVANJE MINERALNIH IZOLACIONIH ULJA U ELEKTRIČNOJ OPREMI

Nova metodologija preventivnog održavanja električne opreme analizom izolacionih ulja tokom proteklih godina uslovlila je formiranje radne grupe u okviru IEC TC 10, MT 22 – “Revizija i dopuna IEC 60422, održavanje izolacionih ulja” koja se bavi izmenama i dopunom standarda IEC 60422 - Održavanje mineralnih izolacionih ulja u električnoj opremi i izdala je dokument IEC 60422 – 2 CD (drugi nacrt, revidiranog IEC 60422). Predmet rada grupe MT 22 je [4]:

- Nova klasifikacija ispitnih metoda na: rutinske testove, dopunske i *specijalne istraživačke testove*,
- Nova periodika ispitivanja ulja u eksploataciji. Povećana je učestanost za transformatore svih naponskih nivoa: na 1-2 godine za 400kV , na 1-3 godine za 220 kV, na 1-4 godine za 110 kV, na 2-6 godina za 35kV i niže.
- Uvođenje novih ispitnih metoda: određivanje broja i veličine čestica u ulju, infracrvena spektrofotometrija (IR) - određivanje sadržaja inhibitora oksidacije ulja (DBPC), određivanje kiselinskog broja ulja (neutralizacioni broj -Nb) metodom

potenciometrijske titracije i nova metoda određivanja korozivnog sumpora, kao korozija srebrne trake.

- Nove metode obrade mineralnih ulja kontaminiranih PCB-om, proces dehalogenacije polietilenglikolom i Kalijum-hidroksidom (KPEG).

4. ANALIZA SADRŽAJA VODE U IZOLACIONOM SISTEMU

Aktivno učešće Instituta “Nikola Tesla” ispred nacionalnog komiteta Srbije i Crne Gore na sastanku radne grupe IEC TC 10 MT 22 se između ostalog sastojalo u izradi poglavlja IEC 60422 – **Sadržaj vode**. Izvršena revizija se odnosila na sledeće:

Izmerene vrednosti sadržaja vode na datoj temperaturi uzorkovanja neophodno je korigovati na 200°C. Ova korekcija je neophodna zbog velike razlike u sadržaju vode u ulju na različitim temperaturama ulja i zasnovana je na eksponencijalnoj zavisnosti rastvorljivosti vode u ulju od temperature ulja [4]:

$$W_s = W_{ulje} e^{(-B/T)} \quad (1)$$

Korekcije i proračuni važe u uslovima:

- Postignute termodinamičke ravnoteže
- Kada su temperature uzorkovanja ulja $\geq 200^\circ\text{C}$
- Korekcija se ne primenjuje kod regulacionih sklopki i drugih električnih aparata kod kojih celuloza nije prisutna, ili je prisutna u veoma malom odnosu prema tečnoj izolaciji.

Kada nije prisutna slobodna voda.

Koristeći navedene korekcije može se izračunati stepen zasićenja vode u ulju korigovan na 200°C i **proceniti** stanje celulozne izolacije po pitanju ovlaženosti [4].

U praksi je primećeno da postoji kolizija među rezultatima dobijenim koristeći dijagrame raspodele vode u sistemu papir-ulje (važe za sistem u ravnotežnom stanju) o **procenjenom sadržaju vode** u celulozi i stvarnoj količini vode koja je “izvučena” prilikom procesa sušenja celulozne izolacije, zbog sledećeg:

- nepostignutih ravnotežnih uslova i otežane difuzije molekula vode iz celuloze zbog sloja uljne impregnacije (koef.difuzije su različitog reda veličine za impregnisanu i neimpregnisanu celulozu)
- otežane difuzije molekula vode zbog prisutnih hemijskih veza, agregata molekula vode sa molekulima celulozne izolacije.

Razvoj i primena on-site merenja sadržaja vode u celuloznoj izolaciji transformatora u pogonu, metodom struje polarizacije i depolarizacije (PDC) omogućuje kontinualno praćenje stepena ovlaženosti čvrste izolacije transformatora u pogonu.

Istraživanja u oblasti raspodele vlage u papirno-uljnom izolacionom sistemu, analizom fenomena prenosa mase određivanjem adsorpcionih izoterma molekula vode u papiru, analizom sadržaja vode u ulju i papiru i formiranjem matematičkog modela koji opisuje distribuciju vode u dvojnog dielektriku, omogućila bi da se prevaziđe problem neusaglašenosti podataka o **procenjenom** sadržaju vode u papiru transformatora u pogonu dobijenih primenom pomenutih dijagrama raspodele vode u sistemu papir-ulje i vrednosti dobijenih u praksi prilikom primene procesa sušenja izolacije. Posebna prednost primene matematičkog modela se ogleda u mogućnosti **predviđanja** budućeg ponašanja, tj. raspodele vlage u izolacionom sistemu.

Stepen rastvorljivosti vode u ulju, pored temperature zavisi i od hemijske strukture ulja.

Nacionalni komitet SCG je dao svoj aktivni doprinos na izradi novog IEC 60422 standarda, definišući zavisnost **stepena rastvorljivosti vode** u ulju od hemijske strukture

ulja (P/N/A sastav), posebno *sadržaja aromatskih jedinjenja* kao *direktno proporcionalnu*. Za sada nije moguće uspostaviti jedinstvenu funkcionalnu zavisnost, već se svaki pojedinačni slučaj posebno razmatra [4].

5. ODREĐIVANJE SADRŽAJA INHIBITORA OKSIDACIJE (DBPC) – IR METODA

Periodična kontrola pogonskog stanja ulja analizom fizičkih, hemijskih i električnih (FHE) karakteristika, prema IEC 60422 - 2CD rev. obuhvata kao rutinsko ispitivanje, određivanje sadržaja inhibitora oksidacije ulja (DBPC) tehnikom infracrvene spektrofotometrije – IR, kvantifikovanjem apsorpcionih traka na 3650cm^{-1} , prema metodi IEC 60666. Periodičnost ispitivanja je definisana u IEC 60422- 2CD/2003 sa ciljem da se prati brzina utroška inhibitora u ulju i utvrdi trenutak kada je DBPC prisutan u niskim koncentracijama $\leq 40\%$ od početne vrednosti i u intervalu od 0.05-0.08 %. Inhibirano ulje sa niskim koncentracijama DBPC počinje ubrzano da stari, pri čemu se karakteristike ulja naglo pogoršavaju.

Infracrvena spektrofotometrija – IR kao analitička metoda je primenjena u analizi hemijskog sastava ulja, tj. strukturno-grupnog sastava ulja - *parafini/nafteni/aromati (P/N/A)*. Analizom sadržaja aromatskih ugljovodonika u ulju, kvantifikovanjem apsorpcionih traka IR spektra na 1605cm^{-1} i 1650cm^{-1} može se u određenoj meri proceniti afinitet ulja prema oksidaciji, tj. starenju u eksploataciji, absorpciji gasova i moć rastvaranja vode u ulju, što sve zajedno predstavlja veoma važne parametre funkcionalnosti izolacionog ulja.

6. ANALIZA BROJA I VELIČINE ČESTICA U ULJU (KLASA ČISTOČE ULJA)

U skladu sa novim konceptom detaljne analize svih parametara izolacionog sistema transformatora, analiza broja i veličine čestica u ulju je prema novom IEC 60422 – 2 CD u primeni kod:

- Novih transformatora naponskih nivoa $\geq 170\text{ kV}$ pre puštanja u pogon
- Transformatora $\geq 170\text{ kV}$ u pogonu prema potrebi, zavisno od dielektričnih osobina ulja i njegove upotrebljivosti.

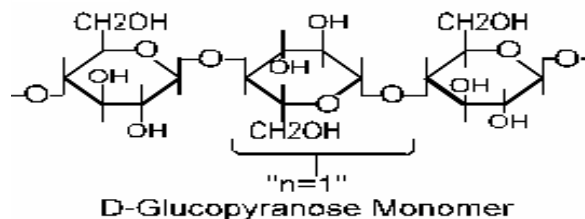
Analiza veličine i broja čestica u izolacionom ulju je još jedna od dopunskih ispitnih metoda za bolju procenu pogonskog stanja izolacionog ulja, pre svega sa stanovišta dielektričnih osobina ulja. U sprezi sa dielektričnom čvrstoćom i sadržajem vode u ulju, ovo ispitivanje daje značajne podatke o izolacionim svojstvima tečnog dielektrika. Ispitivanje broja i veličine čestica – klase čistoće ulja, predstavlja još jedan dodatni parametar za procenu efikasnosti procesa sušenja, filtriranja i regeneracije ulja u pogonu, što je veoma važan podatak sa stanovišta procene čistoće ulja nakon pomenutih procesa, određujući sadržaj prisutnih čestica kao mogućih inicijatora električnih pražnjenja i proboja [5].

7. ISPITIVANJE STEPENA POLIMERIZACIJE PAPIRA - Dp

Ispitivanje čvrste izolacije transformatora, analizom stepena polimerizacije papira - Dp je ograničeno u primeni samo kod havarisanih i remontovanih transformatora u fabrici, prilikom njihovog otvaranja, a od velikog je značaja za procenu stanja, starosti i dalje upotrebljivosti transformatora.

Stepen polimerizacije papira po definiciji predstavlja broj monomernih jedinica anhidrovane glukoze u makromolekulskom lancu celuloze. Tokom procesa degradacije

celuloze dolazi do cepanja veza među monomernim jedinicama, tj. do pirolize i hidrolize glukoze, pri čemu se smanjuje stepen polimerizacije i dolazi do pogoršanja mehaničkih svojstava celuloze. Kao produkti nastaju voda, ugljenmonoksid, ugljendioksid, furani i druga karbonilna jedinjenja. Veza između promene mehaničkih osobina čvrste izolacije i formiranja produkata starenja je stepen polimerizacije papira, koji predstavlja direktni pokazatelj stepena degradacije makromolekula celuloze.



Slika 5. Polimer celuloze

Degradaciju celulze i smanjenje stepena polimerizacije papira – Dp promovišu u najvećoj meri povišena temperatura ($\geq 1500\text{C}$) i voda, potom kiseonik, kiseline i polarni produkti starenja ulja [6,7].

Određivanje srednjeg viskozimetarskog stepena polimerizacije papira uljem impregnisanih uzoraka vrši se prema procedurama JUS/IEC 60450 i SCAN-C 15:62 [8]. Navedene procedure utvrđuju srednji viskozimetrijski stepen polimerizacije – Dp_{vsr.} koji predstavlja odnos srednje molekulske mase dobijene viskozimetrijom prema molekulskoj masi monomerne jedinice (β glukoze – $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$). Rezultati ispitivanja stepena polimerizacije uzoraka papira sa različitih lokacija primarnih, sekundarnih i tercijernih namotaja havarisanih transformatora prikazani su u tabeli 1. Može se uočiti da je većina izmerenih vrednosti Dp_{vsr.} u zoni niskih vrednosti, kada se smatra da je papir najvećim delom izgubio dobra mehanička svojstva. Empirijski je utvrđeno da je papir sa vrednostima $\text{Dp} \leq 250$ izgubio mehaničku čvrstoću. Vrednosti Dp_{vsr.} novih, neupotrebljivanih papira iznose od 1000 do 1200. Rezultati ispitivanja Dp slojeva papira sa različitih lokacija ukazuju da je izolacioni papir degradiran najvećim delom u unutrašnjim slojevima papira koji su najbliže bakarnim namotajima, gde je grejanje usled prisutnog kvara u najvećoj meri prisutno (tabela 1., uzorci: reg.sp., reg.sr. i reg.un.). Rezultati ispitivanja Dp_{vsr.} i sadržaja vode u papiru prikazani u tabeli 1. ne mogu se jednoznačno korelisati, iako je opšte poznato da povišen sadržaj vode u papiru uzrokuje niži stepen polimerizacije papira, kao promoter i jedan od proizvoda degradacije papira. Da bi se ova opšte važeća zavisnost istražila i potvrdila, neophodno je jedan isti uzorak papira sa različitim sadržajima vode podvrgći definisanim ispitnim uslovima (temperatura, kiseonik, vreme, ulje kao impregnacija ili vazduh). Predmet daljih istraživanja na modelima, pored ispitivanja uticaja pomenutih parametara degradacije papira na Dp, biće i utvrđivanje zavisnosti između Dp_{vsr.} i mehaničkih osobina celuloze – otpornost prema kidanju, izduženje pri prekidu, otpornost prema savijanju i unutrašnja otpornost prema cepanju

Tabela1. Sadržaj vode i srednji viskozimetarski stepen polimerizacije uzoraka natron papira

Naziv uzorka	sadržaj vode, % m	τ sr., s	Dp _v	Dp _{v,sr.}
VNB I	5.97	143.1	744	765
VNB II		145.9	787	
VNC I	5.47	108.1	340	324
VNC II		105.2	309	
REG.SP. I	5.53	110.1	369	366
REG.SP. II		109.7	364	
REG.SR. I	5.24	106.7	329	330
REG.SR. II		106.4	330	
REG.UN. I	5.23	102.1	272	278
REG.UN. II		103.4	284	
M VN B I	7.50	105.6	296	296
M VN B II				
M NN B I	6.90	110.2	352	359
M NN B II		110.7	365	
M Terc. B I	7.70	112.6	389	389
M Terc. B II				
M VN A I	7.40	116.3	431	390
M VN A II		109.7	349	
M Terc. A I	7.90	112.6	390	376
M Terc. A II		132.9	362	
M VN C I	7.30	110.2	355	376
M VN C II		113.7	397	
M Terc.C I	7.50	113.9	405	404
M Terc.C II		113.9	404	

8. PREPORUKE ZA NOVA ISPITIVANJA ULJA

U tabeli 2. prikazana je planirana periodika ispitivanja paprino-ulje izolacije transformatora u laboratoriji za ispitivanje izolacionih ulja (LIU) za naredni period (od 2005 godine). Preporučena vrsta i periodičnost novih ispitivanja je u najvećoj meri u skladu sa preporukama IEC TC 10, i to za ona ispitivanja koja su obuhvaćena standardizovanim uputstvima za analizu i interpretaciju rezultata. Za ostala ispitivanja koja nisu obuhvaćena IEC standardima, LIU formira sopstvene kriterijume zasnovane na stručnoj literaturi, sopstvenim iskustvima i saradnji sa članicama IEC TC 10 i aktivnom učešću u radu komiteta IEC TC 10.

Tabela 2. Ispitne metode i preporučena periodika ispitivanja u LIU počev od 2005 godine

METODA	STANDARD	UČESTANOST	PREPORUKA
1. GH analiza ulja	JUS/IEC 60567 i JUS/IEC 60599	400 kV: 1 godina 220 kV: 1 godina 110 kV – blok transf.: 1 godina 110 kV: 2 godine	JUS, IEC, TP 26/1984 i LIU LIU
2. Sadržaj vode u ulju	IEC 60814 IEC 60814	zajedno sa GH zajedno sa GH svaki drugi put	IEC 60422 LIU
3. Furani	IEC 61198 IEC 61198	svake godine zajedno sa GH zavisno od naponskog nivoa	IEC [8] LIU
4. FHE karakteristike ulja	IEC 60422 rev.-2CD IEC 60422 rev.-2CD	400 kV: 2 godine 220 kV: 2 godine 110 kV: 4 godine za sve naponske nivoe: 4 godine	IEC 60422 LIU
5.1.DBPC- IR metoda	IEC 60666 IEC 60666	za sve naponske nivoe: 2 godine za sve naponske nivoe: 4 godine	IEC 60422 LIU
5.2.P/N/A – IR metoda (parafini/nafteni/aromati)	IEC 60590	po potrebi i u istraživačke svrhe	LIU
6. Broj i veličina čestica u ulju	JUS/IEC 60970	za 400 i 220 kV: pre puštanja novog trafoa i posle prema potrebi, nakon regeneracije ulja adsorbensima	IEC 60422, LIU LIU
7.Stepen polimerizacije papira	JUS/IEC 60450	kod transformatora prilikom opravki u fabrici i kod novih transformatora pre nalivanja ulja	IEC, RUSKE [2], LIU
8.Policiklična aromatska jedinjenja (PCA) u ulju	IP 346	kod novih ulja pre nalivanja u transformator i po potrebi u istraživačke svrhe	IEC, LIU

LITERATURA

- [1] “Obim i norme ispitivanja elektro-postrojenja”, RD 34.45-51.300-97, Moskva 2001(strana 54)
- [2] J.Lukić, V.Rajaković, K.Drakić, “Transformer oil furan compound analysis in evaluation of power transformer age”, *16th International Congress of Chemical and Process Engineering*, Prague, 22-27.08.2004.

- [3] J.Lukić, A.Bojković, V.Rajaković, K.Drakić, Đ.Jovanović, D.Teslić, “Monitoring insulating paper degradation with high performance liquid chromatography determination of furan compounds”, *JUKO CIREC*, Herceg Novi, 5 – 8. 10.2004.
- [4] IEC 60422, Ed.3: Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipment, 2003, doc. 10/565/CD
- [5] J.Lukić, V.Rajaković, “Impact of particles in insulating oils on working ability of power transformers, Hun-Pra-Partec”, *625th Event of The European Federation of Chemical engineers*, Budapest 21-24 avg. 2001.
- [6] H.P.Moser, *Transformerboard II*, 1987
- [7] Jelena M.Lukić, Velinka Pejović, Slobodan Daković, “Fenomeni starenja papirno-uljne izolacije transformatora – određivanje srednjeg viskozimetskog stepena polimerizacije papira”, *JUKOCIGRE - Teslić*, 2003.
- [8] IEC 60450-Ed.1: Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged electrical papers
- [9] A.De Pablo, B.Pahlavanpour, “Cigre Task Force 15.01.03, Furanic Comp. Analysis”, *Electra* No. 175, December 1997.

Abstract: In this paper a review of new methods for analyzing the insulating system of power transformers is presented, and the importance of their application in maintenance programme of power transformers was pointed out. Frequency and recommendation for performing the following new oil examinations: inhibitor content (infrared spectrophotometry – IR), water content, particles in oil, are defined in “LIU” programme for insulating oil examinations which was made according to new IEC 60422 – 2 CD/2003.

Evaluation of power transformers solid insulation degree of degradation in operation was determined by measuring the furane content dissolved in oil. Solid insulation of transformers that were damaged and opened in factory was analyzed by measuring the degree of polymerization – Dp on paper samples. Results of these measurements were presented in this paper, together with the evaluation of correlation between the water content in oil, furane content in oil and the degree of solid insulation degradation evaluated by Dp measurements.

Key words: *paper-oil insulation, infrared spectrophotometry, water content, furanes, degree of polymerization.*

NEW CONCEPT OF POWER TRANSFORMER PAPER-OIL INSUALTION ANALYSIS

Jelena Lukić, Ksenija Drakić , Slađana Gavrančić, Snežana Kovačević