

DEKONTAMINACIJA PCB KONTAMINIRANIH ENERGETSKIH TRANSFORMATORA U JP EPS I PD ELEKTROVOJVODINA - REZULTATI PRIMENE DOMAĆE PATENTIRANE TEHNOLOGIJE DEHLORINACIJE ULJA RAZVIJENE U INSTITUTU „NIKOLA TESLA“

Jelena JANKOVIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija
Draginja MIHAJLOVIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija
Neda KOVAČEVIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija
Valentina VASOVIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija
Jelena LUKIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Zakonska regulativa definiše rok za zbrinjavanje PCB opreme i uklanjanje PCB-a iz kontaminirane opreme do 2025. godine. Transformatori koji sadrže PCB i imaju kvar ili cure predstavljaju najveći rizik za životnu sredinu, zbog moguće havarije i ekološkog akcidenta. U radu su prikazani rezultati domaće tehnologije dekontaminacije ulja, primenom procesa dehlorinacije ulja u mobilnom postrojenju Instituta „Nikola Tesla“, prema patentom zaštićenoj tehnologiji, koja ispunjava sve kriterijume najbolje raspoložive tehnologije, eng. „BAT – Best Available Technology“ i najbolje ekološke prakse, eng. „BEP - best environmental practice“. Tokom 2 godine rada mobilnog postrojenja, obrađeno je oko 1600 t PCB kontaminirane opreme, od toga preko 400 t PCB kontaminiranog ulja, različitog stepena ostarelosti i sadržaja PCB. U PD Elektrovojvodina, uspešno je izvršena dekontaminacija 225 energetskih transformatora naponskog nivoa 20/0,4 kV, dok je u JP EPS dekontaminirano 85 energetskih transformatora različitih naponskih nivoa i snaga. U radu su prikazani rezultati sadržaja PCB u ulju dekontaminiranih transformatora u vlasništvu PD Elektrovojvodina i JP EPS tri meseca nakon izvršene dekontaminacije. Obzirom da se, primenjenim procesom dehlorinacije, pored hemijske razgradnje PCB-a, vrši hemijska regeneracija i poboljšanje izolacionih karakteristika ulja, u radu je dat i uporedni prikaz rezultata karakteristika ulja u JP EPS, pre i nakon PCB dekontaminacije. Prikazani rezultati ukazuju na visoku efikasnost primenjenog procesa, čime se postiže smanjenje rizika eksploatacije i produženje životnog veka transformatora, a time i smanjenje količine generisanog otpada i očuvanje životne sredine.

Glavne reči: PCB, energetski transformator, mineralno izolaciono ulje, dehlorinacija, dekontaminacija

SUMMARY

Final disposal of PCB equipment and the removal of PCBs from contaminated equipment are defined by legislation and is foreseen for 2025. Exploitation of PCB contaminated power transformers is related to greatest risk to the environment due to possible environmental accidents as consequences of oil leakage and faults and failures of transformers. This paper provides the results of the on-site transformer PCB decontamination using Institute Nikola Tesla patented technology of oil dechlorination process. This technology fulfills criteria of the best available technology - BAT and best ecological practices - BEP, as shown in this paper. Approximately 1600 t of equipment (400 t of PCB contaminated oil) was decontaminated during two years of working of the mobile plant. Variety of different oils were treated, with different levels of PCB and ageing degree. In the PD Elektrovojvodina, decontamination of 225 power transformers of 20/0.4 kV voltage was successfully performed, while 85 power transformers, with different voltage levels and power, have been successfully decontaminated in JP EPS. High efficiency of PCB decontamination process was shown by the results of PCB content in oil three months after decontamination. Dechlorination process was found to be highly efficient in chemical regeneration and improvement of the insulating properties of the oil, as can be shown by the comparative overview of the results of the oil characteristics before and after PCB decontamination. Applied process reduces the risk of exploitation, extend the life of transformers, reduces the amount of generated waste and preserves the environment.

Key words: PCB, power transformer, mineral insulating oil, dechlorination, decontamination

UVOD

Mineralna izolaciona ulja u svom hemijskom sastavu pored ugljovodonika naftenske, parafinske i aromatske osnove, sadrže i jedinjenja koja sadrže sumpor, azot i kiseonik, a kao kontaminante mogu sadržati hlor koji potiče od „piralena“, tj. polihlorovanih bifenila (eng. PCB). Kontaminacija mineralnih ulja piralenom je posledica prestanka njegove upotrebe i zamene „piralenskih“ ulja mineralnim uljima u električnoj opremi, zbog visoke toksičnosti „piralenskih“ ulja. [1] Osnovne osobine koje piralen čine nepoželjnim u okolini su što nije biorazgradiv (priroda ga „ne prepoznaje“ i ne može ga razgraditi i eliminisati) i što je bioakumulativan. Opasan karakter piralena potiče od atoma hlora. Na listi opasnih supstanci koje daje Agencija za toksične supstance i registar bolesti, eng. (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry) najbrojnija su jedinjenja koja u sebi sadrže hlor. Polihlorovani bifenili (piraleni) na ovoj listi zauzimaju visoko peto mesto, što ih stavlja u vrh toksičnih supstanci.

Zakonska regulativa je u većini zemalja usklađena sa međunarodnim propisima o PCB-u, koji su dati kroz Stokholmsku konvenciju, koja reguliše merenje, eliminaciju ili smanjenje oslobađanja dugotrajnih organskih zagađujućih supstanci (POPs) među kojima je i PCB. Ključne tačke navedene u zakonu su:

- Sav otpad koji sadrži više od 50 ppm PCB se tretira kao PCB,
- Sva oprema koja sadrži fluid u količini većoj od 5 dm³ (5 l) mora se ispitati na prisustvo PCB,
- Vlasnik opreme sumnjive na kontaminaciju dužan je da izvrši analizu sadržaja PCB u akreditovanoj laboratoriji,
- Vlasnik opreme sumnjive na kontaminaciju dužan je da obeleži opremu prema sadržaju PCB,
- Odlaganje, odnosno dekontaminacija uređaja koji sadrže PCB više od 500 ppm, treba da se izvrši najkasnije do 31. decembra 2019. godine,
- Oprema kontaminirana PCB-om u opsegu 50 ppm do 500 ppm može se upotrebljavati do kraja radnog veka ako je adekvatno identifikovana i obeležena, ako je ispravna i ne curi, a poželjno je da se trajno zbrine ili dekontaminira do 2025 godine.

Eksploatacija PCB kontaminiranih transformatora postaje visoko rizična ukoliko je transformator neispravan, ima loše karakteristike izolacionog sistema i curi, jer tada je povećan rizik od zagađenja okolnih medijuma (zemljišta, vode, živog sveta), havarije transformatora i ekološkog akcidenta. Pored problema pregrevanja izolacije (termički kvarovi u bakarnim namotajima, na kontaktima regulatora napona, u magnetnom kolu...), gubitka izolacionih svojstava papirno-uljnog dielektrika usled povišene ovlaženosti, visok rizik eksploatacije nosi rad transformatora sa korozivnim uljem, tj. uljem koje sadrži korozivna jedinjenja sumpora. U uslovima povišenih temperatura u transformatoru korozivna jedinjenja sumpora će stvarati sulfide bakra i srebra koji kao elektro-provodna jedinjenja ugrožavaju dielektrična svojstva izolacionog sistema i mogu biti inicijatori proboja i havarije transformatora [1,2].

Rešavanje problema eksploatacije transformatora sa PCB kontaminiranim i korozivnim uljem se efikasno može izvesti primenom postupaka dehlorinacije i desulfurizacije ulja, pri čemu se simultano vrši PCB dekontaminacija i uklanjanje korozivnog sumpora iz ulja. Cilj predmetnog rada je da prikaže rezultate dekontaminacije 225 transformatora naponskog nivoa 20/0,4 kV u PD Elektrovovodina i 85 transformatora, naponskih nivoa ≥ 35 kV u JP EPS, od kojih je 29 transformatora pored PCB-a imalo ulja sa korozivnim sumporom. Proces dehlorinacije, desulfurizacije i regeneracije mineralnih izolacionih ulja izveden je u mobilnom postojenju u vlasništvu Instituta „Nikola Tesla“. Primenjena tehnologija ukazala je na visoku efikasnost, tj. visok stepen konverzije nepoželjnih jedinjenja (PCB i DBDS) i dobijanje rerafinisanog ulja sa poboljšanim izolacionim karakteristikama, čime je obezbeđen visok stepen funkcionalnosti električne opreme, koja može biti ponovo vraćena u rad.

INT PROCES RERAFINACIJE - DEHLORINACIJA, DESULFURIZACIJA I REGENERACIJA ULJA

Tehnološki proces dehlorinacije, desulfurizacije i regeneracije ulja razvijen je u Institutu „Nikola Tesla“ i zaštićen patentom u Republici Srbiji [3], koji je u skladu sa najboljom raspoloživom tehnologijom (eng. Best Available Technology – BAT) i najboljom ekološkom praksom (eng. Best Environmental Practice – BEP). Proces je zasnovan na hemijskoj konverziji-degradaciji molekula polihlorovanih bifenila (PCB), reaktivnih jedinjenja sumpora (prevedeno dibenzil disulfida - DBDS) i kiselih produkata starenja primenom neorganske baze dispergovanog u organskom rastvaraču. Ovakav tehnološki postupak je multifunkcionalan i predstavlja istovremenu dehlorinaciju, desulfurizaciju i regeneraciju ulja tj. istovremeno uklanjanje polihlorovanih bifenila, korozivnog sumpora i polarnih produkata starenja. Otpad koji se generiše iz procesa (istrošeni reagens i zauljeni adsorbent) ne sadrži PCB i ne predstavlja opasan otpad, što čini da je ova tehnologija u skladu sa principima najbolje ekološke prakse, eng. „BEP – Best Environmental Practice“. Razvijena tehnologija ima sve elemente najbolje raspoložive tehnologije, eng. „BAT - Best Available Technology“, jer se njenom primenom efikasno mogu tretirati ulja sa sadržajem PCB do 2000 ppm, manjeg i većeg stepena ostarelosti, sa i bez inhibitora

oksidacije, korozivna ulja koja sadrže veoma reaktivno jedinjenje, dibenzil disulfid (DBDS), u svim opsezima koncentracija koja su bila zastupljena u novim i korišćenim uljima (najveće koncentracije do 300 ppm). Nakon rerafinacije, dobija se ulje koje nije PCB kontaminirano, ne sadrži DBDS i nije korozivno a transformatori mogu biti vraćeni u pogon, sa poboljšanim karakteristikama ulja. [3,4]

Postupak rerafinacije ulja odvija se kroz nekoliko sukcesivnih faza, a to su:

1. Faza 1: Dehlorinacija i/ili desulfurizacija - hemijska razgradnja molekula PCB i/ili DBDS
2. Faza 2: Prečišćavanje obrađenog (rerafinisanog) ulja adsorbentima - uklanjanje zaostalog reagensa
3. Faza 3: Završna obrada ulja – sušenje, degazacija i filtriranje ulja

Nakon završenog procesa ulju se dodaje inhibitor oksidacije (di terc. butil para-krezol) u količini od 0,30 do 0,35%, kako bi ulje imalo što duži eksploatacioni vek.

Kontrola efikasnosti primenjenog postupka rerafinacije ulja vrši se na terenu i u laboratoriji Instituta „Nikola Tesla“ kontinualnim merenjima: tokom obrade ulja, nakon završenog procesa obrade ulja (pre i nakon nalivanja ulja u transformator) i 3 meseca nakon primenjenog procesa. Kontrola merenja su neophodna i izuzetno važna u praćenju kvaliteta procesa i njegove optimizacije, čime se postiže smanjenje količine generisanog otpada, čija se procenjena ukupna količina kreće od 4-8%, u odnosu na količinu obrađenog ulja.

REZULTATI INT PROCESA RERAFINACIJE - DEHLORINACIJE, DESULFURIZACIJE I REGENERACIJE ULJA

U periodu od 2015 - 2017. godine, u mobilnom postojenju Instituta „Nikola Tesla“ uspešno je dekontaminirano oko 400 tona PCB kontaminiranog ulja iz 310 energetska transformatora malih, srednjih i velikih snaga i naponskih nivoa, u opsezima koncentracije PCB u ulju od 50 do 1300 ppm. Od ukupnog navedenog broja, iz 225 transformatora u PD Elektrovojvodina, naponskog nivoa 20/0.4 kV, efikasno je uklonjen PCB i transformatori su uspešno dekontaminirani. PCB dekontaminacija preostalih 85 transformatora, naponskog nivoa ≥ 35 kV, izvršena u JP EPS, od čega je 29 transformatora sadržalo istovremeno piralen i korozivni sumpor (ukupna količina ulja oko 110 t), te je primenjenim procesom efikasno izvršena PCB dekontaminacija i desulfurizacija.

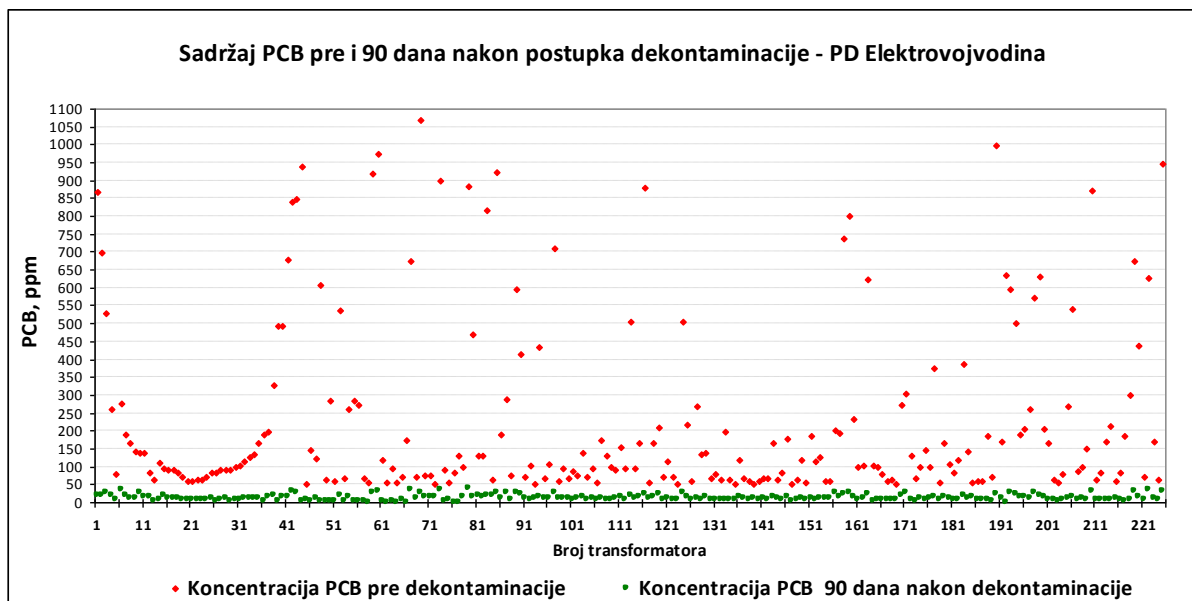
U radu su prikazani rezultati sadržaja PCB, pre i 3 meseca nakon primenjenog postupka, kod 225 energetska transformatora u PD Elektrovojvodina, gde je potvrđen sadržaj PCB u ulju ispod 50 ppm, a time i visoka efikasnost procesa.

Kod 85 transformatora u JP EPS, prikazani su rezultati sadržaja PCB, pre, nakon i 3 meseca nakon procesa, pri čemu su, za 29 transformatora sa PCB kontaminiranim, korozivnim uljem, dodatno prikazani rezultati korozivnosti ulja, pre i nakon procesa. Pored toga dat je grafički prikaz rezultata karakteristika ulja (dielektrične čvrstoće ulja - U_p' , faktora dielektričnih gubitaka ulja - $tg\delta$, neutralizacionog broja ulja - N_b i međupovršinskog napona ulje-voda - σ), pre i nakon procesa dekontaminacije 85 transformatora u JP EPS.

U toku 2016. godine u INT mobilnom postrojenju izvršena je obrada 1800 kg korišćenog korozivnog ulja iz cisterne, u vlasništvu EMS AD. Rezultati obrade ulja, sa uporednim prikazom zahtevanih vrednosti karakteristika novih ulja, prema IEC 60296/2012 standardu, ukazali su na visoku efikasnost procesa u uklanjanju korozivnih sumpornih jedinjenja i ostalih produkata starenja.

Rezultati sadržaja PCB u ulju pre i 3 meseca nakon dekontaminacije transformatora u PD Elektrovojvodina.

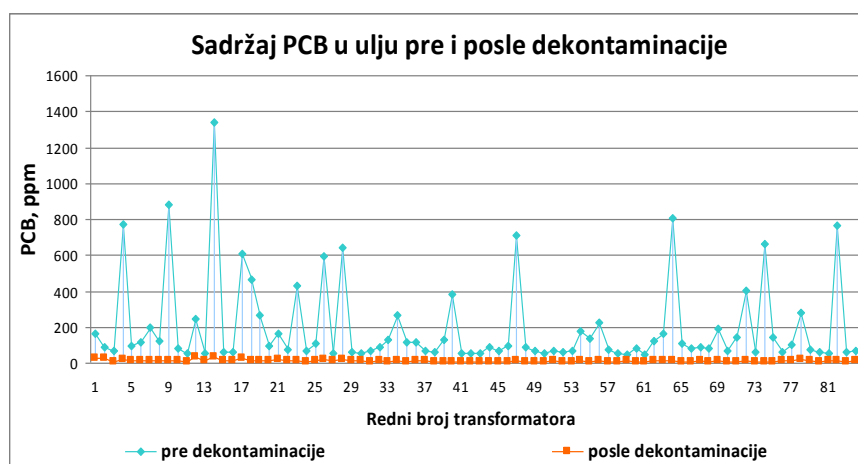
U PD Elektrovojvodina izvršena je dekontaminacija 225 transformatora naponskog nivoa 20/0,4 kV. Svi transformatori su uspešno dekontaminirani, do niskih koncentracija PCB u ulju. Kod svih transformatora izvršena je verifikacija primenjenog postupka ispitivanjem sadržaja PCB 3 meseca nakon procesa (slika 1.), pri čemu je izmeren sadržaj PCB u ulju bio ispod granične vrednosti od 50 ppm, čime je potvrđena visoka efikasnost procesa.



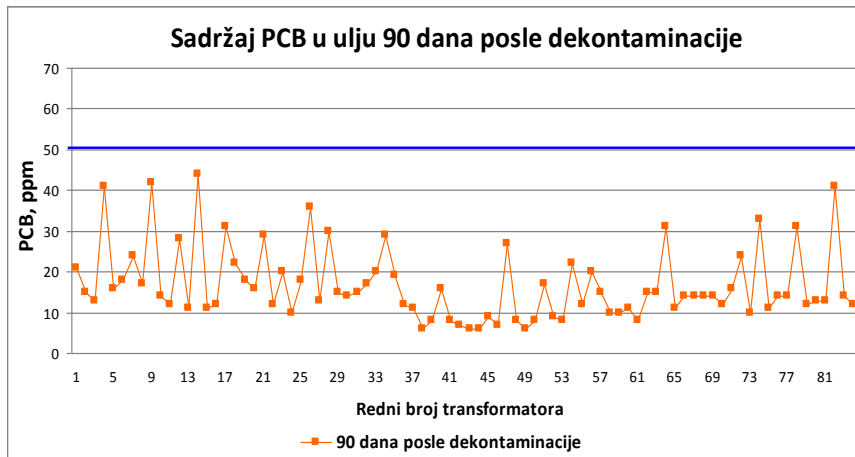
Slika 1. Sadržaj PCB u ulju pre i tri meseca nakon PCB dekontaminacije (225 transformatora)

Rezultati sadržaja PCB u ulju pre, nakon i 3 meseca nakon dekontaminacije transformatora u JP EPS.

Rezultati ispitivanja sadržaja PCB, pre i nakon primenjenog procesa dekontaminacije ulja iz 85 transformatora u JP EPS (slika 2.), naponskog nivoa ≥ 35 kV, potvrdili su visoku efikasnost procesa u uklanjanju PCB, u širokom opsegu početnih koncentracija. Nakon nalivanja transformatora dekontaminiranim uljem u prvim mesecima eksploatacije očekivan je blagi porast koncentracije PCB u ulju, usled efekta „povratnog curenja“, što se utvrđuje tri meseca nakon dekontaminacije. Ovaj efekat je veći kod visokih početnih koncentracija PCB-a. Tri meseca nakon dekontaminacije kod svih transformatora potvrđen je sadržaj PCB u ulju ispod 50 ppm (slika 3.).



Slika 2. Sadržaj PCB u ulju pre i nakon dekontaminacije



Slika 3. Sadržaj PCB u ulju 90 dana nakon izvršene dekontaminacije

Rezultati ispitivanja korozivnosti ulja pre i nakon dekontaminacije i desulfurizacije transformatora u JP EPS.

U tabeli 1. prikazani su rezultati ispitivanja korozivnosti ulja, pre i nakon procesa rerafinacije ulja za 29 transformatora u JP EPS.

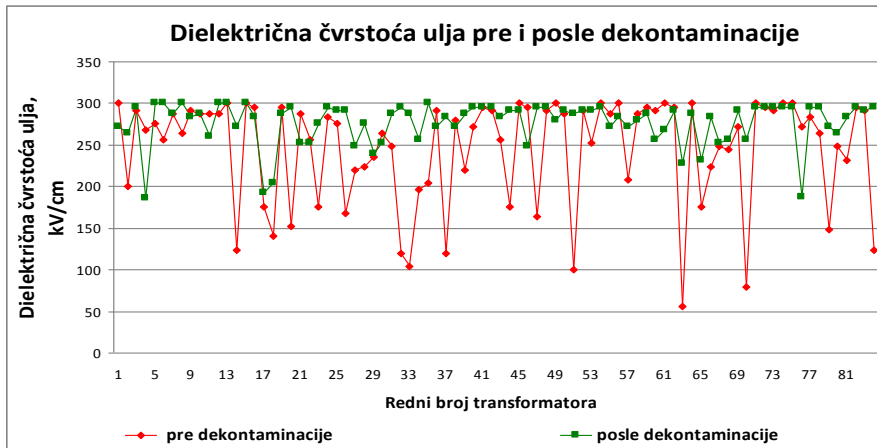
Tabela 1. Rezultati korozivnosti ulja pre i nakon rerafinacije ulja

Br.	Napon, kV	Snaga MVA	Masa ulja kg	Korozivni sumpor IEC 62535 pre obrade	Korozivni sumpor IEC 62535 posle obrade	Br.	Napon, kV	Snaga MVA	Masa ulja kg	Korozivni sumpor IEC 62535 pre obrade	Korozivni sumpor IEC 62535 posle obrade
1	10.5/6.3	16	9400	pozitivno	negativno	16	35/10	8	4900	pozitivno	negativno
2	110/6.3	25	16500	pozitivno	negativno	17	35	8	4,900	pozitivno	negativno
3	35/6.3	8	4800	pozitivno	negativno	18	35/10	4	2,600	pozitivno	negativno
4	6/0.525	2	1080	pozitivno	negativno	19	35	8	4,900	pozitivno	negativno
5	6/0.4	0.25	375	pozitivno	negativno	20	35	8	5,000	pozitivno	negativno
6	35/6.3	8	4800	pozitivno	negativno	21	35/10	4	2600	pozitivno	negativno
7	35/6.3	4	2600	pozitivno	negativno	22	35/10	8	4800	pozitivno	negativno
8	6/1.026	1	680	pozitivno	negativno	23	35/10	4	3100	pozitivno	negativno
9	6/1.026	1	680	pozitivno	negativno	24	/	0.63	480	pozitivno	negativno
10	35/10	4	2600	pozitivno	negativno	25	35/10	4	1900	pozitivno	negativno
11	35/10	1.6	1110	pozitivno	negativno	26	35	8	3070	pozitivno	negativno
12	6/0.4	0.1	120	pozitivno	negativno	27	35/10	1.6	1370	pozitivno	negativno
13	35/6.3	4	2.600	pozitivno	negativno	28	110/8.8	20	15500	pozitivno	negativno
14	35/10	1.6	1670	pozitivno	negativno	29	35/10	8	3070	pozitivno	negativno
15	35/10	1.6	1670	pozitivno	negativno						

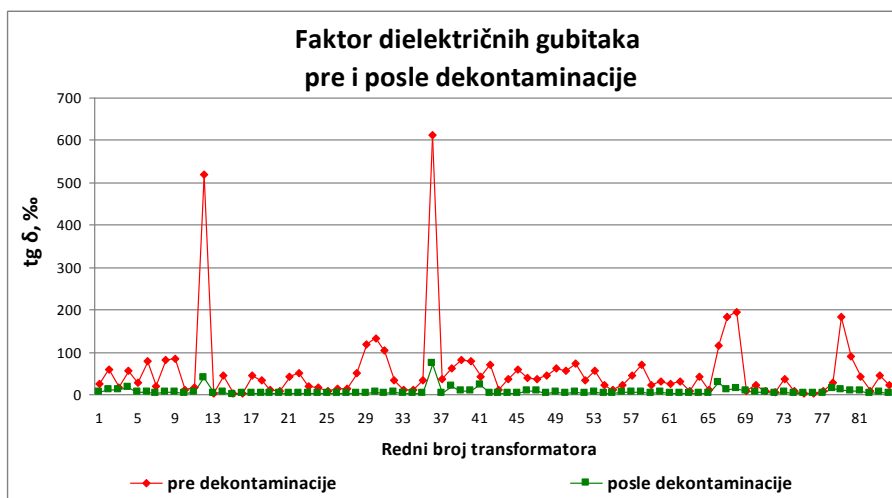
Nakon tretmana, sva ulja su bila nekorozivna prema bakru, prema IEC 62535 standardu, čime je potvrđena visoka efikasnost procesa u uklanjanju korozivnih sumpornih jedinjenja (desulfurizacija).

Rezultati karakteristika ulja pre i nakon dekontaminacije transformatora u JP EPS.

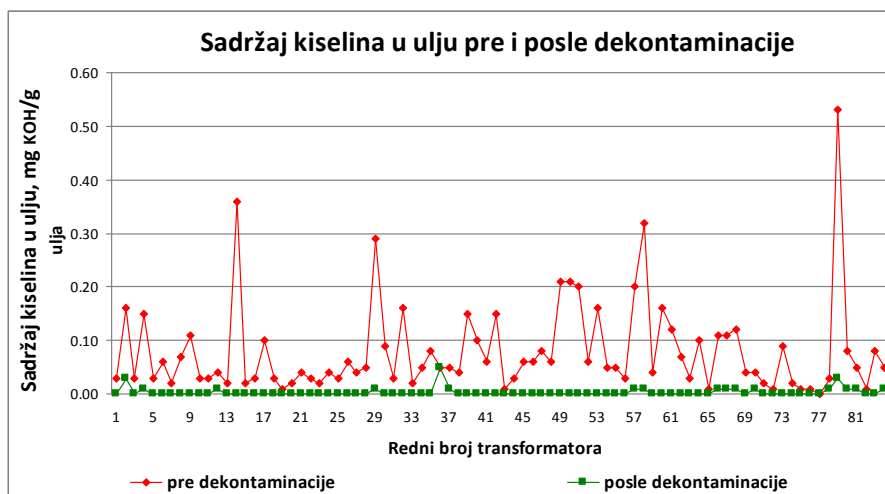
Na slikama 4, 5, 6 i 7. prikazani su rezultati karakteristika ulja iz 85 energetskih transformatora u JP EPS, pre i nakon postupka dekontaminacije. Nakon procesa, uočava se poboljšanje svih karakteristika ulja (dielektrične čvrstoće, faktora dielektričnih gubitaka, sadržaj kiselina i međupovršinski napon) što ukazuje na to, da se primenjenim procesom postiže visok stepen rafinacije ulja kao i da se transformatori vraćaju u pogon sa poboljšanim izolacionim karakteristikama ulja.



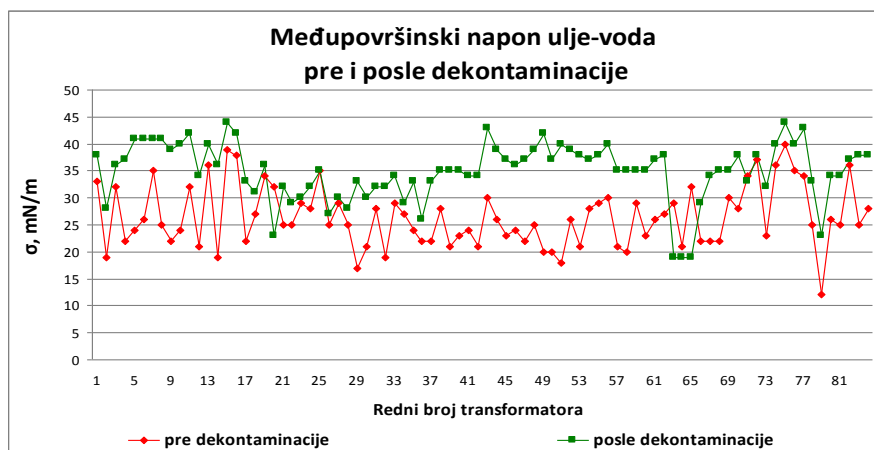
Slika 4. Dielektrična čvrstoća ulja (U_p') pre i nakon procesa dekontaminacije



Slika 5. Faktor dielektričnih gubitaka ulja ($tg\delta$) pre i nakon procesa dekontaminacije



Slika 6. Sadržaj kiselina u ulju (neutralizacioni broj, Nb) pre i nakon procesa dekontaminacije



Slika 7. Međupovršinski napon (σ) pre i nakon procesa dekontaminacije

Rezultati procesa rerafinacije korozivnog ulja iz cisterne u EMS AD.

U tabeli 2. prikazani su rezultati karakteristika ulja, pre i nakon obrade 1800 kg korozivnog ulja iz cisterne u INT mobilnom postrojenju, koji su potvrdili visoku efikasnost procesa za tretman ulja koja sadrže korozivna sumporna jedinjenja, pre svega DBDS. Sve karakteristike ulja nakon obrade zadovoljavaju kriterijume kvaliteta novih ulja, u skladu sa IEC 60296/2012. Ulje nakon obrade ima visoku oksidacionu stabilnost, tj. visoku otpornost na procese starenja što upućuje na dugačak eksploatacioni vek rerafinisanog ulja. [11]

Tabela 2. Rezultati karakteristika ulja iz cisterne, pre i nakon rerafinacije na terenu

Karakteristike ulja	Pre rerafinacije	Nakon rerafinacije	Granice IEC 60296/2012
1 FUNKCIJA			
Kinematička viskoznost na 40°C	9,497	9,833	$\leq 12 \text{ mm}^2/\text{s}$
Kinematička viskoznost na -30°C	830,0	868,2	$\leq 1800 \text{ mm}^2/\text{s}$
Tačka stinjanja	-57	-54	$\leq -40 \text{ }^\circ\text{C}$
Sadržaj vode	26	5	$\leq 30\text{A}/40\text{B mg/kg}$
Dielektrična čvrstoća	116	296	$\geq 120 \text{ kV/cm}$
Relativna gustina na 20°C	0,870	0,870	$\leq 0,895 \text{ g/cm}^3$
Faktor dielektričnih gubitaka na 90°C	0,0147	0,004	$\leq 0,005$
2 RAFINACIJA/STABILNOST			
Izgled	čisto, bistro	čisto, bistro	čisto, bistro
Kiselinski broj	0,01	<0,01	$\leq 0,01 \text{ mgKOH/gulja}$
Međupovršinski napon, mN/m	35	47	nije obavezno
Korozivnost ulja prema DIN 51353	nekorozivno	nekorozivno	nije korozivno
Korozivnost ulja prema SRPS EN 62535:2010	korozivno	nekorozivno	nije korozivno
Sadržaj dibenzil disulfida (DBDS)	78,4	nije detektovano	nije detektovano ($\leq 5 \text{ mg/kg}$)
Sadržaj inhibitora oksidacije (DBPC)	0,30	0,34*	Inhibirana ulja: 0,08 – 0,40 %
Sadržaj metal pasivatora	nije detektovano	nije detektovano	nije detektovano ($< 5 \text{ mg/kg}$)
Sadržaj derivata furana	<0,01	<0,01	nije detektovano ($\leq 0,05 \text{ mg/kg}$) za svaki derivat pojedinačno
3 PRIMENA Oksidaciona stabilnost, vreme trajanja testa: 500 h			

Karakteristike ulja	Pre rerafinacije	Nakon rerafinacije	Granice IEC 60296/2012
Ukupan sadržaj kiselina	2,04	0,52	≤ 1,2 mgKOH/gulja
Talog	0,67	0,036	≤ 0,8 %
Faktor dielektričnih gubitaka na 90°C	0,501	0,130	≤ 0,500
4 ZDRAVLJE, BEZBEDNOST I OKOLINA			
Tačka paljenja	144	142	≥ 135 °C
Sadržaj PCB	8	2	nije detektovano (< 2ppm)

A: dozvoljen sadržaj vode za ulja isporučena u burićima

B: dozvoljen sadržaj vode za ulja isporučena u cisternama

*: dodat inhibitor oksidacije DBPC, nakon rerafinacije na terenu

ZAKLJUČAK

Zakonska regulativa definiše rokove za zbrinjavanje PCB opreme i uklanjanje PCB-a iz kontaminirane opreme. Transformatori koji sadrže PCB i imaju kvar ili cure predstavljaju najveći rizik za životnu sredinu, zbog moguće havarije i ekološkog akcidenta. Transformatori koji sadrže istovremeno piralen i korozivni sumpor se smatraju jedinicama sa najvećim rizikom eksploatacije zbog moguće havarije i posledičnog ekološkog akcidenta, te se korektivne mere kod ovakvih jedinica moraju naći na vrhu liste prioriteta. Rezultati primene procesa simultane dehlorinacije, desulfurizacije i rerafinacije na terenu u mobilnom postrojenju prema patentiranoj tehnologiji intsituta ukazuju na visoku efikasnost datog procesa u uklanjanju PCB, korozivnog sumpora i produkata starenja iz ulja. U JP EPS i PD Elektrovojvodina uspešno je izvršena PCB dekontaminacija 310 transformatora različitih snaga i naponskih nivoa, pri čemu je kod 12 transformatora sa PCB kontaminiranim i korozivnim uljem istovremeno izvršena i desulfurizacija ulja. Prikazani rezultati karakteristika ulja, pre i nakon primenjenog procesa rerafinacije ulja, ukazali su na visoku efikasnost procesa u poboljšanju svih karakteristika ulja. Na osnovu rezultata ispitivanja karakteristika 1800 kg ulja iz cisterne, pre i nakon procesa rerafinacije, dobijeno je ulje koje zadovoljava sve kriterijume kvaliteta novih ulja, prema IEC 60296.

Simultana dehlorinacija, desulfurizacija i rerafinacija ulja potvrđuju multifunkcionalnost primenjenog postupka u istovremenom uklanjanju produkata starenja ulja, nepoželjnih organskih jedinjenja hlora i sumpora (PCB i DBDS) koja su nosioci povišenog rizika eksploatacije transformatora, čime se postiže smanjenje rizika eksploatacije i produženje životnog veka transformatora, a time i smanjenje količine generisanog otpada i očuvanje životne sredine.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu podržani su od strane projekta broj 45019 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] J. Lukić, V. Vasović, D. Mihajlović, J. Janković, N. Kovačević, V. Ivančević, S. Milosavljević, „PCB dekontaminacija energetskih transformatora i trajno rešavanje problema korozivnog sumpora primenom patentirane tehnologije dehlorinacije i desulfurizacije ulja“, V savetovanje, CG CO CIGRE, 09.– 12.05.2017
- [2] CIGRE TB 625: Copper sulphide long-term mitigation and Risk Assesment, July 2015
- [3] Jelena M. Lukić, “Proces za simultano uklanjanje tragova polihlorovanih bifenila, antikorozivnu desulfurizaciju i regeneraciju mineralnih izolacionih ulja“, Patentni registracioni broj 53510, rešenje o priznanju patenta broj 4/452 od 17.04.2014, GIS 2015/1, strana 64.
- [4] J.Lukić, K.Drakić, N.Kovačević, J.Janković, V.Ivančević, S.Milosavljević, D.Vorgić, D.Matić, „Dekontaminacija PCB kontaminiranih energetskih transformatora u PD Elektrovojvodina“, CIRED Srbija 26.-30.09.2016, Vrnjačka Banja, R.1.24
- [5] „Priručnik za identifikaciju, vođenje evidencije i sigurno rukovanje PCB opremom/uređajima i otpadom“, Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije, februar 2010.

- [6] „Destruction and Decontamination Technologies for PCBs and other POPs wastes under the Basel Convention – Volume A”, „Secreteriat of the Basel Convention”, „International Environment House”, 15 chemin des Anémones, CH-1219 Châtelaine, Switzerland.
- [7] S. Teslić, B. Bošković, V. Radin, J. Janković, „Mineralna transformatorska ulja kontaminirana piralenom (PCB-om)”, EKO-JUSTUS II, Palić, 2010.
- [8] S. Teslić, J. Janković, B. Bošković, V. Radin, J. Lukić, S. Milosavljević, „Mineralna transformatorska ulja kontaminirana piralenom (PCB) - od identifikacije do rešavanja problema”, VII Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije i Crne Gore, R-1.11, Vrnjačka Banja, 2010.
- [9] BS EN 50503. „Fluids for electrotechnical applications. Standard for the inventory control, management, decontamination and/or disposal of electrical equipment and insulating liquids containing PCBs”.
- [10] „IEC 61619/1997: Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography”.
- [11] Studija broj 416029: „Rerafinacija mineralnih ulja u upotrebi u EMS AD”, 2017