

## **POREĐENJE PROCESA SUŠENJA TRANSFORMATORSKOG ULJA PRILIKOM RADIONIČKOG SERVISA I U EKSPLOATACIJI NA MESTU UGRADNJE ENERGETSKOG TRANSFORMATORA 35/10kV**

D. Vičić<sup>1</sup>, PD „Centar“ doo Kragujevac, ED „Elektromorava“ Požarevac, Srbija  
V.Vučković, PD „Centar“ doo Kragujevac, ED „Elektromorava“ Požarevac, Srbija

### **UVOD**

Prilikom održavanja elektroenergetskih postrojenja bilo da se radi o vremenski predodređenom – planskom održavanju ili održavanju na osnovu stanja (CBM), posebna pažnja poklanja se energetske transformatorima. Energetski transformatori su elementi od vitalnog značaja za prenos i distribuciju električne energije i najskuplji pojedinačni elementi u transformatorskim stanicama. Od njih se očekuje visok stepen pouzdanosti i raspoloživosti. Imajući u vidu starosnu strukturu energetske transformatora u pogonu, kao i eksploatacione uslove u proteklom periodu u cilju upravljanja životnim ciklusom transformatora, sprovode se aktivnosti kako na preventivnoj dijagnostici i kontroli tako i na održavanju ili poboljšanju aktuelnog stanja energetske transformatora. U cilju produženja životnog veka transformatora vrši se akvizicija i analiza pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti na bazi rezultata električnih i neelektričnih merenja kao i hemijskih ispitivanja. Obim i periodika preventivne dijagnostike energetske transformatora određuje se u zavisnosti od značaja, aktuelnog stanja, naponskog nivoa, prenosnog odnosa i snaga transformatora. Potrebe za korektivnom dijagnostikom i korektivnim merama (intervencijama) iskazuju se na bazi analize i sagledavanja ukupnog stanja transformatora. Optimalnim i blagovremenim korektivnim merama povećava se pouzdanost i raspoloživost, produžuje životni vek i smanjuju troškovi rada transformatora. Takođe prilikom definisanja korektivnih mera i metoda za povećanje pouzdanosti i raspoloživosti, poboljšanje stanja i produženje životnog veka energetske transformatora treba voditi računa o optimizaciji troškova, efikasnosti i racionalnom pristupu procesu održavanja.

---

<sup>1</sup>Draško Vičić, dipl.el.inž. ED „Elektromorava“ Požarevac, J.Šerbanovića 17,  
12000 Požarevac, tel: 012/223-926, e-mail: drasko.vicic@elektromorava.co.rs

## RAD

Na konzumnom području ED „Elektromorava“ Požarevac u okviru transformatorskih stanica 35/10kV prosečna starost energetskih transformatora je 33 godine. Iz tog razloga posebna pažnja poklanja se preventivnoj kontroli i preventivnom održavanju energetskih transformatora. U cilju utvrđivanja i sagledavanja stanja izolacije transformatora kao i opšteg stanja transformatora redovno se vrše električna, neelektrična i hemijska ispitivanja:

1. Električna ispitivanja
  - Merenje otpora izolacije
  - Merenje indeksa polarizacije
  - Merenje omskih otpora namotaja u svim položajima regulatora napona
2. Neelektrična ispitivanja
  - Termovizijska kontrola kontaktnih mesta, zagrevanje suda i provodnih izolatora
  - Merenje buke
3. Hemijska ispitivanja
  - Gasna hromatografija
  - Tečna hromatografija
  - Ispitivanje fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika transformatorskog ulja
  - Prisustvo PCB
  - Merenje apsolutnog sadržaja vode u transformatorskom ulju

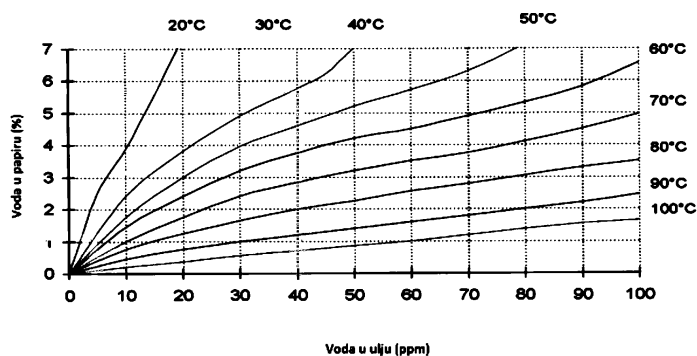
Transformatorsko ulje zajedno sa čvrstom papirnom izolacijom čini jedinstven izolacioni sistem transformatora. Takođe pomoću transformatorskog ulja vrši se odvođenje toplote namotaja i vrši hlađenje transformatora. Pored ove dve funkcije transformatorsko ulje predstavlja medijum za analizu pogonskog stanja i ispravnosti transformatora. Tokom eksploatacije transformatora dolazi do kontinualnog slabljenja mehaničkih i dielektričnih svojstava papirno-uljnog dielektrika. Degradacioni procesi izolacionog sistema su:

1. Termička razgradnja – piroliza
2. Pojava električnog luka
3. Parcijalna pražnjenja
4. Hidroliza
5. Oksidacija

Procesi razgradnje koji karakterišu čvrstu papirnu izolaciju su: piroliza i hidroliza, a za uljnu izolaciju: piroliza i oksidacija. Znači starenje izolacionog sistema je posledica tri glavna faktora: povišena temperatura, oksidacioni agensi (kiseonik) i voda.

Krajnji produkt termičke i oksidacione degradacije je voda, koja dalje podstiče hidrolitičku degradaciju (kiselu degradaciju). Voda je najjači degradirajući agens celuloze. Pored toga što voda u izolacionom ulju može da nastane kao proizvod degradacije celuloznog izolacionog materijala, ona može da potiče i iz atmosfere. Rastvorljivost vode u transformatorskom ulju povećava se sa povećanjem temperature i neutralizacionog broja. Stara ulja imaju veći kapacitet da rastvaraju vodu od novih ulja. U energetskom transformatoru se ukupna količina vode nalazi raspodeljena između ulja i čvrste izolacije. Sadržaj vode u papirnoj izolaciji je veći nego u ulju, čak do 90%. Sa promenom temperature dolazi do difuzije vode iz papira u ulje i obrnuto – INERCIJA. Sa povećanjem temperature dolazi do migracije vode iz papirne izolacije u ulje.

Koncentracija vode rastvorene u trafo ulju dobija se metodom Karl – Fisher titracijom. Uzorkovanje se vrši pri najvišim radnim temperaturama tokom dužeg stabilnog perioda, ujednačenog opterećenja sa poznatom temperaturom na mestu uzorkovanja. Uzorak ulja se uzima isključivo pomoću specijalnog šprica da ne bi došlo do kontakta spoljnog vazduha i ulja. Ispitivanje se vrši kada se ulje ohladi na temperaturu ambijenta. Ukoliko je poznat apsolutni sadržaj vode rastvoren u transformatorskom ulju (ppm), kao i temperatura transformatora prilikom uzorkovanja, procena sadržaja vode u čvrstoj celuloznoj izolaciji vrši se na osnovu dijagrama ravnoteže (indirektna metoda)



Dijagram ravnoteže u sistemu papir-ulje

Prilikom procjene sadržaja vode u celuloznoj izolaciji mora se voditi računa da li se radi o starom ili novom papirno – uljnom izolacionom sistemu. Na osnovu kriterijuma ovlaženosti čvrste izolacije i koncentracije vode rastvorene u transformatorskom ulju predlažu se korektivne mere na sušenju izolacije energetskih transformatora.

Naponski nivo	≤ 35kV
Sadržaj vode u papiru (%)	≥ 3.0
Sadržaj vode u ulju (ppm)	≥ 40

Tabela 1.

Posle sprovedenih korektivnih mera na sušenju izolacionog sistema energetskih transformatora, izmerene vrednosti moraju biti u skladu sa kriterijumima i zahtevanim karakteristikama regenerisanih (obrađenih) ulja za dati naponski nivo, tokom dugog perioda (po IEC 60422).

Naponski nivo	≤ 35kV
Sadržaj vode u papiru (%)	≤ 3.0
Sadržaj vode u ulju (ppm)	≤ 15

Tabela 2.

Efikasnost metode ogleda se u održavanju postignutih vrednosti u što dužem vremenskom intervalu nakon izvršenog procesa. Radi verifikacije procesa i procene efikasnosti pored ispitivanja sadržaja vode rastvorene u ulju potrebno je izvršiti i ispitivanje dielektrične čvrstoće ulja fizičkih i hemijskih osobina, ispitivanje oksidacione stabilnosti, sadržaja čestica u ulju nakon obrade. Ispitivanja treba vršiti nakon šest i devet meseci, a potom na godinu dana. Ulje treba da bude u I grupi kvaliteta, a ispitivanje fizičkih i hemijskih karakteristika treba vršiti na dve godine. Procenu sadržaja vode rastvorene u ulju potrebno je raditi pre i posle revitalizacije u cilju verifikacije izvedenog procesa sušenja.

## POREĐENJE METODA

Regeneracija uljne izolacije transformatora može se vršiti revitalizacijom putem hemijske obrade ulja, sušenja, filtriranja i inhibiranja ulja.

Regeneracija čvrste izolacije može se vršiti putem ispiranja i sušenja namotaja.

Postoje više metoda za sušenje izolacionog sistema transformatora. Glavna podela je izvršena na:

- proces sušenja u sopstvenom sudu i
- na proces sušenja sa demontiranim aktivnim delom transformatora u radioničkim uslovima.

Dalje podele mogu se izvršiti na:

1. vakuum metode:
  - uljni sprej,
  - u parama rastavljača,
  - potapajuća metoda,
  - grejanje niskom frekvencijom.
2. metode pod pritiskom („non vacuum“ metode):
  - recirkulacija ulja i
  - atmosferska tehnika u sferi azota.

Regeneracija ulja može se vršiti prirodnim adsorbentima, sintetičkim adsorbentima, mešavinom prirodnih i sintetičkih adsorbentata i rafinacijom.

Podela metoda se može izvršiti na ON-LINE (pod opterećenjem) i OFF-LINE (pri isključenom transformatoru).

Podela metoda se takođe može izvršiti i po načinu zagrevanja aktivnog dela i ulja transformatora.

Izbor tehnologije i tehnološkog postupka i optimizaciju radnih parametara treba izvršiti na bazi laboratorijskih merenja, stanja transformatora, naponskog nivoa, snage, važnosti, mogućnosti - nemogućnosti isključenja, tehnoeekonomskih aspekata i zaštiti životne sredine.

Redovnom preventivnom kontrolom ustanovljeno je da dva energetska transformatora 35/10kV snaga 4000kVA na konzumnom području ED „Elektromorava“ Požarevac imaju identičnu koncentraciju vode rastvorene u ulju od 40 ppm što predstavlja graničnu vrednost za taj naponski nivo. Transformatori su približne starosti, istih karakteristika, istih snaga, prenosnog odnosa, eksploatacionih uslova i istorijata u smislu revizija, radioničkih servisa i remonata.

#### ▪ **Dehidracija – sušenje papirno uljne izolacije transformatora 35/10kV broj 1. u radioničkim uslovima**

Samom procesu sušenja izolacije u radioničkim uslovima prethodila je demontaža i transport transformatora u ovlašćeni servis. Na mesto transformatora broj 1. istranspotovan je i privremeno montiran rezervni transformator.

**Proces sušenja:** Kada se transformator dopremi u radionicu, aktivni deo se demontira i vadi iz transformatorskog suda. Aktivni deo se pere toplim trafo uljem pod pritiskom. Sa aktivnog dela, kao i sa transformatorskog suda se odstranjuju naslage taloga. Ulje iz transformatorskog suda se istače i filtrira, dok se aktivni deo suši u sušari.

**Opis postrojenja:** Postrojenja za pripremu ulja pogodna su za pripremu i inhibiranja ulja kao i za sušenje papirno – uljne izolacije transformatora. Zajedno sa jednim Fuller postrojenjem moguća je regeneracija izolacionog sistema.

**Priprema ulja za dehidraciju:** Kod pripreme ulja odvajaju se sledeće komponente: čvrste nečistoće, slobodna ili rastvorena voda i rastvoreni vazduh. Prilikom ulaska ulja u aparat za filtriranje, grube nečistoće se zadržavaju na prvom „grubom“ filteru. Za fino filtriranje ulja filterski kotao sadrži patrone sa stepenastom dubinskom gustinom. Grube čestice će biti zadržavane spolja, a finije u dubljim slojevima filtera.

**Degasacija i sušenje:** Voda i vazduh se iz ulja odvajaju pomoću obrade u vakuumu. U grejaču se ulje najpre zagreva na optimalnu temperaturu od cca. 60°C za naredni proces i doprema u kotao za degasaciju koji je evakuiran pomoću vakuum pumpe, vazduh i isparavajuća voda koji izlaze iz ulja se odstranjuju. Uljna isparenja koja se tom prilikom stvaraju kondenzuju se na rashladnoj površini, a kondenzat se ponovo vraća u ulje. Na ovaj način, odpumpavanjem lako isparljivih delova transformatorskog ulja održava se optimalna viskoznost neophodna za adekvatno rashladno dejstvo ulja pri opterećenom transformatoru. Prilikom degasacije i sušenja dolazi do stvaranja pene u kotlu što je direktna posledica količine vazduha i vode rastvorene u ulju. Sušenjem i degasacijom stvaranje pene se smanjuje. Za dobru pripremu ulja se uvek, prema sadržaju vode i vazduha obično primenjuju 2 do 6 prolaza.

Tehnički podaci filter aparata:

- Protočna količina ulja:
  - a) Priprema 3000 l/h
  - b) Zagrevanje i ispitivanje transformatora 6000 l/h
- Pogonski pritisak kod poslednjeg prolaza ulja 0,6...1 mbar
- Nominalna moć usisavanja vakuum pumpe 66,8 m<sup>3</sup>/h
- Instalirana snaga 85 kW
- Snaga grejača 75 kW
  - a) I stepen 25 kW
  - b) II stepen 25 kW
  - c) III stepen 25 kW

- Pumpe:
  - a) Zupčasta 1 kom.
  - b) Centrifugalna 1 kom.
  - c) Vakuum pumpe 2 kom.
- Finoća filtera 5  $\mu\text{m}$

Sušenje čvrste izolacije aktivnog dela transformatora

Sušenje aktivnog dela transformatora vrši se na povišenoj temperaturi neprekidno sve dok se otpor izolacije namotaja (VN-masa; NN-masa; VN-NN) ne poveća iznad 1000 M $\Omega$ .

Tehnički podaci komore za sušenje

- Radna temperatura 90 °C
- Radna zapremina 40,4 m<sup>3</sup>
- Protok vazduha 3410 m<sup>3</sup>/h
- Snaga ventilatora 2,2 kW
- Broj obrtaja ventilatora 1400 o/min
- Snaga grejača 2 x 25 kW

Proces dehidracije – sušenja energetskog transformatora broj 1. trajao je ukupno pet dana.

Početne vrednosti:

Datum uzorkovanja	T <sub>ULJA</sub> (°C)	H <sub>2</sub> O (ppm)
<b>09.04.2009.</b>	<b>28</b>	<b>40</b>

Tabela 3.

Отпори изолације	R <sub>15</sub> (M $\Omega$ )	R <sub>60</sub> (M $\Omega$ )	k
	5000 V	5000 V	
VN-NN	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>1,2</b>
VN-M	<b>210</b>	<b>220</b>	<b>1,04</b>
NN-M	<b>200</b>	<b>210</b>	<b>1,05</b>

Tabela 4.

Datum: 19.05.2009.

T<sub>ulja</sub>=32°C

T<sub>ambijent</sub>=28°C

t	T <sub>VN</sub>	VN-M (15'')	NN-M (15'')	VN-NN (15'')
h	°C	M $\Omega$	M $\Omega$	M $\Omega$
8.00	<b>38-49</b>	<b>2100</b>	<b>1160</b>	<b>1500</b>
9.00	<b>30-40</b>	<b>3600</b>	<b>1800</b>	<b>2800</b>
10.00	<b>28-38</b>	<b>4700</b>	<b>2250</b>	<b>3800</b>
11.00	<b>24-34</b>	<b>5600</b>	<b>2800</b>	<b>4700</b>
12.00	<b>24-31</b>	<b>6300</b>	<b>3100</b>	<b>5400</b>
13.00	<b>24-30</b>	<b>6600</b>	<b>3500</b>	<b>5700</b>
14.00	<b>24-30</b>	<b>6700</b>	<b>3800</b>	<b>5700</b>
15.00	<b>24-29</b>	<b>8600</b>	<b>4000</b>	<b>6000</b>

Tabela 5.

T<sub>VN</sub> – Prvi broj je temperatura na dnu, a drugi temperatura namotaja pri vrhu  
Demontirani aktivni deo transformatora zagrejan je na temperaturu od 50°C, nakon toga je iznet iz komore za sušenje i prilikom njegovog prirodnog hlađenja vršeno je merenje otpora izolacije

Datum	T <sub>VN (SREDNJA)</sub>	VN-M (15'')	NN-M (15'')	VN-NN (15'')
	°C	M $\Omega$	M $\Omega$	M $\Omega$
02.06.2009.	<b>48</b>	<b>2100</b>	<b>1160</b>	<b>1500</b>
05.06.2009.	<b>48</b>	<b>3450</b>	<b>1850</b>	<b>3950</b>
08.06.2009.	<b>53</b>	<b>2800</b>	<b>1915</b>	<b>3100</b>
09.06.2009.	<b>50</b>	<b>3000</b>	<b>2000</b>	<b>3300</b>
10.06.2009.	<b>50</b>	<b>3200</b>	<b>2000</b>	<b>3400</b>

Tabela 6.

Napomena:  
Nije konstantan porast u otporu izolovanosti jer merenja nisu vršena na istim srednjim temperaturama

Izmerene vrednosti nakon sušenja:

Datum uzorkovanja	T <sub>ULJA</sub> (°C)	H <sub>2</sub> O (ppm)
<b>10.06.2009.</b>	<b>17</b>	<b>8</b>

Tabela 7.

Izmerene vrednosti nakon devet meseci:

Datum uzorkovanja	T <sub>ULJA</sub> (°C)	H <sub>2</sub> O (ppm)
<b>28.04.2010.</b>	<b>32</b>	<b>10</b>

Tabela 8.

Отпори изолације	R <sub>15</sub> (MΩ)	R <sub>60</sub> (MΩ)	k
	5000 V	5000 V	
VN-NN	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>1,33</b>
VN-M	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>1,25</b>
NN-M	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>1,33</b>

Tabela 9.

Datum: 16.04.2010.

T<sub>ulja</sub>=24°C

T<sub>ambijent</sub>=26°C

▪ **Dehidracija – sušenje papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV broj 2. u ON-LINE režimu (na mestu ugradnje)**

Proces dehidracije–sušenja papirne izolacije energetskog transformatora izvršen je mobilnim uređajem u ON-LINE režimu bez isključenja transformatora. Proces je zasnovan na recirkulaciji ulja između transformatora i postrojenja za revitalizaciju. Dehidracija je izvršena tehnološkim postupkom adsorpcije molekula vode. Ulje sa donjeg ventila transformatora cirkuliše i prolazi kroz tankove sa granulisanim adsorbentima, kroz fine filtere tako da se obrađeno vraća u transformator preko dilatacionog suda. Proces je vršen sintetičkim adsorbentima koji inače ni u jednom trenutku ne predstavljaju opasan otpad jer ih je moguće reaktivirati više stotina puta. Sintetički adsorbenti imaju višestruko viši koeficijent adsorpcije od prirodni adsorbenata. Granulisani adsorbent koji se koristi za dehidraciju potpuno je neutralan na prirodne i sintetičke inhibitore koji se nalaze u ulju i koji usporavaju proces oksidacije. Iz tog razloga omogućena je potpuna fizičko-hemijska regeneracija izolacionog ulja, kao i dubinsko prečišćavanje i isušivanje čvrste izolacije. Postupak podrazumeva da adsorbenti tokom recirkulacije ulja u svojim porama zadržavaju sve produkte starenja i vodu. Konstantnim stvaranjem neravnoteže odnosa molekula vode između ulja i papira, odnosno ubrzanim transferom molekula vode sa papira na ulje voda se preko ulja odstranjuje primenom sintetičkih visokoaktivnih adsorbenata. Uređaj ima mogućnost promene brzine protoka ulja radi potpunog iskorišćenja kapaciteta adsorbenta. Brzina prolaza ulja kroz kapilare se izračunava empirijskim formulama. Proces je moguće ubrzati povećanjem temperature transformatora. Pošto se proces sušenja odvijao u ON-LINE režimu temperaturu je bilo moguće kontrolisati promenom režima opeterećenja transformatora. U slučaju OF-LINE režima (transformator isključen) temperatura transformatora se može podizati metodom „kratkog spoja“, ukoliko je na terenu dostupan odgovarajući izvor električne energije. Ukupno vreme trajanja procesa je 108 časova, prosečna temperatura ulja je 44 °C, radni pritisak je 2,3 bar.

Početne vrednosti:

Datum uzorkovanja	T <sub>ULJA</sub> (°C)	H <sub>2</sub> O (ppm)
<b>09.04.2009.</b>	<b>28</b>	<b>40</b>

Tabela 10.

Отпори изолације	R <sub>15</sub> (MΩ)	R <sub>60</sub> (MΩ)	k
	5000 V	5000 V	
VN-NN	<b>180</b>	<b>215</b>	<b>1,19</b>
VN-M	<b>230</b>	<b>245</b>	<b>1,06</b>
NN-M	<b>220</b>	<b>235</b>	<b>1,07</b>

Tabela 11.

Datum: 11.07.2009.

T<sub>ulja</sub>=47°C

T<sub>ambijent</sub>=35°C

Datum	VN-M			NN-M			VN-NN		
	R <sub>15</sub>	R <sub>60</sub>	k	R <sub>15</sub>	R <sub>60</sub>	k	R <sub>15</sub>	R <sub>60</sub>	k
15.07.2009.	200	250	1,25	180	200	1,11	190	210	1,10
16.07.2009.	700	850	1,21	550	700	1,27	500	700	1,40
17.07.2009.	900	1000	1,11	800	1000	1,25	650	950	1,46
21.07.2009.	900	1000	1,11	850	1050	1,23	800	950	1,18

Tabela 12.

Izmerene vrednosti nakon sušenja:

Datum uzorkovanja	T <sub>ULJA</sub> (°C)	H <sub>2</sub> O (ppm)
21.07.2009.	45	4

Tabela 13.

Otpori izolacije	R <sub>15</sub> (MΩ)	R <sub>60</sub> (MΩ)	k
	5000 V	5000 V	
VN-NN	800	950	1,18
VN-M	900	1000	1,11
NN-M	850	1050	1,23

Tabela 14.

Datum: 21.07.2009.

T<sub>ulja</sub>=45°CT<sub>ambijent</sub>=30°C

Izmerene vrednosti nakon devet meseci:

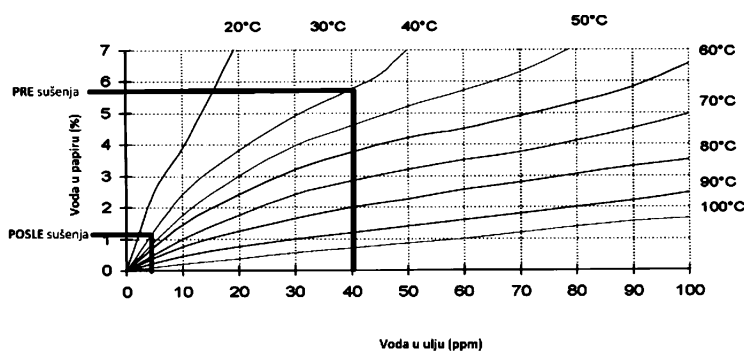
Datum uzorkovanja	T <sub>ULJA</sub> (°C)	H <sub>2</sub> O (ppm)
28.04.2010.	42	13

Tabela 15.

Otpori izolacije	R <sub>15</sub> (MΩ)	R <sub>60</sub> (MΩ)	k
	5000 V	5000 V	
VN-NN	1000	1700	1,7
VN-M	1000	1900	1,7
NN-M	1100	1800	1,7

Tabela 16.

Datum: 16.04.2010.

T<sub>ulja</sub>=40°CT<sub>ambijent</sub>=26°C

#### ▪ Prednosti dehidracije-sušenja papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV u radioničkim uslovima

Pošto se proces odvija sa demontiranim aktivnim delom transformatora, moguće je izvršiti vizuelnu kontrolu geometrije namotaja, stanja regulatora napona, unutrašnjosti transformatorskog suda, kontrolu kontakata, lemova i spojeva, kontrolu položaja podloški za pritezanje namotaja, podloški između namotaja, izvršiti pritezanje namotaja i kontrolu magnetnog kola transformatora. Moguće je izvršiti kompletnu reviziju i radionički servis energetskog transformatora. Vršiti se uklanjanje taloga i naslaga sa aktivnog dela, zidova suda i otvora za protok ulja ka rashladnim radiatorima. Aktivni deo se pere pod pritiskom toplim uljem. Dehidracija se ne vrši indirektno preko ulja već direktno

podizanjem temperature čvrste izolacije transformatora. Moguće je uzorkovanje celulozne izolacije radi analize stanja. S obzirom da se preko 90% vode nalazi u čvrstoj izolaciji transformatora glavni deo procesa odvija se u peći za dehidraciju. Ostvaruje se dubinsko sušenje namotaja. Ova metoda dehidracije pruža potpuniju sliku o aktuelnom stanju energetskog transformatora.

▪ **Nedostaci dehidracije-sušenja papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV u radioničkim uslovima**

Neophodna je demontaža i transport energetskog transformatora do servisne radionice i eventualni prekid u isporuci električne energije tokom demontaže i montaže rezervnog transformatora. Angažovanje velikog broja izvršilaca. Dugo trajanje celokupnog procesa. Gubitak određene količine ulja prilikom demontaže i ceđenja aktivnog dela transformatora. Ova metoda zahteva grejanje ulja na preko 50<sup>0</sup>C pod visokim vakuumom što odgovara temperaturi od oko 105<sup>0</sup>C. Na ovoj temperaturi ulje degradira, a laki aromati (prirodni inhibitori) isparavaju i ulje ostaje nezaštićeno. Pregrevanje može biti štetno i opasno posebno za stara ulja. Iz tog razloga je ograničen broj ciklusa dehidracije u „toplom” vakuumu. Ne preporučuje se više „tretmana” sušenja u vakuumu posebno za transformatore u podmaklom periodu eksploatacije. Ekološki aspekt u smislu odlaganja otpadnog ulja, taloga i čestica sa krupnih i finih filtera. Velika potrošnja energije. Moguća je radionička greška prilikom montaže (sklapanju) transformatora. Neophodna su sva završna ispitivanja kao pri radioničkom servisu. Visoki ukupni troškovi procesa.

▪ **Prednosti dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV u ON-LINE režimu (na mestu ugradnje)**

Dehidracija se vrši bez isključenja i demontaže energetskog transformatora. Ceo proces se odvija pod nadzorom samo jednog izvršioca. Nema negativnih ekoloških aspekata. Prilikom procesa nema gubitka ulja. Proces nije degradirajući za čvrstu izolaciju i ulje. Nema ograničenja u broju ciklusa. Mala potrošnja energije. Sintetički adsorbent je neutralan na prirodne i sintetičke inhibitore i ne unosi čestice u transformator. Nema pregrevanja transformatorskog ulja. Neravnotežno stanje vode u papiru i transformatorskom ulju, omogućuje dubinsko prečišćavanje čvrste izolacije. Za ovu metodu karakteristično je da nema opasnosti od smanjenja dimenzija namotaja usled gubljenja vlage. Niži ukupni troškovi procesa.

▪ **Nedostaci dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV u ON-LINE režimu (na mestu ugradnje)**

Prilikom procesa recirkulacije moguće je podizanje taloga i njegova migracija unutar suda transformatora. Nije moguće potpuno uklanjanje taloga iz energetskog transformatora. Metoda ne pruža mogućnost sagledavanja ukupnog aktuelnog stanja transformatora.

▪ **Ekonomski aspekti dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV u radioničkim uslovima**

Troškovi demontaže transformatora i montaže rezervnog transformatora.....	205,51 €
Troškovi angažovanja auto-dizalice.....	366,64 €
Troškovi transporta transformatora do ovlašćenog servisa.....	356,78 €
Troškovi demontaže rezervnog transformatora i montaže servisiranog transformatora.....	225,33 €
Troškovi angažovanja auto-dizalice.....	660,00 €
Troškovi transporta transformatora od ovlašćenog servisa do mesta montaže.....	382,67 €
Troškovi dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora.....	4.978,00 €
<b>Ukupni troškovi dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora:</b> .....	<b>7.174,93 €</b>



▪ **Ekonomski aspekti dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora 35/10kV u ON-LINE režimu (na mestu ugradnje)**

Nema pripremnih, dodatnih i manipulativnih troškova.

**Ukupni troškovi dehidracije–sušenja papirno-uljne izolacije transformatora:.....2.523,80 €**

▪ **Zaključak**

Preventivnom kontrolom i blagovremenom revitalizacijom papirno-uljne izolacije produžava se životni vek i povećava pouzdanost i raspoloživost energetskih transformatora. Izbor metode za revitalizaciju papirno-uljnog dielektrika energetskog transformatora, vrši se na bazi rezultata električnih, neelektričnih i hemiskih ispitivanja, ukupnog aktuelnog stanja, snage, prenosnog odnosa, značaja i mesta ugradnje. Izabrana metoda revitalizacije treba da obezbedi zahtevane karakteristike izolacije kao i trajnost dobijenih rezultata. U odnosu na konvencionalne metode, tehnika obrade papirno-uljne izolacije adsorbentima pored toga što pruža dobre i dugoročne rezultate prilikom revitalizacije papirno-uljne izolacije transformatora pruža i niz prednosti koje se ogledaju u primeni metode na terenu, bez istakanja ulja iz transformatora, rada u ON-LINE režimu, zaštiti životne sredine i znatno nižim ukupnim troškovima procesa, što doprinosi optimizaciji troškova, racionalizaciji i efikasnosti procesa održavanja energetskih transformatora.

LITERATURA

1. Pejović V, 1996, "Preventivna ispitivanja energetskih transformatora pre i u toku njihove eksploatacije analizom uzoraka ulja", Savetovanje „Transformatori u energetici” Beograd
2. Nahman J, Mijailović V, 2005, "Razvodna postrojenja“, Akademska misao ETF, 397 – 415, Beograd
3. Lukić J, 2003, "Fenomeni starenja papirno uljne izolacije transformatora-određivanje srednjeg viskozimetarskog stepena polimerizacije papira”, JUKO-CIGRE, 26 Savetovanje, R12-15, Teslić
4. Pantlć V, 2005, "Produženje životnog veka i povećanje sigurnosti rada energetskih transformatora adsorpcijom produkata starenja”, JUKO-CIGRE, 27 Savetovanje, R A2-07, Zlatibor
5. Rajaković V, 2003, "Analiza jedinjenja furana u izolacionim uljima”, JUKO-CIGRE, 26 Savetovanje, R12-16, Teslić
6. Lukić J, 2009, "Koncept dijagnostike prema stanju ispitivanjem izolacionih ulja”, Savetovanje „Povećanje pouzdanosti i produžetak životnog veka transformatora” Beograd