

## **BAZA PODATKA KAO ALAT ZA UNAPREĐENJE DIJAGNOSIKE STANJA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA**

S. Milosavljević, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija  
V. Polužanski, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija  
N. Miladinović, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija  
J. Delić, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija  
J. Lukić, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija  
D. Kovačević, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Srbija

### **KRATAK SADRŽAJ**

Procesi deregulacije i liberalizacije tržišta električne energije postavljaju pred kompanije za distribuciju električne energije nove zahteve, u smislu energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetske opreme. U ispitivanjima i dijagnostici stanja transformatora, prelazi se sa pojedinačnih merenja na integrisane modele, a sa vremenski planiranog održavanja na održavanje po stanju, uz uvažavanje metoda upravljanja rizicima, procenom životnog veka i korišćenjem informacionih tehnologija. U cilju produženja životnog veka transformatora i prevencije poremaćaja koji mogu dovesti do neplaniranih ispada ili havarija, uvode se sistemi ispitivanja, dijagnostike i praćenja transformatora uvidom u stanje (condition based monitoring – CBM). Održavanje po stanju je efikasno i moguće samo primenom tačnih i pouzdanih metoda merenja i ispitivanja, kao i primenom baza podataka i adaptivne i efikasne dijagnostike. U radu je dat prikaz baze podataka energetskih transformatora razvijene u Institutu »Nikola Tesla« u kojoj se nalaze podaci o transformatorima i svim obavljenim ispitivanjima koja čine sinergetsku vezu električnih, hemijskih i fizičkih ispitivanja. U bazi se nalaze i podaci o značajnim pogonskim događajima i radovima na transformatoru, kao i rezultati post-havarijskih ispitivanja tokom defekataže i opravke u fabrici. Veliki značaj primene baze podataka kao pomoćnog alata u dijagnostici je primena statističkih analiza u funkciji pogonske dijagnostike i utvrđivanje korelacija pogonske dijagnostike sa rezultatima post-mortem analiza. Ovim se omogućava verifikacija postojećih dijagnostičkih metoda i sticanje novih ekspertskih znanja u datoj oblasti. U radu je prikazana aplikacija za pristup podacima, a opisan je i značaj primene baze u dijagnostici stanja energetskih transformatora. Definisane su smernice za održavanje i ažuriranje baze, kao i mogućnosti primene baze podatka za analizu rizika eksploatacije energetskih transformatora.

**Ključne reči:** energetski transformator, baza podataka, preventivna kontrola, preventivno održavanje, procena pogonskog stanja

### **1 UVOD**

Potpisivanjem i ratifikovanjem Ugovora o energetskoj zajednici Jugoistočne Evrope Srbija se opredelila da svoj energetski sektor uskladi sa zahtevima energetskog tržišta Evropske Unije, nastojeći da zadovolji uslove definisane pravnom regulativom EU. Restrukturiranje, reorganizacija, deregulacija i konkurencija su procesi koji obeležavaju institucionalne, zakonske, organizacione i druge reforme u energetskim sektorima kako Srbije, tako i ostalih zemalja potpisnica.

Pojavom novog subjekta-regulatora menjaju se odnosi među učesnicima na tržištu energije. Energetski subjekti, među njima i kompanije za distribuciju električne energije, osim odgovornosti prema potrošačima, sada posebnu odgovornost imaju i prema regulatoru. Regulator im daje licence za rad, predlaže metodologiju i mehanizam utvrđivanja, kontrole i nadzora cene, a i energetskih usluga i naknada javnih usluga i monopola, posebno naknada i tarifa korišćenja distributivnih mreža. Zbog toga distributivne kompanije, pored ostalog, moraju regulatoru posebno detaljno da predstave

svoje opravdane troškove. Troškovi održavanja imaju značajnu ulogu u poslovanju kompanije za distribuciju električne energije, te postoji pritisak da se oni optimizuju [1].

Energetski transformator je pojedinačno najskuplji element u transformatorskoj stanici i čija je cena veća od polovine ukupne investicije novog objekta. Ostali troškovi (ugradnja, održavanje) vezani za životni vek transformatora su mali u odnosu na cenu nove jedinice. Ukoliko dođe do iznenadne havarije trošak koji nastaje može biti značajno veći od cene koštanja novog transformatora.

Rast potrošnje električne energije i zahtevi za visokom pouzdanošću i raspoloživošću sa jedne strane, pritisak za smanjenjem troškova održavanja i maksimalnim iskorišćenjem opreme sa druge strane postavili su pred kompanije za distribuciju električne energije nove izazove. Rešenje se nalazi u upravljanju životnim vekom transformatora primenom održavanja po stanju i analizom rizika eksploatacije. Za primenu koncepcije održavanja po stanju i procenu rizika eksploatacije od izuzetnog značaja je poznavanje odgovora na pitanja:

- U kakvom je stanju transformator?
- Da li u postojećem stanju transformator može da bude u pogonu, uz pojačano praćenje i analizu i procenu rizika?
- Da li su potrebni radovi i u kom obimu?
- Da li je remont i kog obima isplativ?
- Kada treba planirati zamenu transformatora?

Odgovori na ova složena pitanja eksploatacije transformatora mogu se dobiti samo na osnovu tačnih i pouzdanih metoda merenja i ispitivanja, redovnim i sistematskim dijagnostičkim nadzorom, kompleksnim i integralnim pristupom transformatorima kao složenim sistemima, te primenom baza podataka i akumuliranih, specifičnih ekspertskih znanja [2].

Stanje informacionih tehnologija danas je omogućilo razvoj i primenu baza podataka koje daju nove mogućnosti za unapređenje dijagnostike stanja i analize rizika eksploatacije energetskih transformatora. U Institutu "Nikola Tesla" je za potrebe EPS, formirana baza podataka koja je obuhvatila blok transformatore, transformatore sopstvene potrošnje i pobudne transformatore u elektranama EPS. Baza sadrži osnovne podatke o transformatorima, pogonskim događajima i obavljenim ispitivanjima transformatora (uključujući fabrička), kao i obavljenim radovima i remontima. U bazi se nalaze i svi transformatori u PD za distribuciju električne energije, ali količina raspoloživih podataka je ograničena.

## 2 ODRŽAVANJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

Održavanje je od ključnog značaja za sigurnost funkcionisanja nekog elementa u tehničkom sistemu. Održavanje predstavlja skup različitih aktivnosti i postupaka koji imaju zadatak da obezbede ispravan rad tehničkog sistema, odnosno nivo sigurnosti funkcionisanja i pouzdanosti koji zadovoljava postavljenu funkciju cilja. Evropski standard EN 13306: Maintenance - Maintenance terminology definiše pojmove i izraze za tehničke, administrativne i upravne oblasti održavanja. Ključni osnovni izrazi definisani u ovom standardu su:

- Održavanje: kombinacija tehničkih, administrativnih i upravnih aktivnosti tokom životnog ciklusa nekog elementa koje se sprovode sa ciljem održavanja u stanju u kome može obavljati predviđenu funkciju, ili dovođenja u takvo stanje.
- Upravljanje održavanjem: sve upravne aktivnosti koje utvrđuju ciljeve, strategije i odgovornosti pri održavanju, i primenjuju ih kroz planiranje, kontrolu, nadgledanje, poboljšanje organizacionih metoda, kao i kroz ekonomske aspekte.
- Ciljevi održavanja: obuhvataju predviđene i usvojene aktivnosti održavanja (npr. raspoloživost delova, smanjenje troškova, kvalitet proizvoda, zaštita okoline, bezbednost i sl.).
- Strategija održavanja: primenjene metode u smislu postizanja ciljeva održavanja.
- Plan održavanja: strukturna postavka obaveza koje sadrže aktivnosti, procedure, resurse i vremenske okvire potrebne za izvođenje održavanja.

Standard definiše i vrste i strategije održavanje: preventivno održavanje, plansko održavanje, predodređeno održavanje, održavanje prema stanju, predviđeno održavanje, korektivno održavanje, daljinsko održavanje, odloženo održavanje, hitno održavanje, on-line održavanje, terensko održavanje i operatorsko održavanje, kao i aktivnosti održavanja: pregled, praćenje stanja, test usklađenosti, funkcionalna provera, rutinsko održavanje, generalna popravka, remont, popravka, privremena popravka, dijagnoza kvara, alokacija kvara, poboljšanje i rekonstrukcija.

U tehničkim sistemima maksimalna pažnja se poklanja osnovnom i preventivnom održavanju, kako bi se korektivno svelo na minimum.

Strategija održavanja (politika održavanja) je varijanta sistema održavanja, određena koncepcijom, organizacijom i karakterom postupaka održavanja, kao i odnosom između pojedinih nivoa na kojima se vrši održavanje [3]. Između strategija i koncepcija sistema održavanja postoje određene razlike.

Razlike mogu biti u nekim manje ili više značajnim detaljima, ali i u osnovnim i za održavanje ključnim karakteristikama koje se odnose na osnovni prilaz, metodologiju i koncepciju održavanja, kao i na primenjenu tehnologiju i organizaciju.

Postoji više strategija održavanja, ali su u osnovi dve glavne filozofije: Održavanje prema pouzdanosti (Reliability Centered Maintenance - RCM) i totalno produktivno održavanje (Total Productive Maintenance - TPM). Pored ova dva osnovna prilaza, sve više se uvode i prilazi zasnovani na riziku, odnosno metodologije održavanje prema riziku (Risk Based Inspection - RBI). Metodologije održavanja prema riziku ne predstavljaju zamenu za dva osnovna prilaza, već njihovu korisnu dopunu. Po RCM održavanje se zasniva na poznavanju karakteristika pouzdanosti, na bazi kojih se stalno, tokom eksploatacije, vrše prognoze budućih stanja, odnosno predviđa pojava otkaza. Na ovoj osnovi se donose odluke o postupcima preventivnog održavanja koje treba sprovesti u određenim trenucima vremena, kako bi sprečila iznenadna pojava otkaza, a time i zastoji. U ovom okviru se analiziraju i nužni postupci korektivnog održavanja, i to kako oni za kojima se ukaže potreba tokom redovnih pregleda stanja, tako i oni koji moraju da se obave zbog pojave otkaza između propisanih, odnosno redovnih pregleda stanja.

Metodologija održavanja prema riziku (RBI) se zasniva na proceni verovatnoće nastanka neželjenog događaja u procesu i sagledavanju posledica, odnosno veličine nastale štete. Ovo znači da se za svaki tehnički sistem definišu mogući otkazi svakog sastavnog dela, a onda se posebnim matematičkim modelima može izvršiti procena nastanka rizika. Primena ovog koncepta je danas u ekspanziji.

Održavanje na bazi rizika je pristup unapređenja sistema upravljanja održavanjem. Prednost RBM u odnosu na ostale pristupe je u tome što zasniva program aktivnosti održavanja na riziku, kao osnovi za davanje prioriteta i poboljšanju dijagnostičkog programa.

### **3 ISPITIVANJE I DIJAGNOSTIKA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA**

Cilj preventivne kontrole energetskih transformatora je pravovremeno sprečavanje havarija transformatora, što se sprovodi pravovremenim kontrolnim hemijskim i električnim ispitivanjima i merenjima pojedinih karakterističnih veličina izolacionog sistema, namotaja i magnetnog kola, kao i kontrola karakteristika izolacionog transformatorskog ulja. Pošto se energetski transformatori nalaze u svakoj od karika lanca proizvodnja-prenos-distribucija električne energije, preventivna ispitivanja i dijagnostika stanja transformatora daju značajan doprinos povećanju pouzdanosti proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije, sigurnosti snabdevanja potrošača, kao i smanjenju troškova održavanja.

Preventivna merenja obavljaju se prema standardizovanim metodama, a na osnovu merenja pojedinih karakterističnih veličina i parametara kako izolacionog sistema tako i aktivnog dela - namotaja i magnetnog kola energetskih transformatora, vrši se dijagnostika trenutnog stanja i pogonske spremnosti transformatora. Praćenjem trendova karakterističnih veličina tokom vremena pogona mogu se dati preporuke za buduću eksploataciju transformatora i na vreme ukazati na potrebu remonta i eventualne sanacije uočenih kvarova i nepravilnosti. Ukoliko postoji dovoljno podataka od početka eksploatacije mogu se dati procene i o preostalom životnom veku transformatora. Sve napred navedene aktivnosti obavljaju se u cilju sprečavanja neželjenih događaja, havarije, kao i u cilju produženja životnog veka transformatora, na primer pravovremenom revitalizacijom uljno-papirnog izolacionog sistema.

Metode ispitivanja energetskih transformatora su:

A. Ispitivanje izolacionog ulja i papira

a) Merenje i analiza sadržaja gasova rastvorenih u ulju

b) Ispitivanje FHE karakteristika ulja

- Kiselinški (neutralizacioni) broj
- Sadržaj vode u ulju
- Sadržaj inhibitora oksidacije ulja i ostalih specifičnih aditiva
- Sadržaj korozivnog sumpora
- Gustina
- Tačka paljenja
- Tačka stinjavanja
- Indeks prelamanja
- Kinematička viskoznost
- Granulometrijski sastav (broj i veličina čestica u ulju)
- Probojni napon
- Faktor dielektričnih gubitaka

- Specifična električna otpornost
- Oksidaciona stabilnost ulja
- Ispitivanje korozivnosti ulja

c) Ispitivanje sadržaja derivata furana rastvorenih u ulju

d) Step en polimerizacije papira

B. Električna ispitivanja:

- Merenje otpornosti izolacije uz određivanje indeksa polarizacije
- Metoda merenja omskih otpornosti
- Merenje faktora dielektričnih gubitaka tgδ i kapacitivnosti elektroizolacionog sistema namotaja i/ili uvodnih (provodnih) izolatora
- Merenje struja i snaga praznog hoda
- Merenje induktivnosti usled rasipanja
- Merenja parcijalnih pražnjenja

C. Neelektrična ispitivanja:

- Termovizijska ispitivanja
- Ispitivanje vibracija na transformatorima
- Raspodela magnetnog polja po površini transformatorskog suda

D. Merne metode u razvoju

- Metoda za analizu frekvencijskog odziva energetskih transformatora (SFRA)
- Merenje povratnog napona (RVM)
- Merenje struje polarizacije i depolarizacije (PDC)
- Metoda frekventno zavisne spektroskopije (FDS)
- Akustička merenja

Kombinacijom navedenih mernih metoda mogu su detektovati defekti u transformatoru:

- Eekti ubrzanog termičkog i/ili dielektričnog starenja (parcijalna pražnjenja niske ili visoke energije, abnormalno starenje ulja, ubrzano starenje papirne izolacije, kontaminacija ulja, povišeni sadržaj vode, loši spojevi ili varničenja).
- Defekti u magnetnom jezgru i/ili namotajima (značajno povećanje cirkulacionih struja u jezgru, dvostruki zemljospojevi ili kratki spojevi, međuzavojni kratki spojevi, slaba mesta u spojevima i kontaktima).
- Problemi vezani za regulacionu sklopku (pregrevanje kontakata, parcijalna pražnjenja na površinama ili među provodnicima, verničenja ili lokalni proboji među vezama i kontaktima).
- Mehanički kvarovi (mehanička pomeranja jezgra, deformacije namotaja, slabosti u mehničkom učvršćenju namotaja i s tim u vezi povećana parcijalna pražnjenja).

Za efektivnu dijagnostiku potrebna je primena velikog broja mernih metoda i ispitivanja, a takođe i praćenje stanja transformatora u dužem vremenskom periodu uz korišćenje analiza trendova promena pojedinih parametara. Kao odgovor na ovakav zahtev u planiranju, eksploataciji, upravljanju i održavanju elektroenergetskih sistema nameće se primena savremenih informacionih tehnologija, a posebno baza podataka i znanja [4-9].

#### 4 BAZA PADATAKA

Baza podataka za unapređenje dijagnostike stanja transformatora je deo informacionog sistema za dijagnostiku stanja elektroenergetske opreme. Baza sadrži osnovne podatke o transformatorima, pogonskim događajima i obavljenim ispitivanjima transformatora (uključujući fabrička), kao i obavljenim radovima i remontima. U bazi se takođe nalaze i podaci o post-mortem ispitivanjima i analizama. Sistem za upravljanjem bazom podataka je MS SQL Server.

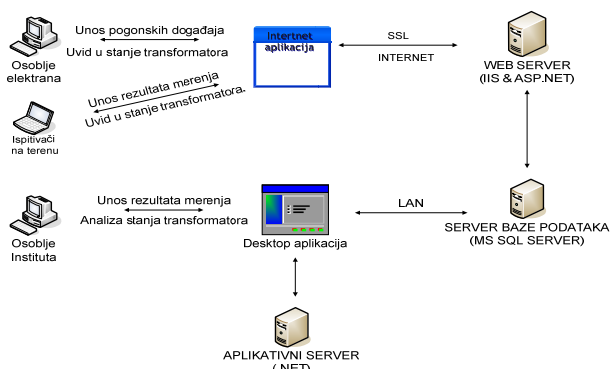
Baza podataka sadrži sve relevantne podatke svojstvene svakom transformatoru: fabrički broj transformatora, godinu proizvodnje, proizvođača, vlasnika, tip transformatora, mesto u pogonu, snagu, naponske nivoe, režim opterećenja, kao i podatke o izvršenim merenjima: datume merenja i ispitivanja, izvršioce ispitivanja, razlog ispitivanja, uslovi pod kojima je ispitivanje obavljeno, broj izveštaja, spisak korišćene opreme prilikom ispitivanja itd. Karakteristične veličine za svako pojedinačno merenje, koncipirane su na osnovu višedecenijske ispitivačke prakse. U bazi podataka se beleži i ocena rezultata ispitivanja sa preporukom datuma sledećeg ispitivanja. Za svaki transformator se beleže pogonski događaji: remont, kvarovi i radni sati. Korisnik može izvršiti razne vrste pretraživanja i dobiti podatke potrebne za praćenje veličina kroz vreme, poređenje sa sličnim transformatorima (sister units), pregled stanja objekata po naponskim nivoima, mestu (ulozi) u pogonu i druge, slične analize [2].

Bazom su obuhvaćene skoro sve metode ispitivanja nabrojene u poglavlju 3.

Sigurnost podataka ostvarena je kroz administrativne mere za kontrolu, kontrolu kroz aplikaciju, validaciju unetih podataka, redovno arhiviranje baze, definisanje prava pristupa i enkripciju podataka. Tendencija i potreba je da se u narednom periodu podaci uzimaju direktno sa on-line monitoring sistema za praćenje određenih parametara transformatora. Tu se pre svega misli na praćenje parcijalnih pražnjenja, koncentracije gasova i vode u izolacionom ulju i temperature transformatora.

## 5 KORISNIČKA APLIKACIJA

U cilju postizanja efikasnog i sigurnog pristupa svih korisnika bazi podataka realizovane su aplikacije za pristup podacima preko lokalne mreže (desktop aplikacija) i preko interneta (internet aplikacija). Koncept sistema koji obuhvata bazu podataka, desktop i internet aplikaciju prikazan je na slici 1.



Slika 1. Koncept realizacije sistema

Desktop aplikacija omogućava unos i ažuriranje podataka za sve relevantne vrste merenja i ispitivanja na transformatoru, opštih podataka o transformatorima i podataka o pogonu transformatora. Na slici 2 je prikazana korisnička forma za unos i pregled podataka o merenjima povratnog napona transformatora - RVM.

Udovi merenja i analiza rezultata merenja	Rezultati merenja	Izbor grafik.a	Ocena rezultata	Napomena
Izaberite TDB fajl (u ovom fajlu su opšti podaci o transformatoru)				
Izaberite DTA fajl (u ovom fajlu su rezultati merenja)				

	Isc(I)	Utemo(V)	Ipsak(I)	diz/08	Vreme
1	0.02	5.15	1.6	64.4	9:15:00 am
2	0.05	6.89	2.4	63.45	9:16:00 am
3	0.1	8.46	3.3	53.15	9:17:00 am
4	0.2	11.02	4.5	41.72	9:17:00 am
5	1	17.18	29.2	17.74	9:19:00 am
6	2	25.34	68.9	10.91	9:20:00 am
7	5	47.96	93.5	5.95	9:22:00 am
8	10	80.98	105.4	4.86	9:26:00 am
9	20	132.5	112.7	5.37	9:31:00 am
10	50	240.9	129.5	8.13	9:38:00 am
11	100	322.7	157.6	9.45	9:48:00 am

Datum izvrs. merenja	T amb	Rel. vlaz.	vaoduh.a	T teofas	tc	Umax	H2O	Tcst	Grafik fajl	Grafik fajl k.o.	TDB fajl	DTA fajl	Ocena rez.	Ocena rez. - nap.
05/01/2012	22		35	1076.52	379.4	0.9	118	L:\0015432.jpg	opp	BB000.TDB	kv372w.DTA	Dubro	55789	

Slika 2. Izgled forme za unos i pregled podataka metodom RVM

Internet aplikacija omogućava pregled podataka za sve relevantne vrste merenja, opštih podataka o transformatoru i pregled i unos pogonskih događaja transformatora. Pristup internet portalu vrši se sa internet adrese [https://www.ieent.org/prototip/login\\_klijenti.aspx](https://www.ieent.org/prototip/login_klijenti.aspx). Za uspešnu autentifikaciju potrebno je na internet portalu uneti odgovarajući par korisničko ime-lozinka.

Kako bi se smanjilo vreme pretrage transformatora postoji mogućnost filtriranja. Transformatori se mogu filtrirati po vlasniku ili organizacionoj jedinici kojoj pripadaju, lokaciji (mestu u pogonu), vrsti, naponskom nivou i fabričkom broju. Na slici 3 prikazani su podaci hemijskih ispitivanja izolacionog ulja, uzorkovanog 15.10.2010., za transformator naponskog nivoa 15.75 kV /6.3 kV /0.4 kV.

## PODACI

Izabrani transformator: 15.75.6.3.0.4, ██████████, Sopstvena potrošnja blok II, ST-3, ██████████.

Osnovni podaci o transformatoru:

Privredno društvo: ██████████  
 Radna organizacija: ██████████  
 Proizvođač: ██████████  
 Mesto ugradnje: Sopstvena potrošnja blok II  
 Godina proizvodnje: 1968  
 Snaga: 5 MVA  
 Napon: 15.75.6.3.0.4 kV  
 Sistem hlađenja: OHAH/OHAF  
 Vrsta transformatora: Sopstvena potrošnja  
 Broj namotaja: 3  
 Napomena: Do 2011 bio na poziciji Sopstvena potrošnja blok 3

Gasnohromatska analiza ulja

Tu	N	Uk	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2	O2	N2	Int
11	D	95.5	1	1	1	4	1	38	408	28026	67047	A

Sadržaj vode rastvorene u ulju

Tu	H2O ppm	Int: H2O
11	6	

Fizičke, hemijske i električne karakteristike

Tu	N	Up'	DBPC	Talog	Nb	σ	tgδ	p	Tp	Int
11	D	230	0.29	talog	0.02	32	19.2	20.5	/	I

Slika 3. Pregled pojedinačnih rezultata ispitivanja izolacionog ulja

Svi podaci koji putuju između klijenta i web servera su enkriptovani 128 bitnom SSL (Secure Socket Layer) enkripcijom. Web server poseduje digitalno potpisan TERENA sertifikat (TCS). Unos podataka o pogonskim događajima vrše odgovorna lica zadužena na elektranama.

## 6 ZNAČAJ I PRIMENA BAZE PODATAKA

U cilju sagledavanja stanja transformatora, pored trenutnih ispitivanja i merenja, veoma je važno da postoji mogućnost uporednog pregleda prethodnih ispitivanja, kao i istorijata pogonskih događaja, režima rada i intervencija na transformatoru. Ocena stanja jednog transformatora predstavlja kompleksnu analizu konstrukcionih parametara, uslova eksploatacije i održavanja, istorijata pogonskih događaja, radnog režima, rezultata ispitivanja (uključujući i fabrička ispitivanja), obavljenim intervencijama na transformatoru, kao i uvid u stanje i istorijat identičnih, odnosno sličnih jedinica (sister units) [10].

U toku radnog veka transformatora prikuplja se ogroman broj podataka o uslovima rada, režimu rada i ponašanju transformatora u pogonu pri različitim uslovima i režimima rada, o preventivnim pregledima i ispitivanjima u toku redovnih remonta i obavljenim radovima pri remontima, o bitnim pogonskim događajima, kvarovima, sanaciji kvarova, rezultatima fabričkih ispitivanja, ispitivanjama u toku i po završetku montaže i sl. Ovi podaci nalaze se u izveštajima o snimanju karakteristika transformatora i garancijskim ispitivanjima, u izveštajima o ispitivanjima koje su obavile specijalizovane firme ili pogonsko osoblje elektrana, u zapisnicima o izvršenim remontima, radovima i kvarovima. Po pravilu ovi dokumenti se nikada ne nalaze sistematizovani i sređeni na jednom mestu već se nalaze (rasuti su) po pogonima, službama proizvodnje i održavanja elektrana i institucijama koje su vršile ispitivanja, a pojedini dokumenti se mogu i zagubiti.

Činjenica je da se uz određeni napor, za potrebe analize, uvek moglo prikupiti sve ono što je bilo značajno za sagledavanje stanja predmetnog objekta, ali na jedan neefikasan i prevaziđeni način. Iz ovako čuvanih podataka bilo je teško da se za relativno kratko vreme izvede pregled promene stanja transformatora, od početka praćenja, što je usporavalo dolazak do željene informacije a time i do donošenja odluka o njenom daljem tretmanu. Bilo je vrlo teško izvući neki celovit pregled stanja za sve objekte korisnika, pogotovo ako se radi o većem broju praćenih objekata-transformatora. Komunikacija između korisnika i institucija koje vrše ispitivanja u pogledu razmena informacija o objektima često nisu bile na zadovoljavajućem nivou, što je moglo da dovede do neadekvatnih odluka. Korišćenjem baze se sada može brzo i lako dobiti pregled stanja objekata i na taj način se stvaraju uslovi za analizu rizika eksploatacije i donošenje optimalnih odluka na relaciji raspoloživa sredstva – prioriteta [4].

Dodatna prednost primene i korišćenja baze je mogućnost za dalje analize i eventualno korigovanje kriterijuma za ocenu stanja transformatora. Takođe se statističkim pristupom, analizom velikog broja karakterističnih vrednosti određenih parametara, kao što su npr. temperatura, sadržaj gasova, vode i furana, sa aspekta pojave kvarova i fenomena starenja izolacije, mogu se uočiti pravilnosti i sličnosti određenih grupacija transformatora, najčešći tipovi defekata i kvarova i dalje upoređivati različiti transformatori prema konstrukciji, nameni, režimu rada i mestu u elektroenergetskom sistemu.

Razvijena baza podataka predstavlja tehnički korak u cilju podizanja tehnološko tehničkog nivoa rada u proizvodnji i distribuciji električne energije. Ona sadrži centralizovan veliki broj podataka o ispitivanjima transformatora, izveštaje ispitivanja i ekspertiza i niz drugih relevantnih podataka. Takođe omogućuje uvid zainteresovanim licima u stanje određene mašine radi daljeg planiranja održavanja, kao i odgovarajuću zaštitu podataka. Preko namenskih aplikacija koje poseduju ugrađen veliki broj

unapred definisanih funkcionalnosti, baza postaje moćan alat za pomoć u dijagnostici, oceni stanja i analizi rizika eksploatacije transformatora.

Post-havarijska ispitivanja i analize mogu da obuhvate pored navedenih električnih ispitivanja, pregleda namotaja, jezgra, magnetnih ekrana, rashladnog sistema, izvoda, provodnih izolatora, regulacionih sklopki i svih ostalih pomoćnih delova i uzorkovanje čvrste izolacije, prvenstveno papira sa namotaja [11]. Ispitivanja uzoraka čvrste izolacije mogu da obuhvate: određivanje stepena polimerizacije papira - DP, analiza elemenata na površini papira metodom skenirajuće elektronske mikroskopije sa elektrondisperzivnom difrakcijom X zraka - SEM/EDX i određivanje sadržaja vode u papiru. Takođe, ako se ukaže potreba moguće je vršiti dodatne termohidrauličke proračune u cilju određivanja termičkog profila transformatora (hot spot temperatura, dijagrami opterećenja, raspodela temperatura ulja i namotaja) u cilju definisanja uzroka nastanka kvara i povezivanja sa rezultatima i zaključcima pogonske dijagnostike [5]. Procene preostalog i potrošenog životnog veka transformatora na bazi rezultata merenja stepena polimerizacije - DP i analize uticaja konstrukcije i režima rada transformatora su takođe veoma korisne za unapređenje ekspertskih znanja, integracijom rezultata svih ispitivanja u jedinstvenu bazu podataka, što vodi ka unapređenju u analizi i upravljanju rizicima eksploatacije transformatora.

Baza podataka je pogodna za istraživanja iz kojih mogu proizaći predlozi za unapređenje proizvodnog ciklusa, definisanje ispitivanja i remontnog perioda, tehno ekonomske analize i analize rizika eksploatacije, smanjenje troškova i bolje upravljanje investicijama [1].

## 7 ZAKLJUČAK

Izradom baze podataka i pratećih aplikacija napravljen je značajan korak u pravcu sistematizacije podataka potrebnih za praćenje, dijagnostiku i procenu stanja energetskih transformatora u EPS.

Kao što je već navedeno, ekonomska korist primene baze podataka za dijagnostiku stanja transformatora može biti velika. Potrebno je da se u narednom periodu i za transformatore u PD za distribucije električne energije prikupe i unesu podaci koji nedostaju (sada su to praktično samo ispitivanja koje je obavio institut „Nikola Tesla“). Neophodno je dalje razvijati interaktivne aplikacije za unos i pregled podataka o transformatorima, kako bi se primenom baze u potpunosti ostvarili ciljevi podizanja pouzdanosti uz smanjenje troškova održavanja.

Potrebno je da se u narednom periodu u uvežu podaci o opterećenju transformatora i temperaturama i da se on-line skladište u bazu. Takođe, gde se bude primenio on-line monitoring pojedinih veličina, pre svega sadržaja gasova rastvorenih u ulju, potrebno je i te veličine skladištiti u bazi.

Dijagnostika stanja energetskih transformatora se unapređuje primenom statističke analize parametara sa jedne strane i post-mortem ispitivanjima i analizama transformatora nakon havarija, sa druge strane. Nalazi post-havarijskih ispitivanja služe za verifikaciju pogonske dijagnostike [5]. Izrada i puna primena baze je preduslov za analizu rizika i upravljanje rizicima eksploatacije energetskih transformatora.

Prikazani računarski program i baza podataka su otvoreni za dalju nadogradnju i integraciju u informacioni sistem Elektroprivrede Srbije, naročito u skladu sa razvojem sistema PROTIS.

## LITERATURA

1. S. Milosavljević, N. Miladinović, V. Polužanski, J. Delić, M. Sušić, L.J. Nikolić i drugi, Izrada baze i sistematizacija podataka potrebnih za praćenje, dijagnostiku i procenu stanja energetskih transformatora u elektranama EPS-a, studija, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, 2012 (urađeno za JP Elektroprivreda Srbije)
2. Vladimir Polužanski, Srđan Milosavljević, Nikola Miladinović, Jelena Delić, Dragan Kovačević, Baza podataka za unapređenje dijagnostike stanja transformatora, Zbornik radova INFOTEH-JAHORINA, Vol. 11, mart 2012
3. Branko Vasić, Jovan Todorović, Dejan Curović, Vladimir Popović, Nada Stanojević, Nada Curović, Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, str 147, 2006
4. Đ. Jovanović, J. Lukić, B. Bošković, S. Teslić, V. Radin, K. Drakić i drugi, Savremene metode i uređaji za ispitivanje, monitoring i dijagnostiku stanja energetskih i mernih transformatora, studija, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, 2010 (urađeno za JP Elektroprivreda Srbije)
5. J.Lukić, Đ.Jovanović, S.Milosavljević, Z.Radaković, Z.Božović, S.Spremić, Post- Mortem Analysis and In Service Diagnostics of Three Different Case Studies of Transformers with Extreme Hydrogen Gassing, CIGRE A2&D1 Colloquium, PS1-P-12, Kyoto 2011
6. D. Kovačević, S. Škundrić, J. Lukić, Monitoring and Diagnostic of Power Transformer Insulation, Thermal Science, Vol. 10, No. 4, pp. 43-54, Belgrade, 2006

7. D. Kovacevic, J. Lukic, D. Naumovic-Vukovic, S. Skundric, Integrated Management System for Testing, Monitoring and Diagnostic of Power Transformer Insulation, XIX IMEKO World Congress, Fundamental and Applied Metrology, September 6-11, Lisbon, Portugal, 2009.
8. J.Lukić, S.Teslić, Đ.Jovanović, S.Milosavljević, D.Kovačević, Analize izolacionog ulja i papira primenjene u dijagnostici pogonskog stanja energetskih transformatora, UDK: 621.315.61; 621.314.21, Elektroprivreda, broj 3, 2008, strana 3-16.
9. J.Lukić, S.Teslić, Đ.Jovanović, S.Milosavljević, D.Kovačević, Power Transformers Condition Based Assessment Derived from Paper/Oil Analysis, 6. MAKO CIGRE Savetovanje, 4-6 Oktobar, Ohrid 2009
10. N. Miladinović, V. Polužanski, V. Ćuk, A. Bojković, D. Kovačević, S. Milosavljević, Baza podataka za dijagnostiku stanja izolacionih sistema generatora u hidro i termo elektranama, Zlatibor, 31.05-05.06.2009, CIGRE Srbija
11. IEEE C 57.125 – 1991, Guide for Failure Investigation, Documentation and Analysis for Power Transformers and Shunt Reactors.

## DATA BASE AS TOOL FOR IMPROVEMENT OF POWER TRANSFORMER DIAGNOSTICS

### ABSTRACT

Energy market deregulation and liberalization have had a crucial impact to set higher demands on transformers reliability and availability in Power companies. Asset condition monitoring has replaced plan based monitoring procedures, with emphasis on risk assessment and evaluation of remaining or consumed life of equipment. In order to reduce maintenance costs, increase remaining life and prevent outage and failures, different measurement techniques are available, with basic concept changed from individual measurements to integrated ones. The final goal is to improve energy efficiency. Asset and condition based monitoring (CBM) can be achieved by application of several essential tools, such as: chemical and electrical measurements and data base which is very efficient complementary tool in diagnostic purposes and statistical analysis. Data base for power transformers, made in Institute Nikola Tesla is presented in this paper, which consist of integrated chemical and electrical test results and other transformers basic data, including service events, faults and repairs with data of post-mortem investigations during repair in factory. One of the benefits of application of data base is statistic analysis of large number of results as tool for improved service diagnostics and further evaluation of correlations between service diagnostics and results of post-mortem investigations. This enables verification of service diagnostics and growth of expert knowledge. Data access application is shown in this paper, with inputs for maintenance and update, as well as different possibilities in diagnostics and risk analysis of power transformers.

**Key words:** power transformer, data base, preventive control, preventive maintenance, condition assessment

Kontakt informacije o autorima:

*Srđan Milosavljević*

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd*

*Tel: 011/3690-674, Fax: 011/3690-823, Mob: 064/8259-703, e-mail: smilos@ieent.org*

*Vladimir Polužanski*

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd*

*Tel: 011/3952-088, Fax: 011/3690-823, Mob: 064/8259-769, e-mail: vladimir.poluzanski@ieent.org*

*Nikola Miladinović*

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd*

*Tel: 011/3952-088, Fax: 011/3690-823, Mob: 064/8259-753, e-mail: nidzo@ieent.org*

*Jelena Delić*

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd*

*Tel: 011/3952-076, Fax: 011/3690-823, Mob: 064/8259-788, e-mail: jelena.delic@ieent.org*

*Jelena Lukić*

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd*

*Tel: 011/3952-068, Fax: 011/3690-823, Mob: 064/8259-711, e-mail: jelena.lukic@ieent.org*

*Dragan Kovačević*

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a, Beograd*

*Tel: 011/3952-042, Fax: 011/3690-823, Mob: 065/3465-050, e-mail: dkovac@ieent.org*