

# **PRIMJENA METODA DIJAGNOSTIČKIH ISPITIVANJA IZOLACIONOG SISTEMA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA ZA PREDIKCIJU POUZDANOSTI ENERGETSKIH TRANSFORMATORA U EES**

E.Tiro., ELEKTROPRENOS BIH  
S. Đekić, ZP „Elektro Doboj“ a.d. Doboj

## **UVOD**

Kvar na izolacionom sistemu energetskog transformatora nastaje kada pogonska napreznja premaše podnosiva napreznja materijala. Višegodišnjom eksploatacijom energetski transformatori stare, njegovi sastavni dijelovi gube svoja svojstva i isti postaju sve nesigurniji za rad. Loše stanje izolacionog sistema dovodi do kvara i do ispada energetskih transformatora sa napona i prekida u napajanju konzuma električnom energijom. Posebno kritičan jeste slučaj jačeg preskoka ili eksplozije na provodnom izolatoru energetskog transformatora, koji je ponekad praćen požarom i predstavlja opasnost za oštećenje ostale opreme u elektroenergetskom objektu i uposlenog osoblja. Praksa je pokazala da je veoma važno vršiti pravilno održavanje i redovnu kontrolu stanja izolacije energetskih transformatora. Osnovni cilj održavanja iste je smanjenje ispada i kvarova, skraćanje vremena zastoja i povećanje nivoa raspoloživosti i pouzdanosti u elektroenergetskim objektima i prenosnoj mreži, čime se stvaraju uslovi da se preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti održavanja u najpovoljnijem trenutku spriječe ozbiljniji kvarovi i havarije. Dijagnostika i ispitivanja provodnih izolatora su veoma važni jer imaju velik uticaj na funkcionalnost rada energetskih transformatora i posredno na raspoloživost elektroenergetskog sistema u cjelini. Pravilnim izborom dijagnostičkih metoda i kontinuiranim praćenjem stanja provodnih izolatora pomoću istih mogu se postići značajni efekti u prevenciji kvarova, smanjenju prekida rada energetskih transformatora, gubitaka električne energije, kao i povećanje sigurnosti rada osoblja u elektroenergetskim postrojenjima. Cilj predmetnog rada i pripadajućeg istraživanja jeste prikazati praktičnu primjenu različitih dijagnostičkih metoda za održavanje energetskih transformatora sa naglaskom na provodne izolatore, kao pripadajuće komponente transformatora čiji kvar predstavlja čest uzročnik stradanja energetskog transformatora.

## **METODE ZA OCJENU STANJA IZOLACIJE**

Posmatranje energetskog transformatora predstavlja kontinuirani nadzor stanja transformatora i njegove pripadajuće opreme. Umjesto koncepcije klasičnog preventivnog održavanja baziranog na fiksnim intervalima provođenja aktivnosti održavanja, sve više se primjenjuje koncepcija održavanja prema stanju, koja se bazira na dijagnostičkim kontrolama opreme elektroenergetskih objekata, koje omogućavaju detekciju neispravnosti u početnoj fazi nastanka, čime se stvaraju uslovi da se preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti održavanja u tehnološki najpovoljnijem trenutku spriječe ozbiljniji kvarovi i havarije, a time i troškovi i opasnosti po zaposlene u EEO. Na taj način se može obezbjediti rad elektroenergetskih objekata bez ili sa vrlo malo zastoja i to planskih, jer zastoja, a naročito neplanski (kvar), mogu prouzrokovati velike troškove, mogu prouzrokovati oštećenja drugih dijelova opreme.

Kvarovi opreme energetskih transformatora dijagnostičkim metodama mogu se predvidjeti, mogu se globalno smanjiti ali se ne mogu u potpunosti ukloniti. Postoji više metoda koje se primjenjuju za ocjenu stanja izolacije za energetske transformatore. Metode se mogu podijeliti na one koje se primjenjuju na izolatorima dok je transformator u pogonu i one za koje je potrebno izvršiti isključenje energetskog transformatora sa napona. Metode koje se primjenjuju na terenu razlikuje se od metoda koje se primjenjuju u laboratoriju. Tvornička i terenska ispitivanja odnosno metode koje se primjenjuju za ocjenu stanja izolacije imaju zadatak da na temelju njihovog poređenja provjere koliko su se određeni mjereni parametri promijenili od trenutka kada je oprema proizvedena, trenutka ugradnje i eksploatacije do trenutka ispitivanja na terenu. Veoma često je potrebno primjeniti nekoliko metoda da bi se odredila vrsta i intenzitet kvara, te da bi se mogla donijeti pravilna odluka o daljnjem postupku sa ispitivanim provodnim izolatorima.

## IR termografija

Jedna od dominantnih metoda u dijagnostici kvarova je IR termografija. Prednost ove metode je bezkontaktno mjerenje koje se provodi u toku normalnog rada transformatora, bez isključenja u toku redovnog godišnjeg pregleda. IR termografija je metoda koja omogućava brzu i tačnu lokaciju mjesta sa povišenom temperaturom na provodnim izolatorima, što može biti pokazatelj nekog većeg kvara, ili to mjesto može vremenom uzrokovati ozbiljniji kvar ukoliko se pravovremeno ne otkloni uzrok povišene temperature. Termovizijsko snimanje predstavlja bezkontaktno mjerenje površinskih temperatura posmatranog objekta.

Primjena termovizije kao savremene metode za kontrolu stanja opreme i monitoringa na licu mjesta i kontrole elektroenergetskih postrojenja omogućava stvaranje tehničkih, eksploatacionih i organizacionih preduslova za povećanje pouzdanosti i raspoloživosti jednog elektroenergetskog postrojenja. [12]

U Tabeli 1. prikazani su kriterijumi koji se koriste u praksi Elektroprijenosa BiH. Kriterijumi važe za dijelove elemenata električnih aparata na kojima je izvor toplote vidljiv.

Tabela 1: Kriterijum za utvrđivanje neispravnosti provodnih izolatora

Temperaturna razlika	Preporuka
$0 < \Delta T < 5^{\circ}\text{C}$	Stanje elementa je uredno, nije potrebna intervencija
$5^{\circ}\text{C} < \Delta T < 30^{\circ}\text{C}$	Popravlak izvesti tokom redovnog održavanja
$30^{\circ}\text{C} < \Delta T < 65^{\circ}\text{C}$	Popravlak izvesti što je prije moguće
$\Delta T > 65^{\circ}\text{C}$	Stanje kritično, hitno izvršiti popravak

## Mjerenje faktora dielektričnih gubitaka

Mjerenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka provodnih izolatora provodi se radi utvrđivanja stanja provodnih izolatora. Mjerenjem kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka utvrđuje se stanje izolacije i eventualna oštećenja kondenzatorskih obloga. Mjerenje se izvodi na mjernom priključku. Prije ispitivanja provodnog izolatora potrebno je odspojiti mjerni izvod i na njega priključiti mjerni kabl. Prije mjerenja potrebno je očistiti i osušiti vanjsku površinu provodnog izolatora kako bi izbjegli greške u mjerenju. Ovom dijagnostičkom metodom se ispituje samo jedan dio energetskog transformatora. Loši rezultati dobiveni ovom metodom upućuju na kvar dijela energetskog transformatora koji se nalazi van kotla, a čiji kvar može izazvati velike štete. Na osnovu dobivenih negativnih rezultata, ovom metodom podrazumijeva se zamjena provodnih izolatora. Opisanom metodom moguće je otkriti ovlaženost i druge vrste slabljenja izolacije namotaja, provodnih izolatora i tečne izolacije energetskog transformatora.

Granične vrijednosti tg $\delta$  provodnih izolatora prikazane su u tabeli 2 [2].

Tabela 2: Granične vrijednosti tg $\delta$  provodnih izolatora

Ocjena stanja	Izmjerena vrijednost tg $\delta$
Ispravan	$< 0,7$
Nepouzdan	$0,7 - 1$
Neispravan	$\geq 1$

Referentna vrijednost provodnog izolatora je izmjerena vrijednost prije puštanja u rad energetskog transformatora.

## Plinsko - hromatografska analiza ulja

Hromatografskom analizom plinova otopljenih u transformatorskom ulju utvrđuju se količine karakterističnih plinova, vodika, raznih ugljikovodika i ugljičnih oksida.

Hromatografska analiza plinova otopljenih u transformatorskom ulju interpretira se u skladu s standardom IEC 60599:07. Za analizu rezultata važno je dostaviti podatak o pogonskom stanju transformatora. Prema gore

pomenutom standardu za interpretaciju DGA analize plinova iz ulja pretpostavljeni početni kvar u transformatoru dijagnosticira se prvenstveno na temelju kriterija zadanih odnosa plinova vodika i ugljikovodika. Plinovi CO i CO<sub>2</sub> su pokazatelji stanja celulozne izolacije. CO<sub>2</sub>/CO je kod normalnog starenja od 3 do 10. Koncentracija plinova rastvorenih u transformatorskom ulju definisane su kao prihvatljivi sadržaji plinova ispod kojih je vrlo mala vjerovatnoća prisustva greške u izolacionom sistemu ulje – papir.

Koncentracija plinova koje se nalaze u rasponu tipičnih (normalnih) vrijednosti za tu vrstu opreme ne predstavljaju nikakve simptome greške. Ako je utvrđeno odstupanje jednog plina iznad tipičnih vrijednosti za tu vrstu opreme, računaju se odnosi, navodi se vrsta greške i pretpostavljeni uzrok odstupanja. Na temelju odnosa karakterističnih plinova, dijagnosticiraju se tri temeljna uzroka degradacije izolacije, koji su prema pomenutom standardu podijeljeni na šest tipičnih grešaka: parcijalna pražnjenja, pražnjenja male energije, pražnjenja velike energije, termičke greške usljed lokalnog ili općeg pregrijavanja u ulju i/ili papiru.

### **Fizičko-hemijska analiza ulja**

Fizičko-hemijskom analizom ulja utvrđuje se kvalitet i opšte stanje ulja. Izgled ulja, boja, prisutnost inhibitora, probojna čvrstoća i sadržaj vode su pokazatelji na osnovu kojih se procjenjuju stanje energetskog transformatora, u kombinaciji s rezultatima ostalih dijagnostičkih metoda. Dielektrična čvrstoća ulja zavisi o vlažnosti ulja. Povećanje sadržaja vode u ulju ubrzava starenje celulozne izolacije. Promjena boje ulja može biti znak ubrzanog starenja ili onečišćenja, a smanjena čistoća ulja može biti znak prisutnosti taloga ili grafita u ulju.

Za interpretaciju rezultata ispitivanja fizičko hemijskih i električnih karakteristika transformatorskih ulja u eksploataciji koristi se standard IEC 60422:13. Transformatorska ulja čije fizičko hemijske i električne karakteristike u potpunosti zadovoljavaju kriterijume ovog standarda, ocjenjuju se kao ulja dobrog kvaliteta. Tada se preporučuje redovna kontrola u funkciji održavanja transformatora.

Transformatorska ulja kod kojih neke fizičko hemijske i električne karakteristike ukazuju na neka određena dešavanja u ulju koja mogu biti posljedica ostarjelosti ulja, ocjenjuju se kao ulja zadovoljavajućeg kvaliteta. Tada se preporučuje češća kontrola, tj. kontrola u određenom vremenskom periodu, obrada ili regeneracija ulja zavisno od procijenjenog stepena ostarjelosti odnosno stepena ovlaženosti ulja.

Transformatorska ulja kod kojih neke fizičko hemijske i električne karakteristike ukazuju da je dalja eksploatacija ulja u postojećem stanju pod povećanim rizikom ocjenjuju se kao ulja nezadovoljavajućeg kvaliteta. Zavisno od stepena odstupanja pojedinih vrijednosti daje se preporuka o daljnjem postupku. Preporučuju se dodatna ispitivanja, istražuje uzrok, planira obrada, regeneracija ili zamjena ulja u zavisnosti od plana eksploatacije transformatora.

Vrijednosti sadržaja vode uvijek se analiziraju zajedno sa vrijednostima probojnog napona. U slučaju sumnje na postojanje problema sa vlagom preporučuje se uzorkovanje pri drugoj temperaturi. Propisane granične vrijednosti za sadržaj vode u ulju predstavljaju 90% statističkih vrijednosti i vrijede za radne temperature transformatora.

### **Mjerenje otpora izolacije**

Mjerenjem otpora izolacije moguće je otkriti vlažnost izolacije, nečistoće u izolaciji i druga oštećenja izolacionog sistema koji mogu uticati na promjenu provodne struje kroz izolaciju kada na nju narinemo istosmjerni napon, odnosno na vrijednost otpora izolacije. Apsolutna vrijednost otpora izolacije zavisi od nominalne snage transformatora, vrsti i količini korištene izolacije, vlažnosti i drugim osobinama izolacije, temperature itd. To je razlog teškoće određivanja minimalne vrijednosti otpora izolacije za transformatore različitih snaga i posebno različitih proizvođača.

Mjerenja se obavezno rade nakon prorade Buchholz releja ili nakon loših rezultata DGA. Prema zbirci tehničkih propisa iz oblasti industrije treba na transformatorima ispod 4 MVA mjeriti otpor izolacije najmanje 1 puta u četiri godine, a na transformatorima 4 MVA i većim najmanje 1 puta u dvije godine. (Namotaje do 1 kV treba ispitivati naponom od 1000 V, a namotaje viših napona naponom od najmanje 2500 V ili nekom drugom metodom mjerenja.. Otpor izolacije treba da je u skladu sa uputstvima proizvođača transformatora)

Tumačenje rezultata mjerenja se vrši poređenjem sa rezultatima tvorničkih ispitivanja, poređenjem sa rezultatima ranijih mjerenja na terenu ili poređenjem sa rezultatima mjerenja na sličnim transformatorima u sistemu. Takođe se koriste granične vrijednosti date od proizvođača transformatora.

Prema [3] Guide for Transformer maintenance CIGRE Working Group A2.34 granične vrijednosti su:

- za transformatore sa nazivnim naponom  $> 69\text{kV}$ ,  $>1\text{G}\Omega$  na  $20^\circ\text{C}$ ,
- za transformatore sa nazivnim naponom  $\leq 69\text{kV}$ ,  $>500\text{M}\Omega$  na  $20^\circ\text{C}$ .

## PRIKAZ REZULTATA MJERENJA I STATISTIČKI PREGLED ISPITANIH PROVODNIH IZOLATORA NA ENERGETSKIM TRANSFORMATORIMA

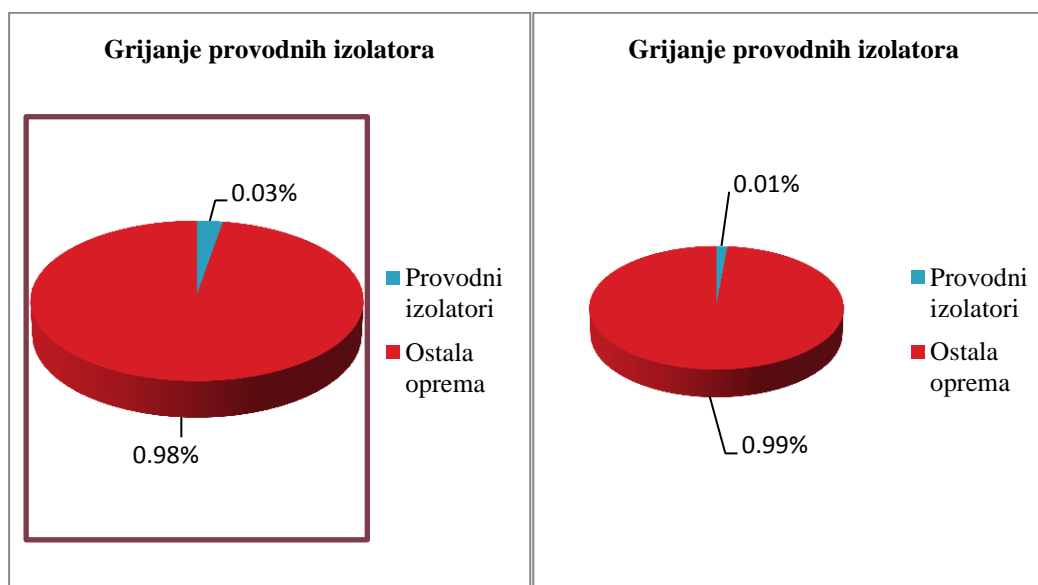
### Statistički pregled rezultata termovizijskog pregleda provodnih izolatora

U tabeli br.3 prikazani su rezultati termovizijskih pregleda provodnih izolatora po godinama (od 2013. do 2016.). Na slici 1.,2.,3., i 4., prikazano je procentualno učešće povišenih grijanja provodnih izolatora, koji ukazuju na kvar.

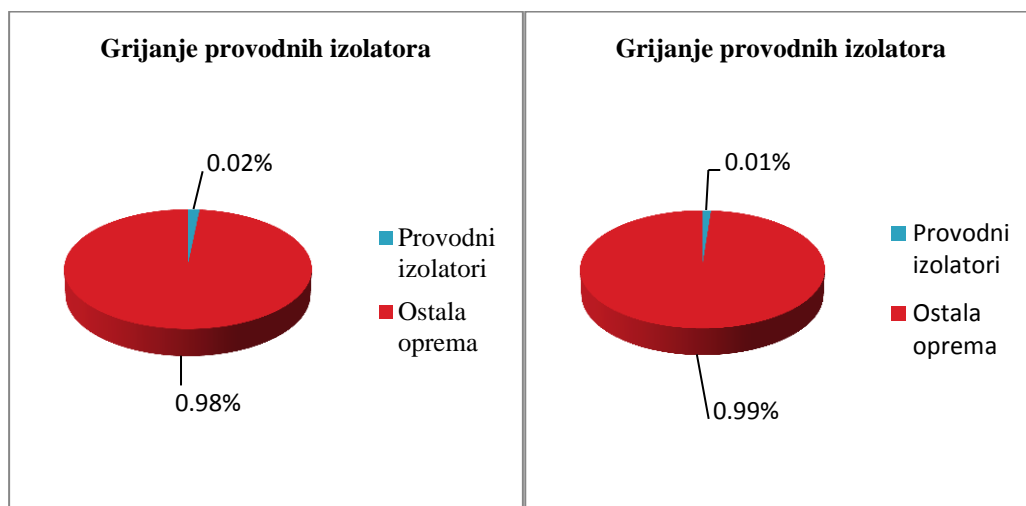
Tabela 3. Rezultati termovizijskih pregleda provodnih izolatora po godinama

Broj TS-a	Godina	Br.energetskih transformatora	Br.provodnih izolatora	Br.povišenih grijanja	Procentat %
42	2013	56	473	13	2,74
42	2014	55	469	7	1,49
57	2015	57	486	8	1,64
58	2016	58	493	6	1,217

U tabeli 3. vidi se značajan pad broja grijanja koji je rezultat rada na održavanju elektroenergetskih objekata a koje prate pregledi postrojenja IR termografijom. Nakon izvjesnog vremena, došlo je do stagnacije ukupnog broja otkrivenih grijanja i uglavnom se radi o grijanjima sa nadtemperaturama u opsegu  $5 - 30^\circ\text{C}$ .



Slika 1 - Procentat broja povišenih grijanja u OP Sarajevo, tokom 2013. godine. Slika 2 - Procentat broja povišenih grijanja u OP Sarajevo, tokom 2014. godine.



Slika 3 - Procenat broja povišenih grijanja u OP Sarajevo, tokom 2015. godine. Slika 4 - Procenat broja povišenih grijanja u OP Sarajevo, tokom 2016. godine.

Prikazani statistički rezultati ispitivanja pokazuju djelotvornost termovizijskog pregleda i uspostavljenih kriterija, te da se mjerenjima i odgovarajućim aktivnostima na održavanju preduzetim na osnovu rezultata tih mjerenja, sprječavaju kvarovi koji bi mogli izazvati havariju u elektroenergetskim objektima.

#### Statistički pregled rezultata mjerenja kapaciteta i tgδ provodnih izolatora

U Elektroprijenosu BiH, OP Sarajevo ima 71 energetski transformator naponskih nivoa 110/x kV; 220/x kV i 400 /x kV, snaga od 16 MVA do 400 MVA. Starosna struktura i broj energetskih transformatora dataje u tabeli 4.

Tabela 4: Starosna struktura i broj transformatora u Elektroprijenosu BiH, OP Sarajevo

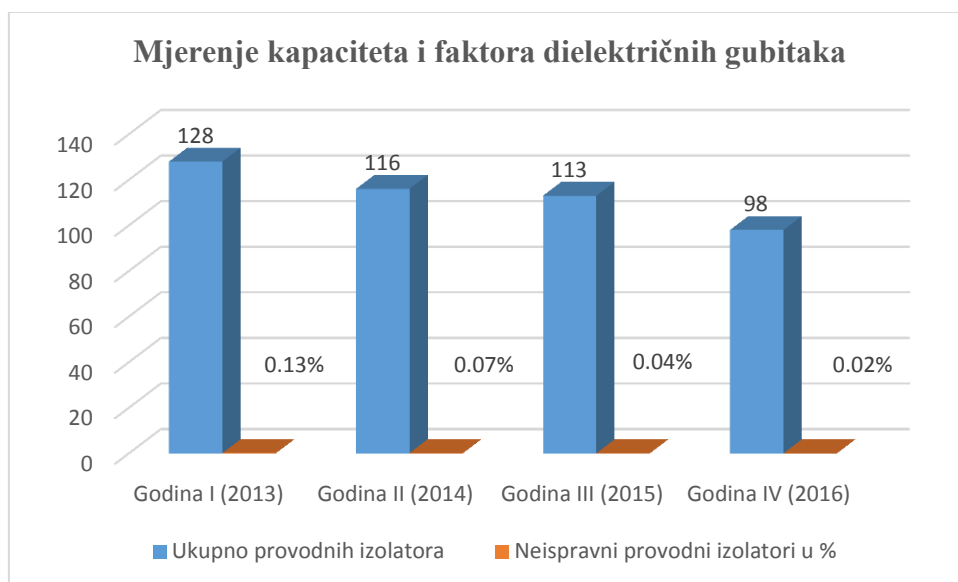
Starost(god)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
Broj transf.	6	7	3	1	4	8	20	15	2	5

U periodu 2013.–2016. godina izvršena je zamjena provodnih izolatora (tridesetjedan), pa je starosna struktura provodnih izolatora nešto povoljnija od starosne strukture transformatora. U pomenutom periodu demontirano je osamnaest provodnih izolatora sa energetskih transformatora koji su van pogona i otpisani (starost preko pedeset godina). Izvršeno je mjerenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka rezervnih provodnih izolatora koji su prikazani ispod.

Tabela 5: Rezultati mjerenja kapaciteta i tgδ rezervnih provodnih izolatora

Proizvođač	Izmjerene vrijednosti na osnovnoj izolaciji				Izolacija mjernog izvoda	
	C <sub>1</sub> (pF)		tgδ (%)		C <sub>2</sub>	tgδ (%)
	2 kV	10 kV	2 kV	10 kV	500 V	500 V
Proizvođač 1	170,96	170,87	0,239	0,238	207,20	1,267
Proizvođač 1	195,62	195,60	0,277	0,278	-	-
Proizvođač 1	201,04	201,02	0,270	0,270	201,87	1,170
Proizvođač 1	198,74	198,73	2,701	3,090	93,45	1,700
Proizvođač 1	200,03	201,02	0,280	0,282	201,87	1,172
Proizvođač 2	185,20	185,25	2,507	2,511	-	-
Proizvođač 2	144,86	144,81	3,527	3,533	-	-
Proizvođač 2	162,06	162,07	0,638	0,644	-	-
Proizvođač 2	114,36	114,38	1,717	1,728	1470,06	17,98
Proizvođač 2	117,89	117,81	0,948	0,955	1868,99	9,75
Proizvođač 2	117,45	117,45	2,973	2,989	2162,96	19,50
Proizvođač 2	156,73	156,73	0,731	0,738	-	-
Proizvođač 2	Ne može se ispitati. Prekinut izvod za mjerenje.					

Haefely	169,68	169,62	9,989	10,011	-	-
Proizvođač 3	211,95	211,89	4,447	4,447	-	-
Proizvođač 3	208,15	208,09	2,873	2,874	-	-
Proizvođač 3	201,82	201,80	2,705	2,657	-	-
Proizvođač 3	194,06	194,04	1,494	1,523	-	-



Slika 5 - Procentualno učešće broja neispravnih provodnih izolatora mjerenjem kapaciteta i tgđ po godinama 2013.-2016. godine



Slika 6 - Statistički pregled neispravnih provodnih izolatora 2013.-2016. godine

### Provodni izolatori sa izolacijom od uljem impregniranog papira 110 kV

Tabela 6: Pregled rezultata mjerenja faktora dielektričnih gubitaka na 20 °C na OIP provodnim izolatorima 110 kV, Proizvođač 1.

Broj provodnih izolatora	Mjerenje faktora dielektričnih gubitaka na 20 °C			
	0,25%-0,40 %	0,41%-0,55%	0,56%-0,70%	>0,70%
125	11	80	21	13

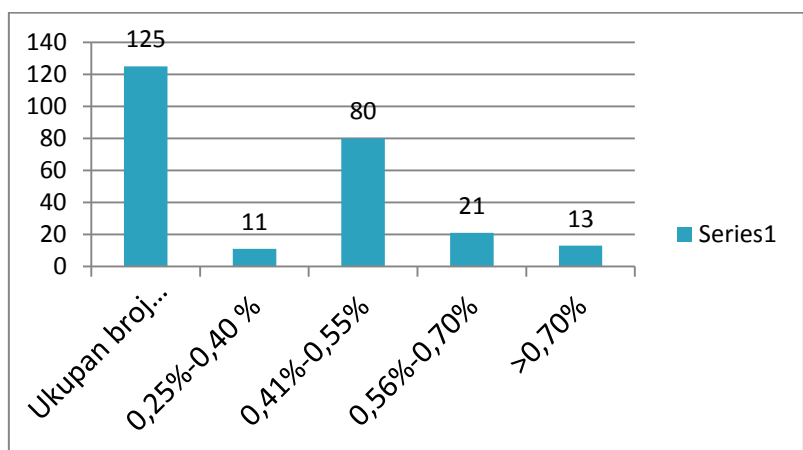
Tabela 7: Pregled rezultata mjerenja faktora dielektričnih gubitaka na 20 °C na OIP provodnim izolatorima 110 kV, Proizvođač 2.

Broj provodnih izolatora	Mjerenje faktora dielektričnih gubitaka na 20 °C			
	<0,25 %	0,26%-0,40%	0,41%-0,55%	>0,55%
39	20	13	1	5

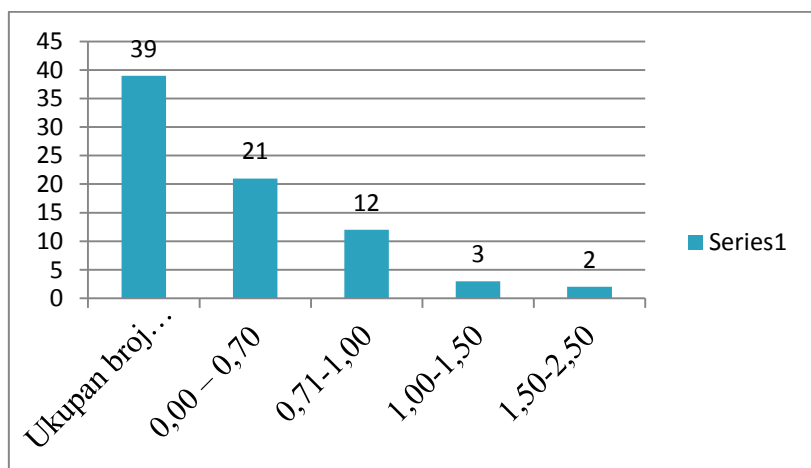
### Provodni izolatori sa izolacijom smolom obloženog papira (RBP) 110 kV

Tabela 8: Pregled rezultata mjerenja faktora dielektričnih gubitaka na 20 °C na RBP provodnim izolatorima 110 kV, Proizvođač 3.

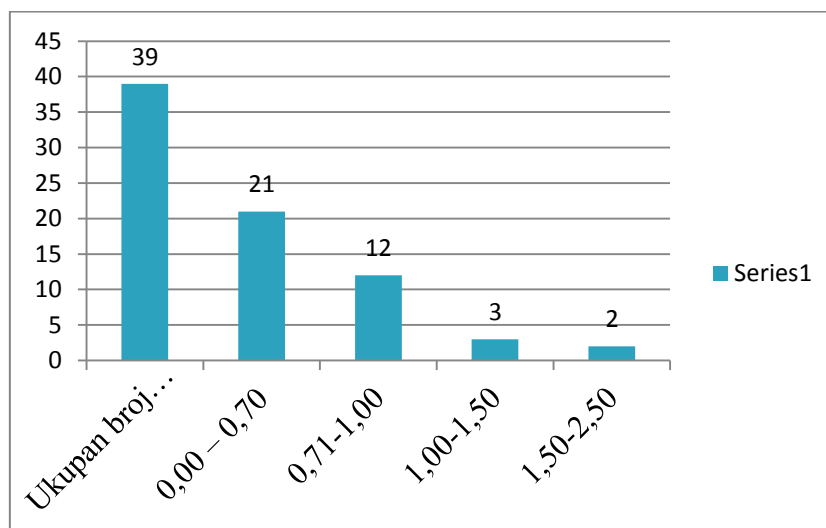
Broj provodnih izolatora	Mjerenje faktora dielektričnih gubitaka na 20 °C			
	0,00 – 0,70	0,71-1,00	1,00-1,50	1,50-2,50
39	21	12	3	2



Slika 7 -Statistički prikaz OIP 110 kV, Proizvođač 1.



Slika 8 - Statistički prikaz OIP 110 kV, Proizvođač 2.



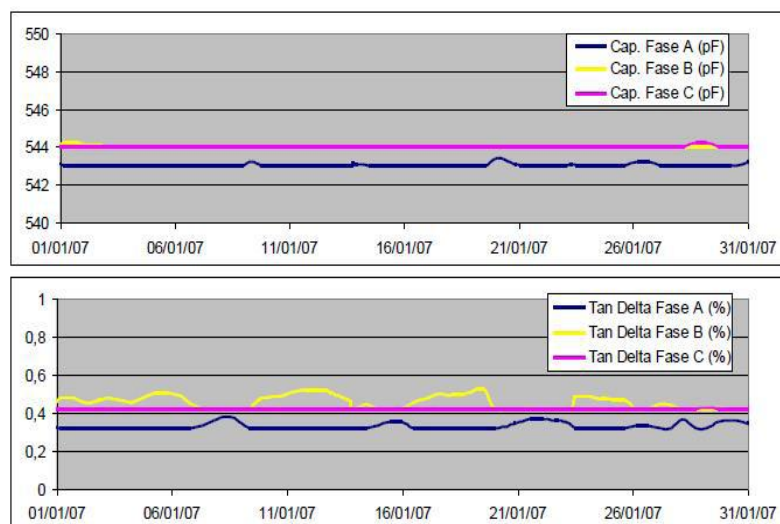
Slika 9 - Statistički prikaz RBP 110 kV, Proizvođač 3.

### PRAĆENJE STANJA PROVODNIH IZOLATORA MJERENJEM U POGONU (*ON-LINE*)

Navedena metoda mjerenja kapaciteta i tgδ koja se vrši dok je transformator van pogona(off-line), je najrasprostranjenija i veoma pouzdana metoda za ocjenu stanja izolacije provodnih izolatora. Ipak, u praksi se javila potreba praćenja stanja izolacije provodnih izolatora dok su oni u pogonu.

Kada se provodni izolator priključi na napon, struja zvana struja odvođenja počinje da teče kroz izolaciju. Ta struja se sastoji od aktivne komponente koja reprezentuje dielektrične gubitke i reaktivne komponente koja ovisi o kapacitetu. Prema tome promjena dielektričnih gubitaka ili kapaciteta će uticati na promjenu struje odvođenja, pa se ta promjena može koristiti za dijagnostiku stanja provodnih izolatora.

U tom cilju, na naponske ili mjerne izvođe provodnih izolatora se montiraju posebni adapteri koji omogućavaju odvođenje signala u mjerni uređaj. Obično se prate vrijednosti kapaciteta, odnosno faktora dielektričnih gubitaka na sve tri faze kako bi se kompenzirao uticaj temperature odnosno simetrične promjene napona mreže.



Slika 10 - Tipično očitavanje vrijednosti kapaciteta i tgδ

Postoje takođe sistemi koji koriste vektorsku sumu struja odvođenja sa mjernih priključaka tri provodna izolatora. Ove tri struje su fazno pomjerene za  $120^{\circ}$  i približno iste po amplitudi, budući da su kapaciteti



provodnih izolatora približno isti, a i naponi na koje su priključeni su približno isti. Rezultirajuća struja reprezentira početno stanje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka.

Jedna od komponenti vektorske sume struja se koristi za izračunavanje promjene kapaciteta, a druga za izračunavanje promjena u faktoru snage. Fazni ugao između referentne i izmjerene struje omogućava lociranje provodnog izolatora koji unosi promjenu.

Kontrolu stanja izolacije provodnih izolatora osim praćenjem vrijednosti kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka moguće je vršiti i praćenjem struja odvođenja i mjerenjem parcijalnih pražnjenja. [4]

Kontrola stanja izolacije energetskih transformatora metodom mjerenja struje polarizacije i depolarizacije (Polarization Depolarization Current - PDC) i Spektroskopije u frekventnoj oblasti (Frequency Domain Spectroscopy - FDS)[1]

U posljednje vrijeme se za ocjenu stanja energetskih transformatora, pa i provodnih izolatora kao dijela transformatora, koriste metode PDC i FDS.

## ZAKLJUČAK

Osnovni cilj predmetnog rada bio je pokazati na konkretnim primjerima i konkretnim rezultatima dijagnostičkih mjerenja, nastalim u realnim eksploatacionim uslovima, da se dijagnostičkim kontrolama opreme elektroenergetskih objekata, koje omogućavaju detekciju neispravnosti u početnoj fazi nastanka kvara, stvaraju uslovi da se preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti održavanja u tehnološki najpovoljnijem trenutku sprečavaju ozbiljniji kvarovi i havarije, a time i troškovi i opasnosti po zaposlene u EEO.

U tu svrhu formirana je baza podataka bazirana na rezultatima dugogodišnjih ispitivanja elektroenergetskih transformatora u sistemu ELEKTROPRENOS-a BiH, koja su obuhvatala korišćenje više dijagnostičkih metoda: metodu IR termografije, metodu mjerenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka namotaja i provodnih izolatora, metodu fizičko-hemijska analiza ulja, plinsko - hromatografska analiza ulja, metoda mjerenja otpora izolacije i metodu mjerenja otpora namotaja. Takođe, za potrebe izrade predmetnog rada provedena su i naknadan ciljana istraživanja u realnim eksploatacionim uslovima.

Pri tome je korišćena savremena dijagnostička oprema, kao što su: računari sa odgovarajućom hardverskom i softverskom podrškom, termografske kamere, automatski analizator izolacije M4000, proizvođača Doble Engineering Company, USA, plinski hromatograf-varian CP 3800, USA, mjerač probojnog napona ulja DTA 100 E, Baur, mjerač sadržaja vode u ulju, itd.

Istraživanja su pokazala da je praktična primjena gore pomenutih dijagnostičkih metoda za praćenje stanja energetskih transformatora i provodnih izolatora u elektroenergetskim objektima Elektroprijenosa BiH OP Sarajevo doprinijela značajnijem smanjenju broja ispada energetskih transformatora a time i porastu nivoa pouzdanosti i raspoloživosti istih, što je dokazano statističkim poređenjem rezultata u vremenskom intervalu od četiri godine.

Detektovanje kvarova u početnoj fazistvorene su mogućnosti da se pravovremenim preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti unaprijedi energetska efikasnost elektroenergetskih objekata, poveća isporuka električne energije i smanje gubici. Posebno velike uštede u potrošnji energije su ostvarene izbjegavanjem havarija, što je postignuto pravovremenom detekcijom potencijalnih uzroka havarija.

Smanjeni su troškovi zbog smanjenog broja ispada energetskih transformatora, smanjeni su troškovi interventnih isključenja kao i troškovi planiranog održavanja. Ovo je ostvareno preciznim definisanjem problema i minimiziranjem vremena potrebnog za predviđeno preventivno održavanje. Pri ovome treba podsjetiti da u Elektroprijenosu BiH OP Sarajevo od 2000. godine do danas nije bilo eksplozija i požara na energetskim transformatorima, što samo po sebi govori mnogo.

## LITERATURA

- [1] S. Đekić, A. Kovačević, D. Brajović, P. Osmokrović, Mjerenje dielektričnih osobina Statistička organizacija i izražavanje mjerne nesigurnosti, monografija, Zavod za fiziku tehničkih fakulteta Univerziteta u Beogradu, 2016.
- [2] Trench, Product brochure, Transformer Bushings Type COT 125 . COT 1050 24 kV to 245 kV up to 3150 A
- [3] A. Mikulecky, Dijagnostika kondenzatorskih provodnika transformatora, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2003.
- [4] CIGRE Working Group A2.34, Guide for Transformer Maintenance, Chapter 4 – Transformer Component Selection and Maintenance, Page 27-29.; Chapter 5.1 Electrical Measurement Methods for On –Site Transformer Diagnosis, 2011
- [5] A. Petersen, AP Consulting – Transformer Technology Australia, The Risk of transformer fires and strategies which can be applied to reduce risk, A2\_101\_2010, CIGRE Paris, 2010
- [6] Goran Skelo, Fikret Velagić, “Ispitivanje visokonaponskih provodnih izolatora na energetskim transformatorima”, XI Savjetovanje bosanskohercegovačkog komiteta CIGRE, Neum 2013
- [7] Doble Test Data Reference Book, Doble Engineering Company, 1992 (str 2-1.1 do 2-1.18; str 2-2.1 do 2-2.18; str 2-3.1 do 2-3.3)
- [8] Type M4000 Automated Insulation Analyzer, Operating Instructions (part number 500-0110), Doble Engineering Company, 1997 (str 8-801 do 8-109)
- [9] Bushing diagnostics and conditioning, Product information, ABB Components AB, 2750 515 –142 en, 2000-08-30
- [10] Application guide for power factor of bushings, Megger, skinuto sa internet
- [11] Bushing Field Test - Guide, Section 7 Test Methods, procedures, and limits, Doble Engineering Company, 1997 (Pages 7-1 to 7-28)
- [12] Prijedlog preporuka za redovito održavanje energetskih transformatora nazivnih snaga većih od 5 MVA, Proizvođač I-institut za elektrotehniku, Zavod za transformatore, Zavod za materijale, Zagreb, 09.1993. strana 12.
- [13] Dj. Koruga, D. Vasiljević, J. Šakota, Osnove optike, optičkih pomagala i uređaja, Handout 12- 2012/2013
- [14] Kuzle Igor, “Dijagnostika u održavanju elemenata elektroenergetskog sustava“, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2013.
- [15] Metoda infracrvene termografije, novi pristup u održavanju, Krunoslav Petrović, Krešimir Petrović, Održavanje i eksploatacija, 4(1) 19-23 (2000);
- [16] J. Wankowicz, J Bilecki – Instytut Energetyki Poland, M. Szrot – Energo-Complex - Poland, J. Subocz – ZUT Poland, R. Malevski – Malewski Electric Poland, HV bushing failure in service, diagnostics and modeling of oil-type bushings, A2\_104\_2010, CIGRE Paris, 2010
- [17] Transformer bushing Type OTF, Mounting Operating and Maintenance Instructions, Operating Instructions BAL ETF/03E visium 05/09, HSP
- [18] Izvještaji o provedenoj IR termografiji u EEO OP Sarajevo (2013-2016) godina
- [19] Izvještaji o specijalnim mjerenjima u EEO OP Sarajevo (2013-2016) godina
- [20] Izvještaji o ispitivanju transformatorskih ulja u EEO OP Sarajevo (2013-2016) godina [20] Izvještaji Službe za nadzor i upravljanje EES-om OP Sarajevo (2013-2016) godina
- [21] R. Bilinton, R.N.Allan: ”Reliability Evaluation of Power Systems”