

DIJAGNOSTIKA NEISPRAVNOSTI PROLAZNIH IZOLATORA TRANSFORMATORA PRIMENOM TERMOGRAFSKOG ISPITIVANJA

**N. SIMIĆ*, EI „NIKOLA TESLA“, BEOGRAD, SRBIJA
LJ. STOJANOVIĆ, PD „HE ĐERDAP“- HE PIROT, PIROT, SRBIJA
M. SUŠIĆ, EI „NIKOLA TESLA“, BEOGRAD, SRBIJA**

U radu su najpre predstavljene mogućnosti primene termografskog ispitivanja na prolaznim izolatorima transformatora. Prezentovani su rezultati ispitivanja na brojnom uzorku u višegodišnjem vremenskom periodu. Zatim je naveden obim poslova održavanja i rezultati pojedinih ispitivanja koja su sprovedena na ovim izolatorima. Na primerima je pokazana detekcija kvarova koji se manifestuju zagrevanjem uljno papirne izolacije unutar prolaznih izolatora transformatora. Opisane neispravnosti u dužem vremenskom periodu utiču na ubrzano starenje izolacije, curenje transformatorskog ulja, a mogu izazvati i havarije. Za navedene primere dat je uporedni prikaz rezultata termografskog ispitivanja i ispitivanja električnog instalacionog sistema prolaznih izolatora, te omskih otpora namotaja energetskog transformatora. Na kraju je ukazano na dalju potrebu za preventivnim održavanjem i kombinovanjem više ispitnih metoda.

Ključne reči: kvar, prolazni izolator transformatora, toplo mesto, faktor dielektričnih gubitaka, omski otpor namotaja

1. UVOD

Transformator je po svojoj funkciji najvažniji i najskuplji element u postrojenjima. Zbog velikog broja ugrađenih komponenti, na ovom uređaju se može definisati nekoliko karakterističnih slučajeva neregularnosti, koje se manifestuju promenom temperature. Najzastupljeniji slučaj je povećanje temperature prolaznih izolatora, čije je starenje povezano sa termičkim napreznjima u zavisnosti od opterećenja transformatora i istorijom pogonskih događaja. Kvar izolatora je često praćen ispadom transformatora, u nekim slučajevima čak eksplozijom i požarom. Transformatorsko ulje je glavni uzročnik zagrevanja izolatora. Stoga su neophodni odgovarajuća hemijska svojstva ulja, dobri uslovi hlađenja, kao i nesmetan protok ulja u kanalima između jezgra i porcelana izolatora. Druga dva uzroka su dielektrični gubici u izolaciji i povećanje otpornosti provodnika unutar izolatora [1] koje ne utiče značajnije na raspodelu temperature ako je opterećenje manje od 0,5 Sn. Na povećanje temperature dela prolaznog izolatora koji se nalazi u vazduhu utiče i zračenje sa površine transformatorskog suda.

Kao deo dijagnostičkih ispitivanja transformatora, merenje faktora dielektričnih gubitaka, kapaciteta prolaznih izolatora, te merenje parcijalnih pražnjenja izolacionih folija se obavlja na mestu ugradnje transformatora, uz prethodno isključenje transformatorske jedinice [2]. Sa druge strane, termografsko ispitivanje transformatora, kao preventivna metoda održavanja se obavlja u realnim pogonskim uslovima, obično u sklopu ispitivanja elektroenergetskih postrojenja.

Zagrevanje spoljnih priključaka izazvano proticanjem struja velikog intenziteta se često registruje na fleksibilnim vezama, spojevima ostvarenim zavrtnjima, a posebno na spojevima različitih hemijskih elemenata npr. aluminijuma i bakra. Takođe se detektuju grejanja u nivou osnovne priključka dela prolaznog izolatora u vazduhu, koji su posledica povećanog prelaznog otpora na spoju navojem. Naime, usled dugogodišnje eksploatacije u ovaj spoj prodire voda, pa se stvara korozija i spoj zapadne do te mere da prilikom skidanja prolaznog izolatora postoji realna mogućnost od pucanja.

Termografskim snimanjem površine prolaznih izolatora mogu se uočiti problemi na spoju izolatora i namotaja transformatora unutar transformatorskog suda, postojanje vazdušnog čepa odnosno nedostatak transformatorskog ulja [3]. Donošenje zaključaka o lokaciji i uzroku neregularnosti se izvodi na osnovu izgleda termoslike, iskustva ispitivača, opterećenja i uslova ambijenta. Dodatno se na osnovu apsolutne vrednosti razlike temperature između određenih delova izolatora i mesta zagrevanja (toplih mesta) određuje hitnost sanacije neregularnosti.

2. REZULTATI TERMOGRAFSKIH ISPITIVANJA U JP „ELEKTROMREŽA SRBIJE“

Broj toplih mesta na prolaznim izolatorima transformatora koja su registrovana termografskim ispitivanjima u periodu 2005-2009. godine dat je u tabeli 1. Uzorak je obuhvatio 8 transformatora prenosnog odnosa 400/220 kV, 24 transformatora prenosnog odnosa 220/110 kV, 14 transformatora prenosnog odnosa 400/110 kV, 114 transformatora prenosnog odnosa 110/35(20) kV i 15 transformatora 110/10(6).

TABELA 1- PRIKAZ RASPODELE TOPLIH MESTA NA PROLAZNIM IZOLATORIMA TRANSFORMATORA U PERIODU 2005-2009. GODINE

Mesto zagrevanja na prolaznim izolatorima transformatora	Naponski nivo (kV)					Ukupno
	400	220	110	35 (20)	10 (6)	
Priključne stezaljke	0	20	49	19	3	91
Ostalo	0	11	15	4	1	31
Ukupno	0	31	64	23	4	122

Ovi transformatori su jednom godišnje ispitivani pri sličnim pogonskim uslovima, a sva uočena topla mesta su klasifikovana u tabeli 1, prema tome da li se radi o grejanju koje je uzrokovano prelaznim otporima isključivo na priključnoj stezaljci ili grejanje potiče sa bilo kog drugog mesta koje zahteva radove na prolaznim izolatorima transformatora. U drugu grupu (ostalo) spadaju npr. prelazni otpori od namotaja transformatora do priključka prolaznog izolatora (veze ostvarene pletenicama, kompresionim ili vijčanim spojevima, prelaznim stezaljkama, spojevi priključaka preko navoja, ali i nedostatak izolacionog ulja, fizička oštećenja i dr.). Sa obzirom na brojnost transformatora prenosnog odnosa 110/35 kV u elektrodistribucijama, ova grupa je posebno izdvojena u tabeli 2, u kojoj je i napravljena podela prema razlici temperature (nadtemperatura) toplog mesta u odnosu na referentno mesto. Rezultati prikazani u tabeli 2. obuhvataju šestogodišnji period u kome su ukupno obavljena 572 ispitivanja na transformatorima 110/35kV.

TABELA 2 - PRIKAZ RASPODELE TOPLIH MESTA NA PROLAZNIM IZOLATORIMA TRANSFORMATORA 110/35 KV U PERIODU 2005-2010. GODINE

Naponski nivo (kV)	Razlika temperature između toplog i referentnog mesta			Ukupno
	<10 °C	10-30 °C	>30 °C	
110	7	6	0	13
35	3	10	11	24
Ukupno	10	16	11	37

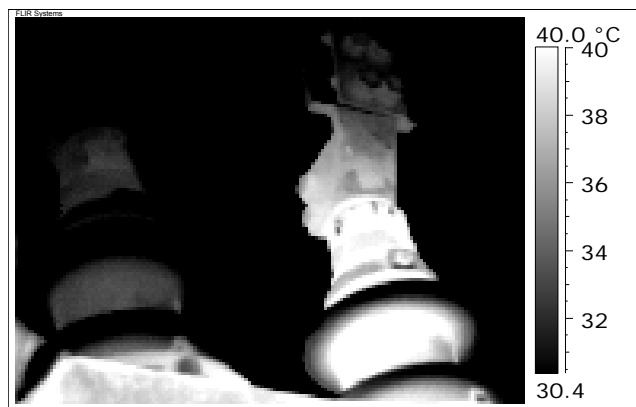
Iako je napravljen veliki pomak u odabiru materijala i konstrukciji ugrađenih stezaljki, priključci čine najveći broj lokacija neispravnosti sa stanovišta termovizijskih ispitivanja. Uzroci neispravnosti su mnogobrojni, a navodimo najčešće: slabo ostvaren spoj, nečistoće na spoju, različitost materijala, prisustvo korozije, dilatacije materijala i sl. Od ukupno 37 registrovanih toplih mesta, 4 topla mesta spadaju u drugu grupu (ostalo) i svi imaju nadtemperaturu veću od 30°C. Kategorizacija toplih mesta po visini razlike temperature između toplog i referentnog mesta se primenjuje u višegodišnjem periodu u JP EMS.

3. ODRŽAVANJE I POGONSKO ISKUSTVO U POSTROJENJIMA HIDROELEKTRANA

Redovno preventivno održavanje prolaznih izolatora se bazira na preporukama proizvođača transformatora i prolaznih izolatora, kao i na iskustvu korisnika nastalog višegodišnjim praćenjem stanja i eventualnim intervencijama na njima. U toku normalnog pogona opreme, nemoguće je izvršiti uvid u stanje pa su vanremontne aktivnosti uglavnom interventne, tj. u slučaju kvara ili havarije. U najvećem broju slučajeva, redovno održavanje se svodi na pregled u vreme redovnih godišnjih remonata postrojenja i to u sledećem obimu:

- kontrola stanja izolacionog sistema provodnih VN izolatora (kapacitet, faktor dielektričnih gubitaka) i
- pregled i provera stanja VN i NN prolaznih izolatora (pritezanje i čišćenje spojeva užadi odnosno fleksibilnih pletenica na priključke transformatora, uklanjanje sakupljene nečistoće sa površina izolatora, kontrola zaptivki na kotlu).

Primeri koji slede odnose na prolazne izolatore ispunjene uljem. Prilikom redovnog godišnjeg termografskog ispitivanja u jednoj hidroelektrani 2010. godine uočeno je povećanje temperature od 5°C faze b, pri opterećenju transformatora od $S=0,6S_n$. Grejanje je uočeno na površini porcelanskog izolatora energetskog transformatora 121/6,3kV, a na osnovu izgleda slike 1 se može zaključiti da je uzrok grejanja na spojevima namotaja i priključka prolaznog izolatora unutar transformatorskog suda. Sledeće 2011. godine je pri sličnim radnim uslovima dobijena je ista termoslika, ali je izmereno povećanje temperature za dodatnih 3°C. Sa obzirom na evidentno postojanje problema, primenjena je UI metoda za merenje otpora namotaja čime je potvrđen povećan omski otpor faze b energetskog transformatora (tabela 3).



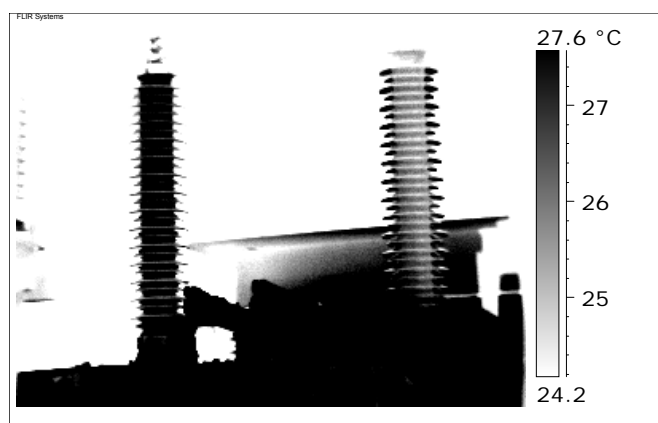
Slika 1. Termografski prikaz prolaznog izolatora energetskog transformatora 6,3 kV

TABELA 3 - REZULTATI MERENJA OMSKIH OTPORA 6,3KV NAMOTAJA ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

spoj faze: a-b			spoj faze: a-c			spoj faze: b-c			δR_{max} (%)
U (mV)	I (A)	R (m Ω)	U (mV)	I (A)	R (m Ω)	U (mV)	I (A)	R (m Ω)	
44,93	5,00	8,986	36,85	5,00	7,370	44,50	5,00	8,900	21,93%

δR_{max} maksimalna relativna međufazna razlika izmerenih omskih otpora

Na slici 2 prikazan je prolazni izolator 123kV faze B, na jednom energetskom transformatoru 121/10,5kV. Karakteristični izgled termoslike ukazuje na povećanje dielektričnih gubitaka ili promene u protoku ulja kao uzroke grejanja. Izmerena razlika temperature na površinama prolaznih izolatora je iznosila svega 2,8°C. Primenom drugih metoda ispitivanja transformatora, utvrđeno je da postoji povećanje dielektričnih gubitaka na ovom izolatoru (tabela 4). Izmerena je vrednost od 0,89%, u odnosu na 0,44% koliko je izmereno u prethodnoj godini. Iz tabele se primećuje i da faktor dielektričnih gubitaka raste sa povećanjem napona ispitivanja što može biti i posledica oslabljenog električnog izolacionog sistema prolaznog izolatora.



Slika 2. Termografski prikaz prolaznog izolatora energetskog transformatora 121kV

TABELA 4 – ISPITIVANJE ELEKTRIČNOG IZOLACIONOG SISTEMA PROLAZNIH IZOLATORA 121 KV

FAZA	U (kV)	tg δ (%)	C (pF)	U _{isp} (kV)
A	123	0,24	171,22	2
		0,24	171,22	5
		0,24	171,21	10
B		0,75	181,58	2
		0,81	181,61	5
		0,89	181,55	10
C		0,25	179,25	2
		0,25	179,21	5
		0,27	179,27	10

Na osnovu ova dva primera vidljivo je da su mala povećanja temperature površine prolaznih izolatora uzrokovana većim procentualnim promenama karakterističnih električnih veličina. U prvom slučaju 8°C odgovara 21,93% povećanju prelaznih otpora, dok u drugom slučaju 2,8°C odgovara trostrukom povećanju faktora dielektričnih gubitaka. Ispitivačima je poznato da snimanje transformatora u celini, a posebno izolatora predstavlja pravi izazov zbog velikih refleksionih površina transformatorskog suda, uticaja Sunca i opterećenja, odnosno pogonskih uslova. Takođe, jasno je da bi npr. u drugom navedenom slučaju povećanje temeperature izolatora npr. za 20% sa 2,8°C na 3,3°C bilo uzrokovano dodatnim povećanjem tg δ . Ovaj mali porast temperature od 0,5°C je teško uočiti ako se ne prati istorija izolatora. U ovom slučaju ispitivaču je od neprocenjive važnosti tabela sa apsolutnim vrednostima temperatura pri definisanim uslovima merenja (temperature ulja, ambijenta, opterećenja transformatora) koja se pravi u prethodnim godinama ispitivanja. Znači, mišljenje se može dati samo na osnovu prethodnog iskustva na određenom objektu, ili ako postoji sumnja zahtevati druge merne metode, pa bi na osnovu sumiranja rezultata dobili realnu sliku stanja elementa. U ovakvim slučajevima često se pribegava zameni mesta ugradnje izolatora, gde je to moguće, odnosno izolator koji je ugrađen na neki od faznih izvoda se stavlja na nulti izvod transformatora.

4. ZAKLJUČAK

Termografska ispitivanja postrojenja konstantno daju doprinos pouzdanosti elektroenergetskog sistema. U sklopu redovnog preventivnog održavanja transformatora moguće je, na ovaj način, pored najbrojnih dobro poznatih grejanja na priključnim stezaljkama, uočiti i važne kvarove na prolaznim izolatorima čiji su uzroci unutar samih izolatora. Zbog značaja energetskih transformatora za rad sistema neophodno je analizirati svaku registrovanu promenu temperature. Iz navedenih primera se vidi da je povišenje temperature površine izolatora od 5°C uzrokovano povećanjem prelaznih otpornosti namotaja, dok je povišenje temperature od nepuna 3°C uzrokovano povećanjem faktora dielektričnih gubitaka. Otežavajuća okolnost je postojanje smetnji u toku merenja zbog čega se mogu predvideti male vrednosti promene temperature, te je neophodan iskusan ispitivač i etalonirana oprema dobrih mernih karakteristika. U donošenju zaključaka o postojanju kvara na osnovu termografskog ispitivanja, od velike pomoći su rezultati merenja za određeni objekat u prethodnim godinama ispitivanja, a ukoliko postoje sumnje neophodno je sumirati rezultate različitih mernih metoda.

LITERATURA

- [1] V.Sokolov, B.Vanin, 1997 „Evaluation and identification of typical defects and failure modes of 110-750kV bushings“, Proceedings of the 64th international conference of double clients, sec 3.3
- [2] J.Wankowicz, J. Bielecki, M.Szrot, J.Subocz, R. Malewski, 2010: „HV bushing failure in service, diagnostics and modeling of oil type bushings“, STK A2 Transformers, Preferential subject PS1, CIGRE 2010
- [3] M.Senčanić, Lj. Čičkarić, 1999 „Application of thermovision tests in the preventive maintenance of transformers, str. 72-77, Third international power systems conference, Timisoara
- [4] Izveštaji Instituta „Nikola Tesla“ iz 2010 i 2011 godine, broj 3310079-L, 3311028-L, 411354-L