

## PREGLED REZULTATA TERMOVIZIJSKIH KONTROLA U POSTROJENJIMA ELEKTROISTOKA U PERIODU 1997–2002.

Miomir Senčanić, Ljubiša Čičkarić, Ninoslav Simić, dr Petar Vukelja  
*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla" Beograd*

**Sadržaj:** U radu su prikazani rezultati termovizijskih kontrola u postrojenjima "Elektroistok"-a u vremenskom periodu od 1997. do 2002. godine. Rezultati su složeni prema aparatima i naponskim nivoima, hronološki i zbirno sa osvrtom na rezultate iz ranijih perioda kontrola. U radu su takođe dati predlozi za dalju primenu u cilju dobijanja korisnih podataka za naručioca, a takođe i za proizvođače opreme.

**Ključne reči:** termografija/termovizija/toplo mesto/pregrevanje/termogram

### 1 UVOD

Jedan od osnovnih preduslova funkcionisanja elektroenergetskih sistema je pouzdanost rada elemenata postrojenja. Pouzdanost se između ostalog obezbeđuje i sistematskim preventivnim metodama ispitivanja među koje spadaju i termografske-termovizijske kontrole. Sistematske termografske kontrole kod nas su uvedene još 1971 godine (neposredno pošto je i u svetu počela komercijalna proizvodnja termografskih uređaja 1966 godine) u cilju blagovremenog otkrivanja neispravnih mesta na elementima energetske postrojenja, koja se manifestuju kroz povećano zagrevanje.

U objektima Elektroistoka, kao i kod ostalih elektroenergetskih postrojenja, kontrolama su obuhvaćeni svi spojni elementi (zatezne, viseće i noseće stezaljke), priključne aparatne stezaljke (priključci svih aparata: rastavljača, prekidača, mernih i energetskih transformatora, kablovskih glava i sl.), nastavci i dilatacioni spojevi, zatim kontaktna i spojna mesta u unutrašnjosti prekidača, mernih transformatora i donjih priključaka provodnih izolatora kod transformatora snage. Prema utvrđenim kriterijumima vezanim za visinu pregrevanja (usvojenim prema stranim preporukama i iskustvima), neispravnosti se razvrstavaju u kategorije, koje određuju rokove remontnim ekipama za vršenje revizija ili zamena elemenata. Usvojene su tri kategorije pregrevanja na osnovu kojih se utvrđuje termičko stanje a samim tim i ugroženost aparata sa stanovišta prekomernog zagrevanja. Pregrevanje je razlika temperature između toplog (neispravnog) i referantnog mesta a neispravnost, koja je iskazana povećanim zagrevanjem, naziva se "toplom mestom". Toplo mesto se definiše: lokacijom, pregrevanjem, karakteristikom aparata i strujnim opterećenjem u vreme ispitivanja - kontrole. Naravno, sem ovih usvojenih kriterijumima u toku kontrola vodi se računa i o graničnim vrednostima zagrevanja u skladu sa propisom IEC 60943/98.

Napred spomenuti kriterijumi odnose se na tzv. vidljive spojeve (vidljive i za ljudsko oko). Kod unutrašnjih spojeva (npr. kontaktni sistem prekidača, spojevi na donjim priključcima provodnih izolatora u transformatorima snage, spojevi u unutrašnjosti mernih transformatora i prigušnih uređaja, kablovskih glava i sl.) kriterijumi za procenu neispravnosti se donose na drugim osnovama. To je i razumljivo jer je za korektnu dijagnostiku unutrašnjih neispravnosti neophodno poznavati niz faktora, počev od konstrukcije aparata, mogućih puteva iznošenja toplote na površinu itd.

U radu je dat pregled rezultata termovizijskih kontrola u postrojenjima Elektroistoka u periodu 1997-2002.

## 2 REZULTATI TERMOVIZIJSKIH KONTROLA

Termografske kontrole su uvedene u stalnu praksu pre 32 godine na osnovu utvrđenih procedura, periodike kontrola i kategorizacije "toplih mesta" u skladu sa stranim iskustvima i preporukama.

Podaci u uvodnoj tabeli 1 daju pregled ukupnog broja ispitanih objekata sa brojevima registrovanih "toplih mesta" i prosečnim brojem "toplih mesta" po polju za svaku godinu, respektivno.

Tabela 1. Pregled broja ispitanih objekata sa registrovanim "toplim mestima"

	<b>GODINA ISPITIVANJA</b>					
	<b>1997.</b>	<b>1998.</b>	<b>1999.</b>	<b>2000.</b>	<b>2001.</b>	<b>2002.</b>
<i>Broj ispitanih objekata</i>	76	66	46	41	67	77
<i>Broj toplih mesta</i>	1044	978	816	459	709	926
<i>Prosečan broj "toplih mesta" po objektu</i>	13,7	14,8	17,7	11,2	10,6	12,0

Iz tabele 1 zapažamo da se prosečan broj "toplih mesta" kreće u uskim granicama i da ima blagu tendenciju opadanja, što svakako znači da su niže vrednosti posledica pažljivo izvršenih revizija i ugradnje kvalitetnije opreme. Poredeći ove dobijene vrednosti sa podacima iz perioda od 1971. do 1975. godine zapaža se smanjenje graničnih vrednosti prosečnog broja "toplih mesta" i do dva puta. Interesantno je izvršiti dalju raspodelu neispravnosti prema ispitanim poljima i naponskom nivou.

U tabeli 2 je na prvi pogled iznenađujuće da se podatak o prosečnom broju "toplog mesta" povećava sa naponskim nivoom. Npr. prosečan broj "toplih mesta" na 400 kV iznosi čak 3,0 iako je ukupan broj "toplih mesta" 102 relativno mali u odnosu na 978 "toplih mesta" na svim naponskim nivoima ili samo 34 ispitanih polja na 400 kV u odnosu na 938 ispitanih polja na svim naponskim nivoima. Najverovatnije da je razlog visokog učešća nemogućnost pravovremene intervencije, odnosno isključenja naponskog nivoa 400 kV.

Dalja analiza raspodele neispravnosti odnosi se na uzročnike neispravnosti (tabela 3), gde su neispravnosti razvrstane po aparatima u postrojenju.

Tabela 2. Pregled "toplih mesta" prema naponskim nivoima i ispitanim poljima

		<b>GODINA ISPITIVANJA</b>					
		<b>1997.</b>	<b>1998.</b>	<b>1999.</b>	<b>2000.</b>	<b>2001.</b>	<b>2002.</b>
<i>broj "toplih mesta" po naponskim nivoima</i>	400	131	102	24	42	68	60
	220	209	183	210	83	139	167
	110	561	574	490	263	399	474
	35	127	119	91	71	95	220
<i>broj ispitanih polja po naponskim nivoima</i>	400	29	34	29	20	38	40
	220	80	104	86	65	90	107
	110	408	416	294	262	411	456
	35	414	384	224	203	375	454
<i>prosečan broj "toplih mesta" po polju</i>	400	2,31	3,00	0,86	2,10	1,79	1,50
	220	1,3	1,76	2,44	1,28	1,54	1,94
	110	0,8	1,38	1,66	1,00	0,97	0,97
	35	0,3	0,31	0,41	0,35	0,25	0,46
<i>Zbirni prikaz prosečnog broja "toplih mesta" po polju</i>		0,64	1,03	1,21	0,83	0,73	0,85

Tabela 3. Zbirni prikaz raspodele "toplih mesta" po aparatima i godini ispitivanja

<b>APARAT</b>	<b>GODINA ISPITIVANJA</b>					
	<b>1997.</b>	<b>1998.</b>	<b>1999.</b>	<b>2000.</b>	<b>2001.</b>	<b>2002.</b>
<i>Prekidač</i>	170	127	111	76	79	122
<i>Rastavljač</i>	503	505	415	227	383	443
<i>Strujni transformator</i>	211	197	113	84	117	183
<i>Energetski transformator</i>	29	31	20	9	19	18
<i>Ostalo *</i>	101	90	110	54	14	126

Ostalo\* - Kablovske glave, odvodnici prenapona, strujne stezaljke, nastavci i sl.

Uočava se da su ubedljivo najveći nosioci neispravnosti rastavljači. Interesantno je analizirati raspodelu "toplih mesta" na pripadajućim elementima aparata (priključak kao spoljašnji elemenat i unutrašnje neispravnosti) u odnosu na ostale elemente u postrojenju. U tabeli 4 data je procentualna raspodela "toplih mesta" na elementima aparata i ostalim stezaljkama u postrojenju, koje ne pripadaju aparatima.

Tabela 4. Procentualna raspodela "toplih mesta" po aparatima, aparatnim stezaljkama i ostalim stezaljkama

APARAT		GODINA ISPITIVANJA					
		1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.
Prekidač	unutrašnje	0,5	0,1	0,2	0,0	0,1	0,9
	priključak	15,8	12,0	12,3	16,6	10,7	13,2
Rastavljač		43,7	47,6	47,2	46,6	50,6	40,8
Merni strujni Tr	unutrašnje	0,4	0,5	0,4	0,6	0,8	0,2
	priključak	19,8	19,5	17,2	17,6	15,7	17,7
Aparatne priključne stezaljke		85,2	84,9	76,7	85,6	76,8	73,0
Ostale stezaljke		8,4	8,8	7,7	10,0	10,9	7,3
Učešće svih stezaljki u ukupnom broju "toplih mesta"		93,7	93,2	88,6	95,2	88,0	80,3

Primećuje se da su aparatne priključne stezaljke dominantne u odnosu na ukupan broj "toplih mesta". Ukoliko njima pridružimo i ostale stezaljke u postrojenjima tada je učešće stezaljki u ukupnom broju "toplih mesta" preko 80%.

Interesantno je izvršiti i analizu raspodele broja neispravnosti po polju (učestalost sa više "toplih mesta", odnosno koncentraciju broja "toplih mesta" po polju (tabela 5).

Tabela 5. Učestanost polja sa 1, 2, 10 i više "toplih mesta" po polju i godini ispitivanja

Godina	Broj 'toplih mesta' po polju											Ukupno ispitanih polja
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10	
1997.	747	133	65	32	9	10	13	6	2	2	5	1024
1998.	626	127	63	40	19	10	22	13	7	8	10	945
1999.	392	113	58	38	23	14	10	12	3	3	10	676
2000.	356	91	40	27	13	7	5	3	5	2	1	550
2001.	682	141	60	38	13	10	4	6	5	1	8	968
2002.	717	170	84	44	26	18	6	12	2	5	7	1091

Iz navedene tabele 5 može se zapaziti da je veliki broj polja sa većim brojem neispravnosti, odnosno sa 3, 4, 5, 6 pa čak i preko 10 "toplih mesta" u jednom polju. Takva polja treba sistematizovati i izvršiti dalju analizu uzroka neispravnosti (da li su to polja sa velikim opterećenjima, neadekvatnim revizijama, nekvalitetnom opremom i sl.).

Detaljna analiza uzročnika neispravnosti ne može se izvršiti koristeći samo rezultate izvršenih termografskih kontrola.

Termografska ispitivanja se ne završavaju time što se obave kontrole u postrojenju, sačini zvaničan izveštaj sa neispravnostima i zapažanjima, već je neophodno da se zaokruže godišnjim izveštajima sa analizom uzroka nastajanja neispravnosti. Analiza treba da obuhvati: razmatranje uzroka nastajanja "toplih mesta", procenu kvaliteta obavljenih intervencija, sagledavanje kvaliteta ugrađene opreme ili materijala, kao i ostala zapažanja do kojih se došlo u toku eksploatacije ( tzv. povratne veze).

Takvom analizom sužavaju se mogući uzročnici neispravnosti. Prvi korak je pronalazjenje "toplih mesta" koja se ponavljaju iz godine u godinu. Tada se mogu preciznije utvrditi uzročnici neispravnosti i suzbiti problemi radi snižavanja broja "toplih mesta".

*Tabela 6. Raspodela ponovljenih "toplih mesta" po aparatima, naponskom nivou i godini ispitivanja*

APARAT	2001.				2002.			
	400	220	110	35	400	220	110	35
Prekidač	2	5	2	1	2	10	3	1
Rastavljač	5	8	40	3	8	16	39	8
Strujni Tr	2	1	9			6	4	12
Energetski Tr		3					1	2
Ostalo	1	5	3	8			2	12
Ukupno	8	24	54	12	10	34	51	35

Iz tabele 6 vidi se da su ponovljene neispravnosti dominantne na nivoima 220 kV i 110 kV što nam govori da je daleko veća pažnja posvećena intervencijama u 400 kV-nom sistemu, a da je 35 kV-ni sistem daleko pristupačniji za vršenje pravovremenih intervencija.

Tabela 7 daje pregled obrađenih informacija, povratnih veza po naponskom nivou i kategorijama pregrevanja.

*Tabela 7. Pregled obrađenih povratnih informacija po naponskim nivoima, kategorijama pregrevanja i godini ispitivanja*

Godina	NAPONSKI NIVO				KATEGORIJA PREGREVANJA		
	380	220	110	35	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	10-30 $^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$
1998.	57	173	499	75	183	499	129
2001.	51	131	339	75	100	373	129

Urgentnost intervencija je pre svega u kategoriji pregrevanja sa preko 30 $^{\circ}\text{C}$  (pokriveno je 88% neispravnih mesta), a broj intervencija opada sa nižim nivoima pregrevanja.

Dalja analiza ide ka izvršenim intervencijama odnosno, konkretizovane su tačne lokacije, koje su najveći nosioci neispravnosti (tabela 8).

U tabeli 8 je dat pregled broja izvršenih intervencija na stezaljkama u postrojenju razvrstanih prema nameni i vrsti stezaljki. Sledi analiza istih stezaljki prema materijalima i to kako o materijalima od kojih su sastavljene stezaljke tako i o materijalima od kojih su sačinjeni priključci na koje se one ugrađuju.

*Tabela 8. Prikaz na intervenisanim stezaljkama prema nameni i vrsti stezaljki za dve godine*

Godina	NAMENA STEZALJKI			VRSTA STEZALJKI	
	Priključne	Nastavne	Zatezne	Na zavrtanj	Kompresione
1998.	721	21	19	660	80
2001.	502	68		491	27

Interesantno je videti šta je zapaženo u toku samih intervencija na registrovanim neispravnostima. To je svakako korisno remontnim ekipama jer ukazuje na mesta, kojima se mora posvetiti veća pažnja, naročito ako se radi o ponavljanju neispravnosti iz godine u godinu. Podaci su, takođe, dragoceni i za konstruktore i proizvođače opreme koji, eliminisanjem eventualnih konstruktorskih i tehnoloških uzroka neispravnosti doprinose povećanju kvaliteta opreme.

*Tabela 9. Prikaz materijala stezaljki, priključaka aparata, provodnika i prelaznih stezaljki na registrovan im neispravnostima u 2001. godini*

Materijal	Vrsta stezaljki		Priključci aparata	Provodnici	Prelazne stezaljke
	Kompresione	Na zavrtanj			
Čelik			55		
Temper liv			1		
Al	1	116	11		13
Al legure	24	251	9	5	7
Zn legure		7	18		
Bronza		43	194		13
Al Mg Si				1	
Al Če				51	
Cu		3	104		2
Al-Cu kompres.spoj					
Preko Cupal pločice					3
Ostalo		21	9		
Ukupno	12	231	224	19	5

Učešće Al stezaljki u kombinacijama sa drugim materijalima i kombinacijama priključaka je značajno. To svakako govori da se mora posvetiti veća pažnja u toku izrade, montaže i održavanja ovih vrsta spojnih elemenata.

Stvaranje potpunije slike o održavanju elemenata opreme u postrojenjima na osnovu rezultata termovizijskih kontrola se ostvaruje i sistematizacijom podataka o detaljima izvršenih intervencija i zapažanjima stručnih službi u toku remonta.

Tabela 10. Pregled uzroka neispravnosti na "toplim mestima" u 2001 godini

Vrsta neispravnosti i zapažanja	Lokacija neispravnosti		
	Stezaljka		Unutrašnji
	Veza na zavrtanj	Kompresioni spoj	
Nema vidljivih tragova	184	4	2
Nedovoljno pritegnuto	162	5	2
Slabo ostvaren kontakt		1	3
Nečistoće na spoju	137	15	
Oštećene površine	5		
Tragovi zavarivanja	9	1	1
Neadekvatni materijal	7		
Neadekvatni elemenat			
Neadekvatna montaža			

Podaci o nedovoljno pritegnutim spojevima i detektovanim nečistoćama (oksidnim površinama) na spojevima kao o dominantnim uzrocima nastajanja "toplih mesta" ukazuju na kvalitet radova remontnih ekipa i naročito na odabir kombinacija spojnih elemenata.

### 3 ZAKLJUČAK

Na bazi sprovedene analize rezultata termovizijskih kontrola u postrojenjima Elektroistoka u periodu 1997-2002. godine naznačeni su najčešći nosioci neispravnosti, ne samo po lokacijama već i po vrsti ugrađenog materijala.

Dobijeni podaci su od velikog značaja za korisnike opreme i proizvođače, koji tada imaju pravu informaciju o stanju i ponašanju opreme u toku eksploatacije. Na osnovu raspodele neispravnosti po elementima, tipu aparata i ugrađenim materijalima korisnik donosi odluku u vezi daljeg praćenja stanja, zamene aparata, dodatnih ispitivanja itd. Svakako da je najznačajnija pravovremena odluka o isključenju aparata radi intervencije, kako bi se preduhitrile neželjene posledice (pregorevanje, havarijsko stanje), bilo da se radi o planskom bilo o hitnom isključenju.

### LITERATURA

- [1] Senčanić M., Mihailović M., Gavrić M., Hrvić D. i drugi: "Istraživanje mogućnosti proširenja i usavršavanja primene termovizije u elektroprivredi", Studija urađena za EP Beograd, 1986, Institut "Nikola Tesla", Beograd 1985, strana 195
- [2] Senčanić M., Mihailović M.: "Sistematska obrada rezultata termovizijskih ispitivanja u razvodnim postrojenjima", XVIII Savetovanje CIGRE, Budva 1987.
- [3] Senčanić M., Čičkarić Lj., Simić N.: „Godišnji izveštaj rezultata termovizijskih ispitivanja u postrojenjima elektroistoka“, višegodišnji obrađeni podaci termografskih kontrola u objektima Elektroistoka izv. br. 3397001 do 3302001

**Abstract:** The paper presents summary results of systematic thermography inspections in "Elektroistok" power system installations in the period of last seven years. The data are presented chronologically as a function of the type of devices for voltage levels ranging from 35 kV to 400 kV. Our long-term experience in this field initiates the further development and enlargement of thermography appliance. There are given specific examples and directions of the future use in practice.

**Keywords:** *Thermography/thermovision/hot spot/overheating/thermogram*

**SUMMARY RESULTS OF THERMOVISION CONTROLS IN  
ELEKTROISTOK POWER SYSTEM INSTALLATIONS IN THE PERIOD  
FROM 1997 TO 2002**

Miomir Senčanić, Ljubiša Čičkarić, Ninoslav Simić