

Izrada izvještaja termovizijskih ispitivanja u elektroenergetskim postrojenjima

Predrag Šaraba
Elektroprenos- Elektroprijenos BiH a.d. Banja Luka
Operativno područje Sarajevo
pedja_saraba@yahoo.com

Božidar Popović
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
bozidar.popovic@etf.unssa.rs.ba

Zoran Ljuboje
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
zoran.ljuboje@etf.unssa.rs.ba

Sadržaj— U ovom radu će biti prikazana forma predloženog izvještaja koji objedinjava u jednu cjelinu rezultate preventivnog termovizijskog mjerenja i održavanja. Ova ispitivanja omogućuju otkrivanje potencijalnih mjesta kvarova, na osnovu kojih se donose adekvatni zaključci o nivou i obimu intervencije koja se treba preduzeti u toku preventivnog, redovnog ili interventnog održavanja. Izvještaj predstavlja jedinstven dokument sastavljen od dvije cjeline. Prva objedinjava rezultate termovizijskih mjerenja sa termogramima za više posmatranih tačaka i preporukom koja se odnosi na nivo intervencije, dok su u drugoj prezentovana mjerenja prelaznih otpornosti i disipirane snage prije i poslije obavljene predložene intervencije. Da bi se na osnovu mjerenja mogle izvršiti intervencije na ugroženim mjestima u elektroenergetskom postrojenju, potrebno je sačiniti detaljan izvještaj nakon termovizijskih snimanja koji mora sadržavati precizne zapise koji će nam jasno pokazati stanje u postrojenju kao i stepen intervencija koje je potrebno izvršiti da ne bi došlo do nepredviđenih ispada u elektroenergetskom sistemu (EES-u).

Gljučne riječi: termovizija, termogram, izvještaj, prelazna otpornost, gubici snage, monitoring, preventivno održavanje.

I. UVOD

Preventivna termovizijska snimanje se praktikuju za ranu detekciju i prevenciju potencijalnih tačaka kvara, što se manifestuje kroz povećanje pouzdanosti zbog sprečavanja neplaniranih ispada u EES-u. Termovizijska snimanja se redovno primjenjuju kao osnovna u preventivnom i dodatna metoda u redovnom ispitivanju i monitoringu postrojenja. Prednost ove metode u odnosu na ostale se najviše ogleda u činjenici da se mjerenje izvodi pri normalnom radnom režimu postrojenja, čime se ne ugrožava isporuka električne energije krajnjim potrošačima. Rezultati termovizijskog snimanja se uzimaju relevantnim ako je opterećenje postrojenja prilikom

snimanja veće od 50% nazivne snage [1]. Tako je za objedinjavanje izvještaja potrebno obezbjediti i zabilježiti vrijednosti struja po fazama sa mjernih pokazivača.

Takođe, preporučuje se da se snimanje izvede u toku zimskog perioda jer temperatura okoline nije visoka, a opterećenje sistema je znatno više nego u ljetnom periodu.

II. REZULTATI TERMOVIZIJSKIH MJERENJA

Prilikom snimanja, kamera formira termalnu sliku mjerenjem infracrvene radijacije određenog tijela. S termalne slike mogu se izvući elementarni zaključci o stanju elemenata. Detaljnija analiza se obavlja softverskim putem koji kamera sadrži, čime se vrši neophodna korekcija pri konverziji termalne slike u odgovarajući termogram, koji aproksimira tačne temperature snimljenog elementa, ili temperaturnu raspodjelu u sceni. Na slici 1 je prikazana termovizijska kamera proizvođača FLIR.

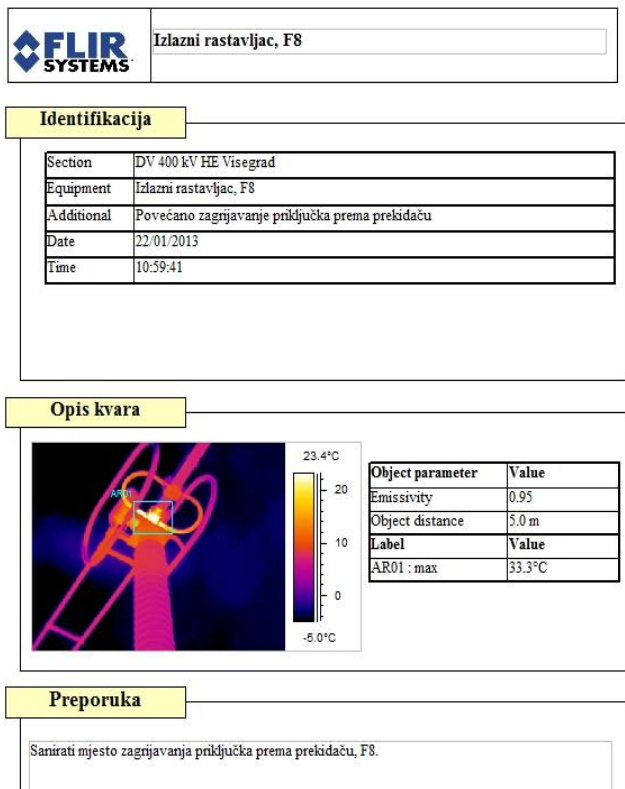


Slika 1. Termovizijska kamera FLIR ThermaCAM PM 675

Završna obrada termograma se vrši u nekom od namjenskih softvera koje nude proizvođači termovizijskih kamera. Za analizu dobijenih termograma korišten je FLIR R&D Software 3.3, koji ima mogućnost upravljanja režimom snimanja termograma, postavljanje uslova u pogledu temperature tj. maksimalne i minimalne granice pojedinih zona na termogramu, upozorenje korisnika o prekoračenju postavljenih uslova, generisanju izvještaja za odabrani termogram. [2]

III. ANALIZA TERMOGRAMA

Nakon termovizijskih snimanja u postrojenju pristupa se analizi termograma na kojima se uočavaju zagrijana mjesta, tj. mjesta potencijalnih kvarova. U pomenutom softveru se mogu generisati izvještaji sa osnovnim podacima i zapisanim mjerenjima, kao što su vrijednost temperature na zagrijanim dijelovima, emisivnost, udaljenost kamere od snimanog objekta itd [3]. Primjer jednog izvještaja iz navedenog softvera prikazan je na slici 2.



Slika 2. Primjer izvještaja termograma iz FLIR R&D Software 3.3.

A. Temperatura kontakata i prelazna otpornost

Da bi analiza termograma bila ispravna, tj. da bi se tačno utvrdilo mjesto zagrijavanja u postrojenju potrebno je poznavati kriterijume odstupanja temperature od referentne (radne). Analiza dobijenih rezultata se vrši tako što se porede temperature zagrijanih dijelova elementa u postrojenju sa istim elementom druge faze pod istim opterećenjem koji ima

normalnu radnu temperaturu [4]. Radna temperatura na sve tri faze, pri normalnim radnim uslovima je jednaka i uzima se za referentnu temperaturu. Referentna temperatura je približno jednaka temperaturi okoline ili je neznatno veća. Ako se vidi da na nekom dijelu dolazi do odstupanja od referentne temperature smatra se da je taj dio zagrijan i da je u analizi potrebno sačiniti preporuku za sanaciju tog zagrijavanja. Prekoračenje temperature se određuje razlikom temperature ΔT , koja se dobija kao razlika temperature zagrijanog dijela i referentne temperature za taj element.

Stepen intervencije i vremenski rok za izvršenje intervencije definisani su u određenim IEC standardima i preporukama kao i iskustvima korisnika [5]. Dakle, na osnovu vrijednosti ΔT donosi se odluka o brzini izvršenja intervencije. U tabeli I prikazani su kriterijumi za utvrđivanje neispravnosti ispitivanog elementa na osnovu dobijene razlike ΔT pri analizi termograma.

TABELA I: Kriterijumi za utvrđivanje neispravnosti ispitivanog elementa [6]

Temperaturna razlika ΔT	Preporuka
$0 < \Delta T < 5^\circ\text{C}$	Stanje elementa je redovno, nije potrebna intervencija
$5^\circ\text{C} < \Delta T < 30^\circ\text{C}$	Izvršiti servis pri redovnom održavanju
$30^\circ\text{C} < \Delta T < 65^\circ\text{C}$	Izvršiti servis što prije, vanredna intervencija
$\Delta T > 65^\circ\text{C}$	Stanje kritično, potrebna hitna intervencija

Nakon definisanja zagrijanih dijelova i utvrđivanja stepena intervencije, pristupa se mjerenju prelazne otpornosti na ugroženim kontaktima. Sve ove vrijednosti potrebno je unijeti u detaljan izvještaj.

B. Formiranje izvještaja termovizijskih ispitivanja

Radi povećanja pouzdanosti i efikasnosti obrade mjernih rezultata i održavanja potrebno je sačiniti detaljan izvještaj. Takav izvještaj treba da ima naslovnu stranu na kojima će biti osnovni podaci kao što su:

- Naziv kompanije koja vrši ispitivanja,
- Naslov izvještaja (npr. Izvještaj o specijalnim mjerenjima,
- Protokolni broj od izvještaja,
- Naziv organizacione jedinice kojoj objekat pripada,
- Naziv objekta u kojem se vrše ispitivanja,
- Imena osoba koja su vršila ispitivanja,
- Imena osoba koja su izradili izvještaj,
- Ime osobe koja ovjerava izvještaj,
- Ime osobe koja odobrava izvještaj,
- Datum izrade izvještaja.

Pored toga, izvještaj treba da sadrži opšte rubrike kao što su: naziv objekta, polje, element, datum/vrijeme, emisivnost, udaljenost od objekta, temperatura okoline (T_0), vlažnost vazduha. Ovi podaci su bitni radi same arhive i

daljeg praćenja stanja nakon intervencije, a istovremeno da se može vidjeti koliko je intervencija bila uspješna i da li će se uzrok zagrijavanja ponovo vratiti.

Nakon toga u izvještaj je potrebno navesti rezultate mjerenja, kao što su temperature zagrijanih kontakata (T_{AR01} , T_{AR02}), prekoračenje temperature na tim kontaktima ΔT_{AR01} ($T_{AR01} - T_0$), ΔT_{AR02} ($T_{AR02} - T_0$), struje po fazi (A). Time su precizno dati podaci o zagrijanosti kontakata (tabela II). Uz sve dobijene rezultate potrebno je sačiniti preporuku za sanaciju.

TABELA II: Primjer prikaza rezultata od termovizijskih ispitivanja nakon analize termograma

OBJEKAT	TS 400/220/110/35/10 kV Višegrad
Polje	Dalekovodno polje DV 400 kV Tuzla (C16)
Element	Izlazni rastavljač u DV 400 kV Tuzla, faza F8
Datum/vrijeme	22.01.2013. godine, 11:08:27
Emisivnost	0.95
Udaljenost od objekta	5 m
Temperatura okoline (T_0)	5 °C
Vlažnost vazduha	49% RH
REZULTATI MJERENJA	VRIJEDNOSTI
AR01 (T_{AR01})	19°C
AR02 (T_{AR02})	8.9 °C
ΔT_{AR01} ($T_{AR01} - T_0$)	14 °C
ΔT_{AR02} ($T_{AR02} - T_0$)	3.9 °C
Struje po fazi (A)	303 A
PREPORUKA	Sanirati mjesto zagrijavanja priključka prema SMT-u, faza F8

Ovi podaci integrisani sa termovizijskim izvještajem prikazanim na slici 2 se objedinjuju sa naslovnom stranom i čine termovizijski izvještaj koji se predaje nadležnoj službi ili instituciji koja se bavi održavanjem razvodnih postrojenja. Utvrđivanjem temperaturnih razlika, na osnovu kriterijuma iz tabele I se sačinjava plan sanacije zagrijanih dijelova.

C. Izvještaj nakon mjerenja prelazne otpornosti

Poslije utvrđivanja rasporeda isključivanja dijelova postrojenja na kojima je uočeno zagrijavanje pristupa se sanaciji zagrijanih dijelova (kontakata). Prvo se mjeri prelazna otpornost na zagrijanim dijelovima, a nakon što se utvrdi da je prelazna otpornost veća od dozvoljene pristupa se sanaciji. Poslije toga ponovo se mjeri prelazna otpornost da bi se utvrdilo da je sanacija bila uspješna, tj. da se prelazna otpornost smanjila. Sanacija i popravka zagrijanog kontakta se smatra uspješnom ako je izmjerena prelazna otpornost nakon sanacije manja od $2 \cdot 10^{-4} \Omega$. Sve ove vrijednosti se unose u tabelu u kojoj su prikazane vrijednosti prelazne otpornosti prije i poslije sanacije kontakata. Na osnovu vrijednosti struje u trenutku vršenja termovizijskih snimanja, računaju se i gubici snage na osnovu prelaznih otpornosti i takođe se unose

u tabelu da bi se vidjelo koliko je sanacija bila učinkovita i po pitanju smanjena gubitaka. I ovaj izvještaj je potrebno da sadrži naslovnu stranu na kojoj će se nalaziti podaci o osobama koje su izvršile intervenciju.

Uz naslovnu stranu prilaže se detaljan tabelarni prikaz sa već navedenim parametrima. Prikaz ovog izvještaja je u tabeli III.

TABELA III: Izvještaj nakon mjerenja prelazne otpornosti

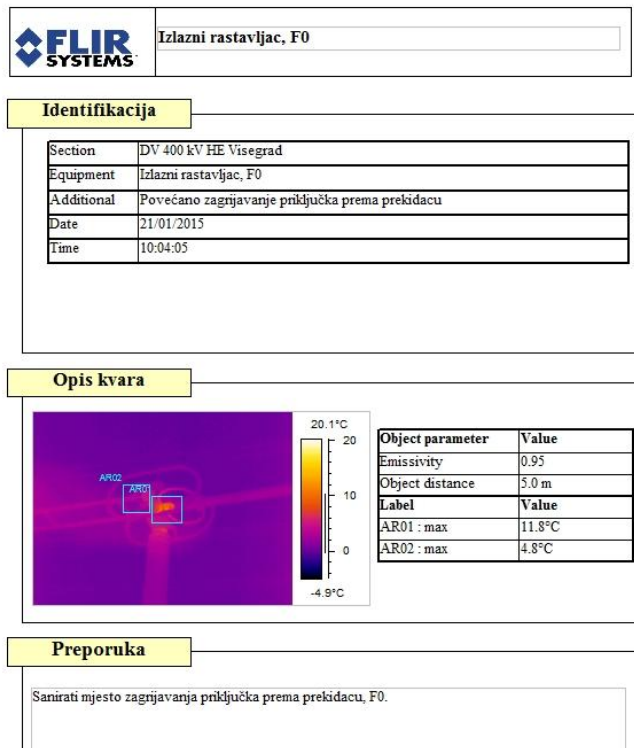
OBJEKAT	TS 400/220/110/35/10 kV Višegrad
Polje	Dalekovodno polje DV 400 kV Tuzla (C16)
Element	Izlazni rastavljač u DV 400 kV Tuzla, faza F8
Datum/vrijeme	22.01.2013. godine, 11:08:27
Emisivnost	0.95
Udaljenost od objekta	5 m
Temperatura okoline (T_0)	5 °C
Vlažnost vazduha	49% RH
REZULTATI MJERENJA	VRIJEDNOSTI
AR01 (T_{AR01})	19°C
AR02 (T_{AR02})	8.9 °C
ΔT_{AR01} ($T_{AR01} - T_0$)	14 °C
ΔT_{AR02} ($T_{AR02} - T_0$)	3.9 °C
Struje po fazi (A)	303 A
Otpornost kontakata	<u>Prije intervencije</u>
R_{AR01}	1.890 mΩ
R_{AR02}	0.206 mΩ
P_d (AR01)	173.5 W
P_d (AR02)	18.91 W
PREPORUKA	Sanirati mjesto zagrijavanja priključka prema SMT-u, faza F8
SANACIJA	Priključak je detaljno očišćen, premazan zaštitnim pastama i dotegnut.
Otpornost kontakata	<u>Poslije intervencije</u>
R_{AR01}	0.181 mΩ
R_{AR02}	0.206 mΩ
P_d (AR01)	16.61 W

Ovaj izvještaj se podnosi službi koja je izvršila termovizijska snimanja i koja će objediniti sve izvještaje, radi arhiviranja i daljeg praćenja stanja u postrojenju.

IV. PRIMJERI IZVJEŠTAJA TERMOVIZIJSKIH ISPITIVANJA

U ovom dijelu rada navedeni su primjeri analize termograma iz navedenog softvera, a zatim izvještaji koji se formiraju nakon same analize termograma i urađene sanacije zagrijanog kontakta i koji sadrže sve parametre koji su do sada navedeni.

Na slici 3 je prikazana analiza termograma na izlaznom rastavljaču na kome je uočeno zagrijavanje.



Slika 3. Analiza termograma izlaznog rastavljača u TS Višegrad na DV 400 kV HE Višegrad

Poslije analize termograma sačinjen je detaljan izvještaj koji sadrži sve navedene parametre. Navedene su vrijednosti i prije i poslije intervencije. Izvještaj ovog ispitivanja prikazan je u tabeli IV. Ovaj objedinjen izvještaj se čuva u arhivi radi daljeg praćenja stanja u postrojenju.

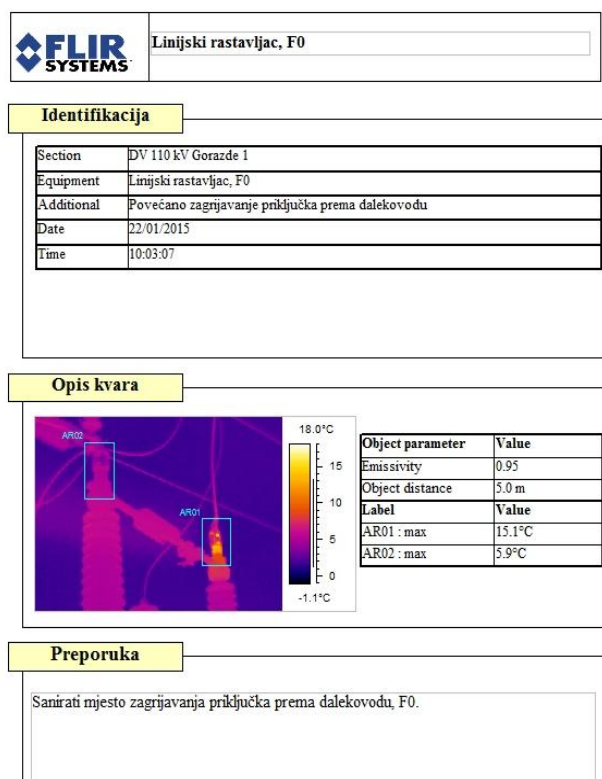
TABELA IV: Izvještaj ispitivanja na izlaznom rastavljaču u DV 400 kV HE Višegrad

OBJEKAT	TS 400/220/110/35/10 kV Višegrad
Polje	Dalekovodno polje DV 400 kV HE Višegrad (C14)
Element	Izlazni rastavljač u DV 400 kV HE Višegrad, faza F0
Datum/vrijeme	21.01.2015. godine, 10:04:05
Emisivnost	0.95
Udaljenost od objekta	5 m
Temperatura okoline (T_0)	2.5 °C
Vlažnost vazduha	75% RH
REZULTATI MJERENJA	VRIJEDNOSTI
AR01 (T_{AR01})	11.8°C
$\Delta T_{AR01} (T_{AR01} - T_0)$	9.3 °C
AR02 (T_{AR02})	4.8 °C
$\Delta T_{AR02} (T_{AR02} - T_0)$	2.3 °C
Struje po fazi (A)	369 A

Otpornost kontakata	Prije intervencije
R_{AR01}	1.328 mΩ
$P_d (AR01)$	180.82 W
PREPORUKA	Sanirati mjesto zagrijavanja priključka prema prekidaču, faza F0
SANACIJA	Priključak je detaljno očišćen, premazan zaštitnim pastama i dotegnut.
R_{AR01}	0.133mΩ
$P_d (AR01)$	18.10 W

Prilikom termovizijskih snimanja, struja na ovom dalekovodu je iznosila 369 A, što povećava rizik od pregrijavanja ovog dijela postrojenja. Zbog toga je bilo potrebno sanirati ovaj kontakt što prije, jer pri svakom i minimalnom povećanju prelazne otpornosti dolazi do znatnog povećanja gubitaka snage i povećanja temperature, što može dovesti do ispada dalekovoda, a samim tim i hidroelektrane iz sistema, što bi bio veliki gubitak za cio EES.

Na sljedećem primjeru (slika 4) biće prikazana analiza i izvještaj termovizijskih ispitivanja na linijskom rastavljaču u TS Goražde 2 na DV 110 kV Goražde 1.



Slika 4. Analiza termograma linijskog rastavljača u TS Goražde 2 na DV 110 kV Goražde 1

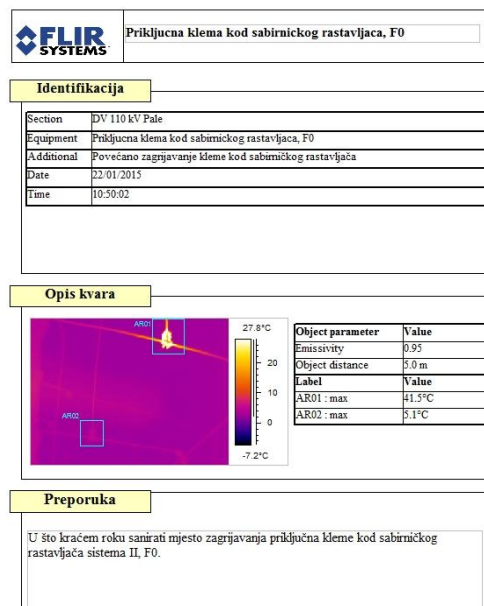
Nakon analize termograma urađen je izvještaj sa svim parametrima i njihovim vrijednostima koji nam govore o stepenu ugroženosti postrojenja i brzine intervencije. Na osnovu izvještaja može se zaključiti da vrijednost prelazne otpornosti nije izazivala zagrijavanje koje je trenutno opasno, što se moglo i zaključiti na osnovu vrijednosti ΔT . Zbog navedenih kriterijuma, sanaciji se pristupilo prilikom prvog

redovnog isključenja dalekovoda. Izvještaj od ovog ispitivanja je prikazan u tabeli V.

TABELA V: Izvještaj ispitivanja na linijskom rastavljaču u DV 110 kV Goražde 1.

OBJEKAT	TS 110/20/10 kV Goražde 2
Polje	DV 110 kV Goražde 1 (E04)
Element	Linijski rastavljači F0
Datum/vrijeme	22.01.2015. godine, 10:03:07
Emisivnost	0.95
Udaljenost od objekta	5 m
Temperatura okoline (T_0)	4 °C
Vlažnost vazduha	83% RH
REZULTATI MJERENJA	VRIJEDNOSTI
AR01 (T_{AR01})	15.1°C
AR02 (T_{AR02})	5.9°C
ΔT_{AR01} ($T_{AR01} - T_0$)	11.1 °C
ΔT_{AR02} ($T_{AR02} - T_0$)	1.9 °C
Struje po fazi (A)	132 A
Otpornost kontakata	<u>Prije intervencije</u>
R_{AR01}	1.298 mΩ
P_d (AR01)	22.61 W
PREPORUKA	Sanirati mjesta zagrijavanja priključka prema dalekovodu
SANACIJA	Priključak rastavljača prema dalekovodu je detaljno očišćen od oksidacije, premazan zaštitnim pastama i dotegnut.
R_{AR01}	0.021 mΩ
P_d (AR01)	0.36 W

Prilikom termovizijskih ispitivanja u TS Goražde 1, uočeno je povećano zagrijavanje na priključnoj klemi kod sabirničkog rastavljača u dalekovodnom polju DV 110 kV Pale. Analiza ovog termograma je prikazana na slici 5.



Slika 5. Analiza termograma priključne klemne u TS Goražde 1 na DV 110 kV Pale

Analizom termograma utvrđeno je da je temperatura priključne klemne iznosila 41.5 °C, što je pri referentnoj temperaturi od 3.5 °C veliko zagrijavanje i to zahtjeva sanaciju u što kraćem roku. Izvještaj ovog ispitivanja sa svim potrebnim parametrima je prikazan u tabeli VI.

TABELA VI: Izvještaj ispitivanja na DV 110 kV Pale

OBJEKAT	TS 110/35/20/10 kV Goražde 1
Polje	DV 110 kV Pale (E04)
Element	Priključna klemna kod sabirničkog rastavljača F0
Datum/vrijeme	22.01.2015. godine, 10:50:02
Emisivnost	0.95
Udaljenost od objekta	5 m
Temperatura okoline (T_0)	3.5 °C
Vlažnost vazduha	83% RH
REZULTATI MJERENJA	VRIJEDNOSTI
AR01 (T_{AR01})	41.5°C
AR02 (T_{AR02})	5.1°C
ΔT_{AR01} ($T_{AR01} - T_0$)	38 °C
ΔT_{AR02} ($T_{AR02} - T_0$)	1.6 °C
Struje po fazi (A)	67 A
Otpornost kontakata	<u>Prije intervencije</u>
R_{AR01}	3.323 mΩ
P_d (AR01)	19.91 W
PREPORUKA	U što kraćem roku sanirati mjesto zagrijavanja priključne klemne kod sabirničkog rastavljača sistema II, F0
SANACIJA	Priključna klemna kod sabirničkog rastavljača je detaljno očišćena od oksidacije, premazana zaštitnim pastama i dotegnuta.

R_{AR01}	0.098 m Ω
P_d (AR01)	0.43 W

Nakon analize termograma i uočavanja velikog zagrijavanja priključne kleme, preporukom, ali i definisanim kriterijumima odstupanja izmjerene temperature od referentne, dalekovod je isključen i pristupilo se sanaciji na ovoj klemi. Prilikom sanacije kleme izmjerena je prelazna otpornost na tom mjestu od 3.323 m Ω , što je mnogo više od dozvoljenog. Vidi se da je i pri nižem opterećenju dolazilo do većeg zagrijavanja, što bi prilikom povećanja struje kroz dalekovod moglo izazvati mnogo veće gubitke ali i kvarove. Nakon dotezanja kleme i čišćenja, izmjerena prelazna otpornost se nalazila u dozvoljenim granicama, što ukazuje da je intervencija bila uspješna i pravovremena.

V. ZAKLJUČAK

Analizom termograma i detaljnim sačinjavanjem izvještaja mogu se postići bolji rezultati na otklanjanju uzroka zagrijavanja. Ovi izvještaji treba da budu jasni i precizni, da sadrže sve navedene parametre i opisne rubrike, kako bi intervencije bile efikasne, precizne i uspješne. Nakon samih intervencija i objedinjavanja svih izvještaja, potrebno ih je arhivirati ili sačiniti bazu podataka sa izvještajima, i na osnovu njih pratiti buduće pojave potencijalnih mjesta kvarova. Na osnovu ovakve baze mogu se izvoditi analize o stanju postrojenja kao i histogrami praćenja intervencija, radnih sati, ukupnog vremena potrebnog za servis itd., tako da se mogu identifikovati i markirati slabe tačke sistema na koje je potrebno obratiti posebnu pažnju tokom redovnog i preventivnog monitoringa. Ovakav način analize i sačinjavanje izvještaja je preporuka autora ovog rada.

LITERATURA

- [1] Predrag Šaraba, Božidar Popović, Dražan Krsmanović „Preventivno termovizijsko snimanje elektroenergetskih postrojenja metodom IR termografije“, Infoteh- Jahorina, mart 2015.
- [2] Predrag Šaraba, Božidar Popović, Dražan Krsmanović, „Preventivno termovizijsko snimanje VN rastavljača“ IV Savjetovanje CG KO CIGRE, Igalo, maj 2015
- [3] FLIR, User’s manual Flir R&D Software 3.3..
- [4] Predrag Šaraba, Božidar Popović, Dražan Krsmanović, „Primjena IR termografije kao jedne od metoda u preventivnom održavanju VN prekidača“, BH K CIGRE, Neum, oktobar 2015.
- [5] D.L.Johnson, “Bonneville Power Administration”, D.E. Bates, “Alabama Power Company”, A.J.Roy, “Northeast Utilities”.
- [6] Mr Evelin Sokolović, dipl.ing.el. Goran Skelo, dipl.ing.el. Mehmed Hadžić, dipl.ing.el. Fikret Velagić, dipl.ing.el. „Razmatranje kriterija koji se koriste kod termovizijskog pregleda elektroenergetskih postrojenja“, BH K CIGRE, Neum, oktobar 2015.

ABSTRACT

This paper will show the form of the draft report, which combines in one unit the results of preventive thermographic measurement and maintenance. These tests

allow the detection of potential faults in which to make appropriate conclusions about the level and scope of intervention to be undertaken in the course of preventive, routine or emergency maintenance. The report represents a unique document composed of two parts. The first brings together the results of measurements with thermal imaging thermograms observed for more points and recommendations relating to the level of intervention, while the other presented the measurement of transient resistance and dissipated power before and after completion of the proposed intervention. To be on the basis of the measurements could no substantial intervention in the vulnerable areas in the power plant, it is necessary to draw up a detailed report after thermal imaging recording which must contain accurate records that will clearly show the state of the plant and the level of intervention is to be carried out to avoid unforeseen failure in the power system.

CREATING REPORTS THERMAL IMAGING TESTS IN POWER PLANTS

Predrag Šaraba, Božidar Popović, Zoran Ljuboje