

RAZVOJ TERMORIZISKIH - TERMOGRAFSKIH ISPITIVANJA U ELEKTROTEHNIČKOM INSTITUTU "NIKOLA TESLA"

Miomir Senčanić, dipl.ing

U okviru svoje delatnosti i rada Centra elektroenergetski objekti postojala je i postoji stalna težnja i interesovanje za razvijanje i uvođenje novih metoda u cilju primene savremenih ispitivanja u okviru održavanja elektroenergetskih sistema (EES). Sredinom 60-tih godina prošlog veka komercijalizovani su iz vojnog programa (za civilnu upotrebu) uređaji koji su u stanju da pretvore, za ljudsko oko nevidljivu termičku sliku u vidljivu sliku sa mogućnošću pretvaranja u termičke jedinice. Takvi uređaji su privukli pažnju saradnika Instituta koji su dali sebi zadatak da primenljivost i korisnost takvog uređaja prouče i primene pri kontroli i oceni termičkog stanja elektroenergetske opreme (EEO) u našim EES. Pristupilo se sveobuhvatnoj analizi, a koja je podrazumevala : razjašnjenje teorije fizičkih principa infracrvenog zračenja, osvajanje i rad sa uređajem i njegovu primenljivost, a potom i odabir odgovarajućeg modela uređaja sa dodatnom opremom. Rezultati takvog pristupa obrađeni su u studiji „Mogućnosti merenja zagrevanja delova pod naponom“ [1].

Na osnovu takvog studijskog rada 1969. godine uz pomoć Zajednice Elektroprivrede (ZEP) nabavljen je prvi put u našoj zemlji termografski – termovizijski komplet proizvodnje AGA iz Švedske model Typ 665. Tadašnja primenjena tehnologija uređaja bazirala se na infracrvenim sensorima indijum antimonida (InSb) hlađenim u tečnom azotu (-196°C) i mehaničkom skeniranju slike - objekta pomoću prizmi i ogledala. Fotografisanje termičke slike sa monitora snimano je klasičnim fotoaparatom. Termovizijski sistem se sastojao iz procesne jedinice (na kojoj je ugrađen monitor) i kamere gde se skenirao posmatrani objekat. Ukupna težina opreme iznosila je oko 50 kg.



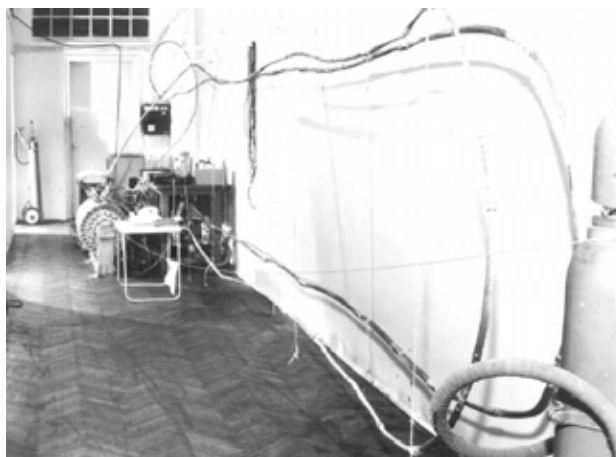
Slika 1.
Fotografija prvog
termovizijskog
kompleta AGA 660 iz
1969 godine

Zbog velike gabaritnosti postojala su neka ograničenja pri manipulativnosti sa opremom ali bez obzira na ove poteškoće, uvođenjem takve nove metode u velikoj meri se održavanje opreme u visokonaponskim (VN) postrojenjima podiglo na znatno viši nivo u odnosu na prethodno ispitivanje i održavanje.

Nakon osposobljavanja saradnika sa termovizijskim uređajem pristupilo sa termovizijskim kontrolama u realnim uslovima na elektroenergetskoj opremi u trafostanicama (TS) i razvodnim postrojenjima (RP). Na samom početku i u toku izvođenja kontrola na objektima ZEP potvrđena je, zahvaljujući dobroj pripremi, korisnost ove metode. Pritom su uočeni bitni parametri koji direktno učestvuju u određivanju tačnih vrednosti temperatura na „toplom mestu“ (tm). Termografski uređaji rade na principu merenja energije zračenja koje telo odaje u okolni prostor. Da bi odredili što tačnije temperaturu sa površine posmatranog objekta potrebno je poznavati niz vrlo bitnih parametara koji učestvuju u izračunavanju, kao što su: koeficijent zračenja površine objekta, vrsta materijala objekta, stanje površine objekta, boja površine objekta, nivo temperature na objektu, udaljenost do mernog objekta, atmosferska sredina u kojoj se nalazi objekat i sl. Za što tačnije određivanje temperature na objektu najdelikatniji parametar koji direktno na to utiče je koeficijent emisije materijala objekta. Iz tog razloga saradnici Instituta su sebi postavili i definisali program koji je imao za cilj da se što tačnije eksperimentalno odrede koeficijenti emisije ugrađenih materijala u našim postrojenjima (kao što su: stezaljke, spojnice, aparatne i ostale priključne stezaljke, užadi i sl.).

Pristupilo se eksperimentalnom određivanju koeficijenta emisije tako što su odabrani i uzeti karakteristični uzorci elemenata iz raznih postrojenja, a koji su potom montirani u strujni krug da bi se podvrgli različitim opterećenjima u laboratorijskim uslovima (Slika 2. fotografija strujnog kruga sa ugrađenim uzorcima). Napajanje petlje je ostvareno preko jakog strujnog izvora odnosno, preko motor-generatorske grupe u laboratoriji Instituta. Načinjen je niz ciklusa opterećenja tako formirane strujne petlje, a podaci su naknadno statistički obrađivani u cilju dobijanja tačnijih vrednosti koeficijenta emisije za svaki karakteristični uzorak. Takav način određivanja koeficijenta emisije je kvalitativno podiglo nivo tačnosti određivanja temperature na mernim mestima. Ovakav pristup rešavanja merne nesigurnosti je bio neophodan kao i za većinu mernih metoda koji u sebi sadrže parametre koji direktno utiču na rezultat merenja.

Slika 2.
Fotografija strujnog
kruga sa ugrađenim
spojnim elementima



U samom početku nepoznanica je bila, jer nije bilo nikakvog prethodnog iskustva, odrediti šta je i koliko nešto neispravno samo na osnovu merene temperaturne razlike neispravnog i ispravnog - referentnog elementa. Kategorizacija neispravnosti je usvojena od strane proizvođača termovizijske opreme i preporuka drugih korisnika u svetu koji su već uveli termovizijska ispitivanja u EES. Te kategorije su razvrstane prema nivou pregrevanja (odnosno razlikama temperature) u tri kategorije i to sa pregrevanjem:

- I - do 10°C (intervencija u periodu do nekoliko meseci),
- II - od 10°C do 30°C (intervencija u roku od 30 do 60 dana) i
- III - preko 30°C (hitna intervencija u što kraćem roku)

Prema usvojenim kriterijumima vezanim za visinu pregrevanja direktno su određeni rokovi ekipama za obavljanje remonata (zamena elemenata ili hitna isključenja).

Na osnovu takve temeljite pripreme u prvoj godini primene (1969 godine) obavljeno je ispitivanje na par velikih objekata u sistemu ZEP. Već sledeće godine 1970. ispitana su 22 objekta i pritom registrovano 721 toplo mesto. Opravdanost uvođenja termografskih kontrola je nesumnjiva, što je i bio zaključak objavljenog rada „Termovizijska ispitivanja elektroprivrednih postrojenja visokog napona u periodu 1970-1972. godine,“ [2]. Navešće se izvodi iz objavljenih referata na Savetovanjima JUGEL-a u Primoštenu i Sarajevu :

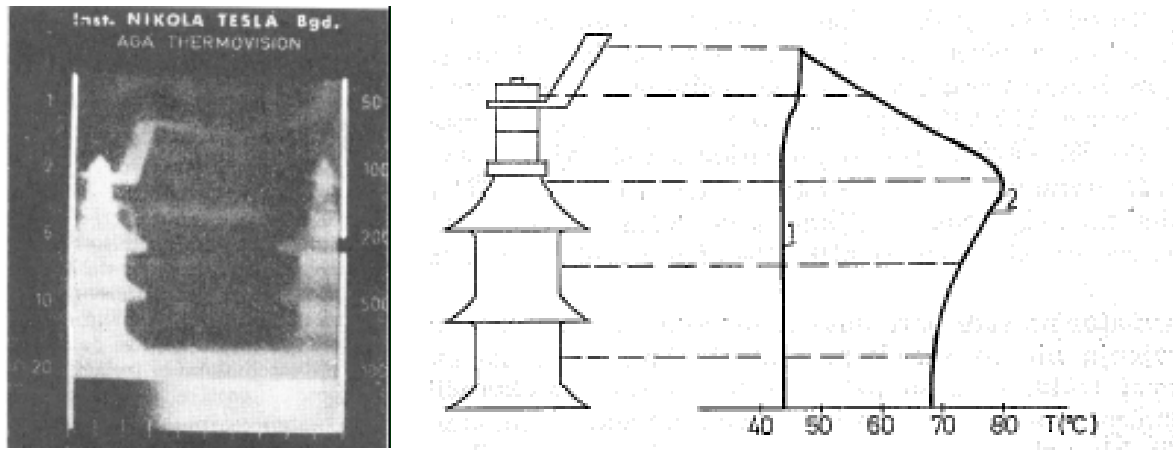
- Smanjen je uzrok relativno čestih havarija i prekida pogona.
- Neispravnosti se otkrivaju ne samo na vidljivim spojevima već i unutrašnjosti pojedinih aparata.
- Broj ispitivanih objekata raste iz godine u godinu i to: 1970. godine 22 objekta, 1971. godine 67 objekta, 1972. godine 98 objekata odnosno, broj registrovanih 721 toplih mesta u 1970., 1786 toplih mesta u 1971. i 2022 toplo mesto u 1972. godini.
- Stečeno je bogato iskustvo iz prakse i pored toga što je do tada bilo malo podataka u stručnoj literaturi iz praktične primene.

Već tada se na osnovu sistematskih kontrola i dobijenih rezultata ispitivanja moglo konstatovati da je napravljen veliki pomak u održavanju EEO. Značajan napredak je bio i u mogućnosti da se iz podataka o termovizijskim ispitivanjima mogu sada razvrstati i mogući uzroci pregrevanja na toplim mestima. Tako dobijene informacije su od velikog značaja za korisnike jer ukazuju na moguće uzročnike pregrevanja, kao što su: neadekvatno održavanje ili nekvalitetan remont opreme, neodgovarajući ugrađeni materijali, konstruktivni nedostaci ili loša rešenja delova opreme i sl. Svako zapažanje u toku kontrole ili zaključak na osnovu praćenja neispravnosti vodi ka cilju poboljšavanja sigurnosti i manipulativnosti postrojenja. U svemu tome i konstruktori opreme imaju dobru podlogu za poboljšanja pri projektovanju opreme ili pri izboru drugih vrsta materijala za ugradnju.

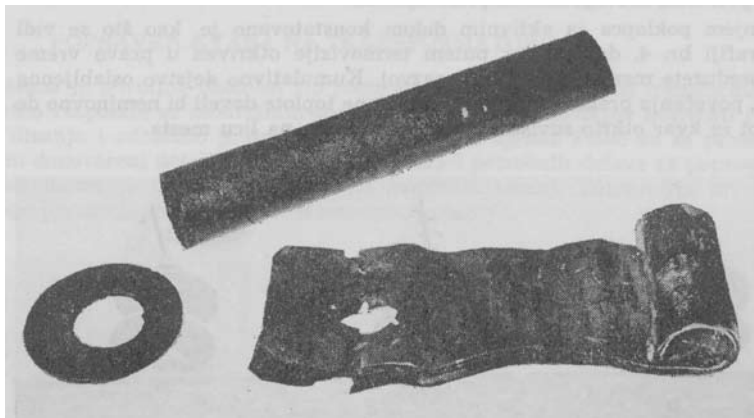
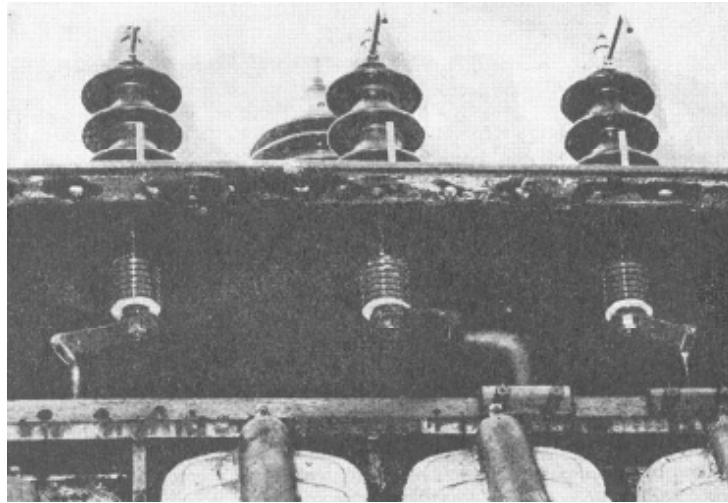
Znači, uvođenjem termovizijskih kontrola (koje se izvode u pogonu ne ometajući normalan rad postrojenja) prevaziđeni su nedostaci dotadašnjih metoda ispitivanja. Ispitivanja su bila uglavnom vezana za niz metoda kada postrojenje ne radi (merenje pada napona, ugradnja različitih pomoćnih sredstava za kontrolu zagrevanja: nanošenjem boje, traka i sl. koji su na neki način ostavljale promenu na njima u zavisnosti od nivoa pregrevanja). Poseban značaj termovizijskih ispitivanja je: da se termičko stanje postrojenja može utvrditi vrlo brzo sa uvidom u ugroženosti opreme, zatim da se mogu sa dobrom procenom planirati intervencije sa dovoljno tačnim rokovima izvođenja remonta, da se dobro planiraju rezervni delovi za ugradnju i na kraju da se optimalno odrede ekipe koja će intervenisati na poznatim mestima neispravnosti. Ovakav pristup u celosti je uklopljen u lanac savremenog održavanja EEO sa nesumnjivim velikim ekonomskim uštedama.

U samom početku značajna potpora u primeni termografskih kontrola je slučaj iz prakse koji je doprineo da se ispitivanja prihvate kao dobra i korisna metoda sa mogućnošću otkrivanja neispravnosti u unutrašnjosti pojedinih aparata. U toku već redovnih kontrola 1972. godine zapaženo je da se provodni izolator 35 kV na transformatoru 110/35 kV (TS Beograd 1) više greje od spoljašnjeg priključka a takođe znatno više od susednih provodnih izolatora. S obzirom da se takav slučaj prvi put pojavio u praksi i u tom momentu nije bilo objašnjenja, preduzete su mere sa ciljem da se ta pojava istraži. Kao prvi korak u razjašnjenju, snimana je raspodela temperature duž provodnog izolatora ne samo na izolatoru sa povećanim zagrevanjima već i na susednim izolatorima. Nacrtane su krive raspodele temperatura (Slika 3) i na osnovu toga napravljena je uporedna analiza raspodele uzevši u obzir i ostale pogonske događaje i moguće uzroke grejanja. Eliminacijom mogućih izvora grejanja došlo se do jedino mogućeg objašnjenja da se radi o neispravnosti u delu koji termovizijska kamera ne „vidi“ odnosno, da je izvor grejanja na donjem priključku uvodnog izolatora (veza prema namotaju). U to vreme nije bilo lako obezbediti otvaranje transformatora i utvrditi uzrok grejanja (na osnovu metode koja se još nije potvrdila) ali uz podršku i razumevanje korisnika (Elektroistok) transformator je otvoren i pritom izvršena verifikacija neispravnosti. Ustanovljeno je da su oštećene elastične veze na donjem priključku uvodnog izolatora koja vodi prema namotaju i pritom konstatovano sledeće:

- da je veza bila temperaturno deformisana
- da je neispravnost potencijalno havarijsko mesto
- da je neispravnost otkrivena pravovremeno.



Slika 3.
Termogram
provodnih izolatora
sa temperaturnom
raspodelom
i fotografije
neispravnih
elemenata



Rad je objavljen na XI savetovanju CIGRE 1972. godine u Ohridu, „Kvar transformatora snage 110/35 kV 30 MVA u TS Beograd 1 [3].

Svakako da je ovaj primer još jednom potvrdio korisnost metode sa jedne strane a sa druge otvorio mogućnost da se metoda može proširiti i na detekciju neispravnosti u unutrašnjosti ne samo transformatora već i na ostalu opreme u postrojenju, kao što su: merni naponski i strujni transformatori, odvodnici prenapona, prekidači, kablovske završnice i sl.

Sledeće aktivnosti su bile na polju detekcije i razjašnjenja neispravnosti u unutrašnjosti pojedine opreme. Za tačnu dijagnostiku neispravnosti unutrašnje prirode potrebno je poznavati konstrukciju aparata, moguće puteve iznošenja toplote na površinu, funkcionisanje aparata i sl. Tek posle analize termičke slike svakog pojedinačnog aparata se mogu doneti zaključci o uzroku grejanja koji se nalazi u unutrašnjosti aparata. Navedene kategorije pregrevanja za neispravnosti spoljašnje prirode u ovim slučajevima nisu primenljive već se kategorizacija neispravnosti lociranih u unutrašnjosti aparata određuje prema tipu, konstrukciji i opterećenju aparata (na primer - mala pregrevanja od 3°C do 5°C u unutrašnjosti komore uljnog prekidača mogu biti opasna i preporučuje se hitna intervencija).

Narednih godina broj ispitivanih objekata se sve više povećavao iz godine u godinu. Kontrolama su obuhvaćena postrojenja širom tadašnje Jugoslavije. U početku su obuhvaćeni samo najznačajniji objekti a kasnije su se kontrole proširile i na objekte svih prenosnih organizacija u svim tadašnjim republikama u Jugoslaviji.

Ogroman broj podataka je u određenom periodu podrazumevao i njihovu obradu u smislu iskoristivosti kao podlogu za dalje pravce primene uvedene metode. Rezultat takve sistematizacije podataka 1975. godine je dat u Studiji „Statistička obrada i analiza rezultata termovizijske kontrole elemenata visokonaponskih objekata“ koja je urađena za potrebe ZEP-a [4].

Stručnoj javnosti su prezentirani rezultati termografskih ispitivanja preko odgovarajućih referata a najviše kroz radove na savetovanju elektroenergetičara JUKO CIGRE. Navešće se zaključak iz rada objavljenog na XIII Savetovanju CIGRE na Bledu 1977. godine „Termovizijska ispitivanja „Elektroprenosa“ Sarajevo u periodu 1970 – 1976 godine“ [5]:

- Termovizijska ispitivanja su u potpunosti opravdala sva očekivanja i dokazala svoju korisnost na polju preventivnih ispitivanja s tim da su već u 1976. godini u Elektroprivredi kontrolisani svi značajni objekti,
- Stvoreni su uslovi za detaljnu statističku analizu na nivou JUGEL- a,
- Potrebno je nastaviti dalja istraživanja i razmatrati mogućnosti primena u proširenju termovizijskih ispitivanja (kao su na: dalekovodima, termoenergetskim postrojenjima, na otkrivanju unutrašnjih neispravnosti, na primeni kriterijuma za procenu neispravnosti i hitnosti intervencija).

U međuvremenu, proizvođači termovizijskih - termografskih uređaja pratili su savremeni tehnološki razvoj i sva savremena rešenja implementirana su u određenom periodu u ove uređaje. Već 1973. godine pojavili su se termografski kompleti koji su u sebi sadržali tehnologiju integrisanih kola a skeniranje slike obavljalo pomoću rotirajućih prizmi. Rad sa takvom opremom je bio daleko lakši u poređenju sa dotadašnjom, pre svega zbog male težine i gabaritnosti koja je (sa monitorom i kamerom) iznosila 15 kg, autonomnim napajanjem i mogućnosti snimanja termograma na polaroid film. Institut je takav tip uređaja (model AGA 750) nabavio već 1973. godine uz pomoć ZEP i svoju mobilnost podigao u smislu proširenja primene na veći broj objekata, ne samo kod

elektroprenosnih organizacija i distribucije već i u industrijskim postrojenjima. Ista takva garnitura je kupljena sredstvima Instituta 1977. godine kada su formirane dve nezavisne ekipe i time značajno proširile obim ispitivanja i u drugim oblastima primene.

Slika 4.
Termovizijski komplet
AGA 750



Stalan porast ispitanih objekata ilustrovaće se primerom u periodu od 1975. godine do 1983. godine, kada su se kontrole proširile na elektroprivredne objekte u svim republikama tadašnje Jugoslavije (tabela 1).

| Godina | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Broj ispitanih objekata | 166 | 196 | 238 | 245 | 298 | 393 | 421 | 535 | 549 |

Tabela br. 1.
Broj ispitanih objekata u razdoblju 1975. do 1983. godine

Narednih godina broj ispitivanih objekata je stalno rastao jer su i mnogi drugi korisnici prihvatili ovu metodu kao vrlo značajnu u održavanju svojih postrojenja, kao što su: industrijska postrojenja, energane, vodoprivredne organizacije i veliki broj korisnika sa povećanom potrošnjom električne i toplotne energije. Da je broj ispitanih objekata rastao svedoče podaci da od 1972. godine, kada su uvedene termovizijske kontrole, broj ispitivanih objekata je uvećan na 860 (desetostruko povećanje) u 1985. godini.

U 1985. godine nabavljena je nova savremena garnitura termografskog uređaja (AGEMA 782) sa mogućnošću zapisa na magnetnom mediju i prezentacijom termograma u koloru putem DISCAM uređaja (Slika 5). Takva hardverska podrška pružila je nove i veće mogućnosti primene termografije i olakšala rad u smislu praćenja termičkih procesa u vremenu a naročito u obradi temperaturnih polja (u procesnim industrijama i tamo gde su posmatrane površine objekta vrlo velike).

Slika 5.
Termovizijski komplet
AGA 782 sa priborom
za kolor prezentaciju



Sistematskim radom i velikim iskustvom stečena je podloga da se termovizijske kontrole mogu proširiti i na drugu opremu koja do tada nije ispitivana. Iz mnoštva dobijenih rezultata ispitivanja mogu se izvući vrlo korisni zaključci. Iz tog razloga urađena je studija 1986. godine za potrebe EPS-a „Istraživanje mogućnosti proširenja i usavršavanja primene termovizije u elektroprivredi“, [6]. U studiji je izvršena sveobuhvatna statistička analiza i sistematizacija dotadašnjih rezultata primene termovizijskih kontrola. Na osnovu tako dobijenih podataka dati su zaključci i predložene mere za smanjenje nedostataka utvrđenih dotadašnjom primenom kao i mere za njihovo rešavanje u vidu programa za proširenje rada. U okviru programa proširenja dokumentovana je dijagnostika unutrašnjih kvarova sa korelacijama merenih temperatura na spoljašnjim površinama i u unutrašnjosti pojedinih aparata (transformatora snage i prekidača). Navedena dijagnostika je zasnovana na obrađenim podacima dobijenih eksperimentima o simuliranim neispravnostima navedenih aparata u laboratorijskim uslovima i primerima iz prakse.

Između ostalog, zaključak studije nije bio samo na konstataciji o povećanju broja ispitanih objekata već i u pronalaženju i praćenju neispravnosti u vremenu i arhiviranju dobijenih podataka, a kao krajnji rezultat je stalno smanjivanje broja toplih mesta.

To je potvrđeno u radu 1987. godine na XVIII savetovanju CIGRE [7], Budva „Sistematska obrada rezultata termovizijskih ispitivanja u razvodnim postrojenjima“ u kome su izneti rezultati praćeni u kontinuitetu 16 godina. Zaključci sistematskog rada su:

- da se ukupan broj toplih mesta sveo na 45 % od početnih vrednosti ispitivanja,
- da su značajna smanjenja neispravnosti toplih mesta u trećoj kategoriji pregrevanja (što znači da se pouzdanost postrojenja znatno povećao),
- da su obrađene i razvrstane neispravnosti prema: naponskom nivou, vrsti aparata i elemenata u postrojenju
- da su detektovana topla mesta koja se ponavljaju u toku niz godina ispitivanja, što ukazuju na direktne uzroke neispravnosti.

Daljim radom na primeni termovizijskih ispitivanja nametnuo se zaključak da se korisnost metode može podići na još viši nivo. Pravci rada su bili da se ispitivanja ne završavaju time što se kontrole obave i sačine zvanični izveštaji o neispravnostima uz određena zapažanja, već da je krajnji cilj detekcija uzroka pojavljivanja i nastajanja toplih mesta.

Za takvu sveobuhvatnu analizu potrebno je u razmatranje uključiti niz podataka kao što su: proizvođač i tip aparata, karakteristika aparata, ugrađeni materijali, zapažanja u toku rada, izveštaj o izvršenim intervencijama, remontima i sl. Dalji rad je bio na definisanju metodologije koja je ostvarena putem stvaranja tzv. "povratnih veza" između Instituta (izvođača ispitivanja) i korisnika opreme. Povratne veze su formirane tako što su u Institutu sačinjeni obrasci u koje su se unosili svi relevantni podaci i zapažanja u toku revizija (mogući uzroci nastajanja neispravnosti, podaci o izvršenim radovima, zatečeno stanje opreme sa konstatacijom i sl.).

Analize su proširene podacima o ugrađenim materijalima i zapažanjima u toku redovnih remonata ili intervencijama na aparatima. Rezultati ovih analiza o ponašanju opreme u eksploataciji nisu važni samo za korisnike već su daleko značajniji za proizvođače opreme. Detaljna analiza posvećena je najčešćim neispravnostima u određenom periodu posmatranja. Rezultat analize je ukazivao na veliki broj neispravnosti na priključnim elementima aparata, uključujući ugrađene materijale (radi se o spojevima između priključka aparata i priključnih elemenata za aparat).

Takvim pristupom dobila se realna slika primenjenih kombinacija materijala na priključnim elementima i njihovo međusobno elektrohemijsko delovanje u praksi. Otkljanjanje neispravnosti je olakšano jer je moguća intervencija određena adekvatnijem izborom, npr: nanošenje odgovarajućih pasti na kontaktne površine ili zamenom postojećih elemenata sa drugim vrstama materijala ili ubacivanjem raznih podložki u kombinaciji sa različitim materijalima (prelazni elementi) i sl.

Da bi analiza bila što celovitija, podaci su dopunjeni informacijama o "ponavljanju toplih mesta" (ponavljanje istih mesta neispravnosti u višegodišnjim kontrolama). Podatak o ponavljanju toplog mesta na istoj lokaciji u kombinaciji sa napred navedenim zapažanjima sa sigurnošću daje odgovor o uzroku nastajanja neispravnosti. Uzroci neispravnosti se tačnije detektuju i lociraju, kao što su: neadekvatno obavljena montaža, loše izvršeni remont, neodgovarajući ugrađeni materijali, konstruktivne greške koje su se pojavili u toku eksploatacije, ljudski faktor i sl.

Rezultati iz navedenih postupaka koji su primenjeni za sva postrojenja Elektroistok za određeni period, data su u radu "Pregled rezultata termovizijskih kontrola u postrojenjima Elektroistok-a u periodu 1997–2002" [8], Zbornik Instituta u 2003 godini.

Navešće se samo neki značajni podaci iz Preglednog rada. Sistematizacijom toplih mesta po svakom pojedinom elementu locirana su mesta koja su se izdvojila kao najveći nosioci neispravnosti. To su aparatne priključne stezaljke čije su neispravnosti dominantne u odnosu na ukupan broj "toplih mesta". Ukoliko njima pridruže i ostale stezaljke u postrojenju tada je učešće stezaljki u ukupnom broju "toplih mesta" preko 80%. To ukazuje da je potrebno izvršiti detaljniju analizu tih elemenata, kao što je: pregled o izvršenim intervencijama na stezaljkama razvrstanih prema nameni i vrsti stezaljki, zatim analizu istih stezaljki prema materijalima i to kako o materijalima od kojih su sastavljene stezaljke tako i o materijalima od kojih su sačinjeni priključci aparata na koje se one ugrađuju (tabela 2).

Tabela 2.
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 | 21 |

Interesantna su dalja zapažanja detektovana pri intervencijama na registrovanim neispravnostima. To je svakako korisno remontnim ekipama jer ukazuje na mesta kojima se mora posvetiti veća pažnja, naročito ako se radi o ponavljanim neispravnosti iz godine u godinu. Ti podaci su takođe dragoceni i za konstruktore i proizvođače opreme koji, eliminisanjem eventualnih konstruktorskih i tehnoloških uzroka neispravnosti doprinose povećanju kvaliteta opreme u toku eksploatacije (tabela 3).

Tabela 3.
Prikaz materijala stezaljki, priključaka aparata, provodnika i prelaznih stezaljki na registrovanim neispravnostima u 2001. godini

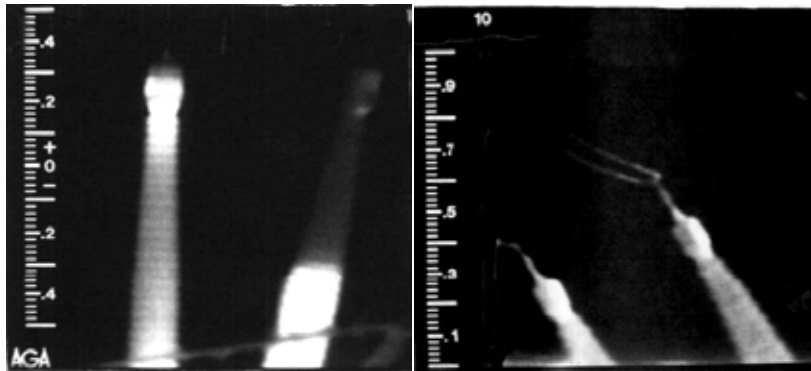
| Materijal | Vrsta stezaljki | | Priključci aparata | Provodnici | Prelazne stezaljke |
|---------------------|-----------------|-------------|--------------------|------------|--------------------|
| | Kompresione | Na zavrtanj | | | |
| Čelik | | | 55 | | |
| Temper liv | | | 1 | | |
| Al | 1 | 116 | 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 Cu Al pločice | | | | | 3 |
| Ostalo | | 21 | 9 | | |
| Ukupno | 12 | 231 | 224 | 19 | 5 |

Zapaženo je da je učešće Al stezaljki u ukupnim neispravnostima u kombinaciji sa drugim materijalima priključaka značajno, a dominantno kad je vrsta stezaljki na zavrtnanj. To svakako govori da se mora posvetiti veća pažnja u toku izrade elemenata, montaže i na održavanju ove vrste stezaljki.

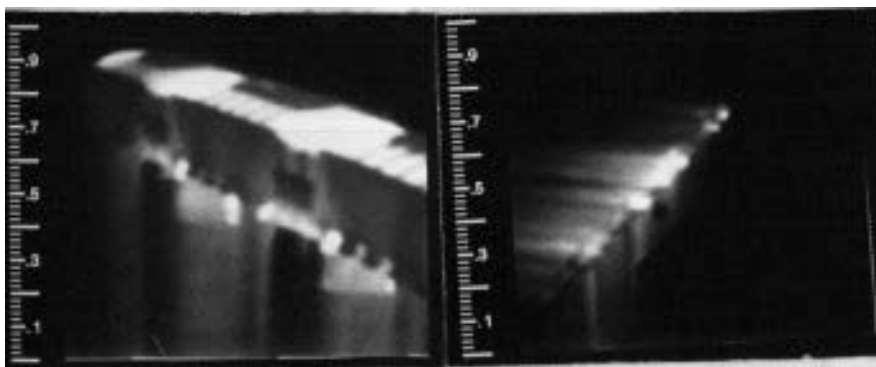
Sem napred navedenih primena, termografija je uvedena i u specijalne kontrole kao dijagnostička metoda ili kao pomoćna metoda koja dalje inicira druge vrste ispitivanja. Ova primena termografije je proizašla iz dugogodišnjeg rada na ovom polju, koristeći se bogatim iskustvima i zapažanjima korisnika u praćenju opreme u toku eksploatacije. Navedeni su primeri primene u kojima se pokazala nesumnjiva efikasnost ove metode:

- kontrola nivoa ulja u provodnim izolatorima transformatora velikih snaga,
- kontrola magnetnog kola transformatora (u toku gradnje ili reparacije),
- termička raspodela (slika) suvih transformatora,
- utvrđivanje mesta visokih temperatura na kotlovskoj konstrukciji transformatora,
- funkcionalnost elektromagnetnih jedinica (prigušnog namotaja) kod nekih naponskih transformatora (tipovi sa prekidačkim delom trijaka i otpornikom za prigušenje) i
- ispitivanje statorskih paketa limova magnetnog kola generatora i velikih motora (ogled zagrevanja pri izvučenim rotorom).

Primene su ilustrovane na sledećim slikama sa karakterističnim termogramima.

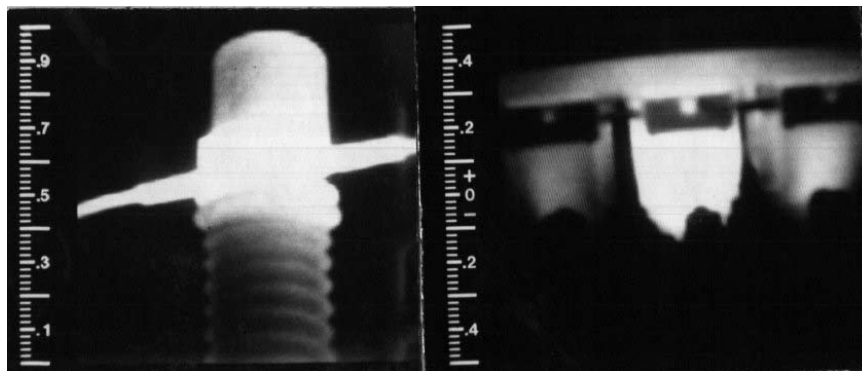


Slika 6.
Termogram nivoa ulja u provodnim izolatorima transformatora

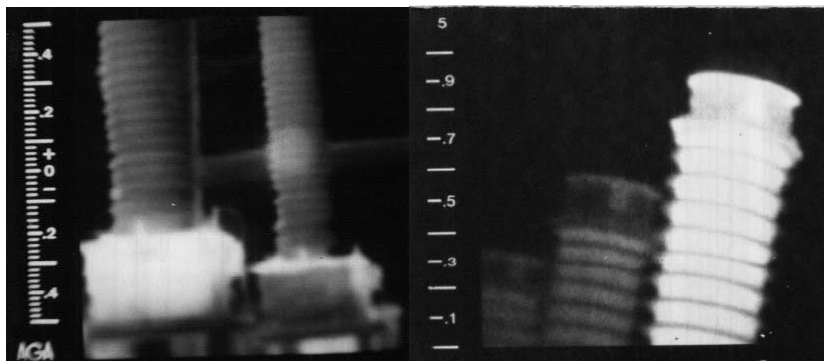


Slika 7.
Termogram magnetnog kola jezgra transformatora

Slika 8.
Termogram
mernih strujnih
transformatora



Slika 9.
Termogram
mernih naponskih
transformatora

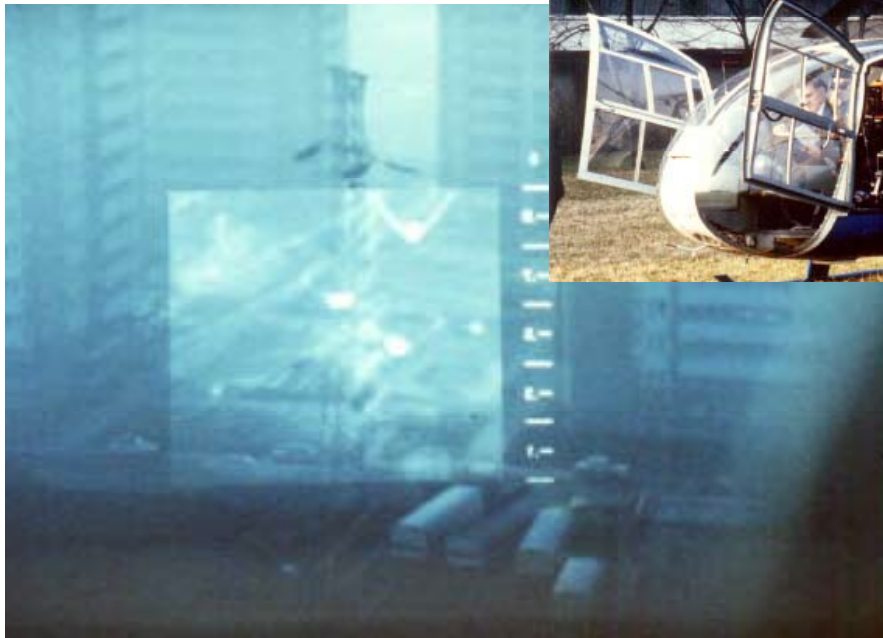


Značajno je pomenuti još jednu delatnost iz domena termovizijskih ispitivanja koja su nastala u samom početku primene. Reč je o kontroli spojnih i nastavnih mesta na trasi dalekovoda iz vazduha uz pomoć helikoptera. Prve kontrole iz helikoptera su izvršene već 1977. godine za potrebe Elektroprivrede Slovenije odnosno Savskih elektrana i to na trasama dalekovoda 110 kV (Doblar-Divača, Divača-Kleče) i narednih godina za potrebe Elektroljubljane. Već u samom početku kontrole su se pokazale vrlo efikasne i ekonomski opravdane tako da se narednih godina proširene ne samo u Sloveniji, već je snimanje iz vazduha obavljeno za Elektroprivredu Srbije (1979. godine dV 401, 402, dV 102 A i 102 B), Hrvatske i Bosne. Istovremeno sa termovizijskom kontrolom obavljene su i vizuelne kontrole koje su se obavljale u kratkom vremenu sa znatno manjim troškovima. Klasičnim obilazak trasa dalekovoda sa zemlje je dugotrajan proces a posebno na trasama koje su teško pristupačne. Snimanje iz helikoptera je intenzivirano 80-tih godina i u tom periodu godišnji nalet ekipe sa helikopterom je iznosio preko 100 sati leta. Korišćeni su helikopteri vojske Jugoslavije tipa **Gazela** i policije tipa **Bell Get Renger**.

Slika 10.
Fotografija prvog leta
helikoptera 1979.
godine



Zbog sve većeg angažovanja na kontrolama dalekovoda, Institut je bio zainteresovan za nabavku opreme koja je prilagođena za snimanje iz vazduha. Oprema je sadržala upareni termovizijski komplet sa video optičkim snimanjem video kamerom (snimanje na video traci) montirano na antivibracionom stativu. Na zahtev Instituta prezentacija takvog sistema obavljena je u Beogradu od strane proizvođača a pošto su ekipe iz Instituta već dovoljno bile obučene istovremeno je iskorišćeno i za kontrolu pojedinih 110 kV trasa dalekovoda u prstenu oko Beograda. Na sledećim slikama su priloženi neki fragmenti u toku prezentacije opreme i termogram registrovanih neispravnosti na zateznom stubu dalekovoda 110 kV (pored TS FOB-a).

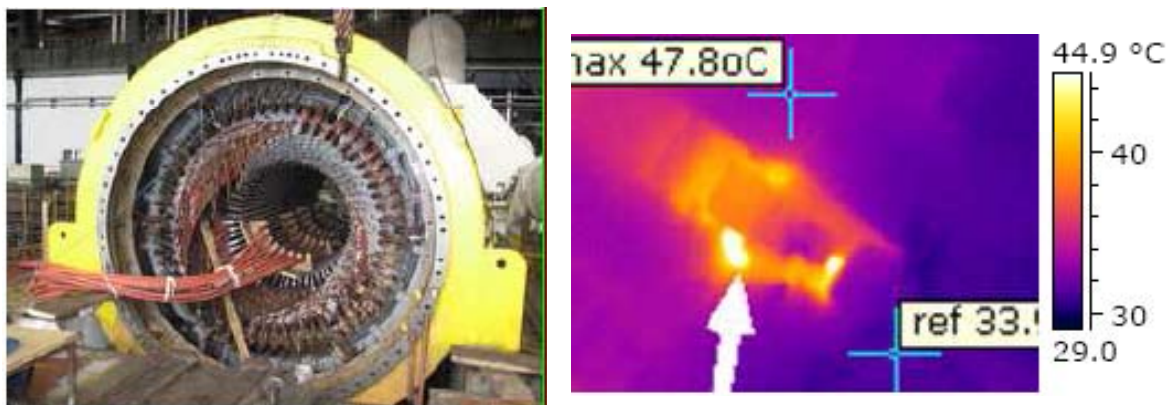


Slika br. 11.
Prezentacija opreme
za snimanje iz
helikoptera sa
termogramom
zateznog stuba

Značajno je pomenuti nastanak i primenu snimanja statorski paketa limova generatora pri ogledu zagrevanja prinudnom indukcijom. Sama ideja nastala je samo na osnovu jedne fotografije iz časopisa *Infra viewer* bez dodatnih objašnjenja o izvođenju ispitivanja. Posle neophodnih proučavanja, teorijskih postavki i proračuna za prinudno magnećenje statora generatora, mogućnosti napajanja, formiranja kola za indukciju i td. već početkom 80-desetih godina počelo se sa termografskim kontrolama statora generatora. Prvo ispitivanje izvršeno je 1981. godine na generatoru 6 u TENT A s tim da su do 1990 godine kontrole obavljene na velikom broju značajnih jedinica u sistemu Elektroprivrede.

Ovo ispitivanje je stručno predstavljeno prvi put u radu „Primena termovizije u ispitivanju statorskih paketa limova generatora“, na XVII savetovanju JUKO CIGRE Struga 1985. godine [9], a zatim prezentirano na međunarodnim i domaćim skupovima (Temišvar 2005. godine, 27. savetovanje JUKO CIGRE Zlatibor [10] itd.). Opšti zaključak je da je potrebno da se termovizijsko snimanje statora obavi u svakoj prilici kada se iz bilo kog razloga vadi rotor van generatora, što je kasnije i ušlo u stalnu praksu. Na donjoj fotografiji je prikazan jedan primer u toku ispitivanja statora generatora.

Slika 12.
Ispitivanje
magnećenja
statora generatora
sa primerom
detektovanih
neispravnostima



U toj oblasti primene treba pomenuti učešće termografskih snimanja u kompleksnim i garancijskim ispitivanjima koja su sprovedena 1991. godine na agregatu br.5 u HE Đerdap 2, "Analiza mogućnosti povećanje snaga generatora u HE Đerdap 2" [11]

U svetu je primena i razvoj termografskih uređaja u stalnoj ekspanziji jer se metoda pokazala kao ekonomski značajna u održavanju EEO. Primena ovih uređaja nije samo na polju elektroenergetike već i ostalim granama delatnosti i ostalih aktivnosti. Navešće se samo najznačajnije grane kao što su: vojna industrija, medicina, građevinarstvo, avio i auto industrija, mašinstvo itd., ili kraće rečeno na svim elementima gde god postoje bilo kakve razlike u zagrevanju, hlađenju, u praćenju tehnoloških procesa, kontroli rada razne opreme bilo za određivanje apsolutnih i relativnih temperatura bilo za snimanje temperaturnih zona ili polja.

Naravno da je u toku dugogodišnjeg rada Institut bio uključen i u druge delatnosti i van domena elektroprivrede. Navešće se samo neki primeri primene gde su saradnici Instituta učestvovali u saradnji i sa podrškom drugih profila pri ispitivanju. To su:

Medicina: maksiofacijalna hirurgija, neurohirurgija, reumatologija,

Građevinarstvo: termička izolacija zgrada, prodor vlage,

Mašinstvo: termička izolacija kotlova, stanje ozida kod recirkulacionih kanala (REC), stanje razvoda visokog pritiska, snimanje procesa i rada mlina ugljene prašine, praćenje temperaturne raspodele različitih fluida u toku mešanja, registracija termičkog polja na konstrukcijama koje su opterećene unutrašnjim naponima, određivanje rasporeda termičkog polja toku indukcionog grejanja i pripreme zagrevanja za zavarivanje gabaritnih i nepravilnih konstrukcija,

Opekarska industrija: praćenje procesa otpresaka keramičkih pločica, stanje termičkih peći za pečenje i glaziranje,

Tekstilna industrija: određivanje optimalnih parametara u toku šivenja sa različitim tekstilnih materijalima, različitim vrstama igle i konca za šivenje,

Duvanska industrija: određivanje temperature i raspodele polja na vrhu i duž cigarete prema vrsti duvana uz dodatak razni aditiva,

Daljinsko grejanje: određivanje oštećenja na izolaciji parovoda ili detekcija mesta curenja parovoda koji se nalazi na trasi u zemlji, registracija toplotnih puteva u cevnim sistemima u samom kotlu, stanje izolacije na kotlu i ostaloj opremi,

Vojna industrija: određivanje faktora emisije i snimanje temperaturnih polja na raznim materijalima i konstrukcijama na pokretnim i nepokretnim objektima koje služe kao sistem za zaštitu od otkrivanja infracrvenih uređaja iz vazduha, otkrivanje defekta u homogenim materijalima,

Kao što je navedeno stečena su bogata iskustva u elektroprivredi i proširena interesovanja za primenu u drugim oblastima. Primena je proširena na termoenergetska postrojenja, građevinarstvo, opekarske proizvode i mnoge druge, a iz tih oblasti proizašli su mnogi radovi i članci objavljeni kod nas i u inostranstvu.

Pionirski radovi u oblasti građevinarstva, odnosno stanje termičke izolacije zgrada su počeli još 1977. godine na stambenoj jedinici u Kraljevu, zatim u opekarskoj industriju Polet u Bečeju 1980. godine, metalurgiji i procesnima tehnologijama u Železari Smederevo 1984 itd.

Značajno je pomenuti i primenu termografskih snimanja iz oblasti termoenergetike. Krajem 80-tih u saradnji sa stručnim ljudima iz termoelektrane Obrenovac uvedena je termovizija na snimanju temperatura i temperaturnih polja na termoenergetskim postrojenjima kao što je: snimanje termičke izolacije kotla, snimanje stanja ozida recirkulacionih kanala i razvoda visokog pritiska, prohodnosti cevni sistema u kotlu itd. Metoda je opšte prihvaćena kako je i u prvom objavljenom radu zaključeno „da u okviru remonta termoenergetskih postrojenja ovo ispitivanje bi trebalo uvrstiti uz ostala ispitivanja, “Primena termovizije u dijagnostici i organizaciji remonata na termoelektranama” [12], IX Savetovanje o termoelektranama, Novi Sad 1991.

Slika 13.
Termogram na
glavi REC kanala
sa fotografijom
obrušenog ozida



Snimanja na termoenergetskim postrojenjima su intenzivirana i u narednim godinama tako da su već 1994. godine sistematski praćeni termoenergetski objekti u kompaniji Obrenovac. Na osnovu dugogodišnjeg rada i prikupljenih rezultata proizašla je studija "Tehničke preporuke o korišćenju termovizije u dijagnostici stanja termoelektrana", [13] za potrebe EPS.

Termografski kompleti su se stalno usavršavali i Institut je određenom periodu obnavljao opremu. Opremanje novim uređajima je usledilo 2002. godine iz donacije (modelom FPA tehnologije sa termoelektričnim hlađenjem) tip FLIR ThermaCAM PM 675, a već 2006. godine iz pomoći Ministarstva za nauku dobijena je oprema FLIR ThermaCAM P640 sa uparenim video snimanjem.

Slika 14.
Fotografija
termografskog
uređaja FLIR
ThermaCAM P640



Danas termografska ispitivanja imaju značajnu ulogu u održavanju i po stručnim i ekonomskim efektima. U Institutu su termografska ispitivanja akreditovana od strane Akreditacionog tela Srbije prema standardu ISO/IEC 17 025:2005.

Ostvaren je i održan kontinuitet u ovoj oblasti ispitivanja, a dalje aktivnosti su na stvaranju sveobuhvatne baze podataka koja će svim učesnicima biti od koristi.

Reference

- [1.] *Mogućnosti merenja zagrevanja delova pod naponom*, Studija ETI Nikola Tesla 37014, 1970.
- [2.] *Termovizijska ispitivanja elektroprivrednih postrojenja visokog napona u periodu 1970-1972. godine*, referat savetovanje JUGEL, Sarajevo 1972.
- [3.] *Kvar transformatora snage 110/35 kV 30 MVA u TS Beograd 1*, rad XI savetovanje CIGRE, Ohrid 1972.
- [4.] *Statistička obrada i analiza rezultata termovizijske kontrole elemenata visokonaponskih objekata 1970 - 1972*, studija 375021 ZEP 1975.
- [5.] *Termovizijska ispitivanja „Elektroprenosa“ Sarajevo u periodu 1970 - 1976 godine*, XIII Savetovanje CIGRE, Bled 1977.
- [6.] *Istraživanje mogućnosti proširenja i usavršavanja primene termovizije u elektroprivredi*, studija 3386055 EPS, 1986
- [7.] *Sistematska obrada rezultata termovizijskih ispitivanja u razvodnim strojenjima*, radu XVIII savetovanje CIGRE, Budva 1987.
- [8.] *Pregled rezultata termovizijskih kontrola u postrojenjima Elektroistok-a u periodu 1997–2002*, pregledni rad Zbornik Instituta, 2003.
- [9.] *Primena termovizije u ispitivanju statorskih paketa limova generatora*, XVII savetovanje JUKO CIGRE, Struga 1985.
- [10.] *Ispitivanje statorskih paketa limova nazivnom indukcijom na generatoru 150 MVA u TE Morava-Svilajnac*, XXVII savetovanje JUKO CIGRE, Zlatibor 2005.
- [11.] *Analiza mogućnosti povećanje snaga generatora u HE Đerdap 2*, studija Instituta, 1991.
- [12.] *Primena termovizije u dijagnostici i organizaciji remonata na termoelektranama*, IX Savetovanje o termoelektranama, Novi Sad 1991
- [13.] *Tehničke preporuke o korišćenju termovizije u dijagnostici stanja termoelektrana*, Studija 3394125, EPS 1994.