

Daniel Muštran, ing.
HEP – ODS d.o.o.
dmustran@yahoo.co.uk

Mario Pisačić, dipl.ing.
HEP – ODS d.o.o.
mario.pisacic@hep.hr

PREDNOSTI KORIŠTENJA INFRACRVENE TERMOGRAFSKE KAMERE U ODNOSU NA INFRACRVENI BEZKONTAKTNI TERMOMETAR

SAŽETAK

Problematika termografskog snimanja elektro-energetskih objekata u distributivnoj mreži s ciljem mjerenja toplinske energije koja dopire od promatranih dijelova postrojenja u termografski uređaj, te izračunavanja njihove radne temperature, u zadnje vrijeme sve više poprima na važnosti, s jedne strane zbog snižavanja cijene termografske opreme i bezkontaktnih infracrvenih termometara, a sa druge, zbog povećavanja zahtjeva za kvalitetom preventivnog održavanja. Mnogi od nas nedovoljno razlikuju ove dvije vrste uređaja, termografsku kamera i infracrveni termometar, koji se, iako naizgled iste namjene i načina rada, bitno razlikuju. To je bio i povod za izradu ovog rada.

Gljučne riječi: infracrveni termometar, infracrvena kamera, preventivno održavanje, transformatorske stanice

BENEFITS OF USING INFRARED THERMOGRAPHIC CAMERAS IN COMPARE TO NON-CONTACT INFRARED THERMOMETERS

SUMMARY

Problems regarding preventive maintenance of electro-energetic facilities in distribution network, with the goal of measuring thermal energy that is coming from the object into the thermographic equipment and calculating their working temperature, lately, is gaining on importance. One reason for that is lower price of thermographic equipment and the other, higher standards for quality of preventive maintenance. Many of us do not differentiate enough these two types of equipment, thermographic camera and infrared thermometer, that, although having similar usage and way of working, are very different from each other. This was the main reason for making this article.

Key words: infrared thermometer, infrared camera, preventive maintenance, transformer stations

1. UVOD

Ovaj rad ima za cilj skrenuti pozornost na prednosti infracrvene termografske kamere (u daljnjem tekstu: IC kamera), u odnosu na infracrveni bezkontaktni termometar (u daljnjem tekstu: IC termometar), u preventivnom održavanju elektro-energetskih postrojenja te, također, ukazati i na područja i način primjene svake od navedene dvije vrste, sa ciljem njihovog što optimalnijeg iskorištenja uz najmanje troškove.

Čimbenici na koje treba obratiti pozornost su:

- preciznost opreme i preciznost definiranja uočenih poremećaja,
- mogućnost „brzog“ snimanja i uočavanja poremećaja,
- mogućnost oštećenja optike koju nije moguće uočiti, a dovodi do pogreške u detekciji i definiranju mjesta poremećaja,
- udaljenost od promatranog objekta,
- obučenosn operatera koji rukuje pojedinom vrstom opreme.

2. PRECIZNOST OPREME

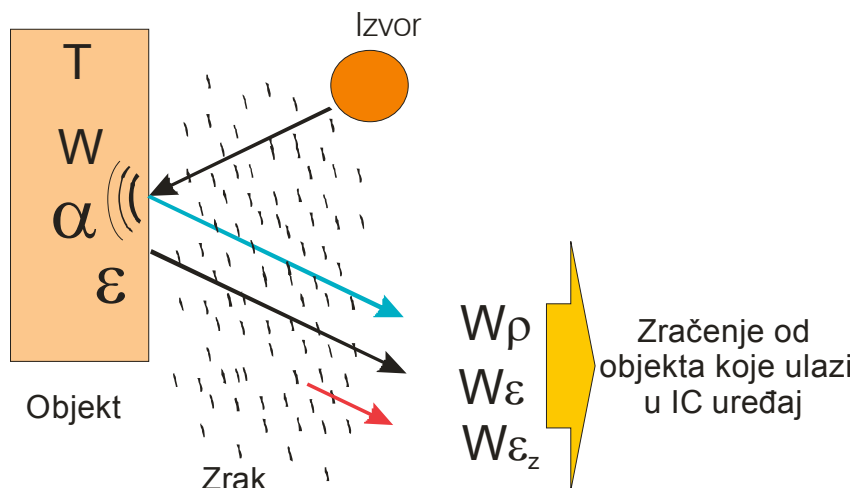
U tablici 1. su ispisane točnosti mjerenja temperature za neke modele IC kamera i IC termometara ukoliko ovo mjerenje obavljamo na temperaturi okoline 20-30°C. Vidljivo je da su IC kamere precizniji uređaji od IC termometara. Za uvjete snimanja u elektro-energetskim objektima posebno u transformatorskim stanicama naponskog nivoa 35kV i više, preporuča se preciznost mjerenja od najmanje 0.5°C sa osjetljivošću od najmanje 0.1°C.

Tablica 1. Usporedni podaci o osjetljivosti i preciznosti opreme

IC kamera			IC termometar		
	Temperaturna			Temperaturna	
	osjetljivost (°C)	točnost (°C)		osjetljivost (°C)	točnost (°C)
Flir PM695	0.08	+/- 2	Raytek MX2	0.1	+/- 0.75
Flir P65	0.08	+/- 2	Fluke 570 Series	0.1	+/- 0.75
Flir P640	0.06	+/- 2	Fluke Model 68	0.1	+/- 1
Fluke Ti45	0.08	+/- 2	Kingtill Model 882	0.1	+/- 2
Fluke Ti55	0.05	+/- 2	Omega Model OS530HRE	0.1	+/- 1.7

Iz tablice 1. se može zaključiti da i IC kamere i IC termometri zadovoljavaju neke minimalne kriterije za obavljanje preventivnog održavanja po elektro-energetskim postrojenjima naponskog nivoa nižeg od 35kV (i na granici su da zadovolje kriterije za 35kV postrojenja) te se mogu bez daljnega koristiti za detekciju poremećaja po postrojenjima distribucijske mreže. Ipak, to nije baš tako.

IC kamere i IC termometri mjere cjelokupnu toplinsku energiju koja dolazi do njihove leće i prolazi kroz nju u uređaj. Ova energija se većinom sastoji od (vidi Sliku 1.) emitirane energije „Objekta“ kojeg promatramo W_{ε} , od reflektirane energije W_{ρ} koja se odbija od objekta, a dolazi iz „Izvora“ nevezanog za naš promatrani objekt i od treće komponente $W_{\varepsilon z}$. Ta komponenta je emitirana energije medija kroz koji W_{ε} i W_{ρ} prolaze, u najčešćem slučaju je to zrak. W_{ε} i W_{ρ} bivaju prigušene prilikom prolaska kroz zrak (jedan njihov dio „upije“ zrak što povisuje njegovu akumuliranu količinu energije koju opet zrači iz sebe van). Promatrani objekt ima svoj faktor transmisije (T), absorpcije (α) i emisije (ε) te ukupnu akumuliranu energiju (W) – prema slici 1..



Slika 1. Zračenje objekata koje ulazi u IC uređaj

Cilj mjernog uređaja je eliminirati utjecaj okoline (utjecaj prigušenja zraka i utjecaj reflektirane energije te utjecaj energije emitirane od medija kroz koji prolaze) kako bi izmjerio „pravu“ vrijednost emitirane energije objekta - W_{ϵ} .

Neželjene komponente koje dolaze do mjernog uređaja, a nisu potrebne u izračunu emitirane energije objekta, mjerni uređaj eliminira nakon što izračuna njihovu vrijednost, a na osnovu unešenih vrijednosti emisiviteta površine objekta, vlažnosti i temperature zraka, temperature „Izvor“ (objekta koji se reflektira u površini „Objekta“) te udaljenosti mjernog uređaja od „Objekta“. Na osnovu te „prave“ izmjerene (odnosno prije izračunate) energije W_{ϵ} , mjerni uređaj, prema svojoj krivulji koja je jedinstvena za svaku leću koja se koristi i upisana je u memoriju mjernog uređaja, izračunava kolika je vrijednost temperature objekta.

Trenutno na tržištu još ne postoje IC termometri u koje je moguće unijeti sve potrebne parametre – neki IC termometri imaju mogućnost unošenja emisiviteta kao parametra, kojeg operater najčešće unosi u mjerni uređaj iz tabele priložene uz uređaj (pogreška koju ćemo spomenuti u daljnjem tekstu).

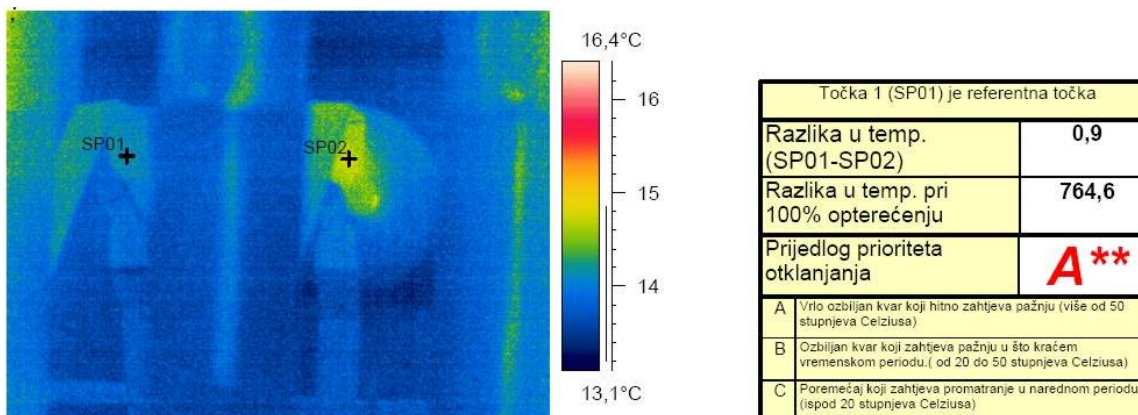
Iz ovoga razloga su IC kamere, po svojim mogućnostima, daleko precizniji mjerni uređaj. Ova preciznost je ključna prilikom mjerenja prividno „malih“ i teško uočljivih poremećaja neopterećenih polja (koja možda rade u praznom hodu) u energetskim objektima. Ukoliko u takvim uvjetima pokušamo pronaći poremećaj, sa IC termometrom ga vrlo vjerojatno uopće nećemo niti uočiti jer je takav poremećaj teško uočljiv i kamerom koja vizualno prikazuje cjelokupnu sliku dijela ili cijelog polja. Za ilustraciju fatalnosti ove pogreške ćemo iskoristiti jednostavan račun realne situacije koja se ne događa tako rijetko u energetskim postrojenjima – slučaj zabilježen u Rasklopištu 10kV Nemetin, VP 10kV BKTS Cesta (vidi sliku 2.).

Poremećaj uočen u ovom vodnom polju, na spoju strujnog mjernog transformatora i bakrene sabirnice, je bio poremećaj od 0.9°C kojeg IC termometar vrlo vjerojatno ne bi niti uočio (iz osobnog iskustva). Struja tog vodnog polja u trenutku uočavanja je iznosila 5A, a maksimalna moguća je 270A. Temperatura zraka je bila 15°C , jednako kao i temperatura od reflektiranog objekta. Emisivitet je podešen na 0.91. Prema računu koji se koristi za izračun maksimalne temperature pri maksimalnom opterećenju (1), smo došli do temperature spojnog mjesta na kojem je uočen poremećaj od 764.6°C ($\Delta T_{100\%}$ - razliku u temperaturi između referentne točke i promatrane točke pri opterećenju 100%, T_{mj} – izmjerena temperatura promatrane točke, T_{ref} – izmjerena temperatura referentne točke, I_{max} – maksimalna struja voda, I_{tren} – struja voda u trenutku promatranja).

$$\Delta T_{100\%} = (T_{mj} - T_{ref}) * \left(\frac{I_{max}}{I_{tren}} \right)^{1,68} \quad (1)$$

Želimo naglasiti da je lako moguće da vod nikada neće biti maksimalno opterećen no ovaj poremećaj ipak predstavlja opasnost vrlo visokog prioriteta upravo zbog mogućnosti pojave pojačane oksidacije na mjestu poremećaja (zbog visoke temperature) što potencijalno može rezultirati još bitno većom radnom

temperaturom mjesta poremećaja sa mogućim rezultatom topljenja sabirnica, a u ovom slučaju i uništenjem strujnog mjernog transformatora.



IR information	Value
Date of creation	7.11.2006
File name	G1107-05.img
IR Text Comment	Value
Trenutno opt. (A)	5
Maks. opt.(A)	270
Object parameter	Value
Emissivity	0,91
Atmospheric	15,0°C
Label	Value
SP01	13,9°C
SP02	14,8°C



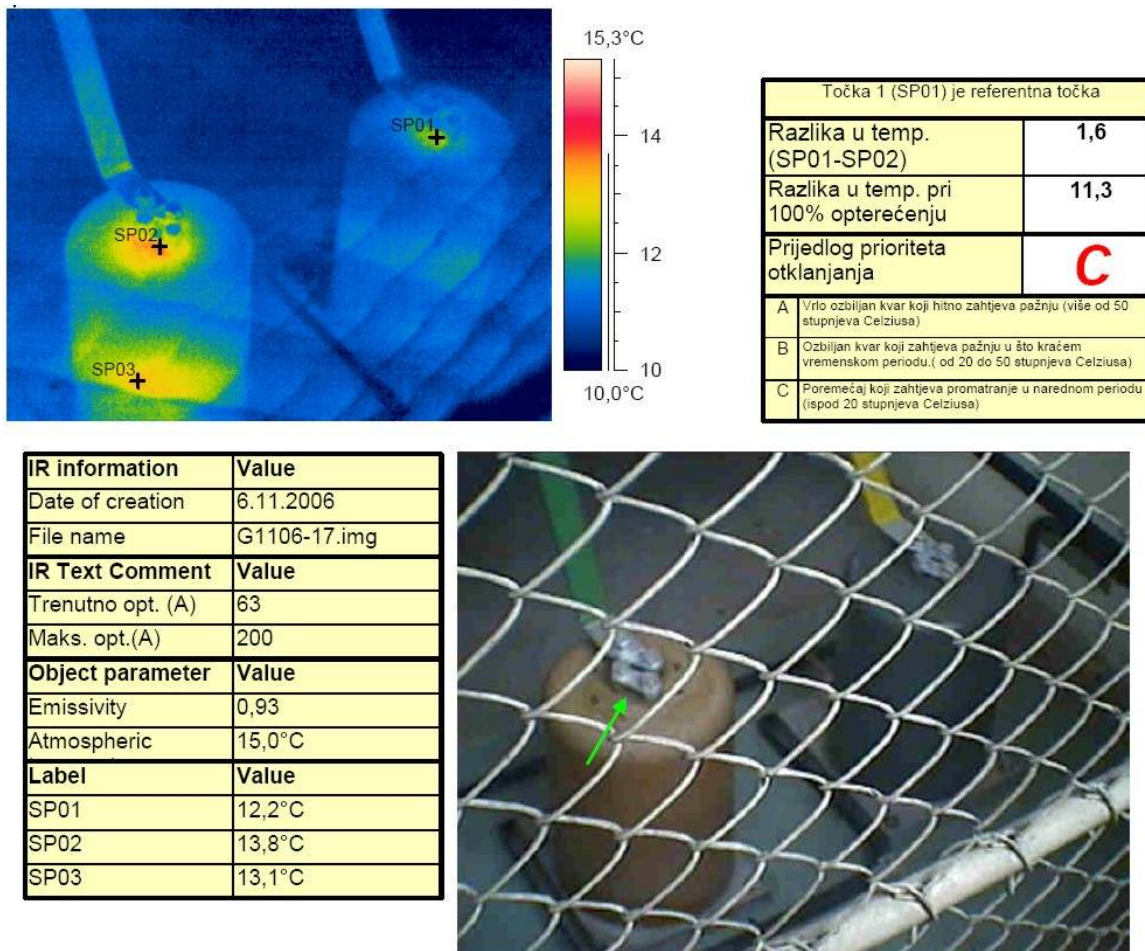
Slika 2. Izvadak iz termografskog izvješća za Rasklopište 10kV Nemetin (Nemetin), VP10kV BKTS Cesta

3. „BRZO“ SNIMANJE I UOČAVANJE POREMEĆAJA

IC kamera je uređaj koji u odnosu na IC termometar omogućuje izuzetno brzo snimanje cjelokupnog postrojenja. Razlog je LCD display koji omogućuje brzo vizualno sagledavanje cjelokupne situacije pojedinog dijela postrojenja koji je obuhvaćen optikom te brzu odluku o mogućim mjestima poremećaja i koncentriranju na njihovo daljnje analiziranje.

Kod IC termometra to nije moguće. Operater na IC termometru svaku potencijalno problematičnu točku mora gledati kao mjesto poremećaja (jer ne vidi da li je mjesto poremećaja ili nije dok ne izmjeri i usporedi sa referentnom točkom). Dakle, svaka točka u promatranom postrojenju mora biti izmjerena i uspoređena s referentnom točkom (ponekad i 100-tinjak točaka – recimo 0,4kV razvod po starijim TS 10/0,4kV). To iziskuje daleko više vremena i često ne rezultira pronalaskom svih poremećaja.

Primjerice, prilikom promatranja poremećaja na slici 3., uz relativno mali broj točaka, operater IC termometra, vrlo vjerojatno, neće uočiti da je strujni mjerni transformator u lijevoj fazi na slici, neispravan, nego će najvjerojatnije ustvrditi da je problem nedovoljno kvalitetan spoj spojne sabirnice na strujni mjerni transformator – ovdje se vrlo lako vidi prednost IC kamere kod koje se poremećaj i uzrok gotovo odmah mogu uočiti. Pri tome naglašavamo da zelena boja mjernog transformatora u lijevoj fazi ne utječe na razliku u mjerenju u odnosu na desnu fazu i smeđu boju mjernog transformatora desne faze.



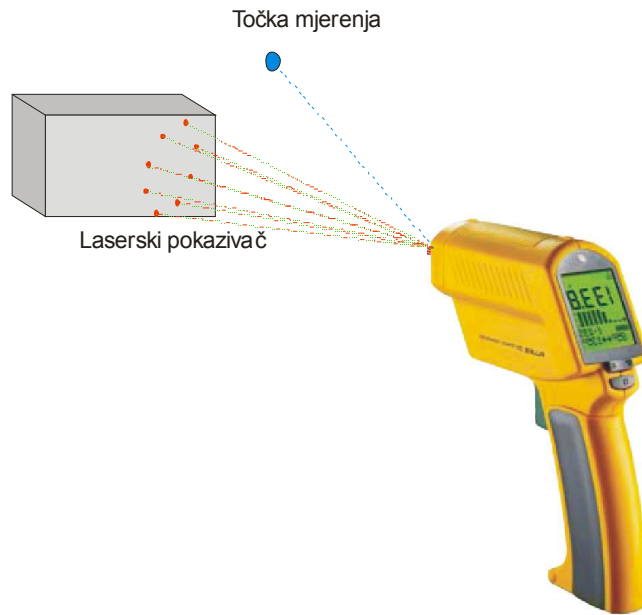
Slika 3. Izvadak termografskog izvješća za TS 35/10kV ZAPAD (OSIJEK), TP 35kV -1

4. MOGUĆNOST OŠTEĆENJA OPTIKE

Kod IC termometara postoji mogućnost oštećenja optike koju je teško ili gotovo nemoguće zamijetiti u normalnom radu osim ako se ciljano ne pregledava da li je uređaj ispravan. Ovi uređaji su vrlo osjetljivi i imaju usmjeren laserski snop koji označava mjesto koje se mjeri na promatranom objektu. Ukoliko IC termometar „ispadne“ iz ruku ili se sa njim općenito grubo postupa može doći do oštećenja optike ili razdešenja u pokazivanju laserskog pokazivača i mjernog dijela uređaja te laserski pokazivač može pokazivati u krivom smjeru (vidi sliku 4.). Time možemo doći do potpuno krivih mjernih rezultata, a neispravnost se uočava, najčešće, tek nakon dužeg vremena korištenja neispravnog uređaja.

Često se događa da se ovi uređaji ostavljaju duži vremenski period na mjestima koja su izložena većim vibracijama (primjerice na instrument ploči u vozilima). S vremenom, takav način odlaganja uređaja (iako je odlagan u vlastitom zaštitnom kovčegu) može dovesti do pomjeranja optike u odnosu na laserski pokazivač i uzrokovanja gore opisane pogreške.

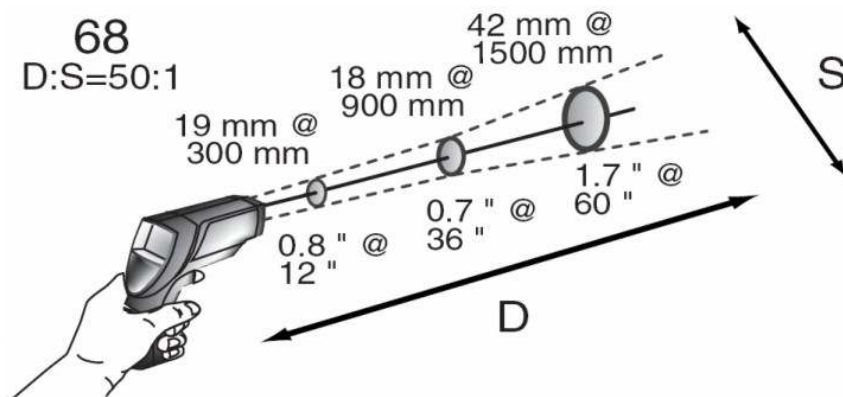
Ovaj problem nije uočen kod termografskih kamera. Kamera posjeduje LCD display putem kojeg je uvijek moguće vidjeti što kamera „promatra“.



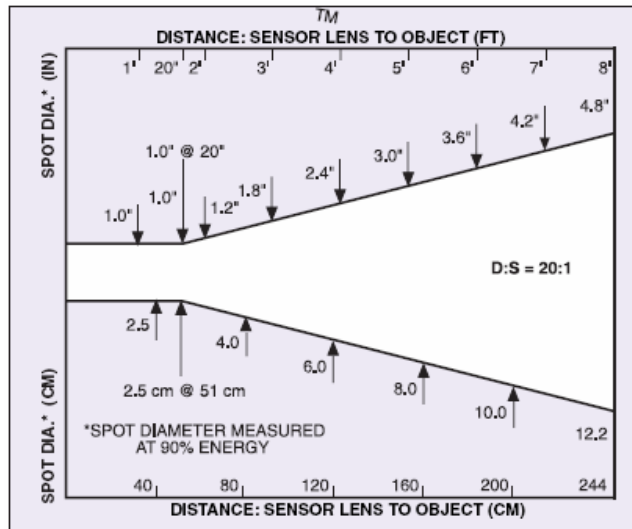
Slika 4. Slika mjerenja neispravnog IC termometra

5. UDALJENOST OD PROMATRANOG OBJEKTA

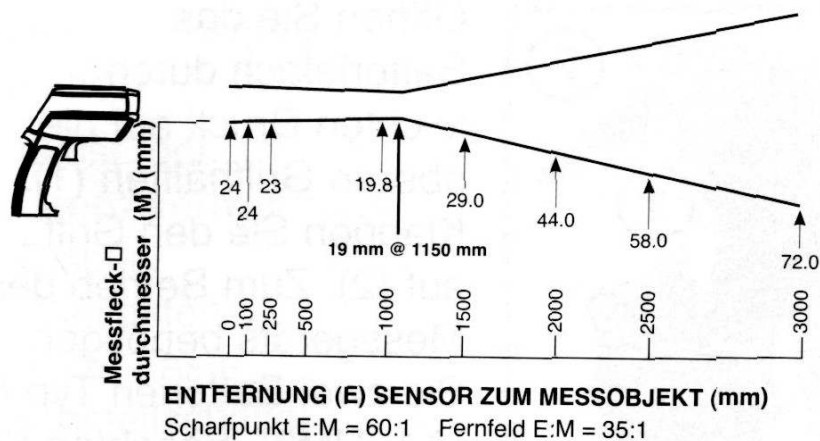
Udaljenost operatera od promatranog objekta kao i karakteristika snimanja mjernog uređaja je bitan čimbenik koji određuje kvalitetu snimanja poremećaja i preciznost izmjerene temperature. IC termometri (u ovisnosti o ugrađenoj optici) imaju najpreciznije mjerenje na udaljenosti na kojoj je laserski snop najuži. Ova karakteristika optike se lako može uočiti na donjim slikama (slike 5. do 7.).



Slika 5. Karakteristika IC termometra - Fluke Model 68



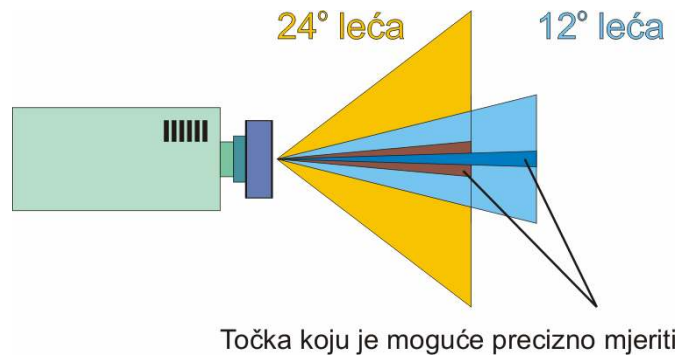
Slika 6. Karakteristika IC termometra - Omega OS533HRE



Slika 7. Karakteristika IC termometra – Raytek MX2TD

Vrlo lako je vidljivo da različiti IC termometri imaju i različitu udaljenost na kojoj im je laserski snop najuži i preciznost najveća. Tako npr. Fluke Model 68 (slika 5.) ima najuži snop na 30cm udaljenosti od mjernog uređaja (promjer snopa 19mm i to je najmanja točka/objekt kojeg taj uređaj može „precizno“ mjeriti – precizno u navodnicima stoga što bez unosa svih glavnih parametara koji utječu na preciznost mjerenja, a obrađeni su u gornjem tekstu, nema preciznog mjerenja), Omega OS533HRE (slika 6.) na 51cm udaljenosti (promjer snopa 25mm) od uređaja, a Raytek MX2TD na udaljenosti 115cm od uređaja (promjer snopa 19mm).

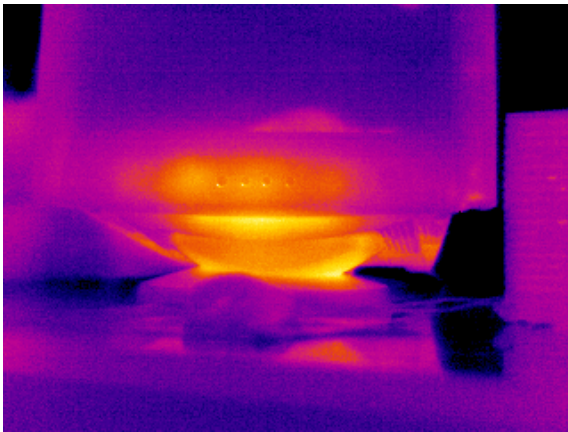
Kod IC kamera se ovaj problem ne pojavljuje i kamere su općenito u mogućnosti mjeriti manje točke na većoj udaljenosti. Ukoliko nam je mjerena točka premala, jednostavnom zamjenom leće smanjujemo ili povećavamo kut mjerenja i efektivno povećavamo ili smanjujemo veličinu točke za precizno mjerenje (vidi sliku 8.). Ovo nije moguće kod IC termometra.



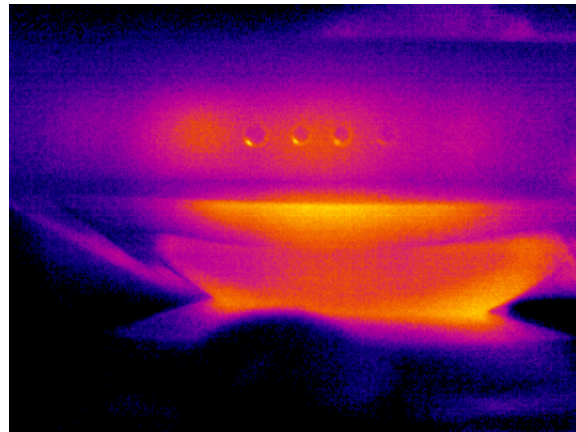
Slika 8. Izmjenom leće na IC kameri mijenjamo i veličinu točke za precizno mjerenje

Kao primjer ćemo uporediti IC termometar Raytek MX2TD i IC kameru Flir PM695. Prema slici 7., IC termometar na udaljenosti od 115cm ima najmanji promjer snopa od 19mm. Pri istoj udaljenosti IC kamera opremljena sa standardnom lećom od 24° ima promjer točke koju može mjeriti od približno 8mm, a opremljena sa dodatnom lećom od 12° moguće je precizno mjeriti točke veličine 4mm. Jednako tako, želimo naglasiti da je, sa lećom od 12°, iz praktičnog iskustva moguće precizno mjeriti objekte od približno 20mm na udaljenosti od približno 10m što kod IC termometra nikako nije moguće zato što ovaj uređaj ima promjer mjerene točke od 72cm na 3m udaljenosti od objekta!

U daljnjem tekstu prikazane su slike dijela računalnog CRT monitora (slika 9. i 10.) slikane IC kamerom Flir PM695, lećom od 24° i lećom od 12°. CRT monitor računala je odabran zbog lako vidljivih tipki za korigiranje slike na monitoru koje imaju svoju veličinu, a na osnovu koje je moguće procijeniti veličinu točke koju je moguće mjeriti.



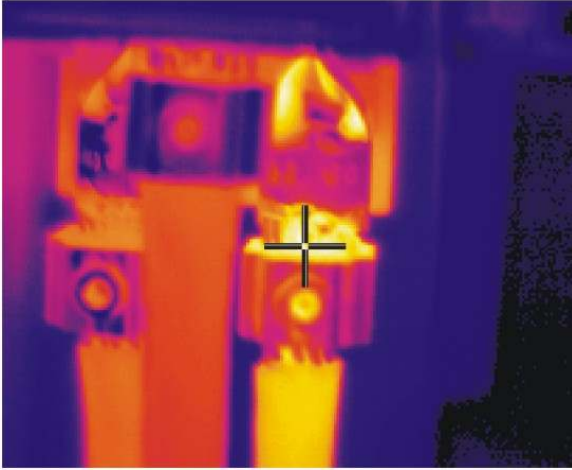
Slika 9. IC slika sa lećom 24°, Flir PM695



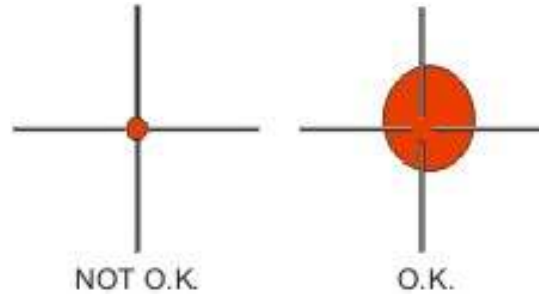
Slika 10. IC slika sa lećom 12°, Flir PM695

Jednako tako se može zamijetiti da će IC termometri, u načelu, dati nekoliko stupnjeva niže mjerenje nego IC kamere – razlog tomu je upravo veličina promatrane točke – IC kamere imaju daleko užu snop promatranja te su tako u mogućnosti mjeriti točku promatranja dok IC termometri „hvataju“ i okolinu te točke (koja je najčešće niže temperature od promatrane točke) te je njihovo mjerenje često niže od IC kamera i time nepreciznije.

Još jedna prednost kamere je pokazivač na njenom display-u. Pomoću ovoga pokazivača (koji izgleda kao na slici 11.) moguće je odrediti da li je točka/ objekt koju promatramo premala da bi se mjerila na toj udaljenosti od objekta (slika 12.). Na osnovu toga možemo procijeniti da li je potrebno upotrijebiti leću sa manjim stupnjem ili prići bliže objektu koji promatramo.



Slika 11. Izgled pokazivača, Flir PM695



Slika 12. Veličina promatranog objekta, Flir PM695

Na slici 12. je lijepo vidljivo da, kada je promatrani objekt veći od „sredine“ pokazivača, tada je objekt moguće mjeriti. Onog trenutka kada je središnji, prazni dio pokazivača veći od promatranog objekta, objekt nije moguće precizno mjeriti i treba upotrijebiti drugu leću ili prići bliže.

6. OBUČENOST OPERATERA

Operateri IC kamerama su često ljudi koji su bolje obučeni i iskusniji te posjeduju, često, veće elementarno poznavanje termodinamike i termodinamičkih procesa od operatera na IC termometrima. Svaki operater na IC kameri bi trebao imati završen certificirani tečaj na kojem mu se ukazuje na tipične pogreške koje se ne smiju raditi, na načine kako poboljšati kvalitetu uočavanja poremećaja i njihove obrade te mu se skreće pažnja na teoriju koja mu je potrebna za kvalitetno obavljanje ovog posla.

Operateri IC termometrom najčešće nemaju potrebno minimalno znanje rada s ovom vrstom opreme. Također, prisutno je nedovoljno poznavanje prednosti i mana IC termometra kao i načina kako izbjeći najčešće pogreške (prilikom uočavanja poremećaja). Vrlo često operater IC termometrom niti ne zna da se emisivitet na IC termometru uopće može unijeti (kod onih uređaja kod kojih je to moguće podešavati), a pogotovo nije upućen da tablice emisiviteta (iz uputstva za rukovanje) ne može iskoristiti ukoliko želi što preciznije mjeriti. O metodama snimanja vlastitih tablica emisiviteta da i ne govorimo.

Sve ovo ukazuje na bitno veću kvalitetu, brzinu i preciznost snimanja sa IC kamerom nego IC termometrom. Također je i cjelovitost izmjerenih podataka daleko veća.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog, evidentno je da je IC kamera termografski uređaj koji je daleko kvalitetniji, brži i precizniji za uočavanje, mjerenje i obradu poremećaja.

Zbog navedenih prednosti, predlaže se korištenje IC kamera. Također, predlaže se da je operater koji rukuje IC kamerom obučen za rukovanje i da je završio certificirani program obuke za rad ovom vrstom opreme. IC termometar je uređaj koji se predlaže koristiti kao pomoć održavateljima i onima koji rade na sanaciji uočenih poremećaja kako bi isti, kada dolaze na već uočeno mjesto poremećaja mogli, nakon sanacije, utvrditi da li je poremećaj otklonjen ili ne (ukoliko je to naravno moguće i ne zahtjeva ponovno utvrđivanje prisutnosti poremećaja sa IC kamerom). Također, preporuča se da su rukovateli IC termometrom adekvatno obučeni za rad sa ovom vrstom opreme bilo od strane certificiranog operatera na IC kameri, bilo od proizvođača IC termometra.

LITERATURA

- [1] Flir ThermaCam PM695, Operator's Manual, Publ No.1 557454 - Rev. B, November 2000, Flir Systems AB, Danderyd, Sweden
- [2] ITC – Course Manual, Level 1, Publ No 1 560093_C, Rev 0.9E, 2003-03-01, Flir Systems AB, Danderyd, Sweden
- [3] Raytek Ray MX2 D, Operator's Manual, Rev.F2, 02/2003, 51401 – Deutschland, Raytek GmbH, Berlin
- [4] OmegaScope Handheld Infrared Thermometer Series, for models OS532, OS533 and OS534, found on http://www.omega.com/Temperature/pdf/OS532_533_534.pdf ;
- [5] Fluke 63/66/68 Infrared Thermometers, Users Manual, PN2149032, September 2004, Rev.2, 7/05, Fluke Corporation, found on [http://us.fluke.com/usen/products/ProductManuals.htm?cs_id=34551\(FlukeProducts\)&category=INFTHE\(FlukeProducts\)](http://us.fluke.com/usen/products/ProductManuals.htm?cs_id=34551(FlukeProducts)&category=INFTHE(FlukeProducts))