

MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA



Uređuje: Nenad Bolf

U sljedeća dva nastavka ove rubrike prikazat ćemo primjenu infracrvene termografije, metode koja se široko primjenjuje za preventivno održavanje i kontrolu kvalitete, dijagnostiku i energetske učinkovitost. Posebno je važna za održavanje proizvodnih pogona i trebala bi se redovito primjenjivati.

Infracrvena termografija – pravi izbor za redovito održavanje (I. dio)

|| K. Petrović*

Kostelgrad KP
Vojnovićeva 22
10 000 Zagreb

Sažetak

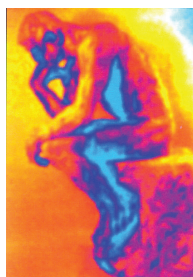
Infracrvena tehnologija našla je svoje mjesto u industriji za osiguranje i održavanje kvalitete nužne na današnjem globalnom tržištu. Primjenjuje se u industriji, medicini, astronomiji, građevinarstvu, znanstvenoj djelatnosti, kao alat za održavanje, u termotehnici i procesnoj tehnici. U okviru zaštite od požara termografski se sustavi primjenjuju za otkrivanje latentnih požara, pronalaženje osoba u objektu zahvaćenom požarom, kod ispitivanja elemenata na otpornost od požara. Tehnologija se primjenjuje i pri nadzoru objekata i prostora, prometa, zagađenja okoliša. U zgradarstvu je njezina primjena kod ispitivanja kvalitete izolacije objekta, utvrđivanje mjesta s povećanom vlagom. Termografskim snimanjem zgrada te kasnijom stručnom interpretacijom moguće je locirati nedostatke konstrukcije i usmjeriti zahvate na rekonstrukciji prema poboljšanju energetske efikasnosti (energetske iskaznice zgrada). Pri zaštiti lokaliteta kulturne baštine IC tehnologija provodi se kontrola bez razaranja.

Ključne riječi: *infracrvena (IC) termografija, IC kamera, termovizija, temperatura, emisivnost, IC zračenje, elektromagnetski valovi*

Uvod

O čemu se zapravo radi?!

IC termografija je beskontaktna metoda mjerenja temperature i njezine raspodjele na površini tijela. Temelji se na mjerenju intenziteta infracrvenog zračenja s površine promatranog tijela. Da bi se temperatura na daljinu uopće mogla mjeriti, potrebna je neka informacija o toj temperaturi.



Ta informacija sadržana je u fizičkom zakonu prema kojemu sva tijela odašilju energiju:

$$W = f(\epsilon, T), \quad (1)$$

gdje je ϵ koeficijent sposobnosti odašiljanja (emisije) i ovisi o strukturi i sastavu materijala, a T je temperatura u K. Iz ovog zakona je vidljivo, s obzirom na to da 0 K odgovara temperaturi od $-273,3$ °C (apsolutnoj nuli), da na toj temperaturi nema zračenja energije. Poznato je i da sva tijela iznad temperature apsolutne nule zrače, ovisno o kretanju svojih molekula, a svi materijali ne zrače istim intenzitetom. Poznate su točne ovisnosti koliko energije zrače pojedini materijali ovisno o svojoj temperaturi. Odašiljanje te energije javlja se u obliku elektromagnetskih valova Dakle, nositelj energije je elektromagnetski val valne duljine od 2 μm do 13 μm . Iste takve valove, ali valne duljine od 0,4 μm do 0,75 μm vidimo kao optičku svjetlost, dok nam valna duljina određuje boju. Da valne duljine zamjećujemo i u infraspjektru bili bismo zaslijepljeni energijom, jer sva tijela odašilju energiju.

I sada je jasno da je uloga IC kamere da nam prenese sliku iz oku nevidljivog područja u vidljivu sliku. Elektroničkim putem stvar se termička slika promatranog objekta u realnom vremenu u IC uređaju – kameri, a tu se jedan dio spektra elektromagnetskih valova oku nevidljiv premješta u oku vidljivo područje. Tako dobivenu sliku moguće je analizirati kao emitiranu toplinsku energiju objekta, snagu zračenja prispjelu na detektor IC kamere, uz primjenu poznatih zakonitosti fizike.

IC mjerenja možemo podijeliti i u dvije grupe: kvalitativna i kvantitativna. Za prva mjerenja je važno da registriramo i uočimo, za druga da precizno mjerimo. Dakle s jedne strane imamo zahtjeve za preciznom i dobrom vidljivošću (optika) u IC spektru EM valova (vojska, policija, vatrogastvo, službe spašavanja), a s druge pak strane zahtjevi su za preciznim i umjerenim instrumentom koji je u stanju registrirati temperaturne promjene u tisućinkama kelvina (K) odnosno Celzijeva (Celsiusova) stupnja (°C). Dakle, danas proizvedeni uređaji za detekciju IC zračenja svrstavaju se u dvije kategorije: one za mjerenje temperature (radiometrija ili termovizija) i one za snimanje raspodjele temperature na površini objekata (termografija).

* Krešimir Petrović, ing. el. teh., Level 2 termografist
e-pošta: kostelgrad@kostelgrad.hr

Uređaji za detekciju IC zračenja (IC kamere)

Primjena infracrvenog zračenja, tzv. infracrvena tehnika počela se značajnije razvijati tek za Drugog svjetskog rata. Posebno se razvila primjena u vojne svrhe, za snimanje terena iz aviona ili umjetnih satelita te za industrijsku kontrolu. Razvoj tehnologije hlađenja detektora omogućio je da IC kamere budu pokretne poput klasične videokamere i polako uđu i u komercijalnu primjenu, prvotno u sustave održavanja elektroenergetskih postrojenja.



Slika 1 – Jedan od modela današnjih IC kamera tvrtke FLIR

IC kamera uzima u obzir koeficijent emisije, udaljenost objekta, temperaturu okoline, te sve te podatke obrađuje u svom procesoru i kao rezultat daje temperaturu površine mjenjenog objekta. Znači, primjena infracrvene termografije moguća je tamo gdje se na temelju temperaturne razlike prema referentnom uzorku može napraviti analiza. To znači pak da nije dovoljno samo snimiti objekt IC kamerom, već je potrebno i snimljeno analizirati posebnom programskom aplikacijom i završno izraditi protokol provedenog IC snimanja.

Održavanje uz primjenu IC uređaja

Za svakog korisnika IC termografije snimka se obrađuje računalom posebnom programskom aplikacijom za analizu IC zapisa, a završno se izdaje protokol – izvješće (ili nalaz – atest) snimljenog s naznakom defekta i preporukom sanacije. Upravo je definiranje i prepoznavanje graničnih vrijednosti otkrivenih nepravilnosti predmet izučavanja i poznavanja pojedine grane djelatnosti i svakako zahtijeva stručne analize koje se stječu kroz obvezno školovanje termografista i naravno višegodišnje iskustvo u raznim radnim uvjetima.

IC termografija pri kontroli elektroenergetskih postrojenja

Primjenom IC termografske tehnike i IC uređaja moguće je, kako je spomenuto, za normalnog pogonskog stanja, bez ostvarivanja kontakta s objektom kojeg se ispituje otkrivanje povišenog zagrijavanja električnih i mehaničkih komponenti čime se sprječavaju ozbiljni kvarovi odnosno ukazuje na lošu ili neodgovarajuću toplinsku izolaciju. Na taj način smanjuje se broj neplaniranih ispada pogona. Izravni učinci očituju se u ubrzanju postupka dijagnosticanja kvara i provjeri poduzetih zahvata, uštedi energije, zaštiti kapitalne opreme, kao i smanjenju premija osiguranja. Maksimaliziranjem raspoloživosti opreme, uz potvrdu njezine pouzdanosti, ali i ukazujući na moguća kritična mjesta, povećava se i ukupno vrijeme rada, odnosno proizvodnje.

Ispitivanje električne opreme najčešće ukazuje na probleme uzrokovane odnosima struje i napona. Općenito, "toplo mjesto" u električnom strujnom krugu pojavljuje se kao posljedica

npr. nedovoljno pritegnutog, oksidiranog ili korodiranog spoja, ali i nepravilnog rada samog aparata. Zato i IC termografija nalazi primjenu u područjima kao što su proizvodnja el. opreme, preventivno održavanje postrojenja (u proizvodnji el. energije, u prijenosu i distribuciji, u industriji i transportu).

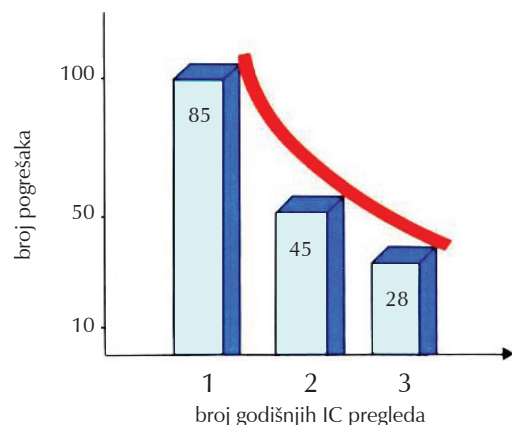
Stanje opreme na kojoj je uočeno povećanje temperature može se po Jouleovu zakonu procijeniti temeljem kriterija prema poznatoj referentnoj i korektnoj temperaturi, gledano pod istim radnim uvjetima i uzimanjem u obzir dobivene temperaturne razlike izražene kroz "delta T" (ΔT):

- ▶ ΔT preko 30 °C ili ako je apsolutna temperatura preko 80 °C
Zahtijeva HITNU intervenciju! Klasa A
- ▶ ΔT od 5 °C do 30 °C
Zahtijeva intervenciju kod prvog zaustavljanja pogona! Klasa B
- ▶ ΔT do 5 °C
Zahtijeva praćenje stanja i planiranje score intervencije! Klasa C

Ta klasifikacija stanja el. opreme urađena je prema ITC-u (eng. *Infrared Training Center* – Stockholm). Da bi se odredilo nazivno povišenje temperature kod opterećenja koja su manja od 100 %-tnog za izračun primjenjujemo Jouleov zakon, što je također predmet školovanja termografista.

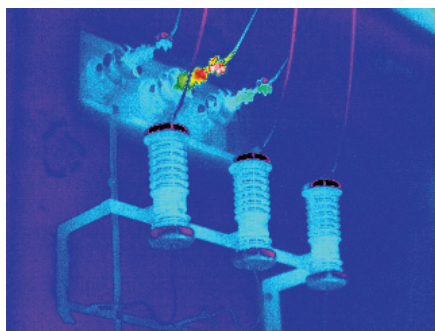
Za kontrolu i inspekciju elektroenergetskih postrojenja preporučuje se uvođenje tzv. ciklusa održavanja pomoću IC praćenja stanja el. opreme, koji se može prilagoditi gotovo svakoj industrijskoj sredini. Tako se npr. mogu dobiti podaci: o tipovima popravaka, o broju komponenti koje su zamijenjene, o potrebnom broju rezervnih dijelova, o ostalim važnostima za pogonsku spremnost postrojenja. Moguće ocjeniti kvalitetu urađenih popravaka kao i njihova periodičkog praćenja, koje ima cilj smanjenje kvara, posebno onih najtežih. Tako generirani podaci omogućavaju povratnu vezu koja je nužna u stvaranju djelotvornog sustava održavanja postrojenja. To je upravo pravi razlog uvođenja preventivnih pregleda metodom IC termografije.

Daljnjom detaljnom analizom, koliko opada broj godišnjih kvarova s brojem godišnjih kontrola IC termografijom, došli bismo do iznimnih rezultata: ako je npr. godišnji broj kvarova nekog energetskog postrojenja 100, onda već kod primjene jedne IC termografije godišnje on iznosi 85, kod dvije primjene godišnje to je 45, a kod tri IC termografije godišnje (znači svaka četiri mjeseca) pada na fantastičnih 28! Pretvorimo to u postotke, postotke u novac, a smanjenje broja pogrešaka po pregledu u izravnu novčanu uštedu!

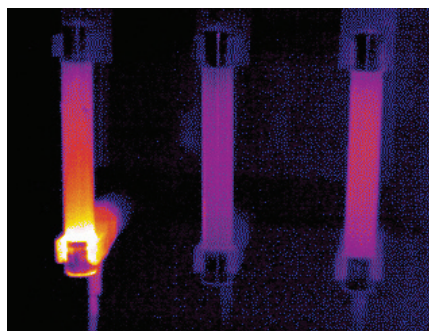


Slika 2 – Smanjenja broja pogrešaka i kvarova s obzirom na broj godišnjih pregleda

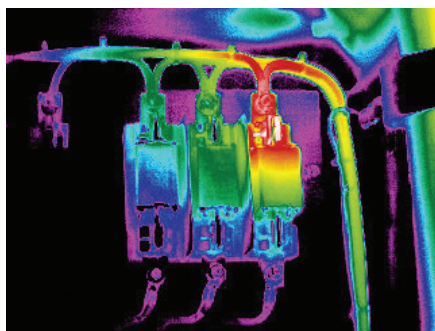
Nekoliko primjera nepravilnosti na elektroenergetskim postrojenjima uočenih IC termografijom:



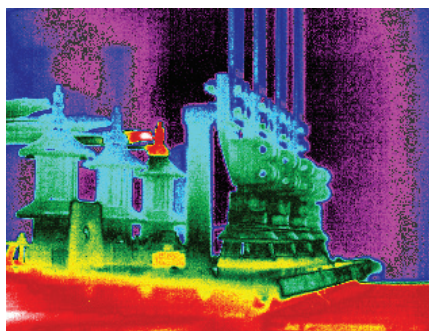
Slika 3 – Izlaz 10 kV iz trafostanice na dalekovod



Slika 4 – Dosjed visokonaponskog osigurača u razvodnom ormaru pri visokonaponskom dijelu trafostanice



Slika 5 – Dosjed osigurača u razvodnom ormaru pri niskonaponskom dijelu trafostanice



Slika 6 – Spoj visokonaponskog kabela na 10 kV strani transformatora

IC termografska kontrola gubitaka toplinske energije

Pomoću IC opreme moguće je vidjeti gdje nastaju gubici toplinske energije iz zgrada, procesnih postrojenja i slično, toplovodnih ili parovodnih cijevnih instalacija i elemenata (podzemnih i nadzemnih), kontrolirati požare. Pojava zagrijavanja u mnogim slučajevima ukazuje na pogreške. Termografskim se uređajima veoma dobro mogu pratiti stanja izolacije, mreže cjevovoda u procesnoj industriji, vrelovoda u toplinarstvu kod distribucije tople vode i pare, kontrolirati izmjenjivače topline i kotlove, kvalitetu obloga peći.

Pri kontroli podzemnih instalacija mreže vrelovodnih cijevi (raznih presjeka) u gradskoj distribuciji od toplane do toplinskih stanica u stambenim objektima, IC termografija zauzima sve značajniju ulogu. Uz pomoć IC kamere moguće je pratiti podzemnu instalaciju cijevi te na osnovi računalne analize usporediti je s izvedbenom tehničkom dokumentacijom, vrlo precizno odrediti mjesto defekta – propusta, odnosno mjesto otvaranja (podzemne vrelovodne instalacije nalaze se na dubini od 0,80 m i do više od 2,00 m). Ponekad dokumentacija nije potrebna jer je puknuće cijevi toliko da se nepravilno grije veća površina iznad defekta. Pri takvom je praćenju važno paziti na vanjske utjecaje koji mogu toliko iskriviti IC sliku da dovedu do krive interpretacije rezultata (npr. utjecaj Sunčevih zraka na mjerenu površinu, prije parkirano vozilo na trasi prolaza cijevi vidljivo je više sati, drveće uz trasu, okolne kanalizacijske cijevi i propusti

kanalizacije, refleksije ulične rasvjete, vlažnost površine, utjecaj vjetra i dr.). Zato pri završnoj analizi IC zapisa i pri kreiranju protokola za toplinske podzemne mreže snimane u raznim godišnjim dobima, danju ili noću, posebno treba voditi računa o vanjskim utjecajima. Ponekad je potrebno primjenjivati i druge metode dijagnostike, npr. prislušni uređaj poznat i pod nazivom "echo-sonder", i usporediti dobivene rezultate.

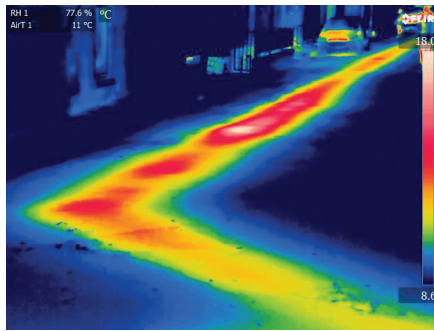
Kako se radi o novijoj metodi praćenja stanja vrelovodnih podzemnih instalacija, nužno je snimiti početno stanje za kontinuirano praćenje i uredno ažurirati svaku promjenu (zahvat pri otklonu kvara). Tako se mogu registrirati podaci o kvaliteti izolacije pa čak i procijeniti gubici. Samo praćenje moguće je organizirati na više načina. Na slikama 7 – 10 nekoliko je primjera registriranih nepravilnosti podzemnih instalacija.

Treba napomenuti da se najbolji rezultati postižu snimanjem iz zraka!

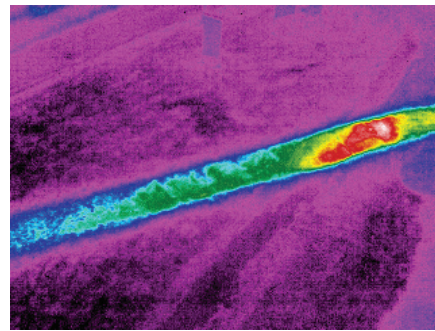
U idućem broju prikazat ćemo primjenu IC termografije na procesnim postrojenjima, detekciji propusta plinskih instalacija i primjeni u zgradarstvu.

Literatura

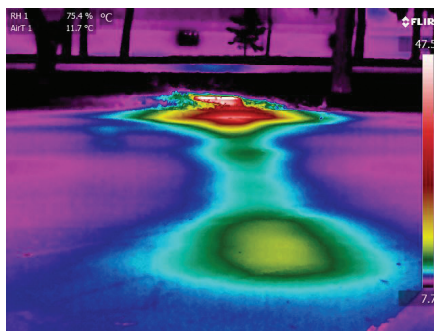
Korištena dokumentacija i IC slike Kostelgrada. Fotografija kamere tvrtke FLIR Systems. Djelomično objavljeno i na mrežnim stranicama: <http://www.kostelgrad.hr>, <http://www.huict.hr>



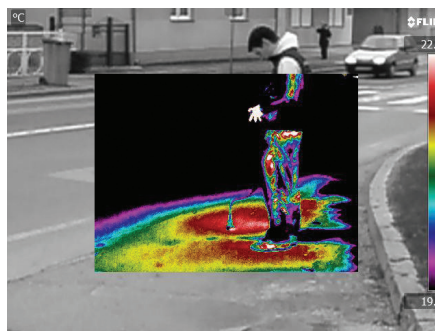
Slika 7 – Propust podzemnog vrelovoda



Slika 8 – Pogled iz helikoptera na propust magistralnog vrelovoda



Slika 9 – Propust podzemne instalacije uz rubnjak prometnice



Slika 10 – Dodatna provjera mjesta puknuća "echo-sonderom"

Krešimir Petrović predsjednik je *Hrvatske udruge za infracrvenu termografiju (HUICT)* i osnivač tvrtke *Kostelgrad*, prve tvrtke u Hrvatskoj koja se specijalizirala za infracrvena mjerenja i dijagnostiku. Svojim radom dao je veliki doprinos popularizaciji i primjeni infracrvene termografije u Hrvatskoj i regiji.



Hrvatska Udruga za infracrvenu termografiju osnovana je s ciljem promicanja, razvitka i unapređenja infracrvene termografije u Republici Hrvatskoj.

HUICT je organiziran u grupacije prema područjima primjene: energetika, elektrotehnika, strojarstvo, termotehnika i procesna tehnika, graditeljstvo, medicina i veterina, zaštita okoliša, posebne namjene i istraživanja i razvoj.

KOSTELGRAD
IC TERMOGRAFIJA www.kostelgrad.hr

Tvrtka *Kostelgrad* uvela je tijekom svojeg djelovanja standarde za termografska snimanja infracrvenom kamerom, računalnu obradu infracrveno snimljenih objekata i izdavanje protokola – izvještaja (nalaza – atesta) obavljenog IC snimanja!

Tvrtka *Kostelgrad* uvela je tijekom svojeg djelovanja standarde za termografska snimanja

Kako bi podigli IC termografiju na rang koji ona ima u svijetu moderne tehnologije održavanja, u elektroenergetici, elektrotehnici i strojarstvu, kontroli tehnoloških procesa, praćenju temperaturnih promjena okoline, pri očuvanju okoliša i kontrole u graditeljstvu, primjene u medicini i veterini, u istraživanju i razvoju, te u dijelu posebnih namjena (HV, MUP, VD, GSS, osiguranje objekata), *Kostelgrad* sudjeluje u osnivanju Hrvatske udruge za infracrvenu termografiju (HUICT-a), a svojim djelovanjem i aktivnostima izrastao je u vodeću tvrtku za pružanje certificiranih usluga IC snimanja. Termografisti *Kostelgrada* sudjeluju u organiziranom školovanju za ovlaštenje pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.