

# PRIMJENATERMOVIZIJE (IC TERMOGRAFIJE) UPREVENTIVNOM ODRŽAVANJU I ISPITIVANJU ENERGETSKIH SUSTAVA

IC termografija (termovizija) je beskontaktna metoda mjerenja temperature i njezine raspodjele na površini tijela. Temelji se na mjerenju intenziteta infracrvenog zračenja s promatrane površine. Rezultat termografskog mjerenja je termogram, koji u sivim tonovima ili nekom kodu boja daje sliku temperaturne raspodjele na površini promatranog objekta. Temperaturna raspodjela posredno daje informaciju o različitim stanjima same površine ili je pak odraz strukture i unutrašnjeg stanja promatranog objekta.

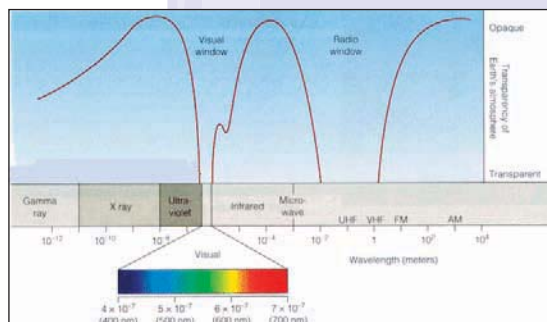
“Iako na visokim temperaturama užarena tijela svijetle, vidljiva svjetlost nije jedino zračenje koje ona emitiraju.”

## O elektromagnetskom zračenju

Sva tijela kontinuirano emitiraju elektromagnetsko zračenje, koje kroz vakuum putuje brzinom svjetlosti  $3 \cdot 10^{10}$  m/s. Pokusi su nedvojbeno potvrdili da se zračenje ponaša kao čestica u svojoj interakciji s tvari, a kao val kad se širi kroz prostor. Elektromagnetski valovi tako imaju dualnu prirodu: valnu i korpuskularnu. Valna je duljina zračenja  $\lambda$  vezana na frekvenciju vala  $\nu$  i brzinu širenja vala  $c$  preko izraza:

$$c = \nu \cdot \lambda$$

Iako na visokim temperaturama užarena tijela svijetle, vidljiva svjetlost nije jedino zračenje koje ona emitiraju. Emisijski spektri čvrstih tijela kontinuirani su i sastoje se od svih valnih duljina, od neke minimalne do maksimalne. Oblik spektra i raspored energije po pojedinim valnim duljinama ovisi o temperaturi i svojstvima površine koja zrači. **Toplinski efekti** su vezani za zračenja u području valnih duljina od 0,1 do 100  $\mu\text{m}$ . Vidljivi dio spektra obuhvaća vrlo usko područje unutar područja toplinskog zračenja, tj. vidljivi je spektar dio toplinskog zračenja kojeg može registrirati ljudsko oko. Nalazi se u području valnih duljina između 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ . Idući u smjeru porasta valnih duljina područje se toplinskog zračenja tako može podijeliti na tri uzastopne poddomene: ultraljubičasto područje, vidljivi dio i infracrveno područje.



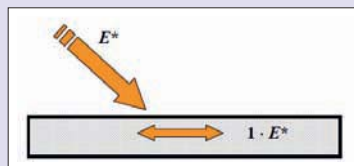
Slika 1: Elektromagnetski spektar

U većini krutina i kapljevine se zračenje koje emitira pojedina molekula jako apsorbira od strane susjednih molekula. Tako, zračenje koje emitiraju odnosno apsorbiraju kapljevine odnosno krutine, uključuje samo molekule blizu površine: za metale je taj sloj

debljine nekoliko molekula, a za nemetale nekoliko mikrometara. Za ovakve se materijale emisija i apsorpcija zračenja mogu promatrati kao **površinski fenomeni**. S druge strane za mješavine plinova koje sadrže čestice vodene pare ili ugljičnog dioksida, ili pak za krutine koje su djelomično propusne za zračenja, apsorpcija je dubinska i zračenje koje tijelo emitira može imati izvor bilo gdje u promatranom tijelu. Emisija i apsorpcija zračenja su tada **volumenski fenomeni**.

## Crno tijelo

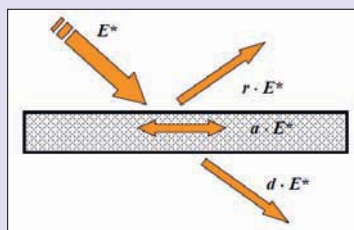
Crno tijelo je idealno tijelo koje apsorbira cjelokupno zračenje koje pada na njega, bez obzira na valnu duljinu ili kut upada i ništa ne reflektira. Jasna je posljedica ove definicije da je cjelokupno zračenje koje dolazi s površine crnog tijela emitirano zračenje, te da nijedno tijelo ne može emitirati više zračenja od crnog tijela pri određenim valnim duljinama i temperaturi. Crno tijelo nema preferirani smjer emitiranja zračenja, zračenje je difuzno.



Slika 2: Crno tijelo apsorbira cjelokupno prispjelo zračenje

## Realna tijela

Zračenje koje dolazi na površinu realnog tijela djelomično se apsorbira, djelomično reflektira, a djelomično propusti. Omjer između apsorbiranog i prispjelog zračenja zove se faktor apsorpcije, omjer između reflektiranog i prispjelog zračenja faktor refleksije, a omjer između propuštenog i prispjelog zračenja faktor diatermije.

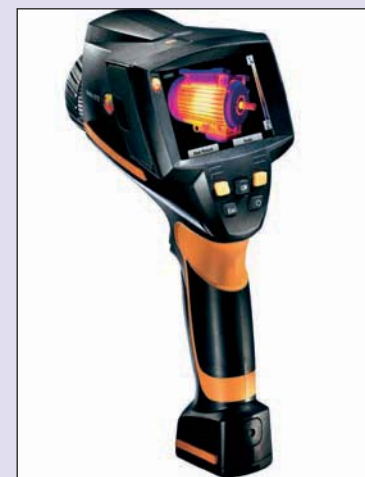


Slika 3: Apsorbirano, reflektirano i propušteno zračenje

## Princip rada termografskog uređaja

Termografski se sustav sastoji od termografske kamere i jedinice za obradu termograma (osobno računalo). U samoj kameri integrirana je IC optika, osjetnik IC zračenja, jedinica za pretvorbu električnog u video signal, monitor i kartica za pohranu podataka. Računalo služi za obradu termograma prema određenom softveru i u njega se podaci učitavaju s kartice koja se nalazi u kameri. Kako su karakteristike elektromagnetskog zračenja jednake za cijeli elektromagnetski spektar, to je optika koja se koristi u IC uređajima po obliku jednaka onoj kod fotografskih uređaja, no različita po materijalima iz kojih je napravljena. Materijali koji se koriste za izradu leća moraju biti propusni za IC zračenje, a to su; germanij, cink sulfid, cink selenid za dugovalna IC zračenja te silikon, safir, kvarc ili magnezij za srednjevalna IC zračenja. Osjetnik u termografskoj kameri mjeri količinu energije koja pada na njegovu površinu i koja odgovara intenzitetu zračenja definiranog dijela IC spektra. Da bi se iz zračenja prispjelog na osjetnik kamere izračunala korektna vrijednost temperature promatranog objekta potrebno je poznavati svojstva površine objekta, temperaturu okolišnih objekata, udaljenost kamere od promatranog objekta, temperaturu i relativnu vlažnost zraka. Sve te podatke potrebno je prethodno podesiti kao ulazne parametre u softveru kamere. Utjecaj zračenja iz okoliša treba svesti na minimum, osobito ako se radi o objektu koji je na temperaturi bliskoj okolišnoj ili ima nisku vrijednost emisijskog faktora. Osim utvrđivanja temperature objekta poznatog emisijskog faktora, softver u kameri pruža i drugu mogućnost. Na temelju poznavanja temperature objekta i svih prethodno navedenih ulaznih parametara moguće je dobiti vrijednost emisijskog faktora promatrane površine. Kad se pak radi o potrebi anuliranja propusnosti, ispred objektiva

kamere stavljaju se različiti filtri čija je zadaća spriječiti prolaz

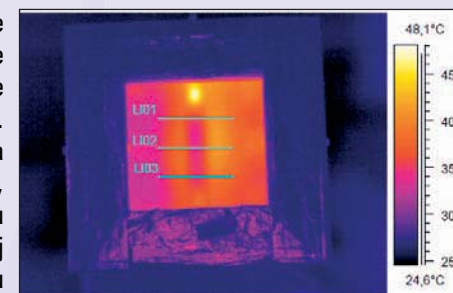


Slika 4: Ručna termografska kamera prikladna za pogonska energetska ispitivanja (npr. EM crpke, ventilatori, izmjenjivači topline, plamenici, komore izgaranja, osjetnici temperature)

kroz objektiv elektromagnetskih valova onih valnih duljina za koje je promatrani objekt propustan.

## Aktivna termografija

Aktivna se termografija zasniva na promatranju dinamičkog ponašanja površine objekta izloženog toplinskoj pobudi. Toplinska se pobuda može postići na različite načine. Tako su poznate impulsna, periodička, lock-in, vibracijska i druge vrste pobuda. Svima njima zajednički je cilj poslati određeni paket energije u promatrani objekt i promatrati njegov odziv na tu toplinsku pobudu - vremenski razvoj površinske temperature raspodjele. Naknadnom se analizom može zaključivati o



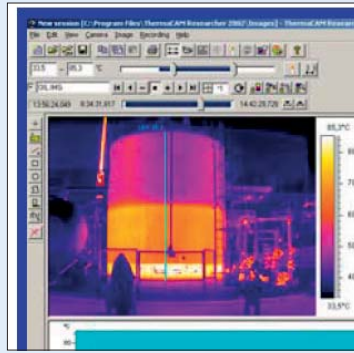
Slika 5: Uzorak iz fenolne smole ( $t = 300$  s)

strukturi materijala ispod površine, mogućim uključinama, pukotinama ili procesima koji se zbivaju ispod površine.

## Pasivna termografija

Pasivna termografija promatra objekte u stacionarnom stanju.

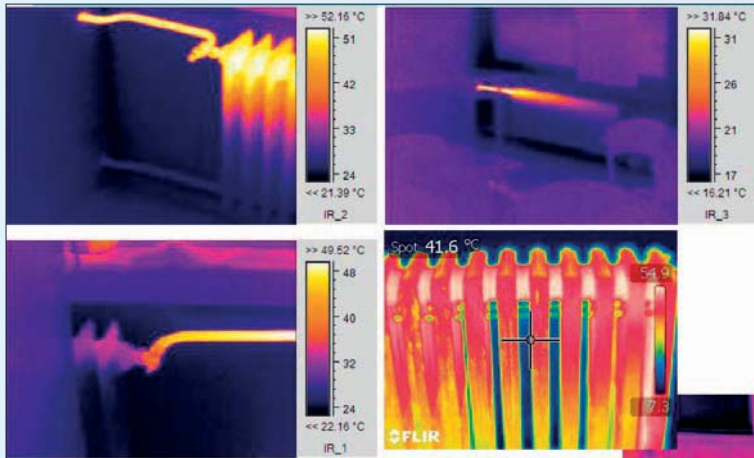
Razlike u iznosima infracrvenog zračenja koje dolaze s površine objekta su ili posljedica razlika u temperaturi ili razlika u svojstvima promatrane površine. Naknadna obrada snimljenih termograma na računalu može biti kvalitativna, što podrazumijeva samo uočavanje mjesta različitosti, ili kvantitativna što uključuje utvrđivanje iznosa temperatura, temperaturnih razlika ili emisijskih faktora po pojedinim lokacijama na termogramu.



Slika 6 : Spremnik s vertikalnom linijskom temperaturom

Primjeri iz prakse :

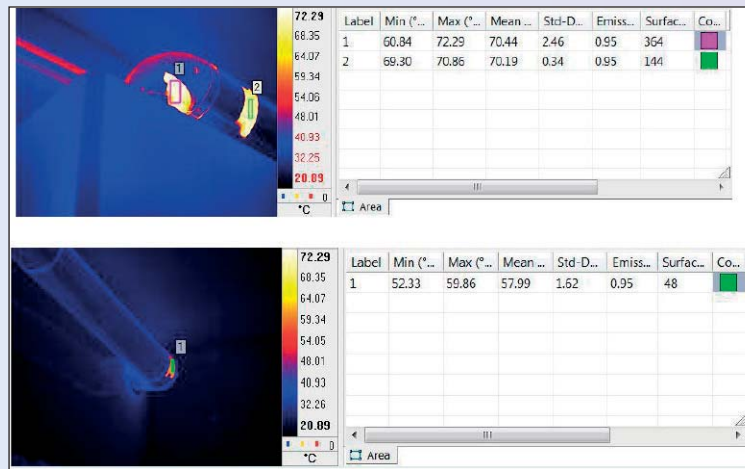
#### DETEKCIJA PROTOČNOSTI SUSTAVA GRIJANJA



Izvršeno je termovizijsko snimanje cjelokupnog sustava toplovodnog grijanja kao i zasebno snimanje svakog grijaćeg tijela zasebno (tzv. radijatora). Ispitivanje je vršeno pri različitim temperaturama polaznog voda (min., max. i prosječna) kao

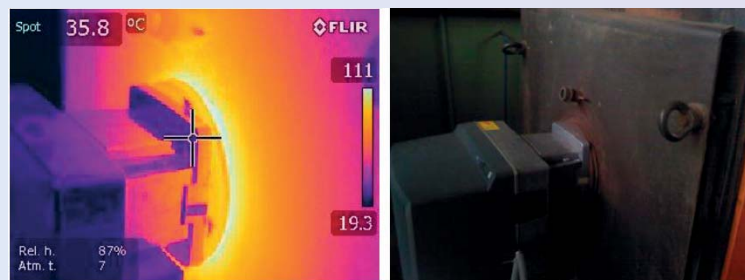
i pri različitim brzinama vrtnje crpke (2 - brzinska pumpa plinskog kombi grijača vode). Utvrđeno je začepljenje na ulaznom ventilu jednog grijaćeg tijela kao i nakupine taloga (mulja) koji onemogućavaju pravilnu temperaturnu raspodjelu.

#### UTVRĐIVANJE STUPNJA POTHLAĐENJA DIMOVODNE CIJEVI



Izvršeno je termovizijsko snimanje priključne aluminijske dimovodne cijevi (L = 2m) od plinskog atmosferskog grijača vode. Ispitivanje je vršeno pri različitim temperaturama dimnih plinova (pri min. i max. snazi aparata). Utvrđeno je velik stupanj pothlađenja (više od 32%!) dimnih plinova prije samog ulaza u dimovodnu vertikalu koji uzrokuje pojavu kondenzata u dimnjaku.

#### UTVRĐIVANJE STANJA BRTVE PLAMENIKA KOTLA



Izvršeno je termovizijsko snimanje priključka plamenika na kotao radi utvrđivanja stanja brtve te eventualne nestabilnosti plamene fronte. Ispitivanje je vršeno pri max. snazi plamenika kako bi se brtva max. temperaturno opteretila. Utvrđeno je ispravnost brtve (površinska temperatura : T = 35,8°C) te promjena iste nije neophodna.

#### Zaključno

S obzirom na sve veću potrebu preventivnog održavanja u energetske i procesne tehnici termovizijska kontrola se nameće kao realna alternativa klasičnim sustavima održavanja (rastavljanje uređaja na komponente te vizualna kontrola svakog zasebnog dijela – gubitak velikog dijela vremena na dijagnozu kvara!). Njena primjena polako ulazi i u redovna održavanja termotehničke opreme u kućanstvima (kotlovi i zidni grijači vode, klima sustavi, dimovodne instalacije, elektromotorni pogoni crpki i ventilatora, spremnici PTV i sl.).

Za ozbiljnu (inženjersku) primjenu termografije potrebno je pravilno educirati djelatnike (izobrazba termografista minimalnog stupnja LEVEL1 prema DIN 54162 i HRN EN 473) te formirati vlastitu iskustvenu bazu termograma temeljenu na redovnom ili preventivnom održavanju sustava. ■