

Kako izbrati infrardeči termometer?

Bojan TEŽAK

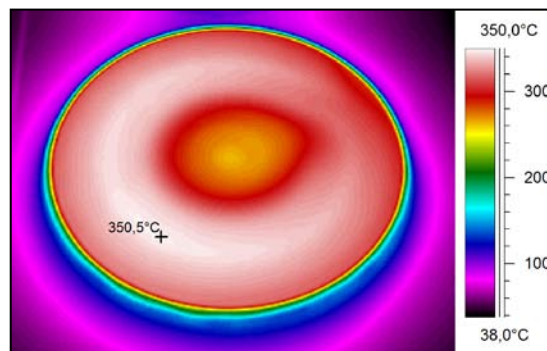
Izvleček: Ročni infrardeči termometer je najpogosteje uporabljan brezkontaktni merilnik temperature. Na prvi pogled enostavna uporaba pa je na žalost pripeljala tudi do nekritičnega merjenja in posledično nepravilnih rezultatov, ki pri uporabnikih vzbujajo dvom o uporabnosti IR-termometrov za resne meritve. Merilec se mora zato zavedati vsaj nekaj osnovnih fizikalnih omejitev merjenja, ki so sicer že dolgo znane, vendar pri vsakodnevnom merjenju pogosto neupoštevane. Razvoj tehnologije je poleg ročnih infrardečih termometrov prinesel tudi široko paleto stacionarnih IR-termometrov za zahtevnejšo uporabo, ki vse bolj zamenjujejo klasične kontaktne termometre. Prispevek opisuje ključne parametre, na katere moramo biti pozorni pri izbiri pravega IR-termometra za našo aplikacijo.

Ključne besede: IR-termometer, infrardeče merjenje temperature

1 Uvod

Poleg treh velikih zmot [1] o infrardečih termometrih (v nadaljevanju IR-termometri) je zelo razširjena še ena, za merilca prav tako usodna zmot. To je neupoštevanje emisivnosti oziroma sposobnosti sevanja merjene površine. Ob nedavni predstavitvi IR-termometrov pri neki stranki sem že na začetku naletel na odklonilen odnos.

Po njihovih izkušnjah so se izkazali za popolnoma neuporabne. Njihova izkušnja je namreč sledeča. Trgovec jim je pred časom prodal najnovejši ročni IR-termometer, ki je, po trgovčevem mnenju, tako dodelan, da lahko vsakdo hitro, enostavno in zanesljivo meri temperaturo česarkoli. Vse, kar je potrebno vedeti, je: nameri, sproži in odčitaj. Ponosni vzdrževalec, novi



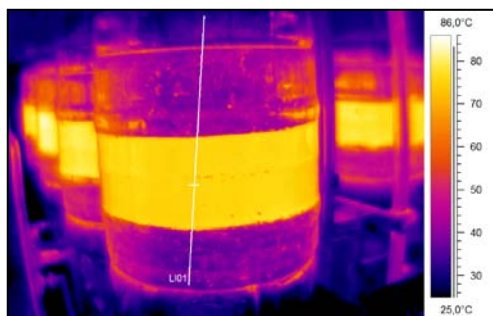
Slika 1. Izkušnje nas učijo, da temperature kuhalne plošče ne preverjamo z dlanjo

lastnik IR-termometra, je pridobitev z navdušenjem predstavil sodelavcem. Kako enostaven in hiter je postopek meritve, je demonstriral tako, da je termometer usmeril proti kovinskemu rezervoarju, v katerem je običajno razgreta tekočina. Termometer je pokazal, da je temperatura kotla na sobni temperaturi, torej nevarnosti za dotik ni. S popolnim zaupanjem v zanesljiv rezultat meritve z natanč-

ko si predstavljate njegovo začudenje, ko se mu je dlan zaradi vročine prilepila na kotel. Od takrat naprej leži IR-termometer v predalu, IR-metodo merjenja temperature pa so zavrgli kot nezanesljivo in neuporabno.

2 Primera nekritičnega merjenja

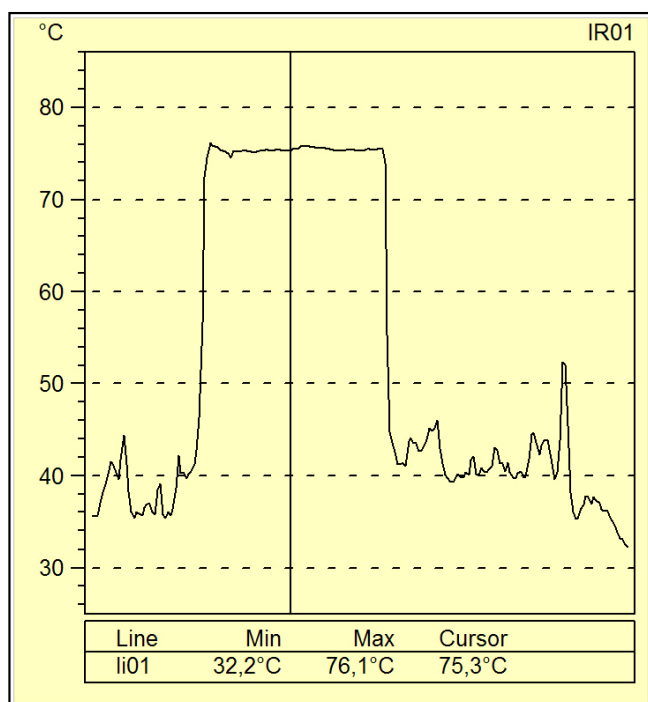
Nikomur ne pade na pamet, da bi z dlanjo preverjal temperaturo električne kuhalne plošče (slika 1). Preverjanje temperature plošče z IR-termometrom je dokaj zanesljivo merjenje tudi za našega nesrečnega merilca. Ker ima plošča visoko emisivnost, bo s svojim novim IR-termometrom izmeril pravo temperaturo. IR-termometri imajo običajno tovarniško prednastavljeno visoko vrednost za emisivnost, ponavadi na 95 %. Pri nekaterih cenejših IR-termometrih te vrednosti uporabnik celo ne more spreminjati.



Slika 2. Poln pivski sod na polnilni liniji

Bojan Težak, univ. dipl. inž., Terming termografija, d. o. o., Ljubljana

nim in dragim IR-termometrom, je na kotel, ki je običajno na precej visoki temperaturi, pritisnil svojo dlan. Lah-



Slika 3. Temperaturni profil vzdolž linije na sliki 2. Emisivnost je nastavljena na 90 %.

Kaj je bilo torej narobe, da se je merilec opekel? Slika 2 prikazuje toplotno sliko (termogram), posneto z IR-kamero, in pripadajočo fotografijo polnega pivskega soda na polnilni liniji v pivovarni.

Linijski temperaturni profil prikazuje temperaturno porazdelitev vzdolž linije pri nastavljeni emisivnosti 90 %.

Popolnoma nelogično je, da je toplo pivo samo nekje na sredini soda, kot to prikazuje temperaturni linijski profil. Očitno je, da IR-meritvam ne moremo in ne smemo slepo verjeti.

■ 3 Emisivnost [2]

IR-termometer in IR-kamera sprejemata elektromagnetno valovanje, ki prihaja iz smeri merjenja. Merjenec oziroma objekt z višjo temperaturo seva več energije glede na objekt, ki ima nižjo temperaturo. IR-termometer, tako kot IR-kamera, sprejeto energijo elektromagnetnega valovanja pretvori v električni signal in vrednost signala primerja s podatki v elektronskem spominu ter z upoštevanjem drugih parametrov in nastavitvev na instrumentu izračuna temperaturo merjenja. Podatki v spominu IR-termometra so

izmerjeni odzivi instrumenta glede na normirani izvor sevanja (slika 4, slika 5). Normirani izvor sevanja je tako imenovano realno črno telo. Za praktično uporabo je realno črno telo povsem zadosten približek teoretičnemu črnemu telesu, ki predstavlja idealni izvor sevanja. Za idealno črno telo velja, da pri vsaki temperaturi seva največ možne energije.

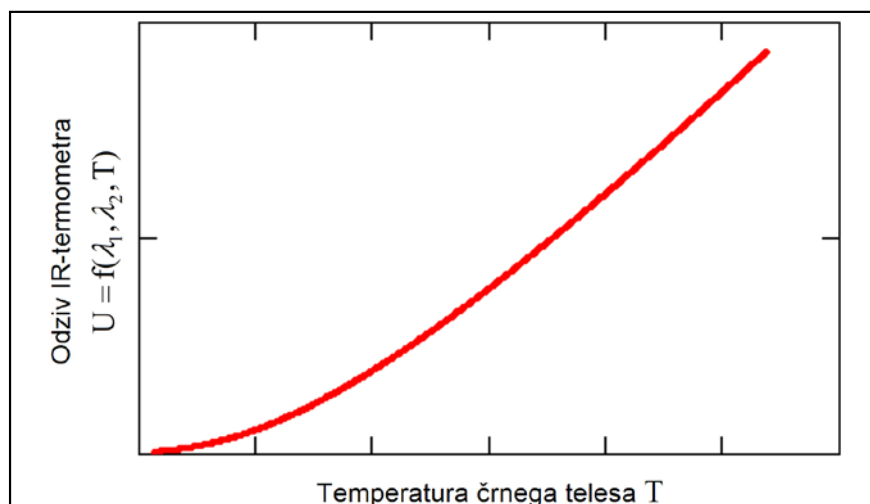
Odziv IR-termometra na sevanje realnega črnega telesa pri določeni temperaturi je integral Planckovega zakona sevanja oziroma Stefan-Boltzmanova enačba v omejenem pasu valovnih dolžin (λ_1, λ_2), (slika 5). Certifikat o kalibraciji za vsak instrument posebej navaja odstopanja temperature glede na referenčno temperaturo realnega črnega telesa.

3.1 Kaj mora vedeti merilec?

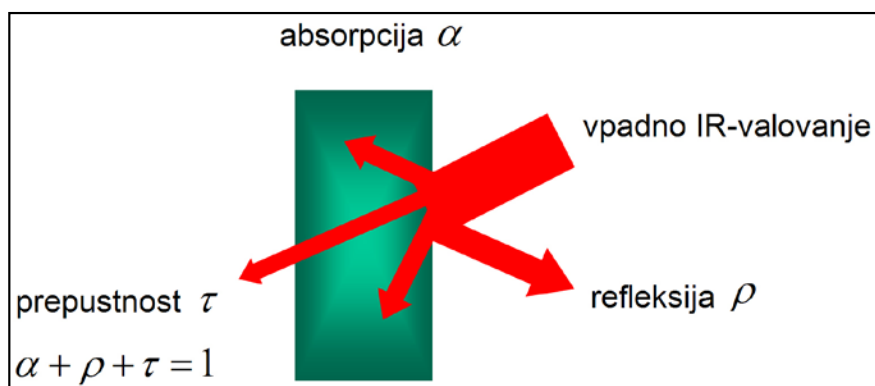
V praksi je malo površin, ki bi jih lahko primerjali z realnim črnim telesom. Tega bi se moral zavedati vsak merilec, ki nekritično uporablja IR-termometer. Slika 6 ponazarja lastnosti realnega objekta. Del elektromagnetnega sevanja, ki pade na objekt, gre skozi objekt, del se absorbira, del pa se odbije.



Slika 4. Umerjanje IR-termometra na izvor sevanja, ki je realno črno telo



Slika 5. Odziv IR-termometra na referenčni izvor sevanja pri različnih temperaturah



Slika 6. Lastnosti realnega objekta

Po zakonu o ohranitvi energije je:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

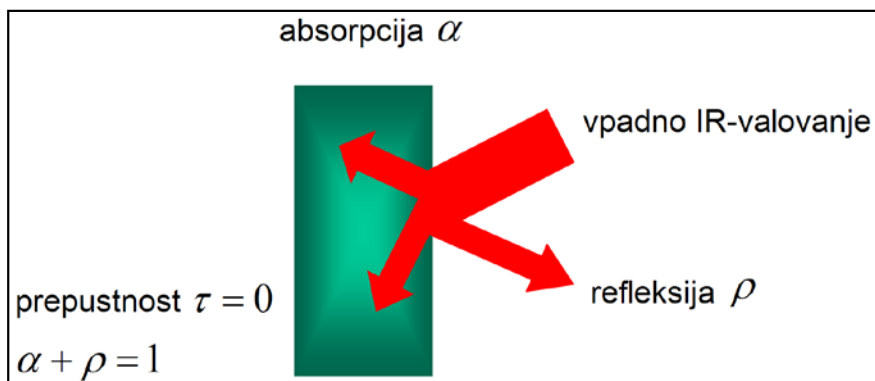
α absorpcija

ρ refleksija

τ prepustnost

Za neprozorne objekte je $\tau = 0$ (slika 7).

kot večina ročnih IR-termometrov, deluje v območju valovnih dolžin 8 do $14 \mu\text{m}$. Na grafu (slika 8) je prikazano, da je sposobnost sevanja kovinske površine v tem valovnem območju zelo majhna, pod 10 %. Tudi zelo vroča površina je sposobna izsevati samo 10 % energije, ki bi jo izsevalo idealno črno telo na isti temperaturi. Naš merilec se je



Slika 7. Lastnosti neprozornega objekta

Ostaneta samo absorpcija in refleksija:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (2)$$

Po Kirchhoffovem zakonu, ki pravi, da je dober absorber tudi dober sevalec, sledi, da je $\alpha = \varepsilon$. V zgornji enačbi lahko namesto α zapišemo ε in dobimo:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (3)$$

Ta enostavni zapis je najpomembnejša enačba, ki jo mora imeti vsak merilec stalno pred očmi. Z drugimi besedami: visokorefleksne površine imajo zelo nizko emisivnost in obratno.

opekel zato, ker je nekritično verjel termometru, ki je zaradi visoke refleksije kotla v resnici izmeril temperaturo okolice in ne temperature kotla.

Površino, katere emisivnost je odvisna od valovne dolžine, imenujemo selektivni sevalec ali tudi nesivo telo. Kovinske površine so tipičen primer selektivnih sevalcev. K sliki 7 je potrebno dodati še nekaj zelo pomembnega. Vsi našti faktorji, absorpcija (emisivnost), refleksija in transmisija, so valovno odvisni. Za točno meritev moramo poznati njihove vrednosti pri valovni dolžini, pri kateri meri IR-termometer.

Vrnimo se k našemu nesrečnemu merilcu. Njegov instrument, tako

V tabelah, ki jih dobite v navodilih za uporabo instrumenta ali jih najdete

na svetovnem spletu, so navedene tipične vrednosti za emisivnosti določenih materialov. Potrebno je biti pozoren, za katero valovno območje velja navedena vrednost. Emisivnost ni lastnost materiala, ampak njegove površine. Odvisna je od površinske strukture (obdelava, gladkost) in temperature. V splošnem emisivnost kovinskih površin s temperaturo narašča, nekovinskih pa pada.

■ 4 Kako IR-termometer določi temperaturo merjenja?

Z integriranjem Planckovega zakona sevanja po vseh valovnih dolžinah dobimo Stefan-Boltzmannov zakon, ki pravi, da je celotna energija, ki jo oddaja telo, proporcionalna četrti potenci absolutne temperature merjenja. Temu primeren je tudi odziv detektorja na vpadno sevanje [3]:

$$U \approx \varepsilon T_{obj}^4 \quad (4)$$

U detektorjev odziv

ε faktor emisivnosti

T_{obj} temperatura objekta

V realnih razmerah moramo za neprozorne objekte upoštevati, da je emisivnost merjene površine manjša od 1, kar pomeni, da je deloma refleksijsna. Termometer zato sprejema tudi sevanje, ki izvira iz nekega drugega reflektira. Zaradi poenostavitve pravimo, da je ta motilni izvor na temperaturi okolice oziroma ambienta T_{amb} . Tudi termometer ima svojo temperaturo T_{ter} , ki jo je potrebno upoštevati in ni nujno enaka T_{amb} .

$$U = C(\varepsilon T_{obj}^4 + (1 - \varepsilon) T_{amb}^4 - T_{ter}^4) \quad (5)$$

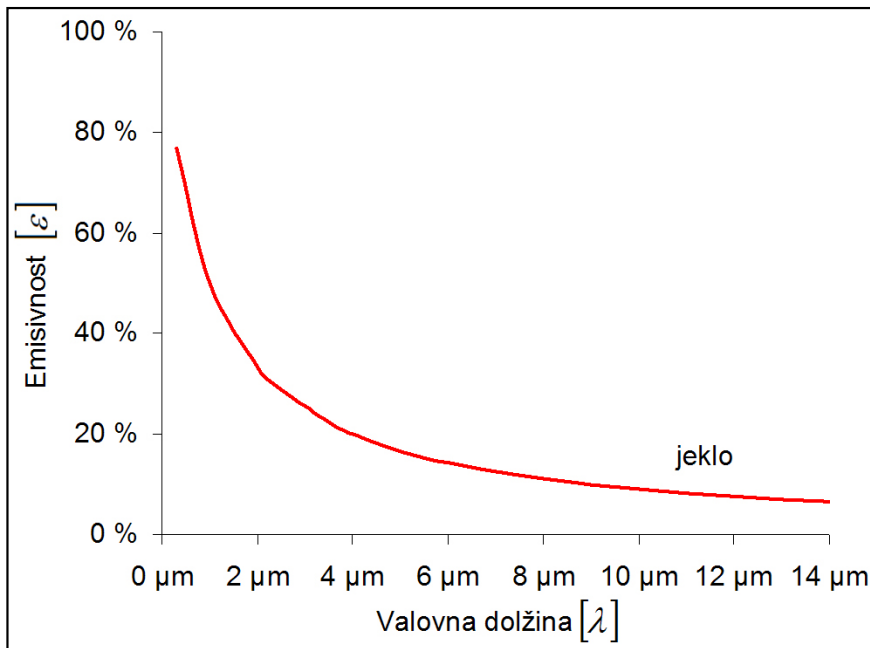
C specifična konstanta termometra

$(1 - \varepsilon)$ faktor refleksije ρ

T_{amb} temperatura reflektiranega izvora

T_{ter} temperatura termometra

Ker IR-termometri ne merijo v celotnem spektru valovnih dolžin,



Slika 8. Emisivnost jekla v odvisnosti od valovne dolžine

integral Planckovega zakona ali Stefan-Boltzmanova enačba ne vsebuje več potence 4, ampak, odvisno od izbranega valovnega območja, neko drugo vrednost n .

$$U \approx \varepsilon T_{obj}^n \quad (6)$$

n potenca, ki je odvisna od valovnega območja integriranja Planckove enačbe $n = f(\lambda_1, \lambda_2)$. V širokem območju med 1 in 14 μm znaša n med 2 in 17, v kratkovolnovnem območju med 1 in 2,3 μm pa med 15 in 17.

Dejanski odziv termometra je tako:

$$U = C(\varepsilon T_{obj}^n + (1 - \varepsilon) T_{amb}^n - T_{ter}^n) \quad (7)$$

in izmerjena temperatura objekta je proporcionalna:

$$T_{obj} = \sqrt[n]{\frac{U - C T_{amb}^n + C \varepsilon T_{amb}^n + C T_{ter}^n}{C \varepsilon}} \quad (8)$$

Vrednosti za U so zapisane v spominu IR-termometra in so določene pri umerjanju termometra na referenčno črno telo.

Kot bomo videli v nadaljevanju, imata faktor emisivnosti ε in potenca n pomembno vlogo pri izbiri IR-termometra.

5 Zaključek

Na prvi pogled enostavno merjenje z IR-termometrom postane nočna mora takoj, ko se srečamo z merjenjem temperature visokorefleksnih površin. Podatki o emisivnostih, navedeni v raznih tabelah, so zgolj orientacijske narave. Emisivnost merjene površine moramo zato določiti sami. Če je to mogoče, poskusimo povečati emisivnost z visokoemisivnimi nalepkami ali z barvanjem, sicer je meritev praktično nemogoča. Pri merjenju visokih temperatur nalepke ali barvanje ne pridejo v poštev. V tem primeru izberemo IR-termometer, ki meri pri krajših valovnih dolžinah, da tako naredimo manjšo napako. To pa je že tema, o kateri bo govor v nadaljevanju.

Viri

- [1] Težak, B.: Meritev temperature z infrardečim termometrom, Vzdrževalec avgust 2007, št. 118, str.: 16 – 18. http://www.termining.si/_lanki.html
- [2] Težak, B., Lovrec, D.: Uporaba IR-termografije v fluidni tehniki, Zbornik prispevkov Strokovne konference Fluidna tehnika 2005, str.: 231–253.
- [3] Optris GmbH: Application article AA-Metal-E2011-09-A.

How to choose an infrared thermometer?

Abstract: Handheld infrared thermometer is one of the most frequently used non-contacts thermometer. At first glance easy to use unfortunately also led to uncritical measurement and consequently incorrect results which agitate user's doubt on the usefulness of IR thermometers for serious measurements. Measurer should therefore be aware of at least some fundamental physical limits of measurement, which are already long been known but for everyday measurement often disregarded. Development of technology in addition to handheld infrared thermometers also brought a wide range of stationary infrared thermometers for demanding users, who increasingly replace conventional contact thermometers. This paper describes the key parameters on which we must pay attention when choosing the right IR thermometer for our application.

Keywords: infrared thermometer, infrared temperature measurement.