

Razvoj sistema za določitev vpliva velikosti tarče

Igor Pušnik¹, Goran Grgić²

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost
Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, Urad za meroslovje, Tržaška 21, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: igor.pusnik@fe.uni-lj.si

Povzetek. Pri umerjanju sevalnih termometrov je eden izmed prispevkov k celotni merilni negotovosti odvisen od velikosti merjene površine. Pojav se imenuje vpliv velikosti tarče in je posledica sevanja, katerega vir je zunaj nazivne velikosti tarče, ki je določena z vidnim poljem instrumenta. To lahko opazimo kot spremembo merjene temperature, ki je posledica spremembe velikosti merjene površine. Številni sevalni termometri, še posebej komercialni, ki delujejo v infrardečem spektru, to je pri nizkih temperaturah (pod 600 °C), imajo slabo karakteristiko vpliva velikosti tarče. Trenutno v termometriji ni standarda, ki bi določal način ovrednotenja vpliva velikosti tarče pri sevalnem termometru. Na splošno obstajata dve metodi za določanje karakteristike vpliva velikosti tarče, direktna in indirektna. Direktna metoda je primernejša pri nižjih temperaturah. Vpliv velikosti tarče smo izmerili po direktni metodi za sevalni termometer z lineariziranim signalom. Pri direktni metodi je sevalni termometer fokusiran na črno telo, kateremu spreminjamo premer odprtine. Razmerje med signalom detektorja pri določenem premeru in signalom pri največjem premeru je merilo za vpliv velikosti tarče. Za merjenje vpliva velikosti tarče po direktni metodi smo razvili sistem, ki temelji na vodno hlajenem nosilcu aluminijastih ploščic z različnimi premeri odprtin. Izmerjena karakteristika vpliva velikosti tarče nam omogoča korekcijo merilnih rezultatov v primerih, kjer s sevalnim termometrom merimo temperaturo površine, ki je enaka ali malo večja od nazivne površine merjenja pri sevalnem termometru.

Ključne besede: sevalni termometer, vpliv velikosti tarče, korekcija, negotovost

Development of the system for determination of the Size-of-Source Effect

Extended abstract. In calibration of radiation thermometers one of the contributions to the total measurement uncertainty depends on the target size. The phenomenon is known as the size-of-source effect (SSE). It is a result of radiation with the origin outside the instrument nominal target area, as defined by the field of view. The result is a different measured temperature as the size of the measured source is changed. Many radiation thermometers, especially commercial thermometers, which operate in the infrared spectrum, that is at lower temperatures (below 600 °C), suffer from a bad SSE characteristic. Currently, there is no standard available in thermometry defining a method for determination of the SSE of the radiation thermometer. Generally two methods are used, the direct and the indirect method. The direct method is more appropriate at lower temperatures. The radiation thermometer is focused on the blackbody having a

variable diameter of the aperture. The ratio between the signal at a given radius and the signal at the maximum radius is a measure for the SSE. For measuring the SSE with the direct method we developed a system based on a water-cooled holder of aluminium plates with different diameters of the apertures (Figs. 3, 4 and 6). The SSE characteristic for the radiation thermometer with a linearised signal was measured. Results of the used direct method without correction of the background radiation are presented in Fig. 7 and those with correction in Fig. 8. The background radiation was found negligible at target temperatures above 200 °C. Whenever applicable, the SSE should be determined at the highest temperature of the thermometer measuring range. The SSE characteristic is usually determined for targets larger than the nominal target of the radiation thermometer. If the SSE characteristic is known, a correction to the radiation thermometer reading can be applied for targets equal or slightly larger than the nominal target size. When the SSE is unknown, the measured target size shall be at least twice as large as the nominal target size of a radiation thermometer.

Keywords: radiation thermometer, size-of-source effect, correction, uncertainty

1 Uvod

Pojav, ki se imenuje »vpliv velikosti tarče«, je posledica sevanja, katerega vir je zunaj nazivne velikosti tarče, ki je določena z vidnim poljem sevalnega termometra. To lahko opazimo kot spreminjanje vrednosti signala detektorja oziroma izmerjene temperature, ki je posledica spreminjanja velikosti merjene površine, pri konstantni temperaturi le-te. Vpliv velikosti tarče je posledica razpršitve sevanja na prašnih delcih, medsebojnih odbojev sevanja na površinah leč, odklona in loma sevanja v lečah optičnega sistema, razpršitve sevanja na nepravilnostih optičnega sistema ter drugih napak (aberracij) optičnega sistema. Zato je treba za točno umerjanje sevalnega termometra izvesti umerjanje na viru z enakomerno porazdelitvijo sevanja, znanega polmera, in določiti vpliv velikosti tarče. Trenutno v termometriji ni standarda, ki bi določal način ovrednotenja vpliva velikosti tarče pri sevalnem termometru. Uporabljata se predvsem dve metodi določanja vpliva velikosti tarče, direktna [1] in indirektna [2]. Predpostavimo lahko, da sta metodi ekvivalentni, čeprav dobimo pri indirektni metodi manjše negotovosti [3], [4]. To je posledica dejstva, da pri direktni metodi uporabljamo črno telo z obliko votline, iz katere se toplota odvaja s konvekcijo in se temperatura lahko hitro spreminja, teh sprememb pa kontaktni termometer v črnem telesu ne zazna. Pri indirektni metodi pa se uporablja predvsem integrirna sfera, kjer meritve potekajo v vidnem spektru in ni problema z odvajanjem toplote. To je krogla s premerom od 30 cm do 50 cm, ki je z notranje strani prebarvana z barvo visoke odbojnosti. V njej je več volframovih žarnic, ki so regulirane tako, da imamo znotraj krogle stabilno in homogeno osvetljenje. Krogla ima odprtino z difuzno ploščico s premerom 10-15 cm, na kateri merimo sevanje. Ker potekajo meritve po indirektni metodi v vidnem spektru (temperature nad 600 °C), se lahko vpliv velikosti tarče pri nižjih temperaturah meri samo po direktni metodi.

Pri merjenju vpliva velikosti tarče primarnih sevalnih termometrov se uporablja nelinearizirani signal detektorja $S(L)$, za katerega velja:

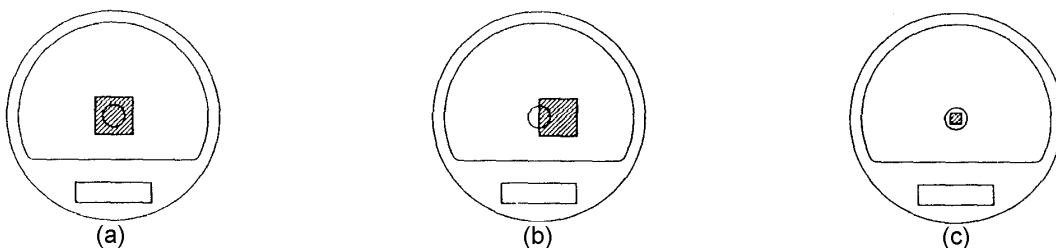
$$S(L) = a \cdot L \quad (1),$$

kjer L pomeni jakost vpadnega sevanja na detektor, konstanta a , ki je karakteristična za vsak termometer, pa vsebuje absorpcijo na optični poti in odzivnost detektorja, ki je neodvisna od jakosti vpadnega sevanja. Ker imajo izhod nelineariziranega signala detektorja samo precizijski sevalni termometri, lahko za druge, ki nam neposredno prikazujejo sevalno temperaturo, uporabimo metodo ekvivalentnega sevanja, ob predpostavki, da je sevalni termometer kvazi-monokromatski. To pomeni, da meri pri eni valovni dolžini. Vpliv velikosti tarče izračunamo s pomočjo jakosti sevanja, ki jo izračunamo iz sevalne temperature T po Planckovem zakonu:

$$L_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi n^2 \lambda^5} \cdot \left[e^{\frac{c_2}{n\lambda T}} - 1 \right]^{-1} \quad (2),$$

kjer sta $c_1 = 2\pi^5 h c_0^2 = 3,7417749 \cdot 10^{-16}$ [W·m²] in $c_2 = hc_0/k = 0,014388$ [m·K] prva in druga sevalna konstanta, λ valovna dolžina detektorja sevalnega termometra in n lomni količnik medija, skozi katerega potuje sevanje.

Izdellovalci v specifikacijah navajajo nazivno velikost tarče kot polmer ali premer kroga na merjeni površini pri določeni oddaljenosti sevalnega termometra. Znotraj tega kroga je zajet določen odstotek sevanja (ponavadi 90 % do 98 %), ki vpliva na izmerjeno vrednost sevalne temperature. Pri sevalnih termometrih, pri katerih skozi optični sistem vidimo merjeno površino, je nazivna tarča ponavadi označena. Primer pravilnega merjenja s sevalnim termometrom je prikazan na sliki 1. Za pravilno merjenje temperature mora merjena površina popolnoma prekriti nazivno velikost tarče, v nasprotnem primeru je sevanje iz okolice vzrok za napačno izmerjeno temperaturo.



Slika 1: Prikaz (a) pravilnega (b) nepravilnega in (c) praktično težko izvedljivega merjenja
Figure 1. Presentation of (a) correct, (b) incorrect and (c) practically almost impossible measurement

2 Direktna metoda

Pri direktni metodi je sevalni termometer fokusiran na odprtino zaslonke, ki se nahaja pred stabilnim virom sevanja, najpogosteje črnim telesom. Merimo signal detektorja pri različnih polmerih odprtine zaslonke. Vpliv velikosti tarče pri nekem polmeru r je določen z razmerjem $\sigma_s(r)$ med signalom pri tem polmeru $S(r, L)$ in signalom, ki bi ga dobili pri neskončnem polmeru $S(\infty, L)$:

$$\sigma_s(r) = \frac{S(r, L)}{S(\infty, L)} \quad (3)$$

Ker v praksi ne moremo doseči neskončnega polmera, merimo vpliv velikosti tarče kot funkcijo polmera vira sevanja na nekem omejenem območju $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ (slika 2), kjer r_{\max} najpogosteje pomeni polmer odprtine črnega telesa.

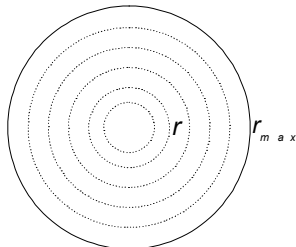
Vpliv velikosti tarče tako izrazimo z razmerjem med signalom detektorja pri polmeru r in signalom pri polmeru r_{\max} :

$$\sigma_s(r, r_{\max}) = \frac{\sigma_s(r)}{\sigma_s(r_{\max})} = \frac{S(r, L)}{S(r_{\max}, L)} \quad (4)$$

Pri poznavanju vpliva velikosti tarče $\sigma_s(r, r_{\max})$ sevalnega termometra za neko območje polmerov lahko s pomočjo naslednje enačbe:

$$S(r_2, L) = S(r_1, L) \frac{\sigma_s(r_2, r_{\max})}{\sigma_s(r_1, r_{\max})} \quad (5)$$

signal $S(r_1, L)$ izmerjen pri poljubnem polmeru r_1 , pretvorimo v signal $S(r_2, L)$ pri referenčnem polmeru r_2 , kjer morata polmera r_1 in r_2 ustrezati pogoju $r_{\min} \leq r_1, r_2 \leq r_{\max}$.



Slika 2: Direktna metoda
Figure 2. Direct method

2.1 Direktna metoda s korekcijo sevanja iz okolice

Prej smo upoštevali, da je sevanje iz okolice, ki je sevanje zaslonke, zanemarljivo glede na sevanje izvora. V primeru, ko sevanje iz okolice ni več zanemarljivo, ga moramo upoštevati pri izračunu vpliva velikosti tarče. Tako je signal detektorja S , poleg sevanja vira s temperaturo T in polmerom tarče r odvisen še od sevanja iz okolice s temperaturo T_{ok} . Zvezo med vplivom velikosti tarče in izmerjenim signalom ob upoštevanju deleža jakosti sevanja iz okolice L_{ok} , lahko zapišemo kot:

$$S(r, L, L_{ok}) = \sigma_s(r) \cdot S(\infty, L) + (1 - \sigma_s(r)) \cdot S(L_{ok}) \quad (6)$$

V praksi signal detektorja pri neskončnem polmeru $S(\infty, L)$ ponovno nadomestimo s signalom pri največjem polmeru $S(r_{\max}, L)$, signal okolice $S(L_{ok})$ pa izmerimo tako, da sevalni termometer usmerimo v več različnih točk okolice in izračunamo srednjo vrednost signala. Vpliv velikosti tarče s korekcijo sevanja iz okolice se sedaj glasi:

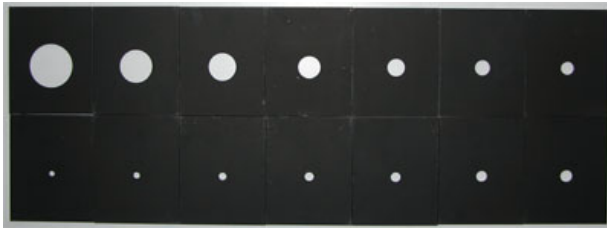
$$\sigma_{S,ok}(r, r_{\max}) = \frac{S(r, L, L_{ok}) - S(L_{ok})}{S(r_{\max}, L, L_{ok}) - S(L_{ok})} \quad (7)$$

Sevanje iz okolice lahko zanemarimo pri merjenju temperatur, višjih od približno 200 °C, [5]. S tem se enačba (7) spremeni v osnovno enačbo za vpliv velikosti tarče, to je enačbo (4).

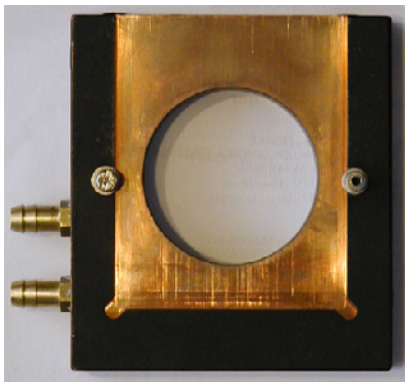
3 Izdelava sistema za merjenje velikosti tarče

Za merjenje vpliva velikosti tarče potrebujemo izvore sevanja različnih premerov. Ker praktično ni mogoče imeti vsaj deset črnih teles z različnim premerom odprtine, smo izdelali sistem z zaslonkami. Zaslonke z različnimi premeri odprtin (slika 3) postavimo pred črno telo in tako omejimo sevanje črnega telesa na premer zaslonke. Ker pa se te segrevajo s konvekcijskim tokom in sevanjem iz črnega telesa, in sicer zaslonke z majhno odprtino bolj kot tiste z večjo, bi tako pri meritvah dobili spremenljive pogoje okolice, ki jih pomeni sevanje zaslonke. Za zagotovitev enakih pogojev okolice za vse zaslonke so le-te pritrjene na bakreni nosilec (slika 4), ki je hlajen s tekočino iz temperaturno reguliranega hladilnega sistema.

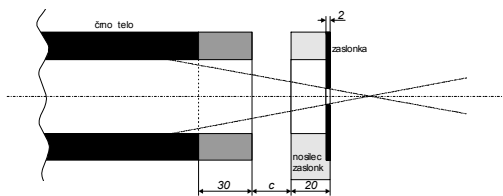
Za uspešno hlajenje morajo biti zaslonke in njihov nosilec narejeni iz materiala, ki dobro prevaja toploto. Zaslonke so iz aluminija, ki ima toplotno prevodnost 237 W/(m·K), nosilec zaslonk pa iz bakra, ki ima še večjo toplotno prevodnost, in sicer 401 W/(m·K).



Slika 3: Štirinajst zaslonk z različnimi polmeri odprtin
Figure 3. 14 shutters with different diameter of apertures



Slika 4: Nosilec zaslonk s hlajenjem
Figure 4. Holder of shutters with cooling

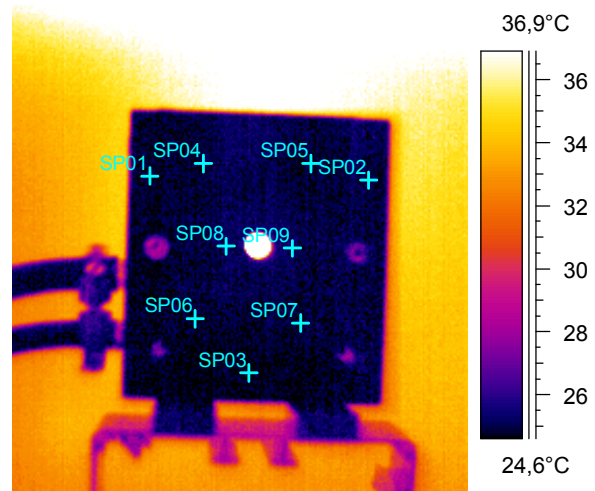


Slika 5: Postavitev nosilca zaslonk pred črno telo
Figure 5. Setting of the holder in front of the blackbody

Ker želimo čim manjši odboj sevanja iz okolice, so zaslonke in nosilec pobarvani s posebno barvo, ki ima visoko emisivnost, in sicer 0,91 v območju valovnih dolžin med $8 \mu\text{m}$ in $16 \mu\text{m}$. Zaslonke vstavimo na nosilec v poseben utor in jih z vijakom privijemo. Tako omogočimo dober toplotni stik med zaslonko in nosilcem. Pri meritvah vpliva velikosti tarče je bila temperatura nosilca zaslonk nastavljena na $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Razdalja c med nosilcem in črnim telesom je bila 20 mm (slika 5). Črno telo ima pred vhodom del iz plastičnega materiala dolgega 30 mm, zato merimo razdaljo od črnega telesa (kovine), ker je le-ta v stiku s medijem, ki zagotavlja temperaturno stabilnost. Tarča je od črnega telesa oddaljena 70 mm.

Učinkovitost hlajenja nosilca smo preskusili tako, da smo nosilec brez tarče postavili pred črno telo s temperaturo $240 \text{ }^\circ\text{C}$. Po 10 minutah, ko so se temperaturne razmere stabilizirale, smo izmerili povišanje temperature nosilca za $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Potem smo na

nosilec postavili še zaslonko. Temperatura je bila stabilna po eni minuti, toda temperatura zaslonke je bila poleg odprtine za $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ višja od temperature nosilca. Brez hlajenja sistema se zaslonka po eni minuti segreje za $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Če pa nosilec postavimo pred črno telo na razdaljo $c = 0 \text{ mm}$, torej popolnoma zapremo odprtino črnega telesa, dobimo še večje segrevanje. To je razvidno na sliki 6, kjer imamo prikazane temperaturne razmere, ki so bile posnete s termografsko kamero, pri nastavitvi črnega telesa $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Na zaslonki dobimo pri nižji nastavljeni temperaturi črnega telesa dvakrat večje segretke kot pri postavitvi nosilca na razdalji $c = 20 \text{ mm}$. Iz navedenih rezultatov je razvidno, da je primernejša postavitev nosilca pred črno telo na razdalji $c = 20 \text{ mm}$. Pri višjih temperaturah sta sevanje in konvekcijski tok iz črnega telesa večja, zato dobimo večje segrevanje v območju odprtine zaslonke. Pri merjenju vpliva velikosti tarče pri nizkih temperaturah moramo poznati sevanje iz okolice, ki v našem primeru izvira predvsem na območju odprtine zaslonke. Zato izmerimo relativne segretke okrog odprtine zaslonke s pomočjo infrardečega ušesnega termometra, na razdalji 1 mm od tarče, in sicer v devetih različnih točkah.



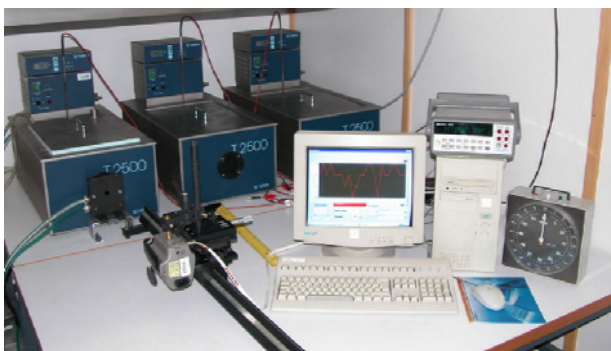
Slika 6: Temperatura nosilca in zaslonke pred črnim telesom s temperaturo $100 \text{ }^\circ\text{C}$

Figure 6. Temperature of the holder with shutter in front of the blackbody at $100 \text{ }^\circ\text{C}$

4 Merjenje vpliva velikosti tarče

Črno telo nastavimo na zeleno temperaturo, hlajenje nosilca zaslonk pa na $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Ker je vpliv velikosti tarče razmerje jakosti sevanj, ki jih izračunamo na podlagi izmerjene temperature pri dveh različnih velikostih tarče, nam ni treba meriti temperature absolutno točno. Z ohmetrom merimo upornost kontaktnega termometra v dnu črnega telesa. Zabeležimo najmanjšo in največjo upornost med samo meritvijo vpliva velikosti tarče pri določeni temperaturi in iz tega določimo stabilnost temperature. Meritve začnemo

izvajati, ko se temperatura povsem stabilizira. Fokus sevalnega termometra nastavimo na najmanjšo razdaljo. S tem zagotovimo razmere obnovljivosti za vse meritve. Sevalni termometer postavimo na posebno stojalo tako, da je os optičnega sistema poravnana z geometrijsko osjo črnega telesa. Dejanska postavitev sistema je prikazana na sliki 7. Meritve začnemo z največjo tarčo (zaslonka z največjim premerom) in jih izmenjujmo vse do najmanjše. Pri zamenjavi tarče počakamo eno minuto, da se njena temperatura stabilizira. Nato opravimo meritve temperature s sevalnim termometrom, ki je prek serijskega vodila priključen na osebni računalnik. Za merjenje smo izdelali program v programskem okolju LabVIEW. Program v datoteko beleži pomembne parametre meritve: datum in čas meritve, nastavljeno temperaturo črnega telesa, premer tarče, srednjo vrednost meritev in standardni odklon. Za vsako tarčo opravimo 30 meritev temperature in izračunamo srednjo vrednost ter standardni odklon. Toliko meritev opravimo zato, da dodatno preverjamo, ali prihaja do nestabilnih stanj, naraščanja ali padanja temperature, predvsem pri manjših tarčah, kjer je delež sevanja iz okolice relativno velik.



Slika 7: Sistem za merjenje vpliva velikosti tarče
Figure 7. System for measurement of the SSE

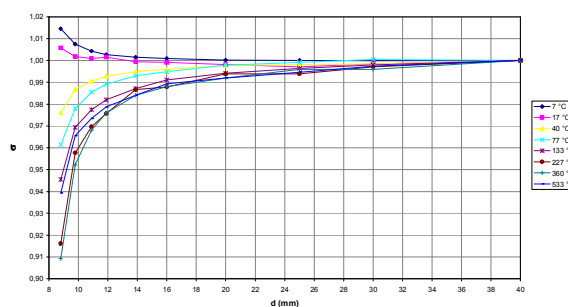
4.1 Rezultati merjenja vpliva velikosti tarče brez korekcije sevanja iz okolice

Vpliv velikosti tarče smo določili po direktni metodi kot razmerje med sevanjem določene tarče s premerom d in sevanjem tarče z največjim premerom, to je 40 mm. Ob upoštevanju enačbe (1) lahko enačbo (4) zapišemo drugače:

$$\sigma_L(d, d_{\max}) = \frac{L(d, T)}{L(d_{\max}, T)} \quad (8)$$

Uporabili smo metodo ekvivalentnega sevanja [6], ker sevalni termometer prikazuje sevalno temperaturo. To metodo lahko uporabimo ob predpostavki, da je sevalni termometer kvazi monokromatski. Za termometer

Minolta/Land Cyclops 300AF predpostavimo, da je kvazi monokromatski za valovno dolžino 10 μm , pri čemer detektor dejansko deluje v območju valovnih dolžin med 8 μm in 13 μm . Jakost sevanja $L(d, T)$ je funkcija premera tarče in izmerjene sevalne temperature. Računamo jo po Planckovem zakonu iz enačbe (2). Če bi imeli na voljo nelinearizirani signal detektorja, bi vpliv velikosti tarče računali neposredno iz razmerja signalov, enačba (4). Na sliki 8 so prikazane karakteristike vpliva velikosti tarče pri različnih temperaturah črnih teles in premerih tarč. Predvsem za karakteristike pri temperaturah 227 °C in 360 °C opazimo, da so z višanjem merjene temperature vedno bolj skupaj, torej se približujejo pravi karakteristiki vpliva velikosti tarče sevalnega termometra. To je posledica zmanjševanja vpliva sevanja iz okolice pri višanju temperature tarče. Karakteristiki pri temperaturah 227 °C in 360 °C se v območju tarč s premerom med 8,8 mm in 40 mm najbolj razlikujeta pri tarči 8,8 mm in to za 0,7 %. Za tarče, večje od 10,9 mm, se karakteristiki razlikujeta največ za 0,3 %. Karakteristika za temperaturo 533 °C odstopa od karakteristik pri 227 °C in 360 °C zaradi merjenja pri visoki temperaturi. Nad 200 °C ima sevalni termometer ločljivost 1 °C, zato dobimo stopničasto karakteristiko. Predvsem je to opazno pri karakteristiki za temperaturo 227 °C. Pri temperaturah 7 °C in 17 °C dobimo pri zmanjševanju tarče naraščajočo karakteristiko, kar pomeni, da je sevanje iz okolice, ki ga pomeni zaslonka s temperaturo 23 °C, večje.



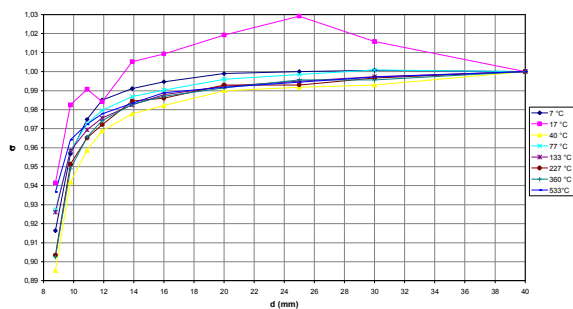
Slika 8: Karakteristike vpliva velikosti tarče za tarče s premerom od $d=8,8$ mm do 40,0 mm
Figure 8. Characteristics of the SSE for targets with the diameter range from 8.8 mm - 40.0 mm

4.2 Rezultati merjenja vpliva velikosti tarče s korekcijo sevanja iz okolice

Iz slike 8 je razvidno, da pri merjenju vpliva velikosti tarče pri temperaturah, nižjih od 200 °C, dobimo različne karakteristike. To je posledica sevanja iz okolice, ki ni zanemarljivo. Lahko pa pri izračunu karakteristike upoštevamo korekcijo le-tega, in sicer tako, da v enačbi (7) upoštevamo enačbo (1):

$$\sigma_{L,ok}(d, d_{max}) = \frac{L(d, T) - L(T_{ok})}{L(d_{max}, T) - L(T_{ok})} \quad (9),$$

kjer $L(T_{ok})$ pomeni jakost sevanja iz okolice. Tako vse meritve preračunamo na iste pogoje, ko nimamo sevanja iz okolice. V resnici dobimo pravo karakteristiko instrumenta, ki se ne razlikuje veliko od tiste, ki smo jo izmerili pri temperaturi 360 °C brez korekcije sevanja iz okolice. Karakteristike vpliva velikosti tarče s korekcijo sevanja iz okolice pri termometru Minolta/Land Cyclops 300AF so prikazane na sliki 9. Karakteristika pri 17 °C zelo odstopa od drugih karakteristik. To je posledica odštevanja dveh podobnih števil v enačbi (9), saj se merjena temperatura ne razlikuje veliko od temperature okolice, kar nam povečuje pogrešek pri določanju karakteristike vpliva velikosti tarče. Podobno velja za karakteristike pri temperaturah 7 °C, 40 °C in 77 °C, vendar v manjšem obsegu. Druge karakteristike so tesno skupaj. Predvsem karakteristiki pri temperaturah 227 °C in 360 °C se ne razlikujeta za več kot 0,3 %. Če ne upoštevamo karakteristike pri 17 °C, lahko iz povprečja vseh drugih karakteristik ugotovimo, da pomeni vpadno sevanje znotraj nazivnega premera tarče 92 % celotnega vpadnega sevanja na detektor. Preostalih 8 % sevanja ima izvor na kolobarju med 9 mm in 40 mm. Podatek za nazivno tarčo 9 mm smo dobili z linearno interpolacijo med rezultati meritev pri tarčah 8,8 mm in 9,8 mm. Srednja vrednost vseh karakteristik, brez karakteristike za 17 °C, in karakteristika pri 360 °C se zelo dobro ujemata.



Slika 9: Karakteristike vpliva velikosti tarče s korekcijo sevanja iz okolice za tarče z $d=8,8$ mm do 40,0 mm
Figure 9. Characteristics of the SSE with correction of background radiation for targets with the diameter range from 8.8 mm - 40.0 mm

5 Sklep

Vpliv velikosti tarče se ponavadi meri za tarče, večje od nazivne velikosti tarče sevalnega termometra. V našem primeru je premer le-te 9 mm. Z merjenjem pod to mejo smo hoteli ugotoviti, kako velike pogreške naredimo, če merjena površina v popolnosti ne prekrije nazivne tarče sevalnega termometra. Pri merjenju temperature 533 °C, pri tarči s premerom 7 mm, torej pri 2 mm manjšem

premeru od nazivnega premera tarče, dobimo pogrešek pri merjenju temperature črnega telesa 54 °C ali 10,6 %. Če ne poznamo karakteristike vpliva velikosti tarče, naj bo merjena površina vsaj dvakrat večja od nazivne velikosti tarče sevalnega termometra. Če poznamo obe vrsti karakteristik (s korekcijo sevanja iz okolice in brez korekcije), lahko izračunamo delež sevanja iz okolice, le-tega pa preračunamo v temperaturo. Očitno je, da je prispevek sevanja iz okolice k izmerjeni temperaturi zelo majhen pri visokih temperaturah. Pri nazivni tarči 9 mm za temperaturo 533 °C znaša približno 0,2 %, za temperaturo 7 °C pa kar 50 %. Iz tega sklepamo, da precej bolj točno izmerimo pravo karakteristiko vpliva velikosti tarče sevalnega termometra pri zgornji meji merilnega območja sevalnega termometra.

6 Literatura

- [1] Bloembergen P., Duan Y., Bosma R., Yuan Z., *The characterization of radiation thermometers subject to the size-of-source effect*, Proceedings of 6th International symposium on temperature and thermal measurements in industry and science (TEMPMEKO 1996), Torino, 1996, str. 261-266
- [2] Bloembergen P., *On the correction for the size-of-source effect corrupted by background radiation*, Proceedings of 7th International symposium on temperature and thermal measurements in industry and science (TEMPMEKO 1999), Delft, 1999, str. 607 – 612
- [3] Lowe D., Battuello M., Machin G., Girard F., *A comparison of size of source effect measurements of radiation thermometers between IMGCC and NPL*, Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, New York, 2003, Vol. 7, str. 625-630
- [4] Machin G., Sergienko R., *A comparative study of size of source effect (SSE) determination techniques*, Proceedings of 8th International symposium on temperature and thermal measurements in industry and science (TEMPMEKO 2001), Berlin, 2001, str. 155-160
- [5] Machin G., Ibrahim M., *Size of source effect and temperature uncertainty: II - low temperature systems*, Proceedings 7th International symposium on temperature and thermal measurements in industry and science (TEMPMEKO 1999), Delft, 1999. Vol. 2, str. 687-692
- [6] Machin G., Ibrahim M., *Size of source effect and temperature uncertainty: I - high temperature systems*, Proceedings 7th International symposium on temperature and thermal measurements in industry and science (TEMPMEKO '99), Delft, 1999. Vol. 2, str. 681-686

Igor Pušnik diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko v letih 1995, 1997 in 2004. Kot asistent je zaposlen v Laboratoriju za metrologijo in kakovost. Poudarek njegovega raziskovalnega dela je na brezkontaktnih temperaturnih merjenjih.

Goran Grgič je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko leta 2004. Kot strokovnjak za meroslovje je zaposlen na Uradu za meroslovje Republike Slovenije, v Laboratoriju za maso ter sektorju za nacionalne etalone in merilno sledljivost.