

Sledljivost in točnost čelnih termometrov

Igor Pušnik¹

¹Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

E-pošta: igor.pusnik@fe.uni-lj.si

Accuracy of forehead thermometers

Abstract

In major part of the world instruments for body temperature measurements (BTM) are not required legally to be traceable to the national or international temperature standards. Special type of thermometers are non-contact thermometers that are used for body temperature measurement. Such measurements could be performed by thermal imagers (general or special purpose) or non-contact clinical thermometers (tympanic or ear thermometers, forehead thermometers).

Traceability to national or international standards are prerequisite for accurate measurements with known measurement uncertainty. Another issue is a measurement technology which requires certain knowledge and training of users. Depending on an instrument used the appropriate measurement protocol has to be developed and followed in order to achieve reliable and accurate measurement results with known uncertainty which is inevitably larger than the measurement uncertainty provided by the laboratory calibration of the same instrument.

In the light of recent pandemic Covid-19 it seems that technologies for non-contact body temperature measurement, although relatively simple and easy to use from users perspective, represent a great challenge to temperature experts which have to provide traceability and relevant guidance how to use various instruments in order to provide accurate and reliable results.

The article describes the case of forehead thermometers. In the LMK we studied their performance in terms of accuracy and measurement uncertainty. Results of 5 different types of forehead thermometers, which are used in the University Clinical Center of Ljubljana, were far from specifications given by manufacturers, which claim the accuracy of $\pm 0,2$ °C.

1 Uvod

V večini držav na svetu ni zakonskih zahtev za preverjanje sledljivosti instrumentov za merjenje telesne temperature. Posebna so brezkontaktni termometri, ki se uporabljajo za merjenje telesne temperature. Takšne meritve lahko izvajamo s pomočjo termovizijskih kamer (splošnega ali posebnega namena) ali z brezkontaktnimi kliničnimi termometri (timpaničnimi ali ušesnimi termometri, čelnimi termometri). Sledljivost do nacionalnih ali mednarodnih standardov je predpogoj za točnost meritev z znano merilno negotovostjo.

Drugo vprašanje je merilna tehnologija, ki zahteva določeno znanje in usposabljanje uporabnikov. Glede na uporabljeni instrument je treba razviti in upoštevati ustrezen merilni protokol, da bi dosegli zanesljiva in točna merjenja z znanimi negotovostmi, ki so neizogibno večje od merilne negotovosti, ki jo zagotavlja laboratorijska kalibracija istega instrumenta.

Glede na nedavno pandemijo Covid-19 se zdi, da tehnologije za brezkontaktno merjenje telesne temperature, čeprav so razmeroma enostavne in enostavne za uporabo z vidika uporabnikov, predstavljajo velik izziv za temperaturne strokovnjake, ki morajo zagotoviti sledljivost in ustrezne napotke za uporabo različnih instrumentov, da bi zagotovili točne in zanesljive rezultate.

Članek opisuje primer petih različnih čelnih termometrov, ki jih uporabljajo v Univerzitetnem kliničnem centru v Ljubljani, in katerih laboratorijsko točnost ter merilno negotovost smo preverili v LMK. Rezultati še zdaleč niso ustrezali specifikacijam proizvajalcev, ki navajajo točnost reda $\pm 0,2$ °C.

2 Zagotavljanje sledljivosti meritev

Nacionalni meroslovni sistem je primarnega pomena za vsako državo in pogojuje uspešen razvoj gospodarstva, novih tehnologij, znanosti in razvoja družbe v celoti. Temeljne naloge na tem področju so vzdrževanje merilne sledljivosti nacionalnih etalonov za posamezne veličine mednarodnega sistema merskih enot (SI) na mednarodno raven ter prenos merilne sledljivosti do uporabnikov za potrebe merenj posameznih sektorjev; kot so znanost, okolje, zdravstvo, prehrana, kmetijstvo, promet, telekomunikacije, industrija in storitve, trgovina, davčna dejavnost, pravosodni organi, policija. Osnovna rezultata tega dela sta predvsem zagotavljanje sledljivih meritev v Republiki Sloveniji ter prenos znanja oziroma strokovna pomoč pri realizaciji najzahtevnejših merenj za široko področje uporabnikov [1].

Na področju termodinamične temperature je LMK nosilec nacionalnega etalona, ki v Republiki Sloveniji zagotavlja najvišji hierarhični nivo točnosti merenj za vse vrste termometrov, tudi termometre za merjenje telesne temperature. Celo več, LMK je po rezultatih mednarodnih primerjav med nacionalnimi laboratoriji med najboljšimi v Evropi in svetu, kar potrjuje njegove merilne zmogljivosti, ki jih za nacionalne laboratorije potrjuje in objavlja Mednarodni urad za mere in uteži BIPM v Parizu [2]. Nacionalni etaloni zagotavljajo sledljivost in mednarodno primerljivost meritev vseh veličin po vsem svetu in v posamezni državi, s tem pa

tudi zaupanje v merilne rezultate med posameznimi državami. Predvsem je pomembno razumeti, da sledljivost meritev ne pomeni zgolj sledljivosti merilnega instrumenta, temveč predvsem sledljivost merilnega rezultata, kar vključuje tudi merilno metodo z vsemi vplivnimi parametri.

Prvi element, ki mora zagotoviti sledljivost postopka merjenja, je merilni instrument, ki mora biti sledljiv do nacionalnega ali mednarodnih etalonov. To lahko zagotovijo samo usposobljeni (nacionalni ali akreditirani) kalibracijski laboratoriji.

Drugi element sledljivosti je postopek merjenja z izvajalcem le-tega. Postopek mora biti preverjen in s tem dovolj skladen s tehničnimi zahtevami, ki zagotavljajo ciljno točnost.

Trenutno imamo po vsem svetu težave s sledljivostjo obeh elementov merilnega sistema za merjenje telesne temperature. Večinoma niso sledljivi niti instrumenti, ki uporabljajo za merjenje telesne temperature (čelni termometri, ušesni termometri, termovizijske kamere), niti so usklajeni merilni protokoli, da bi omogočali točna in zanesljiva merjenja. Z namenom zagotavljanja sledljivosti merjenja telesne temperature po celem svetu je bila junija 2020 ustanovljena posebna delovna skupina v okviru BIPM, ki bo za merjenje telesne temperature analizirala obstoječe merilne protokole po svetu, evidentirala težave in dobre prakse ter predlagala najboljše možne protokole z morebitnimi različicami, ki so potrebni v različnih specifičnih okoliščinah. Predlagani protokoli bodo sčasoma postali del mednarodnih standardov, ki se nanašajo na merjenje telesne temperature.

3 Brezkontaktni merilniki telesne temperature

Za brezkontaktno merjenje telesne temperature uporabljamo ušesne ali timpanične termometre (Slika 1), čelne termometre ter namenske in splošne termovizijske kamere (Slika 2). Ušesni termometri kljub brezkontaktnemu načinu merjenja zahtevajo stik s človekom in celo pol-invazivni postopek merjenja, ker se vrh termometra vstavi v ušesni kanal. Princip delovanja pri vseh termometrih je merjenje sevalne temperature določene površine telesa (timpanična membrana, čelo, senca, očesni kot). Instrumenti zaznavajo toploto v obliki infrardečega sevanja, ki ga na različne načine pretvorijo v odčitek temperature. Prikazana temperatura običajno ni dejansko izmerjena temperatura na merjeni površini, temveč preračunana temperatura v temperaturo drugega dela telesa, kar mora biti jasno navedeno na termometru samem.

Zaradi brezkontaktnega principa merjenja in brez stika, so določene naprave koristne pri merjenju telesne temperature, ko želimo preprečiti oziroma omejiti širjenje nalezljivih bolezni, kar je primer trenutne pandemije Covid-19.



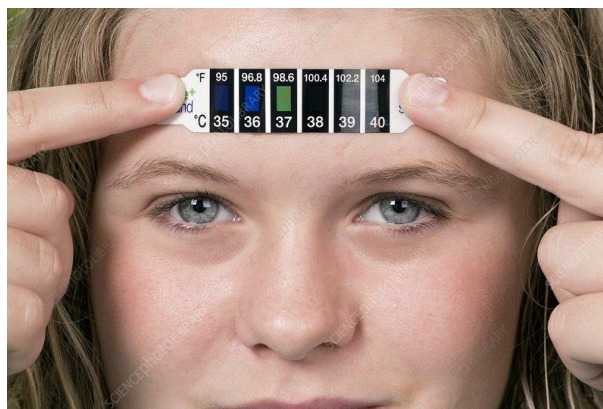
Slika 1: Ušesni termometer



Slika 2: Namenska termovizijska kamera

3.1 Čelni termometri

Čelni termometri se delijo na termometre v obliki traku s tekočimi kristali (Slika 3) in termometre, ki merijo infrardeče sevanje nad senco oziroma na čelu (temporal artery thermometer, Slika 4). Prvi so bili razviti in patentirani leta 1972, vendar zaradi omejitev pri točnosti nikoli niso dosegli širše uporabe [3], slednji pa je bil patentiran leta 1998 [4].



Slika 3: Čelni termometer s tekočimi kristali

Meritev telesne temperature dobimo s skeniranjem senzorja toplotnega sevanja čez del stranskega čela nad temporalno arterijo. Najvišja izmerjena temperatura se upošteva za izračun notranje temperature telesa v odvisnosti od temperature okolice in izmerjene površinske temperature. Funkcija vključuje uteženo razliko temperature površine in okolice, pri čemer se utež spreminja glede na ciljno temperaturo do najmanjše v območju od 35,6 °C do 37,8 °C. Senzor sevanja meri površino pod kapico za kompenzacijo emisivnosti, ki je oddaljena od kože s krožno membrano z nizko toplotno prevodnostjo.



Slika 4: Čelni termometer (temporal artery thermometer)

Ostale vrste čelnih termometrov, ki ne merijo po istem principu kot patentirani termometer za čelno merjenje, so bistveno cenejše, vendar kljub navedbam proizvajalcev glede točnosti, jo le težka kateri doseže. Večina teh nizkocenovnih termometrov je proizvedena na Kitajskem [5].

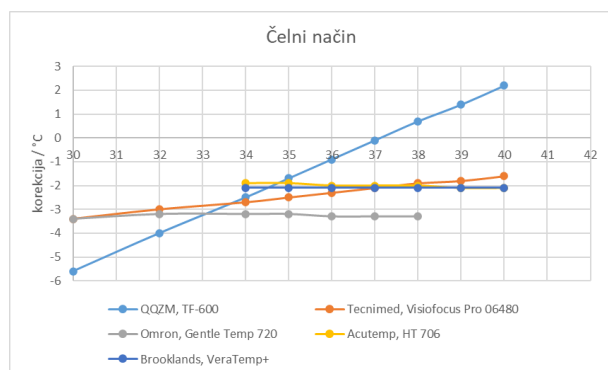
4 Rezultati umerjanja čelnih termometrov

V LMK smo izvedli umerjanje in s tem preverjanje točnosti petih različnih čelnih termometrov, ki se uporabljajo v UKC Ljubljana. Termometri so bili umerjeni v čelnem načinu, štirje pa tudi v površinskem načinu merjenja, kar omogoča bolj zanesljivo preverjanje točnosti detektorja, ki je za oba načina merjenja seveda isti. Kot vir referenčne temperature je bilo uporabljeno črno telo z emisivnostjo 0,998 in razširjeno merilno negotovostjo 0,2 °C.

4.1 Čelni način merjenja

Tabela 1. Korekcije termometrov v čelnem načinu merjenja

T _{ref}	QQZM	Tecnimed	Omron	Acutemp	Brooklands
30	-5,6	-3,4	-3,4		
32	-4	-3	-3,2		
34	-2,5	-2,7	-3,2	-1,9	-2,1
35	-1,7	-2,5	-3,2	-1,9	-2,1
36	-0,9	-2,3	-3,3	-2	-2,1
37	-0,1	-2,1	-3,3	-2	-2,1
38	0,7	-1,9	-3,3	-2	-2,1
39	1,4	-1,8		-2,1	-2,1
40	2,2	-1,6		-2,1	-2,1
41					
U _{k=2}	0,6	0,8	0,7	1,0	1,0

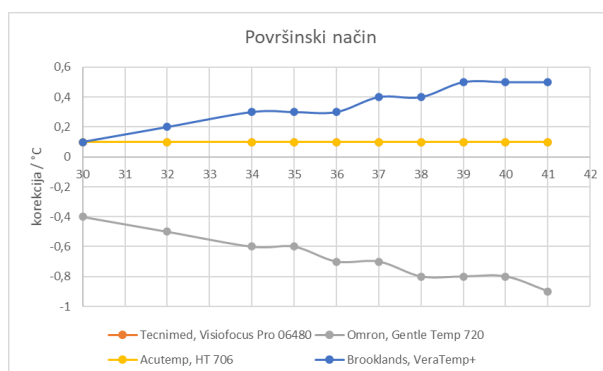


Slika 5: Korekcije termometrov v čelnem načinu merjenja

4.2 Površinski način merjenja

Tabela 2. Korekcije termometrov v površinskem načinu merjenja

T _{ref}	QQZM	Tecnimed	Omron	Acutemp	Brooklands
30		0,1	-0,4	0,1	0,1
32		0,1	-0,5	0,1	0,2
34		0,1	-0,6	0,1	0,3
35		0,1	-0,6	0,1	0,3
36		0,1	-0,7	0,1	0,3
37		0,1	-0,7	0,1	0,4
38		0,1	-0,8	0,1	0,4
39		0,1	-0,8	0,1	0,5
40		0,1	-0,8	0,1	0,5
41		0,1	-0,9	0,1	0,5
U _{k=2}		0,3	0,3	0,3	0,3



Slika 6: Korekcije termometrov v površinskem načinu merjenja

Kot lahko vidimo, se rezultati umerjanja (korekcije) v ušesnem načinu merjenja pri istih pogojih, kajti umerjanje je bilo izvedeno sočasno, zelo razlikujejo. Hkrati se razlikujejo tudi merilne negotovosti in zanimivo je, da ima najmanjšo negotovost čelni termometer, ki ima daleč največja odstopanja, ki so povrh vsega še zelo spremenljiva glede na referenčno temperaturo. Žal ta termometer nima površinskega načina merjenja, da bi lahko preverili karakteristiko senzorja. Pri ostalih termometrih je to bilo možno in dva izmed njih sta imela korekcije v celotnem območju merjenja 0,1 °C, kar pomeni, da detektor zaznava stabilno sevanje in temu primerno je konstantna vrednost preračuna površinske temperature. Vsi termometri v površinskem načinu merjenja so imeli negotovost 0,3 °C, kar potrjuje, da je vsak izmed termometrov v tem načinu merjenja bistveno boljši kot v čelnem načinu merjenja.

5 Razprava

Pri merjenju telesne temperature večina naslavlja točnost meritev, ki je navedena v standardu ISO 80601-2-56: 2017 Medicinska električna oprema - Del 2-56: Posebne zahteve za osnovno varnost in bistvene zmogljivosti kliničnih termometrov za merjenje telesne temperature [6], kjer se zahteva točnost merilne naprave v laboratorijskih pogojih ±0,2 °C. Iz izkušenj vemo, da nekateri ušesni termometri in večina čelnih termometrov dosegajo te stopnje točnosti. Da ne omenjam, da klinične

raziskave za večino čelnih termometrov in termovizijskih kamer, ki merijo različne dele obrazne površine (čelo, kateri koli obrazni del, očesni kot), niso bile izvedene ali vsaj ne predstavljene.

Pri merjenju določenega dela obraza in izračunu telesne temperature je treba najprej določiti korelacijo med različnimi merilnimi mesti na ali v telesu. Doslej je ta vidik znanstveno slabo raziskan za korelacijo s čelom. Zato se izračuni v čelnih termometrih razlikujejo za več kot 2°C , ki na drugi strani kažejo veliko boljše rezultate v površinskem načinu merjenja. Očitno je glavna težava teh termometrov drugačen pristop pri izračunavanju telesne temperature na podlagi izmerjene temperature na čelu.

Drugo zelo pomembno vprašanje je tudi nastavitev emisivnosti čelnega termometra ali termovizijske kamere. Čeprav velja skupno mnenje, da je emisivnost človeške kože znaša 0,97 do 0,98, je treba pri umerjanju upoštevati razliko emisivnosti v primerjavi s črnim telesom. Namreč razlika emisivnosti 0,03 pri sobni temperaturi 23°C (temperaturo detektorja upoštevamo enako 23°C), temperaturi črnega telesa 37°C in valovni dolžini detektorja $8\text{ }\mu\text{m}$ do $14\text{ }\mu\text{m}$ zahteva korekcijo temperature črnega telesa $+0,41^{\circ}\text{C}$. Brez upoštevanja točnih vrednosti v merilnem sistemu je povsem nemogoče pričakovati točnost $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, ki je v večini primerov zelo pretirana. Da ne omenjam, da skoraj vsi ponudniki namenskih sistemov termovizijskih kamer za merjenje telesne temperature navajajo točnost $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ali bolje. Hkrati pa za te naprave ne nudijo kalibracijskega certifikata, ki bi ga izdal akreditiran kalibracijski laboratorij kot je LMK [7].

6 Zaključek

Na osnovi tehnologije sevalnih termometrov za merjenje temperature na čelu, ki je prisotna že nekaj desetletij in še vedno ne dosega zahtevanih a vendarle navedenih točnosti, imamo veliko težav, ker se večina uporabnikov zanaša na specifikacije proizvajalcev in verjame navedbam o njihovi točnosti. Zaradi tega merjenja telesne temperature ne samo da niso sledljiva, verjetno imamo celo veliko število lažno negativnih rezultatov. Najbolj enostavna rešitev v danem trenutku je uporaba kontaktnih termometrov za merjenje telesne temperature, ki so precej bolj zanesljivi in povečini dosegajo točnost $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, kar pa pri preprečevanju prenosa nalezljivih bolezni ni najbolj enostaven postopek, kajti terja dodatne ukrepe razkuževanja, s čimer se podaljša čas merjenja in nekoliko povišajo stroški. Izboljšanje tehnologije merjenja z večino čelnih termometrov, da bi dosegali sprejemljivo točnost, bo zahtevalo precej vlaganj v razvoj in bo zagotovo podražilo njihovo trenutno ceno. Podobna ugotovitev velja za namenske termovizijske kamere, katerih cena že sedaj presega ceno čelnih termometrov za stokrat in več.

Literatura

- [1] <https://www.gov.si teme/zagotavljanje-sledljivosti-meritev/>
- [2] <https://www.bipm.org/kcdb/>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal_thermometer
- [4] <https://patents.google.com/patent/US6292685B1/en>
- [5] <https://www.alibaba.com/showroom/forehead-thermometer.html>
- [6] <https://www.iso.org/standard/67348.html>
- [7] <http://www.slo-akreditacija.si/acreditation/univerza-v-ljubljani-fakulteta-za-elektrotehniko-2/>