

Slovensko združenje za kakovost in odličnost
29. letna konferenca SZKO
"KAKOVOST V NOVI DOBI – DOBI DOMIŠLJIJE"
12. november 2020

Sledljivost in točnost brezkontaktnih merilnikov telesne temperature

izr. prof. dr. Igor Pušnik
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, 1000 Ljubljana

Vsebina predavanja

- Uvod
- Telesna temperatura
- Merjenje telesne temperature (kje, s čim, kako)
- Merilna oprema za umerjanje ali kalibracijo
- Čelni termometri in rezultati umerjanja
- Termovizijske kamere in rezultati umerjanja
- Zaključki

Uvod

- Na osnovi povišane telesne temperature sklepamo na bolezen že od časa Hipokrata (460 do 370 pr. n. št.).
- Z njo se telo bori proti bolezni, povzročajo jo t.i. pirogeni, ki so lahko zunanjega ali notranjega izvora.
- Zunanji pirogeni so običajno mikroorganizmi (bakterije, virusi, praživali, kvasovke, toksini...).
- Države v času epidemije uvajajo merjenja telesne temperature na mnogih vstopnih točkah (letališča, pristanišča, zdravstvene ustanove, podjetja, šole,...).
- Kljub navidezni enostavnosti merjenja telesne temperature, to še zdaleč ni trivialno, če želimo, točna in sledljiva merjenja.
- Zgolj na osnovi povišane telesne temperature ne moremo in ne smemo sklepati, da je nekdo zbolel s Covid-19.

Uvod

- Za merjenje telesne temperature uporabljamo klinične termometre, ki niso zakonsko merilo, torej niso podvrženi nadzoru države.
- Problem predstavlja sledljivost termometrov in še bolj sledljivost merilnega postopka.
- LMK kot nosilec nacionalnega etalona za termodinamično temperaturo izvaja umerjanje tovrstnih inštrumentov.
- Na omenjenem področju LMK dosega odmevne rezultate v mednarodnem prostoru.
- Predavatelj sem bil julija imenovan za vodjo delovne skupine pri BIPM za razvoj protokola za pravilno merjenje telesne temperature s termovizijskimi kamerami
<https://www1.bipm.org/en/committees/cc/wg/cct-tg-ncth-btm.html>

Telesna temperatura

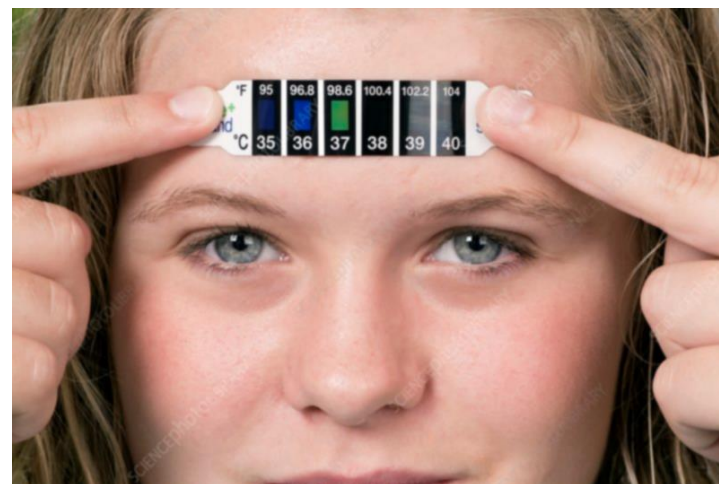
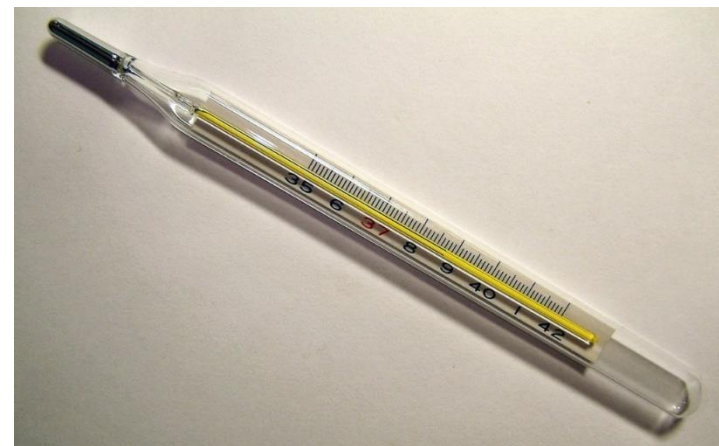
- Telesna temperatura človeka je koncept, ki je odvisen od merilnega mesta v ali na telesu.
- V osnovi je telesna temperatura mišljena kot temperatura jedra (ang. core temperature), ki ga predstavljata srce oziroma možgani.
- Ker ti dve mesti nista primerni za merjenje, so kot najboljši približek izbrana t.i. referenčna merilna mesta: timpanična membrana, distalni požiralnik, pljučna arterija, in sečni mehur.
- Merjenje telesne temperature v splošni praksi izvajamo v ustih (oralno), v danki (rektalno), pod pazduho (aksiliarno), in v ušesu (timpanično).
- Slednja merilna mesta so klinično ovrednotena glede korelacij temperature v primerjavi z referenčnimi merilnimi mesti.
- Korelacija temperature čela in obraza z referenčnimi merilnimi mesti ni znanstveno potrjena.

Telesna temperatura

- Za uravnavanje telesne temperature (termoregulacijo) skrbi hipotalamus.
- Najtoplejši so možgani in srce.
- V notranjosti telesa je temperatura višja, na površini nižja.
- Telesna temperatura se tekom dneva spreminja in ima tipičen jutranji minimum ter popoldanski maksimum, ki je odvisen od telesne aktivnosti, prehrane, kajenja, pitja alkohola, spola, starosti.
- Normalna telesna temperatura (med $35,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) je pogoj za normalno celično presnovo.
- Temperatura nad $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ je lahko že smrtno nevarna. Zgornja meja preživetja znaša $42,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, spodnja pa $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Navedeni podatki veljajo kot trenutno veljaven konsenz v večini primerov. Obstajajo pa tudi izjeme.

Merjenje telesne temperature

- Za merjenje temperature človeškega telesa uporabljamo klinične termometre.
- V preteklosti se je uporabljal zgolj živosrebrni (kontaktni) termometer.
- Delimo jih v dve skupini: kontaktni in brezkontaktni.
- Kontaktni termometri: stekleni termometer z živim srebrom ali drugimi organskimi tekočinami, digitalni, termometer s tekočimi kristali.
- Brezkontaktni termometri: ušesni (timpanični), čelni, temporalni, termovizijske kamere (namenske, splošno-namenske).



Merjenje telesne temperature



Merjenje telesne temperature

- Bolnik (ali zdrava oseba) pred meritvijo miruje in se aklimatizira vsaj 5 do 10 minut v prostoru s stabilno (kontrolirano) temperaturo in vlago.
- Termometer je pred samo meritvijo 30 minut na sobni temperaturi, termovizijska kamera mora biti toliko časa pred meritvijo vklopljena.
- Če je izmerjena povišana temperatura, jo je treba potrditi s kontaktnim ali pa ušesnim termometrom.
- Temperaturo s kontaktnim termometrom merimo:
 - pod pazduho,
 - v danki (rektalno)
 - pod jezikom (oralno).
- Ušesni termometer uporablja infrardeči senzor za merjenje temperature na ušesni membrani (bobniču).

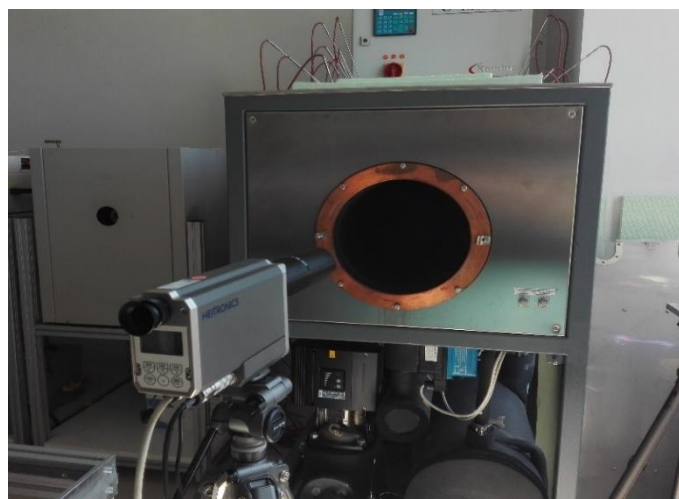
Merilna oprema za umerjanje

Za umerjanje čelnih termometrov v območju med 30 °C in 40 °C smo uporabili črno telo s premerom odprtine 60 mm.

Za umerjanje termovizijskih kamer v območju med 32 °C in 44 °C smo uporabili posebno črno telo s premerom odprtine 263 mm.

Sledljivost temperature je zagotovljena s standardnimi platinastimi uporovnimi termometri, sledljivost umerjanja pa z akreditirano metodo.

Pri umerjanju je potrebno uporabljati merilno metodo in merilno instrumentacijo ustrezne točnosti in negotovosti, še posebej ker želimo potrjevati točnosti reda $\pm 0,3$ °C.



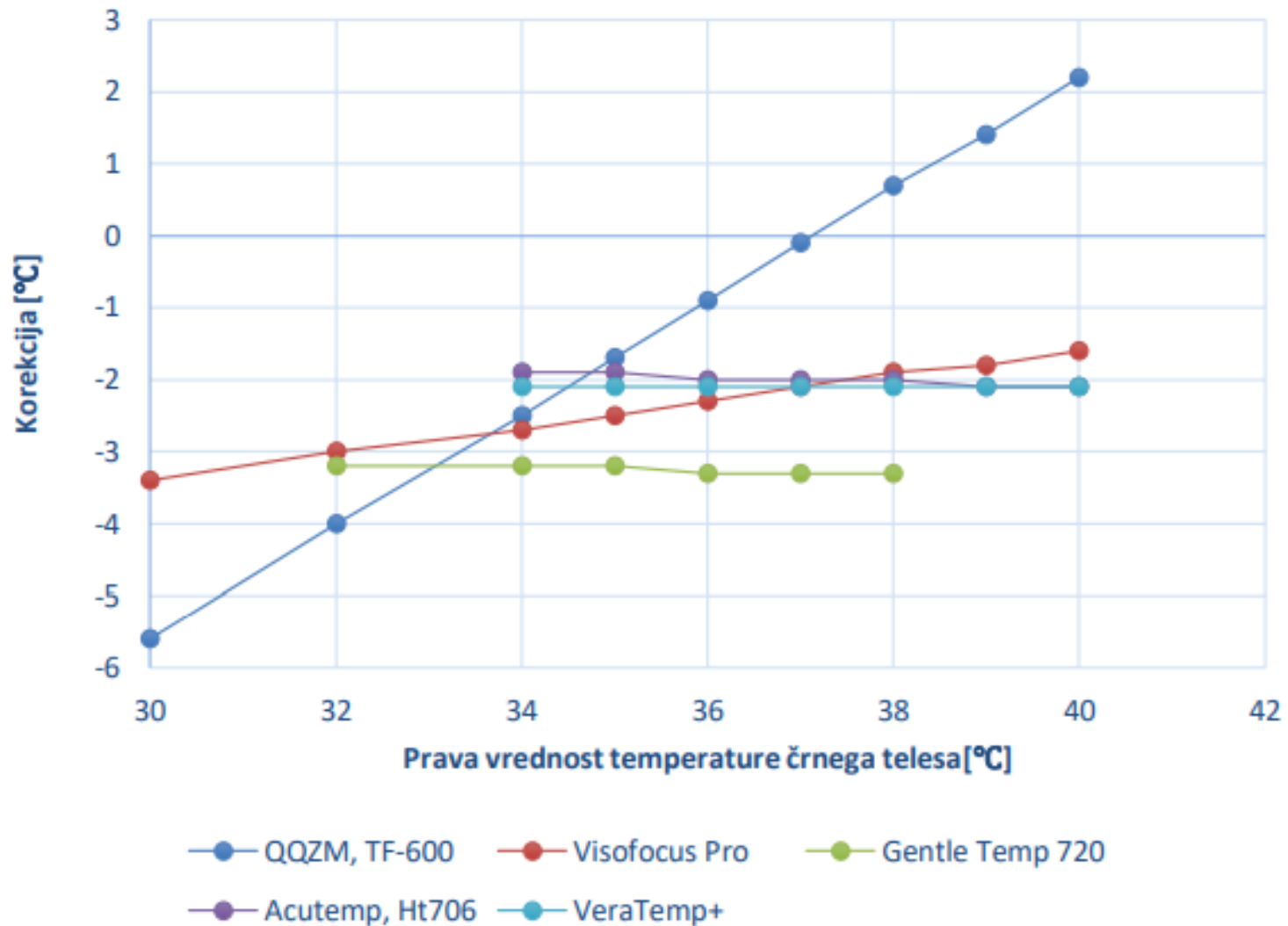
Čelni termometri

- Zasnovani z namenom, da izmerijo telesno temperaturo brez stika s človeškim telesom.
- Povečini lahko merijo v dveh načinih: čelni način in površinski način merjenja (manjka kalibracijski način).
- V čelnem načinu merjenja termometer izmerjeno temperaturo po sebi lastnem algoritmu preračuna v telesno temperaturo.
- Termometri, ki so bili umerjeni v LMK.



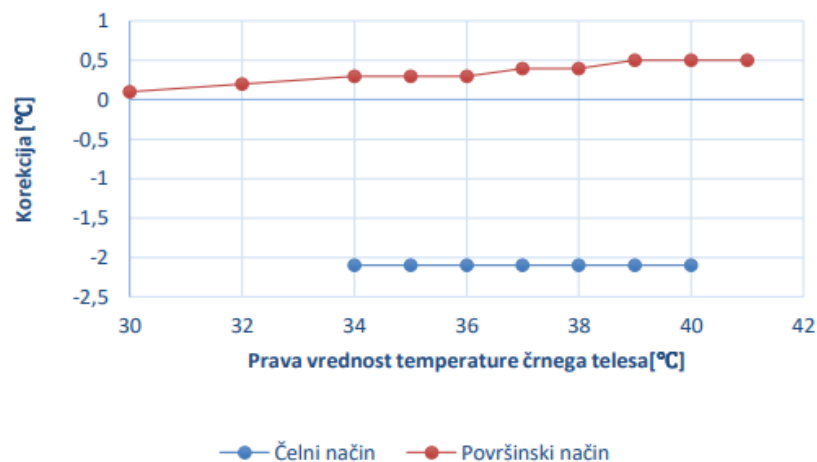
Rezultati umerjanja

Čelni način

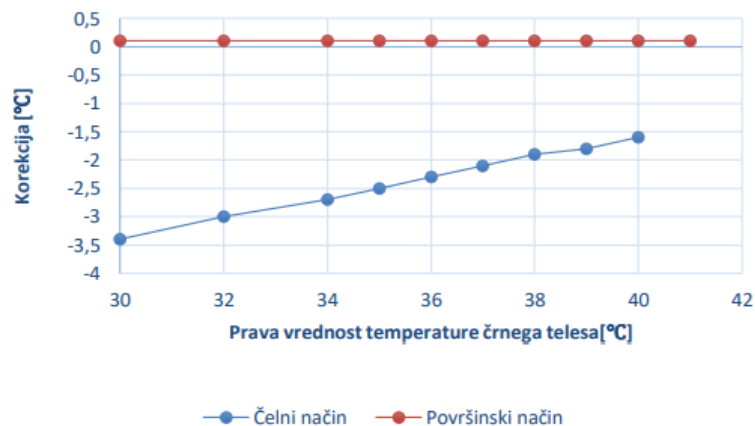


Rezultati umerjanja

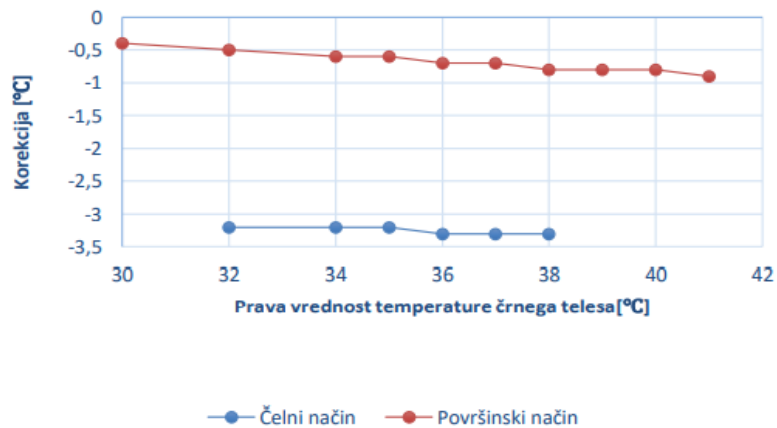
VeraTemp+



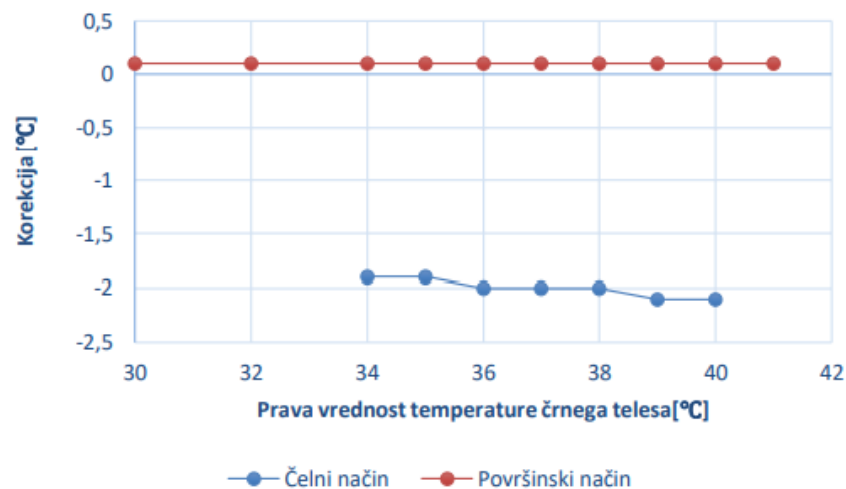
Visiofocus Pro



Gentle Temp 720



Acutemp, HT706



Rezultati umerjanja

	QQZM, TF-600	Visofocus Pro	Gentle Temp 720	Acutemp, Ht706	VeraTemp+
T/°C	korekcija (čelni način) / °C				
30	-5,6	-3,4			
32	-4	-3,4	-3,2		
34	-2,5	-3,4	-3,2	-1,9	-2,1
35	-1,7	-3,4	-3,2	-1,9	-2,1
36	-0,9	-3,4	-3,2	-1,9	-2,1
37	-0,1	-3,4	-3,2	-1,9	-2,1
38	0,7	-3,4	-3,2	-1,9	-2,1
39	1,4	-3,4		-1,9	-2,1
40	2,2	-3,4		-1,9	-2,1

	Visofocus Pro	Gentle Temp 720	Acutemp, Ht706	VeraTemp+
T/°C	korekcija (površinski način) / °C			
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	0,2
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

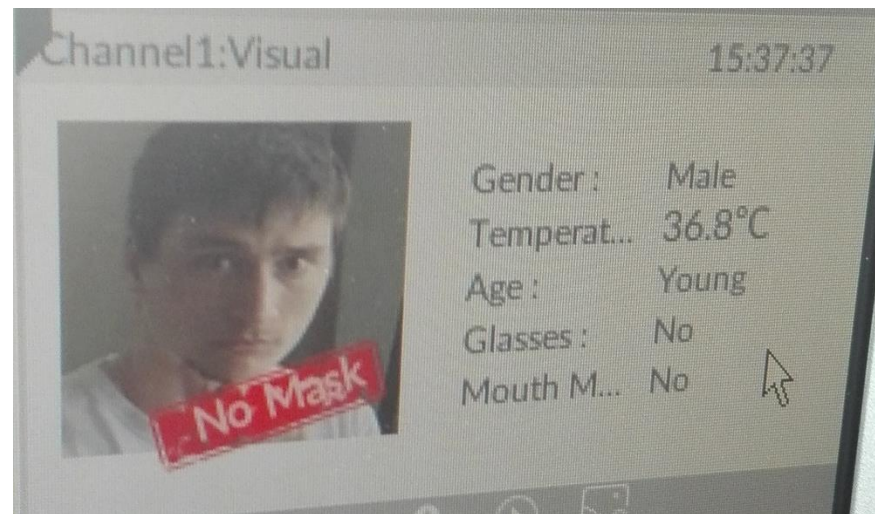
Termovizijske kamere

- Namenske in splošno-namenske
- S hlajenim ali nehlajenim detektorjem (velika večina)

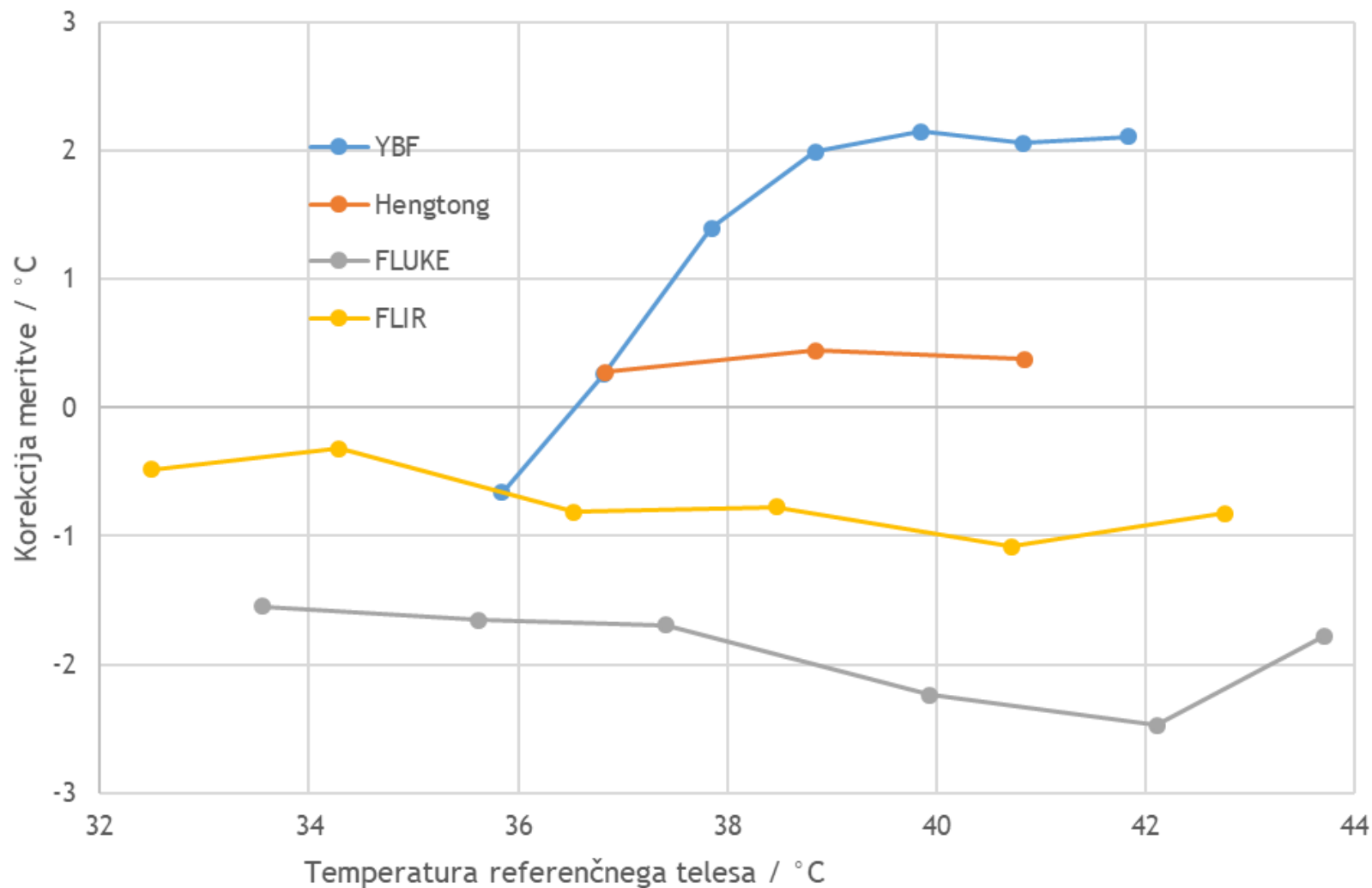


Termovizijske kamere

- Merijo telesno temperaturo brez dotika s človeškim telesom na različnih oddaljenostih.
- Kožo opišemo kot sivo površino $\varepsilon(T, \lambda, \theta=0^\circ)=0,98 \pm 0,01$
- Povezava med temperaturo kože in telesno temperaturo je odvisna od:
 - Mesta merjenja (čelo, očni kot, obraz, vrat)
 - Termoregulacije - aktivnost, aklimatiziranost, toplotni vplivi okolice, kajenje, hrana, menstrualni cikel
 - Starost in spol



Rezultati umerjanja



Zaključki

- V povprečju termometer v čelnem načinu (enako velja za namenske termovizijske kamere) prikaže temperaturo, ki je vsaj 2 °C višja od izmerjene vrednosti temperature (vsak inštrument prišteje drugačno vrednost).
- Velik korak k delni rešitvi za umerjanje bi bila možnost nastavitve instrumentacijske emisivnosti termometra in kamere med kalibracijo.
- V površinskem načinu merjenja med čelnimi termometri ne prihaja do tako velikih razlik kot pri čelnem načinu, torej sam detektor običajno ni problematičen.
- V čelnem načinu merjenja termometer in namenska termovizijska kamera izmerjeno temperaturo po sebi lastnem algoritmu preračunata v telesno temperaturo. Ta algoritem ni znanstveno ovrednoten in potrjen.

Zaključki

Vrsta termometra	Mesto merjenja	Način merjenja	Čas merjenja	Točnost termometra v laborat. pogojih	Točnost merjenja telesne temperature	Vpliv okolice	Okvirna cena (EUR)	Zahtevnost uporabe	Dezinfekcija po uporabi
stekleni tekočinski termometri	pod pazduho oralno rektalno	kontaktno	2-3 min	0,2 °C	0,4 °C	majhen	10	nizka	DA
digitalni termometer	pod pazduho oralno rektalno	kontaktno	< 10 s	0,2 °C	0,4 °C	majhen	10	nizka	DA
termometer s tekočimi kristali	čelo	kontaktno	< 20 s	1,0 °C	2,0 °C	srednji	10	nizka	DA
ušesni (timpanični) termometer	sluhovod	kontaktno	< 10 s	0,3 °C	0,6 °C	majhen	50 do 500	srednja	menjava nastavkov
temporalni termometer	čelo nad obrvjo	brez-kontaktno	< 10 s	0,5 °C	1,0 °C	velik	50 do 400	srednja	DA
čelni termometer	čelo	brez-kontaktno	< 5 s	1,0 °C	2,0 °C	velik	20 do 50	nizka	NE
namenska termovizijska kamera	obraz, čelo	brez-kontaktno	< 5 s	1,0 °C	2,0 °C	velik	3 000 do 15 000	visoka	NE
splošno-namenska termovizijska kamera	obraz, čelo	brez-kontaktno	< 5 s	0,5 °C do 1,0 °C	1,0 °C do 2,0 °C	velik	10 000 do 40 000	visoka	NE

Zaključki

- Iz tabele je razvidno, da je za množično merjenje telesne temperature možno uporabiti najbolj moderno tehnologijo brezkontaktnega merjenja, vendar z najmanjšo točnostjo in zato s posledično največjo verjetnostjo neustreznega odločanja.
- Zato je v naslednjem koraku identifikacije oseb s povišano telesno temperaturo za bolj točno merjenje in potrditev rezultatov potrebno uporabiti sledljive kontaktne termometre.
- Specifikacije proizvajalca merilne opreme običajno ne upoštevajo vseh realnih pogojev, zato je merjenje v praksi praviloma manj točno.
- Točen inštrument sam po sebi ne zagotavlja točnega merjenja.
- Točnega merjenja z netočnim inštrumentom ne more izvajati niti izkušen strokovnjak.
- Za točne meritve je potrebno dobro poznavanje merilne inštrumentacije oziroma obvladovanje celotnega merilnega postopka.
- **Odločanje na podlagi izmerjenih vrednosti ne more biti bolj točno, kot je točno samo merjenje.**

Hvala za pozornost!

Pojasnilo: Predstavljeno delo poteka v celoti v okviru aktivnosti nacionalnega etalona za termodinamično temperaturo na UL-FE/LMK v koordinaciji Urada RS za meroslovje ter raziskavah v okviru ARRS programske skupine "Metrologija in kakovost".

Zahvala: Kolegom iz LMK se zahvaljujem za vse koristne nasvete, komentarje, ideje in pomoč pri delu.

www.lmk.si

