

LMK in Urad RS za meroslovje

Webinar - Točna in sledljiva merjenja človeške temperature
24. november 2020

Primerjava merjenj temperature s stališča senzorskih tehnologij

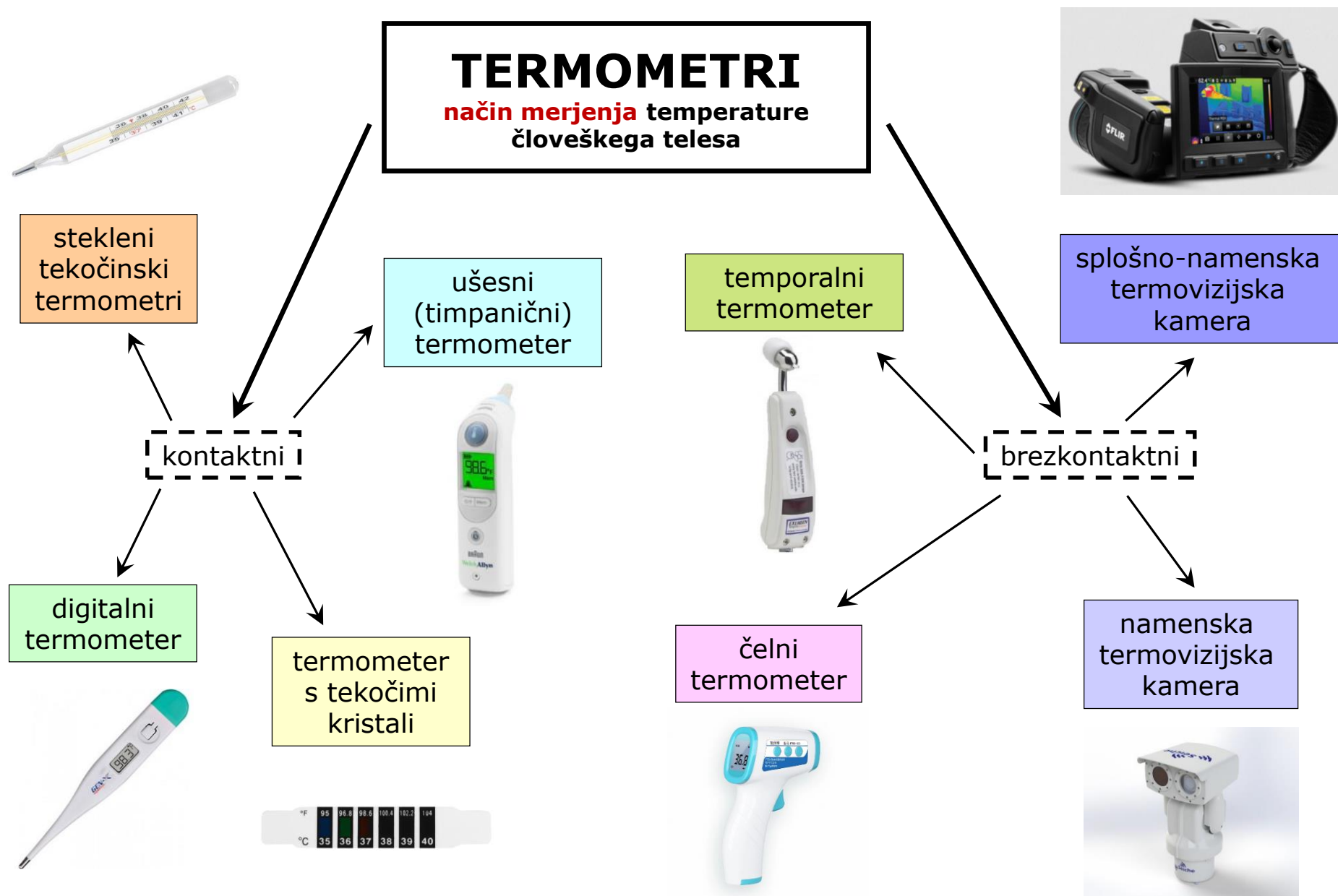
doc. dr. Samo Beguš
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, 1000 Ljubljana

Vsebina

- Značilnosti termometrov za merjenje temperature človeškega telesa
- Primerjava termometrov glede na način merjenja
- Primerjava termometrov glede na uporabljen senzorski sistem oziroma fizikalni princip delovanja
- Kratek pregled delovanja in lastnosti različnih senzorjev za merjenje temperature človeškega telesa
- Zaključki

Značilnosti termometrov za merjenje temperature človeškega telesa

- Način merjenja (kontaktno, brezkontaktno)
 - mesto merjenja
- Čas merjenja
- Točnost merjenja
 - v laboratorijskih pogojih
 - točnost merjenje temperature človeškega telesa
- Vpliv okolice
- Zahtevnost uporabe
- Potrebna dezinfekcija po uporabi
- Cena
- Prioriteta značilnosti je odvisna od aplikacije



TERMOMETRI

uporabljeni **senzorski sistemi**,
fizikalni princip delovanja

raztezanje materialov
zaradi spremembe
temperature

stekleni
tekočinski
termometri

sprememba upornosti
(električnih lastnosti)
materiala zaradi
spremembe
temperature



digitalni
termometer

sprememba barve
zaradi spremembe
temperature

termometer
s tekočimi
kristali

ušesni
(timpanični)
termometer

pretvorba energije sevanja
v električno napetost

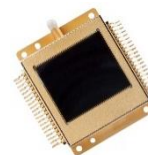


čelni
termometer

temporalni
termometer

splošno-namenska
termovizijska
kamera

sprememba upornosti (mikrobolometri);
energija sevanja sproži spremembo
stanja elektronov (fotonski hlajeni
detektorji)

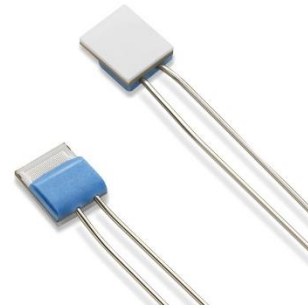


namenska
termovizijska
kamera

Kontaktno merjenje temperature

- Platinasti upori

- Pt100, Pt1000
- manjša občutljivost
- do cca. 500 °C
- počasnejši odziv



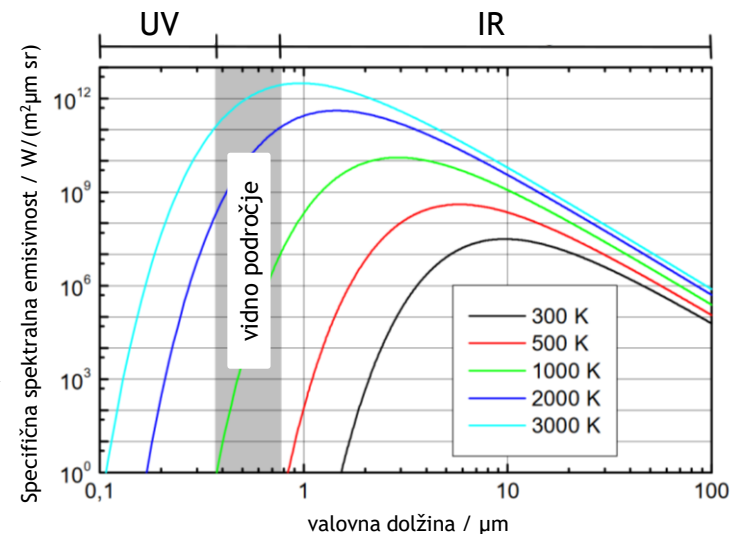
- Termistorji

- polprevodniški materiali
- visoka občutljivost
- nelinearna odvisnost upornosti od temperature
- hiter odziv (majhna masa)
- dosegajo boljše točnosti pri merjenju temperature človeškega telesa



Brezkontaktno merjenje temperature človeškega telesa (fizikalno ozadje)

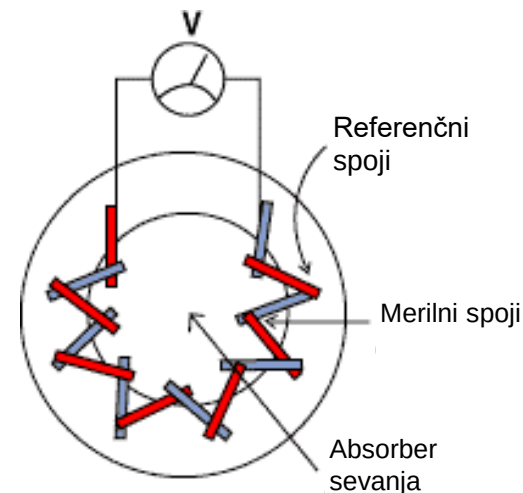
- Telesa, objekti s $T > 0 \text{ K}$ sevajo
- Spekter izsevane energije je odvisen od temperature
- Stefan-Boltzmannov zakon opisuje izsevano moč črnega telesa:
 - skupna izsevana energija E , ki ga seva **črno telo** je sorazmerna četrti potenci njegove termodinamične temperature T : $E = \sigma T^4$, kjer je: $\sigma = 5,670373 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ Stefan-Boltzmannova konstanta
 - **Črno telo** (absorbira vso vpadno energijo neodvisno od valovne dolžine in vpadnega kota)
 - spekter sevanja črnega telesa pri različnih temperaturah →
 - za **siva telesa** velja: $E = \varepsilon \sigma T^4$ kjer je ε **emisivnost** telesa
- Senzor meri izsevano energijo v IR področju



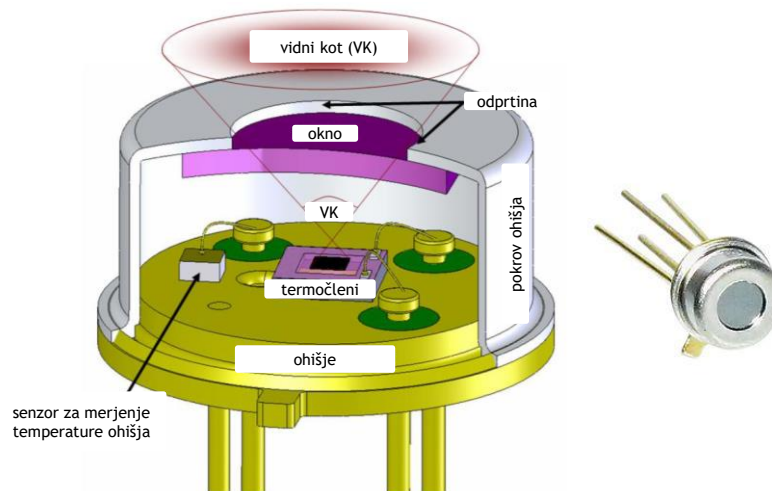
Graf prirejen po: PerkinElmer Optoelectronics, Thermopiles for remote temperature measurements, 2000.

Senzor s termočlenskim skladom

- Termočlen (termopar): dva spojena vodnika iz različnih materialov
 - če sta spoja vodnikov (referenčni in merilni spoj) na različnih temperaturah, steče električni tok
 - Uporabimo lahko kot temperaturni senzor
 - zelo majhna napetost
 - nekaj $10 \mu\text{V/K}$, odvisno od vrste termočlena, temperature
- Večje število povezanih termočlenov
 - termočlenski sklad (angl. 'Thermopile sensor')
- Optični filter
 - prepreči dostop vidne svetlobe do senzorja
 - mejna valovna dolžina: $5 \mu\text{m}$
- Senzor ima **hiter odziv**
 - velikostni razred $< 1/10 \text{ s}$
- Majhna izhodna napetost
 - nekaj mV



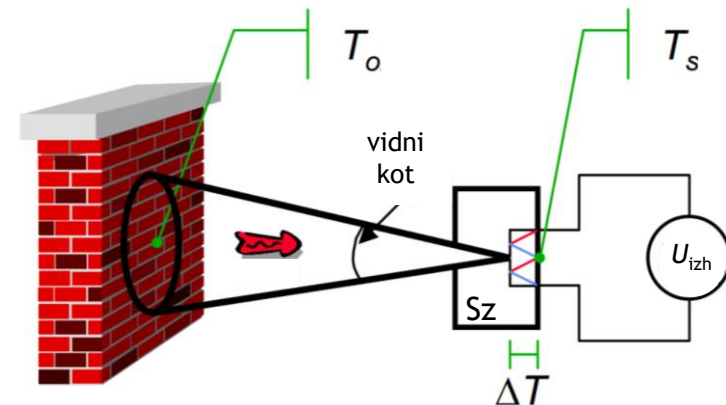
Priljeno po: <https://www.fierceelectronics.com/components/temperature-measurement>



Priljeno po: <https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/sensors/global/analog-digital-thermopile-application-note.pdf>

Brezkontaktno merjenje temperature

- Senzor s termočlenskim skladom (Sz)
- Temperatura objekta (T_o)
- Temperatura senzorja (T_s)
- Zaradi sevanja objekta se spremeni temperatura absorberja v senzorju
- Izhodna električna napetost U_{izh} je odvisna od razlike temperature absorberja in temperature ohišja senzorja.
- Možni vplivni parametri:
 - emisivnost objekta
 - temperatura ohišja senzorja
 - razdalja
 - vidni kot
 - velikost objekta
 - koncentracija plinov med objektom in senzorjem
 - relativna vlažnost

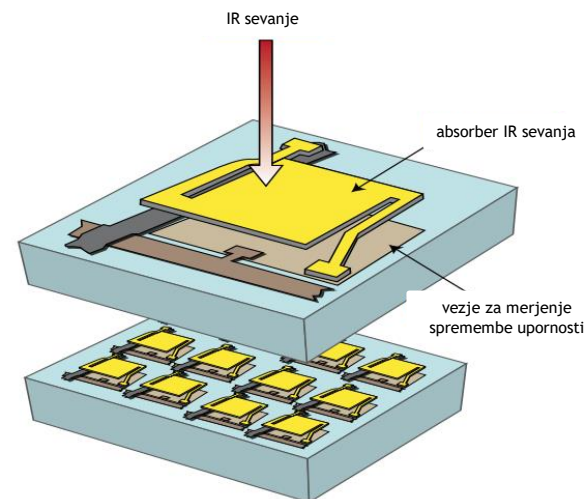


Prilagojeno po: PerkinElmer Optoelectronics, Thermopiles for remote temperature measurements, 2000.

Detektorji v termografskih kamerah

- Mikrobolometer

- absorpcija sevanja segreje detektorsko celico
- spremeni se upornost (impedanca)
- temperaturna občutljivost 40 mK
- počasnejši odzivni čas kot fotonski hlajeni detektorji



Prirejeno po: <https://assets.becauselearning.com/images/files/000/002/826/original/image.png?1570520055>

- Fotonski hlajeni detektor

- neposredno pretvori pretok fotonov (sevanja) v tok elektronov in v električni tok
- potrebno hlajenje senzorskega sistema (-200 °C)
 - zmanjšanje šuma
- zelo hiter odziv, se ga lahko nastavi
- visoka temperaturna občutljivost do 15 mK
 - zazna majhne temperaturne spremembe



Vir: <https://imova.se/wp-content/uploads/2019/03/productshortfcompressed-fs8-800x733.png>

Vpliv okolice

- Kontaktno merjenje
 - majhen vpliv
 - senzor v termičnem stiku z merjenim objektom
- Brezkontaktno merjenje
 - velik vpliv
 - temperatura okolice
 - vpliv mesta merjenja
 - vpliv temperature objektov v okolici
 - vpliv temperature termometra
 - kompenzacija?

Nekatere pomembne značilnosti termometrov za merjenje temperature človeškega telesa

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

- Senzorji, ki se uporabljajo za merjenje temperature človeškega telesa merijo temperaturo na podlagi energije infrardečega sevanja ter na podlagi sprememb električnih lastnosti materiala zaradi vpliva temperature.
- Najnaprednejši (in najdražji) sistemi z brezkontaktnim načinom merjenja imajo najmanjšo točnost.
- Za doseganje specifikacij proizvajalca bi morali uporabljati merilni sistem v laboratorijskih pogojih, kar pa največkrat ni izvedljivo.
- Za bolj točne meritve so še vedno najbolj primerni 'klasični' kontaktni tekočinski ali digitalni termometri, tudi cenovno najugodnejši.

NACIONALNI ETALON ZA TEMPERATURO IN VLAŽNOST

Več kot 20 let odličnosti.

Hvala za pozornost!

www.lmk.si

Predstavljeno delo je del 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".

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