

Višješolski študijski program  
*AVTOSERVISNI MENEDŽMENT*  
1. letnik

# **MERILNE METODE IN NAPRAVE**

## **predavanja**

**Peter Caserman**

[peter@servis-caserman.si](mailto:peter@servis-caserman.si)

2013/2014

Izdaja/verzija: 1.0



**ŠOLSKI CENTER CELJE**

Višja strokovna šola

Pot na Lavo 22, 3000, Celje

September 2013



# Kazalo

<b>1</b>	<b>Teoretični del</b>	<b>5</b>
1.1	Meritve, ki so relevantne za tehnične preglede motornih vozil .	5
1.2	Cilji predmeta . . . . .	5
1.3	Kaj je meritev? . . . . .	5
1.4	Merske napake . . . . .	6
1.4.1	Slučajne napake . . . . .	7
1.5	Sistematične napake . . . . .	9
1.6	Merilna območja . . . . .	11
1.7	Sistem enot SI . . . . .	13
1.8	Druge enote . . . . .	14
1.9	Merjenje temperature . . . . .	15
1.9.1	Kontaktne metode merjenja temperature . . . . .	15
1.9.2	Izbira merske metode pri merjenju temperature . . . . .	23



# Poglavje 1

## Teoretični del

### 1.1 Cilji predmeta

Cilj predmeta je študenta pripraviti na samostojno izvajanje in poznavanje merilnih metod in merilnih naprav, ki se uporabljajo pri preverjanjih parametrov, testiranju karakteristik in diagnostiki vozil.

Ta skripta bo za izvajanje metod uporabljala znane standarde v avtomobilski diagnostiki, vendar bo vzporedno razložila tudi teoretsko kemijsko in fizikalno ozadje posameznih metod oz. meritev. Le tako lahko študentu poda osnovo za celostno razumevanje in ne zgolj navodila za slepo sledenje 'receptom' za izvajanje metode.

### 1.2 Kaj je meritev?

V pogovornem jeziku se pogosto uporabljata izraza 'diagnostika motornih vozil' ali kar 'avtodiagnostika', pri čemer se izraza ne uporabljata dosledno in se pogosto nanašata na zelo ozko področje analitike motornih vozil. **Diagnostificirati** v medicinskem pomenu besede pomeni ugotoviti bolezen oziroma bolezenske znake na pacientu. Izraz 'diagnostika vozil' je širši, saj zajema ne samo ugotavljanje napak v delovanju vozila, ampak tudi celotno analitiko različnih parametrov vozila. Pri diagnosticiranju vozil opravljamo meritve ali ocene različnih kvalitativnih in kvantitativnih količin, katere pogosto poimenujemo kar parametri.

Izraz '**meritev**' bomo dosledno uporabljali za ugotavljanje vrednosti posameznih fizikalnih ali kemijskih količin, medtem ko bomo ostale kvantitativne ocene pri diagnostiki poimenovali kar 'ocene'.

Če obrazložimo te pojme s primerom: Tlak v pnevmatikah. Če boste na vašem (bodočem) delovnem mestu želeli izmeriti tlak v pnevmatikah motornega vozila (v nadaljevanju: MV), lahko to naredite na več načinov:

1. Tlak lahko **izmerite** z aparaturo za merjenje tlaka v zračnici in iz prikazovalnika na napravi odčitate fizikalno količino (tlak) v barih, milibarih ali pascalih. Pri tem se zavedate, da imata merska metoda, ki jo uporabljate in merska naprava, ki jo pri tem uporabljate, vsaka svojo mersko napako;
2. Tlak lahko z vizualnim pregledom **ocenite** glede na posedenost pnevmatike ocenite kot 'ustrezen' ali 'neustrezen', vendar se morate pri tem zavedati, da ste lahko navkljub večletnim izkušnjam pri delu s pnevmatikami oceno naredili popolnoma napačno;
3. Tlak lahko **posredno ugotavljate** z merilniki, ki merijo silo, ki je potrebna, da se konica merilnika pomakne za 1 mm v telo pnevmatike. Ker je to ugotavljanje posredno in odvisno od strukture pnevmatike ter njenega trenutnega stanja, je takovrstno posredno merjenje lahko manj natančno.

## 1.3 Merske napake

Vsaka meritev oziroma merska metoda fizikalne ali kemijske količine mora kot rezultat podati dva podatka: vrednost merjene količine in mersko napako. Skozi celotno predavanje bomo tako spremljali ne samo končni rezultat, ampak tudi relativno velikost napake, ki se pri določeni meritvi lahko pojavi. Spremljali bomo tudi vpliv okoliščin oziroma vpliv merskega okolja na velikost napake. Včasih natančne vrednosti in predznaka napake ne bomo mogli določiti, zato bomo napako navzgor omejili z oceno in pri tem razmislili o morebitnih zunanjih vplivih, ki bi lahko bistveno vplivali na napako.

### 1.3.1 Slučajne napake

Vsako meritev moramo ponoviti večkrat, če nam le razmere to dopuščajo. To ne opravljamo zgolj zaradi cele vrste raznolikih hudih napak, ki so se nam morda zgodile pri merski metodi (napačno odčitavanje iz prikazovalnika na napravi, nepriklop vodnika na ozemljitev, nepravilno delovanje programske opreme itn.), ampak pri tem opazujemo tudi odstopanja zaradi **slučajnih**

**napak.**

Če boste torej v stabilnem okolju in ob nespremenjenih okoliščinah večkrat izvedli isto meritev in pri tem dobili različne rezultate, ki se med seboj bistveno ne razlikujejo, imate opravka z naključno napako. Vzroki za to napako so lahko zelo različni, od termičnih fluktuacij, do tresenja tal in mize, do trenja v ležajih merske naprave.

Slučajne napake imajo lastnost, da se s časom 'povprečijo', to pomeni, da če meritev velikokrat ponovimo, lahko izračunamo mersko povprečje teh izmerkov. Statistika, ki se sicer na široko ukvarja z računanjem intervalov zaupanja in različnih srednjih vrednosti, nam svetuje, da v kolikor želimo v povprečno vrednost popolnoma zaupati, moramo opraviti neskončno število meritev. To je v praksi sicer nemogoče, vedno bomo torej opravljali le končno število meritev, pri tem pa se bomo morali sprijazniti z majhnim tveganjem, da je naše povprečje rahlo nezanesljivo. Obstaja namreč majhno, a pomembno tveganje, da bi, če bi z našimi meritvami nadaljevali, lahko na koncu dobili drugačno povprečje, ki bi odstopalo od trenutno izračunanega.

**Povprečna vrednost** se tako ob predpostavki velikega števila meritev popolnoma osvobodi slučajne merske napake. V kolikor imamo opravka z manjšim številom meritev, pa se moramo vedno zavedati, da je v naša povprečna vrednost rahlo nezanesljiva. Enačba za računanje povprečja:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

kjer  $\bar{x}$  predstavlja povprečno vrednost merjene količine,  $x_i$  so posamezni izmerki/meritve,  $n$  pa predstavlja število vseh meritev. Ali če povemo drugače, rezultate meritev (merskih spremenljivk) je potrebno sešteti in deliti z njihovim številom.

Vendar statistiki vztrajajo! Ker ne želijo popolnoma zavreči informacije o tem, kako veliki so bili odmiki posameznih izmerkov od povprečne vrednosti, so sestavili izraz za **efektivni odmik** (tudi standardni odklon, raztros), ki ga bomo označili z grško črko sigma -  $\sigma$ . Včasih boste srečali tudi izraz 'varianca', ki ni nič drugega kot kvadrat tega efektivnega odmika. Enačba za računanje variance je:

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}$$

Če pa želimo dobiti efektivni odmik, moramo varianco zgolj koreniti.

Za hitro in grobo ocenjevanje efektivnega odmika (pri majhni količini meritev) lahko uporabimo oceno, da se mora v intervalu  $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$  nahajati približno  $2/3$  vseh meritev. Seveda je tudi efektivni odmik  $\sigma$  nezanesljiv, če imamo opravka z majhnim številom meritev - še pri 50 meritvah lahko le ta odstopa za 10% od pravega. Zatorej ne smemo pretiravati z navidezno natančnostjo, tj. z zapisovanjem velikega števila (decimalnih) mest iz kalkulatorja tako pri povprečni vrednosti kot tudi pri  $\sigma$ .

Čeprav recept mogoče ne bo ustrezno statistično obrazložen in podprt z enačbami, bomo povprečno vrednost izražali s toliko mesti, kolikor mest uporabljamo pri posameznih izmerkih.  $\sigma$  pa bomo izražali zgolj z enim mestom - pozor, to ni eno decimalno mesto! Številka 23,07 je natančna na 4 mesta, vendar zgolj na 2 decimalni mesti. Številka 0,008 je natančna na eno mesto, vendar na 3 decimalna mesta.

Primer: Z barometrom izmerimo tlak [p] v pnevmatiki 6 krat zapored. Izmerimo naslednje vrednosti: 2.73, 2.71, 2.74, 2.78, 2.75, 2.74 [bar].  
Izračunana povprečna vrednost: 2.74 [bar] (napačno: 2.741666...)  
Ocenjena  $\sigma$ : 0.02 [bar] ( $2/3$  izmerkovi znotraj intervala  $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$ )  
Izračunana  $\sigma$ : 0.02 (napačno: 0.021147...)

Kako zdaj izrazimo povprečno vrednost tlaka? Tudi povprečna vrednost ima namreč svojo napako, ki jo moramo zapisati skupaj s podatkom o povprečju:

$$x = \bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

ali v našem primeru:

$$p = 2.74bar \pm \frac{0.02bar}{\sqrt{6}} = 2.74bar \pm 0.01bar$$

Izračunana vrednost ulomka je sicer 0.008..., vendar smo rezultat zaokrožili na 0.01. Če želimo naš rezultat namesto z absolutno napako izraziti z relativno napako, tj. z deležem glede na celoto, potem izraz pretvorimo v obliko:

$$p = 2.74bar(1 \pm 0.004)$$

kar z drugimi besedami pomeni, da ima naš rezultat povprečne vrednosti 0.4% relativno napako.



Še komentar: nekatere merske naprave že same avtomatično opravijo več meritev, ki jih povprečijo in nato na zalonu prikažejo samo povprečeno vrednost. Spet druge, bolj napredne naprave nam omogočajo, da sami urejamo način in hitrost povprečenja, kar prilagodimo glede na to, kako hitro speminjajočo spremenljivko opazujemo.

## 1.4 Sistematične napake

Čeprav se lahko naključnih napak znebimo z večkratnim ponavljanjem meritve in povprečenjem, pa imamo pri vsakem merjenju opravka tudi z napako, ki nastane zaradi nenatančnosti metode, ki jo izvajamo ali zaradi nenatančnosti merilne naprave. Te napake so mnogo bolj skrite, težko jih je odkrivati in predvidevati, le s skrbno pripravo, konstrukcijo merske naprave in metode, z umerjanjem, kalibracijo in pravilnim vzdrževanjem merskih naprav lahko preprečujemo sistematične napake.

Študentje pogosto zapadejo v lažno prepričanje, da rezultati pri dobro pripravljeni vaji iz praktikuma ne vsebujejo systemske napake. Vsaka vaja vsebuje to napako, vendar žal včasih o njej ne moremo veliko povedati. Za lažjo predstavo si zamislite, da morate izmeriti nekaj kilometrsko razdaljo med dvema mestoma z ravnalom, ki ima napačno narisane enote in je dolgo slab meter. Vzpostavi se več napak merske metode:

- nemogoče je dosledno postavljati ravnalo natanko tja, kjer se je končal predhodni izmerek,
- izredno težko je meriti v ravni črti od kraja A do kraja B. Že rahle spremembe poti, po kateri bi merili, bi privedle do drugačnih razdalj.

Potem pa se napakam pridruži še napaka merske naprave, tj. našega merila. Že majhna napaka v dolžini ravnala (npr. kot posledica termičnega raztezanja zaradi visoke temperature) se pri zaporednih merjenjih ponavlja in sešteva.

Zato veljata splošni pravili:

1. Vedno izberemo mersko metodo, ki bo imela bistveno manjšo predvideno systemsko napako od napake, ki si jo še smemo privoščiti.
2. Nikoli ne uporabljamo merske naprave, pri kateri ne poznamo njene maksimalne systemske napake.

Primer: Če želimo izmeriti razdaljo med dvema točkama na vozilu, ki znaša približno 2.3 cm, imamo na voljo veliko merskih metod in naprav, ki bodo razdaljo izmerile z zelo različno natančnostjo:

- Lahko jo zmerite z navadnim ročnim metrom. Pri tem lahko zlahka pričakujete napako, ki bo reda velikosti mm, saj nam že kot pogleda in nenatančnost ročnega metra lahko prispevata več napak, ki se med seboj seštevajo.
- Lahko jo izmerite s kljunastim merilom, ki že omogoča merjenje z natančnostjo desetinke mm. Pri tem morate biti previdni in natančni, saj lahko napačna uporaba zelo poveča sistemsko napako merske naprave.
- Lahko jo izmerite z mikrometrom, pri čemer že ime naprave namiguje na mersko napako, ki jo pri tem lahko naredite, torej  $\mu\text{m}$ . Opozorilo, da je potrebno z mikrometrom pravilno ravnati, sicer ga lahko trajno okvarimo, je zelo na mestu.
- Končno lahko razdaljo izmerite z laserskim merilnikom, katerega natančnost je odvisna od valovne dolžine svetlobe, ki jo uporablja za merjenje.

Seveda obstajajo tudi bolj natančne metode, vendar so te metode popolnoma neuporabne za vsakdanje merjenje, saj so bodisi prezahtevne za uporabo v okolju mehanične delavnice ali predrage.

Še nekaj primerov za krepljenje občutka glede sistemske merske napake:

- Voltmeter slabše kvalitete bo imel na sebi oznako 'razred 1,0', kar pomeni, da napaka pri meritvi s tem voltmetrom ne bo presegala 1,0% merilnega območja. Če ima voltmeter merilno območje 1000V, je torej lahko napaka največ 10V, kar pri meritvi napetosti približno 200V privede že do 2% relativne napake, kar seveda ni malo. Posledično lahko razumete, kako smešno izpade, ko študent zapiše rezultat, ki ga je izmeril s tem voltmetrom, na 10 mest natančno. Ta navidezna natančnost je seveda lažna, saj sistemska merska napaka nekajkrat presega natančnost, s katero je zapisan rezultat.
- Dober živosrebrov termometer je natančen na  $0,1^\circ\text{C}$ . Laserski merilnik temperature pa ima mnogo slabšo natančnost, je pa zaradi brezkontaktna uporabe lahko mnogo bolj praktičen pri uporabi. Če bomo torej potrebovali zelo natančen podatek o temperaturi, bomo torej morali uporabljati živosrebrov ali uporovni termometer, če pa lahko sprejmemo napako  $1^\circ\text{C}$  pa raje izberemo bolj praktični laserski merilnik.

## 1.5 Merilna območja

Merilne metode in merilne naprave imajo svoja merilna območja, znotraj katerih delujejo 'pravilno' in ponovljivo. Omejitve merilnih območij naprav so najpogosteje nanašajo na interval merilnega območja spremenljivke, ki jo merimo. Izven tega območja se lahko naprava trajno poškoduje (npr. termometer počí) ali pa naraste njegova sistematična napaka in zato merilna naprava ne daje več dovolj natančnih meritev.

Če presežemo merilno območje metode (in posledično tudi naprave), so lahko naši izmerki popolnoma napačni. Silomer na vzmet lahko zelo natančno meri sile od 0 - 100N, saj mu Hookov zakon zagotavlja linearno povezavo med raztezkom in silo. Če to območje presežemo, lahko zaidemo v območje, kjer Hookov zakon ne velja več in povezava med silo in raztezkom ni več linearna, pa še vzmet se nam lahko trajno poškoduje.

Omejitve so lahko tudi drugačne: omeji se lahko okoliščine, pri katerih se izvaja meritev, npr. kovinsko merilo se mora izvajati pri 20°C, da je natančno na 0,1 mm. Omejeno je lahko tudi število meritev, ki jih v določenem časovnem obdobju lahko opravimo z mersko napravo - zaradi pretiranega segrevanja naprave ali utrujenosti materiala bi lahko naprava pričela meriti napačno.

Nekatere naprave ne delujejo pod določenimi okoliščinami. Recimo merilci alkoholiziranosti pri voznikih ne delujejo, če je voznik tik pred merjenjem kadil, saj plini in delci v izdihanem zraku motijo meritev.

**Zato vsako metodo in mersko napravo uporabljamo zgolj v merskem območju in pod pogoji, ki so za metodo in mersko napravo predpisani.**

MATERM - PROIZVODNJA TEMPERATURNIH TIPAL



## UPOROVNI TERMOMETER MWT110

Kabelska izvedba

TEHNIČNI LIST - MWT110

### Opis:

Kabelska izvedba uporabnega termometra, za univerzalno možnost merjenja temperature v vseh vejah industrije. Temperaturno tipalo je primerno za merjenja temperatur od -200 do +600°C (Ovisno od senzorja in kabla). Uporovni termometer je izdelan iz tipala (visoko kakovostno CrNi jeklo 316Ti) in kabla.

### Senzor:

1 x Pt100, 1 x Pt1000, 2 x Pt100, 2x Pt1000  
2, 3, 4 - žična izvedba

### Razred točnosti:

Standard kl.A, kl. 1/3B, 1/5B, 1/10B po DIN EN 60751 pri 0°C

### Odstopanja senzorjev Pt100 in Pt1000 po DIN EN 60751 pri 0°C

kl.B: ± 0,3°C  
kl.A: ± 0,15°C  
kl. 1/3B: ± 0,10°C  
kl. 1/5B: ± 0,06°C  
kl. 1/10B: ± 0,03°C

### Kabel (izolacija):

Dolžina kabla: LK - po naročilu

Kabel (izolacija):	max. temperatura
PVC:	-20 ... +100°C
SILIKON:	-50 ... +200°C
TEFLON:	-200 ... +250°C
STEKLENA VLAKNA	-50 ... +400°C
STEKLENA VLAKNA IN JEKLENI OPLET	-50 ... +400°C

### Tipalo:

Vsa tipala s priključki so izdelana iz visoko kakovostnega CrNi jekla 316Ti.



Sliki: Uporovni termometer MWT110  
(Slika je simbolična)

### Dolžina tipala (L)

Standard: 50mm, 80mm, 100mm, 150mm, 200mm, 300mm ali dolžina po naročilu.

### Premer tipala (d)

Premer (d): 6mm (standard), 3mm, 4mm, 5mm, 8mm, 9mm, 10mm ali premer po naročilu

Materm d.o.o.  
Morje, Morska cesta 6  
2313 Fram/Slovenija

tel: +386 2 608 90 10  
fax: +386 2 608 90 18  
e-mail: info@materm.si

[www.materm.si](http://www.materm.si)



Slika 1.1: Primer tehnične specifikacije termometra, iz katere lahko razberemo merilno območje in natančnost termometra.

## 1.6 Sistem enot SI

Mednarodni sistem enot (SI - Syst eme International) je sistem sedmih **osnovnih enot**, iz katerih so izpeljane druge fizikalne enote.

Fizikalna količina	Oznaka	Ime osnovne enote SI	Oznaka enote SI
dolžina	l	meter	m
masa	m	kilogram	kg
čas	t	sekunda	s
električni tok	I	amper	A
temperatura	T	kelvin	K
množina snovi	n	mol	mol
svetilnost	$I_s$	kandela	cd

Poznamo tudi dve **dopolnilni razmerji** SI, ki sta radian za merjenje kotov in steradian za merjenje prostorskih kotov.

Druge fizikalne enote so izpeljane iz teh osnovnih enot, zato jih imenujemo **izpeljane ali sestavljene enote**. V spodnji tabeli je navedenih nekaj primerov sestavljenih enot:

Fizikalna količina	Ozn.	Izpeljana enote SI	Oznaka enote SI	Izražava z osn. enotami
frekvenca	$\nu$	hertz	Hz	$s^{-1}$
sila	F	newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
tlak, pritisk	p	pascal	Pa	$N\ m^{-2} = kg\ m^{-1}\ s^{-2}$
energija, delo, toplota	W, A, Q	joule	J	$N\ m = kg\ m^2\ s^{-2}$
moč	P	watt	W	$J\ s^{-1} = kg\ m^2\ s^{-3}$
električni naboj	e	coulumb	C ali As	$A\ s$
električna napetost	U	volt	V	$J\ C^{-1} = kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-1}$
električni upor	R	ohm	$\Omega$	$V\ A^{-1} = kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-2}$
kapacitivnost	C	farad	F	$C\ V^{-1} = s^4\ A^2\ m^{-2}\ kg^{-1}$
gostota magnetnega pretoka	$\Theta_m$	tesla	T	$V\ s\ m^{-2} = kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
induktivnost	L	henry	H	$V\ s\ A^{-1} = m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$

## 1.7 Druge enote

Nekatere države zaradi zgodovinskih razlogov še vedno uporabljajo druge enote. Našteli bomo nekaj najbolj pogostih, poleg tega bomo navedli tudi enačbe za pretvorbo v SI enote. Večina jih izhaja iz anglosaškega sveta, nekatere pa so v uporabi tudi pri nas.

Fizikalna količina	Ime enote	Oznaka	Pretvorba v SI enote
dolžina	inch, cola, palec	in ”	$[\ ]m = [\ ]'' \cdot 0,0254$
dolžina	čevljev, foot (=12")	ft ’	$[\ ]m = [\ ]' \cdot 0,3048$
dolžina	yard (=3’)	yard	$[\ ]m = [\ ]yard \cdot 0,9144$
masa	pound, funt	lb	$[\ ]kg = [\ ]lb \cdot 0,454$
masa	ounce, unča	oz	$[\ ]kg = [\ ]oz \cdot 0,02835$
temperatura	stopinje Celzija	°C	$[\ ]K = [\ ]^{\circ}C + 273,16$
temperatura	stopinje Fahrenheita	°F	$[\ ]K = ([\ ]^{\circ}F - 32)/1,8 + 273,16$
pritisk	bar	bar	$[\ ]Pa = [\ ]bar \cdot 100.000$
pritisk	atmosfera	atm	$[\ ]Pa = [\ ]atm \cdot 101.325$

Pretvorbe so možne tudi v nasprotno smer, torej °C lahko dobite iz K (kelvinov) po enačbi  $[\ ]^{\circ}C = [\ ]K - 273,16$ , prav tako lahko dobite čevlje (feet) iz metrov:  $[\ ]' = [\ ]m/0,3048$ .

Primeri pretvorb:

$$6'2'' = (6 \cdot 0,3048) m + (2 \cdot 0,0254) m = 1,8796 m$$

$$40^{\circ}F = ((40 - 32)/1,8)^{\circ}C = 4,44^{\circ}C = (4,44 + 273,16) K = 277,60 K$$

$$3,20 atm = (3,20 \cdot 101.325) Pa = 324.240 Pa = (324.240/100.000) bar = 3.24 bar$$

in primeri nasprotnih pretvorb:

$$2,80 m = (2,80/0,0254) in = 110 in = 9'2''$$

## 1.8 Merjenje temperature

Za merjenje temperature je razvitih veliko merilnih metod, pri čemer večina teh metod opazuje fizikalno lastnost neke snovi, ki se spreminja s temperaturo. Za praktično merjenje temperature zraka so najbolj poznani stekleni termometri, ki v stekleni cevčici merijo raztezanje delovne tekočine. Najpogosteje sta za delovni tekočini zaradi dobro znanih lastnosti in stabilnosti uporabljeni tekočini živo srebro in alkohol. Vendar se izkaže, da so stekleni termometri nepraktični, se prepočasi odzivajo na spremembe temperature in imajo omejena merilna območja. Za uporabo v merjenju se bolj pogosto uporabljajo:

- Termopari (tudi termočleni ali termoelementi);
- Temperaturno odvisni upori - RTD-PTC in termistorji;
- Termično-radiacijski termometri - infrardeči termometri (IR).

V grobem se metode za merjenje temperature ločijo na:

- Kontaktne metode - potreben je direktni in neposredni kontakt merilnega senzorja s predmetom, katerega temperaturo želimo izmeriti - med te metode spada tudi merjenje s termopari, termistorji in RTDji;
- Brezkontaktne metode - temperaturo merijo z razdalje, direktni kontakt s predmetom, katerega temperaturo merimo, ni potreben - med te metode spada predvsem merjenje s termično-radiacijskimi termometri in pirometri.

### 1.8.1 Kontaktne metode merjenja temperature

Pri merjenju temperature s kontaktnimi metodami se je vedno potrebno prepričati, ali je merilni senzor res v dobrem kontaktu z merjenim predmetom in ali so motnje iz okolice resnično minimalizirane. Napačni rezultati merjenja so pogosto rezultat slabega kontakta zaradi hrapavosti površin ali vmesne izolacijske plasti (plast oksida, plast saj, umazanija), ki preprečujejo izenačenje temperature s prenosom toplote med merilnim senzorjem in merjenim predmetom. Pazljivi moramo biti tudi na dejstvo, da lahko z merilnim senzorjem odvezamemo merjenemu predmetu, ki ima majhno toplotno kapaciteto, odvezamemo/oddamo del toplote in posledično spremenimo njegovo temperaturo. Celo toplota, ki jo oddaja elektronsko vezje merilne naprave, ali radiacijsko sevanje bližnjih zelo vročih predmetov, nam lahko moti naše meritve.

Posebej pozorni moramo biti tudi pri merjenju hitrih sprememb temperature. Če je naš temperaturni senzor počasi odziven, merimo pa predmet,

kateremu se temperatura zelo hitro spreminja, bomo z našim senzorjem za beležili le povprečno temperaturo merjenega predmeta po času in manjša odstopanja od te povprečne temperature s časovnim zamikom glede na dejansko stanje. Če želimo torej spremljati hitre spremembe temperature, moramo uporabiti zelo odziven senzor in uporabiti metode za računsko korekcijo rezultata, s katerim izničimo učinke časovnega zamika in povprečenja temperature.

**Idealen kontaktni temperaturni senzor** bi tako imel temperaturno kapaciteto enako nič, s svojim merjenjem ne vpliva na temperaturo merjenega predmeta, bil bi stalno na enaki temperaturi kot merjeni predmet, saj bi bil med njima idealen toplotni kontakt z neskončno toplotno prevodnostjo, skozi katerega bi toplota prehajala takoj. Takega temperaturnega senzora sicer ni, se pa mu želimo z našimi realnimi senzori čim bolj približati, pri tem pa realno oceniti odstopanja od te "idealnosti".

## Termopari

Kadar želimo meritve temperature opraviti poceni, pri tem pa smo pripravljeni žrtvovati dobro natančnost pri merjenju, lahko uporabimo termopare ali termočlene. Ti senzori so preprosti, sestavljeni iz dveh, navadno kovinskih, prevodnikov, ki zaradi temperaturnega gradienta med njima ustvarjata električno napetost. Najpogosteje izbrani pari kovin: železo-konstantan, krom-aluminij, baker-konstantan in krom-konstantan. Dobra stran tega merjenja je, da senzor ne potrebuje eksternega napajanja z električnim tokom, saj merimo zgolj razliko med električnima potencialoma na obeh kovinah (to je električna napetost) in ne električnega toka.

Princip delovanja termoparov je merjenje Seebeckovega efekta, torej napetosti v prevodniku kot posledica temperaturnega gradienta. V določenem temperaturnem območju velja približna linearna povezava med temperaturno razliko (gradientom), kateri je izpostavljen prevodnik, in med napetostjo (razliko med električnima potencialoma), ki se pojavi na koncih tega prevodnika. Splošna teoretična enačba ima obliko:

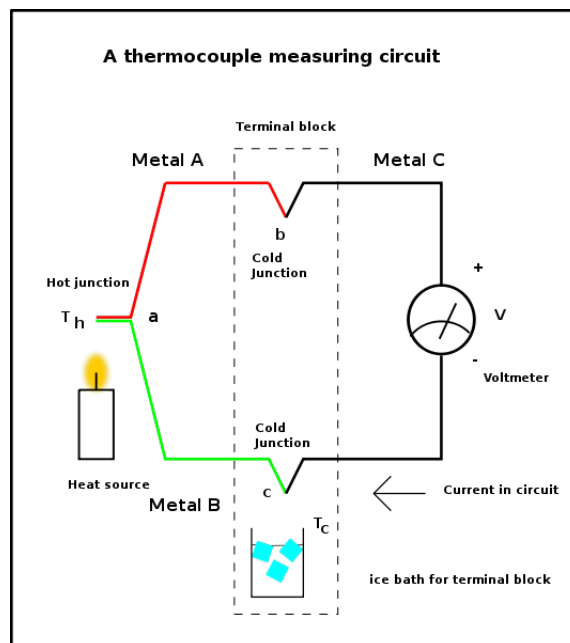
$$V_b - V_c = \int_{T_c}^{T_h} (S_a(T) - S_b(T)) dx$$

kjer  $V_b$  in  $V_c$  predstavljata potenciala na spojih b in c (glej skico senzorja),  $T_c$  in  $T_h$  sta temperaturi mrzlega/referenčnega (cold) in vročega (hot) konca našega senzorja,  $S_a$  in  $S_b$  pa sta specifični (od uporabljenih prevodnikov odvisni) Seebeckovi konstanti, ki se razlikujeta glede na uporabljena prevodnika.





Slika 1.2: Različne oblike in izvedbe termočlenov.



Slika 1.3: Skica termočlena, ki je sestavljen iz kovine A in kovine B ter meri temperaturo vroče točke.

V praksi se morajo ti termočleni kalibrirati, saj zaradi neidealnih stikov, staranja in napak v materialih prihaja do odstopanj od idealne enačbe. Postopek je enostaven, preprosto merimo napetost z voltmetrom, medtem ko

vroči del sensorja vzdržujemo pri stabilni znani temperaturi. Tako lahko ustvarimo tabele, ki nam bodo pri vsaki naslednji meritvi predmeta z neznano temperaturo preko izmerjene napetosti podale podatek o temperaturi. Napetost, ki jo lahko izmerimo pri razliki temperatur 1K med mrzlim in vročim spojem, se giblje nekje med 1-70  $\mu V$  in je odvisna predvsem od izbire prevodnikov. Tipično so ti sensorji nenatančni, skoraj nemogoče je zmanjšati sistemsko napako pod 1°C.

Navkljub pomankljivostim pa so ti sensorji zelo uporabni pri varovanju naprav, npr. pri izklapljanju električnega vezja, ko se to preveč segreje, ter pri vklapljanju določenih elementov, npr. pri vklapljanju ventilatorja v avtomobilu, ki prične hladiti motor in hladilno tekočino.

### Temperaturno odvisni upori

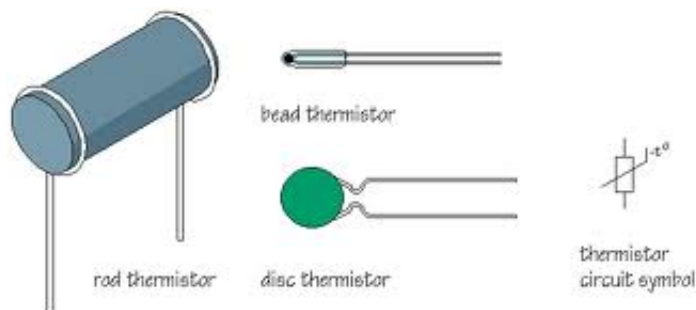
Ko želimo temperaturo meriti bolj natančno, na razmeroma široki temperaturni skali, posežemo po temperaturno odvisnih uporih ali RTDjih (resistance temperature detectors). Njihova upornost se namreč spreminja s temperaturo. Glede na njihov odziv se delijo na:

- RTD-PTC (positive temperature coefficient), to so detektorji, ki se jim upornost linearno povečuje s povišanjem temperature in
- termistorje (NPC - negative temperature coefficient), to so detektorji, ki se jim upornost eksponentno zmanjšuje s povišanjem temperature.

Temperaturo merimo posredno preko izmerjenega toka, ki skozi tak termistor steče pri konstantni napetosti, zato ti sensorji potrebujejo zunanje napajanje in merilec toka. Razlika med RTD-PTC in termistorji je tudi v uporabljeni delovni snovi - RTD-PTCji uporabljajo čiste kovine, kot so platina, nikelj in nikljeve zlitine, medtem ko termistorji navadno uporabljajo keramiko, različne polimere in polprevodnike.

Kot zanimivost naj še povemo, da se nekateri RTD-PTC sensorji uporabljajo tudi v drugačne namene, npr. za ogrevanje na določenih mestih - npr. ogrevanje dieselskega motorja pred hladnim vžigom ali za varovanje nekaterih delov elektronike - ob povišanem toku se jim poveča upornost in tako služijo kot nekakšne termo-varovalke.

Medtem ko so termistorji zelo natančni na ožjem temperaturnem območju (tipično med  $-90^{\circ}C$  in  $130^{\circ}C$ ), so RTDji bolj uporabni na širšem temperaturnem območju, vendar so manj natančni od termistorjev. RTDjem se upornost skoraj linearno povečuje s povišano temperaturo, zato jih imenujemo tudi PTC (positive temperature coefficient) termistorji ali pozistorji. Termistorji za delovno snov uporabljajo polprevodnike, katerim se upornost



Slika 1.4: Različne izvedbe termistorjev in simbol za termistor v elektronskih vezjih.



Slika 1.5: Različne izvedbe termistorjev.

(v večini primerov) eksponentno zmanjšuje z višanjem temperature, zato jih imenujemo tudi NTC (negative t.k.) termistorji.

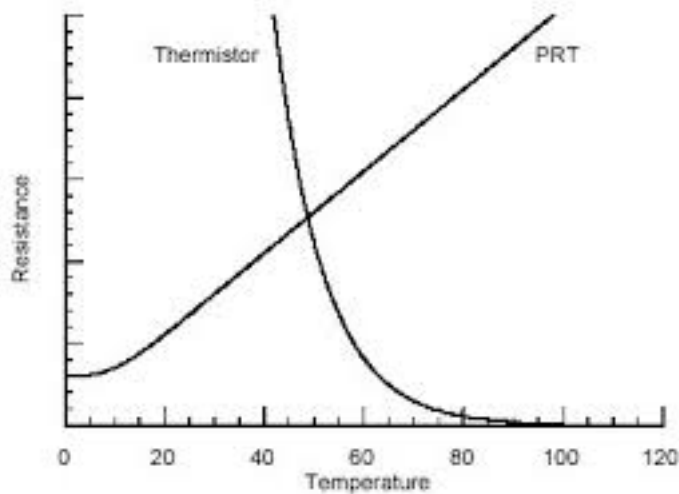
Linearnim RTD-PTCjem upornost približno linearno narašča s povišanjem temperature (v merilnem območju), zato lahko zapišemo linearno enačbo, ki ponazarja to povezavo:

$$\Delta R = k \Delta T$$

vendar se v splošnem ne uporablja linearnega koeficienta  $k$  ampak zvezni koeficient temperaturne odvisnosti upora:

$$\alpha_T = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT}$$

Termistorji pa imajo nelinearen odziv, ob majhnem povišanju temperature namreč lahko upornost skokovito eksponentno pade (NTC), tudi za nekaj odstotkov z vsako  $^{\circ}\text{C}$ . Ta linearni odziv lahko aproksimiramo z ekspe-



Slika 1.6: Primerjava karakteristik NTC termistorja in RTDja.

rimentalno Steinhart-Hart-ovo enačbo:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

pri čemer so  $A$ ,  $B$  in  $C$  koeficienti, ki so tipični za vsako izbrano delovno snov in jih navadno poda izdelovalec senzorja. Temperatura je podana v kelvinih, upor pa v ohmih, vendar enačbo uporabljamo v brezdimenzijski obliki (brez enot). Zadnji člen enačbe je navadno zelo majhen in ga lahko zanemarimo. Tako dobimo enačbo, v kateri sta preko koeficienta  $B$  linearno povezana  $\frac{1}{T}$  in  $\ln R$ . S temi popravki lahko dosežemo tudi izredno majhne napake meritve - približno  $0,02^\circ\text{C}$  na širokem merilnem območju.

Tipične vrednosti za te koeficiente:

$$A = 1,4 \times 10^{-3} \quad B = 2,37 \times 10^{-4} \quad C = 9,9 \times 10^{-8}$$

V praksi ob merjenju ne izvajamo preračunov iz merjenja upora v temperaturo, ampak si rezultate meritev tabeliramo in shranimo v obliki tabel, ki vsakemu prebranemu upor (v resnici toku) predpišejo izmerjeno temperaturo. Takovrstne pretvorbe s pomočjo tabel so lahko hitre in so zato pogoste v industrijski rabi, seveda tudi v motornih vozilih.

Če torej povzamemo: RTD-PTCji so v splošnem zelo uporabni a se počasi odzivajo na temperaturne spremembe, z njimi lahko merimo na širokem temperaturnem območju in so stabilnejši za uporabo - ni potrebne stalne kalibracije. Po drugi strani so termistorji zelo občutljivi, hitro odzivni in z njimi lahko izvajamo zelo natančne meritve temperature, vendar moramo pogosto opravljati recalibracijo.

### Termično-radiacijski termometri

Če temperature ne moremo meriti kontaktno, bodisi zaradi premikajočih delov in nezmožnosti vgrajevanja običajnih termistorjev, bodisi zaradi zelo visoke temperature merjenega predmeta, ki bi stopila ostale senzorcje, uporabimo brezkontaktno metode merjenja temperature. Med brezkontaktno naprave sodi tudi pirometer, ki ga na tem mestu zgolj omenjamo kot enega od načinov merjenja, vendar je njegova uporaba omejena na predmete, ki zaradi svoje visoke temperature žarijo. V avtomobilski industriji je bolj pogosta uporaba infrardečih senzorjev, ki merijo količino eksitirane infrardeče svetlobe iz površin - te vrednosti moči oziroma svetlobnega toka nato pretvori v napetost in nato preko tabel v temperaturo. Čeprav so te naprave relativno nenatančne (do  $2^{\circ}\text{C}$  v merilnem območju) imajo zmožnost merjenja visokih temperatur (razpon merjenja navadno med  $-20^{\circ}\text{C}$  in  $800^{\circ}\text{C}$ ) in je njihova uporaba zelo praktična. Temperaturo površin namreč lahko merimo iz varne razdalje, merjenje je momentalno. Po drugi strani pa te naprave lahko zmoti veliko dejavnikov, zato moramo z njimi ravnati previdno in se stalno zavedati fizikalnega ozadja meritve. Moti nas lahko bližina drugih vročih predmetov, včasih tudi temperatura lastnega telesa.



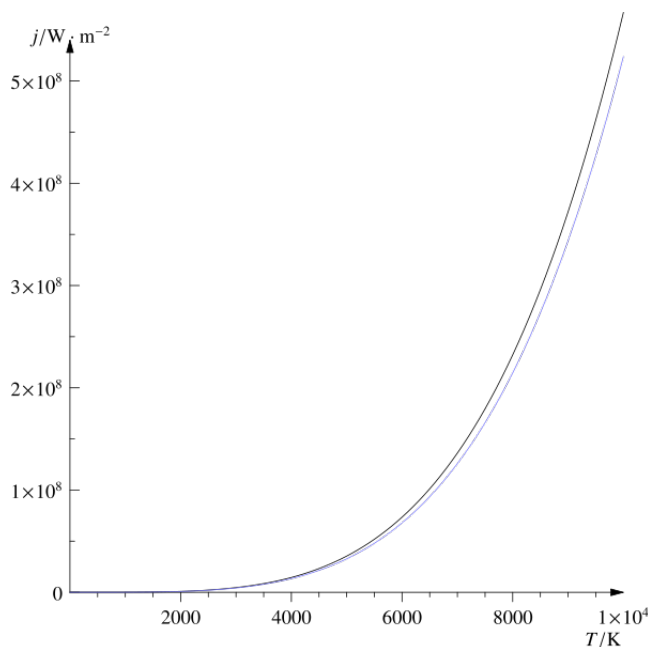
Slika 1.7: Primer IR termometra z laserskim namerilcem, ki nam označi mesto meritve.

Pri merjenju moramo spremljati emisivnost. Splošna enačbo za porazdelitev moči po frekvencah imenujemo Planckov zakon, vendar je še bolj pomembna enačba, ki jo dobimo z integriranjem Planckove porazdelitve po

frekvencah in prostorskem kotu, t.i. Stefan-Boltzmanov zakon:

$$j = \frac{P}{S} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_c^4)$$

kjer nam  $j$  predstavlja izsevani tok,  $P$  nam predstavlja izsevano moč,  $S$  nam predstavlja sevalno površino,  $\varepsilon$  nam predstavlja emisivnost,  $\sigma$  nam predstavlja Stefanovo konstanto ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ ),  $T$  nam predstavlja temperaturo telesa, ki seva in  $T_c$  nam predstavlja temperaturo okolice. Kadar govorimo o sevanju črnega telesa dejansko govorimo o neblešččem in neprosojnjem, črnem telesu, ki ima emisivnost enako 1. Vsako svetlejšo telo ima emisivnost manjšo od 1. Z nekaj malo truda se da iz te enačbe izraziti temperaturo telesa - ta preračun uporabljajo naprave za preračunavanje temperature iz izmerjene sevalne moči.



Slika 1.8: Graf odvisnosti izsevanega toka od temperature črnega telesa.

Ta uvod je bil potreben, da razumemo vpliv emisivnosti in sevalne površine na preračune. Večina naprav namreč ne zna sama prilagoditi enačbe na različne emisivnosti površine, ki jo merimo (nekatero naprave pa nam omogočajo ročno nastavitve emisivnosti), zato bodo lahko pri merjenju npr. svetlečih, poliranih, kovinskih površin izračunale napačne rezultate. Zato moramo za doseganje boljših rezultatov merjenja našo svetlečo ali prosojno površino na majhnem delu, kjer nameravamo meriti, prebarvati z neprosojno črno barvo ali npr. pri merjenju temperature tekočin, na površini tekočine namestiti plovec, ki bo na enaki temperaturi kot tekočina in bo oddajal

IR žarke. Prav tako moramo biti pazljivi, da je območje, iz katerega naša naprava zbira IR žarke, v celoti na merjenem predmetu. Naprave za merjenje imajo namreč navadno fiksno nastavljene leče, ki pri določeni razdalji merijo na točno določenem premeru. Razdalja od merilne naprave do merjenega predmeta ne sme biti prevelika, saj se pri tem izgubi fokus leč, ki posredujejo infrardeče žarke na senzor. Na napravah je navadno navedeno razmerje D:S (distance-to-spot), ki nam pojasni, na kakšnem premeru se bo izvajala meritev v razmerju do razdalje merjenja. Največkrat imajo te naprave tudi vgrajen laserski namerilec (lasersko piko), ki pa nima druge funkcionalnosti kot da pomaga uporabniku določiti mesto meritve.

Previdni moramo biti tudi pri merjenju onesnaženih površin, saj lahko vmesna plast umazanije, saj ali kakršnekoli druge izolativne snovi občutno zmanjša temperaturo površine telesa. Merjene površine morajo tako biti očiščene nečistoč. Da se izognemo čim več napakam hkrati, navadno v površino, katere temperaturo želimo izmeriti, izvrtamo manjšo luknjico, ki se prvem približku obnaša kot črno telo in je hkrati čista nečistoč. Seveda to lahko storimo samo takrat, kadar s tem ne bomo uničili predmeta - tega npr. ne moremo storiti na izpušnem loncu. Nato merimo temperaturo v tej luknjici.

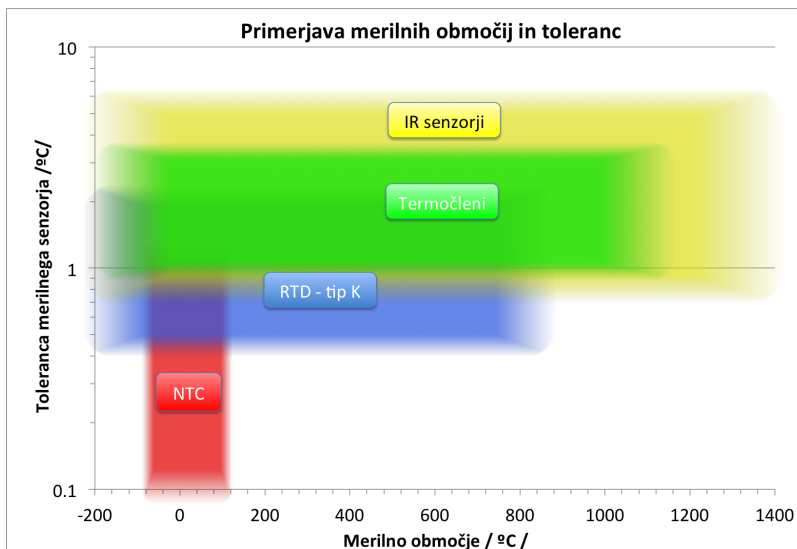
### 1.8.2 Izbira merske metode pri merjenju temperature

Pri merjenju temperature vedno najprej naredimo odločitev, ali bomo merili s kontaktno ali brezkontaktno metodo. Pri tem moramo presoditi, ali je kontaktno metodo sploh možno izvesti. Pri tem nas namreč lahko ovirajo previsoke temperature na mestu merjenja ali na poti do mesta merjenja, gibljivi mehanski deli, nedostopnost merskega mesta, močna elektro-magnetna polja v bližini mesta merjenja itd.

Naslednja odločitev mora biti osnovana na podlagi željene natančnosti in merilnega območja, v katerem bomo merili. Če imamo na voljo več možnih merilnih senzorjev, ki ustrezajo tem pogojem, lahko upoštevamo tudi ceno senzorja in praktičnost uporabe.

V avtomobilski industriji se danes npr. za spremljanje temperature na različnih mestih uporabljajo predvsem vnaprej vgrajeni termistorji, ki zelo hitro in natančno spremljajo temperaturo. Podatki o temperaturi olja, hladilne tekočine, motorja itd. se nato posredujejo centralnemu računalniku, ki ima naprej stabelirane mejne in vmesne vrednosti za odčitane temperature, pri katerih nato sproži posamezne akcije - spremeni razmerje vbrizganega goriva, vklopi ventilator itd. Odpoved takšnega senzorja ali prekinitve pove-

zave med senzorjem in računalnikom lahko povzroči precej zmede, vendar večina računalnikov preverja pravilno (pričakovano) delovanje sensorja in ga v primeru velikih odstopanj ne upošteva.



Slika 1.9: Okvirna merilna območja in tolerance različnih temperaturnih senzorjev.

Servisna dejavnost zahteva praktičen in hiter pristop k merjenju temperature, pri tem pa se pri večini merjenj sprjazni z možnostjo sistemske napake reda velikosti nekaj °C. Kadar serviser potrebuje podatke iz vnaprej vgrajenih senzorjev, prebere odčitke iz njih na avtomobilskem računalniku, na katerega se poveže z vmesnikom. Če želi meriti temperaturo na drugih mestih, se navadno uporabi IR merilec, s katerim se odčita temperaturo na površini telesa, npr. na motorju.