

**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

**Departman: Energetika i procesna tehnika**

**Predmet: MERENJE I REGULISANJE**

**Poglavlje #6 i #7:**

# MERENJE TEMPERATURE

## deo 1

---

**Predmetni nastavnik:**

dr Miroslav Kljajić, Vanr. prof.

Prostorija 3, Blok F, SP

[kljajicm@uns.ac.rs](mailto:kljajicm@uns.ac.rs)

**Asistent:**

Vladimir Munćan, MSc

Prostorija 9, Blok F, SP

[vladimirmuncan@uns.ac.rs](mailto:vladimirmuncan@uns.ac.rs)

# OSNOVNI POJMOVI

---

Temperatura je veličina stanja materije koja je uslovljena vrlo složenim kretanjem njenih atoma i molekula.

Usled velike složenosti ovakvog pojma temperature, ista se ne može meriti direktno, već uvek posredstvom neke osobine tela koja se naziva *temperaturski parametar*.

- Kod živinog termometra se kao temperaturski parametar koristi širenje žive pri zagrevanju.
- Kod električnog otpornog termometra koristi se promena električnog otpora pri promeni temperature.
- Elektromotorna sila termoelementa je zavisna od temperature pa se ta zavisnost koristi za merenje temperature.
- Kod radijacionih termometara se koristi intenzitet ili boja zračenja usijanog tela radi merenja temperature...

# Temperaturska skala

---

Temperatursku skalu koja definiše temperaturu kao osnovnu fizičku veličinu uveo je Tomson (lord Kelvin) 1848. godine.

Ova skala naziva se termodinamička ili Kelvinova skala i definisana je nezavisno od svojstva materije, koja se koristi kao termometrijsko telo.

*Kelvin je svoj pristup bazirao na **Drugom zakonu termodinamike** i analizi **Karnoovog ciklusa**. Tako je definisao temperaturu na osnovu merenja količine toplote, a da pri tome nije bitno koja je materija upotrebljena, kao radna u ciklusu.*

**Internacionalna praktična temperaturska skala – IPTS-68** ima za osnovu termodinamičku Kelvinovu skalu u kojoj se kao jedinica temperature koristi **Kelvin (K)**, definisani kao 273,16–ti deo temperature trojne tačke vode.

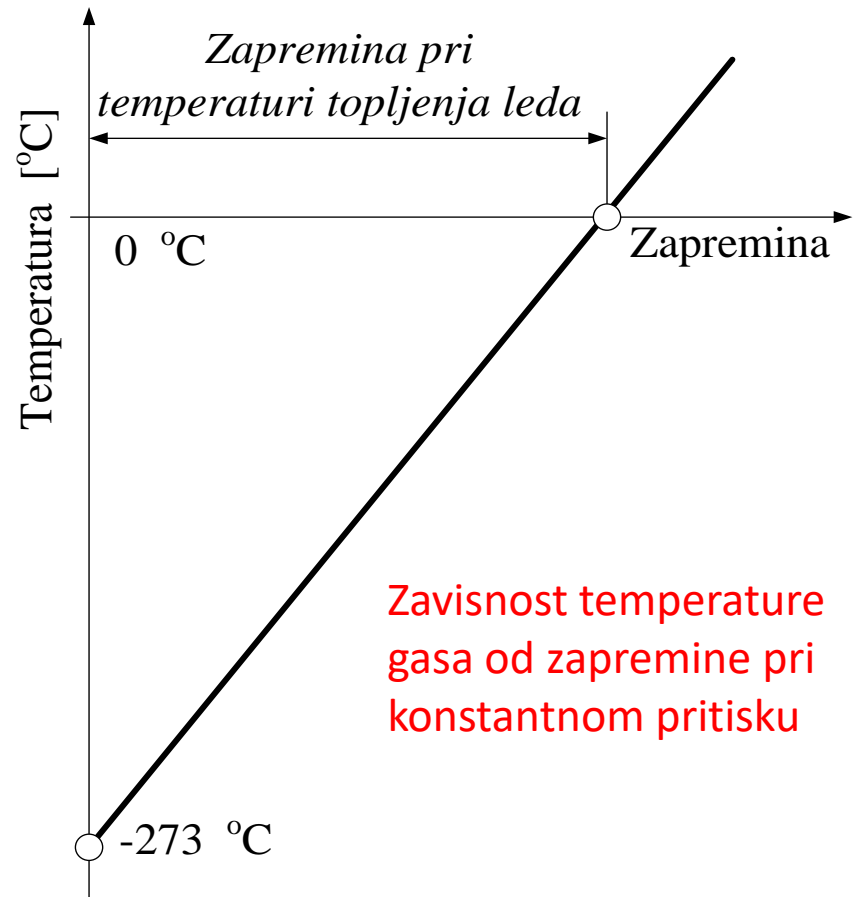
$$T_{(^{\circ}\text{C})} = T_{(\text{K})} - 273,15 \quad / \quad 0 \text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C} \quad / \quad 0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$$

# Precizno merenje temperature

**PRINCIP RADA:** Promena zapremine pri konstantnom pritisku ili promena pritiska pri konstantnoj zapremini konstantne mase gasa koji se neutečnjava lako (kiseonik, azot, helijum itd.) može da se koristi za vrlo precizno merenje temperature.

Takvi merni uređaji nazivaju se **GASNI TERMOMETRI**.

**Svi gasovi koji se koriste u gasnim termometrima imaju osobinu da se njihova temperatura menja linearno sa promenom zapremine pri konstantnom pritisku**

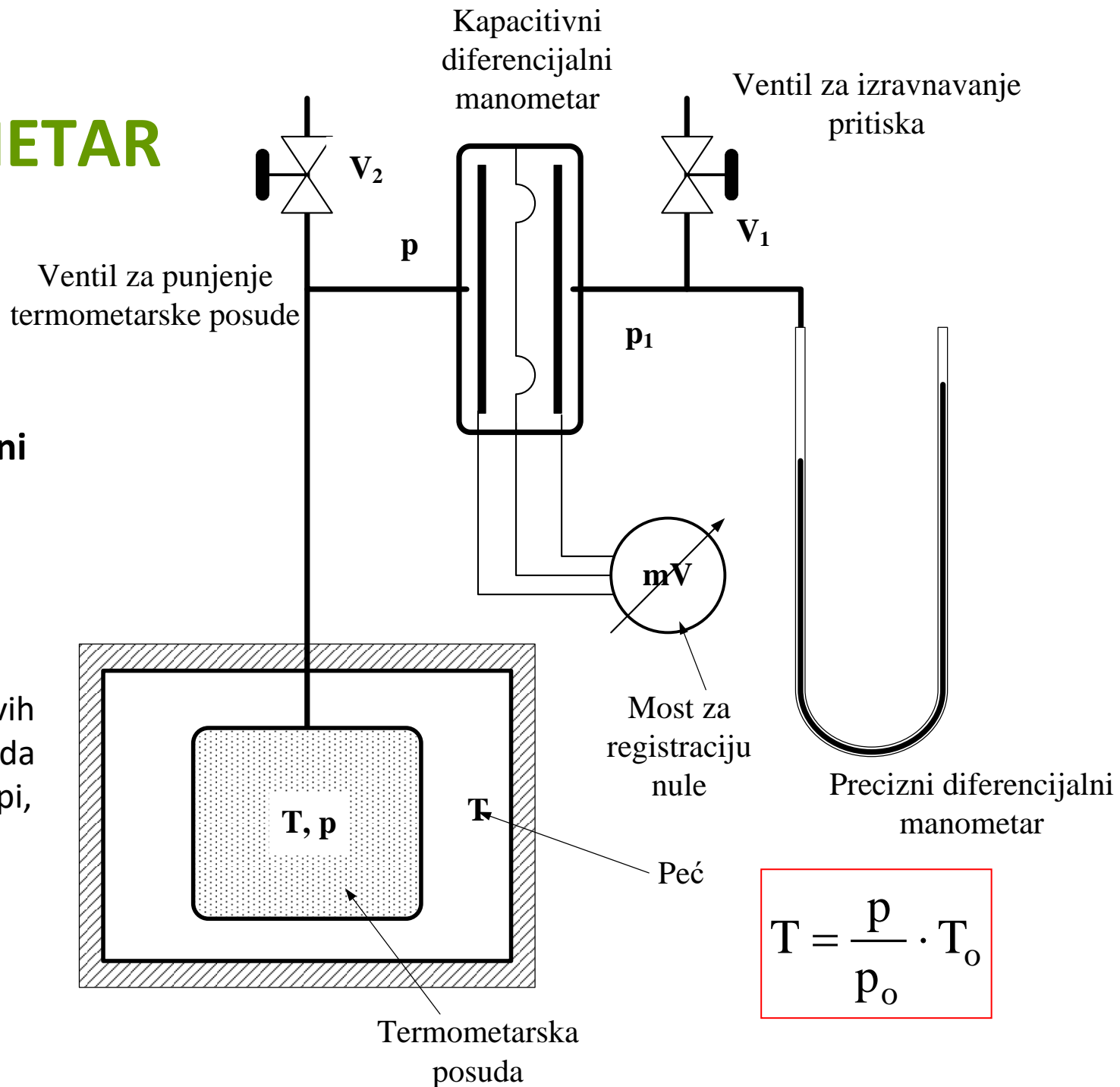


# GASNI TERMOMETAR

**Najprecizniji  
termodinamički  
termometar je gasni  
termometar.**

Postoje i drugi tipovi  
termodinamičkih  
termometara.

Zajednička osobina svih  
ovih termometara je da  
su najtačniji, vrlo skupi,  
merenja sa njima su  
vrlo komplikovana i  
dugotrajna

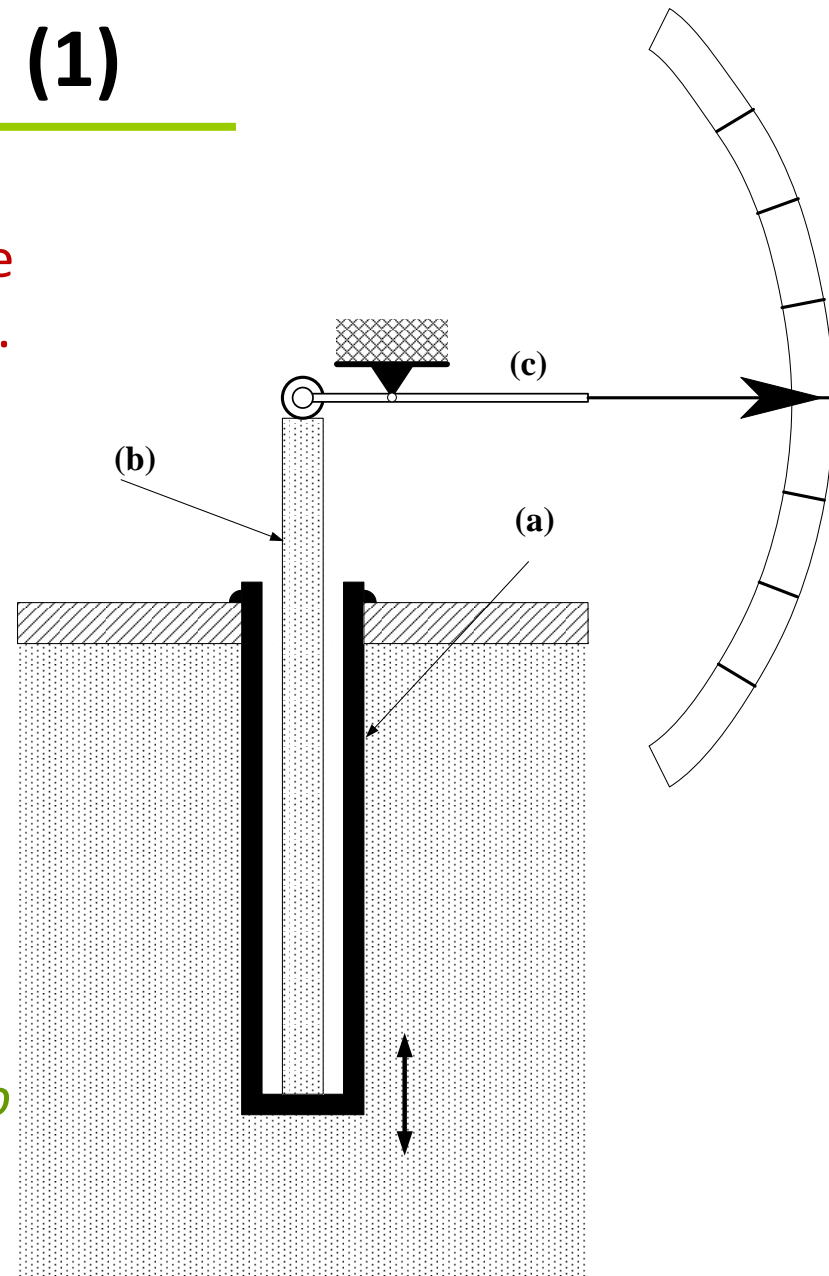


# DILATACIONI TERMOMETRI (1)

Dilatacioni termometri koriste fizičko svojstvo tela da pri promeni temperature menja svoju dužinu, odnosno zapreminu.

To je cevčica (a), zatvorena sa jedne strane, koja se stavlja celom dužinom u sredinu čija se temperatura meri, a odlikuje se **visokim koeficijentom linearnog širenja**. Na dnu cevčice učvršćena je osovina (b) izrađena od materijala koji ima vrlo **mali koeficijent linearnog širenja**.

*Pri promeni temperature cevčica menja svoju dužinu znatno više od osovinice, što dovodi do pomeranja osovinice i strelice (c), koja je zglibom vezana za nju.*

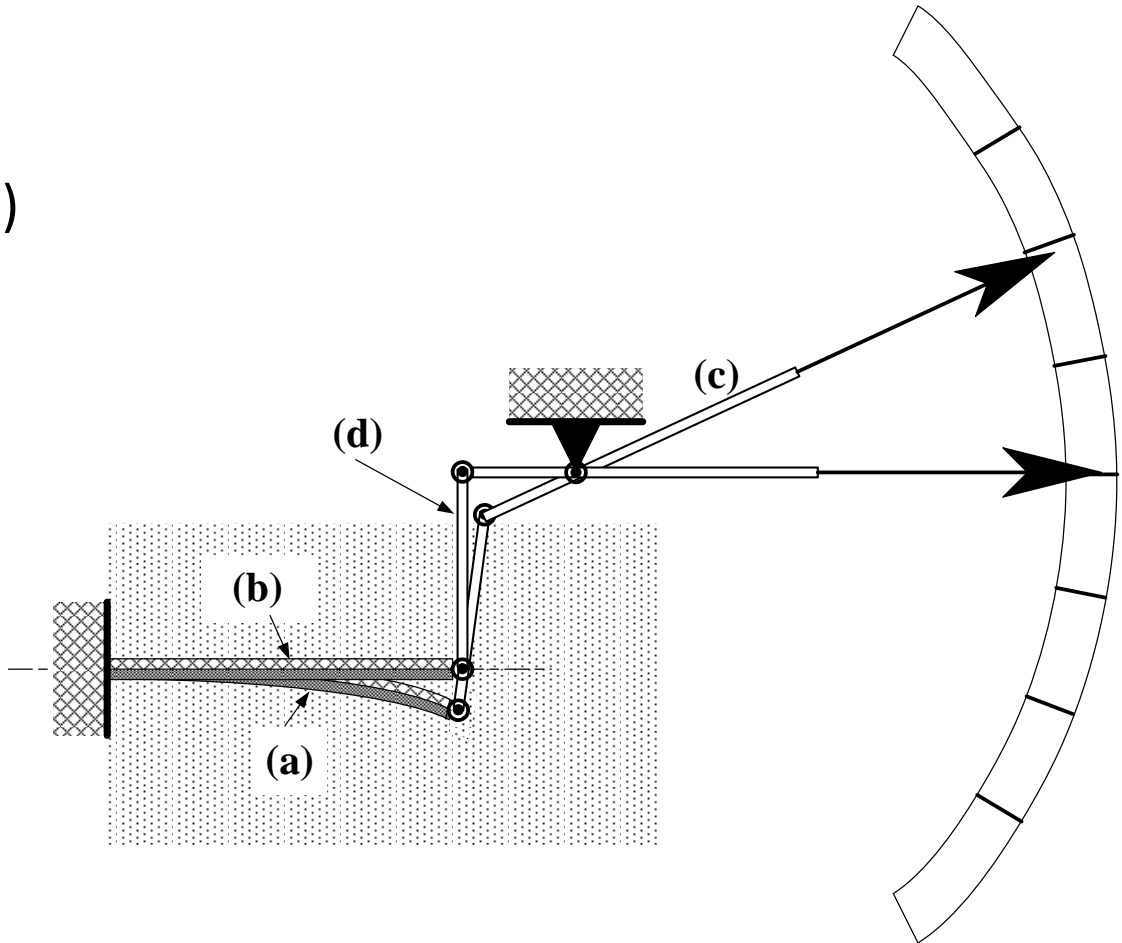


# DILATACIONI TERMOMETRI (2)

Drugi tip dilatacionog (mehaničkog) termometra, je **BIMETALNI TERMOMETAR**

On se sastoji od dve međusobno čvrsto spojene trake (a, b) od kojih jedna (a) ima visok koeficijent linearnog širenja, dok je koeficijent linearnog širenja druge trake (b) minimalan.

Pri promeni temperature bimetalnog elementa dolazi do njegove deformacije, usled čega dolazi do pomeranja kazaljke (c), vezane sa bimetalnim elementom preko poluge (d).



# DILATAZIONI TERMOMETRI



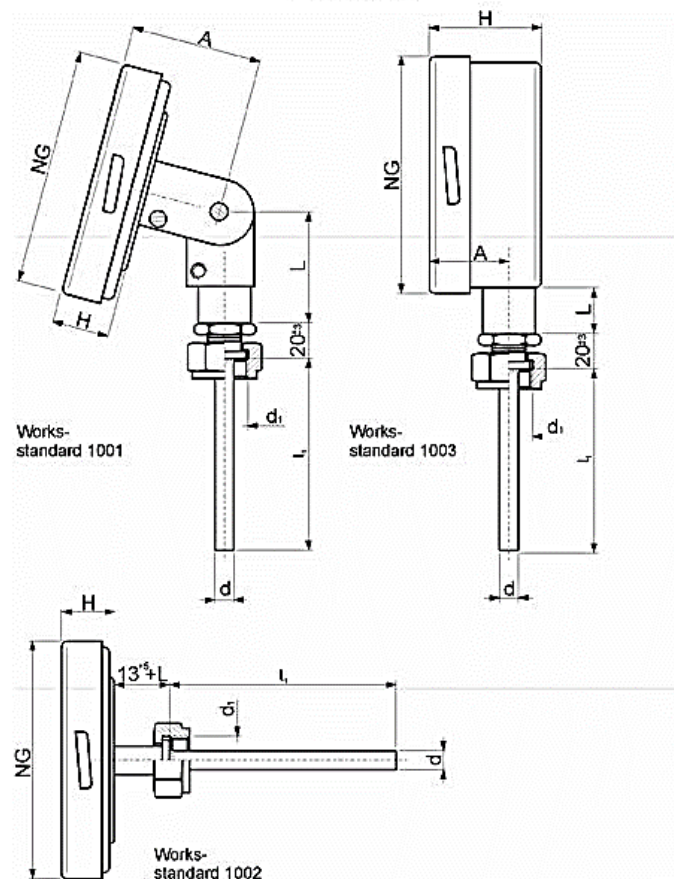
Measuring technique temperature

**armatherm günthel**

INDUSTRIAL THERMOMETER with Bimetal measuring system

Worksstandard page 6.0

Dimension



illustrated: connection 5

Thermometer	Code-no.	NG	H	A	L < 300°C	1) L ≥ 300°C	d
WN 1001	1152	100	20	~ 50	53	83	Ø 6.0,1
	1162	160	26	~ 55	83	113	
WN 1002	1252	100	20			27	Ø 8.0,1
	1262	160	26				
WN 1003	1352	100	49	37	19	43	Ø 10
	1362	160	48	36			

1) If case temperature are expected ≥ 120°C, the insulate intermediate part L must be designed longer.

Subject to alteration, even of technical kind. 03/06

**ARMATHERM GÜNTHEL**  
P.O. Box 260 D-32632 Lemgo  
Certified to DIN EN ISO 9001

**FABRIK TECHNISCHER MESSINSTRUMENTE GMBH**  
Grevenmarsch 38 D-32657 Lemgo  
e-mail: info@armatherm.de

**LEMGO**  
Tel. 0049 (0) 5261 / 9377-0  
Fax -51  
Internet: www.armatherm.de



# DILATAZIONI TERMOMETRI

---



# DILATACIONI TERMOMETRI (3)

---

Najpoznatiji termometri ove grupe su **STAKLENI TERMOMETRI** napunjeni tečnošću, čiji je **PRINCIP RADA** da se pri promeni temperature menja koeficijent zapreminskog širenja tečnosti.

Kao termometarska tečnost najčešće se upotrebljava živa (Hg) i organske tečnosti, kao na primer: etilov špirit ( $C_2H_5OH$ ), toluol ( $C_6H_5CH_3$ ), pentan ( $C_5H_{12}$ ) i druge.

## ŽIVA (Hg)

- ▶ Živa ima znatno veći temperaturni dijapazon u kojem ostaje tečna (tj. u kojem ne menja svoje agregatno stanje),
- ▶ Pri normalnom atmosferskom pritisku ona ne menja svoje tečno agregatno stanje u granicama od  $-38\text{ }^\circ\text{C}$  do  $375\text{ }^\circ\text{C}$ . *Pri povišenim pritiscima živa može da se koristi do temperatura od oko  $750\text{ }^\circ\text{C}$ ,*
- ▶ Ne kvasi staklo,
- ▶ Relativno se lako dobija hemijski čista.

# DILATACIONI TERMOMETRI

---

Opsezi primene najčešće primenjivanih tečnosti su:

- ▶ Živa od -35 do 750 °C,
- ▶ Toluol od -90 do 200 °C,
- ▶ Etil-alkohol od -80 do 70 °C,
- ▶ Kerozin od -60 do 300 °C,
- ▶ Petrolej od -120 do 25 °C,
- ▶ Pentan od -200 to 20 °C

Organske tečnosti obično se primenjuju samo pri merenju niskih temperatura, i to u oblasti od oko -200 do oko +60 °C.

Njihova osnovna odlika je veoma **visok temperaturski koeficijent zapreminskog širenja**, koji iznosi oko  $1,13 \times 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , što znači da je skoro šest puta veći, nego kod žive ( $0,18 \times 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ).

# DILATACIONI TERMOMETRI

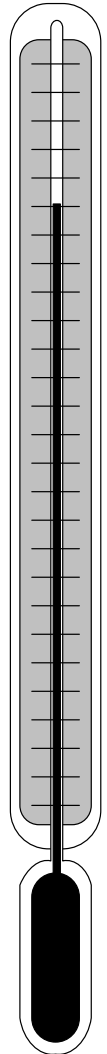
Najrasprostranjeniji tip dilatacionih termometara predstavljaju **ŽIVINI STAKLENI TERMOMETRI**, zahvaljujući svojim osnovnim odlikama: **visokoj tačnosti merenja i niskim nabavnim troškovima.**

Živin termometar predstavlja pokazujući merni pribor koji se sastoji od tri osnovna dela:

- termobalona napunjenog živom
- kapilarne cevi i
- skale.

► **OPSEG:** Njime mogu da se mere temperature u granicama od -35 do +750 °C, pri čemu je gornja granica uslovljena temperaturom omekšavanja njegovog staklenog omotača.

S obzirom na to da je ova temperatura **viša od temperature isparavanja žive**, pristupa se veštačkom povišenju temperature isparavanja, na taj način što se iz praznog prostora u kapilari iznad žive ispumpa vazduh i napuni inertnim gasom, najčešće azotom, koji se nalazi pod pritiskom od 20 bar. Povišeni pritisak u kapilari sprečava isparavanje žive i njenu kondenzaciju na zidovima kapilare.



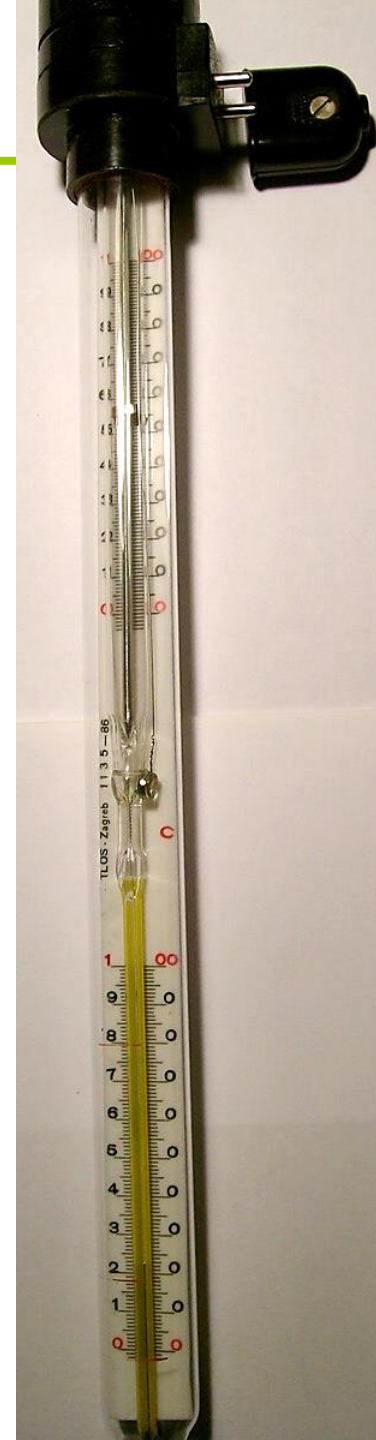
# DILATACIONI TERMOMETRI - PRIMENA

S obzirom na njihovu primenu živini stakleni termometri dele se na tri grupe i to:

1. tehničke,
2. laboratorijske i
3. etalonske termometre.

**TEHNIČKI TERMOMETRI** su veoma često na određenim mestima kapilare snabdeveni platinskim kontaktima, koji su postavljeni da pri određenoj temperaturi živa sa njima zatvori strujno kolo i upali kontrolnu sijalicu, ili neki drugi kontakt. Takvi termometri se često nazivaju i termosignalizatori. Oni obično rade sa veoma malim naponima (6V) i malim snagama ( $\leq 2$  W).

**OPSEG; SKALA:** izrađuju se sa skalama od  $0 \div 50^{\circ}\text{C}$  i od  $0 \div 500^{\circ}\text{C}$  sa skokovima od po  $50^{\circ}\text{C}$ . Njihova najmanja podela iznosi  $1^{\circ}\text{C}$  (skala do  $200^{\circ}\text{C}$ ),  $2^{\circ}\text{C}$  (skala od  $200^{\circ}\text{C}$ ), dok pri temperaturama do  $500^{\circ}\text{C}$  iznosi  $5^{\circ}\text{C}$ , pa čak i  $10^{\circ}\text{C}$ .



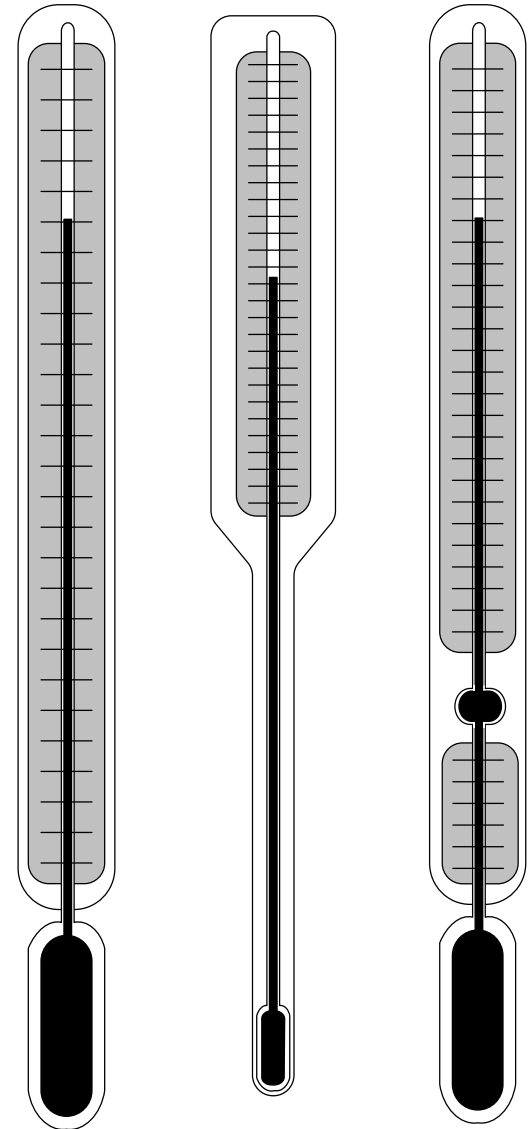
# DILATACIONI TERMOMETRI - PRIMENA

**LABORATORIJSKI ŽIVINI TERMOMETRI** mogu da se izrađuju u svim navedenim konstruktivnim oblicima.

Postoje termometri koji su izvedeni sa skalom koja počinje od izvesne temperature više od  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Na donjem delu ovih termometara naznačena je nula, koja služi za kontrolu pokazivanja termometra, a koja mora da se obavlja u određenim vremenskim intervalima.

Između pomoćne skale, na kojoj je nanesena nula, i glavne skale, kapilara ima proširenje u koje ulazi živa pri promeni temperature od nule do početne temperature, naznačene na glavnoj skali.



# DILATACIONI TERMOMETRI

---

## OSETLJIVOST

Osetljivost živinih termometara u mnogome zavisi od dimenzija termobalona i kapilarne cevi.

Promena visine živinog stuba pri određenoj promeni temperature biće utoliko veća, ukoliko je zapremina termobalona **veća** i prečnik kapilarne cevčice **manji**. To znači da će i podela skale biti veća, što povećava osetljivost i tačnost termometra.

- ▶ Sa druge strane, velika zapremina termobalona ima nedostatak jer povećava **inerciju termometra**, zbog relativno velike akumulacije toplote žive u termobalonu, pa se upotreba takvih termometara ne preporučuje pri merenju brzo promenljivih temperatura.

## TAČNOST

Tačnost pokazivanja živinog staklenog termometra ne zavisi samo od njegove tačnosti, nego i od načina ugradnje što je u tesnoj vezi sa prelazom toplote između merene sredine, termometra i okolnih zidova različite temperature od temperature merene sredine.



# DILATACIONI TERMOMETRI

## UGRADNJA

Postoje generalno dva načina ugradnje termometara:

- (a) u zaštitnoj čauri i
- (b) direktna ugradnja u fluid, čija se temperatura meri.

Prvi način je najviše rasprostranjen u industriji, zato što

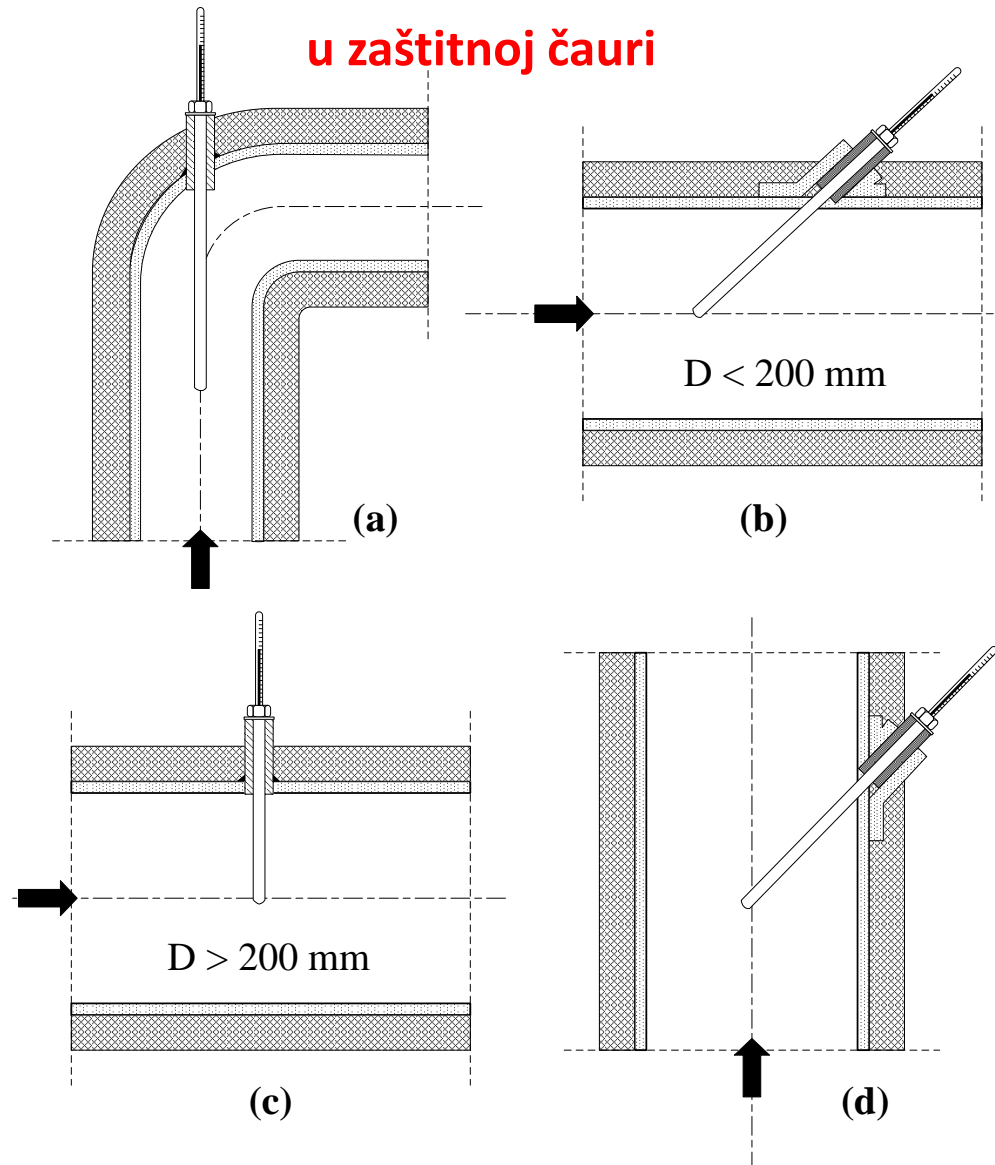
1. Štiti termometar od oštećenja,
2. Obezbeđuje dobru zaptivenost i
3. Dozvoljava veliku razliku pritisaka između merenog fluida i okoline, što je kod termoenergetskih postrojenja gotovo redovna potreba.





# DILATACIONI TERMOMETRI - UGRADNJA

- ▶ Najpovoljnije rešenje predstavlja ugradnja termometra u koleno cevi (slika A), pri usponu struje fluida.
- ▶ Na horizontalnom delu cevi pri malim prečnicima usvaja se, obično rešenje prikazano na slici B, dok se pri većim prečnicima cevi čaura ugrađuje vertikalno, kao što je prikazano na slici C.
- ▶ Pri vertikalnom vođenju cevi s usporenim strujanjem, termometar se uvek ugrađuje pod nagibom, kao što je prikazano na slici D.
- ▶ Ne preporučuje se ugradnja termometara na vertikalnim cevima sa strujanjem fluida naniže.



# DILATACIONI TERMOMETRI - UGRADNJA

---

## ZAŠTITNE ČAURE

- ▶ Zaštitne čaure se obično izrađuju od nerđajućih čelika, koji imaju relativno **mali koeficijent prolaza toplote**, čime se smanjuje toplotni protok nastao provođenjem toplote aksijalno duž čaure.
- ▶ Zid čaure mora biti što tanji, a njegov unutrašnji prečnik što manji, da bi se smanjilo aksijalno provođenje toplote i smanjila toplotna inercija mernog uređaja.
- ▶ Dno čaure popunjava se mašinskim uljem, dok se ne pokrije termobalon. Prekomerno punjenje uljem smanjuje tačnost merenja, jer povećava provođenje toplote u okolinu i istovremeno povećava toplotnu inerciju mernog uređaja.
- ▶ Ukoliko se mere temperature više od  $150^{\circ}\text{C}$ , umesto mašinskog ulja dno čaure se puni finim bakarnim opiljcima, koji imaju visok koeficijent termičke provodnosti.

# DILATACIONI TERMOMETRI - UGRADNJA

## ZAŠTITNE ČAURE



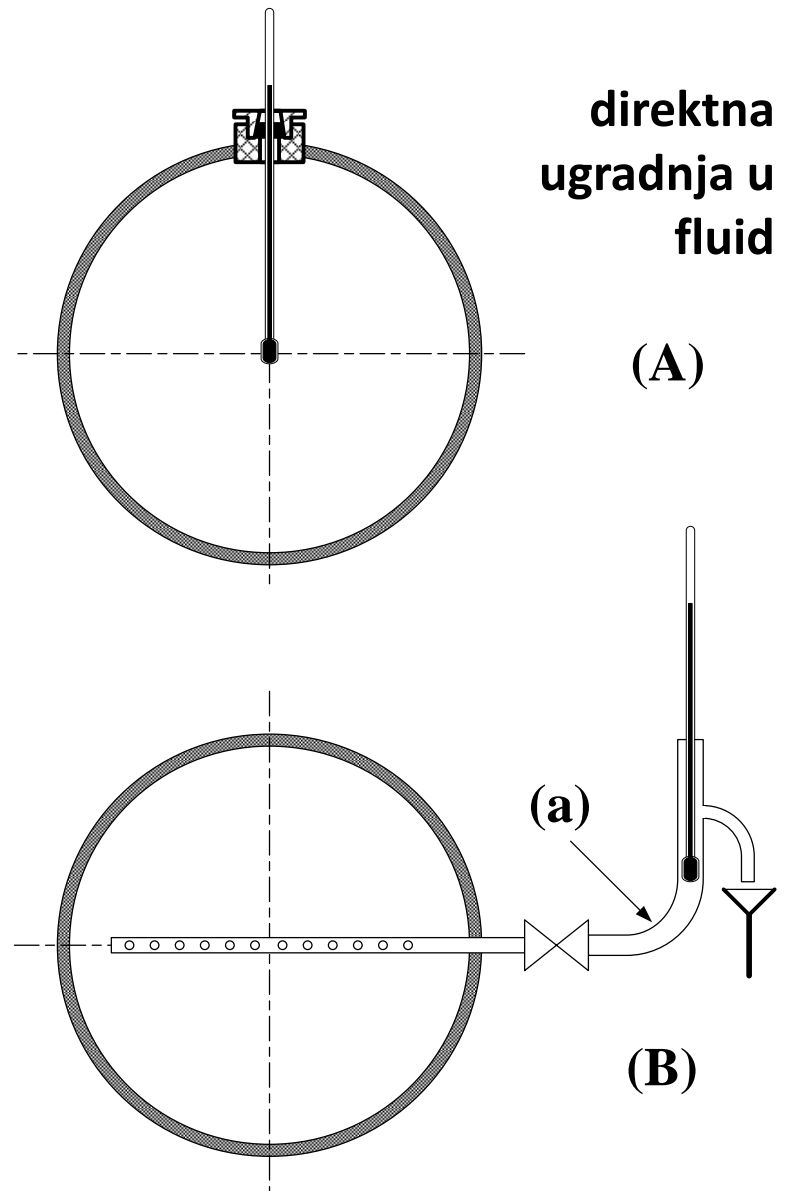
# DILATACIONI TERMOMETRI

## UGRADNJA

Varijante neposrednog uranjanja živinog termometra u cevovod →

Ovakvim načinom merenja mogu da se mere temperature raznih fluida do oko 95°C, pod uslovom da se nalaze pod veoma malim natpritiscima (slika A).

Ako je potrebno meriti temperaturu protočnog fluida u cevima velikog prečnika, često se primenjuje varijanta ugradnje prikazane na slici B. Ovde se manji deo fluida ispušta preko cevi (a). Fluid se oduzima iz osnovnog toka na nekoliko mesta po širini cevovoda ili kanala tako da se meri srednja temperatura u preseku, gde je termometarski pribor postavljen.



# DILATACIONI TERMOMETRI – korekcija rezultata

Pri tačnim merenjima temperature pomoću živinih termometara potrebno je izvršiti popravke / korekcije rezultata.

Ako sa  $t'$  označimo temperaturu očitanu na termometru, stvarna temperatura će se dobiti uvođenjem gornjih popravki, shodno sledećoj jednačini:

$$t = t' + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

1. Osnovna (instrumentalna) popravka pribora ( $\Delta t_1$ ) koja se uzima iz atesta (pasoša) termometra.
2. Popravka zbog različite temperature stuba žive u kapilari obavlja se samo kod laboratorijskih merenja, i to u slučaju kad postoji znatna temperaturska razlika između merene temperature i temperature okolne sredine. Ova popravka izražava se prema jednačini:

$$\Delta t_2 = n \cdot \alpha \cdot (t' - t_s) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

gde je:

$n$  - broj stepeni Celzusa živinog stuba koji izlazi iz izolacije

$\alpha$  - prividni koeficijent zapreminskog širenja žive u staklu ( $1/^{\circ}\text{C}$ )

$t_s$  - srednja temperatura stuba žive različite temperature od merene ( $1/^{\circ}\text{C}$ )

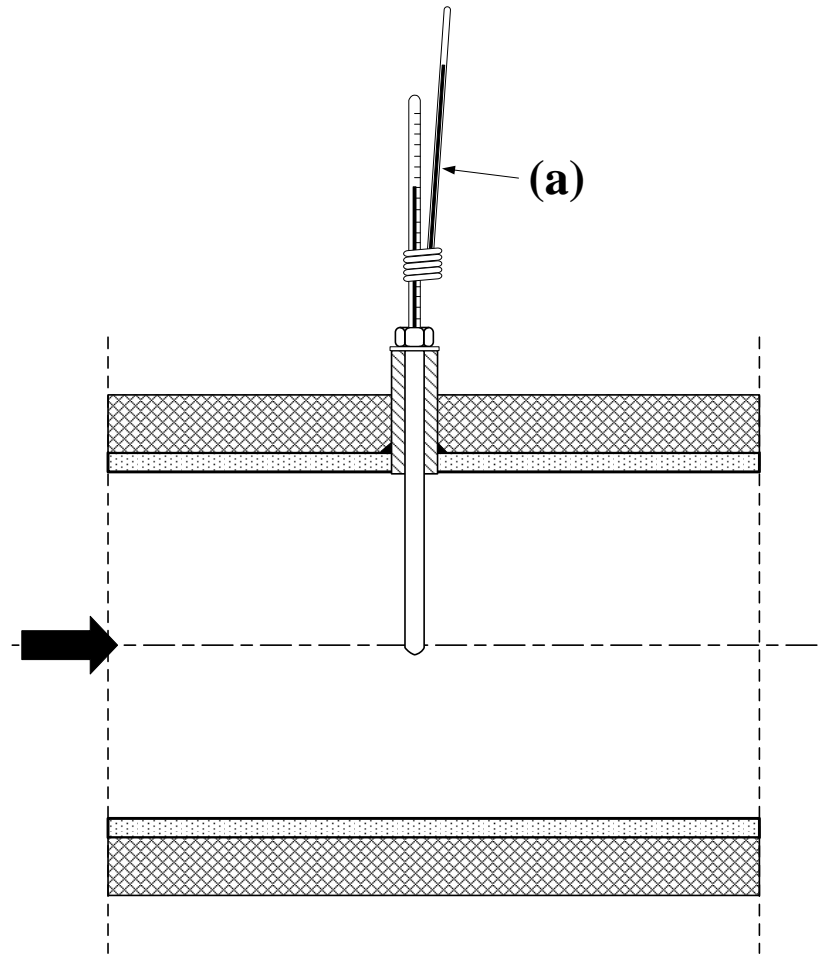
# DILATACIONI TERMOMETRI – korekcija rezultata

Određivanje **srednje temperature stuba** žive različite od merene obavlja se korišćenjem pomoćnog termometra (a), koji se učvršćuje uz merni termometar, na sredini stuba tečnosti.

3. Popravka na pomeranje položaja nulte tačke obavlja se samo u slučaju kada dolazi do otklona između položaja tačke nule označenog u atestu ( $t_a$ ) i posle naredne kontrole u eksploataciji ( $t'_a$ ):

$$\Delta t_3 = (t_{oa} - t'_{oa}) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Ukoliko nije došlo do promene položaja nulte tačke, ispravka  $\Delta t_3$  je jednaka nuli.



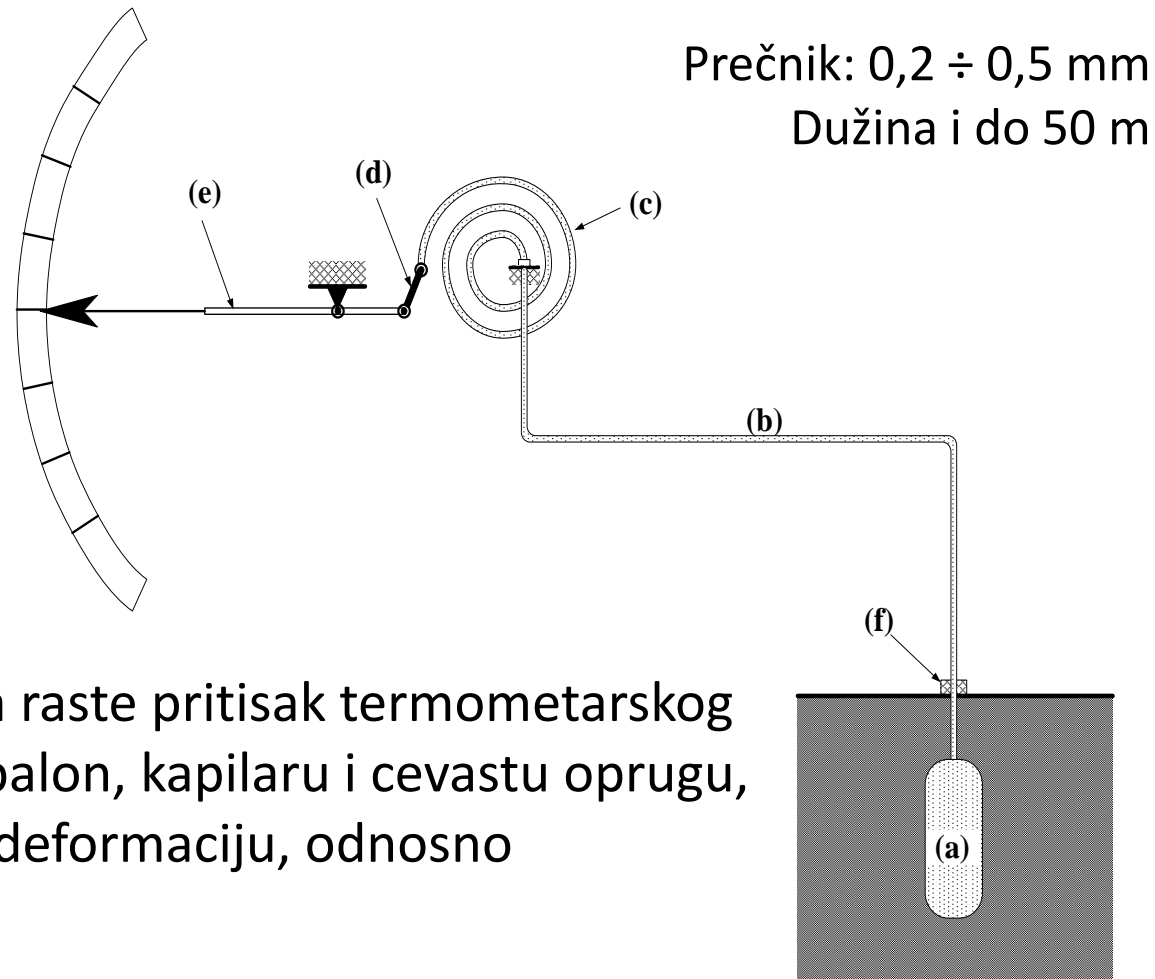
# MANOMETARSKI TERMOMETRI

## PRINCIP RADA

Merenje temperature pomoću manometarskih termometara zasnovano je na principu promene pritiska tečnosti, gasa ili pare u zatvorenom sistemu konstantne zapremine.

Pri zagrevanju termobalona raste pritisak termometarskog fluida koji ispunjava termobalon, kapilaru i cevastu oprugu, što za posledicu ima njenu deformaciju, odnosno pomeranje strelice.

**OPSEG MERENJA:** Ova vrsta termometara primenjuje se pri tehničkim merenjima temperatura do oko 550 °C



# MANOMETARSKI TERMOMETRI

---

## KARAKTERISTIKE

- ▶ **Manometarski termometri imaju niz grešaka, koje se javljaju pri merenju:**
  1. osnovna greška, koju izaziva nesavršen rad opruge i polužnog mehanizma
  2. barometrijsku grešku, izazvanu promenom barometarskog pritiska okolnog vazduha,
  3. temperaturnu grešku, prouzrokovanu promenom temperature okoline i
  4. hidrostatičku grešku, koju uzrokuje različit visinski položaj termobalona u odnosu na cevastu oprugu (*ukoliko je manometrijski termometar ispunjen gasom, ova greška je zanemarljiva*).
  
- ▶ **Osnovne odlike ove vrste termometara su:**
  1. mogućnost za ugradnju pokaznog instrumenta na priličnoj udaljenosti od mesta na kojem se obavlja merenje temperature i
  2. relativno velika mehanička otpornost termometra.
  
- ▶ **Osnovne mane su:**
  1. mala tačnost i
  2. velika toplotna inercija pokaznog instrumenta.



# MANOMETARSKI TERMOMETRI

---

## TEČNOSTI

► Tečnost kojima se pune ovi termometri su živa i, ređe, organske tečnosti, kao na primer: ksilol ( $C_6H_4(CH_3)_2$ ) i metil-alkohol ( $CH_3OH$ ).

Ovi termometri imaju ravnomernu skalu, pošto je pri konstantnoj zapremini promena pritiska po temperaturi konstantna:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\alpha}{\mu} = \text{const}$$

gde je:

$\alpha$  = Koeficijent zapreminskog širenja,  $1/^\circ\text{C}$

$\mu$  = Koeficijent kompresibilnosti,  $1/\text{Pa}$

Odstupanje od linearnosti nastaje zbog promene zapremine termobalona sa promenom temperature. Naravno, ovaj uticaj može biti značajan samo pri visokim temperaturama.

# MANOMETARSKI TERMOMETRI

---

## GASNI MANOMETARSKI TERMOMETRI

pune se, obično, neutralnim gasovima, **azotom ili helijumom**, koji imaju termodinamička svojstva bliska idealnim gasovima.

I u ovoj grupi termometara temperaturna skala je ravnomerna, što može da se zaključi i iz izraza za jednačinu stanja idealnog gasa:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{R}{v} = \text{const}$$

gde je:

R = Gasna konstanta, [J/(kg K)]

v = Specifična zapremina, [m<sup>3</sup>/kg]

Radi smanjenja barometarske greške termobalon se napuni gasom čiji je početni pritisak do 30 bar.

# MANOMETARSKI TERMOMETRI

## PARNI MANOMETARSKI TERMOMETRI

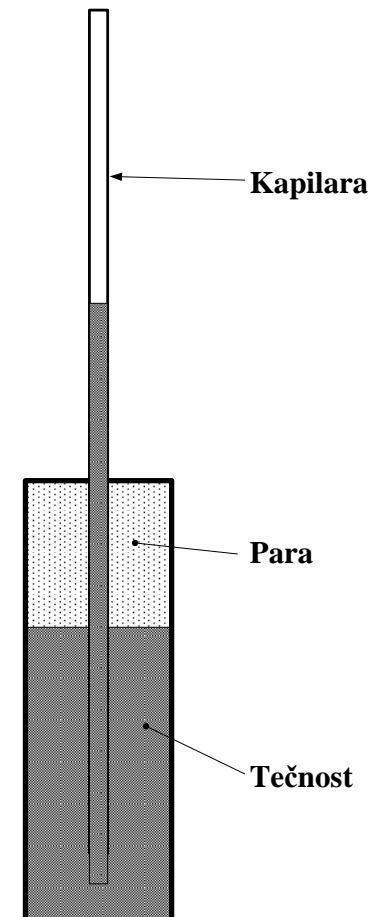
pune se organskim tečnostima koje imaju nisku tačku ključanja, kao na primer

1. metil-hlorid ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), koji se upotrebljava za temperaturni interval od 0 do  $120^\circ\text{C}$ ,
2. etil-hlorid ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ ), za interval od 50 do  $200^\circ\text{C}$ ,
3. benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), za interval od 90 do  $200^\circ\text{C}$  itd.

Prednost parnih manometarskih termometara je njihova **manja osetljivost na promenu temperature okoline**, jer pritisak u sistemu zavisi samo od pritiska pare u termobalonu, koja je funkcija temperature merene sredine.

Ostale njihove prednosti su velika osetljivost i malo kašnjenje pokazivanja instrumenta.

Njihov nedostatak je relativno uzak opseg merenja i nelinearna skala, koja proističe iz nelinearne zavisnosti pritiska i temperature.



# MANOMETARSKI TERMOMETRI



# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

---

## PRINCIP RADA

Princip rada elektrootpornih termometara zasniva se na osobini metala i legura da pri promeni temperature menjaju električni otpor.

► Prema tome, ako je poznata zavisnost između temperature i električnog otpora, mereći električni otpor provodnika može da se odredi njegova temperatura, a time i temperatura sredine u kojoj se on nalazi.

## OPSEG TEMPERATURA

Upotreba ove vrste termometra uslovljena je njihovom otpornošću prema visokim temperaturama.

- ✓ Platinski termometri se koriste u opsegu temperatura od  $-268$  do  $1.000^{\circ}\text{C}$
- ✓ Termometri od bakra od  $-200$  do  $260^{\circ}\text{C}$ ,
- ✓ Termometri od nikla od  $-200$  do  $430^{\circ}\text{C}$  i
- ✓ Termometri izrađeni od tungstena od  $-268$  do  $1.100^{\circ}\text{C}$ .

# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

---

## MATERIJALI

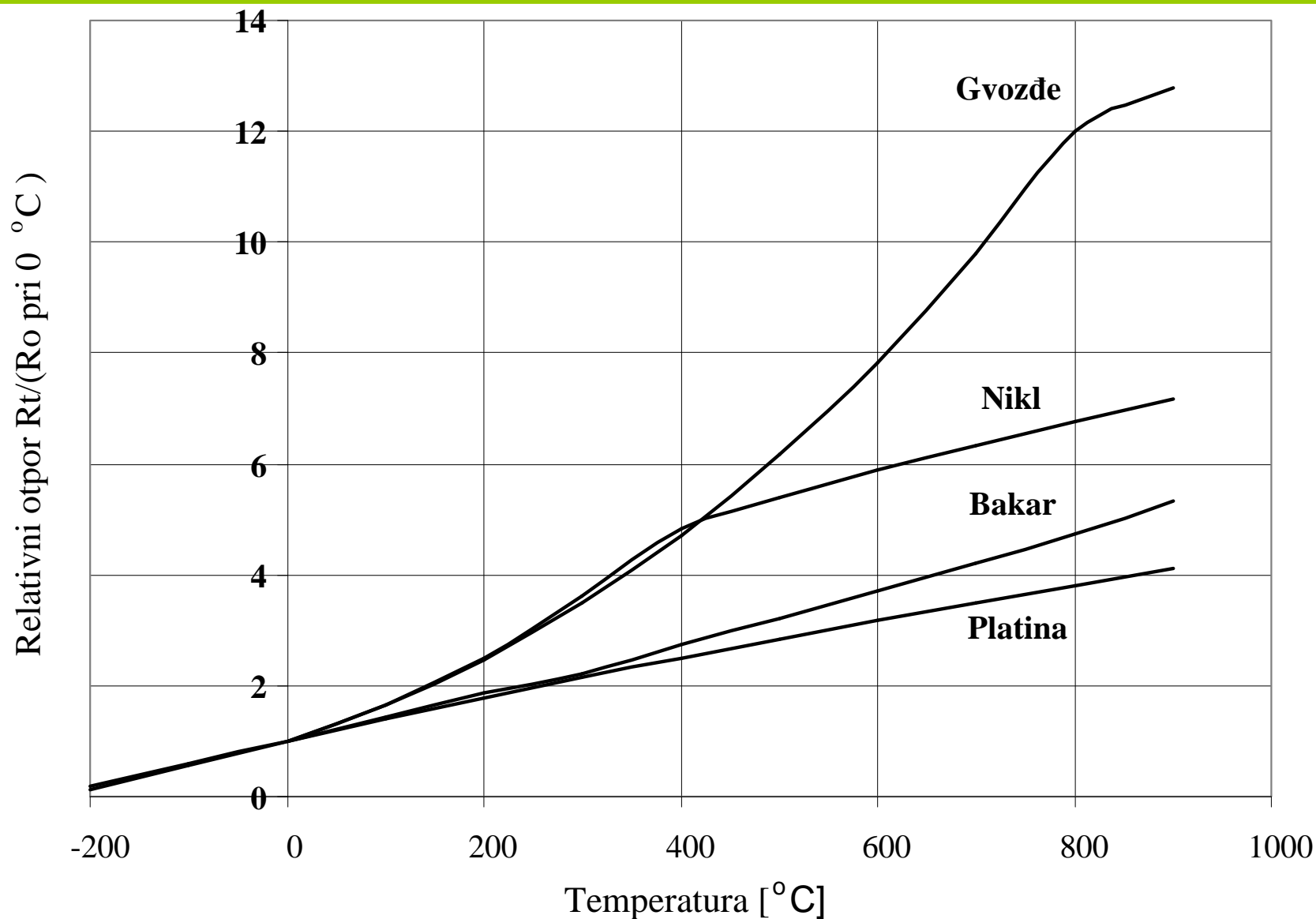
Poželjno je da materijali koji se primenjuju za navoje elektrootpornih termometara imaju sledeće osobine:

- postojanost hemijskih i fizičkih svojstava pri zagrevanju, naročito postojanost električnog otpora u zavisnosti od temperature, kao i postojanost provodnika protiv korozije;
  - visok, i ako je moguće, konstantan temperaturni koeficijent električnog otpora, što povećava osetljivost mernog pribora i obezbeđuje linearnu zavisnost promene otpora od temperature;
  - veći specifični otpor provodnika, što smanjuje zapreminu termometra.
- Čisti metali su najpogodniji za izradu elektrootpornih termometara.

To su: **PLATINA, BAKAR, NIKL I GVOŽĐE.**

# ELEKTROTOPORNI TERMOMETRI (1)

## relativna promena električnog otpora u funkciji temperature



# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

## relativna promena električnog otpora u funkciji temperature

---

**Bakar** se često primenjuje. Osnovne odlike bakra su njegova niska cena, visok temperaturni koeficijent električnog otpora i laka mogućnost njegovog dobijanja u čistom stanju. Njegove loše osobine su mala hemijska inertnost u oksidacionoj sredini (zbog čega se kao gornja granica primene usvaja 100 °C) i mali specifičan otpor ( $0.017 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ).

**Nikl i gvožđe** nisu našli široku primenu, uprkos veoma visokom temperaturnom koeficijentu, zbog slabe otpornosti prema koroziji i složenom i skupom procesu dobijanja ovih metala sa visokim stepenom čistoće.

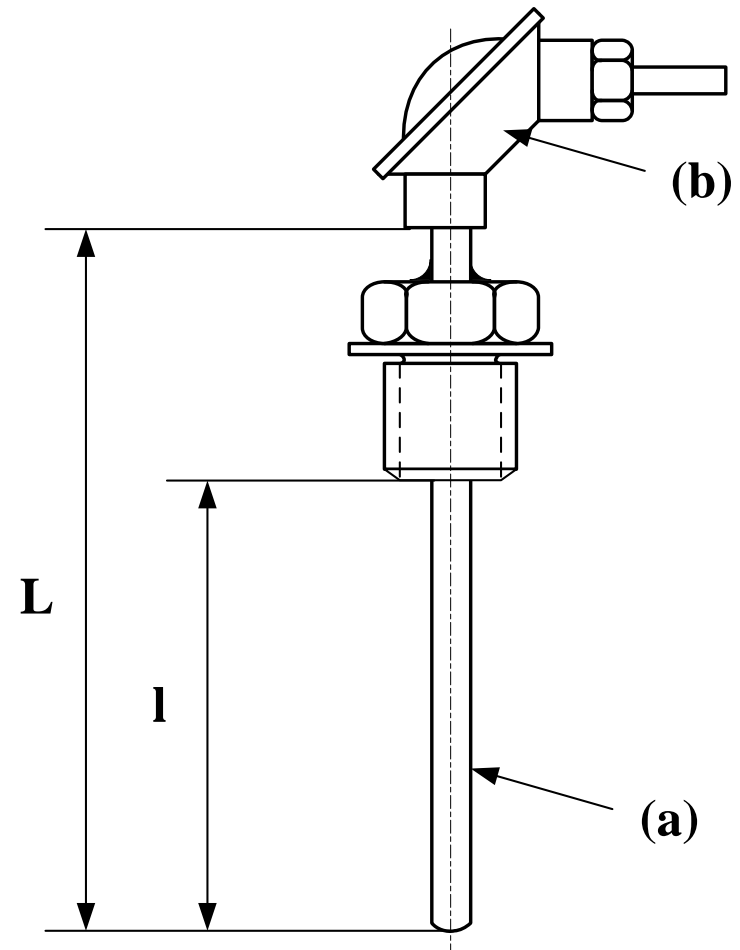
**Platina** predstavlja najpovoljniji metal koji se primenjuje za izradu elektrootpornih termometara, jer je nju lako dobiti u čistom stanju i hemijski je inertna u oksidacionoj sredini. Osim toga, ona poseduje još i visok temperaturni koeficijent električnog otpora, kao i visok specifični električni otpor.



# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

## KONSTRUKCIJA

- ▶ Elektrootporni termometri izrađuju se od tanke metalne žice, koja se navija na skelet elektroizolacionog materijala (kvarca, plastične mase itd.) i ugrađuju u metalnu zaštitnu čauru.
- ▶ Na slici je prikazan spoljašnji oblik platinskog elektrootpornog termometra, koji se sastoji od zaštitne čaure (a) u kojoj se nalazi platinski otporni element, i od glave termometra (b) u kojoj se nalaze stezaljke za priključenje spoljnih električnih vodova.
- ▶ Sam termometar izrađen je od veoma tanke platinske žice (0,07 mm) dužine oko 2 m, koja je bifilarno namotana na tanku elektroizolacionu pločicu, čiji su krajevi spojeni sa srebrnim izvodima.



*Platinski elektrootporni termometar*

# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

---



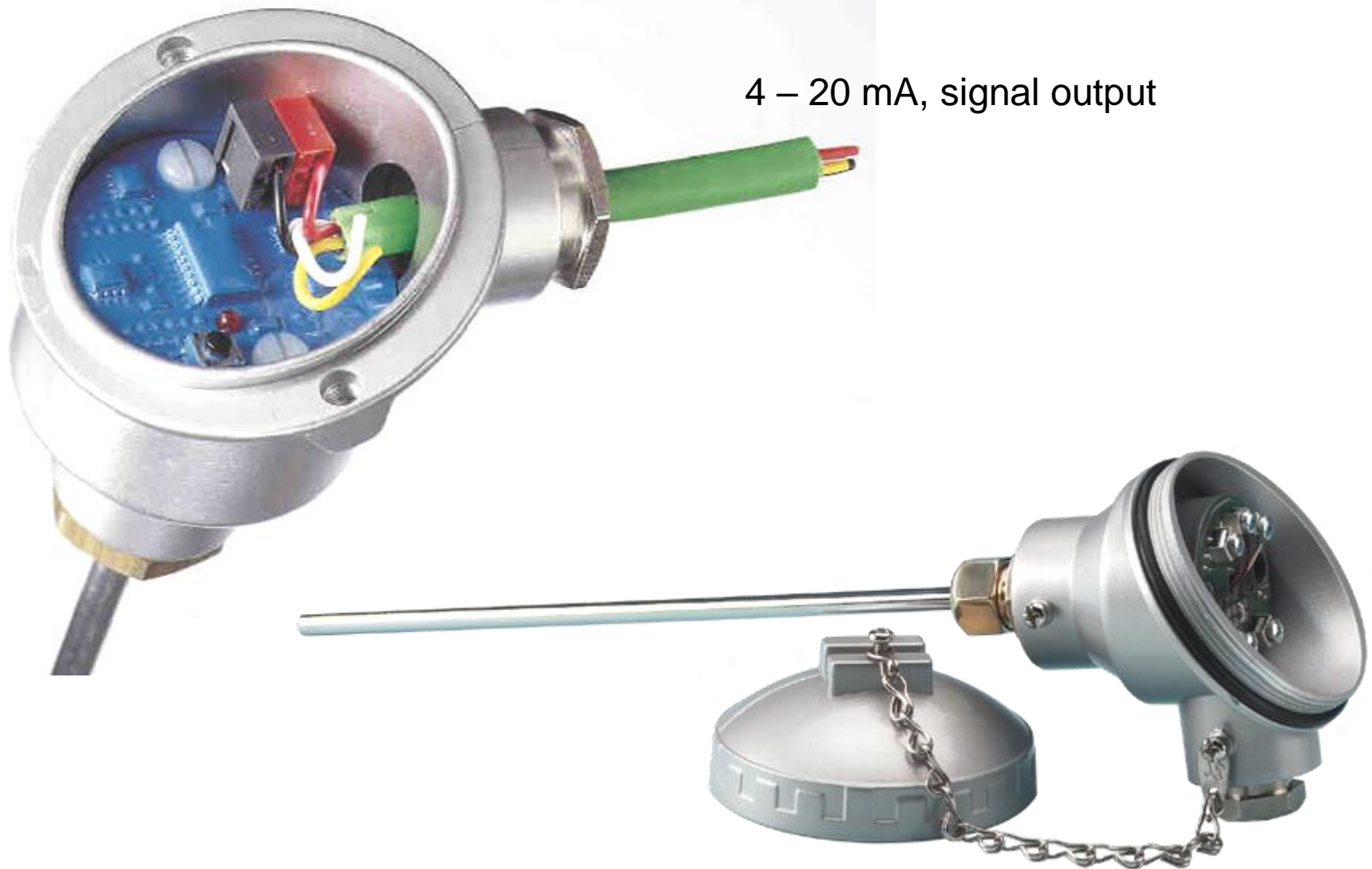
# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

---



Nominalni otpor  
od  $100 \Omega$  na  $0^{\circ}\text{C}$

# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)



# ELEKTROTPORNI TERMOMETRI (1)

---



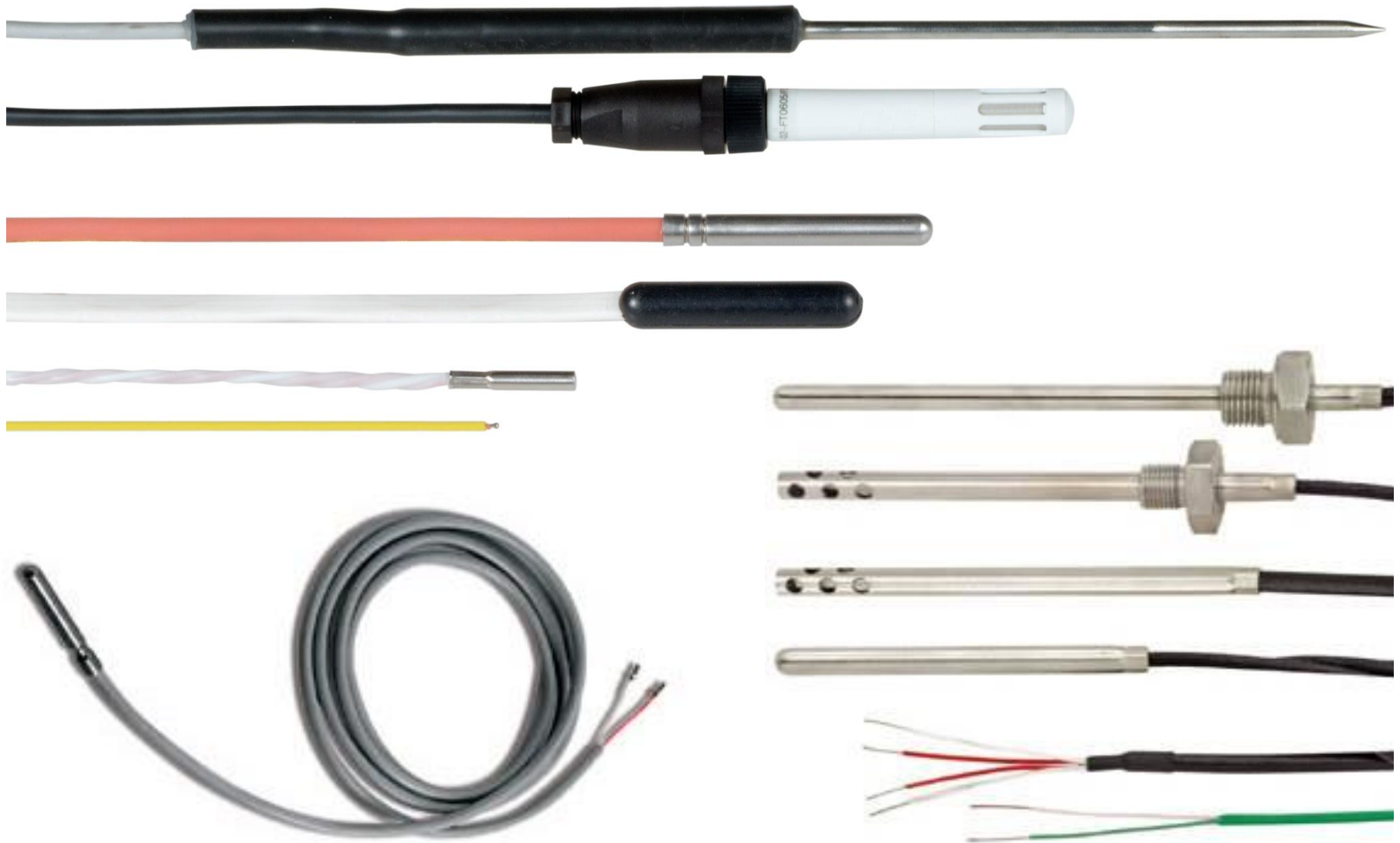
# ELEKTROTPORNI TERMOMETRI (1)





# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)

---



# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (1)





# ELEKTROOPTPORN TERMOMETRI (1)









# ELEKTROOTPORNI TERMOMETRI (2)

## poluprovodnički termometri ili termistori

---

### PRINCIP RADA

Princip rada elektrootpornih termometara zasniva se na osobini metala i legura da pri promeni temperature menjaju električni otpor. Prema tome, ako je poznata zavisnost između temperature i el. otpora, mereći el. otpor provodnika može da se odredi njegova temperatura, a time i temperatura sredine u kojoj se on nalazi.

**Poluprovodnik** je materijal koji ima neka svojstva **provodnika** i neka svojstva **izolatora**.

U zavisnosti od uslova u kojima se nalazi kao i od primesa tj. nečistoća u njemu, mogu da preovladaju svojstva provodnika, odnosno izolatora.

Imaju različit mehanizam prenosa naelektrisanja u odnosu na metale, a porastom temperature njima opada električni otpor (raste provodljivost), za razliku od metala.

# ELEKTROTOPORNI TERMOMETRI (2)

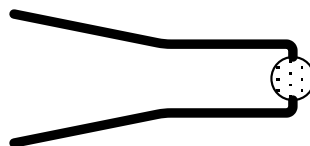
## poluprovodnički termometri ili termistori

### KONSTRUKCIJA

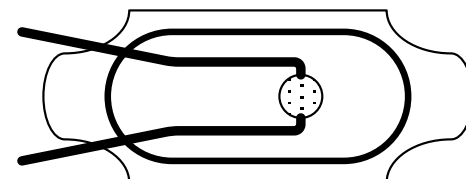
Dimenzije termistora se kreću od 0,1 mm, pa naviše. Male dimenzije istovremeno znače i **malu inerciju termometra**.

Izrađuju se od poluprovodnika (kobalt-manganin, bakar-manganin itd.).

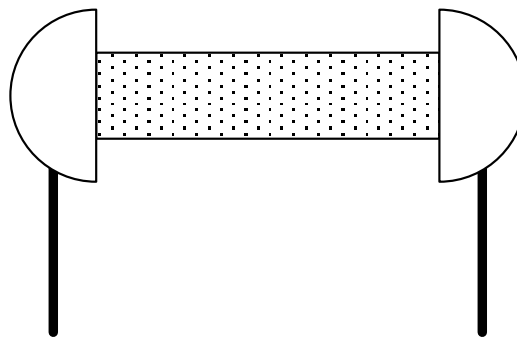
Osnovni nedostatak termistora je promena karakteristika sa vremenom, što zahteva česta etaloniranja.



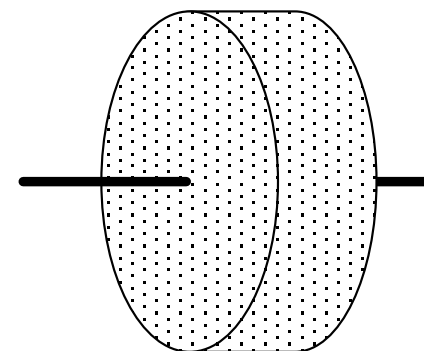
Ogoljen termistor



Termistor u staklenom zaštitnom balonu



Termistor u obliku štapa



Termistor u obliku diska

**OPSEG:** Ovi termometri primenjuju se u temperaturnim intervalima od  $-100^{\circ}\text{C}$  do oko  $350^{\circ}\text{C}$ . (postoje specijalni termistori za temperature od  $800$  do  $1100^{\circ}\text{C}$ ).

# POLUPROVODNIČKI TERMOMETRI ILI TERMISTORI - karakteristike

1. U poređenju s elektrootpornim termometrima, koji imaju mali pozitivan temperaturski koeficijent porasta električnog otpora, termistori imaju veoma **veliki negativan koeficijent (NTC)**.
2. Zavisnost otpora od temperature, kod metalnih provodnika koji se koriste za elektrootporne termometre, je prilično linearna, a kod termistora je **izrazito nelinearna**.

Zavisnost otpora termistora od temperature:

$$R = R_o \cdot \exp \left[ \beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right]$$

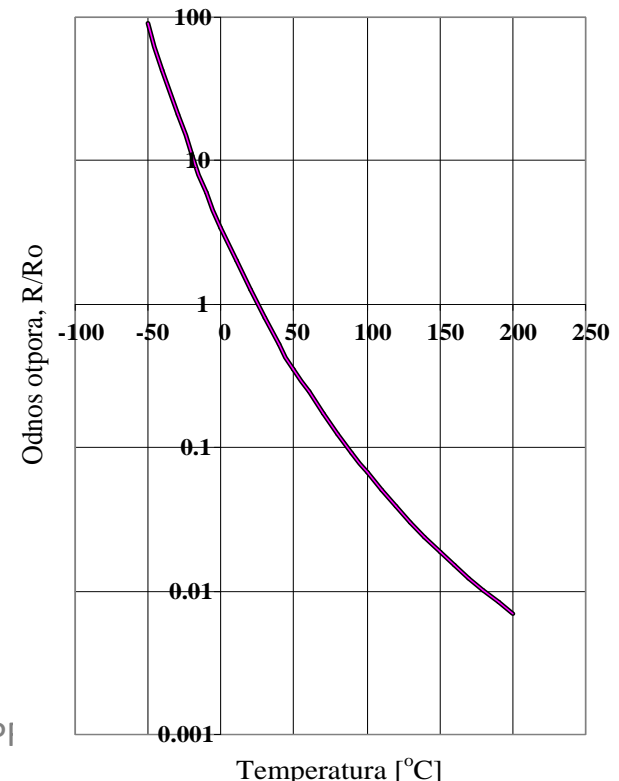
gde je:

R = otpor pri merenoj temperaturi T [Ω]

R<sub>o</sub> = otpor pri temperaturi T<sub>o</sub> [Ω]

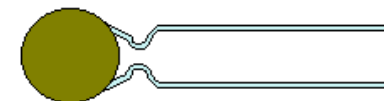
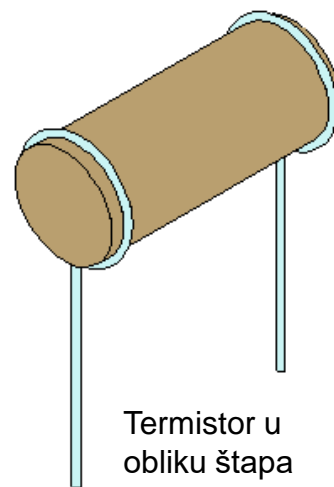
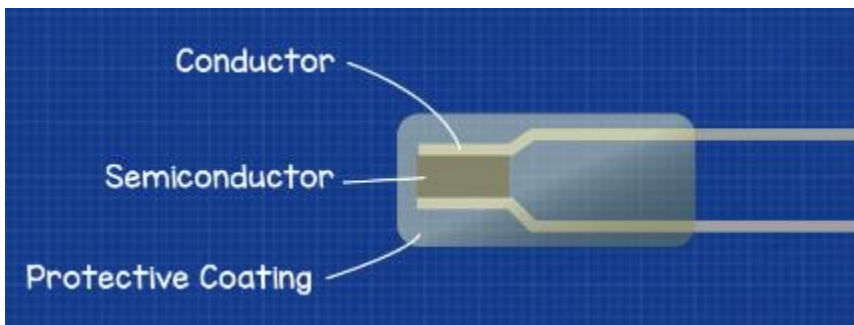
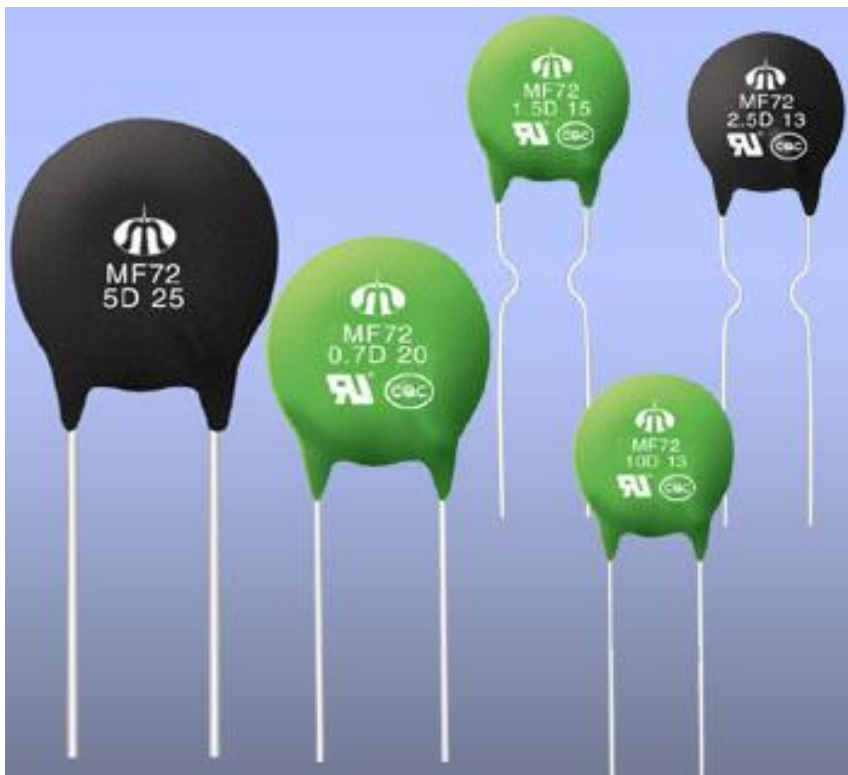
β = karakteristika materijala, [K]

T, T<sub>o</sub> = temperature, [K]



# ELEKTROOPTORNI TERMOMETRI (2)

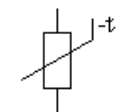
## poluprovodnički termometri ili termistori



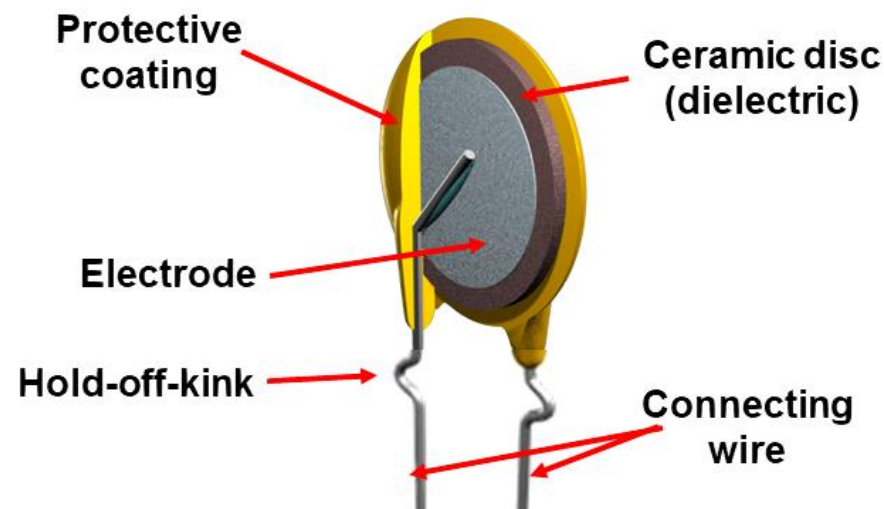
Termistor u obliku diska



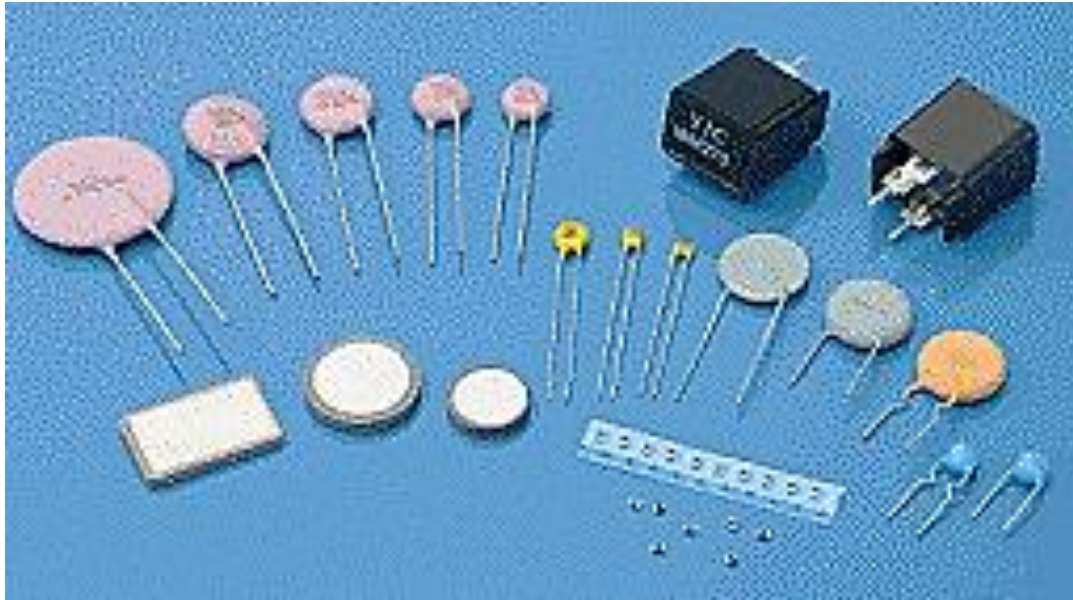
termistor de gota vidrio



Simbol za termistor



# poluprovodnički termometri ili termistori



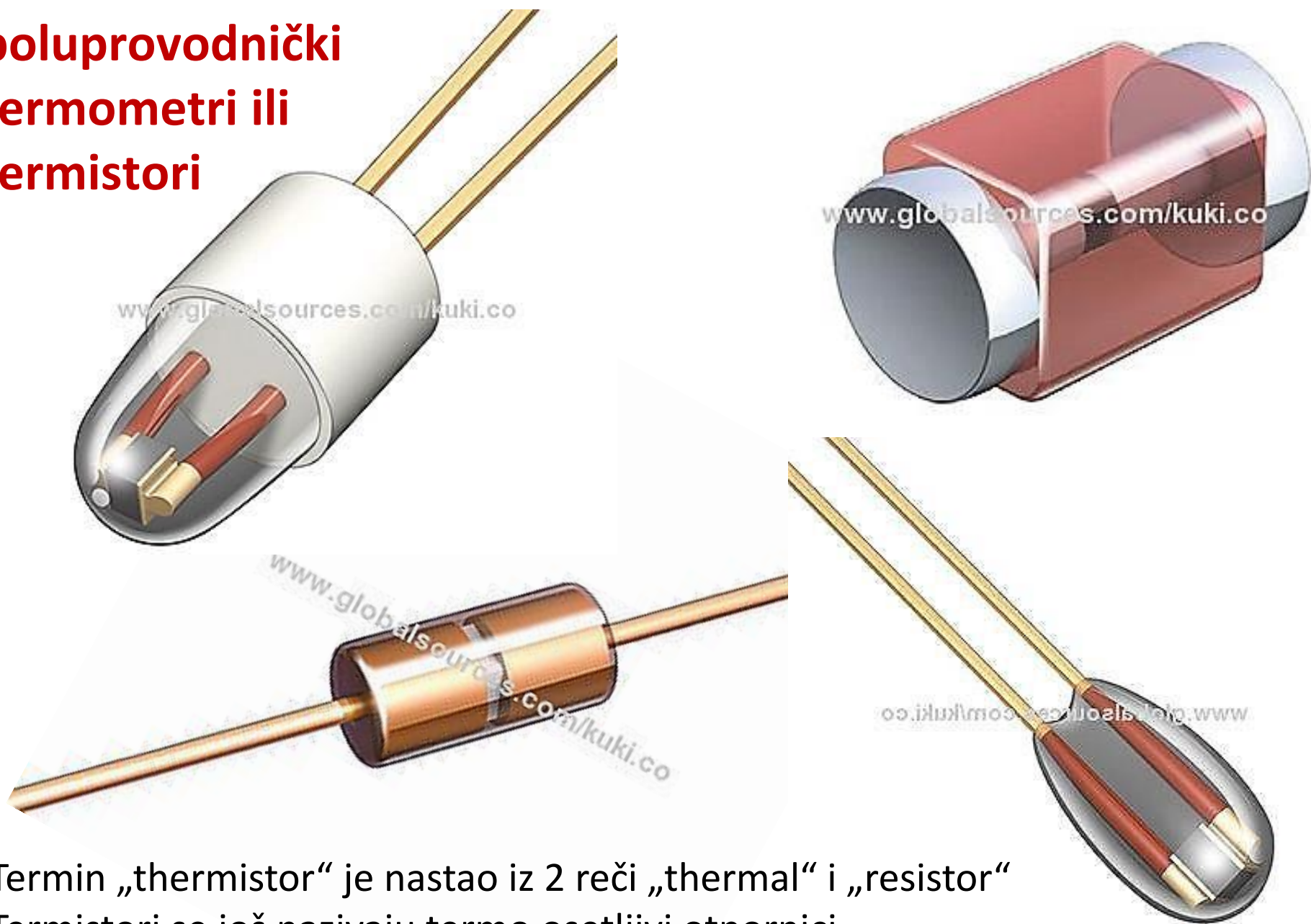


# poluprovodnički termometri ili termistori





# poluprovodnički termometri ili termistori

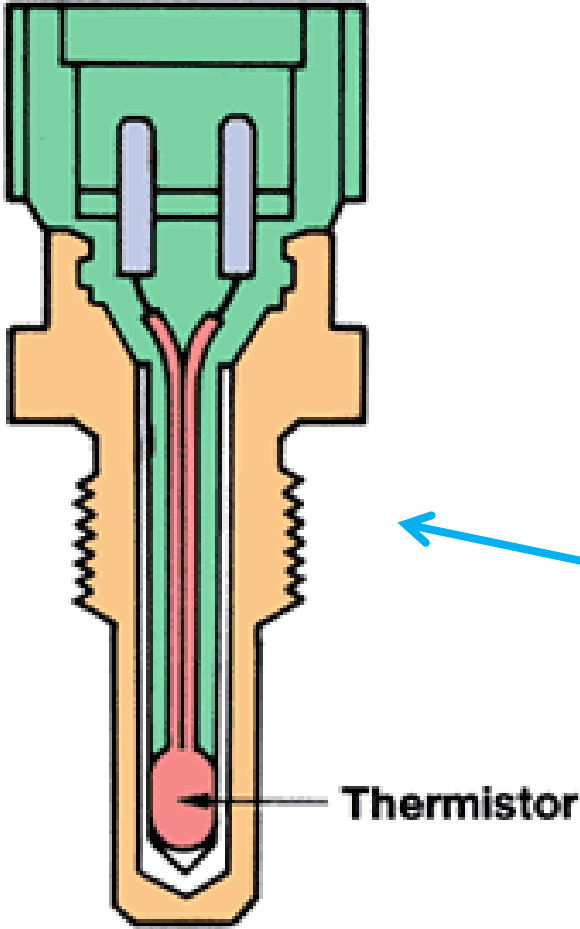


Termin „thermistor“ je nastao iz 2 reči „thermal“ i „resistor“  
Termistori se još nazivaju termo osetljivi otpornici.



## poluprovodnički termometri ili termistori

# poluprovodnički termometri ili termistori





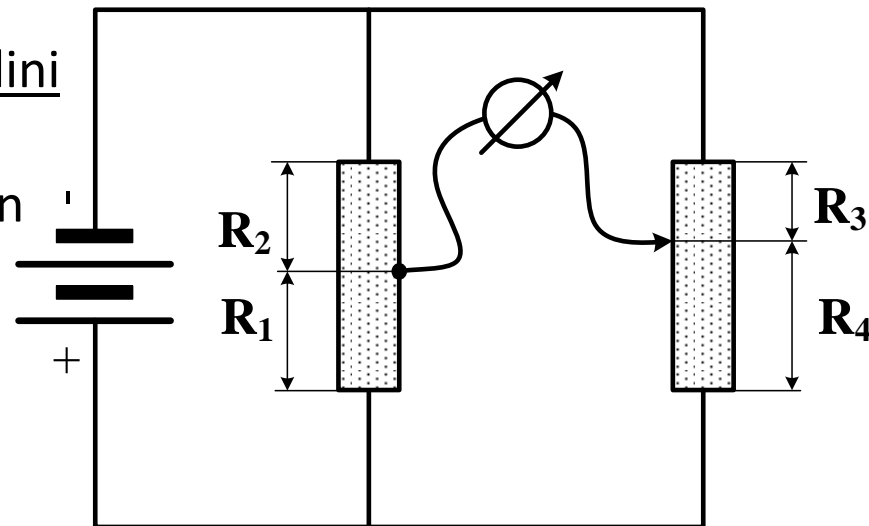
# Merni most

## KONSTRUKCIJA

To su dva paralelno spojena otpornika priključena na izvor napajanja. Po sredini su otpornici premošćeni spojnicom, odnosno **MOSTOM**, u koji je postavljen miliampermetar ili galvanometar .

Pomerajući klizač mosta po desnom otporniku može da se nađe položaj na kojem miliampermetar ne pokazuje struju. To će se dogoditi kada most spaja dve tačke istog potencijala, odnosno tačke istog napona.

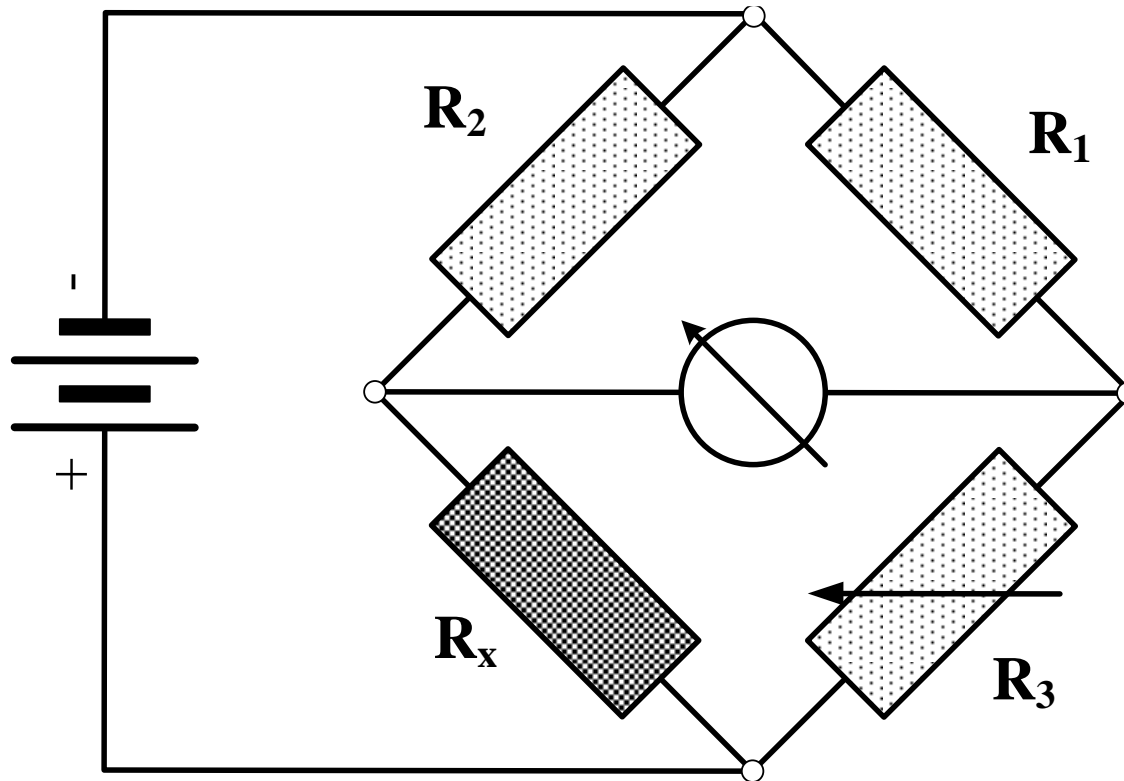
Most je postavljen tako da je struja u njemu nula i deli otpore u istom odnosu, što znači da je međusobni odnos vrednosti gornjih otpora jednak međusobnom odnosu vrednosti donjih otpora:  $R_1 : R_2 = R_3 : R_4$ .



*Merni most u principu čine dva paralelno vezana otpora priključena na izvor napajanja. Instrumentom u mostu se pomoću nulte struje traži tačka jednakog potencijala;*

# Merni most

*U praksi merni most ima tri otpora, od kojih je jedan promenljiv, a **MERNI OTPOR** se dodaje kao četvrti.*



*Razmotrićemo dva tipa mernih mostova:  
**Uravnoteženi i neuravnoteženi merni most***

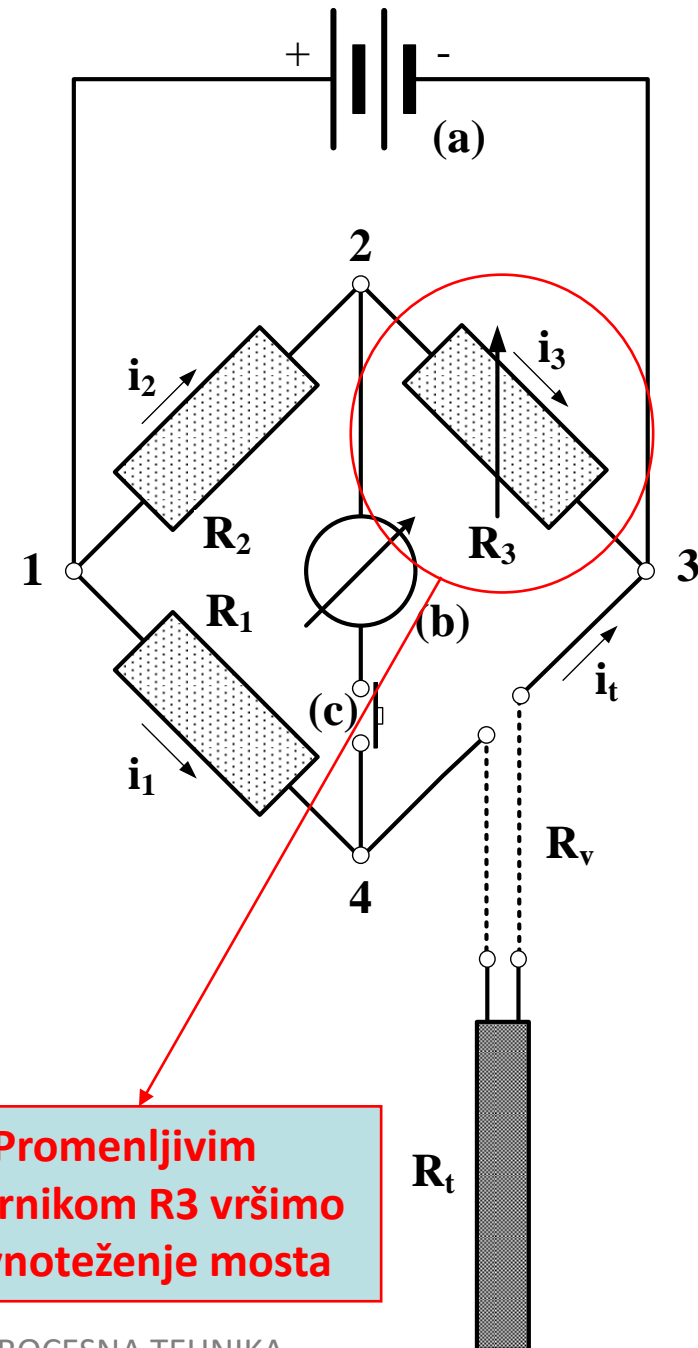
# Uravnoteženi merni most

## KONSTRUKCIJA

Dva kraka mosta imaju stalne i poznate električne otpore,  **$R_1$**  i  **$R_2$** . U trećem kraku nalazi se promenljivi graduisani električni otpor,  **$R_3$** , dok se u četvrtom kraku nalazi otpor elektrootpornog termometra i otpor spojnih vodova.

U jednu dijagonalu mosta uključen je izvor jednosmerne struje, dok je u drugu dijagonalu uključen nulti galvanometar (b) i prekidač (c).

***RUKOVANJE:*** Pri merenju temperature treba podesiti promenljivi električni otpor tako da preko nultog galvanometra **ne prolazi struja** (pri zatvorenom prekidaču).



# Uravnoteženi merni most

U **nultom položaju** napon u tačkama 2 i 4 je identičan. Za ovaj slučaj važi da je:

$$i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2 \quad \text{i} \quad i_t \cdot (R_t + R_v) = i_3 \cdot R_3$$

Odavde sledi da je:

$$\frac{i_1 \cdot R_1}{i_t \cdot (R_t + R_v)} = \frac{i_2 \cdot R_2}{i_3 \cdot R_3}$$

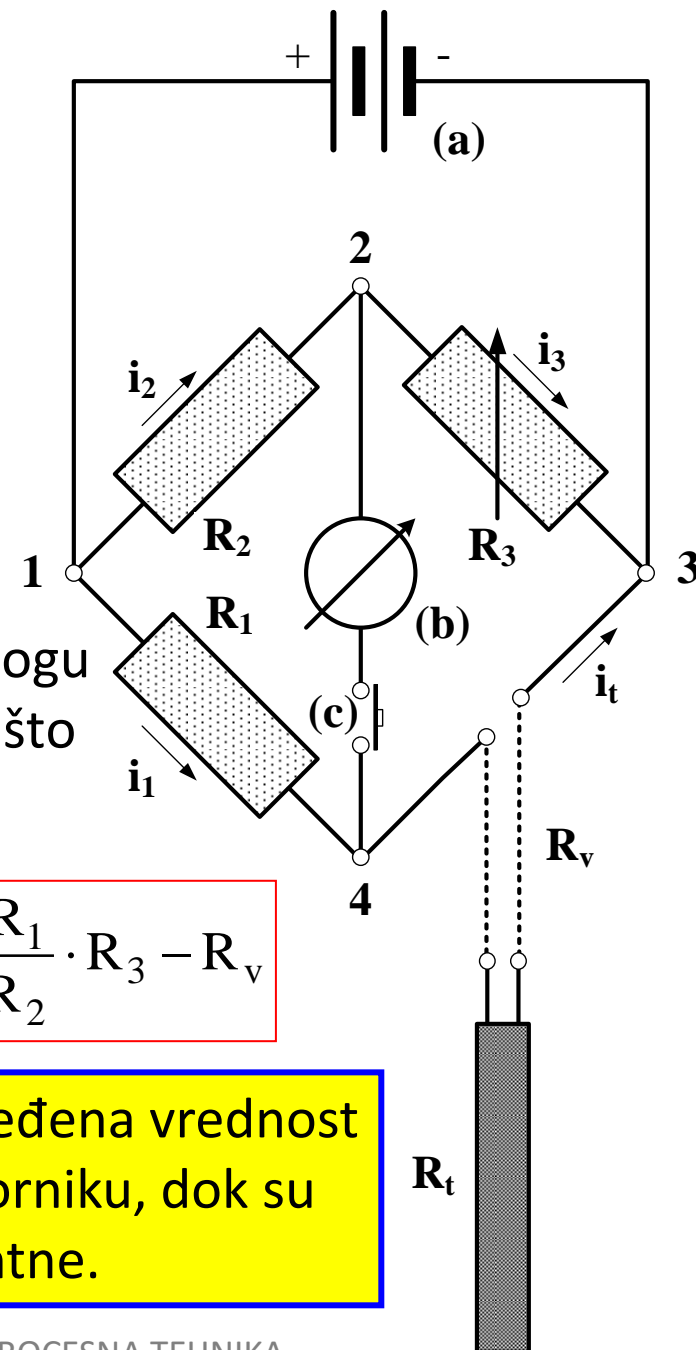
Pošto kroz dijagonalu 2-4 ne prolazi struja, mogu da se postave još dve jednačine:  $i_2 = i_3$ ,  $i_1 = i_t$ , što uprošćava poslednju jednačinu, tako da je:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot (R_t + R_v)$$

Iz ove jednačine nepoznati otpor  $R_t$  je:

$$R_t = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3 - R_v$$

što znači da svakoj vrednosti **Rt** odgovara određena vrednost **R3**, tj. vrednost očitana na promenljivom otporniku, dok su vrednosti otpora  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_v$  poznate i konstantne.



# Uravnoteženi merni most

**OTPOR SPOJNIH VODOVA** obično se određuje pri sobnoj temperaturi od 20 °C.

U uslovima merenja ova temperatura može znatno da se razlikuje od temperature pri kojoj je taj otpor bio određen. **U takvim slučajevima potrebno je obaviti korekciju otpora spojnih vodova**, prema jednačini:

$$R'_v = R_v \cdot [1 + \alpha \cdot (t'_v - t_v)] \quad [\Omega]$$

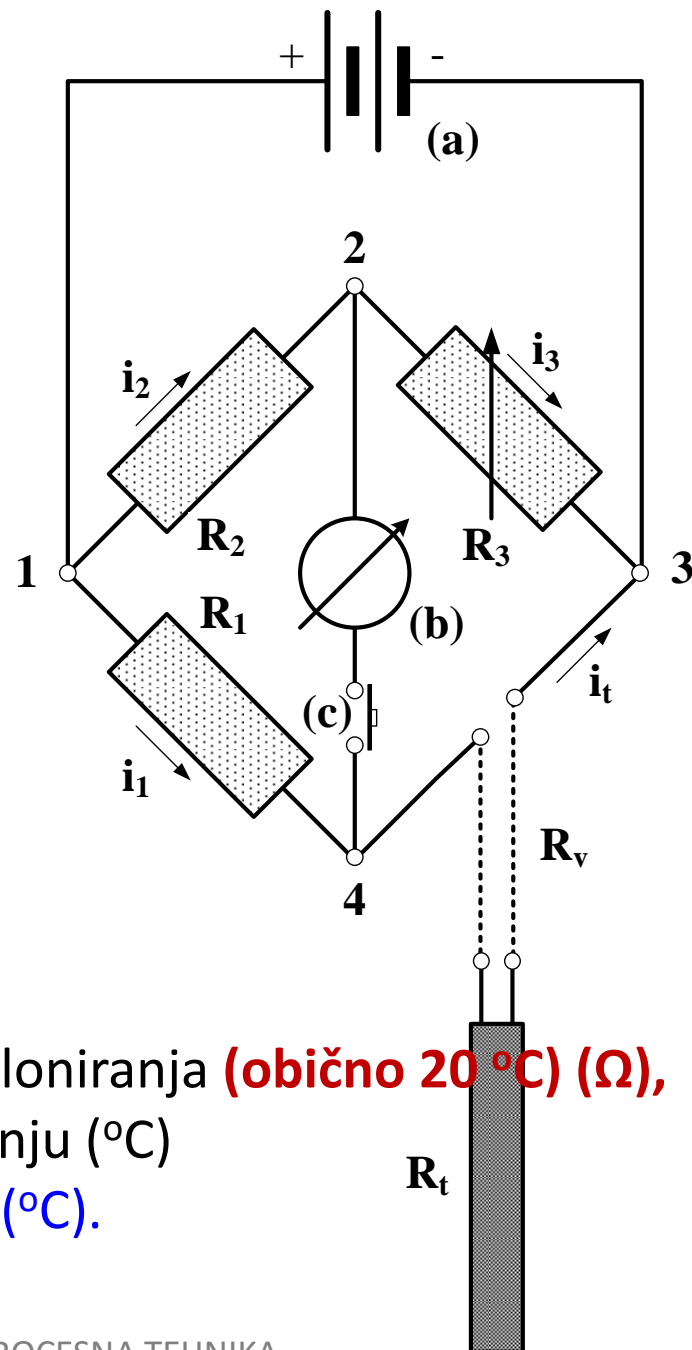
gde je:

$R'_v$  - otpor spojnih vodova pri merenju ( $\Omega$ ),

$R_v$  - otpor spojnih vodova pri temperaturi etaloniranja (**obično 20 °C**) ( $\Omega$ ),

$t_v$  - temperatura spojnih vodova pri etaloniranju (°C)

$t'_v$  - temperatura spojnih vodova pri merenju (°C).



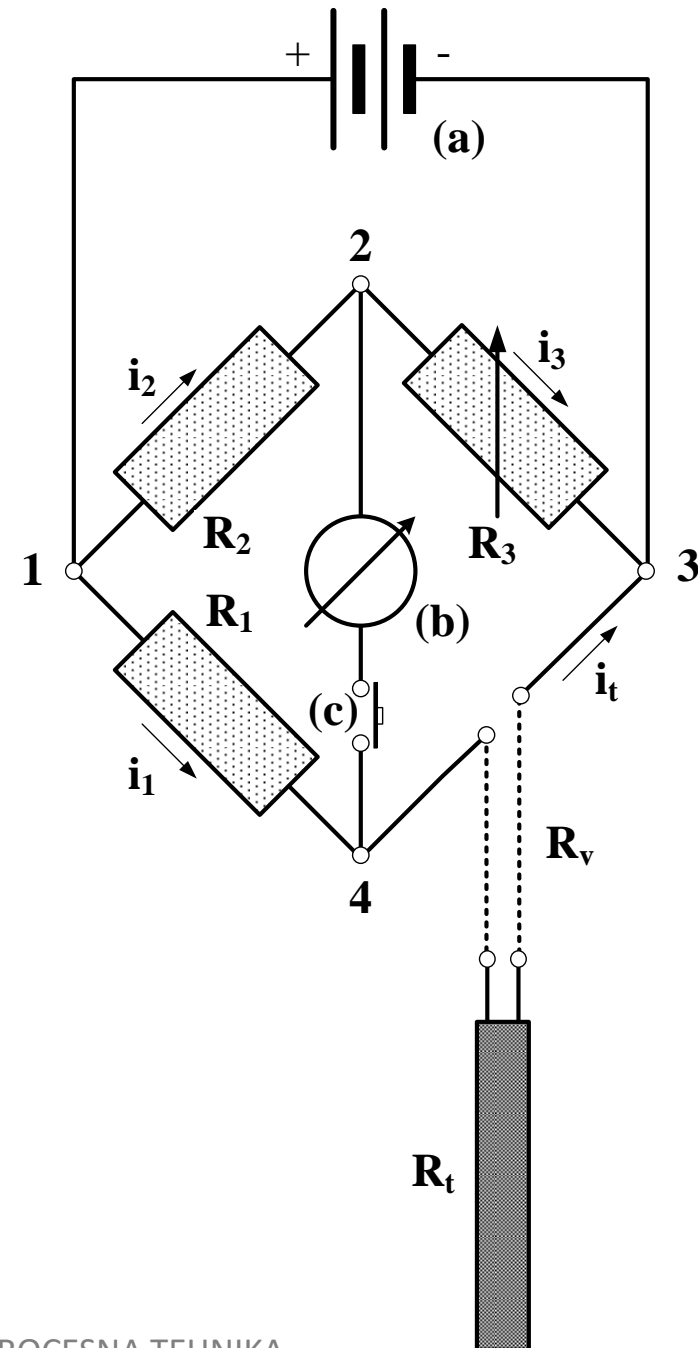


# Uravnoteženi merni most

**TAČNOST:** Metoda merenja temperatura pomoću uravnoteženog mernog mosta obezbeđuje **visoku tačnost merenja**.

**OSNOVNA PREDNOST** ovog metoda jeste da promena napona električnog izvora ne utiče na rezultate merenja.

**OSTALE PREDNOSTI:** Uravnoteženi merni mostovi mogu biti laboratorijski i prenosni (kontrolni), koji imaju visoku klasu tačnosti, rade automatski i mogu biti opremljeni, osim pokaznim instrumentom, pisačem ...



# Neuravnoteženi merni most

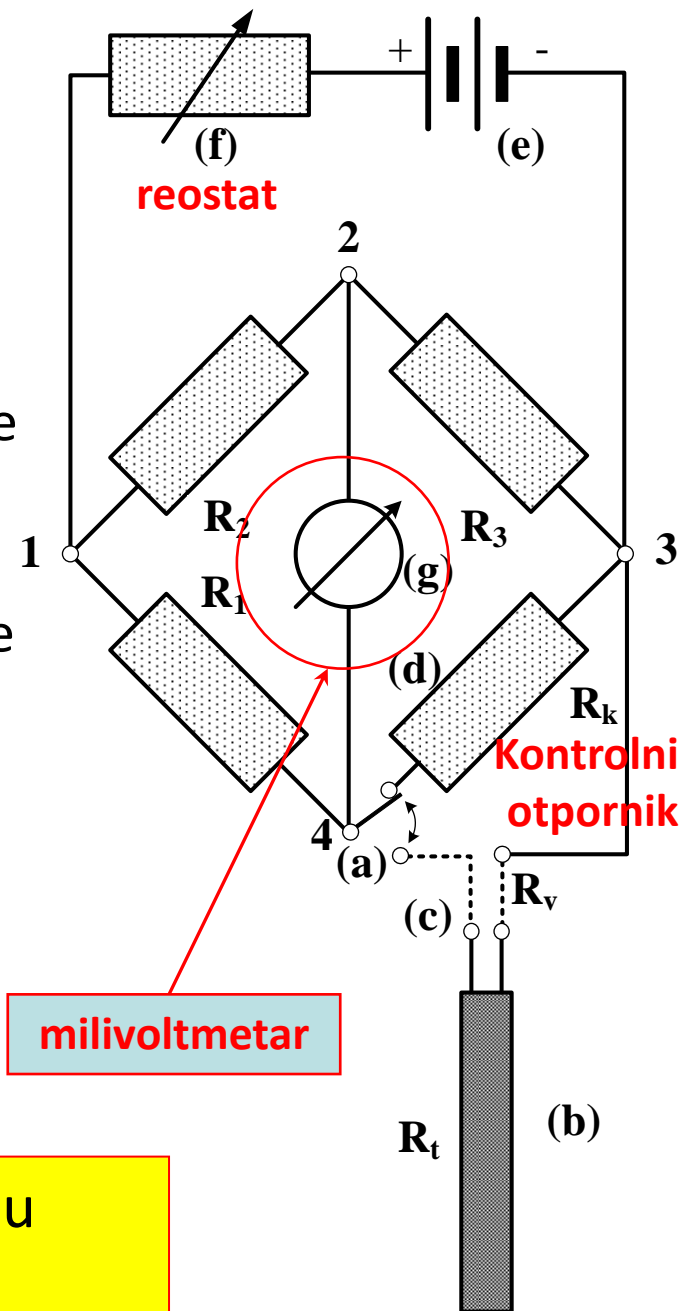
Ovaj most se, s obzirom na manju tačnost u odnosu na uravnoteženi most, primenjuje uglavnom za **tehnička merenja**.

Pri porastu temperature merene sredine narušiće se ravnoteža mosta, zbog povećanja električnog otpora  $R_t$ , što će dovesti do pojave struje u dijagonali 4-2 i, shodno tome, do otklona kazaljke milivoltmetra.

**Ova struja, a prema tome i otklon kazaljke, biće toliko veći što je viša temperatura termometra.**

Svi otpori, su konstantni, osim otpora elektrootpornog termometra  $R_t$ , koji zavisi od temperature merene sredine.

► skala milivoltmetra može biti etalonirana u milivoltima ili direktno u  $^{\circ}\text{C}$ .



# TERMOELEMENTI (termoparovi)

**PRINCIP RADA** Primena termoelemenata zasnovana je na **efektu Zibeka**, koji kaže da se u svakom provodniku pri različitim temperaturama na njegovim krajevima javlja razlika električnog potencijala, koju nazivamo termoelektromotornom silom “TEMS”

$$E = \int_T^{T_2} \alpha \cdot dT$$

gde je  $\alpha$  - koeficijent termoelektromotorne sile.

Koeficijent TEMS je **INDIVIDUALNO SVOJSTVO MATERIJALA.**

Ova veličina znatno zavisi od čistoće materijala i njegove temperature.  
*Postoji samo mala grupa provodnika, strogo kontrolisanog hemijskog sastava, za koju su koeficijenti termo-elektromotorne sile dovoljno veliki za praktičnu upotrebu.*

*MEHANIZAM POJAVE “TEMS” bazira se na činjenici da se u međumolekularnom prostoru električnih provodnika pojavljuju slobodni elektroni, čiji broj zavisi od vrste provodnika i njegove temperature.*

# TERMOELEMENTI (termoparovi)

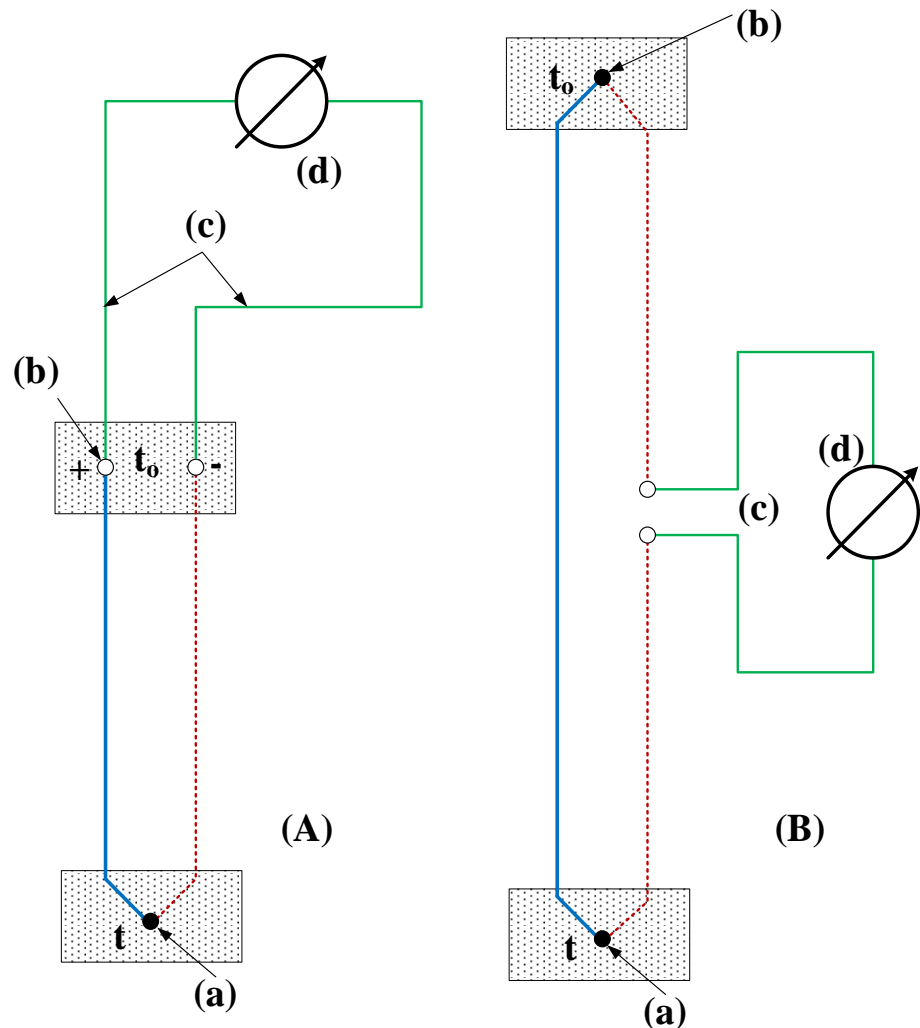
## KONSTRUKCIJA

Termoelementi imaju svoj:

- 1. radni (topli) kraj (a)** koji ima temperaturu fluida i
- 2. slobodni (hladni) kraj (b)**, koji ima temperaturu okoline.

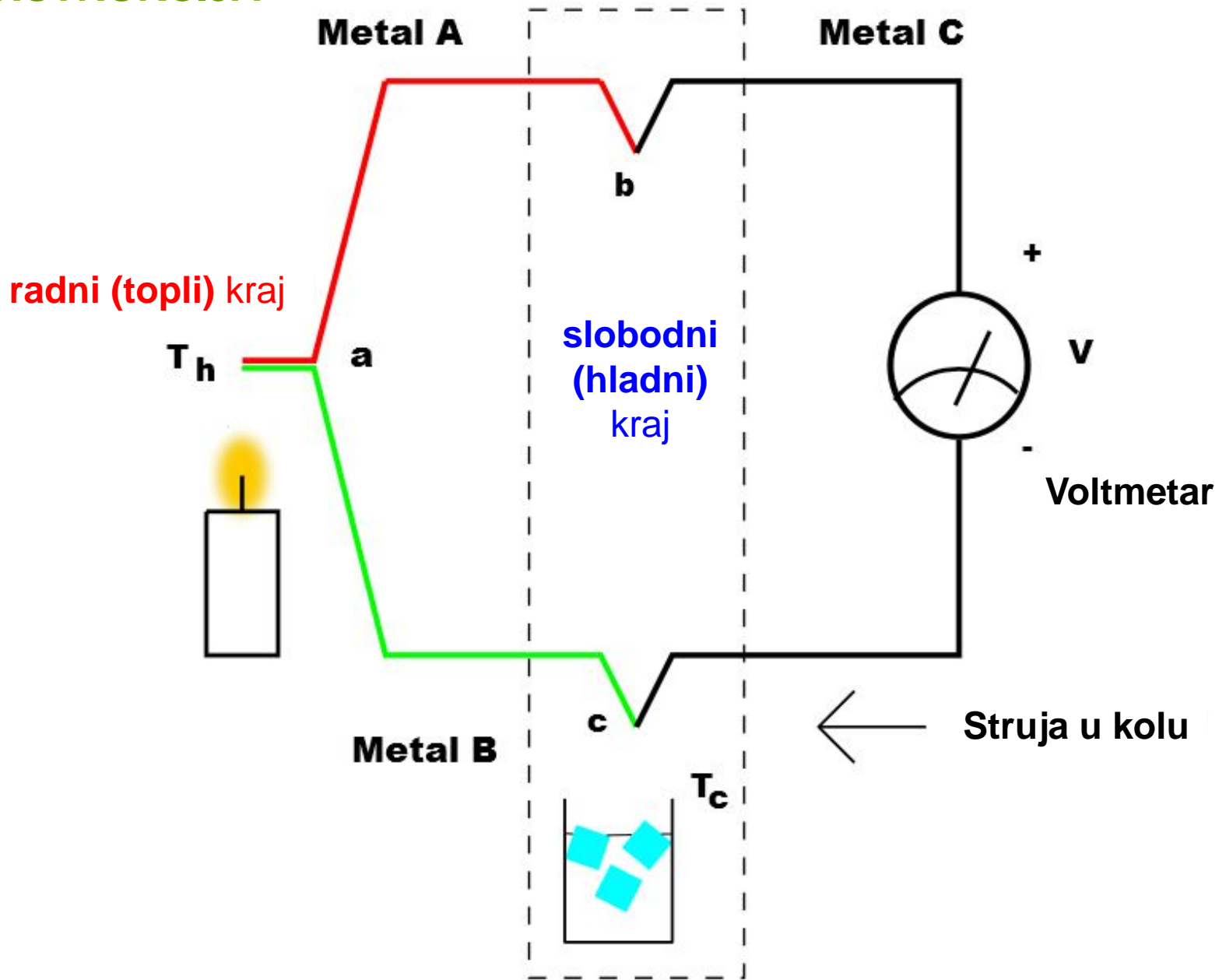
Termoparovi mogu da se spoje sa mernim instrumentom (d) pomoću **spojnih vodova (c)**.

Debljina žice termoparova od plemenitih metala obično iznosi 0,1; 0,2; 0,35 i 0,5 mm, dok su žice ostalih termoparova deblje i iznose 0,5; 1; 1,38; 2 i 3 mm.

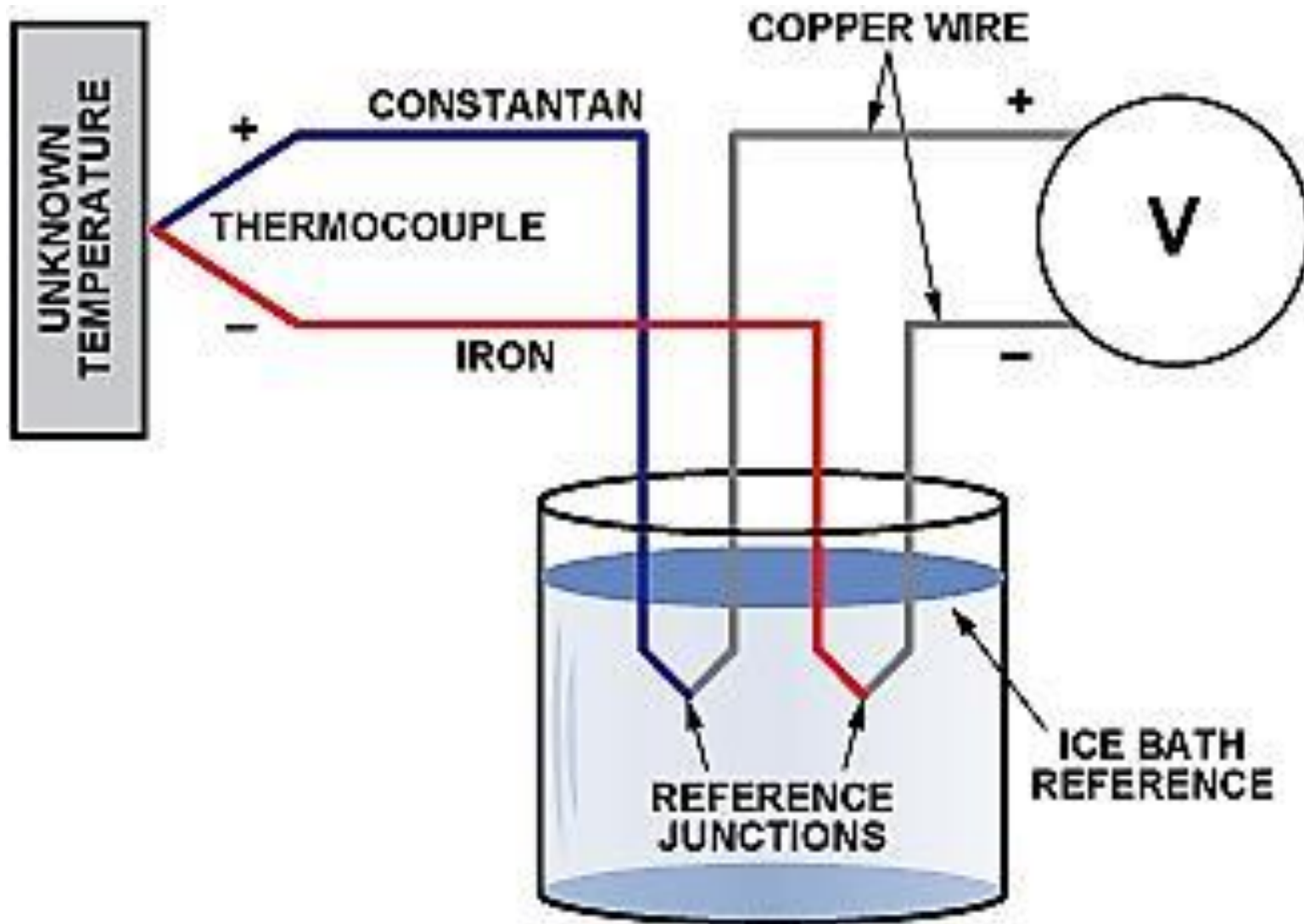


*Termoelementi (termoparovi)*

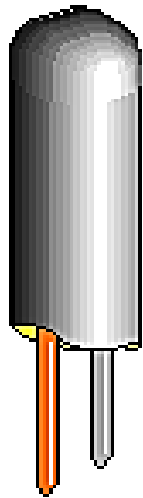
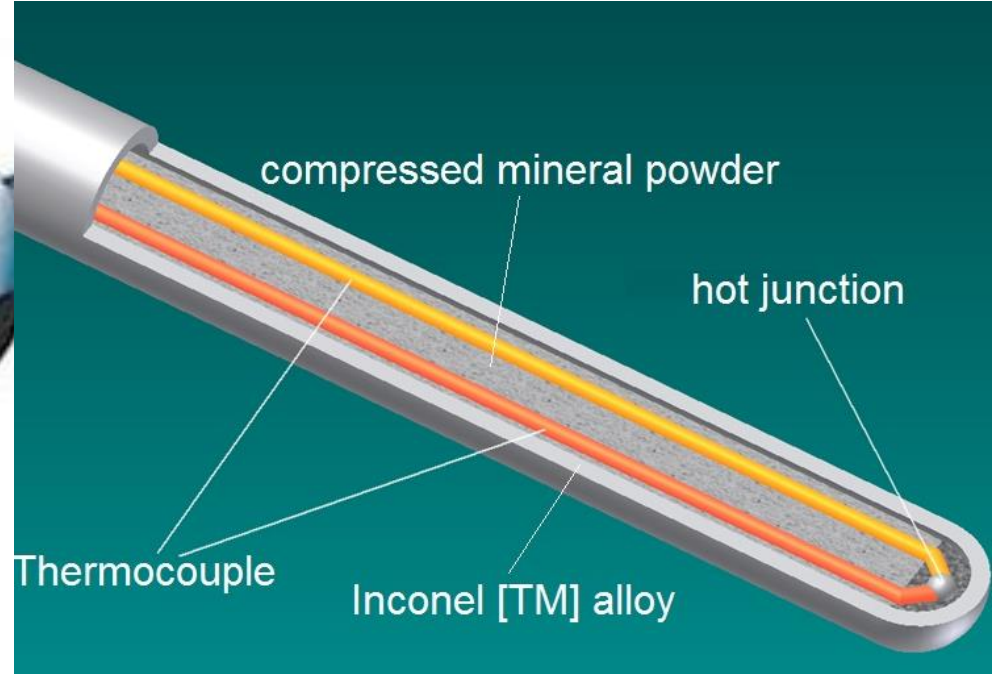
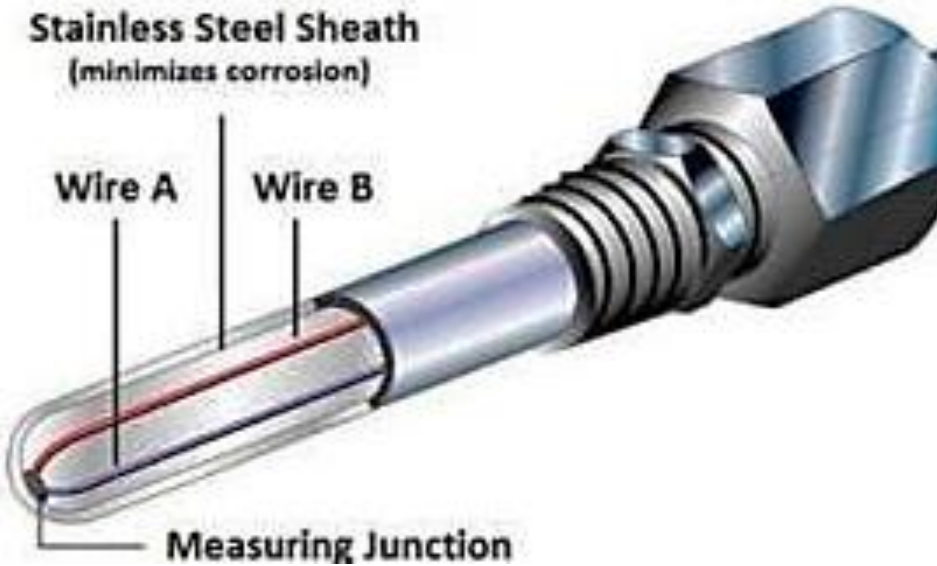
# KONSTRUKCIJA



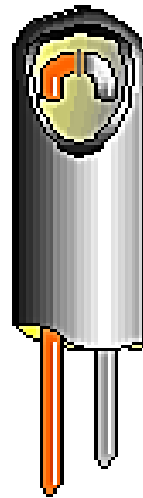
# TERMOELEMENTI (termoparovi)



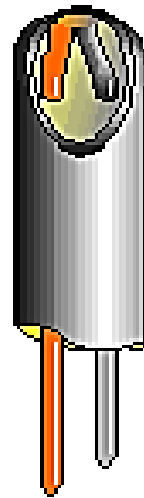
# KONSTRUKCIJA



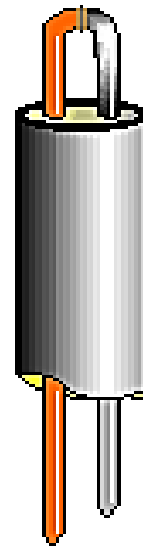
Sealed Sheath



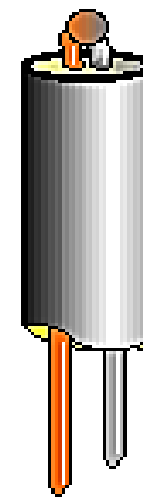
Sealed and Isolated from Sheath



Sealed and Grounded to Sheath



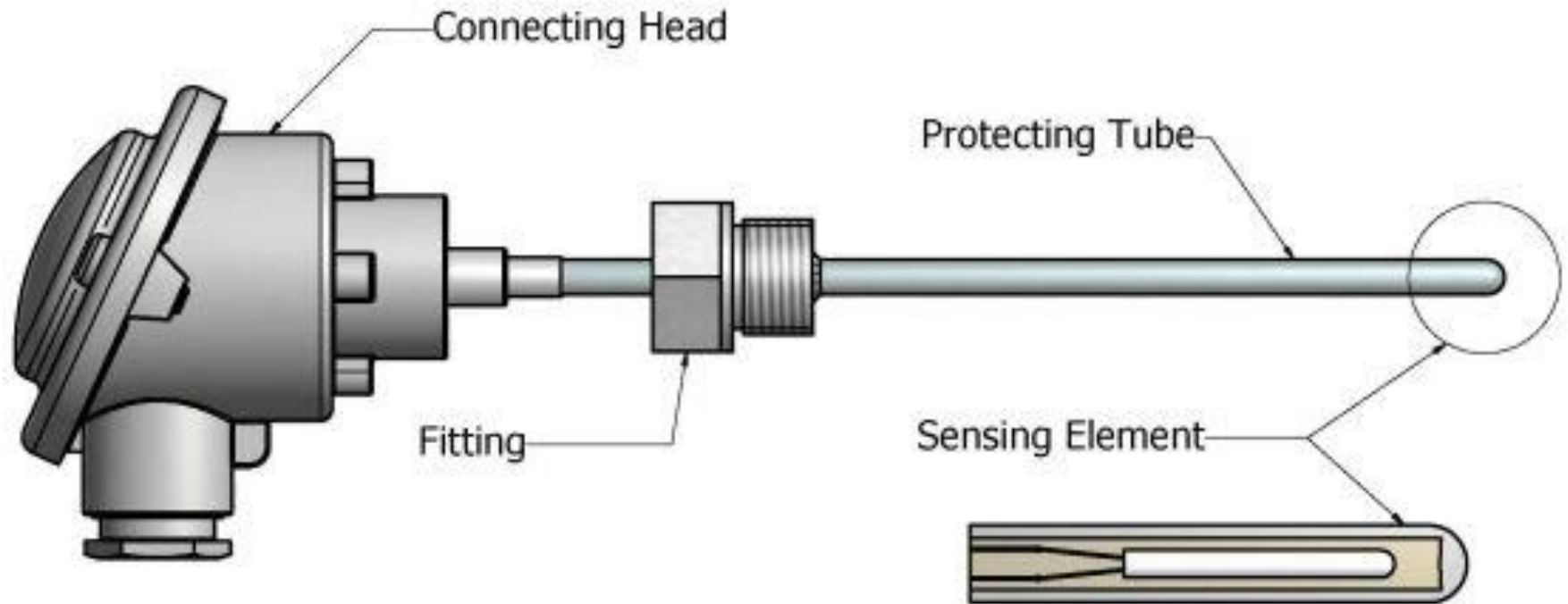
Exposed Fast Response



Exposed Bead

# TERMOELEMENTI (termoparovi)

---



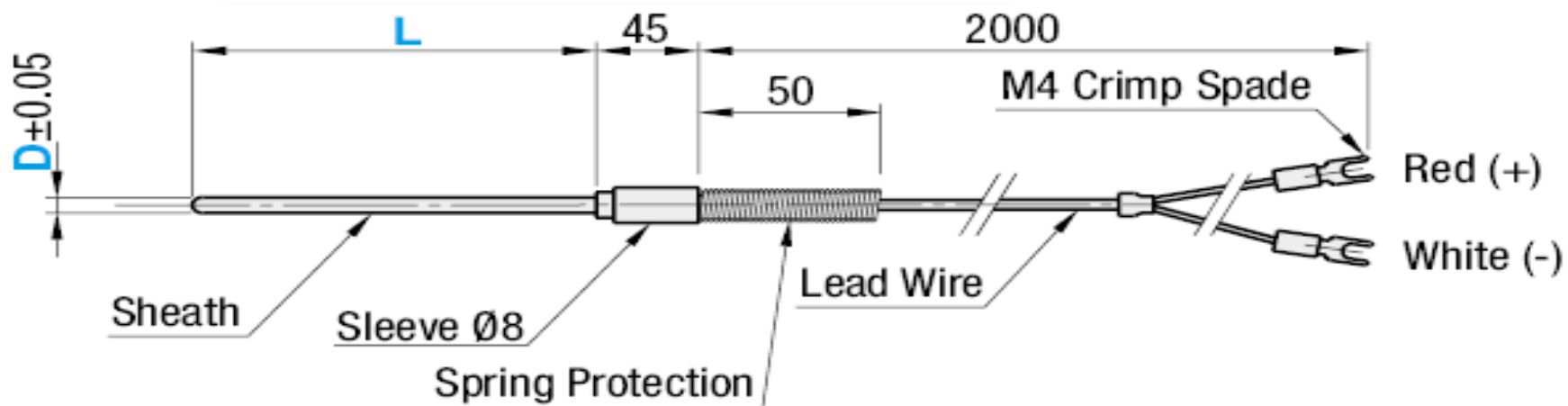
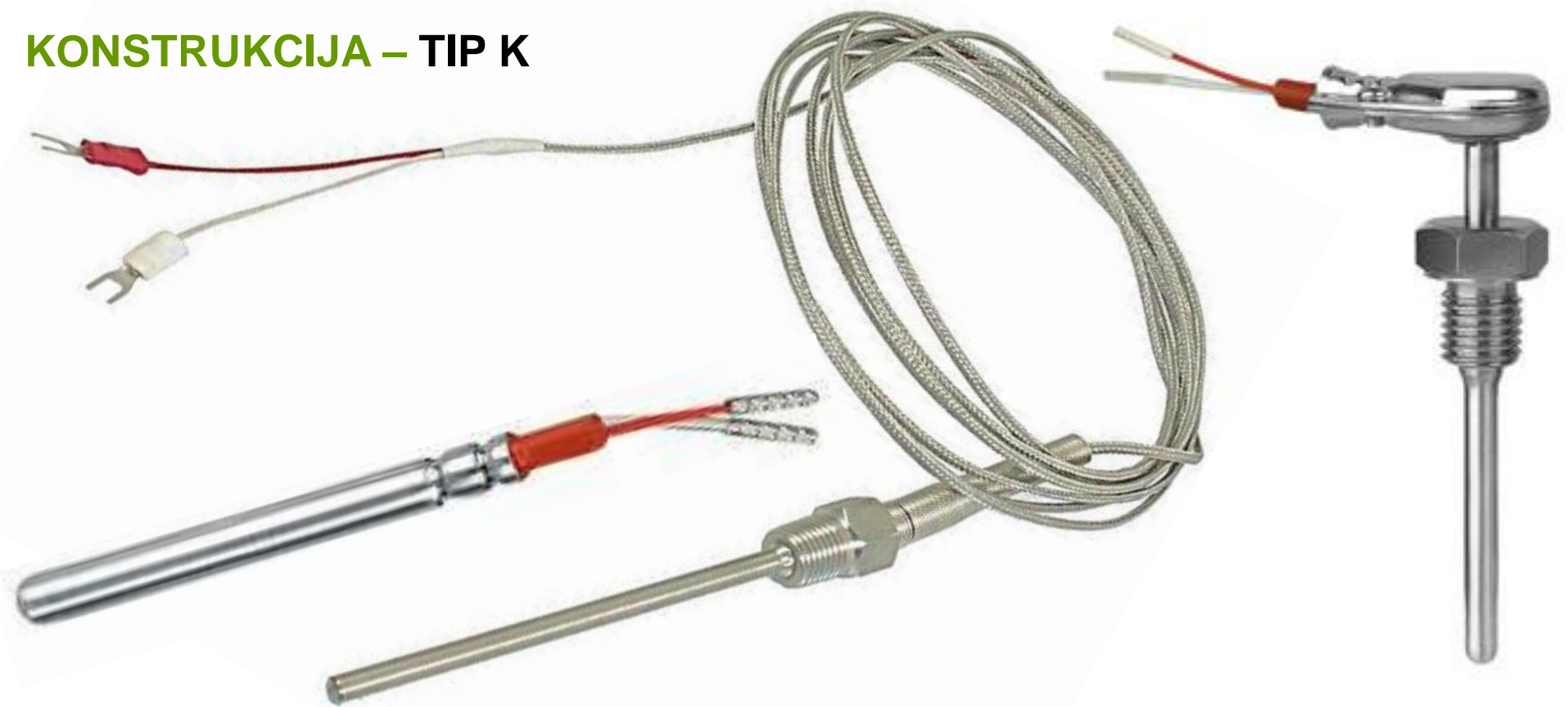


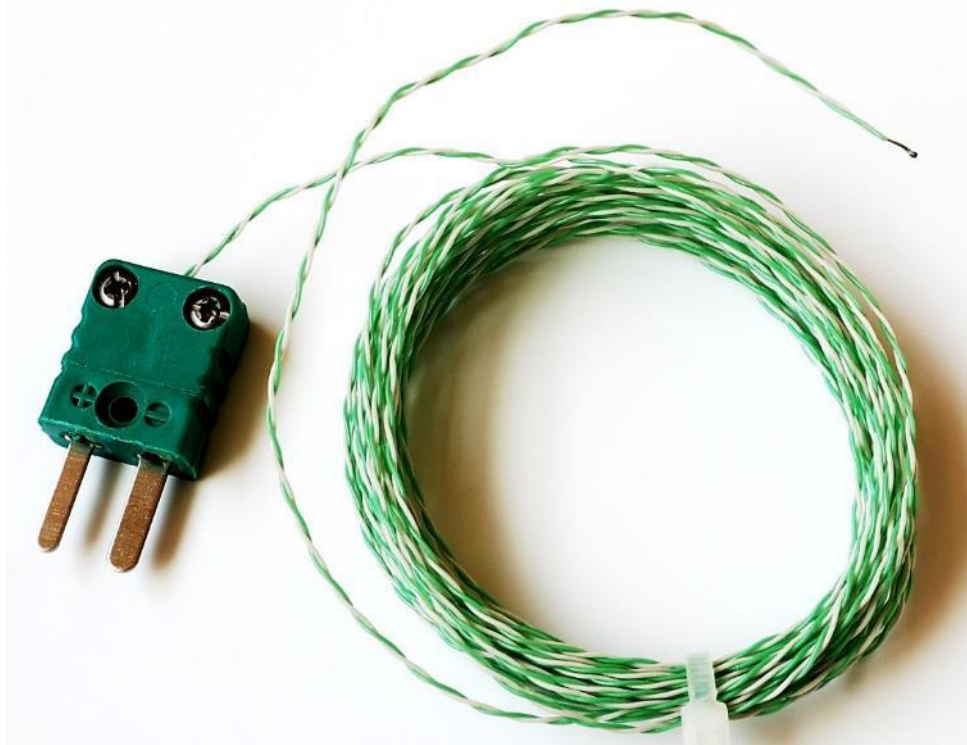
# TERMOELEMENTI (termoparovi)

---



# KONSTRUKCIJA – TIP K







# TERMOELEMENTI (termoparovi)

---

**MATERIJALI** Izbor materijala za izradu termoparova od velike je važnosti za ispravno merenje, tj. za postizanje što veće tačnosti merenja.

► Poželjna su sledeća svojstva materijala termoelemenata:

- ❖ što je moguće veća termoelektromotorna sila za određenu temperatursku razliku,
- ❖ električna svojstva ne treba da zavise od eventualne promene unutrašnje strukture materijala, kao i zaprljanja spoljne površine,
- ❖ dobra električna vodljivost i mali temperaturski koeficijent električnog otpora, koji pokazuje relativnu promenu otpora provodnika pri promeni temperature za 1 °C,
- ❖ linearna zavisnost termoelektromotorne sile od temperature
- ❖ što homogeniji sastav materijala, kako se ne bi, usled različite strukture, odnosno sastava materijala, po dužini provodnika stvarale parazitske termoelektromotorne sile.

# TERMOELEMENTI (termoparovi)

---

## MATERIJALI (oznaka, sastav, opseg temperatura)

► Najčešće primenjivani termoelementi su:

**Tip E** (10% nikl + hrom) (+) – (konstantan) (-) / -270 do 1000°C

**Tip J** (gvožđe) (+) – (konstantan) (-) / -210 do 1200°C



















































**Tip K** (10% nikl + hrom) (+) – (5% nikl + aluminijum) (-) / -270 do 1370°C

**Tip R** (13% platina + rodijum) (+) – (platina) (-) / -50 do 1768°C

**Tip S** (10% platina + rodijum) (+) – (platina) (-) / -50 do 1768°C

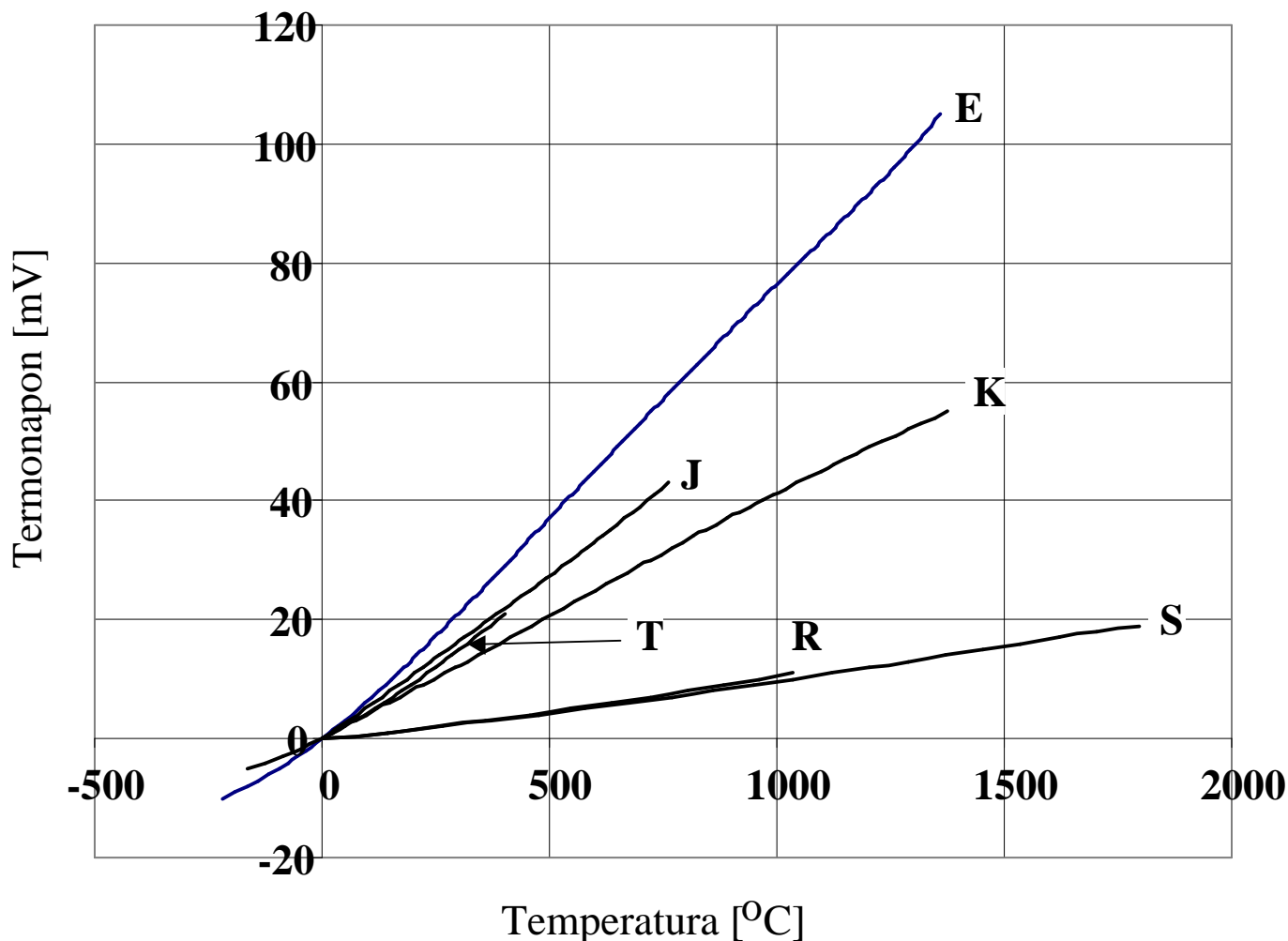
**Tip T** (bakar) (+) – (konstantan) (-) / -270 do 400°C

Tipovi termoelemenata, kodiranje bojama

T/C Type	Conductor		T/C Junction Continuous Temperature range °C						
	+	-		INTERNATIONAL IEC 584-3:1989 BS 4937 Pt30:1993	(FORMER) UNITED KINGDOM BS 1843:1952	FRANCE NFE-18001	GERMANY DIN43714	JAPAN JIS C 1610:1981	USA ANSI MC 96.1
<b>E</b>	Ni-CR	Cu-Ni Constantan	0 to +800						
<b>J</b>	Fe	Cu-Ni Constantan	0 to +750						
<b>K</b>	Ni-Cr	Ni-Al	0 to +1100						
<b>N</b>	Ni-Cr-Si Nicrosil	Ni-Si-Mg Nisil	0 to +1100						
<b>R</b>	Pt-13Rh	Pt	0 to +1600						
<b>S</b>	Pt-10Rh	Pt	0 to +1600						
<b>T</b>	Cu	Cu-Ni Constantan	-185 to +300						
<b>B</b>	Pt-30Rh	Pt-6Rh	+200 to +1700						

# TERMOELEMENTI (termoparovi)

- ▶ zavisnost napona od temperature za gore pobrojane termoelemente





# TERMOELEMENTI (termoparovi)

- Zavisnost temperature od napona je data sledećim izrazom:

$$t = \sum_{i=0}^n a_i \times U^i$$

gde je  $t$  - temperatura u [°C], a termonapon  $u$  [V].

Koeficijenti polinoma za analitičko izračunavanje temperature za poznati termonapon (referentna temperatura je 0°C) su sledeći:

	<b>Tip E</b>	<b>Tip J</b>	<b>Tip K</b>	<b>Tip R</b>	<b>Tip S</b>	<b>Tip T</b>
	-100 do 1000 °C	0 do 760 °C	0 do 1370 °C	0 do 1000 °C	0 do 1750 °C	-160 do 400 °C
	± 0.5 °C	± 0.1 °C	± 0.7 °C	± 0.5 °C	± 1 °C	± 0.5 °C
A <sub>0</sub>	1.04967248E-01	-4.88682520E-02	2.26584602E-01	2.63632917E-01	9.27763167E-01	1.00860910E-01
A <sub>1</sub>	1.71894528E+04	1.98731450E+04	2.41521090E+04	1.79075491E+05	1.69526515E+05	2.57279437E+04
A <sub>2</sub>	-2.82639085E+05	-2.18614535E+05	6.72334248E+04	-4.88403414E+07	-3.15683639E+07	-7.67345830E+05
A <sub>3</sub>	1.26953395E+07	1.15691998E+07	2.21034068E+06	1.90002000E+10	8.99073066E+09	7.80255958E+07
A <sub>4</sub>	-4.48703085E+08	-2.64917531E+08	-8.60963915E+08	-4.82704000E+12	-1.63565000E+12	-9.24748659E+09
A <sub>5</sub>	1.10866000E+10	2.01844131E+09	4.83506000E+10	7.62091000E+14	1.88027000E+14	6.97688000E+11
A <sub>6</sub>	-1.76807000E+11		-1.18452000E+12	-7.20026000E+16	-1.37241000E+16	-2.66192000E+13
A <sub>7</sub>	1.71842000E+12		1.38690000E+13	3.71496000E+18	6.17501000E+17	3.94078000E+14
A <sub>8</sub>	-9.19278000E+12		-6.33708000E+13	-8.03104000E+19	-1.56105000E+19	
A <sub>9</sub>	2.06132000E+13				1.69535000E+20	

# TERMEOELEMENTI

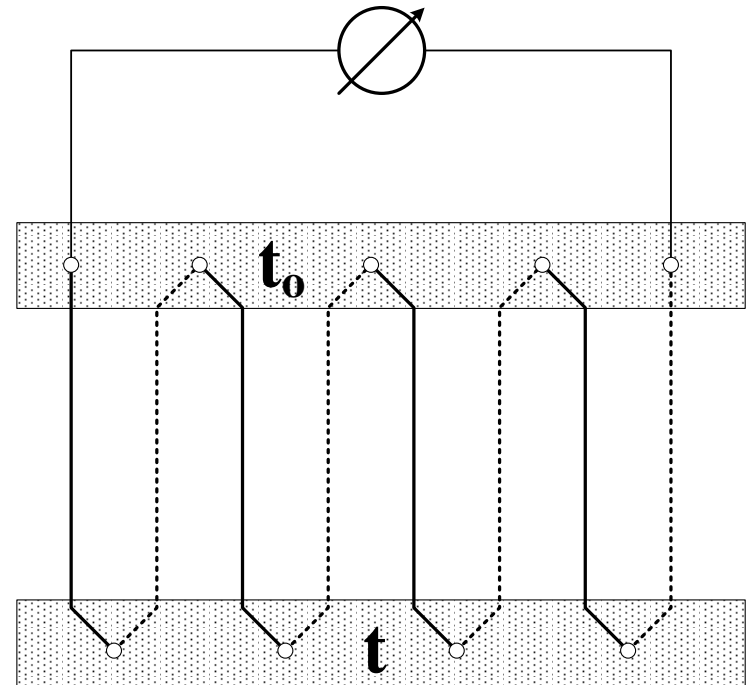
## TERMOBATERIJSKI SPOJ

Spajanje termoelemenata je moguće izvesti na više načina, sve u zavisnosti od svrhe merenja.

Jedan način je spoj termoelementa u **termobateriju**, koja se primenjuje pri tačnim merenjima nižih temperatura.

Ova veza predstavlja niz u seriji vezanih termoelemenata sa toplim i hladnim krajevima, koji se nalaze u zonama konstantnih temperatura.

► **Prednost termobaterije** je što termoelektromotorna sila raste proporcionalno sa brojem uključenih termoelemenata, što povećava tačnost očitavanja temperature.



# TERMOELEMENTI

---

## TAČNOST

Tačna merenja temperature termoelementima je moguća samo u slučaju kada su slobodni, tj. hladni krajevi termoelemenata, **NA KONSTANTNOJ I POZNATOJ TEMPERATURI.**

Održavanje konstantne temperature hladnih krajeva termoparova se pri laboratorijskim merenjima, obično se obavlja **termostatom.**

→ *provodnici hladnih krajeva se nalaze u epruvetama koje su uronjene u destilisanu vodu u kojoj se nalazi led destilovane vode.*

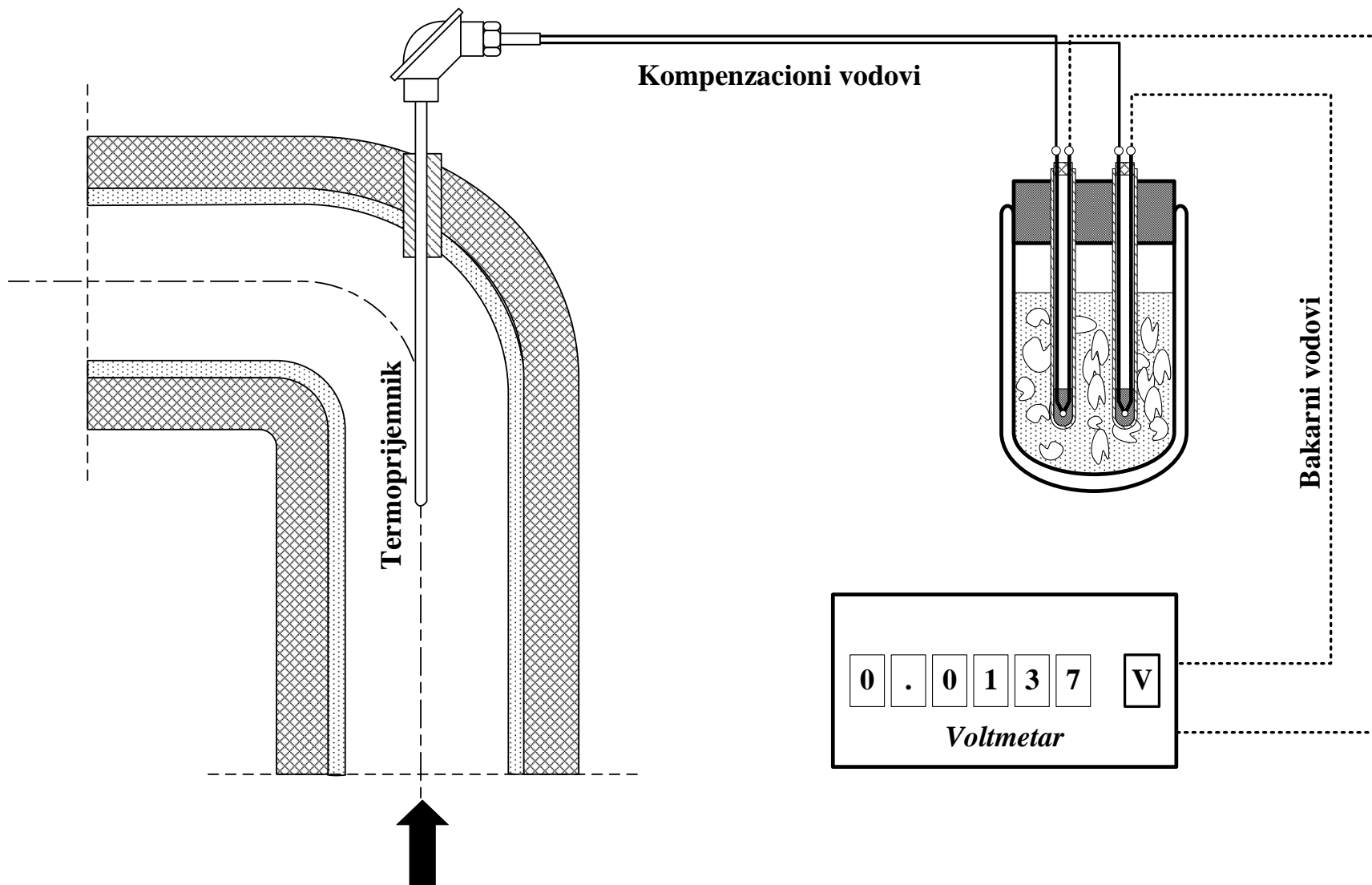
---

Temperature u glavi termopara su obično prilično visoke, pa se udaljšavanje hladnih krajeva od mesta merenja mora obaviti pomoću tzv. **kompensacionih vodova** koji su izrađeni od istih materijala, kao i termoparovi.

→ To je neophodno zato da ne bi došlo do stvaranja **parazitnih termoelektromotornih sila**, što bi dovelo do netačnih rezultata.

# TERMOELEMENTI

## Šema termoelementa sa termostatiranjem hladnih krajeva termopara



# TERMEOELEMENTI

---

## TAČNOST

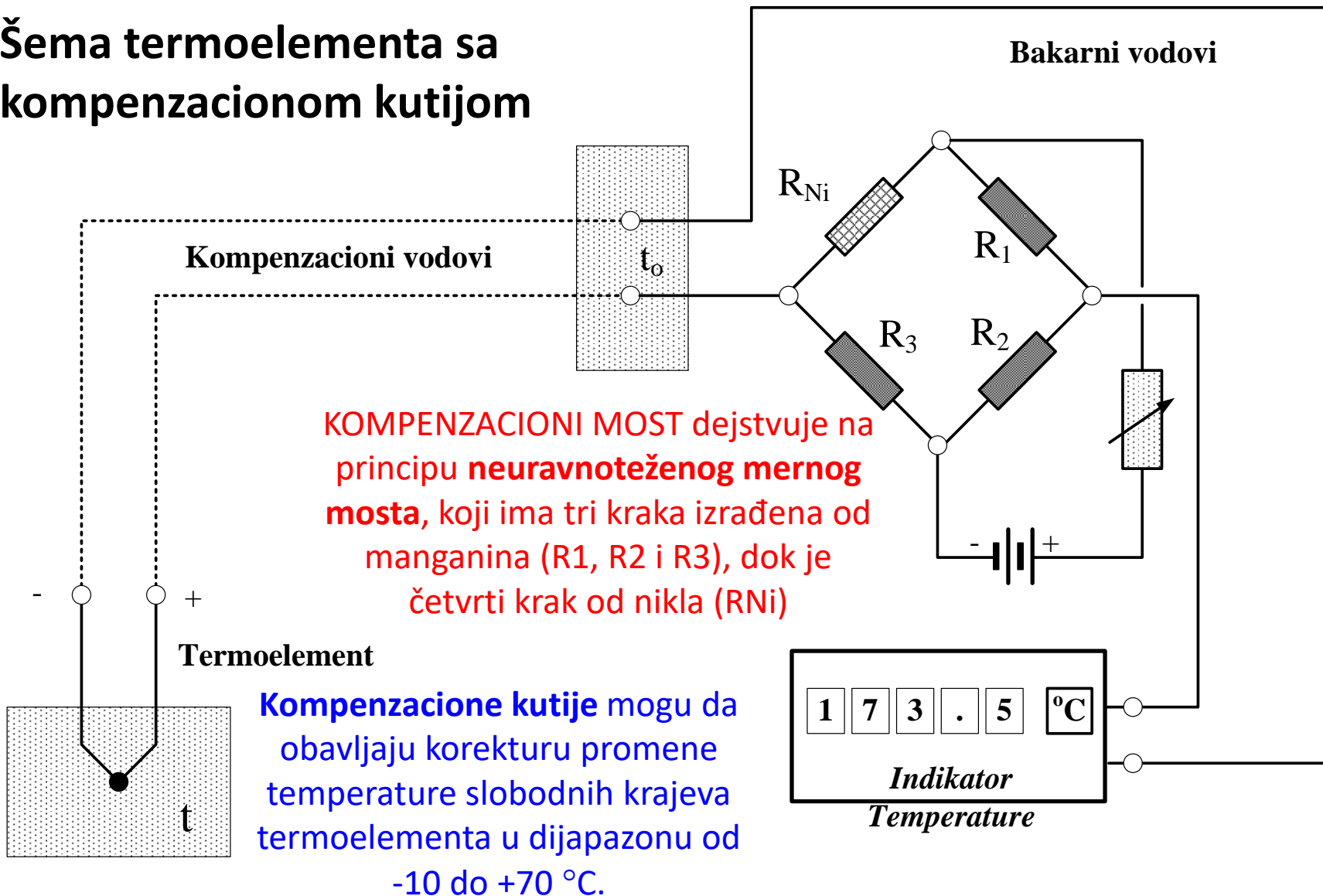
- A. Kod manje tačnih merenja može se umesto termostata usvojiti i **masivna metalna kutija sa toplotnom izolacijom**, snabdevena živinim termometrom, koja ima dva dovoda za uvođenje hladnih spojeva.

Kutija, zbog svoje velike mase, ima znatnu toplotnu inerciju, što obezbeđuje stalnu temperaturu hladnih krajeva, odnosno znatno ublažava kolebanje temperature okolne sredine.

- B. Za korekturu promene temperature slobodnih krajeva termoelementa, pri skoro svim tehničkim merenjima upotrebljavaju se tzv. **kompensacione kutije**.

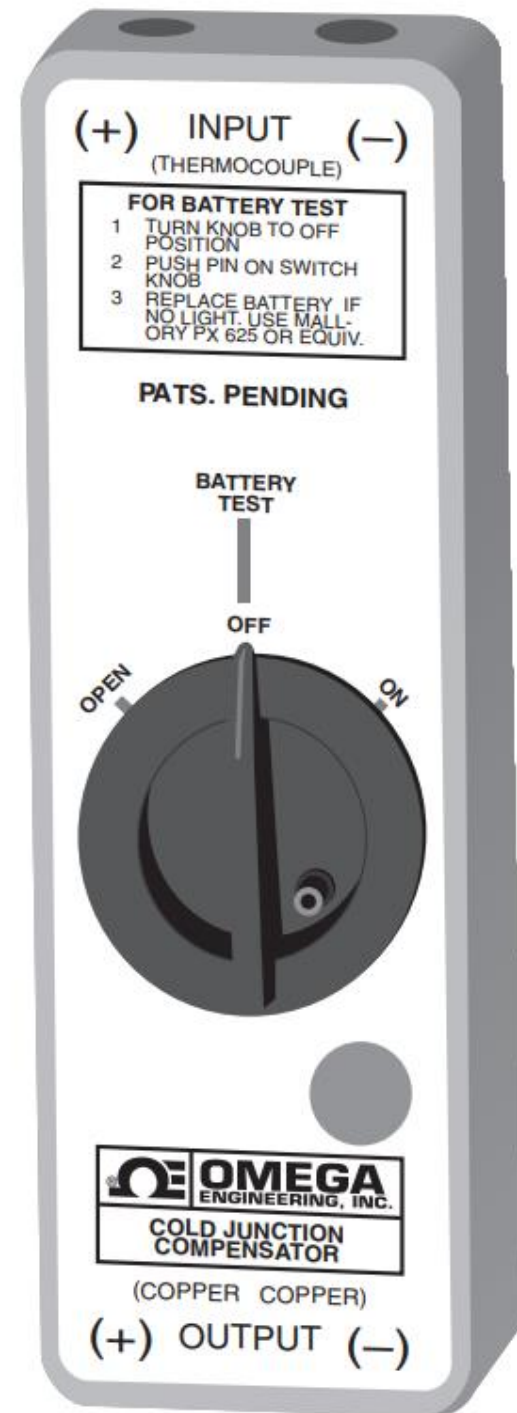
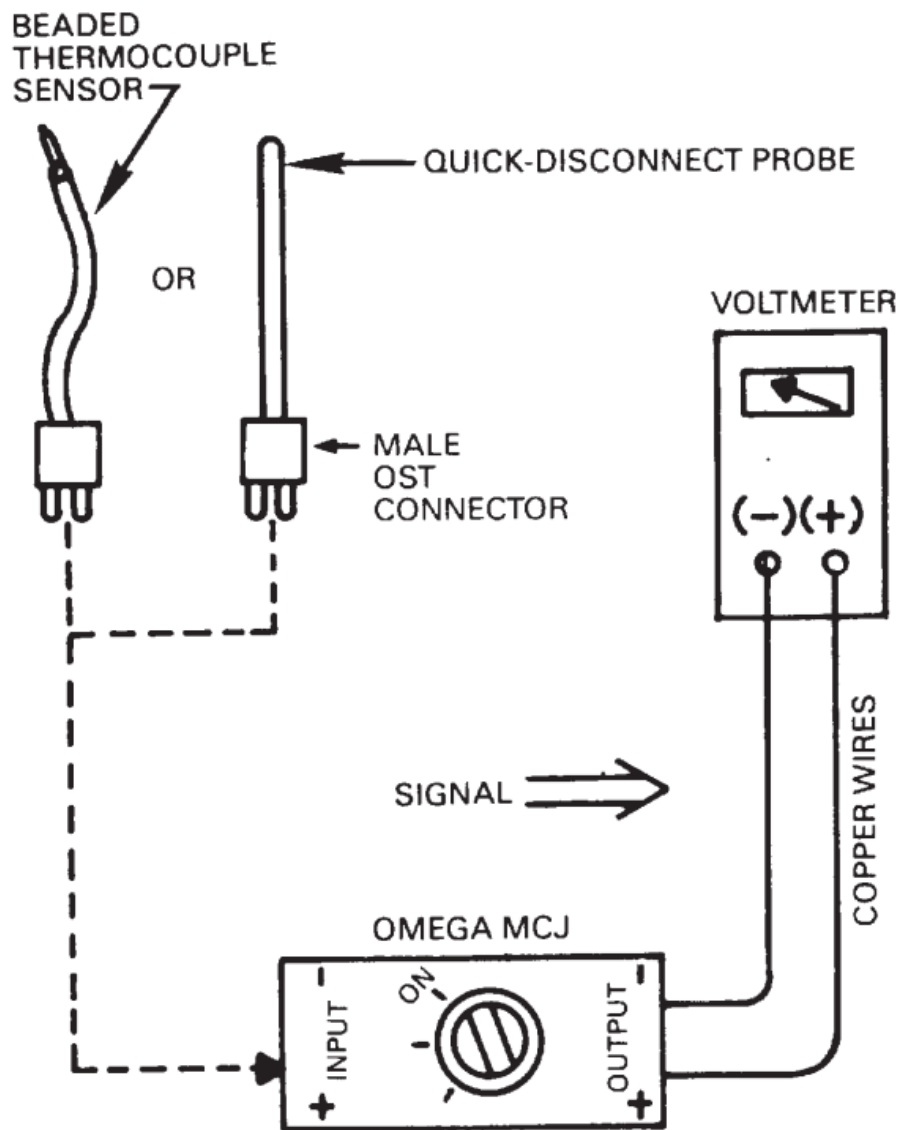
# TERMOELEMENTI

## Šema termoelementa sa kompenzacionom kutijom





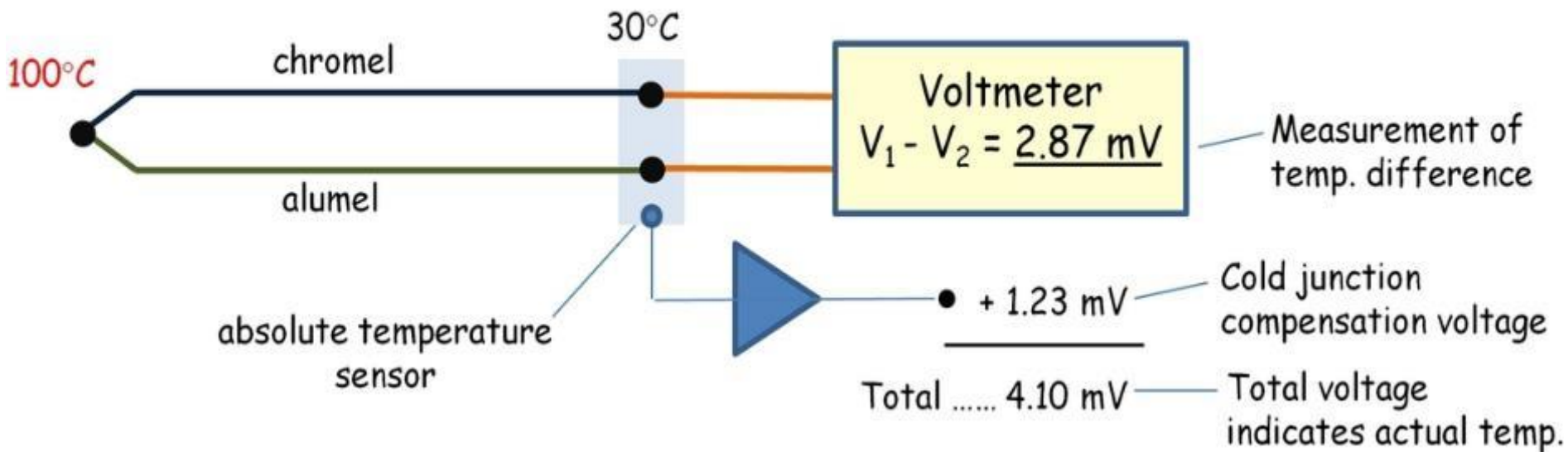
# Šema termoelementa sa kompenzacionom kutijom



# TERMOELEMENTI

## Princip rada termoelementa sa kompenzacionom kutijom

### Cold Junction Compensation



# TERMOELEMENTI

---

## TAČNOST

S obzirom na:

1. uslove merenja (*koji u većini slučajeva **ne odgovaraju** uslovima pri kojima je vršeno etaloniranje termoelementa*) i
2. promenu svojstava pribora nastalu tokom vremena,

neophodno je da se pri tačnim merenjima izvrše izvesne popravke, i to:

1. **Osnovna popravka** obuhvata promenu strukture i električnih svojstava termoelementa tokom vremena. **Osnovna popravka se dobija proverom termoparova i pokaznih instrumenata.**

# TERMOELEMENTI

---

## TAČNOST

- 2. Popravka zbog temperature slobodnih krajeva** mora da se obavi kada temperatura slobodnih krajeva termopara odstupa od temperature pri kojoj je obavljeno njihovo etaloniranje i koja, obično, iznosi  $0^{\circ}\text{C}$ .
- 3. Popravka zbog promene otpora spoljnog kola** mora da se uvede zbog toga što se električni otpor kola menja sa promenom temperature provodnika.
- 4. Popravka zbog promene otpora milivoltmetra.** Promena električnog otpora kola milivoltmetra može da nastane usled promene temperature okoline, koja će izazvaće promenu otklona milivoltmetra.

# TERMOELEMENTI

---

## PREDNOSTI /NEDOSTACI

**Prednosti** termoelementa ili termoparova su:

- Jednostavne konstrukcije
- Niska cena
- Tačkasti oblik senzora
- Jednostavno rukovanje (ugradnja i instalacija)
- Pogodni su za dinamička merenja
- Široki merni opseg (od kriogenih temperatura, pa do temperatura plamena)

**Nedostaci:**

- Nizak nivo izlaznog signala
- Ograničen radni vek, naročito pri visokim temperaturama

# Uređaji za akviziciju i obradu signala sa termoparova





# TERMOELEMENTI

sa “akvizicijom” (uređaji za procesuiranje signala sa termoparova)





