

# Senzori

## 5. predavanje



# Merenje temperature

**Temperatura je fizička veličina koja predstavlja stepen zagrejanosti tela. Temperatura je povezana sa termičkim kretanjem molekula ili atoma, tj. sa termodinamičkim stanjem tela i njegovom unutrašnjom energijom.**

**Temperaturne skale. Prve temperaturne skale (Farenhajtova, Reomirova, Celzijusova) definisane su na osnovu zavisnosti temperature  $T$  i volumena tečnosti  $V$  kao termometarskog svojstva, koja je u opštem slučaju data približnom relacijom:**

$$T = a + bV$$

**gde su  $a$  i  $b$  konstante.**

**Termodinamička temperaturska skala.**

**Temperaturska skala se zbog linearnosti može definisati pomoću dve definicijske temperature. Ranije su za to korišćene tačka leda i tačka ključanja vode, kojima su pridružene vrednosti od  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odnosno  $273,15\text{ K}$  i  $373,15\text{ K}$ .**

**Jedinica termodinamičke temperature je kelvin označen sa K kao  $\frac{1}{273,16}$ -ti deo termodinamičke temperature trojne tačke vode.**

**Teorijski najniža temperatura ima vrednost  $0\text{ K}$ , takozvana apsolutna 0.**

**Po definiciji Celzijusov stopen jednak je kelvinu. Celzijusova i termodinamička temperatura stoje u vezi:**

$$t = (T - 273,15)^\circ C$$

**Temperaturske razlike mogu se izražavati bilo u kelvinima bilo u Celzijusovim stepenima.**

**Poznavanje temperature nekog tela može biti kvalitativno (posmatranje) ili kvantitativno (merenje).**

**Uređaji za merenje temperature mogu da se grupišu prema vezi između temperature i fizičkih osobina materijala na sledeće grupe:**

**Ekspanzioni termometri,**

**Otporni termometri,**

**Termoelektrična osetila (termoelementi, dioda i tranzistor kao senzori temperature)**

**Senzori termičkog zračenja.**

**Pored nabrojanih postoje i drugi postupci, a i u budućnosti će se pojaviti novi.**

## **Kontaktno merenje temperature.**

**Merenje temperature termometrom vrši se na osnovu uzajamnog delovanja dva tela na različitim temperaturama, što dovodi do izjednačavanja temperature ta dva tela. Na osnovu promena na termometru, koje se upoređuju sa kalibracionim veličinama dobija se rezultat merenja.**

## **Beskontaktno merenje temperature.**

**Sva tela zrače na temperaturama iznad apsolutne nule. Merenje ovoga zračenja omogućuje beskontaktno merenje temperature. Ovo zračenje zavisi od osobina materijala koji ga emituje i od uticaja okoline. Ovi uticaji se teško eliminišu ali i tako se dobijaju rezultati merenja koja su u praksi prihvatljiva.**

# Ekspanzioni senzori temperature

Ekspanzioni senzori temperature su termometri čiji se radni medij grejanjem širi, a hlađenjem skuplja, tako da linearno menja svoje geometrijske dimenzije. Ukoliko je radni medij smešten u prostor sa konstantnom zapreminom, tada se umesto promene dimenzija javlja promena pritiska.

Promena dužine tela usled promene temperature.

Neka je  $l_0$  dužina tela na temperaturi  $T_0$  tada je promena dužine usled promene temperature:

$$\Delta l = l_0 \left( \alpha(T - T_0) + \alpha'(T - T_0)^2 + \alpha''(T - T_0)^3 \right)$$

Gde su:  $\alpha, \alpha', \alpha'', \dots$  - koeficienti.



**U praksi polinom se najčešće aproksimira linearnom funkcijom:**

$$\Delta l = l_0 \alpha (T - T_0)$$

**gde je:  $\alpha$  -koeficijent linearnog temperaturnog širenja.**

**Slično gornjem obrascu može se opisati i promena zapremine:**

$$\Delta V = V_0 \left( \beta (T - T_0) + \beta' (T - T_0)^2 + \beta'' (T - T_0)^3 \right)$$

**gde su:  $\beta, \beta', \beta'', \dots$  - koeficijenti termičkog širenja.**

**U slučaju tečnosti može se pričati samo o zapreminskom temperaturnom širenju. Izostavljanje viših članova polinoma može dovesti do značajne greške.**

**Ekspanzioni senzori sa tečnošću rade na principu termičkog širenja tečnosti. Tipični ekspanzioni senzor sa tečnošću je živin termometar. Donja granica mernog opsega određena je tačkom mržnjenja (-38.8 °C), a gornja tačkom ključanja žive (357 °C).**

**Pored žive upotrebljavaju se toluol, etil-alkohol, pentan,... Merni opseg je tada znatno manji ali je donja granica mernog opsega niža, na primer kod pentana - 200 °C.**

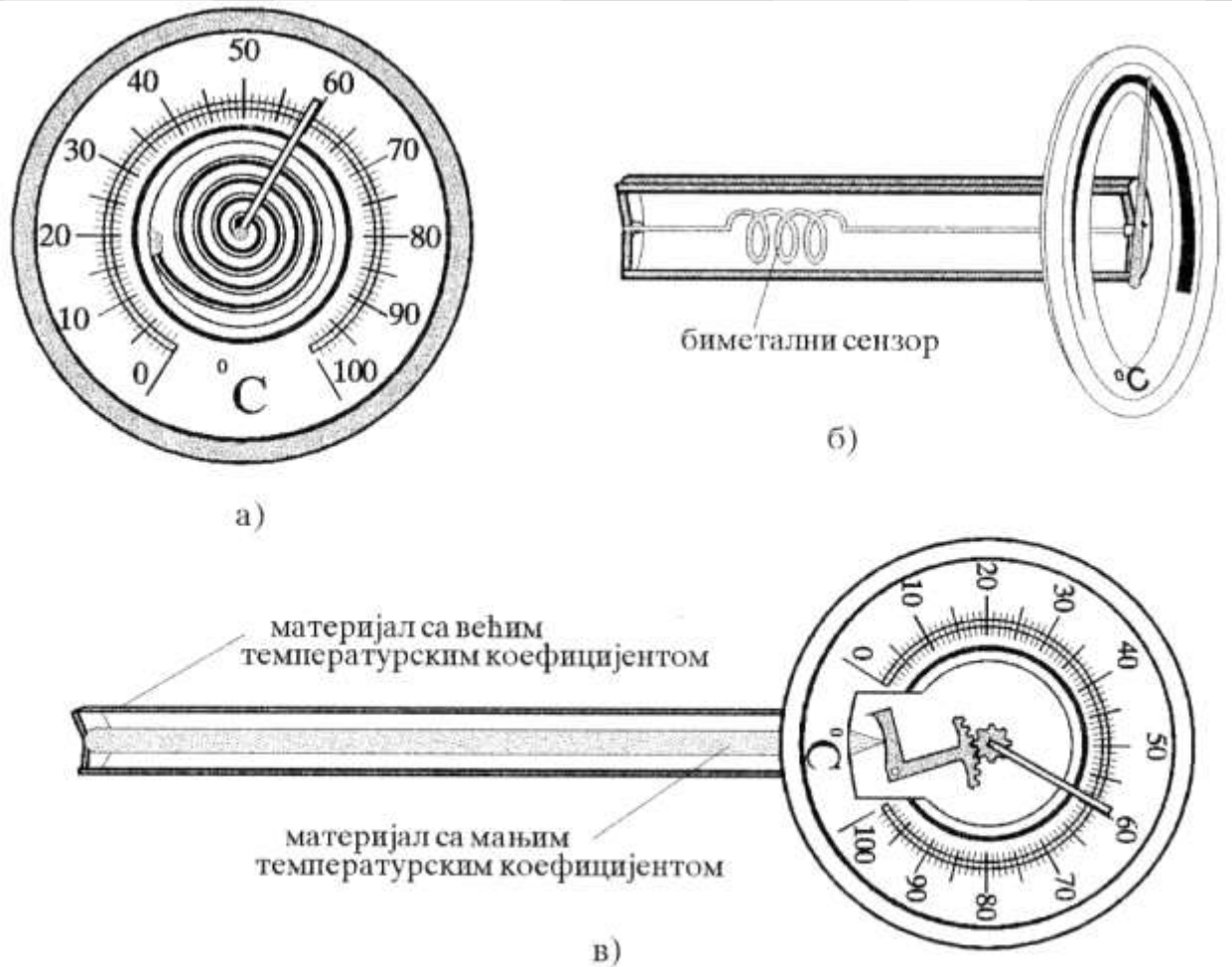
**Kod ekspanzionih senzora sa tečnošću javljaju se sistematske greške zbog:**

**drifta nule, koji nastaje kao rezultat termičkih svojstava stakla i njegovog starenja,**

**nepotpune potopljenosti senzora u mernom mediju, zbog čega je nepotopljeni deo izložen uticaju okoline, nejednakosti poprečnog preseka staklene kapilare.**

**Dilatacioni senzor temperature radi na principu povećanja dimenzija čvrstog tela sa porastom temperature. U određenom temperaturnom intervalu zavisnost dužine tela od temperature je približno linearna. Dilatacioni senzori temperature primenjuju se u gradnji termostata - dvopozicionog (relejnog) regulatora temperature.**

**Bimetalni senzori temperature prave se u obliku trake, spirale ili helikoide od dva sloja različitih metala. Zbog različitih koeficijenta širenja pri porastu temperature bimetalna traka se savija na stranu metala sa manjim koeficijentom širenja. Raširena je upotreba bimetalnih traka u gradnji termostata.**

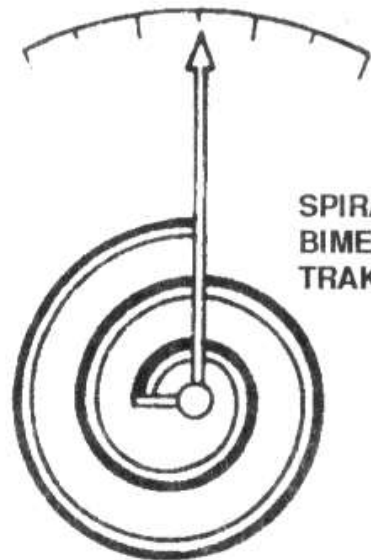


Сл. 8.6. Најчешће коришћени облици биметалних термометара, а) спирални биметал, б) хеликоидални биметал, в) биметал облика ишике.

NEZAGREJANA  
BIMETALNA  
TRAKA

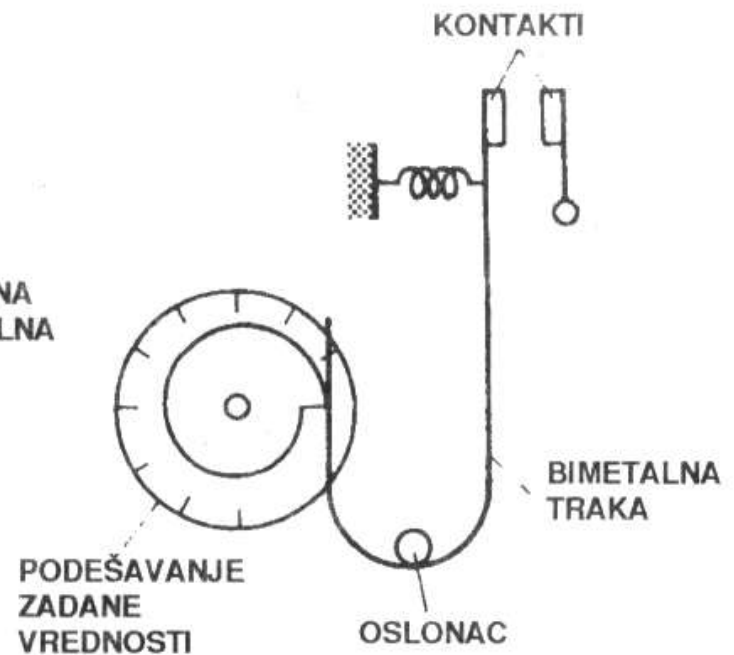


a)



SPIRALNA  
BIMETALNA  
TRAKA

b)

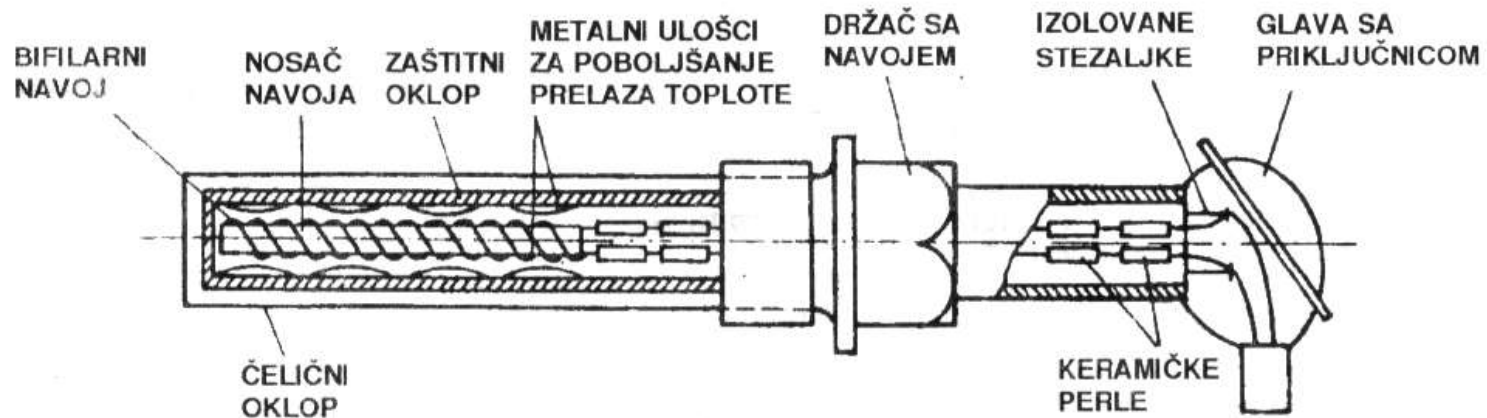


c)

Slika 21.2. Bimetalni senzor temperature: a) bimetalna traka, b) bimetalna spirala, c) termostat

## Otpornički senzori temperature

**Metalni otpornički senzori. Termootpornici od metala prave se u obliku kalema, po pravilu sa bifilarnim navojem. Prečnik žice je od 0,05 do 0,1 mm.**



*Slika 21.14. Konstrukcija metalnog termootporničkog senzora*

## **Termootpornički senzor od *Pt*-žice.**

**Platina je najbolji materijal za izradu metalnih termootpornika, jer se može dobiti sa čistoćom od 99,999%, hemijski je neutralna, i ima dovoljno veliki linearni temperaturni koeficijent otpora.**

**Platinski otpornik upotrebljava se za merenje temperature u opsegu od -200 °C do 630 °C (maksimalno do 1060 °C)**

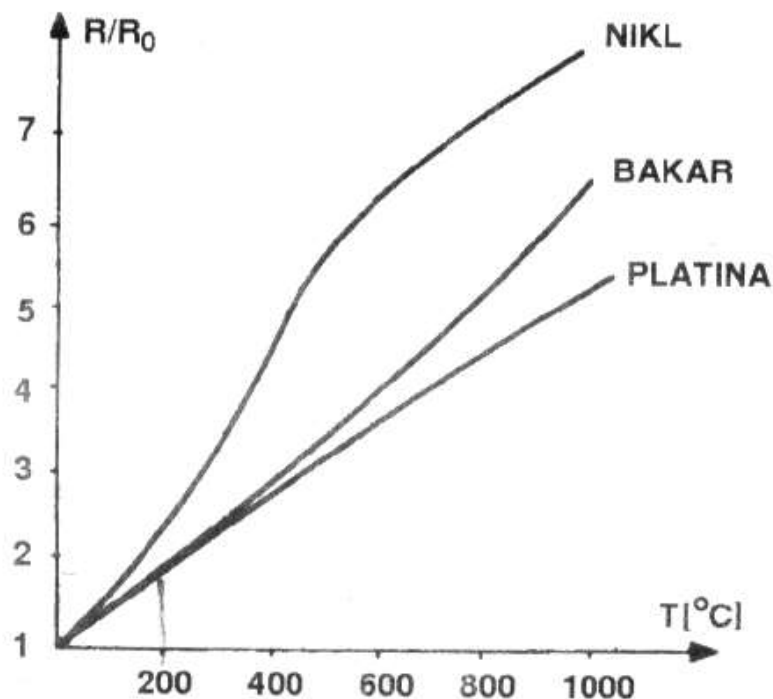
**Termootpornički senzor je pasivan, i kroz njega mora da prolazi neka struja, da bi se dobio pad napona koji može da se meri. Prolaskom struje kroz termootpornik nastaje Džulova toplota  $RI^2$  koja ga dodatno zagrejava. Ovaj nedostatak se ispoljava kao sistematska greška  $\pm 0,2 - 0,5$  °C pri  $RI^2 = 10$  mW.**

**(Termootpornički senzor od *Ni*-žice.)**

**(Termootpornički senzor od *Cu*-žice.)**



Vrednost otpora na  $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  je standardizovano i može da iznosi od  $10 \text{ } \Omega$  do  $25 \text{ k}\Omega$ . Najčešća vrednost je  $100 \text{ } \Omega$ , pa otuda naziv platina sto (*Pt 100*), nikl sto, (*Ni 100*) i bakar sto (*Cu 100*).



Slika 21.15. Statičke karakteristike tipičnih metalnih termootporničkih senzora temperature

## Poluprovodnički otpornički senzori temperature

Termistor je temperaturno osetljivi otpornik, koji se pravi od čistog germanijuma, oksida metala hroma, kobalta, železa, nikla i drugih. Promena otpora sa temperaturom izrazito je nelinearna i u temperaturnom opsegu (od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) može se opisati jednačinom:

$$R_T = R_0 e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

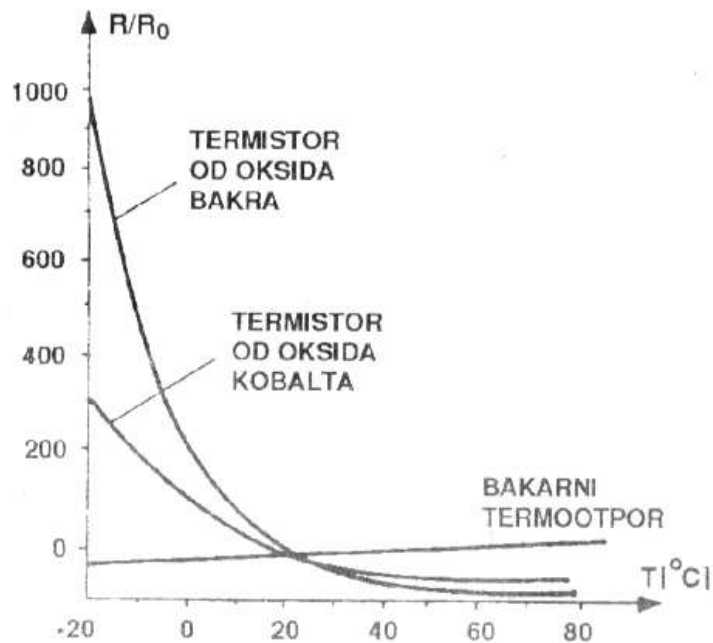
gde su:

$T$  -apsolutna temperatura u [K]

$R_0$  -otpor termistora na temperaturi  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (293 K)

$B$  -koeficijent 2000-4000 K

Tačne vrednosti  $R_0$  i  $B$  mogu se odrediti testiranjem termistora na dvema poznatim temperaturama i potom rešavanjem dveju odgovarajućih jednačina.



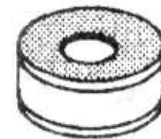
a)

Slika 21.17. Termistor: a) statička karakteristika, b) izgled

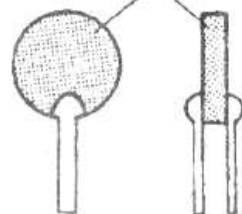
TERMISTOR U  
OBLIKU KUGLICE



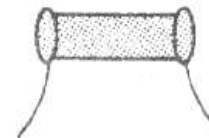
TERMISTOR U  
OBLIKU PRSTENA



TERMISTOR U  
OBLIKU DISKA



TERMISTOR U  
OBLIKU CILINDRA



b)

## **Vrste termistora.**

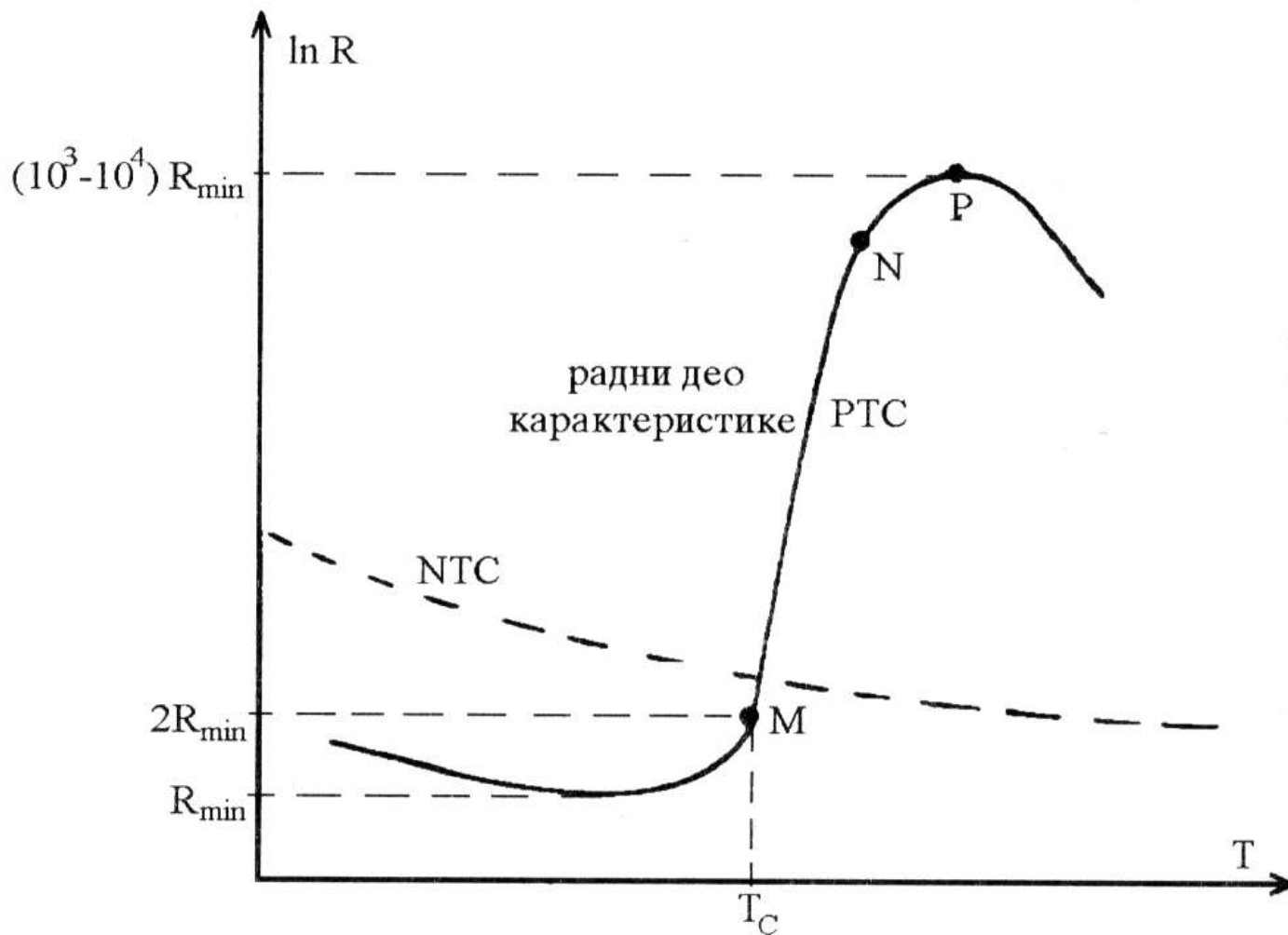
**Za razliku od žičanih termootpornika, za većinu termistora otpor opada sa porastom temperature, što znači da je temperaturni koeficijent otpora negativan.**

**Takvi termistori nazivaju se**

**NTC-otpornici (*Negative Temperature Coefficient*).**

**Temperaturni koeficijent termistora, međutim, može biti pozitivan, kao što je kod metala. Tada je reč o:**

**PTC-otporima (*Positive Temperature Coefficient*).**



Сл. 8.18.  $R$ - $T$  каракѣерисѣиѣе  $PTC$  ѣермисѣѣора.

**Dobre osobine svih termistora su:**

**visoka osetljivost na temperaturne promene**

**male dimenzije**

**velika brzina odziva**

**velika vrednost nominalnog otpora na 20 °C**

**neosetljivost na otpor priključnih vodova**

**povećanje stabilnosti sa starenjem**

**niska cena**

# **Loše osobine termistora su:**

**izrazito nelinearna karakteristika**

**velike varijacije parametara, pa je eventualna zamena drugim termistorom uvek problematična**

**mali temperaturni opseg**

**nestabilnost na višim temperaturama**

**povećano samozagrevanje zbog velikog otpora i malih dimenzija, zbog čega termistori rade sa manjom strujom nego žičani otpornici.**

## **Linearni termistori**

**su specijalne konstrukcije termistora, koje se odlikuju linearnom promenom otpora sa promenom temperature. Linearni termistori prave se na principima linearizacija pomoću dodatnih elemenata.**

## **Dioda i tranzistor kao senzori temperature**

**Sa promenom temperature, napon direktno polarisanog**

***p-n* spoja diode i tranzistora u širokom opsegu temperature, menja se približno linearno sa osetljivošću od oko  $-2,2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .**



# Termoelementi

## Uvod.

Prvobitna namena termoelemenata bila je merenje visokih temperatura 500 - 1000 °C. I danas je njihov značaj najveći u merenju tih temperatura, ali je primena uspešno proširena i na vrlo niske temperature od 1 K, pa do visokih, do 4000 °C.

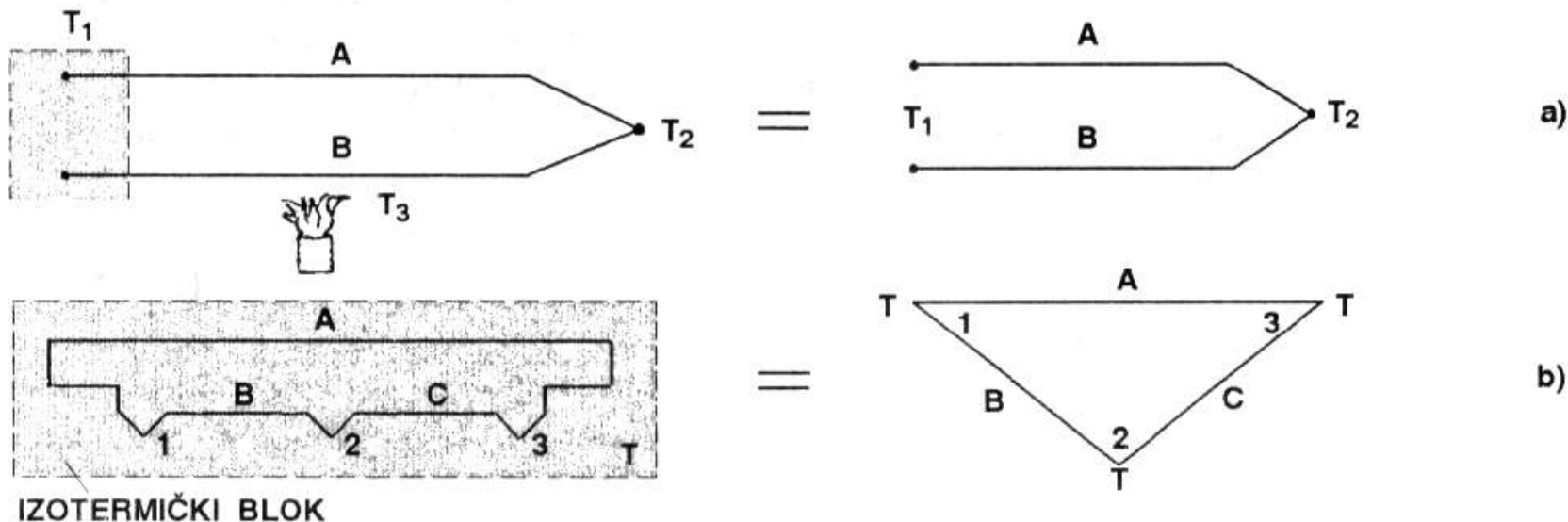
**Termoelement (termopar) je uobičajen naziv za termoelektrično kolo sastavljeno od dva provodnika napravljena od različitih materijala.**

**Empirijski zakoni termoelektričnih kola**

**Za praktična merenja i analizu rada termoelektričnih kola značajna su tri empirijska zakona. Ovi zakoni predstavljaju kola sa homogenim provodnicima, bez primesa i defekta.**

**Zakon homogenog kola (zakon unutrašnje temperature). Na izlazni napon termoelementa čiji krajevi imaju temperature  $T_1$  i  $T_2$  ne utiče temperatura toplotnog izvora koji deluje između krajeva.**

**Zakon o međumetalu.** Algebarska suma termoelektričnih napona u zatvorenom kolu, koje se sastoji od proizvoljnog broja različitih provodnika, jednaka je nuli kada je celo kolo na istoj temperaturi.



Slika 21.4. Empirijski zakoni termoelektričnih kola: a) zakon homogenog kola, b) zakon međumetala

**Na osnovu ovog zakona za kolo od tri provodnika na gornjoj slici je:**

$$u_{AB}(T) + u_{BC}(T) + u_{CA}(T) = 0$$

**Oдавде se zaključuje da je moguće odrediti termoelektrični napon na spoju dva provodnika kada su poznati naponi na spojevima ta dva provodnika sa trećim:**

$$u_{AB}(T) = -u_{CA}(T) - u_{BC}(T) = u_{AC}(T) + u_{CB}(T)$$

## Zakon međutemperatura.

Napon termoelementa pri temperaturnoj razlici  $T_3 - T_1$  jednak je sumi napona pri temperaturnim razlikama

$T_2 - T_1$  i  $T_3 - T_2$  odnosno:

$$U_{AB}(T_3, T_1) = U_{AB}(T_2, T_1) + U_{AB}(T_3, T_2)$$

**Problem hladnog kraja termoelmenta**

**Termoelement kao diferencijalni senzor temperature. Generisani napon termoelementa proporcionalan je razlici temperatura:**

$$U_{AB} = \alpha(T_2 - T_1) = u_{AB}(T_2) - u_{AB}(T_1)$$

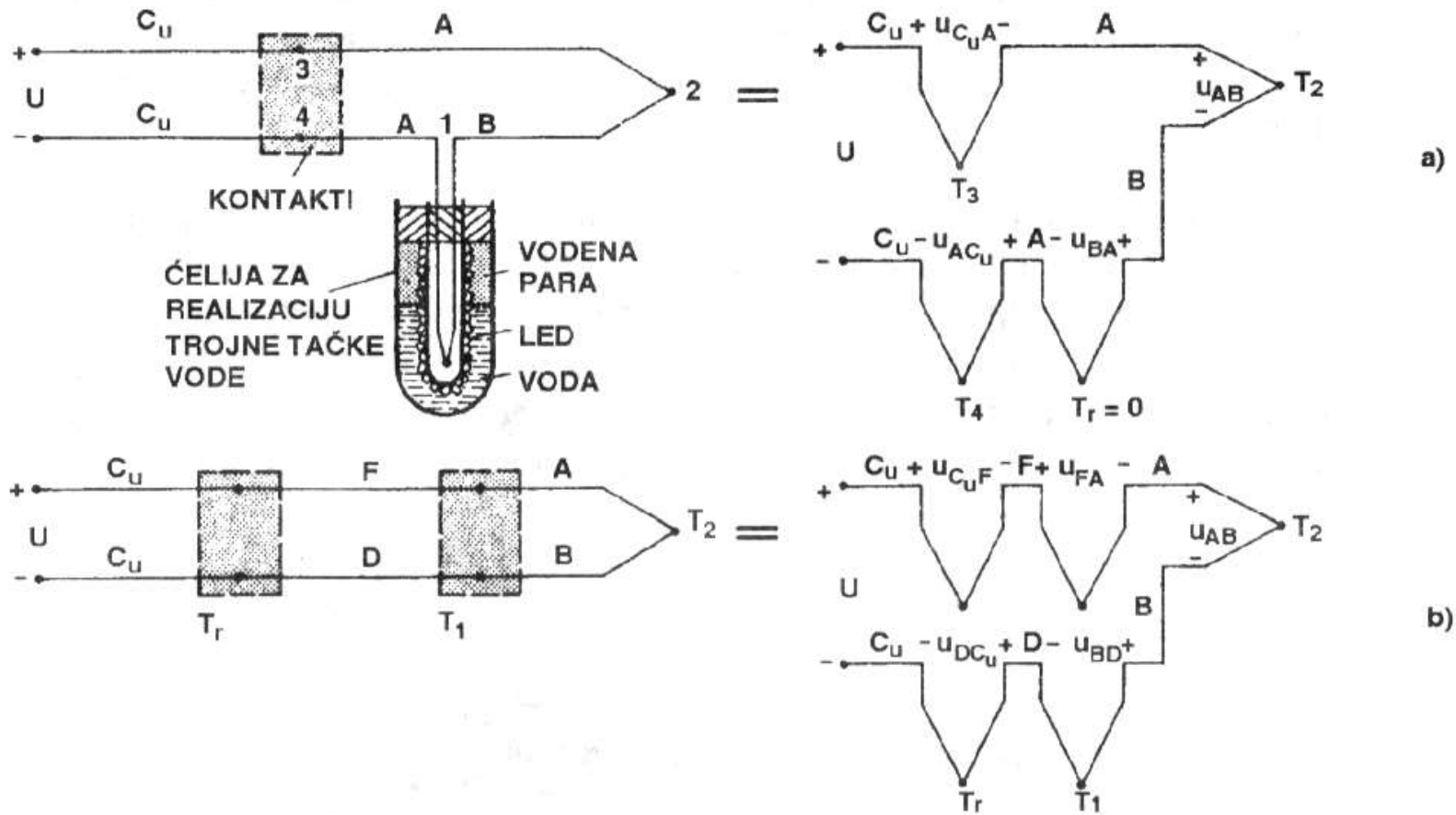
**gde su  $u_{AB}(T_2)$  i  $u_{AB}(T_1)$  termoelektrični naponi u tačkama 2 i 1. Iz praktičnih razloga temperature se označavaju Celzijusovim stepenima, pa termoelektrični koeficijent ima dimenziju  $V/^\circ\text{C}$ .**

## Referentna temperatura

Ukoliko je referentna temperatura  $T_r = 0\text{ }^\circ\text{C}$ , tada je napon termoelementa proporcionalan merenoj temperaturi toplog kraja  $T_2$  odnosno

$$U_{AB} = \alpha T_2 = u_{AB}(T_2)$$

Referentna temperatura održava se pomoću ćelije za realizaciju trojne tačke vode.

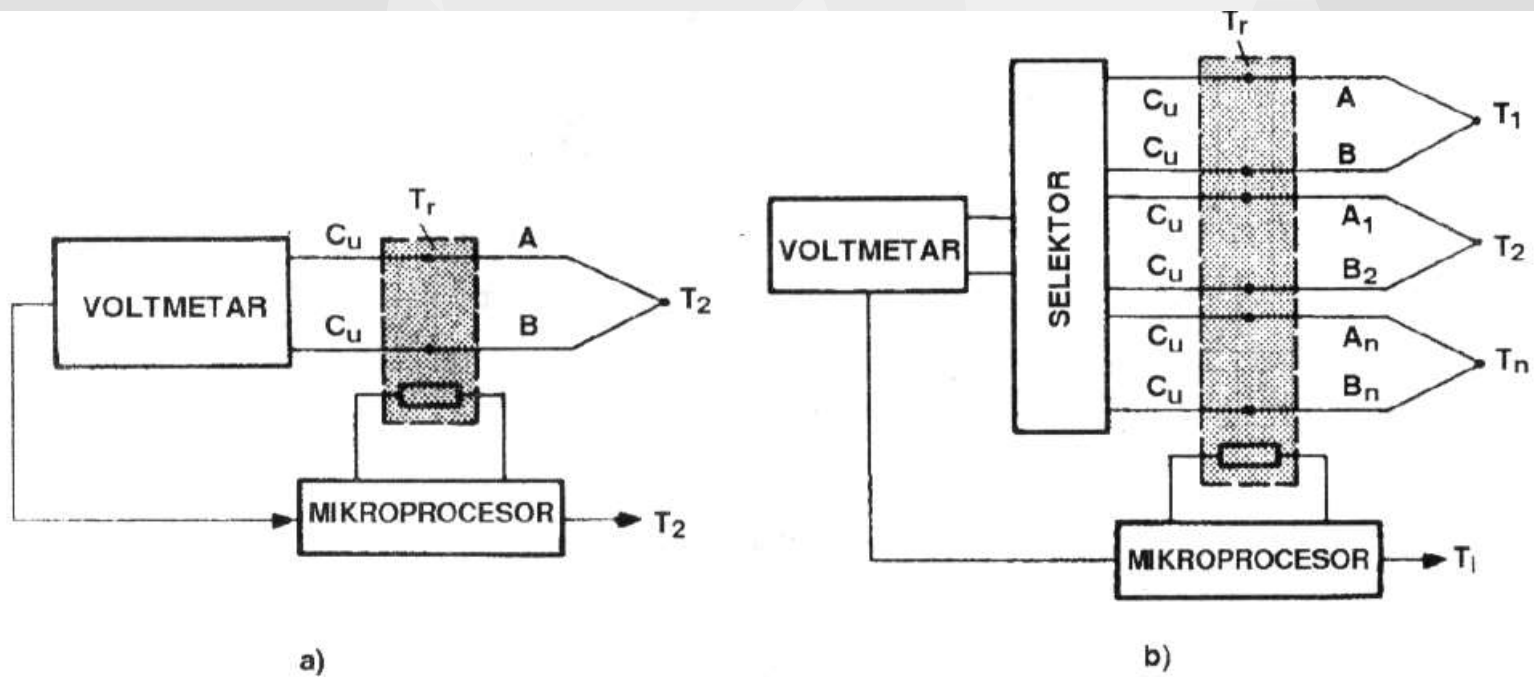


Slika 21.5. Merenje napona termoelementa: a) laboratorijsko merenje sa  $T_r = 0$ ,  
 b) termoelement sa produžnim vodovima



## **Metod softverske kompenzacije temperature hladnog kraja.**

**bazira se na njenom direktnom merenju pomoću termistora. Mikroprocesorski bazirano merno kolo na bazi otpora termistora računa aktuelnu temperaturu  $T_r$  odnosno odgovarajući kontaktni termoelektrični napon  $u_{AB}(T_r)$ . Pomoću izmerenog napona na mernom instrumentu u mikroprocesoru se dalje računa razlika:**

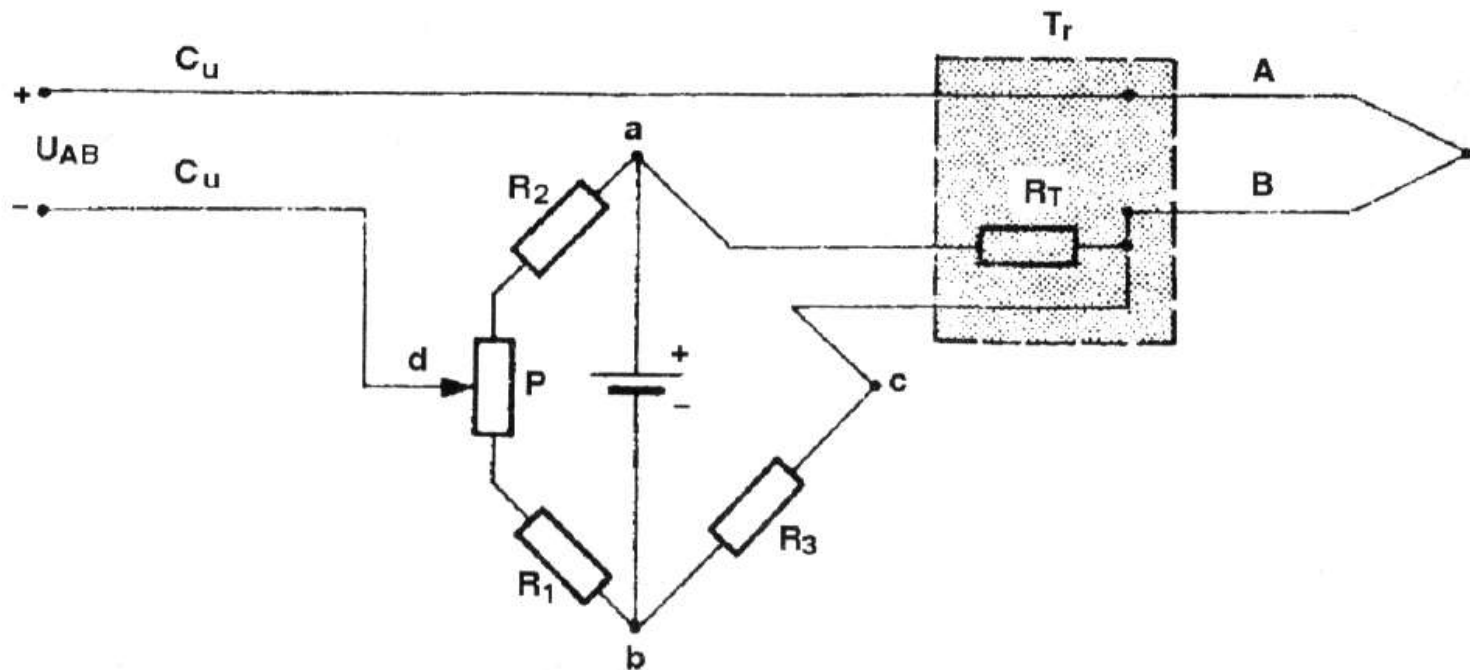


Slika 21.6. Softverski metod kompenzacije: a) osnovna šema, b) šema sa selektorom

Hardverska kompenzacija zasniva se na primeni kompenzacionog mosta, pomoću kojeg se automatski koriguje promena izlaznog napona termoelementa, nastala zbog nestabilnosti temperature hladnog kraja.

$$U_{cd} = U_{AB}(T'_r, T_r) \cdot$$

(21.31)



Slika 21.7. Kompenzacioni most za automatsku korekciju nestabilnosti temperature hladnog kraja

# Izrada termoelementa

MATERIJAL	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	MATERIJAL	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	MATERIJAL	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Bizmut	-72	Živa	0,6	Bakar	7,6
Konstantan	-35	Ugljik	3	Volfram	8
Nikl	-16,4	Aluminijum	3,5	Molibden	12
Kobalt	-15,2	Kalaj	4,2	Gvožde	18,5
Alumel	-12,9	Olovo	4,4	Nihrom	25
Potaša	-9	Tantal	4,5	Hromel	28
Rodijum	-6,4	Srebro	6,5	Antimon	47
Paladijum	-5,7	Zlato	7,3	Germanijum	300
Natrijum	-2	Cink	7,5	Telur	500
Platina	0	Kadmijum	7,5	Selen	900

*Tabela 21.3. Termoelektrični niz materijala u odnosu na platinu*

## **Materijali za izradu termoelementa.**

**Za izradu termoelemenata mogu se, u principu, upotrebiti bilo koja dva čista metala ili legure. Za praktična merenja ograničen je broj kombinacija jer se od materijala zahteva:**

**stabilnost i ponovljivost termoelektričnog svojstva**

**jednoznačno i po mogućnosti linearna zavisnost termoelektričnog napona od temperature**

**visoka osetljivost**

**homogenost materijala po dužini provodnika**

**mogućnost zavarivanja i mehaničke obrade**

**mehanička čvrstina**

**pristupačna cena**

# Standardni tipovi termoelemenata

TIP	KOMERCIJALNI NAZIV	MAKSIMALNI OPSEG °C	MAKSIMALNA TEMPERATURA (KRATKOTRAJNO ZAGREVANJE)	PROSEČNA OSETLJIVOST $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	KARAKTERISTIKE RADNE SREDINE I OGRANIČENJA U UPOTREBI
T	Bakar/konstantan	-200 do 350	600	40,5	Slabo korozivna i redukovana atmosfera. Vakuum ili inertna atmosfera. Prisustvo vlage.
J	Gvožđe/konstantan	0 do 750	1 200	52,6	Redukovana atmosfera. Vakuum ili inertna atmosfera. Ograničena upotreba na visokim temperaturama zbog pojačane korozije. Ne preporučuje se za niske temperature
E	Kromel/konstantan	-200 do 900	1 000	67,9	Korozivna ili inertna atmosfera. Ograničena upotreba u vakuumu i redukovanoj atmosferi.
K	Kromel/alumel	-200 do 1250	1 370	38,8	Inertna atmosfera, bez korozija. Ograničena upotreba u vakuumu i redukovanoj atmosferi. Nije dozvoljena upotreba u sumpornoj atmosferi.
S	Platina-10%rodijum/platina	0 do 1450	1 760	10,6	Korozivna ili inertna atmosfera. Dozvoljena samo kratkotrajna upotreba u vakuumu. Zaštitni oklop samo keramički. Moguća upotreba u metalnim i nemetalnim sredinama. Ove karakteristike iste su za tipove S, R i B.
R	Platina-13%rodijum/platina	0 do 1450	1 600	12,0	
B	Platina-30%rodijum/platina-6%rodijum	0 do 1700	1 800	7,6	

Tabela 21.4. Standardni tipovi termoelemenata

# **Konstrukcija termoelemenata.**

**Svi termoelementi prave se na isti način: dve žice od termoelektričnog materijala spoje se na toplom kraju i zaštite keramičkim izolacionim materijalom i metalnim oklopom. Postoji više različitih tehnika spajanja žica:**

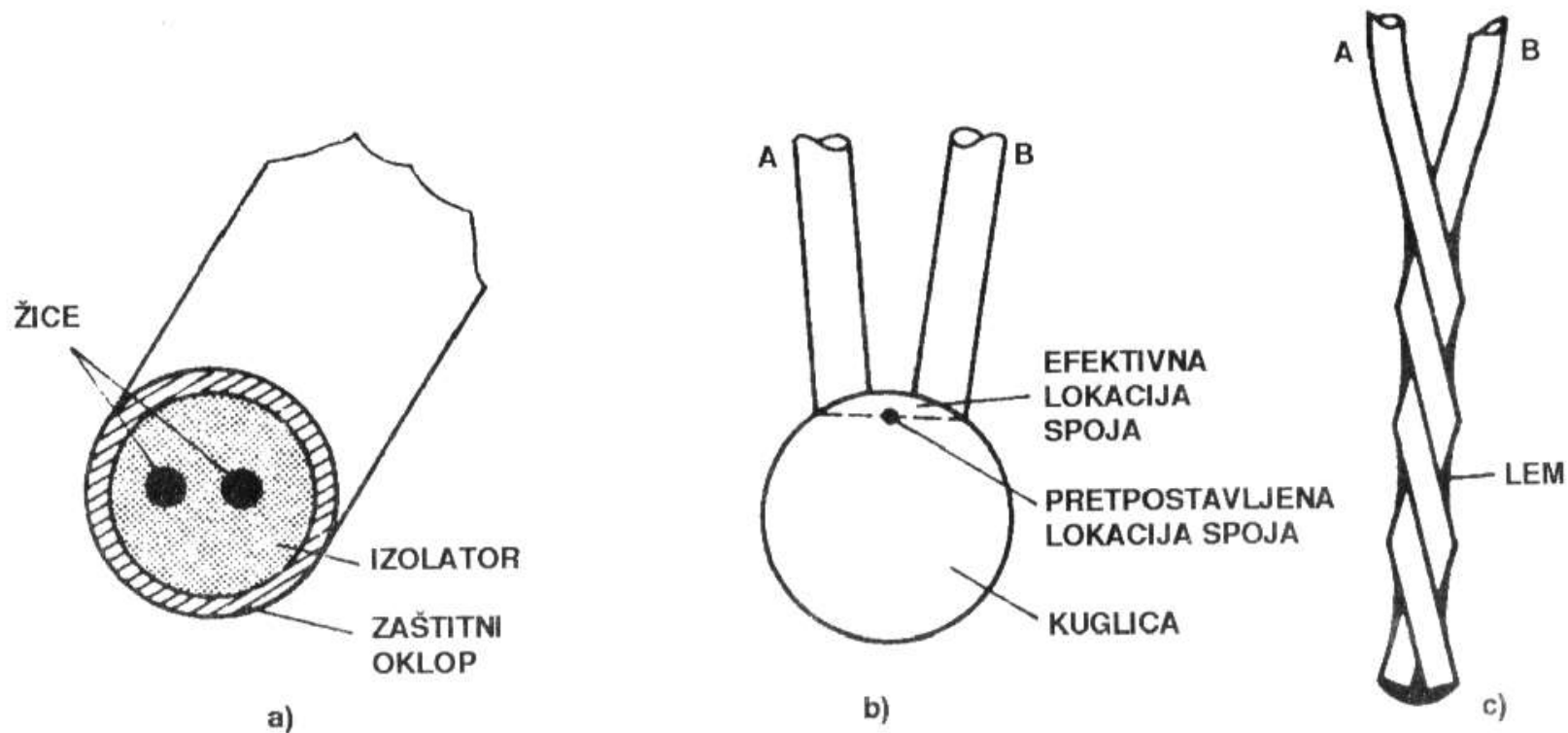
**žice se zavare topljenjem tako da se na vrhu spoja formira kuglica**

**žice se zaleme pomoću metala sa nižom tačkom topljenja**

**žice se potope u živu ili rastopljeni metal**

**žice se zaleme za čvrsti metal**

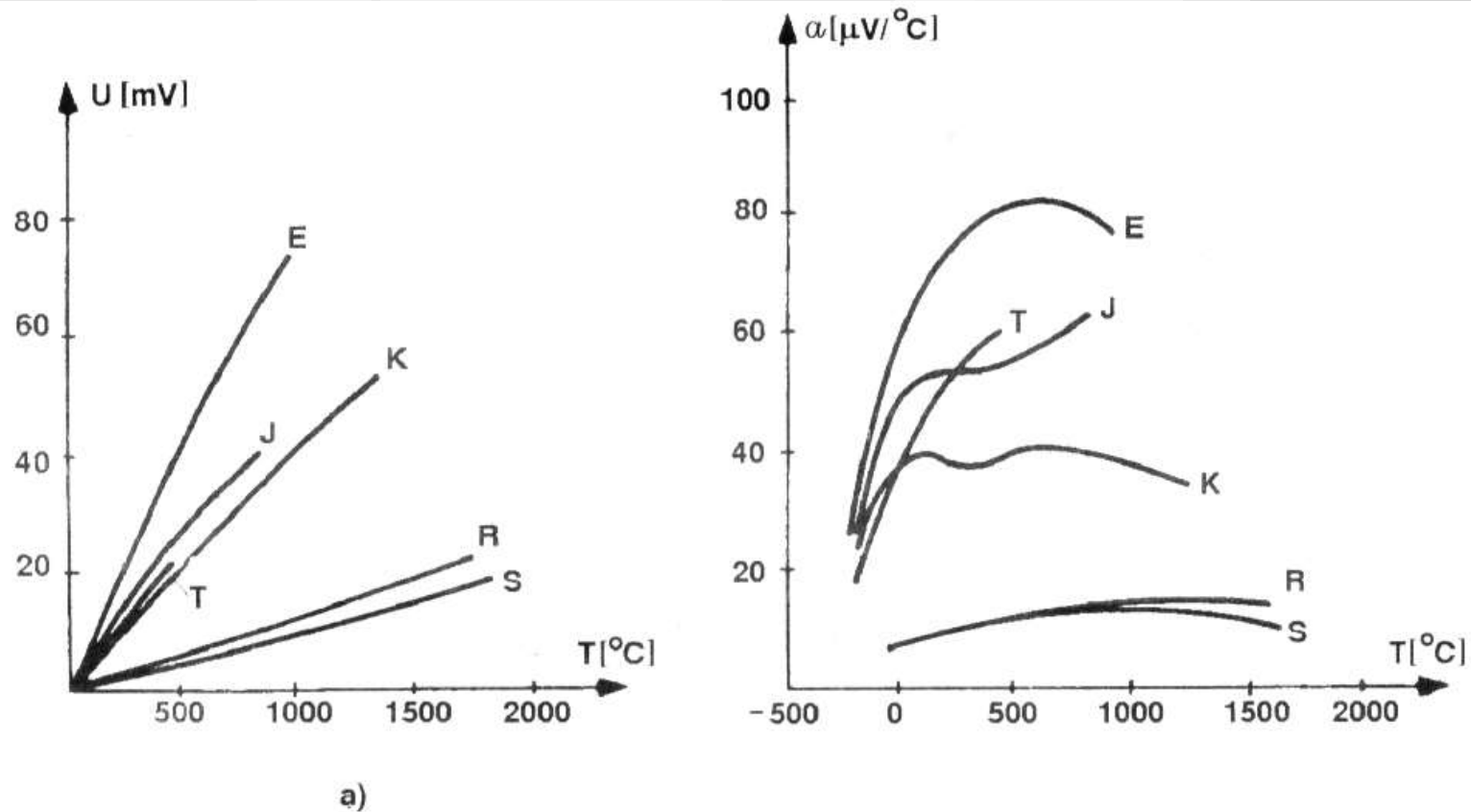
**žice se pričvrste stezaljkom i trakom.**



Slika 12.8. Termoelement: a) konstrukcija, b) zavarene žice na toplom kraju, c) zalemljene žice na toplom kraju



# Statičke karakteristike termoelemenata



Slika 21.9. Statičke karakteristike termoelemenata: a) zavisnost termoelektričnog napona od temperature, b) zavisnost Zebekovog koeficijenta od temperature

# **Praktični aspekti upotrebe termoelemenata**

**Prednosti termoelemenata kao senzora temperature su:**

**rad bez vanjskog izvora energije jer se radi o aktivnom senzoru**

**jednostavna i kompaktna konstrukcija**

**velika mogućnost ugradnje**

**širok temperaturni opseg merenja  
(od  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $4\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

**visoka tačnost**

**Nedostaci termoelemenata su sledeća:**

**nizak nivo izlaznog signala**

**mala osetljivost ( $10 - 70 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ), zbog čega je veoma otežano merenje malih temperaturnih razlika**

**potrebna stalna referentna temperatura**

**nelinearna statička karakteristika**

**osetljivost na hemijsko delovanje radne okoline**

**pojava parazitnih termoelektričnih napona, koji su rezultat nehomogenosti materijala od kojeg je napravljen termoelement**

**Praktične preporuke.**

**Da bi se smanjili nedostaci termoelementa kao senzora temperature i smanjile greške merenja, potrebno je pridržavati se sledećih pravila:**

**termoelement ne sme biti na direktnom plamenu niti u njegovoj neposrednoj blizini zbog agresivnog delovanja gasova i čestica u okolini plamena**

**za tela sa raspodeljenom vrednošću temperature termoelement treba ugraditi u zoni srednje vrednosti temperature jer on meri temperaturu u jednoj tački**

**poželjno je da se termoelement locira na vidnom i dostupnom mestu radi lakše inspekcije i eventualne zamene**

**telo termoelementa u celosti treba da se nalazi u mernom mediju**

**svi kontakti moraju biti čisti i čvrsti kako bi prelazni otpor kontakata bio što manji**

**priključni vodovi ne smeju biti u blizini visokonaponskih energetskeih vodova zbog elektromagnetne indukcije.**

# Senzori termičkog zračenja



Senzori termičkog zračenja poznati su pod različitim nazivima: *IC*-senzori (*I*nfra*C*rveni senzori), pirometri ili optički pirometri. Oni služe za beskontaktno merenje površinske temperature tela bez narušavanja njegovog temperaturnog polja. Talasna dužina zračenja većine čvrstih tela je od 0 do  $\infty$ , ali su za merenja temperature najbitniji vidljivi spektar ( $\lambda = 0,40 - 0,75 \mu\text{m}$ ) i infracrveni spektar ( $\lambda = 0,75 - 400 \mu\text{m}$ ).

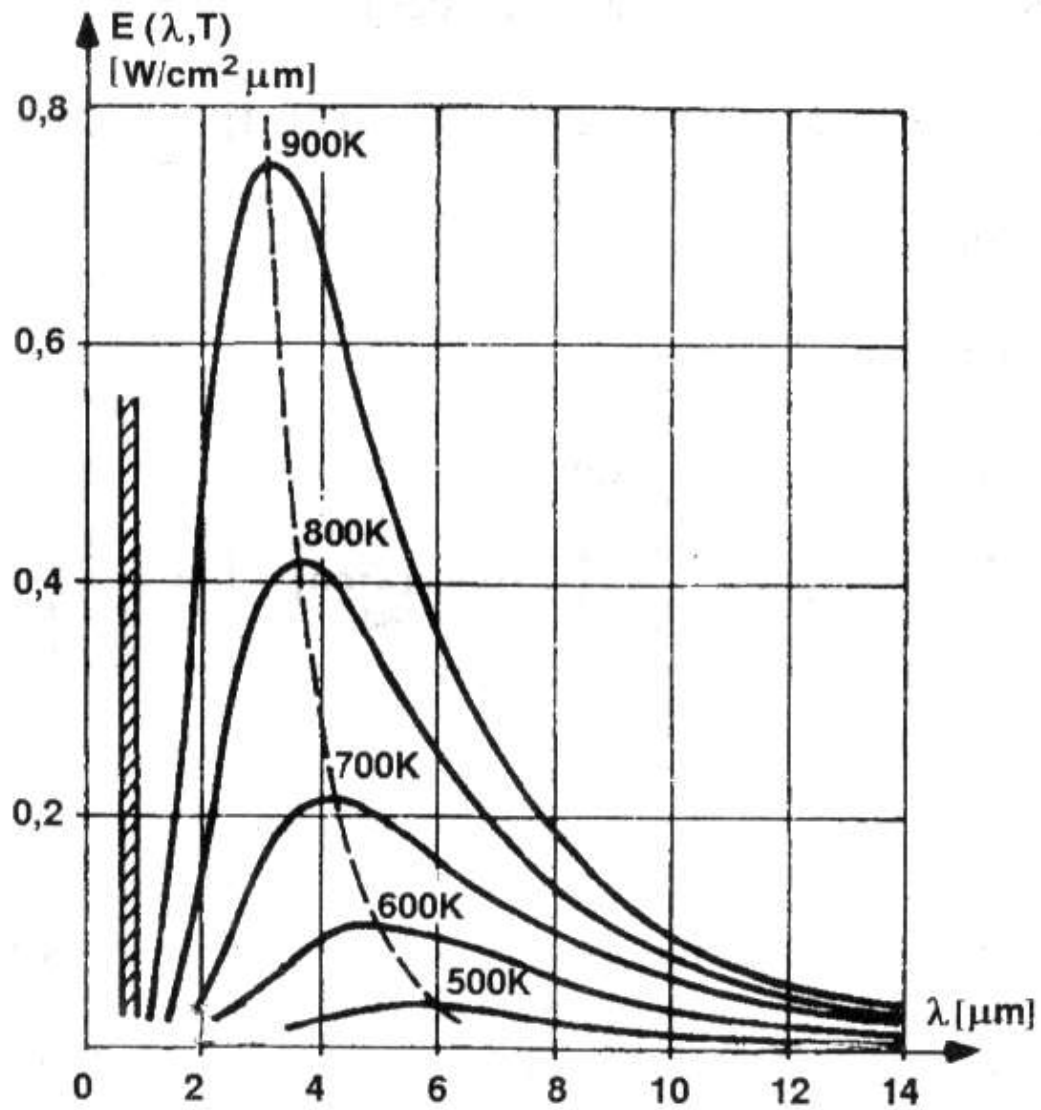
Kirhofov zakon zračenja realnog tela predstavlja relaciju između zračenja koje pada na telo  $\phi$  i zračenja koje telo apsorbuje  $\phi_a$ , zračenja koje ono reflektuje  $\phi_r$  i zračenja koje ono propušta  $\phi_p$ .

$$\phi = \phi_a + \phi_r + \phi_p$$

**Pirometarski metodi merenja temperature. Telo koje ima koeficijent apsorpcije jednak jedinici naziva se apsolutno crno telo i na određenoj temperaturi ono zrači maksimalnu energiju. To je idealni radijator: apsorbuje sve zračenje koje padne na njega i, takođe, za datu temperaturu emituje maksimalno moguću količinu toplotnog zračenja. Pirometarski metodi merenja temperature temelje se na zakonima koji predstavljaju vezu između energije koju zrači crno telo i njegove temperature.**

**Štefan –Bolcmanov zakon predstavlja vezu između temperature i gustine zračenja za sve frekvencije elektromagnetnog zračenja crnog tela.**





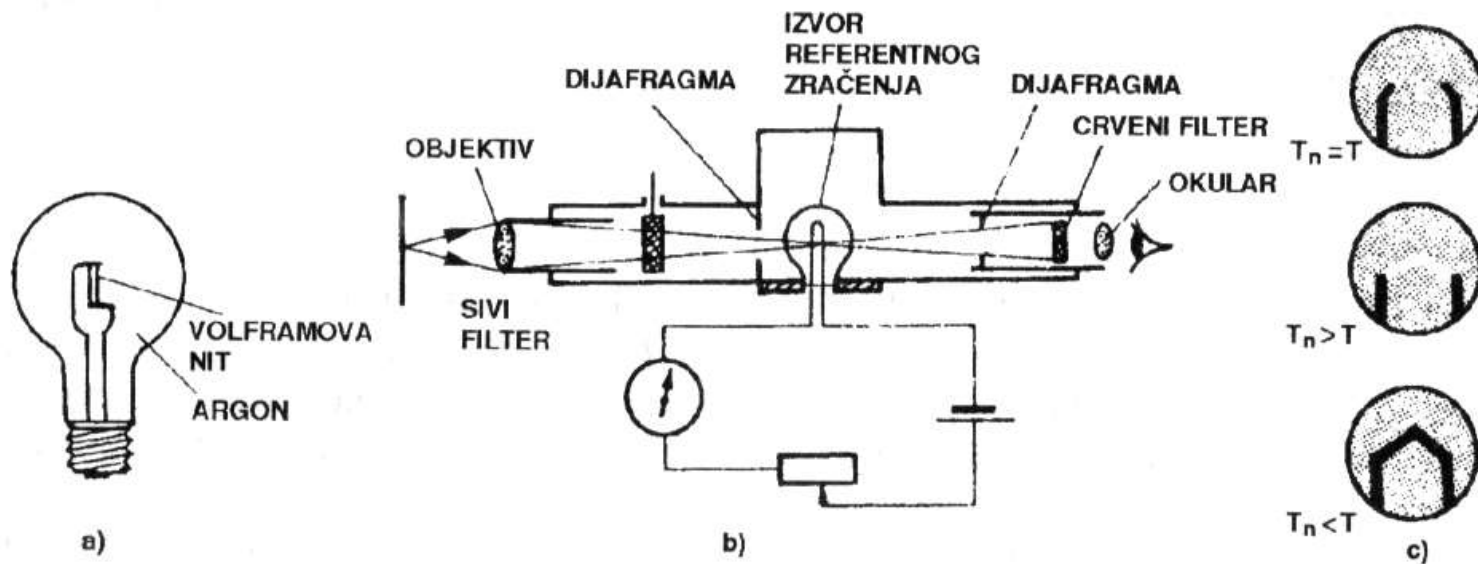
Slika 21.21. Zavisnost gustine zračenja od talasne dužine

# Pirometri spektralnog zračenja



**Optički (vizuelni) pirometar služi za merenje spektralne gustine zračenja unutar uskog opsega talasnih dužina  $\lambda = (0,656 \pm 0,008\mu\text{m})$ . Zato se ovaj pirometar naziva i monohromatski. Radi na principu upoređivanja spektralne gustine zračenja tela čija se temperatura meri i spektralne gustine zračenja baždarenog, (referentnog) izvora. Detektor koji upoređuje navedena zračenja je ljudsko oko.**

**Najpoznatija je konstrukcija optičkog pirometra sa išćezavajućom niti.**

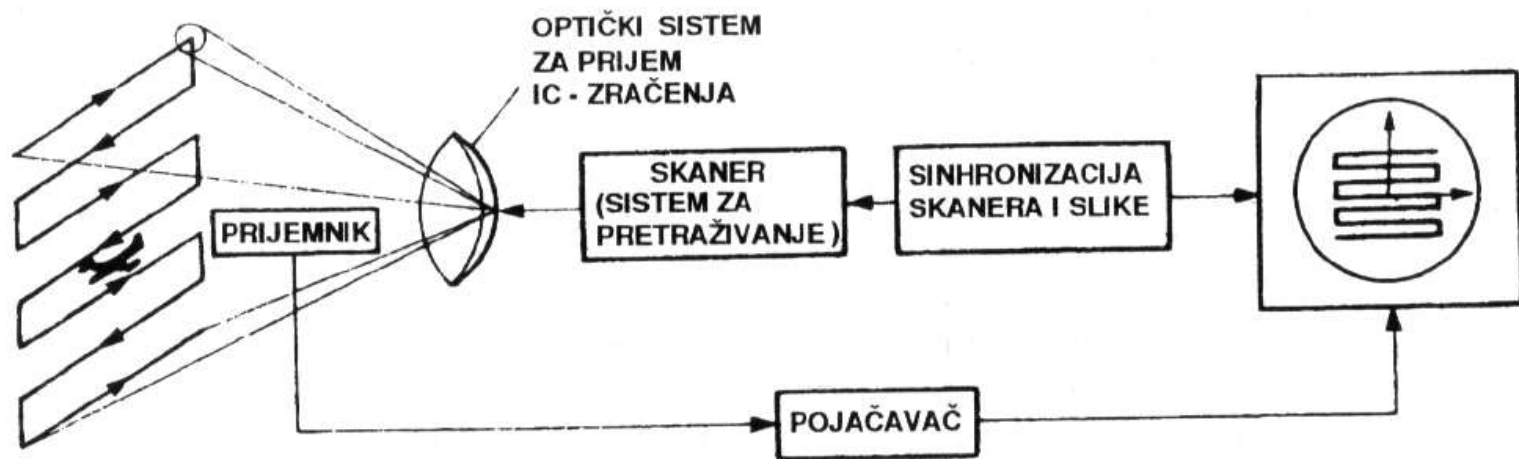


Slika 21.23. Optički pirometar: a) izvor referentnog zračenja, b) optički pirometar sa iščezavajućom niti, c) iščezavajuća nit

# Specijalni senzori temperature

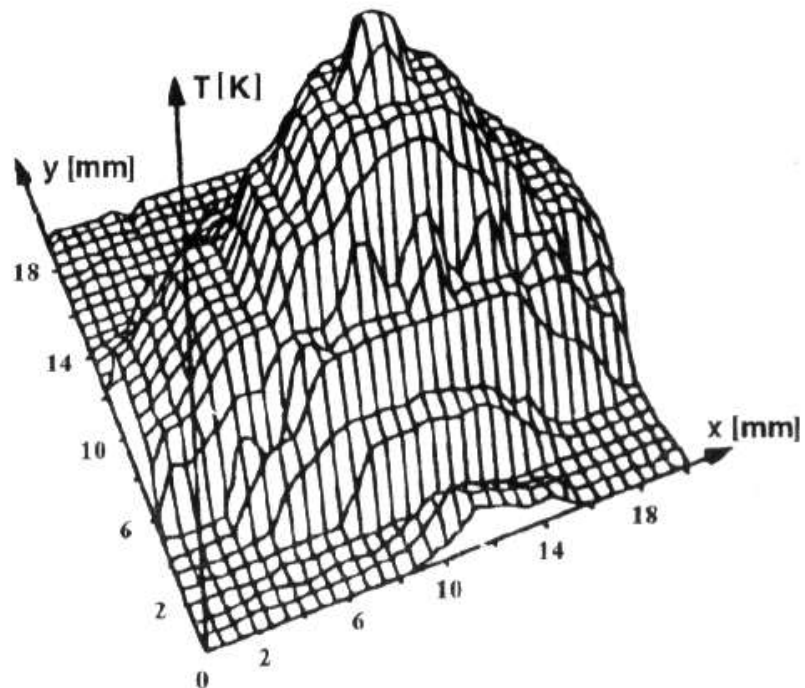
**Termovizijske metode zasnivaju se na primeni optoelektronskih detektora *IC*-zračenja.**

**Prvi termovizijski sistemi napravljeni su na principu skaniranja temperaturnog polja. Pomoću optičkog sistema, zračenje objekta fokusira se na senzor. Dobijeni električni signal sinhronizuje se sa uređajem za skaniranje, tako da na ekranu – indikatoru nastaje crno bela ili kolor slika temperaturnog polja objekta.**

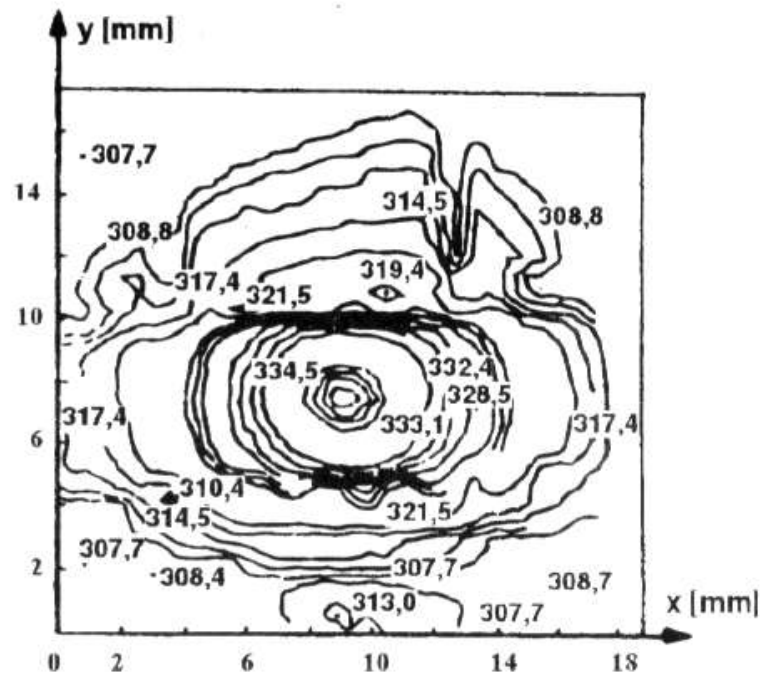


*Slika 21.29. Princip termovizijskog sistema sa skaniranjem*

# Predstavljanje termovizijske slike:



a)



b)

Slika 21.30. Temperaturno polje integralnog kola: a) prostorna raspodela temperature, b) temperaturna slika sa izotermama