

## 1. SNÍMAČE TEPLOTNÝCH VELIČÍN

**Teplota** patrí k najdôležitejším stavovým veličinám *prírodných a technických systémov*, preto jej meranie je pri mnohých ľudských činnostiach nevyhnutné.

V automatizačnej technike patrí teplota k najsledovanejším veličinám v procesoch výrobnéj i nevýrobnej povahy a na presnosti jej určenia závisí veľmi často **kvalita a výrobná cena** mnohých výrobkov a služieb. Teplota je súčasne **najčastejšou poruchovou veličinou** pôsobiacou pri meraní fyzikálnych a chemických veličín, preto je často nevyhnutné kompenzovať jej vplyv na meranie prvotnej veličiny, čo vyžaduje jej meranie.

Teplota je termodynamická stavová veličina. Okrem náročne realizovateľnej **termodynamickkej (absolútnej) teplotnej stupnice** sa pre praktické činnosti používa stupnica **ITS-90 (The International Temperature Scale of 1990)**. Táto empirická stupnica je určená pomocou 17-tich pevne definovaných teplotných bodoch v termodynamickkej stupnici, ktoré zodpovedajú rovnovážnym stavom medzi fázami vybraných látok. Medzi týmito bodmi boli definované interpolačné rovnice a na ich realizáciu zasa špecializované interpolačné prístroje.

Okrem termodynamickkej teploty  **$T$  (kelvin [K])** sa používa Celsiova teplota  **$t$  [°C]** definovaná vzťahom

$$t = T - T_0 = T - 273,15 \quad [^{\circ}\text{C}, \text{K}]$$

kde  $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ,

teplota trojného bodu vody, to znamená rovnovážneho stavu troch skupenstiev vody (ľad, vody a nasýtenej vodnej pary)

pričom platí  $1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$  teda

$$\Delta t = \Delta T \quad [^{\circ}\text{C}, \text{K}]$$

Okrem toho sa v USA používa Fahrenheitova stupnica, v ktorej zodpovedá teplote topenia ľadu  $32^{\circ}\text{F}$  a varu vody teplota  $212^{\circ}\text{F}$ . Táto stupnica sa delí medzi uvedenými bodmi na  $180^{\circ}\text{F}$ . Prevod Fahrenheitovej stupnice na Celziovu a naopak sa realizuje prevodovými vzťahmi

$$v = (9/5)t + 32 \quad [^{\circ}\text{F}]$$

$$t = (5/9)(v - 32) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde  $v$  je Fahrenheitova teplota,

$t$  je Celziová teplota.

Najčastejšie používané snímače teploty využívajú **teplotnú závislosť odporu kovových a polovodičových materiálov** alebo **Seebeckov jav** (termoelektrické články). Ďalšie, tzv. **dilatačné snímače teploty** sa uplatňujú pre svoju relatívne nízku cenu najmä v komerčných tepelných zariadeniach, ako sú domáce elektrické spotrebiče (napr. chladničky, práčky, žehličky). **Kryštalové (frekvenčné) teplomery** vyhodnocujú zmenu rezonančnej frekvencie kryštálu vplyvom meranej teploty (rozsah  $-80$  až  $+250^{\circ}\text{C}$ , rozlíšenie až  $10^{-4}^{\circ}\text{C}$ ) a sú vhodné pre kalibračné alebo etalónové prístroje. V automatizačných prostriedkoch sa používajú aj **senzory teploty** (pozri terminológiu *snímač-senzor*), najmä pre menej náročné merania, avšak často už v integrovaných formách spolu s meracím prevodníkom.

Snímače teploty možno rozdeliť do dvoch základných skupín:

**dotykové:**

- dilatačné (tyčové, bimetalové, tlakové, sklenené),
- elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN prechodom, termoelektrické),
- špeciálne (akustické, šumové, tekuté kryštály, teplomerné farby).

**bezdotykové:**

- pyrometre (napr. jasové, radiačné, fotoelektrické),
- termovízia,
- infrafotografia.

Pre účely automatického riadenia sa snímače a meracie členy teploty používajú na jej priame a diaľkové meranie, monitorovanie a regulačné úlohy hlavne v rozsahu -200 až +1300 °C. V praxi prevládajú

- odporové snímače teploty (*Resistance Temperature Detectors, RTD*),
- termočlánky (*Thermocouples, TC*),
- integrované senzory teploty

### 1.1. Dilatačné snímače teploty

Činnosť *dilatačných snímačov teploty* je založená na rozťažnosti látok všetkých skupenstiev. Zmenou teploty látok dochádza ku zmene ich objemu, resp. rozmeru a vyvolaný účinok (sila, posuv) sa spracováva ako informácia o teplote. Tieto snímače alebo meracie členy pracujú hlavne s výstupným signálom logického alebo binárneho charakteru. Podľa použitého materiálu možno hovoriť o dilatačných snímačoch

- s plynovou náplňou,
- s kvapalnou náplňou,
- s pevnou látkou (tyčový, dvojkov).

Pre užší rozsah teploty sa závislosť aktívnej dĺžky snímača od teploty vyjadruje vzťahom

$$l = l_0(1 + \alpha_{ls} \Delta t)$$

kde

$\alpha_{ls}$  je priemerný koeficient dĺžkovej rozťažnosti,

$l$  je výsledná dĺžka,

$l_0$  je pôvodná dĺžka,

$\Delta t$  je rozdiel teplôt.

Rovnako sa dá pre užší rozsah teplôt vyjadriť aj zmena objemu

$$V = V_0(1 + \alpha_{vs} \Delta t)$$

kde

$\alpha_{vs}$  je priemerný koeficient objemovej rozťažnosti,

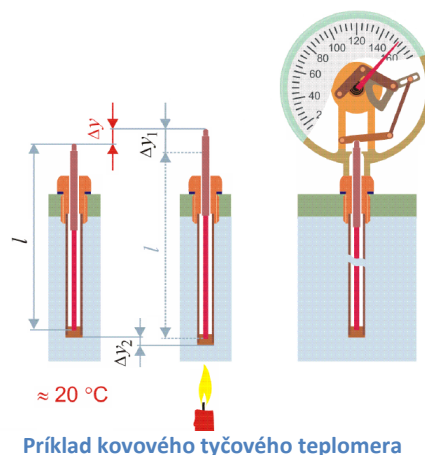
$V$  je výsledný objem,

$V_0$  je pôvodný objem,

$\Delta t$  je rozdiel teplôt.

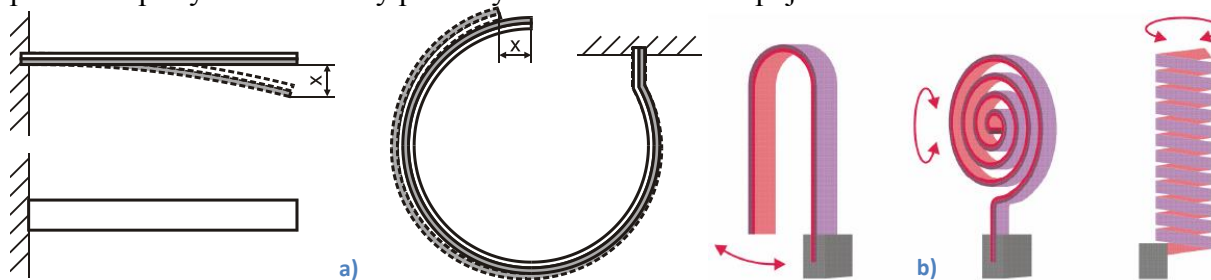
Najčastejšie sa používajú vhodne vytvarované *dvojkovy (bimetal)*, ktoré sa skladajú z dvoch vrstiev rôznych kovov s rozdielnym koeficientom teplotnej rozťažnosti (Obr. 1.a). Vhodný pasívny materiál (s malou rozťažnosťou) predstavuje invar (36 % Ni, 64 % Fe) a aktívny materiál (s veľkou teplotnou rozťažnosťou) sa obvykle vytvára z mosadze (62 % Cu, 38 % Zn) zo zliatiny Cu-Ni alebo Fe-Ni iného pomeru ako invar. Väčšie prehnutie sa docieli zmenou tvaru bimetalového pásika. Preto sa bežne využíva tvar písmena U, resp. plochá špirála a valcová špirála (Obr. 1.b)

Bimetalové teploměry sa často používajú na dvojpohovú reguláciu teploty. Jedno z možných zapojení uvádza Obr. 2. Ako citlivý člen sa používa jednoduchý bimetalový pásik  $l$ , na jednom konci votknutý. Po dosiahnutí požadovanej teploty sa pásik ohne a dotkne sa



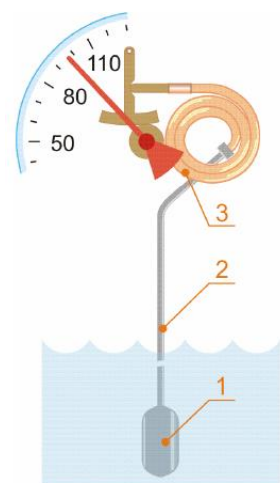
Príklad kovového tyčového teplomera

kontakty 2. Tým sa spojí sekundárny obvod transformátora 5 a na cievku elektromagnetu 3 sa privedie napätie. Jadro elektromagnetu potom zopne silnoprúdové kontakty 4. Po opätovnom poklese teploty sa bimetalový pásik vystrie a obvod sa rozpojí.



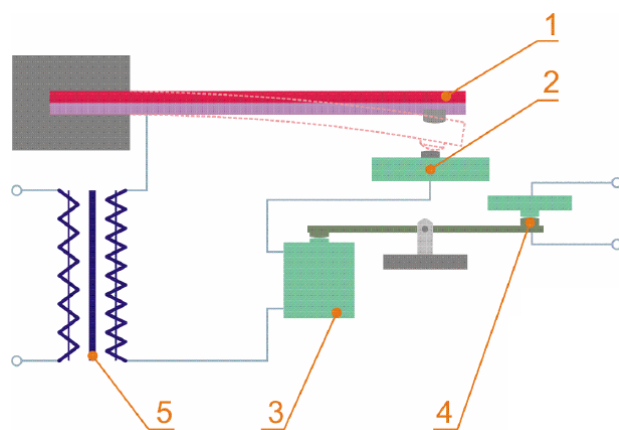
Obr. 1. Princíp činnosti bimetalového snímača teploty a jedno konštrukčné vyhotovenie

V mnohých technických aplikáciách (napr. v automatických práčkach) sa používajú **tlakové teplomery** s teplomerným médiom (najčastejšie na báze liehu) v uzavretom objeme, ktorého tlak reprezentuje hodnotu sledovanej teploty (Obr. 3).



Obr. 3 Tlakový teplomer

- 1 – nádobka,
- 2 – spojovacia kapilára,
- 3 – Bourdonova trubica



Obr. 2 Dvojpolohová regulácia teploty

## 1.2. Odporové kovové snímače teploty

**Odporové snímače teploty** sú založené na princípe zmeny elektrického odporu v závislosti od teploty. Pri elektrických vodičoch odpor s rastúcou teplotou rastie a pri polovodičoch zvyčajne klesá (Obr. 4). Odporové kovové teplomery sú vo všeobecnosti určené na meranie **teplôt v rozsahu od -200 do +1000 °C**. K základným požiadavkám na materiál odporových snímačov teploty patrí dostatočne veľká hodnota a stálosť teplotného koeficienta odporu a minimálna hodnota špecifického odporu samotného vodiča.

Pre **malý rozsah teplôt od 0 °C do 100 °C (presnosť merania okolo 1 %)** možno určiť hodnotu odporu kovu pri teplote  $t$  podľa vzťahu

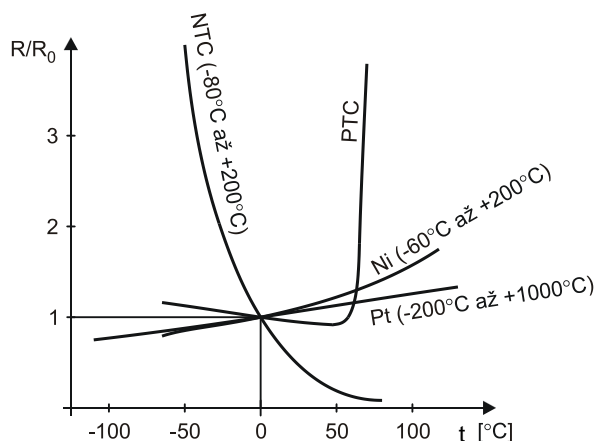
$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

kde  $\alpha$  [K<sup>-1</sup>] je teplotný koeficient odporu,

pričom 
$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0}$$

kde  $R_{100}$  je odpor pri teplote  $t = 100$  °C,  
 $R_0$  odpor pri teplote  $t = 0$  °C.

Pre väčšie rozsahy teplôt platia nelineárne rovnice v závislosti od použitého materiálu.



Obr. 4. Prevodové charakteristiky odporových snímačov teploty; Pt-platinový, Ni-niklový, PTC-pozistor, NTC-negastor, termistor

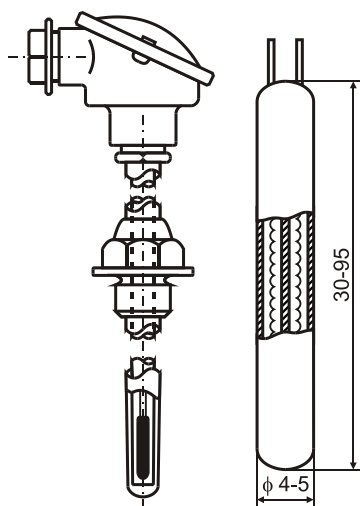
Z kovových materiálov sa pri výrobe snímačov teploty uplatňuje najmä **platina**, pre menej náročné aplikácie aj **nikel**, **meď** a **molybdén**. Na Obr. 4 sú naznačené normované charakteristiky (0 °C, 100 Ω) vybraných kovových a polovodičových materiálov vhodných pre odporové snímače teploty. Platínu charakterizuje mimoriadna chemická odolnosť, stabilitas parametrov, vysoká teplota tavenia a známa technológia na dosiahnutie vysokej čistoty.

Pre snímače teploty sa používa tzv. **fyzikálne čistá** platina, ktorej čistota sa pohybuje od 99,93 % do 99,99 %.

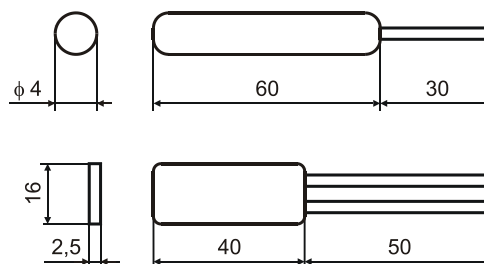
**Meracie odporové články (Pt 100, pri 0 °C → 100 Ω)**, ktoré tvoria základnú konštrukčnú časť snímača, sa vyrábajú

- drôťovou technológiou (v súčasnosti najčastejšie riešenie),
- tenkovrstvovou technológiou,
- hrubovrstvovou technológiou.

Drôťový merací odpor je vytvorený špirálovito stočeným platinovým drôťom (priemer od 0,01 mm do 0,05 mm) zataveným do keramického alebo skleneného telieska. Ich celkové usporiadanie reprezentujú hlavne keramické valčekové (Obr. 5a) alebo ploché meracie články (Obr. 5b)

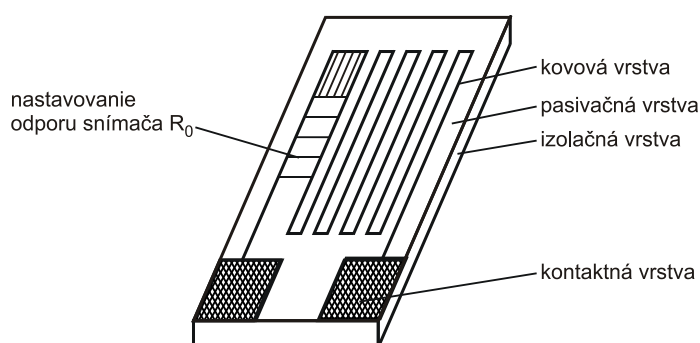


Obr. 5a. Pt odporový snímač teploty Pt100, konštrukčné usporiadanie a merací článok



Obr. 5b. Príklady keramických platinových meracích odporov Pt100, ich rozmery

**Tenkovrstvovou technológiou** sa realizujú platinové snímače teploty na podložke  $Al_2O_3$  (korundová keramika) technikou napaarovania a iontovým leptaním. Príklad usporiadania je na Obr. 6.

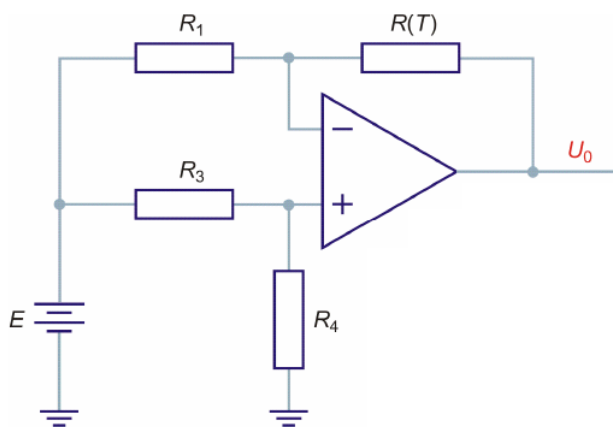


Obr. 6. Tenkovrstvový odporový senzor teploty

Pre prevádzkové platinové snímače teploty je dôležitá **zameniteľnosť** umožňujúca zostavovať meracie obvody zo snímačov a prevodníkov tak, aby bolo možné merať s chybami v určitých dohodnutých medziach bez overovania presnosti meracieho kanála (napr. aj pri výmene snímača). Z tohto dôvodu boli národnými normami určené základné parametre platinových meracích odporov, vrátane prípustných odchýlok (napr. u nás dlho platná ČSN 356720). V rámci harmonizácie noriem, sú určujúce normy IEC 751 (STN 25 8306 Prevádzkové odporové snímače teploty). Platinové meracie odpory sa podľa nich vyrábajú v

dvoch tolerančných triedach (A, B). K dispozícii sú snímače typu Pt50, 100, 200, 500, 1000 a 2000 Ω.

### Vyhodnocovacie obvody odporových snímačov teploty



Obr. 7. Pripojovací obvod využívajúci operačný zosilňovač

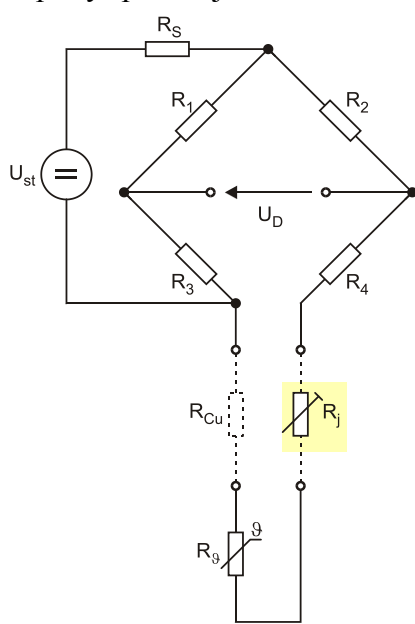
Okrem chýb samotného meracieho odporu (citlivého prvku) môžu chyby merania vznikajúť v dôsledku: **vlastného ohrevu, chýb v pripojovacom obvode, alebo odporu prívodných vodičov.** Vlastný ohrev sa dá minimalizovať znížením prúdu, ktorý preteká cez odpor. Jednoduchý merací (vyhodnocovací, pripojovací) obvod odporového snímača teploty uvádza Obr. 7. Výstupné napätie takéhoto obvodu (predpokladáme ideálne vlastnosti operačného zosilňovača) dosahuje:

$$U_0 = E \frac{R_3}{R_3 + R_4} \left( \frac{R_4}{R_3} - \frac{R(T)}{R_1} \right)$$

Pomocou odporov  $R_3$  a  $R_4$  sa dá výstup nastaviť na nulu pri ľubovoľnej teplote (napr. pri 0°C). Odporom  $R_1$  sa nastavuje citlivosť obvodu. Presnosť tohto obvodu samozrejme podmieňuje tolerancia napäťového zdroja  $E$  ako aj tolerancie odporov  $R_1$ ,  $R_3$  a  $R_4$ , ktoré by všetky mali byť vybrané podľa požiadaviek na merací systém.

Odporové snímače teploty sa často zapájajú do mostíka, čím sa znižuje nelinearita a neželané vzájomné interferencie. Podstatný vplyv môže mať odpor prívodných vodičov, najmä ak sa snímač nachádza ďaleko od meracieho obvodu. Vplyv odporu prívodných vodičov sa dá kompenzovať rôznymi spôsobmi. Obr. 8., 9. a 10 uvádza tri základné konfigurácie – **dvojvodičové, trojvodičové a štvorvodičové** zapojenie. Kritériom je nulový výstup ( $U_D$ ) pri určitej referenčnej teplote (napríklad pri 0°C).

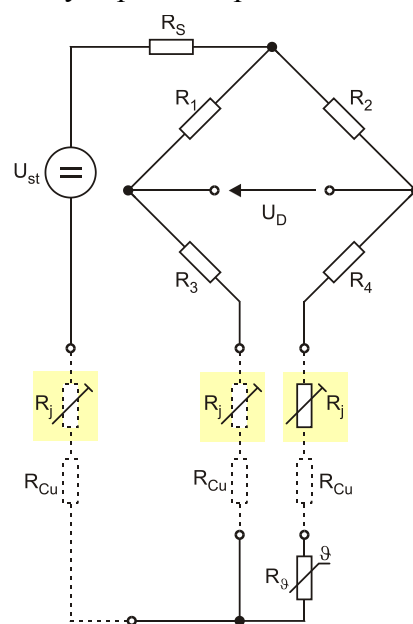
Merací odpor  $R_g$  je zapojený do jednej vetvy odporového mostíka. Jeho zmena vplyvom teploty spôsobuje rozváženie mostíka, ktoré sa prejavuje zmenou výstupného napätia  $U_D$ .



Obr. 8. Dvojvodičové zapojenie senzora Pt100

Pri vyhotoveniach s dvoma vývodmi sa používa tzv. dvojvodičové (Obr. 8) a trojvodičové (Obr. 9) pripojenie snímača k vyhodnocovaciemu obvodu. Pri presných meraniach teploty (pod 0,5 %) je potrebné použiť štvorvodičové zapojenie (Obr. 10).

V uvedených schémach je  $U_{st}$  stabilizovaný zdroj napätia,  $R_J$  justičný, resp. vyrovnávací odpor,  $R_g$  je merací odpor (platinový),  $R_{Cu}$  je odpor natiahnutého vedenia bez justície.



Obr. 9. Trojvodičové zapojenie senzora Pt100



Odpor prírodného vedenia  $R_V$  (tj. skutočný odpor vedenia  $R_{Cu}$  s vyrovnávacím odporom  $R_j$ ) je vo výrobe pri vyvažovaní mostíka uvažovaný  $R_V = 20 \Omega$  alebo  $50 \Omega$ . Preto je nutné pri montáži takto usporiadaných meracích členov skutočný odpor medeného vedenia  $R_{Cu}$  doplniť na požadovanú hodnotu  $R_V$  vyrovnávacím odporom  $R_j$  (pri dvojvodičovom zapojení, pri trojvodičovom zasa na rovnakú hodnotu vo všetkých prírodných vetvách alebo tak ako je uvedené v pokynoch výrobcu).

**Pri dvojvodičovom zapojení** sa uplatňuje odpor prírodných vedení  $R_V$ , ale najmä jeho zmena vplyvom zmien teploty okolia. Táto chyba merania dosahuje hodnoty až  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vplyvom teplotnej závislosti odporu  $R_{Cu}$  je zrejmé, že dvojvodičové zapojenie je použiteľné len pre **kratšie vzdialenosti** a **vyššie teploty**, kde relatívna chyba dosahuje menšie hodnoty. Pri meraní **teplôt blízkych teplotám okolia** (napr. od  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a **pre väčšie vzdialenosti** snímača od vyhodnocovacieho prístroja (od mostíka) je nutné použiť **trojvodičové pripojenie**, ktoré potláča (neúplne) vplyv prírodných vedení, čo vyhovuje pri požadovanej presnosti okolo 1 %.

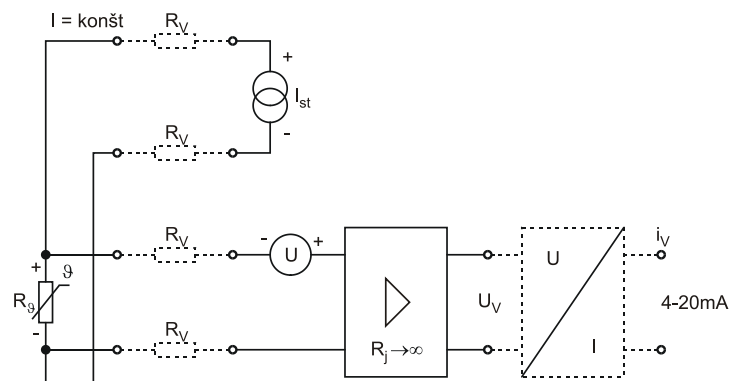
Vplyv odporu prírodných vedení sa neuplatní pri **štvorvodičovom zapojení** odporového kovového snímača teploty (Obr. 10) za predpokladu, že  $R_i > 10^5 \Omega$  (vstupný odpor operačného zosilňovača). Potom pre zapojenie štvorvodičového meracieho obvodu so zdrojom konštantného prúdu  $I_{st}$  a pomocným zdrojom napätia  $U$  platí

$$U_v = I_{st} \cdot (R_{\vartheta p} - \Delta R_{\vartheta}) + U$$

Ak platí, že  $U = I_{st} \cdot R_{\vartheta p}$ , kde  $R_{\vartheta p}$  je počiatková hodnota odporu snímača (spodný bod rozsahu teploty), je možné nastaviť pomocou  $U$  počiatok stupnice rozsahu, čiže

$$U_v = I_{st} \cdot R_{\vartheta}$$

V moderných riešeniach meracích členov teploty sa uplatňuje štvorvodičové pripojenie vzhľadom na požadovanú presnosť merania. Z tohto istého dôvodu sa v súčasnosti vyžaduje linearizácia prevodovej charakteristika platínového odporového snímača teploty.



Obr. 10. Štvorvodičový merací obvod

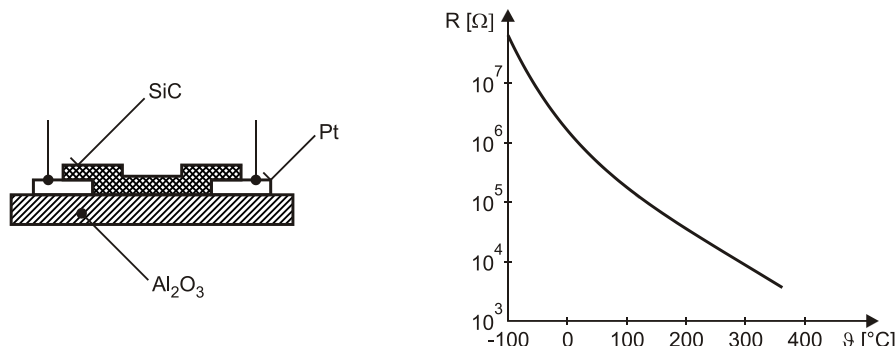
### 1.3. Odporové polovodičové snímače teploty

Polovodičové odporové snímače teploty využívajú, podobne ako kovové, závislosť odporu na teplote. Hodnota teplotného koeficienta odporu polovodičov býva niekoľkonásobne väčšia ako pri kovoch, pričom podľa jeho charakteru sa tieto prvky delia na (Obr. 4):

- **termistory** - negastory,  
- pozistory,
- **monokryštalické** odporové snímače.

V priemyselnej automatizačnej technike sa používajú na priame meranie teploty hlavne **termistory – negastory** (*NTC, Negative Thermal Coefficient*) vzhľadom na zložité pracovné prostredia (striedavé tepelné namáhanie, vlhkosť, otrasy, a pod.), v ktorom dosahujú dostatočnú opakovateľnosť merania. Ostatné polovodičové snímače plnia túto úlohu len v odôvodnených prípadoch, a to najmä pri sledovaní teploty ako poruchovej veličiny v aktívnych automatizačných prvkoch.

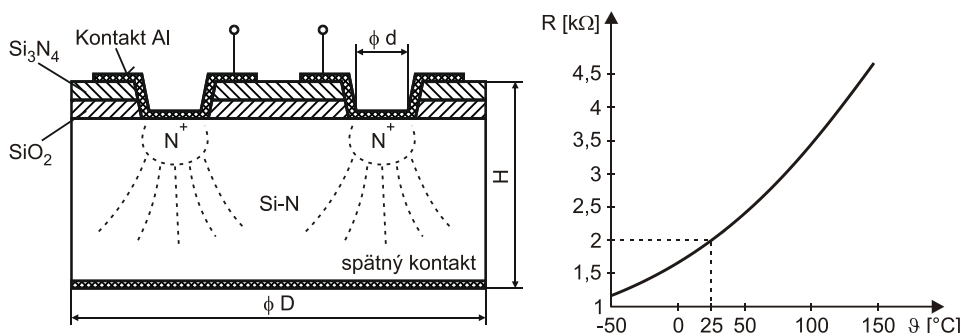
**Negastory** sú termistory so záporným teplotným koeficientom odporu. Vyrábajú sa práškovou technológiou zo zmesi oxidov kovov (napr.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO} + \text{CoO}$  a pod.) a spevňujú sa zlisovaním za vysokých teplôt. Teplotné rozsahy termistorov sa pohybujú od bežných  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  do  $150\text{ }^\circ\text{C}$  až do extrémnych rozsahov v oblastiach nízkych teplôt od  $4,2\text{ K}$  a vysokých teplôt do  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .



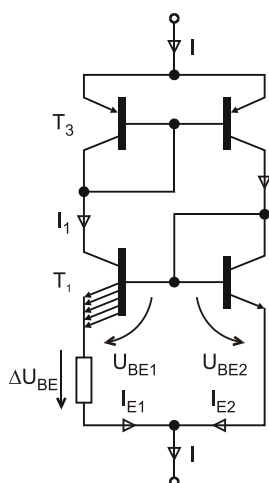
Obr. 11. Sensor teploty SiC a jeho prevodová charakteristika

Na Obr. 11 je naznačená štruktúra a prevodová **charakteristika tenkovrstvového negastora SiC na podložke  $\text{Al}_2\text{O}_3$** . Tento polovodičový senzor, ktorý sa vyrába technológiou IO - napařovaním, je vhodný pre teploty od  $-100\text{ }^\circ\text{C}$  do  $+450\text{ }^\circ\text{C}$ . Referenčná hodnota odporu SiC senzora pri  $25\text{ }^\circ\text{C}$  sa pohybuje v rozpätí (1600 až 3400)  $\text{M}\Omega$ .

**Polovodičové monokryštalické senzory teploty** (Obr. 12) sa zhotovujú z kremíku, germánia, india a ich zliatin. V priemyselnej praxi sa sériovo vyrábajú Si senzory pre meranie teplôt v rozsahu od  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  do  $+150\text{ }^\circ\text{C}$ . Odpor senzora sa s teplotou zvyšuje podobne ako u kovov, ale jeho prevodová charakteristika má tvar paraboly.



Obr. 12. Sensor teploty SiC a jeho prevodová charakteristika



Obr. 13. Integrovaný polovodičový senzor teploty

**Diódové senzory teploty** využívajú teplotnú závislosť úbytku napätia na dióde, ktorou preteká konštantný prúd. Meracie členy s diódovým senzorom pracujú s chybou linearít (0,5 až 1,5) %, podľa požadovaného teplotného rozsahu. **Tranzistorové senzory teploty** sú podobné diódovým, t.j. sú založené na závislosti napätia  $U_{BE}$  (báza-emitor) na teplote tranzistora, tzn. na teplote okolia. V súčasnosti sa v oblasti komerčných zariadení a prístrojov presadzujú **integrované senzory teploty (IST)**, pri ktorých senzory a elektronické vyhodnocovacie obvody tvoria jeden monolitický prvok. Príklad takéhoto senzora teploty s PN prechodom je na Obr. 13. Teplotne citlivé PN prechody tranzistorov reprezentujú BE (báza-emitor) prechody tranzistorov  $T_1$  a  $T_2$ . Tieto tranzistory sú napájané dvoma zhodnými prúdmi  $I_1$  a  $I_2$  z tzv. prúdového zrkadla

tvoreného tranzistorami  $T_3$  a  $T_4$ . Pre výsledný prúd  $I$  platí

$$I = K \cdot T$$

kde  $K$  je konštanta integrovaného senzora.

### 1.4. Termoelektrické články

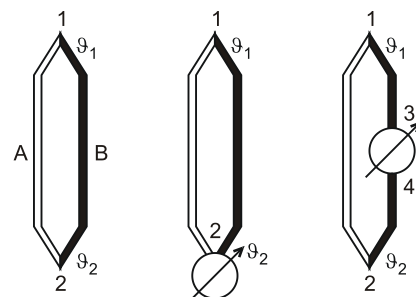
**Termoelektrické články**, skrátene termočlánky, sú založené na Seebeckovom alebo termoelektrickom jave, tzn. na jave, ktorý spôsobuje v tomto systéme prevod tepelnej energie na elektrickú. Termočlánky pozostávajú z dvoch vodičov rôznych kovových alebo polovodičových materiálov, ktoré sú na jednom konci spolu pevne spojené zvaraním alebo spájkovaním Obr. 14.

V uzavretom termoelektrickom obvode preteká elektrický prúd v tom prípade, ak majú oba konce 1 a 2 termočlánku rozdielnu teplotu. V prípade rozpojenia toho obvodu, na vytvorených svorkách vznikne elektrické tzv. **Seebeckovo napätie**.

$$U = \alpha(\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

Termoelektrický koeficient  $\alpha$  predstavuje hodnotu rádovo jednotky až desiatky  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , pri polovodičoch je to však viac ako  $100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

Podľa požiadaviek na voľbu dvojíc materiálov (tzn. definovateľnosť a stabilitu závislosti  $U=f(\Delta\vartheta)$ , rozsah teplôt, odolnosť proti korózii a chemickým vplyvom) sú páry materiálov pre vytváranie termočlánkov normalizované. Podľa odporúčania IEC (*IEC 584 Termoelektrické články*) sa termočlánky označujú **veľkými písmenami** (Tab. 1), a nie podľa skratky materiálov, ako to bolo v národných normách.



Obr. 14. Princíp termoelektrického článku

Tabuľka 1 Normalizované termoelektrické články, výňatok z IEC

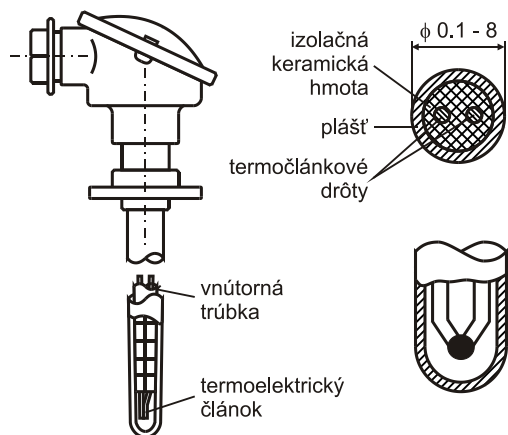
Označenie druhu termoelektrického článku	Druh termoelektrického článku (materiály)	Merací rozsah pri dlhodobom použití ( $^\circ\text{C}$ )	Max. teplota pri krátkodobom použití ( $^\circ\text{C}$ )
<i>M</i>	meď–kopel	-200 až +100	-
<i>T</i>	meď–meď–nikel (meď–konštantán)	-200 až +400	-
<i>J</i>	Železo–meď–nikel	-200 až +700	900
<i>Fe-ko (nie IEC)</i>	(železo–konštantán)	200 až +650	900
<i>L</i>	chromel–kopel	-200 až 600	800
<i>E</i>	nikel–chróm–nikel–hliník (chromel–konštantán)	-100 až +700	900
<i>S</i>	platinarhodium 10%–platina	0 až +1300	1600
<i>R</i>	platinarhodium 13%–platina	0 až +1300	1600
<i>A</i>	wolframrhenium 5%–wolframrhenium 20%	0 až +2200	2500

Prednostne sa používajú **termočlánky druhu J, K a S**. Označenie *Fe-ko* (konštantánový vodič je zliatinou 45 % Ni a 55 % Cu, zodpovedá približne termočlánku J) sa môže použiť pri výrobkoch dodávaných ako náhradné diely.

Použitie termočlánku podmieňuje jeho konštrukčné riešenie. V automatizačnej technike sa uplatňujú tieto riešenia:



- termoelektrické články v ochrannom puzdre,
- plášťové termočlánky,
- priame termoelektrické články (bez ochrany puzdrom).



V prvom prípade sú termočlánky vytvorené spojením (zvarením, tvrdým spájkovaním) dvoch kovov, ktoré sú umiestnené v ochrannom puzdre, čím sú články chránené pred nepriaznivými vplyvmi prostredia, čo predlžuje ich technický život (Obr. 15).

Plášťové termočlánky sú vytvorené tak, že dvojica kovov v tvare drôtu je umiestnená v plášti, tzn. v tenkej rúrke, od ktorej je táto dvojica izolovaná keramickým práškom. Plášťové termoelektrické snímače sa vyznačujú dlhodobou stabilitou a malou časovou konštantou.

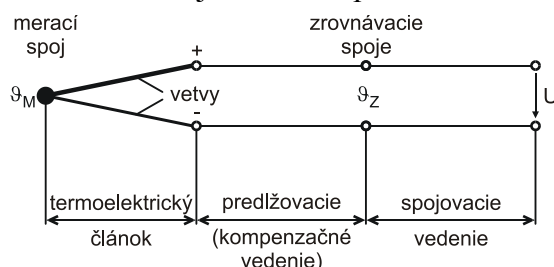
Obr. 15. Tyčový priemyselný termočlánok s ochranným puzdrom; plášťový termočlánok s izolovaným meracím koncom

### Vyhodnocovacie obvody termočlánkov

Na vyhodnocovacie obvody termočlánkov sú kladené hlavne tieto požiadavky:

- minimalizácia vplyvu kolísania porovnávacích teplôt, tzn. konštantná teplota porovnávacieho spoja,
- minimalizácia vplyvu odporu prírodných vedení,
- potlačenie rušivých signálov (napr. kompenzácia parazitných termoelektrických napätí).

Usporiadanie meracieho reťazca s termočlánkom je na Obr. 16. Termočlánok vyhodnocuje rozdiel teplôt  $\vartheta_M$ ,  $\vartheta_Z$ , a tak, pokiaľ nie je tento rozdiel cieľom merania, je nevyhnutné vplyv kolísania teploty  $\vartheta_Z$  eliminovať. Ak vyhodnocovacie elektronické obvody nie sú v blízkosti meracieho miesta, je vhodné **termočlánok predĺžiť prostredníctvom predlžovacieho (kompenzačného) vedenia po porovnávacie spoje**. Kompenzačné vedenie vlastne predlžuje obe vetvy termočlánku až po porovnávacie spoje, čím sa zabráni vzniku poruchového termonapätia z parazitného termočlánku, ktorý vznikne pripojením iného materiálu do termoelektrického obvodu. Tento ďalší termočlánok reprezentuje jedna vetva termočlánku a jedna vetva predlžovacieho vedenia, čo môže spôsobiť **chybu merania až do hodnôt niekoľkých percent**. Z tohto dôvodu je kompenzačné vedenie spravidla zhotovené z rovnakého materiálu ako termočlánok alebo je kompenzačné vedenie vytvorené zo vzácnych kovov. Z ekonomických dôvodov však býva toto vedenie z lacnejších zliatin s podobnými termoelektrickými vlastnosťami ako vlastný termočlánok.

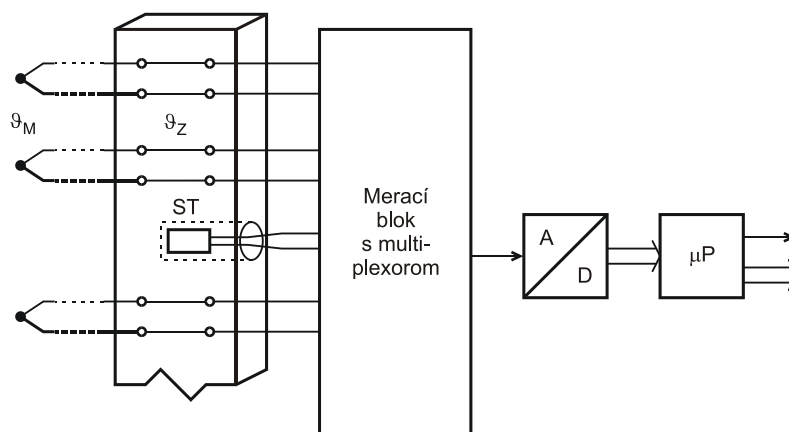


Obr. 16. Zapojenie meracieho reťazca s termočlánkom,  $\vartheta_M$  meraná teplota,  $\vartheta_Z$  porovnávacia teplota

Ak by teplota  $\vartheta_Z$  nebola konštantná a presne definovaná (napr. v príslušnej norme), alebo by nebola použitá automatická kompenzácia jej zmien, vzniká vo vyhodnocovacom obvode relatívna systematická chyba merania. Klasickú a stále používanú kompenzáciu

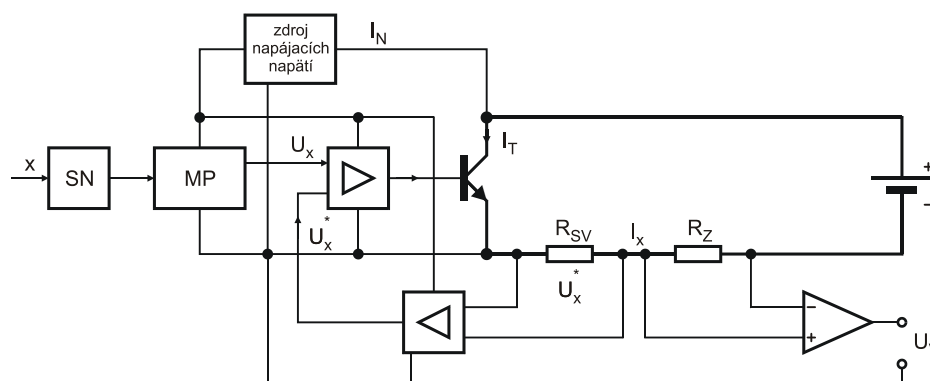
**Meranie procesných veličín**

kolísania porovnávacej teploty rieši tzv. **kompenzačná skrinka**. Patrí k automatickej aktívnej kompenzácii, čiže v obvode termočlánku sa riadi napätie s podporou pomocného zdroja, tak aby zodpovedalo konštantnej a požadovanej teplote porovnávacieho spoja. V číslicových meracích kanáloch s termočlánkami sa obyčajne rieši kompenzácia kolísania porovnávacej teploty  $\vartheta_Z$  priamo jej meraním, tzn. meraním teploty pripojovacej svorkovnice, (Obr. 17). Teplota sa sníma senzorom ST (odporový kovový alebo polovodičový senzor) a korekcia sa rieši číslicovo.



Obr. 17. Meranie teploty pripojovacej svorkovnice v ČMČ teploty

Zapojenie dvojvodičového prevodníka s termočlánkovým snímačom je na Obr. 18. Meraná procesná veličina  $x$  je snímaná napr. termočlánkom (snímač SN) a meracím prevodníkom MP upravený signál  $U_x$  sa porovnáva so signálom  $U_x^*$  zo spätnej väzby regulátora prúdu vo výstupnom obvode. Pri nulovej regulačnej odchýlke ( $U_x - U_x^* = 0$ ) sa prúdový signál  $I_x$  ((4 až 20) mA) ustáli, pričom na zaťažovacom odpore  $R_z$  sa vytvára výstupný napätový signál  $U_v$  úmerný veličine  $x$ .



Obr. 18. Dvojvodičový prevodník s termočlánkom

### 1.5. Bezdotykové meranie teploty (pyrometria)

Bezdotykové meranie teploty je založené na vyhodnocovaní tepelného – infračerveného žiarenia v oblasti od  $0,8 \mu\text{m}$  do  $30 \mu\text{m}$ , čo reprezentuje rozsah teplôt od  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Infračervené žiarenie patrí k elektromagnetickým žiareniam, a tak sa vyznačuje rovnakými vlastnosťami ako svetelné žiarenie. To znamená, že sa šíri priamočiaro, odráža sa, láme, polarizuje a interferuje. Výhody bezdotykového merania teploty možno zhrnúť do týchto bodov:

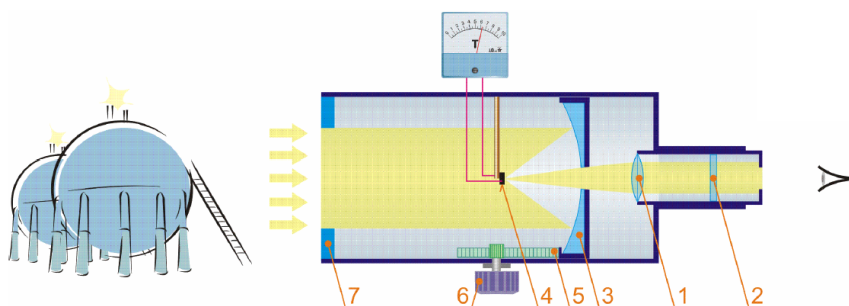
- zanedbateľný vplyv meracieho prvku na meraný objekt,
- možnosť merania teploty pohybujúceho sa (rotujúceho) telesa,
- možnosť merania rýchlych zmien teploty,
- plošné snímanie teploty objektu (termovízia).

Medzi nevýhody tohto merania patria hlavne nižšia presnosť merania (celkovú chybu merania spôsobuje nepresnosť určenia emisivity meraného telesa), nejednoznačná priechodnosť infračerveného žiarenia prostredím a odrazy tohto žiarenia od okolitého prostredia.

**Snímače infračerveného žiarenia** možno rozdeliť do dvoch základných skupín

1. **fotoelektrické snímače** (kvantové) – využívajú fotoelektrický jav
  - fotorezistory,
  - fotodiódy
2. **teplotné snímače** – využívajú absorpciu infračerveného žiarenia na zmenu svojej teploty
  - bolometre – citlivý prvok je odporový snímač
  - pyrometre – citlivý prvok je termočlánok alebo pyroelektrické senzory (Obr. 21),
  - špeciálne snímače.

Fotoelektrické snímače majú selektívnu frekvenčnú charakteristiku a nedajú sa použiť pre širší spektrálny rozsah. Naopak, teplotné snímače majú väčšinou širokú spektrálnu charakteristiku vlnových dĺžok. Používajú sa v rozsahu (1 až 100)  $\mu\text{m}$  a viac. Väčšina uvedených snímačov generuje viac druhov šumov, ktoré ovplyvňujú ich vlastnosti, ale len niektoré sú dominantné a treba ich pri meraní potláčať. Príklady niektorých typov teplotných snímačov sú uvedené na obrázkoch.

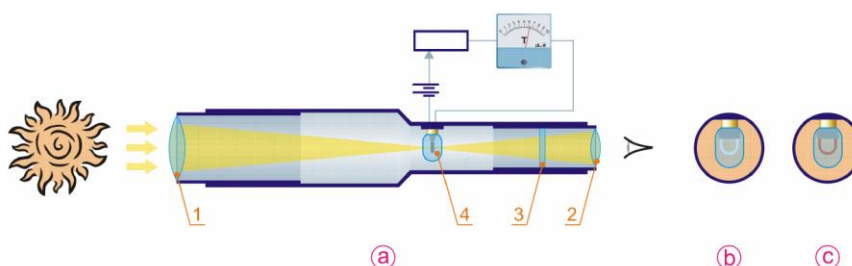


Obr. 19 Radiálny pyrometer

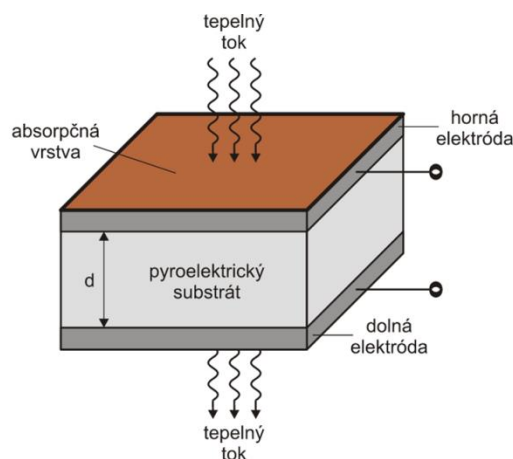
- 1 – šošovka, 2 – ochranná clona, 3 – pozlátené (postriebrené) zrkadlo, 4 – citlivý prvok, 5 – prevod, 6 – nastavovací gombík, 7 – vstupná clona

Obr. 20 Optický pyrometer s premenlivou svietivosťou žiarovky

- a) konštrukčná schéma,
  - b) vlákno žiarovky jasnejšie ako meraný objekt,
  - c) meraný objekt jasnejší ako vlákno žiarovky
- 1 – vstupná šošovka,
  - 2 – okulárová šošovka,
  - 3 – filter, 4 – pyrometrická žiarovka



Pyroelektrický jav sa objavuje u materiálov, ktoré sú schopné generovať elektrický náboj ako odozvu na tepelný tok. Tento jav je veľmi úzko spojený s piezoelektrickým javom. Podobne ako piezoelektrický senzor, tak i pyroelektrický senzor je tvarovaný ako tenká doštička s elektródami na snímanie tepelne indukovaného náboja. Pyroelektrický senzor je svojou podstatou kondenzátor, ku svojej činnosti nepotrebuje žiadne vonkajšie napájanie, t.j. jedná sa o aktívny senzor. Na vyhodnotenie signálu sú potrebné vhodné elektronické obvody na spracovanie náboja.



Obr. 21. Pyroelektrický senzor