



Měření teploty

Obsah přednášky

- Měření teploty: obecné principy, měřicí přístroje (konvenční teploměry, termočlánky, odporové snímače)
- Termistory a tlakové teploměry
- Bezdotykové radiační teploměry (pyrometry)

Měření teploty

- Teplota je měřítkem toho, jak je něco chladné či teplé a může být vyjádřena několika různými stupnicemi.
- Nejčastěji v Kelvinech (SI soustava) nebo stupních Celsia.
- Méně často Fahrenheity (USA) či Rankinovy stupně.
- Například 0 °C odpovídá 32 °F a 100 °C odpovídá 212 °F.
- Nejčastěji měřená fyzikální veličina napříč vědními obory.
- Lze měřit přístroji založenými na různých fyzikálních principech.

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8} = \text{K} - 273.15 \quad (1)$$

Základní dělení přístrojů pro měření teploty

- Konvenční (tradiční) přístroje pro měření teploty
 1. Rtuťové teploměry
 2. Bimetalové teploměry

- Přístroje pro měření teploty s elektrickým výstupem (využívají změny elektrické veličiny)
 1. Termočlánky (typ K, J, T, R, S,)
 2. Odporové snímače teploty (RTD, Pt100, ...)
 3. Termistory (podobné jako RTD, vyšší citlivost)
 4. Radiační teploměry (bezdotykové)

- Speciální přístroje pro vyhodnocení teploty
 1. Tlakové teploměry

Tradiční teploměry

- Většinou nemají elektrický výstup (bimetalový teploměr, rtuťový teploměr apod.)
- Žádné z těchto měřidel teploty není vhodné pro dynamické měření teploty (rychlé změny v čase)



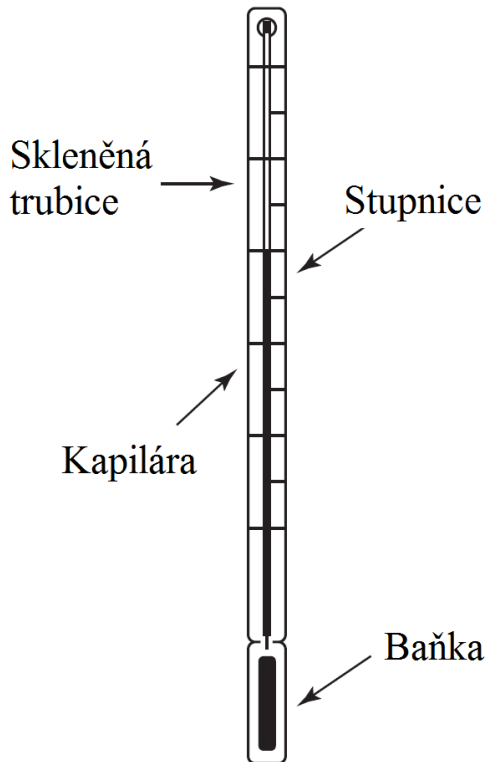
Tradiční teploměry

Rtuťový teploměr

- Principem je tepelná roztažnost kapaliny (rtuť, alkohol, ...)
- Vhodné pro rychlý odečet teploty
- Relativně spolehlivé a zachovává si přesnost po mnoho let (obvykle až ± 0.2 °C)
- Použití mimo jiné pro kalibraci jiných teplotních měřidel
- Nutné provést kontrolu, zda není poškozen (skleněná trubice, kapalina musí být spojitá apod.)
- Pro přesné měření teploty se ponořují celé do měřeného média

Tradiční teploměry

Rtuťový teploměr



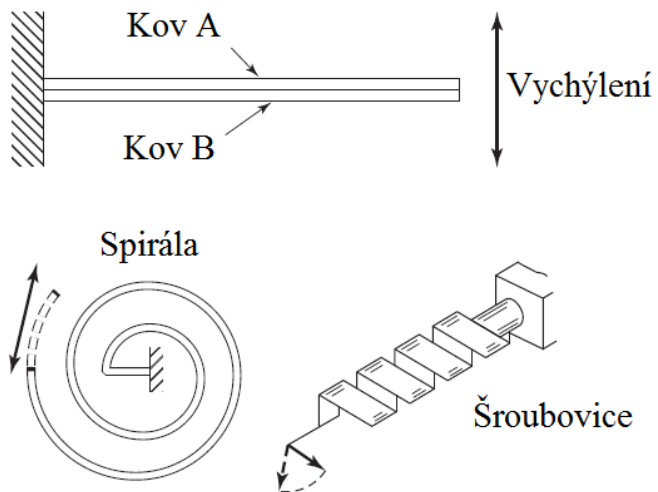
Tradiční teploměry

Bimetalový teploměr

- Principem je rozdílná tepelná roztažnost dvou různých kovů
- Změna teploty způsobí deformaci (vychýlení) mechanického prvku
- Mohou být různého konstrukčního uspořádání
- Použití při procesních měřeních, především pro ovládání a regulaci
- Využívá mechanického prvku, který může např. sepnout spínač apod.
- Nevhodné pro přesné měření teploty

Tradiční teploměry

Bimetalový teploměr



Teploměry s elektrickým výstupem

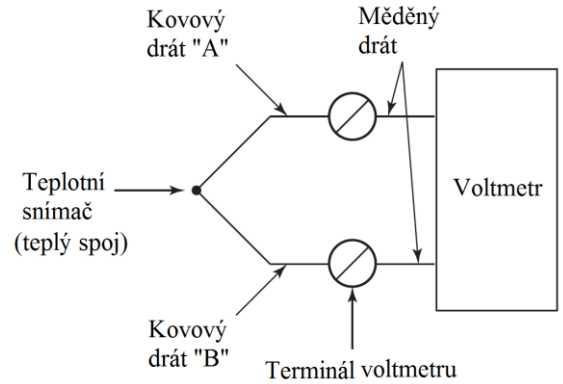
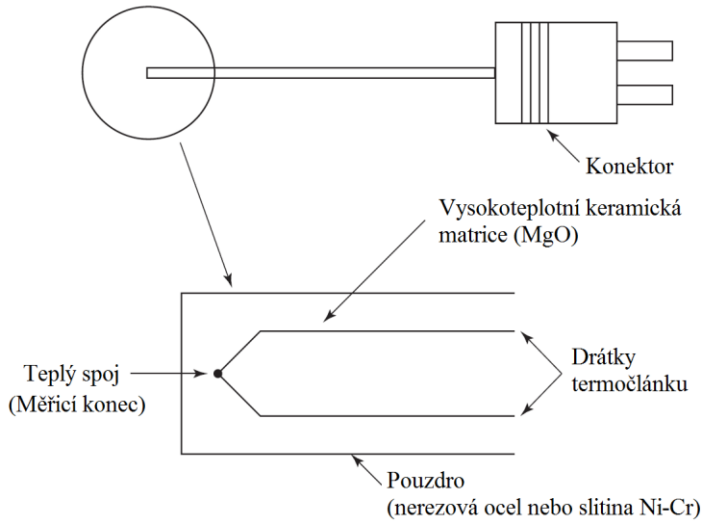
- Mají elektrický výstup, většinou ve formě napětí nebo odporu
- Termočlánky, odporové teploměry (RTD), termistory



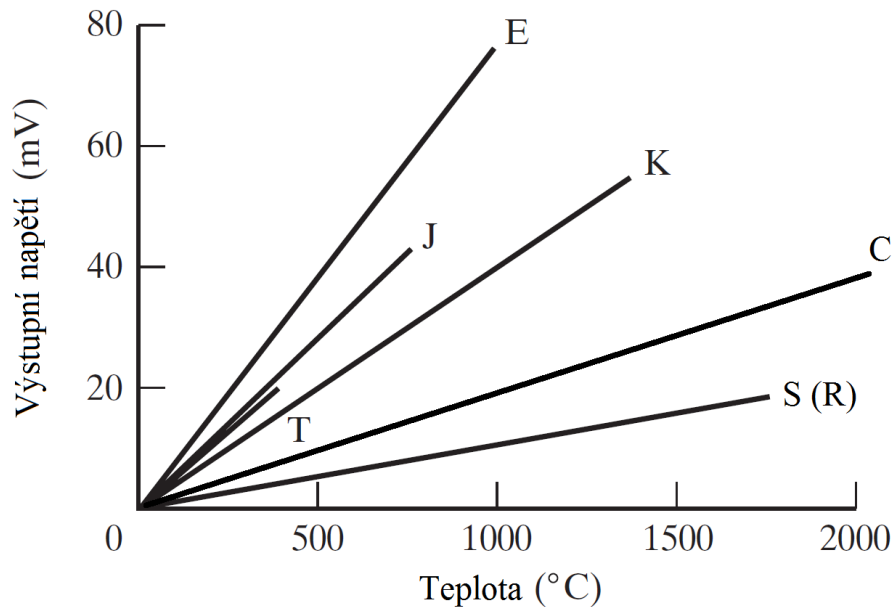
Temočlánkové snímače teploty

- Mají elektrický výstup ve formě generovaného napětí na koncích termočlánku
- Jedná se o relativní měření teploty, porovnáváme rozdíl teplot na obou koncích
- Z toho důvodu je jeden konec vždy udržován při známé teplotě (často při 0 °C)
- Obvykle jsou vhodné pro dynamické měření teploty (rychlé změny v čase), ale záleží na jejich konstrukci
- Mají dobré prostorové rozlišení (jsou relativně malých rozměrů)
- Nejpoužívanější pro dynamická měření teploty
- Přesnost není vysoká, obvykle ± 1 °C, ale i vyšší v závislosti na použitém termočlánku a rozsahu.

Temočlánkové snímače teploty



Temočlánkové snímače teploty



Temočlánkové snímače teploty

Charakteristiky standardních termočlánků

Typ	Materiály	Barevné značení	Měřicí rozsah (°C)	Citlivost (mV/°C)
T	Cu/Konstantan	Modrá	-250 to 400	0.052
E	Chromel/Konstantan	Fialová	-270 to 1000	0.076
J	Fe/Konstantan	Černá	-210 to 760	0.050
K	Chromel/Alumel	Žlutá	-270 to 1372	0.039
R	Pt/(Pt 87 %, Rh 13 %)	Zelená	-50 to 1768	0.011
S	Pt/(Pt 90 %, Rh 10 %)	Zelená	-50 to 1768	0.012
C	(W 95 %, Re 5 %)/(W 74 %, Re 26 %)	Červenohnědá	0 to 2320	0.020

Konstantan (Cu 55 %, Ni 45 %)

Chromel (Ni 90 %, Cr 10 %)

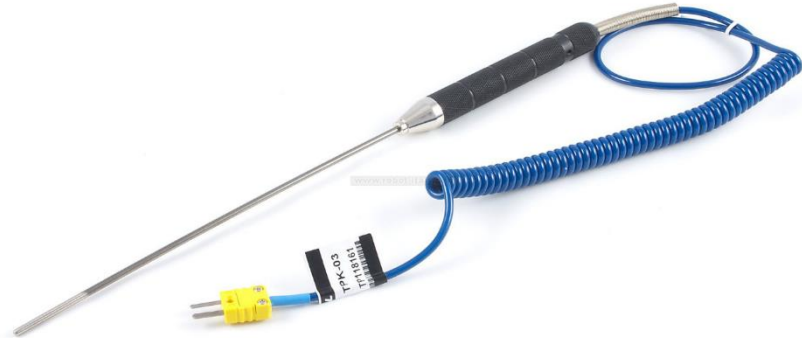
Alumel (Ni 95 %, Al 2 %, Mn 2 %, Si 1 %)



Temočlánkové snímače teploty

Výhody termočlánků

- Jednoduchost
- Odolnost
- Relativně levné
- Široké využití
- Široký rozsah teplot
- Vlastní napájení



Nevýhody termočlánků

- Nelineární
- Relativní měření (nutná reference – studený spoj)
- Nízké napětí (šum)
- Málo stabilní
- Málo citlivé

Odporové snímače teploty (RTD)

- Mají elektrický výstup ve formě elektrického odporu
- Odpor je závislý na teplotě, např. odpor $100\ \Omega$ při teplotě $0\ ^\circ\text{C}$ je tzv. Pt100
- Použití i dalších typů, např. Pt200, Pt1000 apod.
- Mají horší dobu odezvy a prostorové rozlišení než termočlánky (jsou obvykle větší)
- Obvykle přesnější než termočlánky (až $\pm 0.001\ ^\circ\text{C}$ v laboratorních podmínkách)
- Výstup se více přibližuje lineárnímu charakteru než u termočlánků
- Jedná se o přímé měření teploty, nikoliv nepřímé jako u termočlánků
- Stabilnější v čase, vyšší chemická odolnost
- Vyrobeny většinou z Pt, Ni, nebo slitin Ni

Odporové snímače teploty (RTD)

- Calendar–Van Dusenova rovnice:

$$R_T = R_0 \{1 + \alpha[T - \delta(0.01T - 1)(0.01T) - \beta(0.01T - 1)(0.01T)^3]\} \quad (2)$$

- α , β , δ jsou kalibrační konstanty



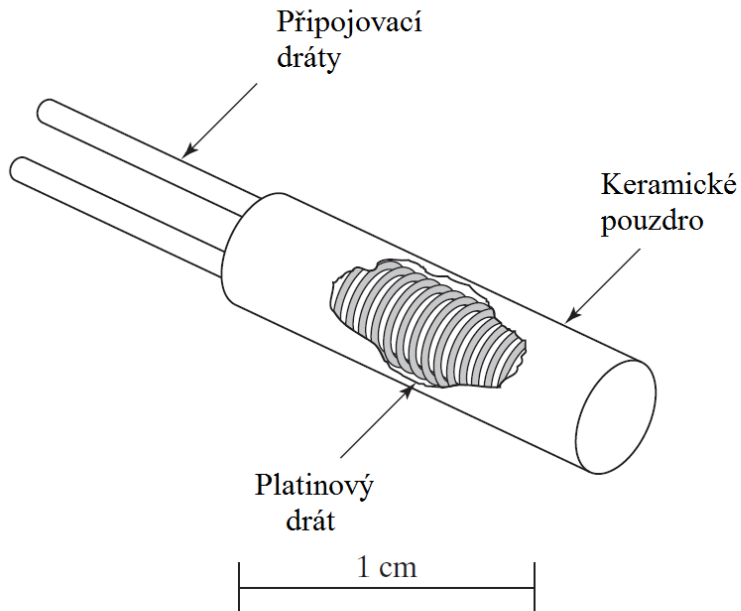
Odporové snímače teploty (RTD)

Platinový RTD (Pt100): Závislost odporu na teplotě $R = f(T)$

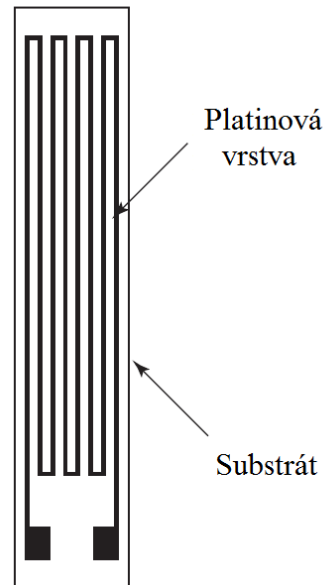
T (°C)	R(Ω)	T (°C)	R(Ω)	T (°C)	R(Ω)
-100	59.57	100	139.16	300	213.92
-90	63.68	110	143.01	310	217.54
-80	67.78	120	146.85	320	221.14
-70	71.85	130	150.68	330	224.74
-60	75.91	140	154.49	340	228.32
-50	79.96	150	158.29	350	231.89
-40	83.99	160	162.08	360	235.44
-30	88.01	170	165.86	370	238.99
-20	92.02	180	169.63	380	242.52
-10	96.01	190	173.39	390	246.05
0	100.00	200	177.13	400	249.56
10	103.97	210	180.86		
20	107.93	220	184.58		
30	111.87	230	188.29		
40	115.81	240	191.99		
50	119.73	250	195.67		
60	123.64	260	199.35		
70	127.54	270	203.01		
80	131.42	280	206.66		
90	135.30	290	210.30		

^a $R = 100 \Omega$ při 0°C .

Odporové snímače teploty (RTD)



(a) Platinový drát



(b) Tenká vrstva (film)

Odporové snímače teploty (RTD)

Výhody RTD snímačů

- Poměrně dobrá stabilita
- Výborná přesnost
- Odolné proti kontaminaci
- Poměrně lineární
- Dobrá opakovatelnost

Nevýhody RTD snímačů

- Relativně drahé
- Vyžadován proudový zdroj
- Zahřívají se
- Horší odezva prostorové rozlišení
- Střední citlivost na malé změny teploty

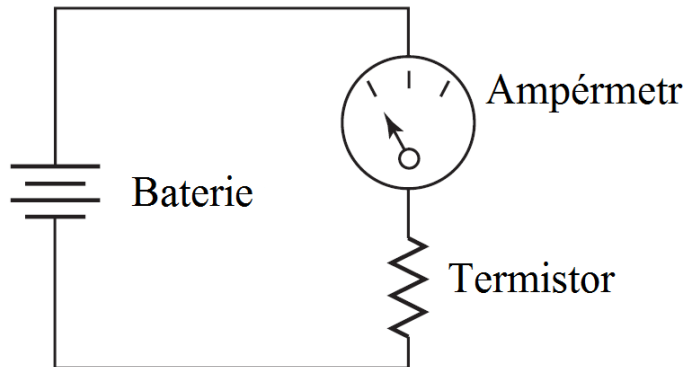


Termistory

- Mají elektrický výstup ve formě odporu (2000 až 10000 Ω) jako RTD snímače
- V tomto případě se však jedná o polovodičovou součástku (pro relativně nízké teploty, cca do 300 $^{\circ}\text{C}$, obvykle pouze do 100 $^{\circ}\text{C}$)
- Vyšší citlivost, tj. změna odporu je mnohem větší při změně teploty v porovnání s RTD (200 $\Omega / ^{\circ}\text{C}$ nebo cca 4 % / $^{\circ}\text{C}$)
- Je možné zhotovit tak, že změna odporu s teplotou může být jak kladná (PTC), tak záporná (NTC)
- Záporná změna je častější, tj. s růstem teploty odpor klesá
- Jsou silně nelineární:
$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C(\ln R)^3 \quad (3)$$
- Mohou být poměrně malé (průměr cca 2.5 mm), avšak pořád jsou větší než některé termočlánky

Termistory (2)

- Horší prostorové rozlišení a dynamická odezva než termočlánky
- Relativně přesné (± 0.1 °C)
- Využití v automobilovém průmyslu (měření teploty chladicí vody), při kompenzaci teplotních vlivů elektronických okruhů, apod.
- Moc se nevyužívají v procesním a inženýrském měření (RTD, termočlánky jsou preferované)



Termistory (3)



Termistory (4)

Výhody termistorů

- Poměrně rychlá odezva
- Vysoký výstupní signál

Nevýhody termistorů

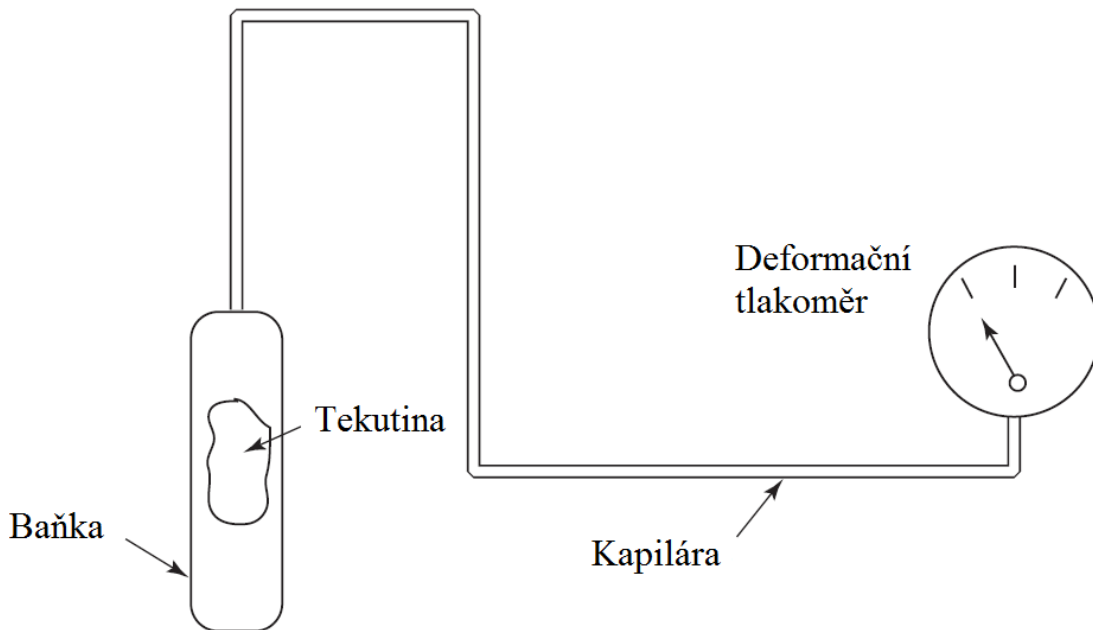
- Nelineární
- Omezený teplotní rozsah
- křehké
- Vyžadován proudový zdroj
- Zahřívají se



Tlakové (kapilárové) snímače teploty

- Využívají změn tlaku při změně teploty
- Kapilára většinou proměnlivé délky
- Používají kapaliny, plyny nebo kombinaci par a kapalin
- V případě plynu se jedná o měření tlaku při stálém objemu (tlak je úměrný teplotě)
- V případě kapaliny se využívá rozdílné tepelné roztažnosti kapaliny a baňky
- V obou případech může mít teplota kapiláry vliv na výsledek
- Proto se využívá kombinace par a kapalin, kdy se měří tlak par
- Postupem času byly nahrazeny termistory

Tlakové (kapilárové) snímače teploty



Radiační snímače teploty (pyrometry)

- Kontaktní měření teploty je při velmi vysokých teplotách často nepraktické nebo neproveditelné (snímač může oxidovat nebo být zničen)
- Proto se využívají radiační bezdotykové snímače teploty na principu snímání vyzařovaného záření
- Lze je používat také za nižších teplot jako alternativu k invazivním metodám (termočlánek, RTD snímač)

Shrnutí přednášky

- Měření teploty pomocí konvenčních způsobů
- Termočlánky vs odporové teploměry
- Termistory
- Pyrometry (bezdotykové)



Děkuji za pozornost!