



Způsoby měření tlaku a teploty

Obsah přednášky

- **Způsoby měření tlaku:**

- 1) *Tradiční přístroje pro měření tlaku*
- 2) *Přístroje pro měření tlaku s elektrickým výstupem*
- 3) *Měření velmi nízkých tlaků*

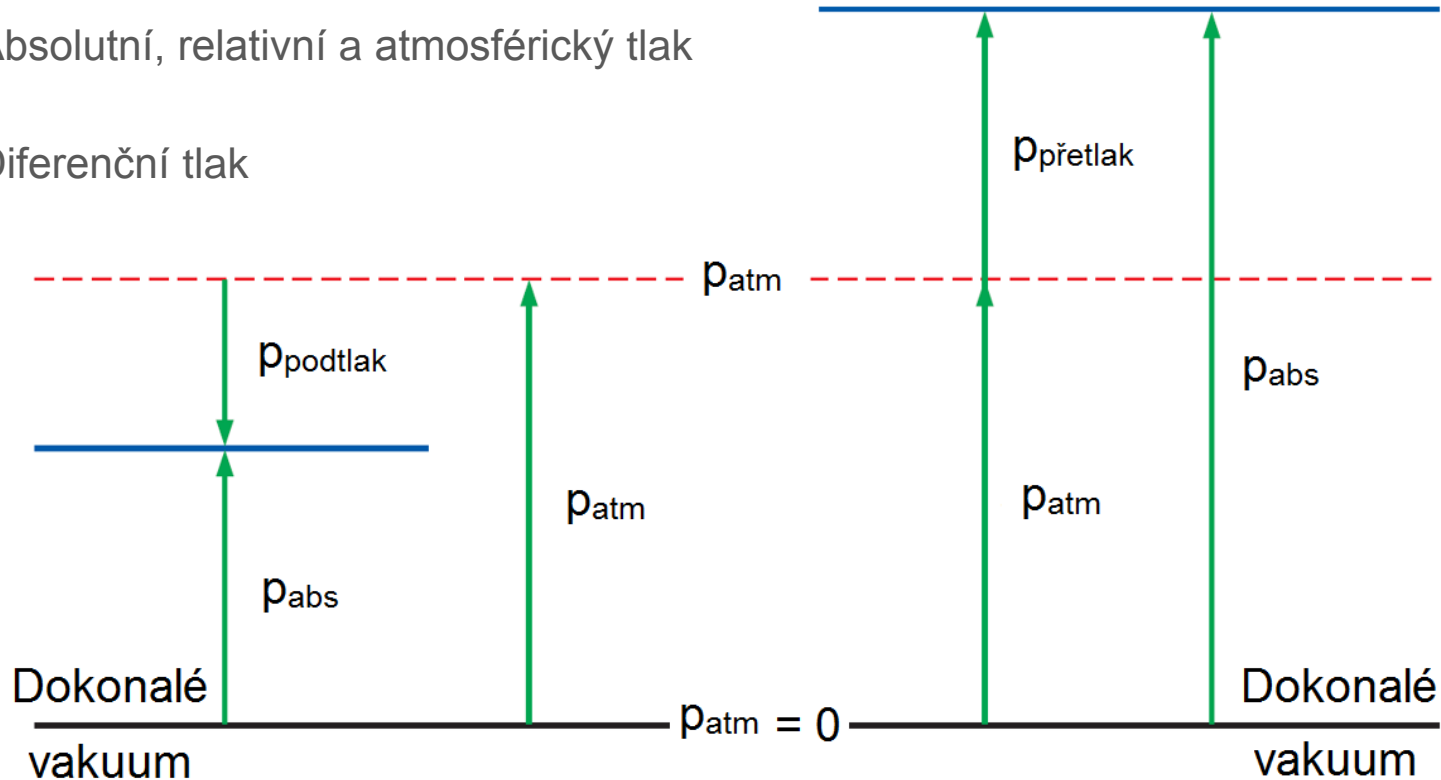
- **Způsoby měření teploty:**

- 1) *Tradiční přístroje pro měření teploty*
- 2) *Přístroje pro měření teploty s elektrickým výstupem*
- 3) *Bezkontaktní měření teploty*

Způsoby měření tlaku

Měření tlaku – Základní pojmy

- Absolutní, relativní a atmosférický tlak
- Diferenční tlak



Měření tlaku – Definice

- Definice pomocí základních jednotek SI a definice hydrostatického tlaku

$$p = \frac{F}{S}$$

$$(Pa) = \frac{(N)}{(m^2)} = \frac{(kg) \left(\frac{m}{s^2}\right)}{(m)(m)} = \frac{(kg)}{(m)(s^2)}$$

$$p = h\rho g$$

$$(Pa) = (m) \left(\frac{kg}{m^3}\right) \left(\frac{m}{s^2}\right) = \frac{(kg)}{(m)(s^2)}$$

Měření tlaku – Definice (2)

- Celkový tlak, statický tlak, dynamický tlak

$$p_{celk} = p_{stat} + p_{dyn}$$

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Tradiční tlakoměry

- **Většinou nemají elektrický výstup** (kapalinový manometr, závažová pumpa, Bourdonova trubice, měchy, pružiny apod.)
- Žádné z těchto měřidel **není obvykle vhodné pro dynamické měření tlaku** (rychlé změny tlaku v čase)

Tradiční tlakoměry – U-Manometr

- Jedná se o jeden z nejjednodušších tlakoměrů
- Patří do skupiny kapalinových tlakoměrů
- **Průhledná** skleněná nebo plastová **trubice** ve tvaru písmene „U“ **částečně naplněná kapalinou**
- Použit nejčastěji pro měření relativního a diferenčního tlaku kapalin i plynů
- Pokud je měřená látka kapalina, **musí být kapalina v tlakoměru s měřenou kapalinou nemísitelná a mít vyšší hustotu!**
- Nutný **odečet 2 pozic** hladiny kapaliny

Tradiční tlakoměry – U-Manometr (2)

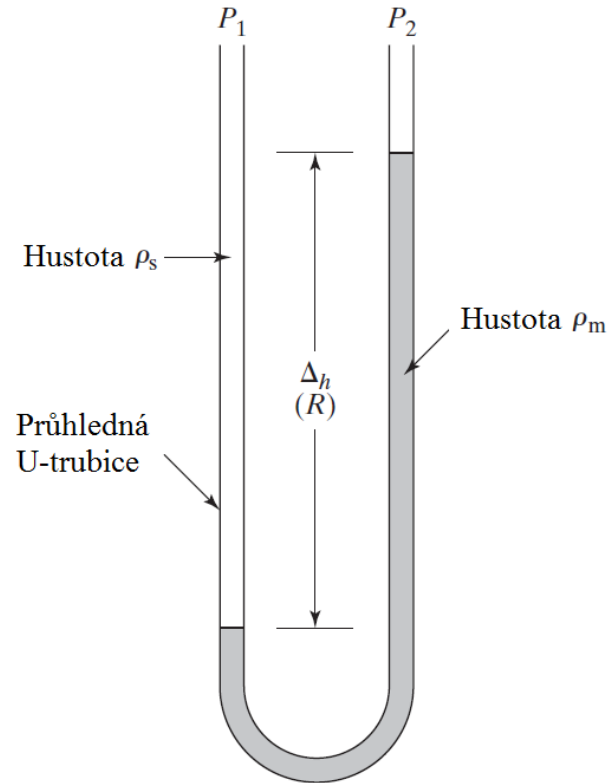
- Často je kapalina v tlakoměru obarvena barvivem
- Tlak obvykle vyjadřován v mmH₂O nebo mmHg
- V těchto případech je **nutné znát ještě teplotu kapaliny v tlakoměru**, protože ta má vliv na její hustotu
- Například rozdíly v hustotě vody v rozmezí teplot 10°C až 40°C jsou až 0.75 %
- Často je používána hustota vody při teplotě 4°C (1000 kg/m³)
- U-manometry jsou obvykle **přesné i bez kalibrace** (nutná korekce na danou teplotu, tepelnou roztažnost, stupnice pro odečet)

U-Manometr – Princip, ukázka

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \Delta h(\rho_m - \rho_s)g$$

$$\Delta p = \Delta h\rho_m g \quad \dots\dots \quad \rho_m \gg \rho_s$$

$$\Delta h = R = \frac{\Delta p}{\Delta \rho g}$$



Tradiční tlakoměry – Nádobkový manometr

- Princip vychází z U-manometru
- **Odečet pouze 1 pozice** hladiny kapaliny (v trubici)
- Průřez nádoby 10x – 500x větší než průřez trubice
- Změna hladiny v nádobce je podstatně menší oproti změně hladiny v trubici
- Požadavek na konstantní průřezy nádoby (A_1) a trubice (A_2) – nutná kalibrace!

Tradiční tlakoměry – Nádobkový manometr

- Princip vychází z U-manometru
- **Odečet pouze 1 pozice** hladiny kapaliny (v trubici)
- Průřez nádoby 10x – 500x větší než průřez trubice
- Změna hladiny v nádobce je podstatně menší oproti změně hladiny v trubici
- Požadavek na konstantní průřezy nádoby (A_1) a trubice (A_2) – nutná kalibrace!

$$V_1 = V_2$$

$$\Delta h_1 A_1 = \Delta h_2 A_2$$

Nádobkový manometr – Princip, ukázka

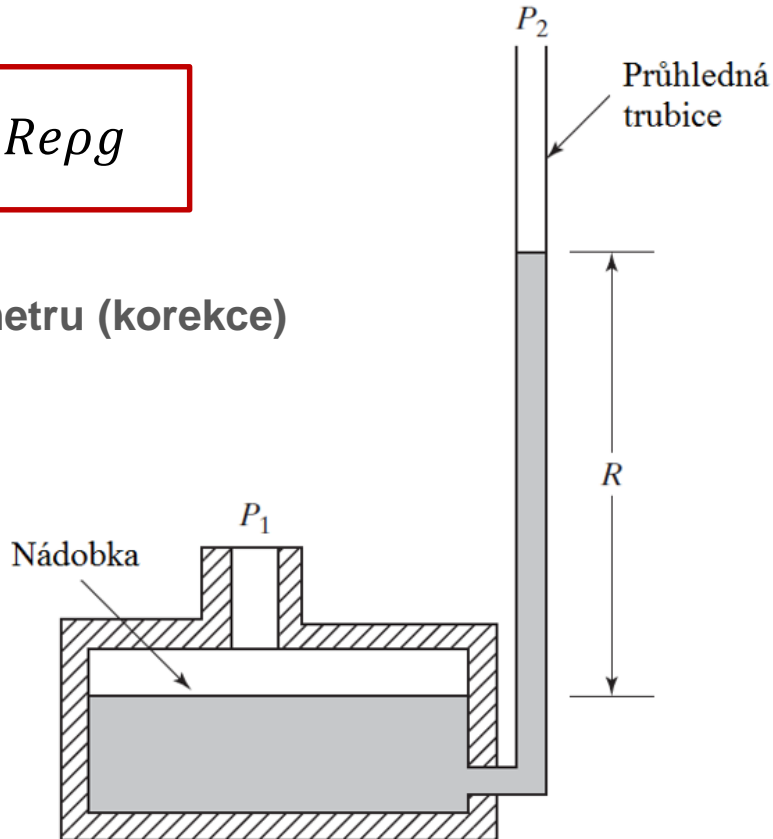
$$\Delta p = p_1 - p_2 = \Delta h \rho g = R e \rho g$$

- Konstanta **e** je převod manometru (korekce)

$$e = 1 + \frac{A_2}{A_1}$$

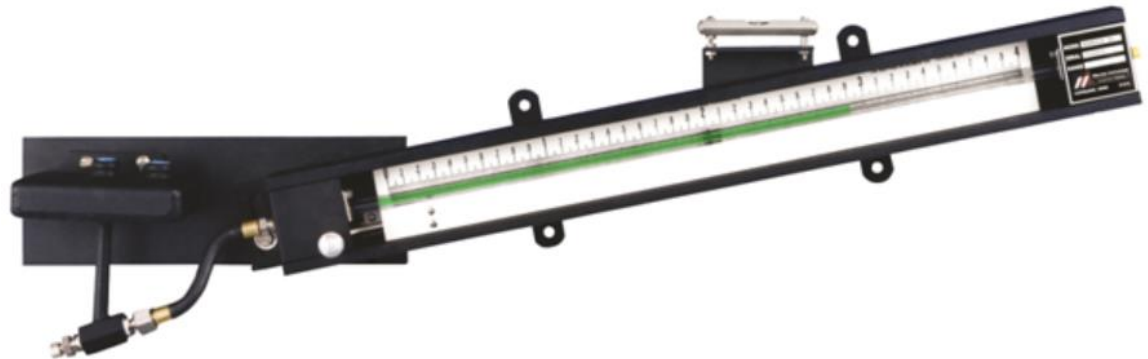
$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

$$\Delta h_2 = R$$



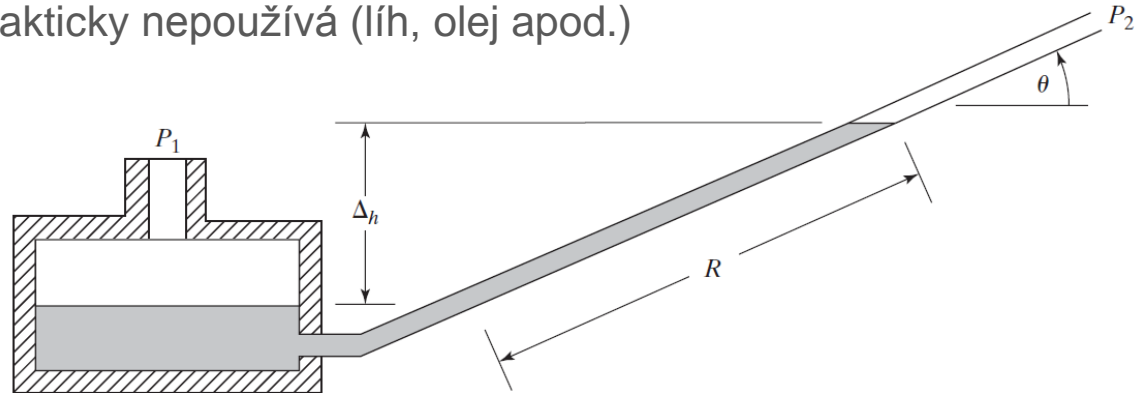
Tradiční tlakoměry – Sklonný manometr

- Princip vychází z U-manometru
- **Odečet pouze 1 pozice** hladiny kapaliny
- **Pro úpravu rozsahu a zvýšení citlivosti => vyšší přesnost**
- Rtuť se pro tento typ prakticky nepoužívá (líh, olej apod.)



Tradiční tlakoměry – Sklonný manometr

- Princip vychází z U-manometru
- **Odečet pouze 1 pozice** hladiny kapaliny
- **Pro úpravu rozsahu a zvýšení citlivosti => vyšší přesnost**
- Rtuť se pro tento typ prakticky nepoužívá (líh, olej apod.)

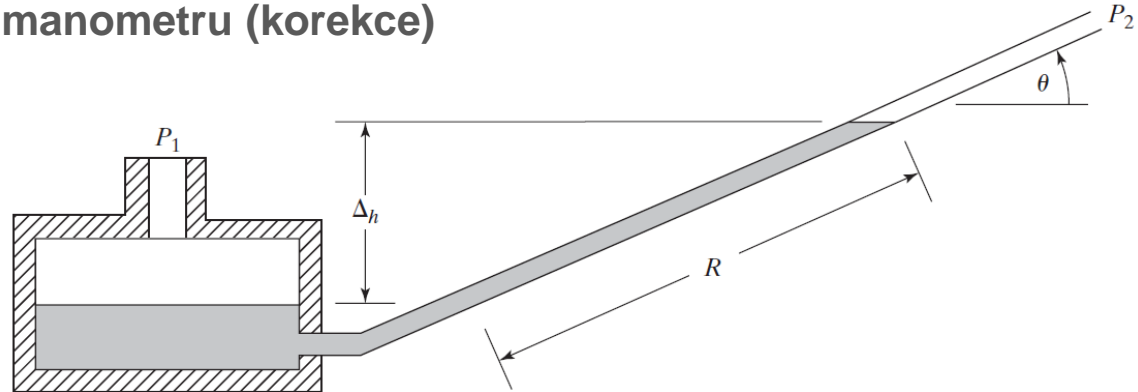


Sklonný manometr - Princip

$$\Delta h = R \sin \theta$$

$$\Delta p = \Delta h e \rho g = R \sin \theta e \rho g$$

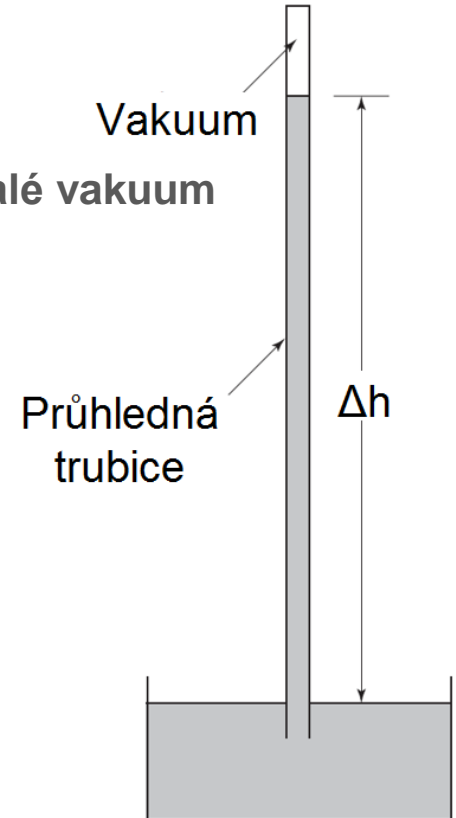
- Konstanta **e** je převod manometru (korekce)



Tradiční tlakoměry – Barometr (staniční)

- Princip vychází z nádobkového manometru
- **Jeden z konců je utěsněn a prostor v něm tvoří téměř dokonalé vakuum**
- Jako kapalina se používá rtuť

$$\Delta h = \frac{p_{atm}}{\rho_{Hg} g e}$$

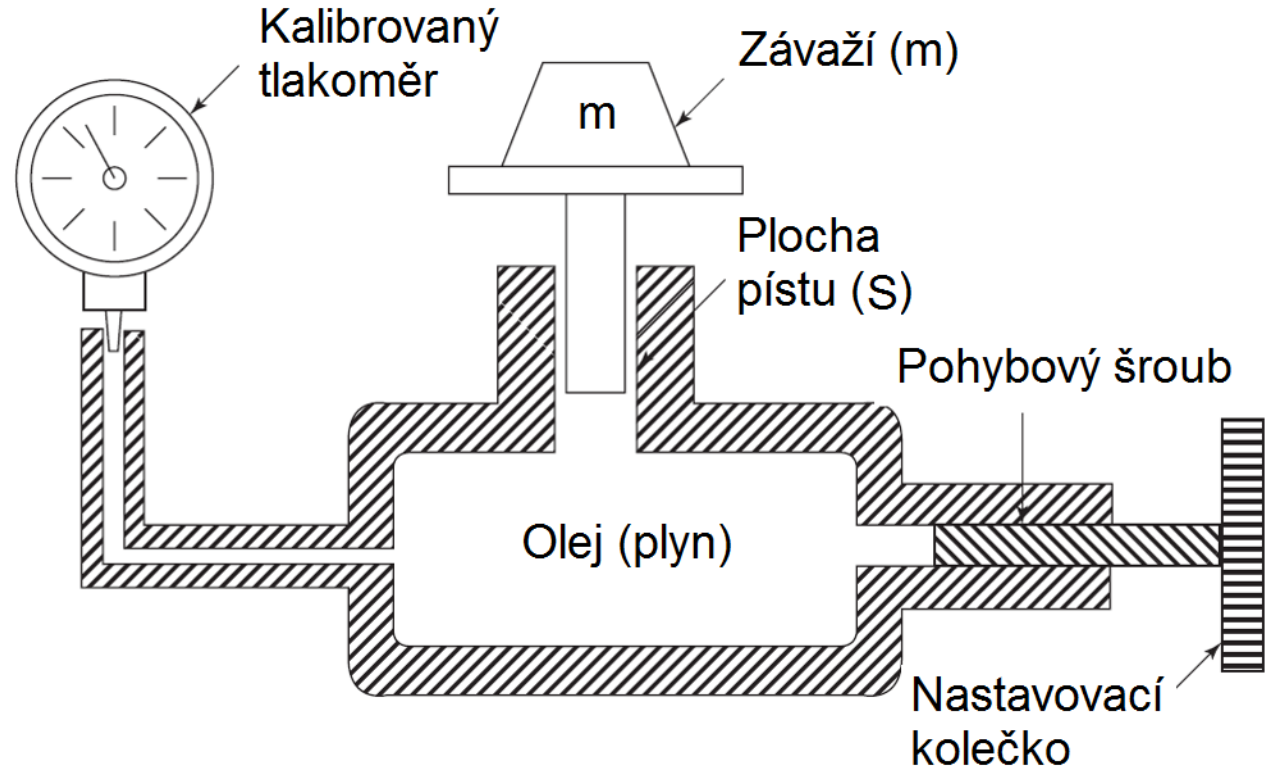


Tradiční tlakoměry – Pístový tlakoměr

- Tzv. závažová pumpa
- Vnitřní komora naplněna tekutinou
- Kapalinou může být olej, v případě plynu se používá upravený vzduch či dusík
- Především je **používán pro** přesnou **kalibraci** ostatních manometrů či snímačů tlaku
- Vychází ze základního principu **definice tlaku, síly a Pascalova zákona**
- **Tlak tekutiny v komoře je porovnáván s tlakem vyvozeným závažím**

Pístový tlakoměr – Princip

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}$$



Pístový tlakoměr – Ukázky



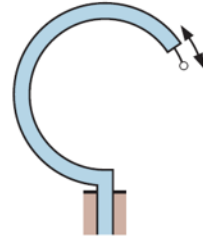
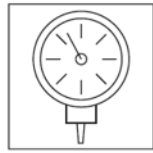
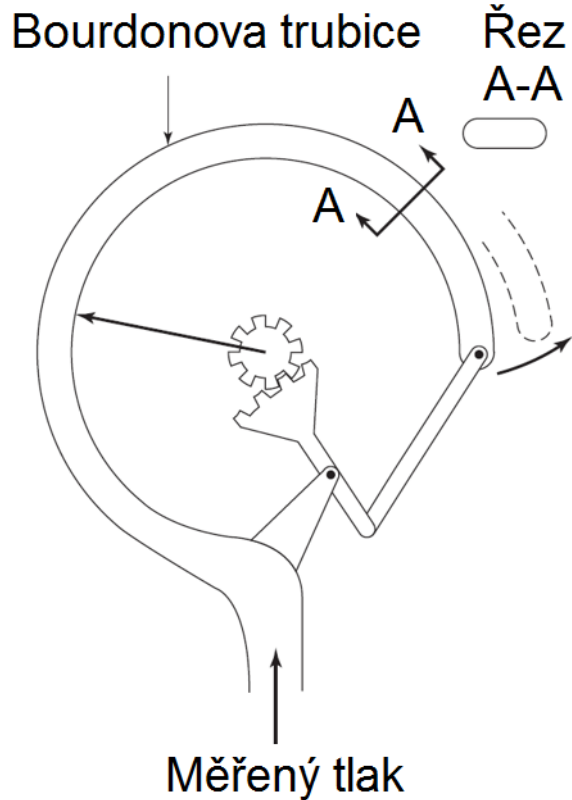
Tradiční tlakoměry – Deformační manometr

- Patří do skupiny tlakoměrů s tuhými členy (převodový mechanismus)
- Nejčastěji v analogovém provedení s ukazatelem, ale je možné i digitální provedení
- Výhodou je **okamžitý odečet hodnoty tlaku bez nutnosti elektrického napájení**
- **Deformovaným členem** může být **Bourdonova trubice, vlnovec nebo membrána** apod.

Tradiční tlakoměry – Deformační tlakoměr (2)

- Levné varianty mají přesnost nižší, obvykle ± 5 % z rozsahu
- Dražší varianty mají přesnost vyšší, může být až ± 0.5 % z rozsahu
- Pro **široký rozsah měřených tlaků** (varianty od velkých podtlaků až do vysokého přetlaku)
- **Deformace tuhého členu** může být využita pro přenos signálu na potenciometr nebo LVDT (Linear Variable Differential Transformer) snímač a získán tak **elektrický výstup**

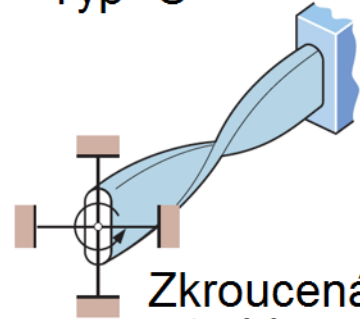
Deformační tlakoměr – Princip, ukázka, typy



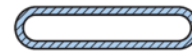
Typ "C"



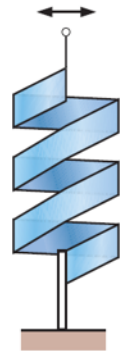
Spirála



Zkroucená trubka



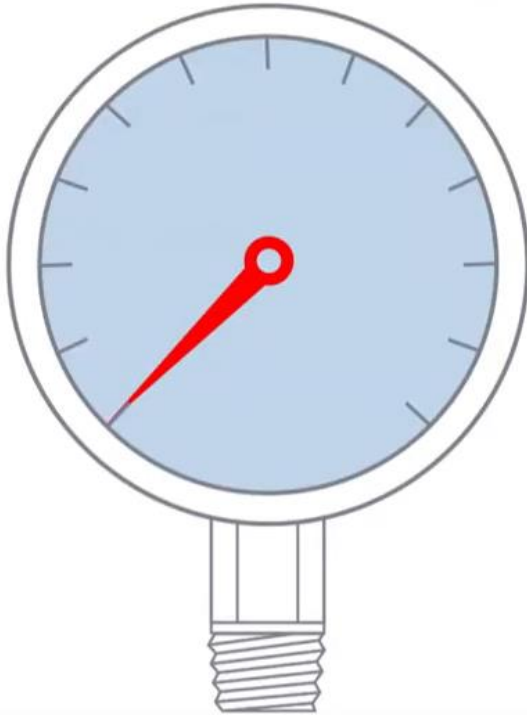
Průřez



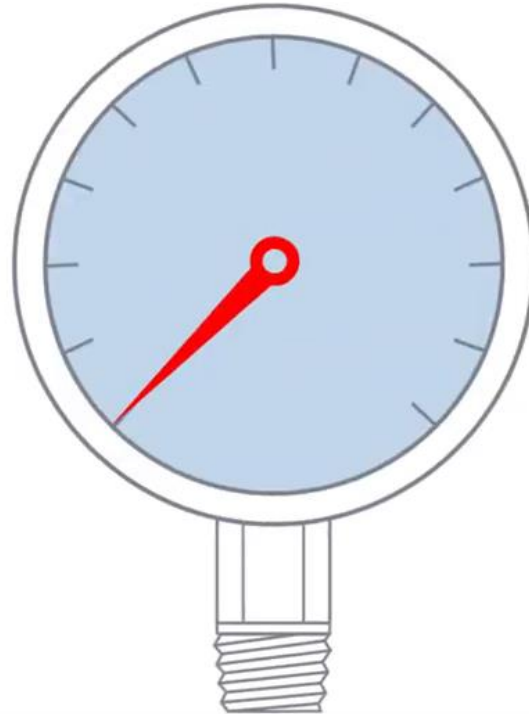
Šroubovice

Deformační tlakoměr – Princip

**Analogový manometr
s Bourdonovou trubicí**

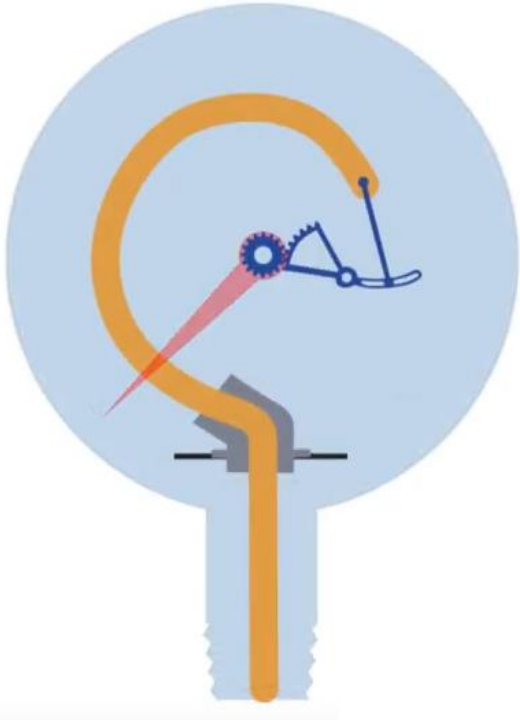


**Analogový manometr
s vlnovcem**

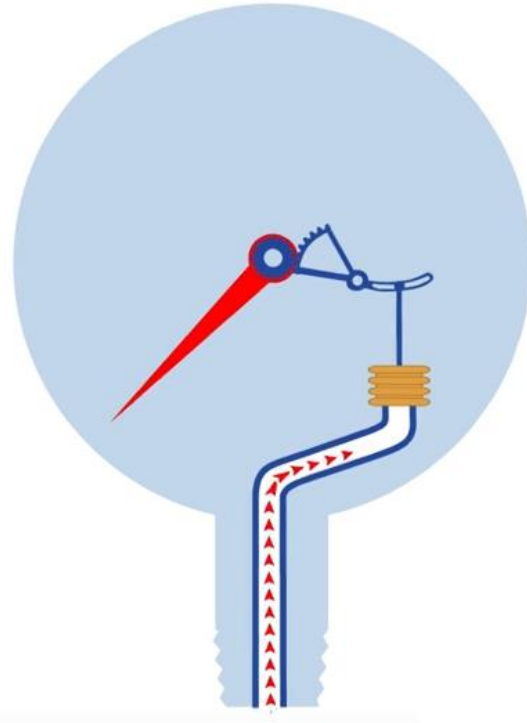


Deformační tlakoměr – Princip (2)

Analogový manometr
s Bourdonovou trubicí

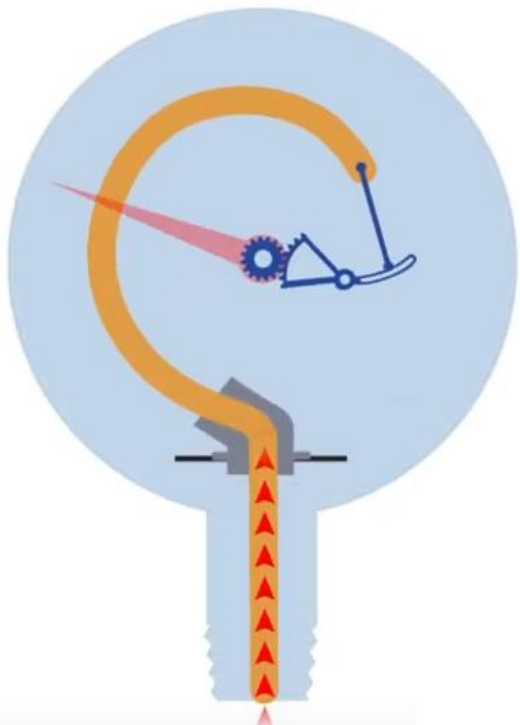


Analogový manometr
s vlnovcem

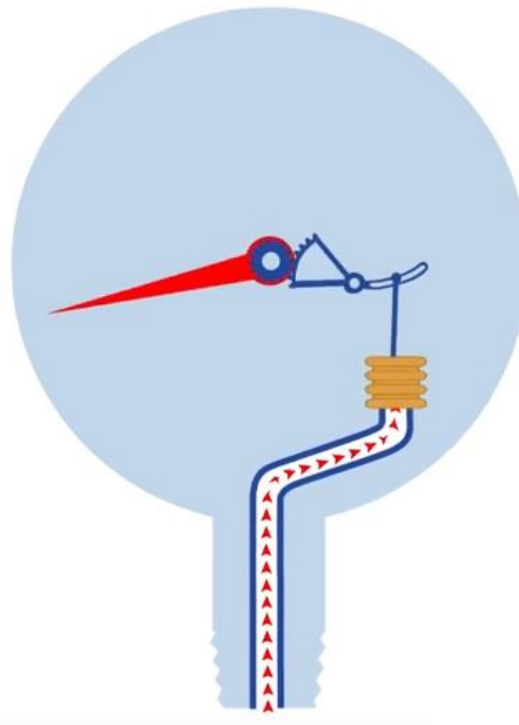


Deformační tlakoměr – Princip (3)

Analogový manometr
s Bourdonovou trubicí

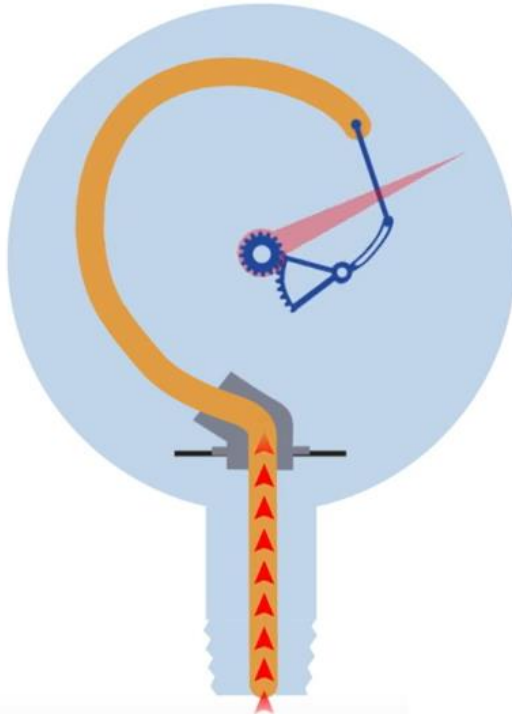


Analogový manometr
s vlnovcem

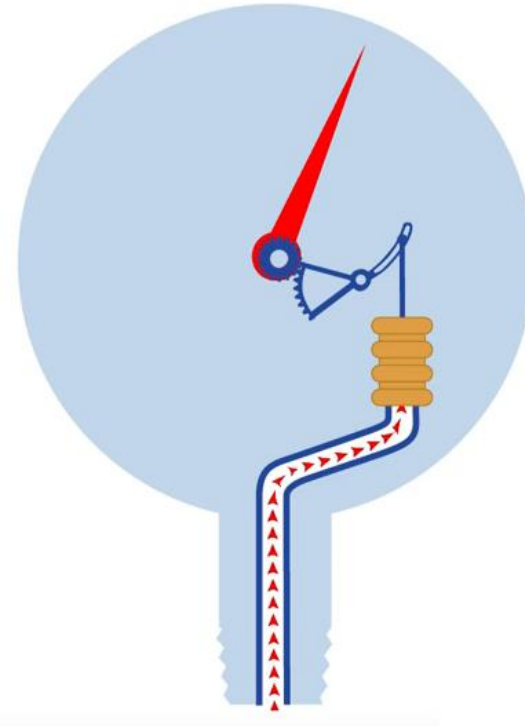


Deformační tlakoměr – Princip (4)

Analogový manometr
s Bourdonovou trubicí

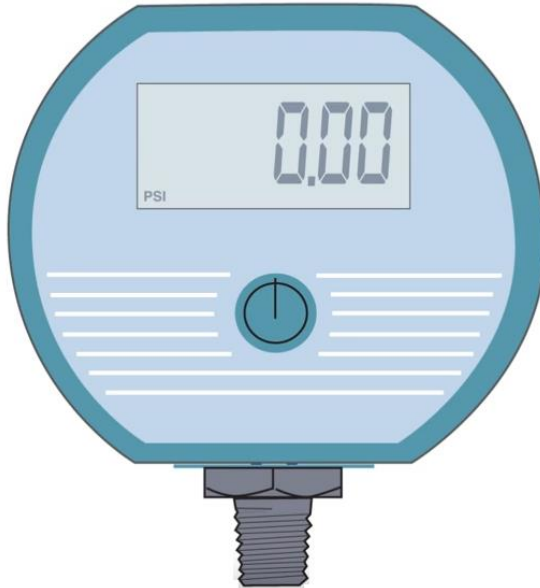


Analogový manometr
s vlnovcem



Deformační tlakoměr – Princip (5)

**Digitální manometr
s tenzometry**

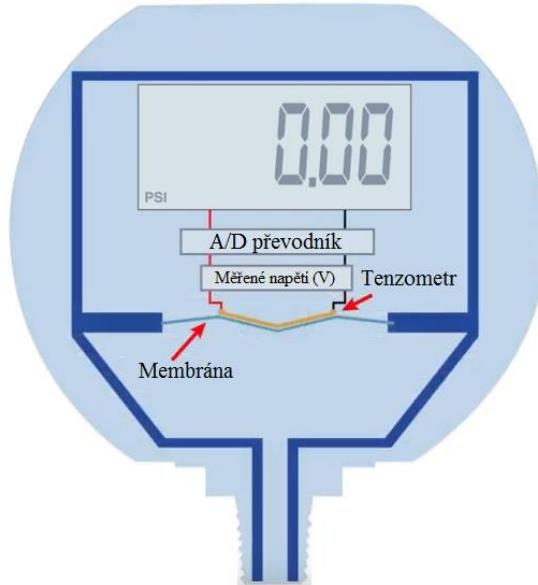


**Digitální manometr
s piezoelektrickým prvkem**

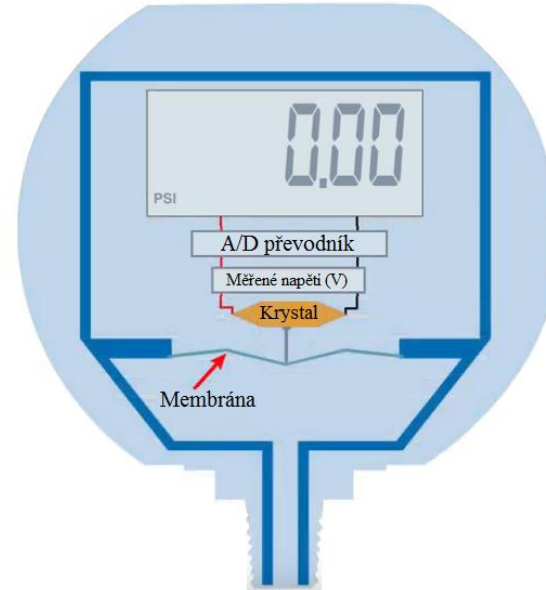


Deformační tlakoměr – Princip (6)

Digitální manometr s tenzometry

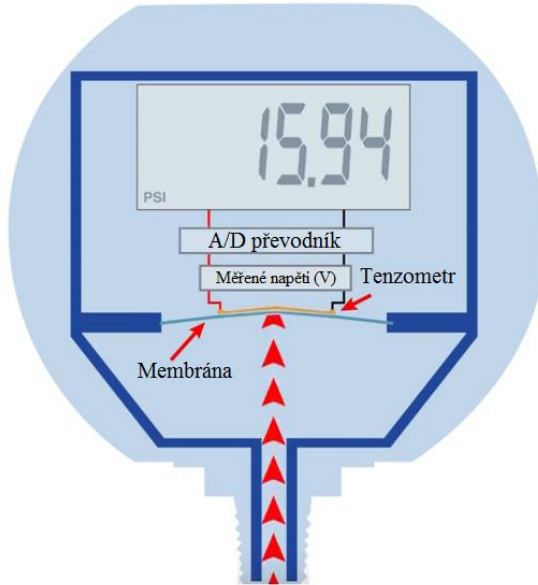


Digitální manometr s piezoelektrickým prvkem

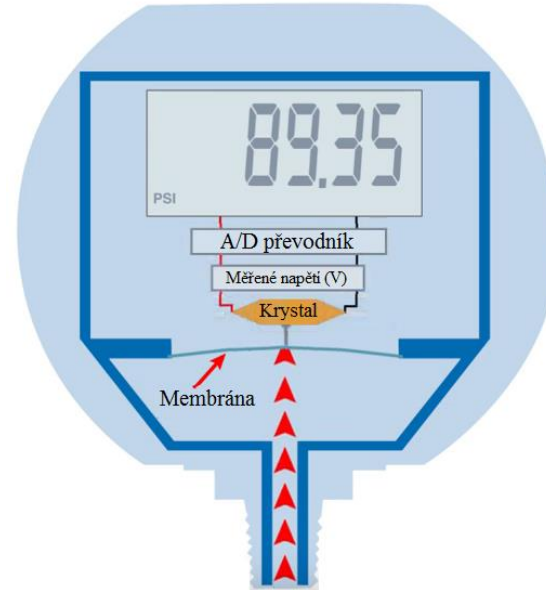


Deformační tlakoměr – Princip (7)

Digitální manometr s tenzometry



Digitální manometr s piezoelektrickým prvkem

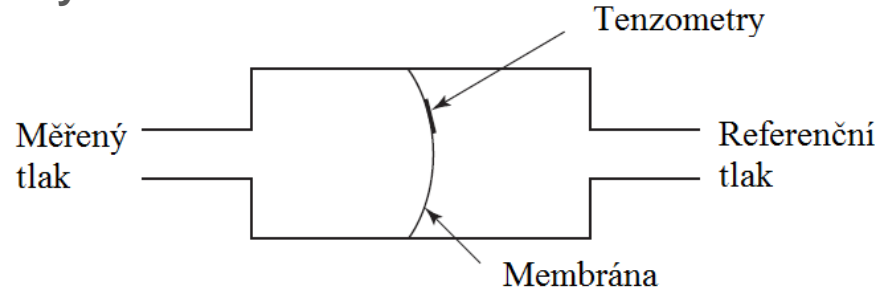


Tlakoměry s elektrickým výstupem

- **Mají elektrický výstup** (mohou využívat principy mechanických převodů používaných u deformačních tlakoměrů)
- Jedná se o **snímače tlaku**, někdy též nazývané **převodníky tlaku**
- Většina z nich není vhodná pro dynamická měření tlaku (rychlé změny tlaku v čase), ale záleží na jejich konstrukci
- Výjimkou jsou tzv. **piezoelektrické snímače tlaku**, které jsou **pro dynamická měření vhodné**
- Existuje několik typů konstrukčního uspořádání (absolutní, relativní, diferenční)

Tlakoměry s elektrickým výstupem (2)

- **Jeden vstup snímá tlak měřené tekutiny**
- **Druhý vstup je tzv. referenční**



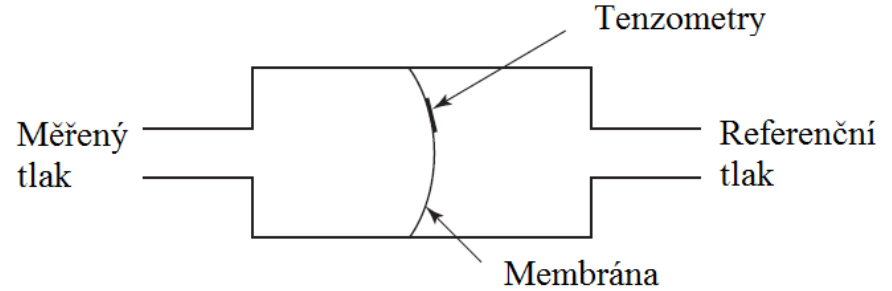
- Referenční vstup je buď utěsněn vůči okolí (absolutní) nebo vyveden do okolí (relativní)
- Často se používají anglické názvy
- **Absolutní** = Absolute = **A** (obvykle dražší)
- **Relativní** = Gauge (brit.) = Gage (Am.) = **G někdy též SG** (obvykle levnější)

Tlakovoměry s elektrickým výstupem (3)

- **Diferenční** = Differential = **D**
- Na snímači je často uveden maximální rozsah
- Např. 3BARA znamená maximálně tlak 3 bar absolutně
- Např. 3BARG znamená maximálně tlak 3 bar relativně (vůči atmosféře)
- Např. 1BARD znamená maximálně tlak 1 bar vůči druhému konci
- Jsou možná i jiná značení, záleží na výrobcí a státu výrobce (např. PSIA, PSIG, PSID,...)

Tenzometrický snímač tlaku

- Běžný a relativně levný snímač
- Možná provedení A, G, SG, D



- Principem je **vychýlení nebo prohnutí membrány** jedním či druhým směrem
- **Velikost prohnutí** (deformace membrány) je **snímána tenzometry**
- **Výstupem** je buď **napětí** (V nebo mV) **nebo proud** (4–20 mA)
- **Vyšší výstupní napětí** je méně náchylné na šum a rušení !



Tenzometrický snímač tlaku (2)

- **Proudový výstup je minimálně ovlivněn okolním šumem a rušením !**
- Proto obecně platí, že **snímače s proudovým výstupem jsou dražší**
- Membrána buď vyrobena z kovu (starší typy) nebo z polovodiče (novější, vyšší citlivost)
- Polovodičem je obvykle křemíková membrána se zabudovanými tenzometry

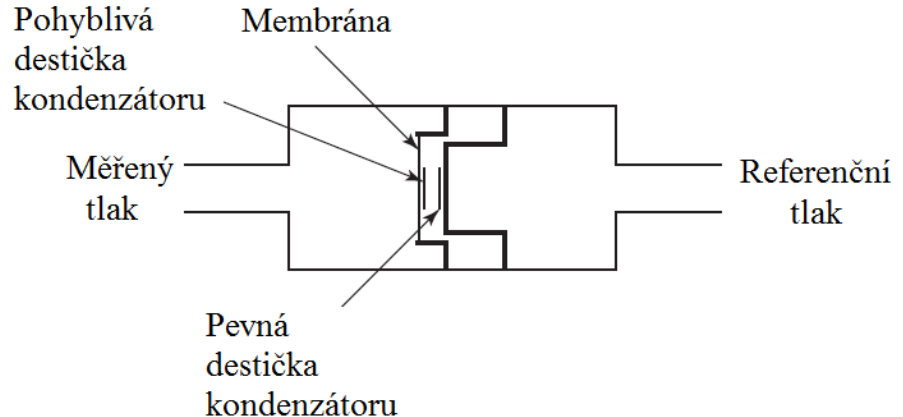
$$R = \frac{\rho l}{S}$$



Kapacitní snímač tlaku

- Konstrukčně velmi podobný tenzometrickému snímači (provedení A, G, SG, D)
- Namísto tenzometrů **využívá pevnou a pohyblivou destičku kondenzátoru**
- **Vhodný především pro malé relativní nebo diferenční tlaky**
- **Vysoká citlivost**

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}$$

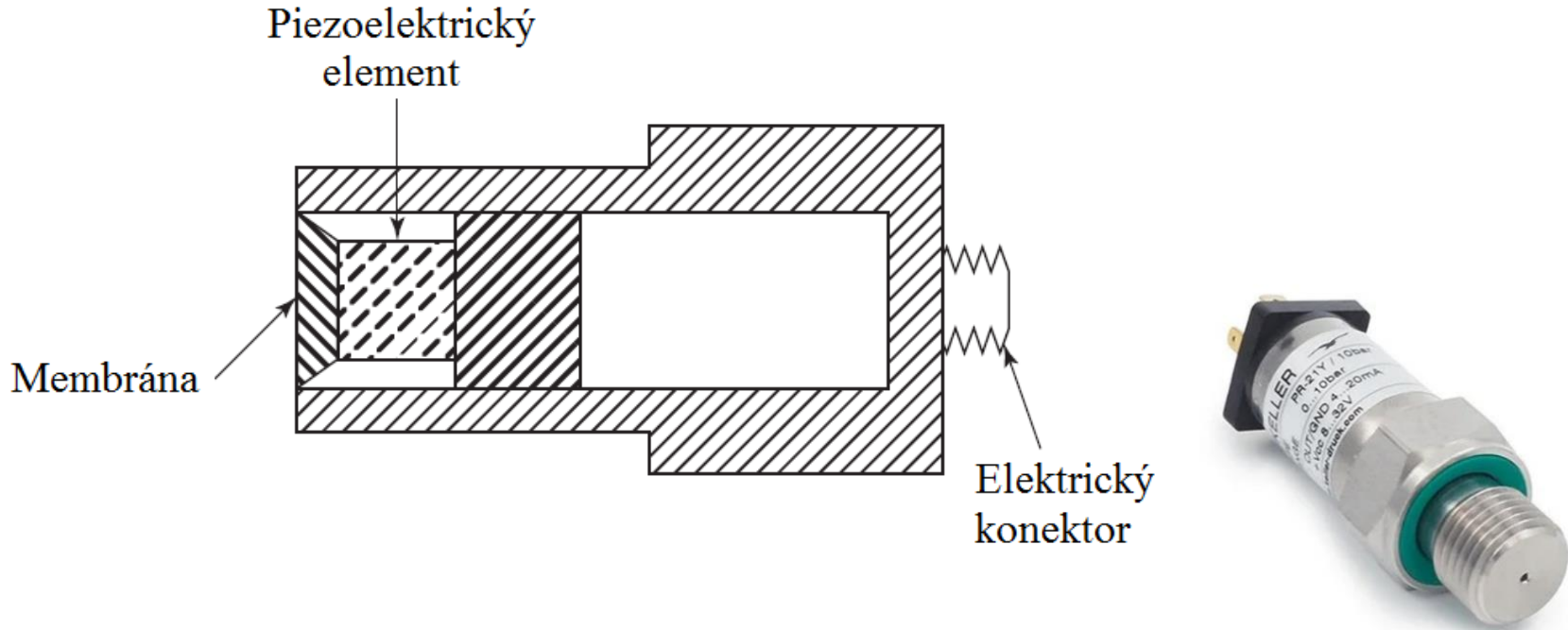


Piezoelektrický snímač tlaku

- **Vhodný pro dynamická měření tlaku**
- **Má vysokou vlastní frekvenci (cca 150 kHz a více)**
- **Využívá piezoelektrický element, který při deformaci mění elektrické vlastnosti**
- Často se také využívá změny měrného odporu (piezorezistivní s.)



Piezelektrický snímač tlaku – Princip, ukázka



LVDT snímač tlaku

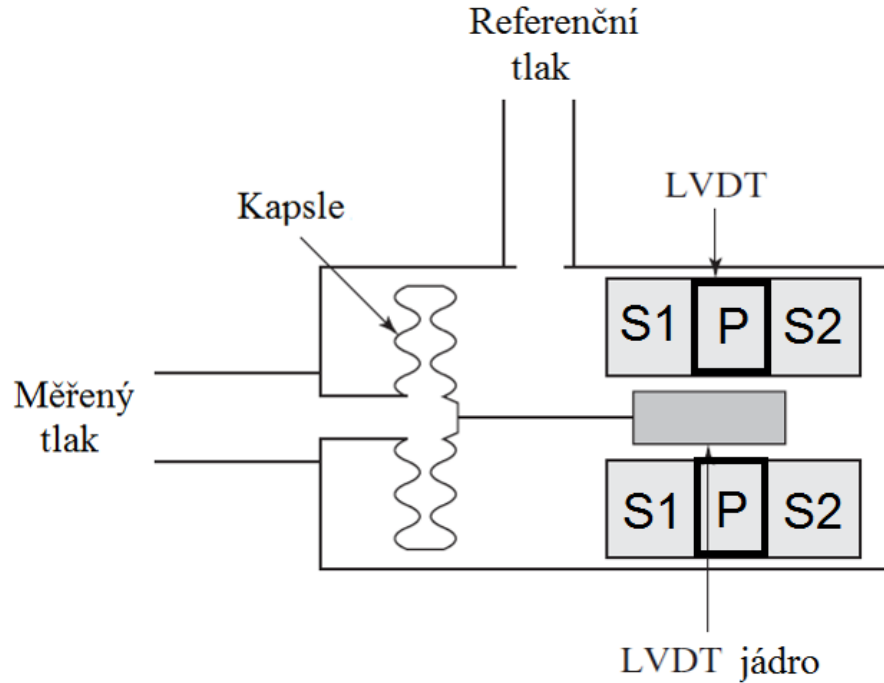
- LVDT = Linear Variable Differential Transformer
- Konstrukčně velmi podobný tenzometrickému snímači (provedení A, G, SG, D)
- **Dražší než tenzometrický snímač, ale odolnější a spolehlivější**
- Častá volba v procesním měření a těžkém průmyslu
- **V procesním měření je výstup často proudový (4–20 mA)**
- **Využívá elektromagnetické indukce**



LVDT snímač tlaku (2)

- Častá konfigurace: **1 primární cívka a 2 sekundární cívky**
- **Dle polohy posuvného jádra z feromagnetického materiálu dochází k ovlivnění magnetického pole**
- Pokud je jádro blíže některé ze sekundárních cívek, vzniká v této cívce vyšší napětí
- **Závislost výstupního napětí na poloze jádra je lineární pouze v omezeném rozsahu**

LVDT snímač tlaku – Princip, ukázka



Měření velmi nízkých tlaků (podtlaku)

- Pro malé a střední vakuum (podtlaky) mohou být často využity konvenční tlakoměry (Bourdonův, kapacitní, apod.)
- V případě, že chceme měřit vysoké, velmi vysoké a ultra-vysoké vakuum, často musíme využít jiných fyzikálních principů
- Vybrané tlakoměry (vakuometry) pro měření velmi nízkých tlaků:

1) Kompresní vakuometry (*hydrostatické, mechanické*)

2) Bolometrické vakuometry (*tepelná vodivost plynu závislá na tlaku*)

3) Ionizační vakuometry (*míra ionizace plynu závislá na tlaku*)

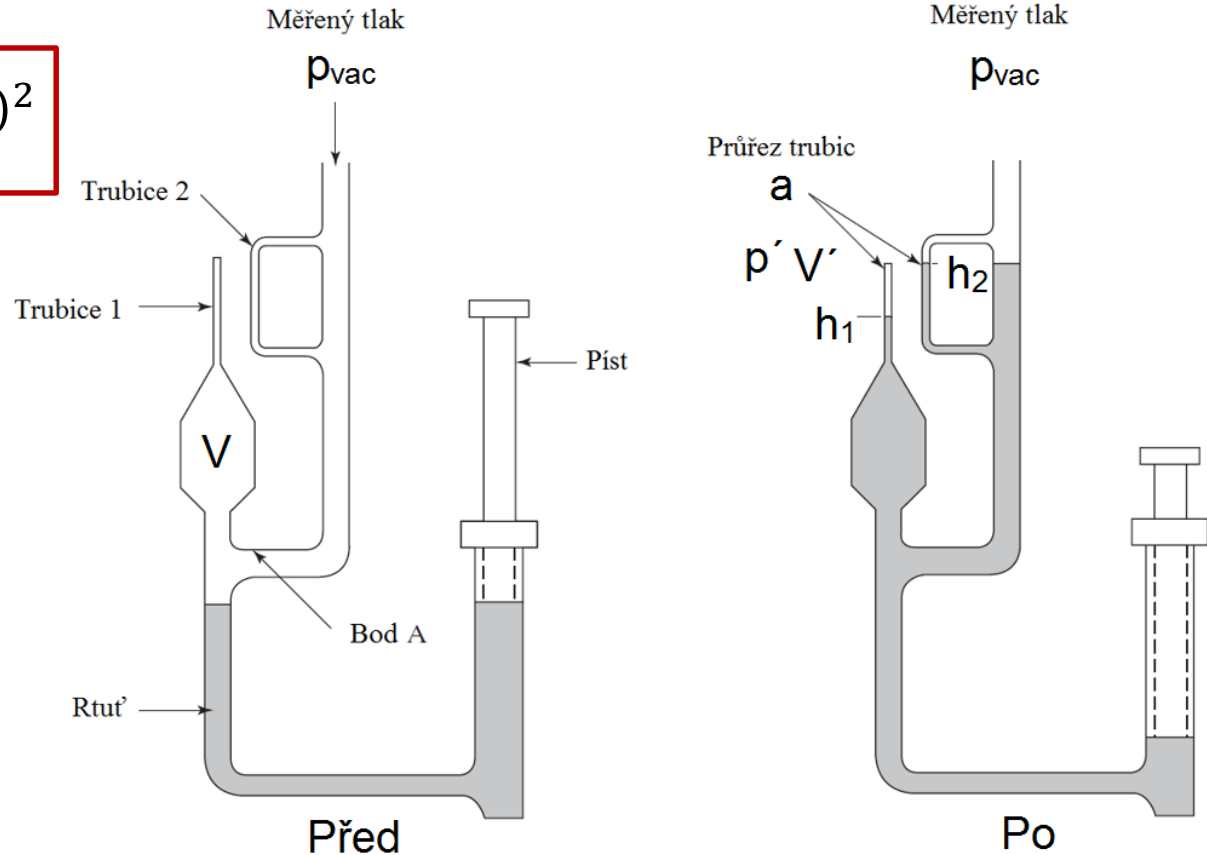
Kompresní vakuometr

- Tzv. McLeodův vakuometr
- Měřicí rozsah 10^{-1} až 10^{-4} Pa absolutně
- Založen na principech mechaniky tekutin a termodynamiky
- **Nepoužitelný pro dynamická měření**
- **Vhodný pro kalibraci** jiných vakuometrů
- Vztah pro výpočet vychází z Boyleova zákona ($T_1 = T_2$)
- Vhodný pouze pro „suché“ plyny, které nekondenzují



Kompresní vakuometr (2)

$$p_{vac} = K(h_2 - h_1)^2$$



Kompresní vakuometr (3)

$$T_1 = T_2$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$p_{vac} V = p' V'$$

$$p_{vac} V = [p_{vac} + \rho_{rtuť} g (h_2 - h_1)] V'$$

$$p_{vac} V - p_{vac} V' = \rho_{rtuť} g (h_2 - h_1) V'$$

$$p_{vac} (V - V') = \rho_{rtuť} g (h_2 - h_1) V'$$

Kompresní vakuometr (4)

$$p_{vac} = \frac{\rho_{rtuť} g (h_2 - h_1) V'}{V - V'}$$

$$p_{vac} = \frac{\rho_{rtuť} g a (h_2 - h_1)^2}{V - V'}$$

$$K = \frac{\rho_{rtuť} g a}{V - V'}$$

$$p_{vac} = K (h_2 - h_1)^2$$

Bolometrický vakuometr

- Tzv. Piraniho vakuometr
- Má **elektrický výstup**
- Měřicí rozsah 10^5 až 10^{-4} Pa absolutně
- **Využívá závislosti tepelné vodivosti plynů na tlaku při velmi nízkých tlacích**
- Často využívá dvě komory, jednu aktivní a jednu referenční pro kompenzaci okolní teploty



Bolometrický vakuometr – Princip, ukázky

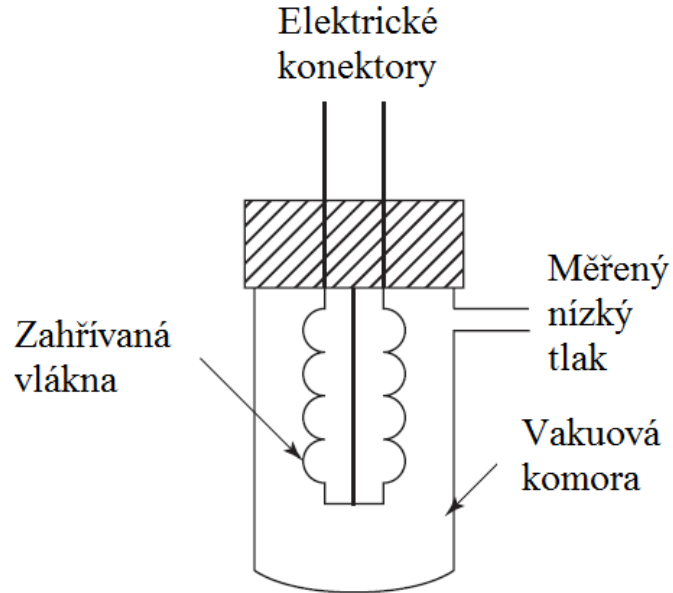
$$\dot{Q} = C(T_{vl} - T_{st})p_{vac}$$

$$p_{vac} = \frac{\dot{Q}}{C(T_{vl} - T_{st})}$$

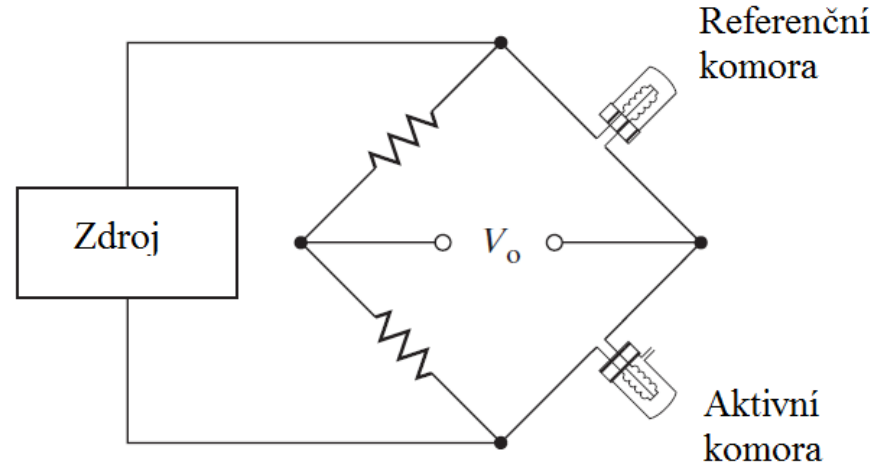


- T_{vl} je udržovaná teplota vlákna a T_{st} je teplota stěny komory
- C je konstanta závislá na geometrii komory, typu plynu, atd.

Bolometrický vakuometr - Princip



(a) Měřicí komora



(b) Elektrické zapojení

Ionizační vakuometr

- Má **elektrický výstup**
- Měřicí rozsah 10^{-1} až 10^{-11} Pa (**ultra vysoké vakuum**)
- Princip založen na **ionizaci molekul plynu**
- **Počet je vzniklých iontů je úměrný hustotě plynu a tudíž i jeho tlaku**
- Katodou je zahříváné vlákno, tj. tzv. „horká“ katoda (existuje také „studená“)
- Čím více je molekul plynu v komoře, tím více vzniká pozitivních iontů a elektronů
- Měří se samostatně proud iontů a elektronů



Ionizační vakuometr – Princip, ukázky

- Pro vyšší absolutní tlaky je nepoužitelný (citlivé vlákno)

$$p_{vac} = \frac{I_+}{CI_-}$$

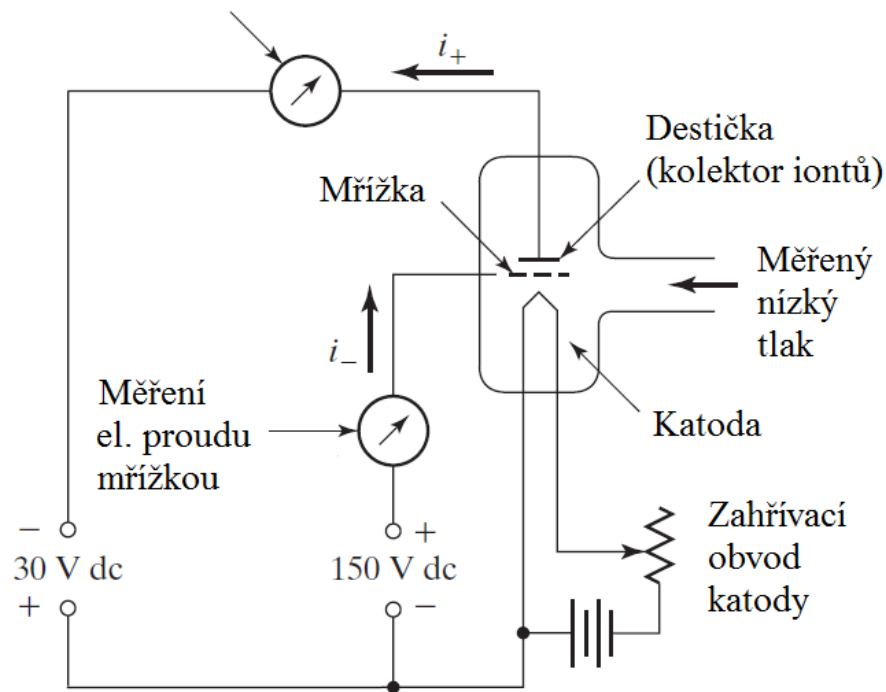


- I_+ je proud pozitivních iontů a I_- je proud elektronů
- C je konstanta elektrického obvodu



Ionizační vakuometr - Princip

Měření el. proudu
destičkou



Způsoby měření teploty

Měření teploty – Obecné informace

- 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 Fahrenheit (USA) či Rankine stupně.
- Například $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ odpovídá $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ odpovídá $212\text{ }^{\circ}\text{F}$.
- **Nejčastěji měřená fyzikální veličina napříč vědními obory.**
- Lze měřit přístroji založenými na různých fyzikálních principech.

Měření teploty - Dělení

- **Způsoby měření teploty:**

- 1) *Tradiční přístroje pro měření teploty*
- 2) *Přístroje pro měření teploty s elektrickým výstupem*
- 3) *Bezkontaktní měření teploty*

Měření teploty - Teploměry

- **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)

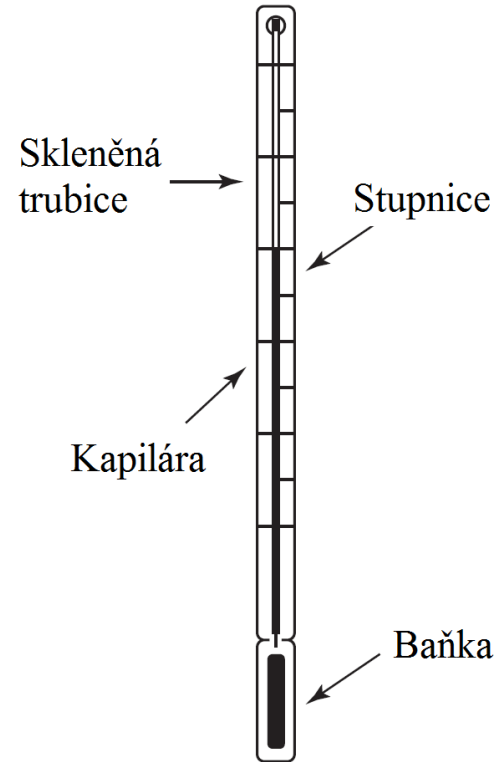


Tradiční teploměry - Rtuťový teploměr

- **Využívá teplotní objemové roztažnosti** kapalin (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

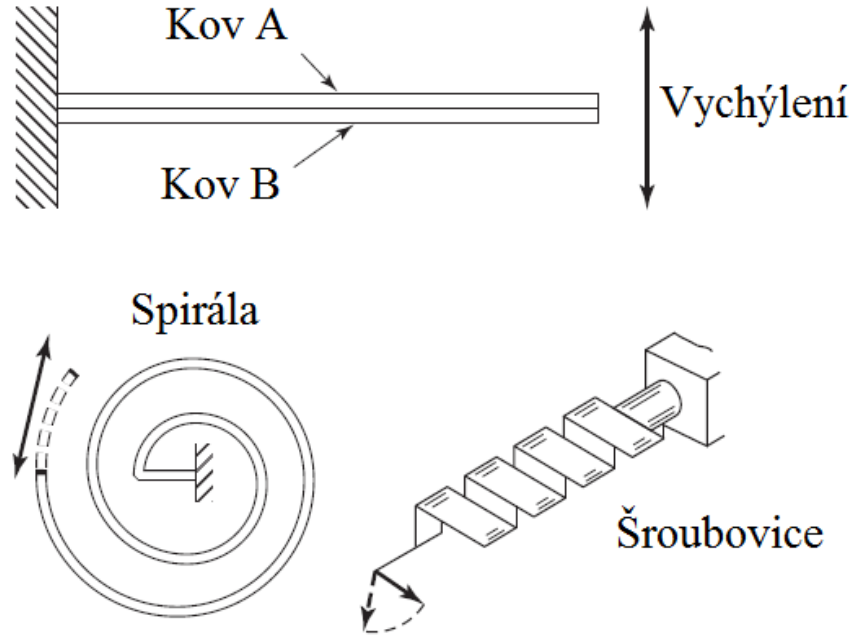


Tradiční teploměry – Bimetalový teploměr

- Principem je **rozdílná teplotní 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 (2)



Teploměry s elektrickým výstupem

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



Termočláňkové snímače teploty

- Mají **elektrický výstup ve formě generovaného napětí** na koncích termočláňku
- Jedná se o **relativní měření teploty**, porováváme 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

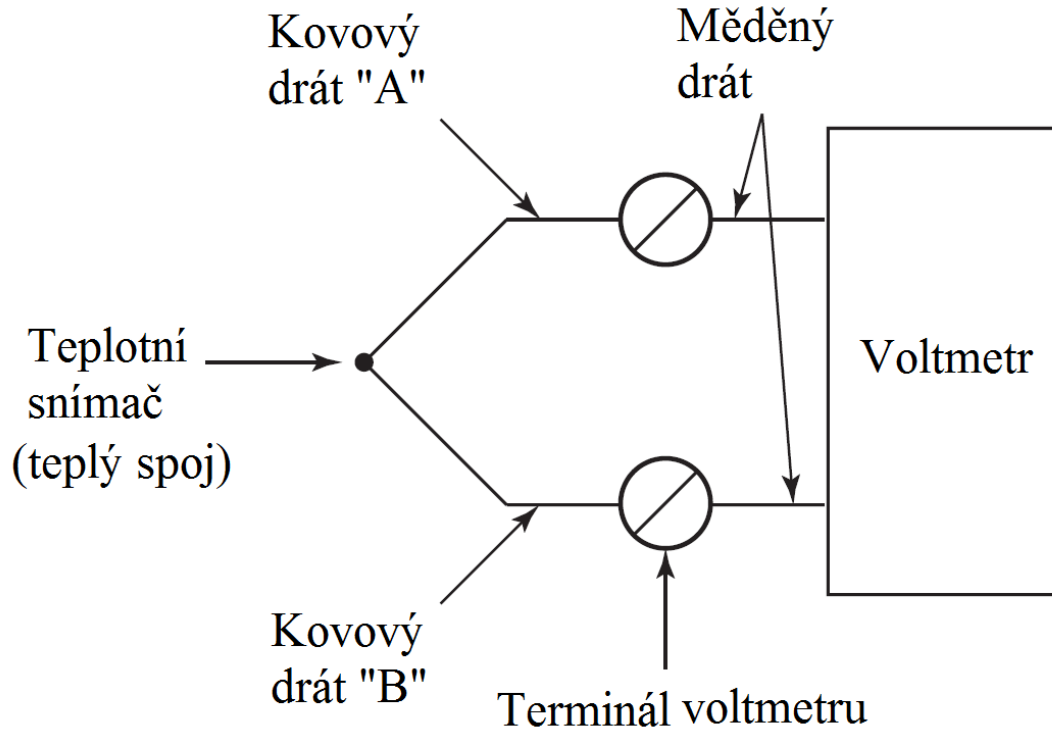


Termočlánkové snímače teploty (2)

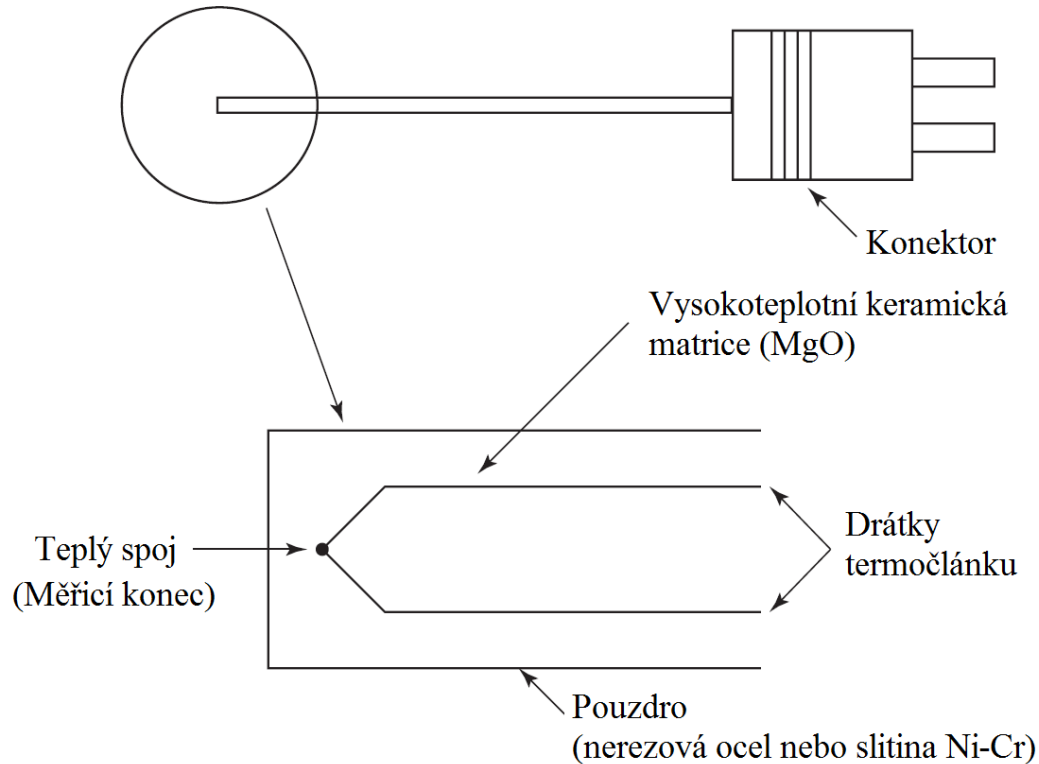
- **Nejpoužívanější pro dynamická měření teploty**
- Mají **dobré prostorové rozlišení** (jsou relativně malých rozměrů)
- Přesnost není vysoká, obvykle ± 1 °C, ale může být i vyšší v závislosti na použitém termočlánku a rozsahu
- Využívá principu tzv. Seebeckova jevu



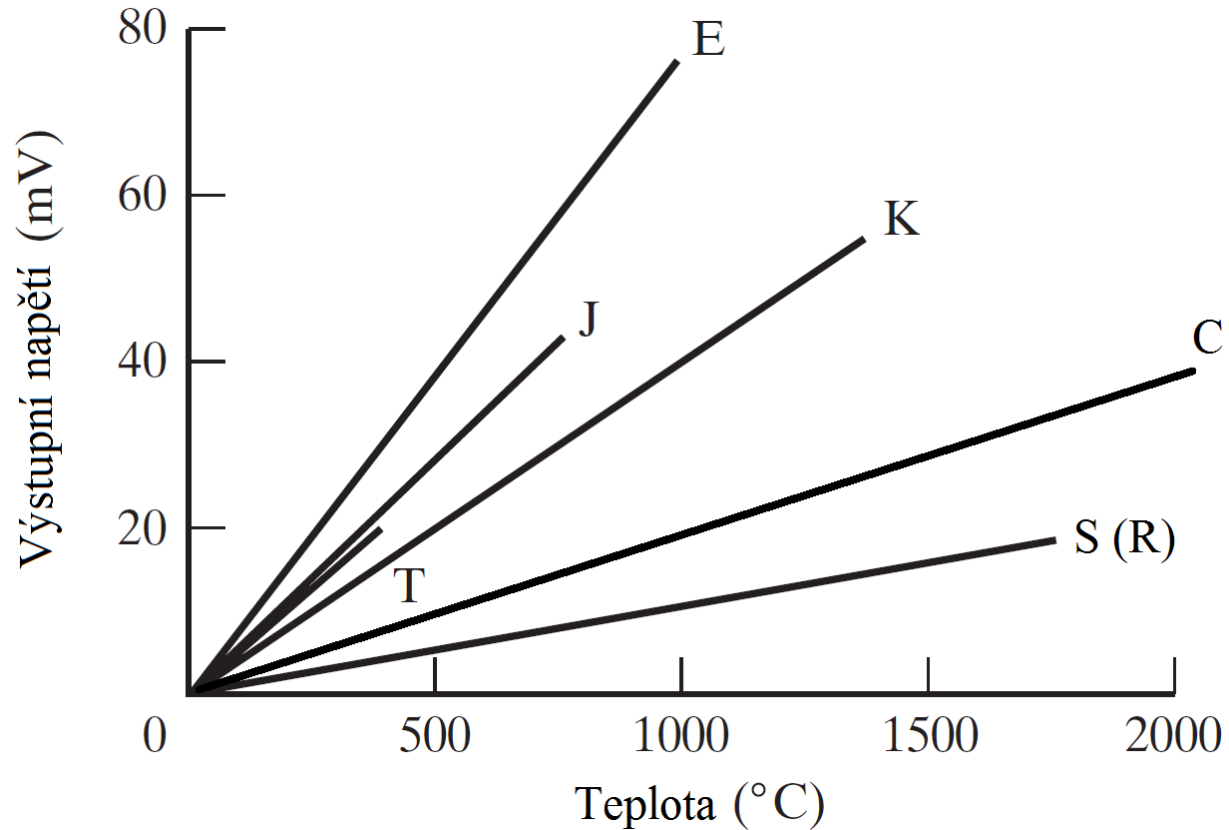
Termočlánkové snímače teploty - Schéma



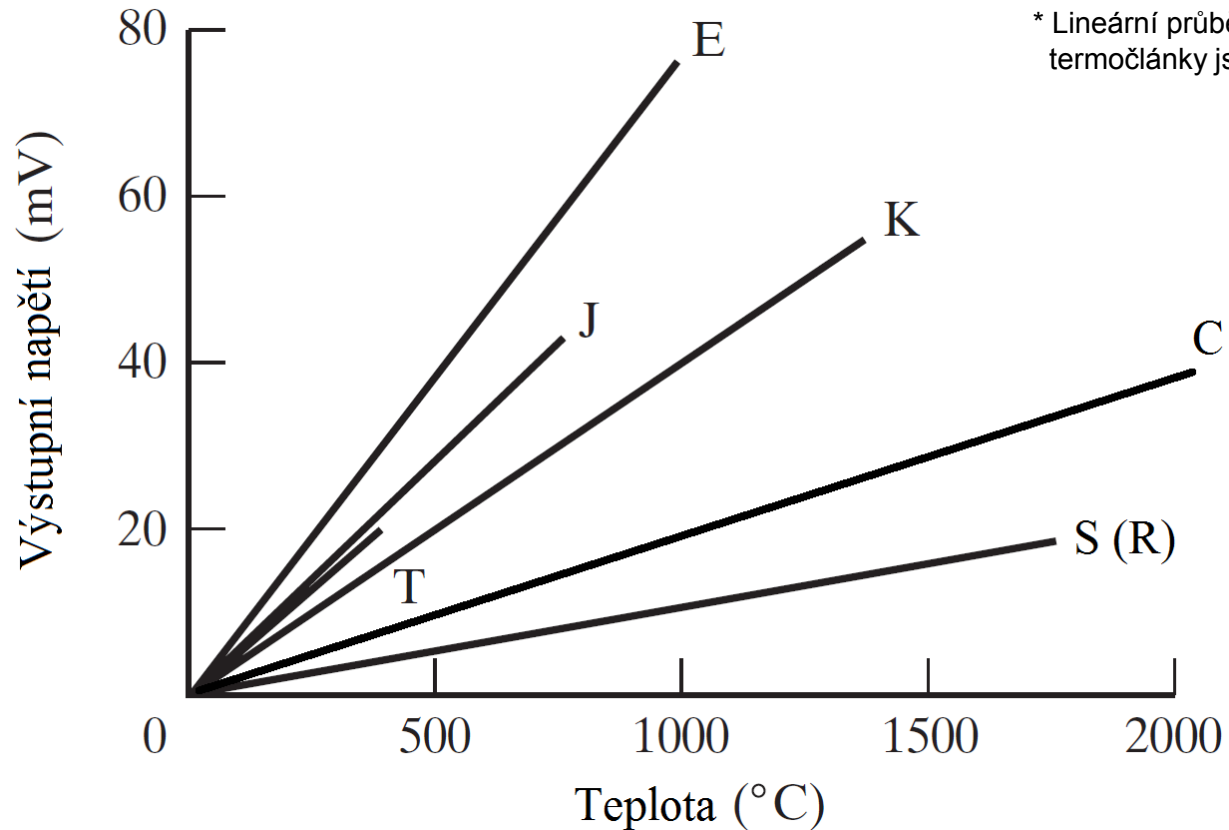
Termočlánkové snímače teploty - Pouzdro



Termočlánkové snímače teploty - Typy



Termočlánkové snímače teploty - Typy



Termočláňkové snímače teploty – Typy (2)

Charakteristiky standardních termočláňků

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 %)



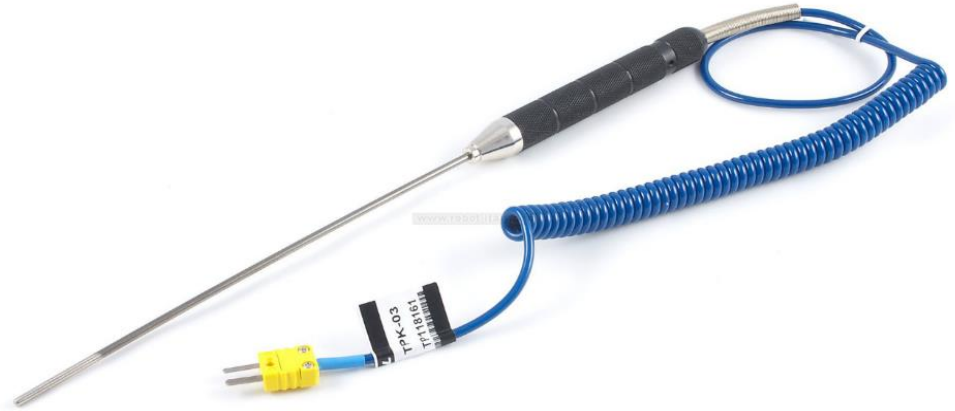
* pouze přibližně

Napětíový výstup běžných termočlánků (referenční konec při 0 °C)

Teplota (°C)	Typ termočlánku					
	T	E	J	K	R	S
-250	-6.181	-9.719		-6.404		
-200	-5.603	-8.824	-7.890	-5.891		
-150	-4.648	-7.279	-6.499	-4.912		
-100	-3.378	-5.237	-4.632	-3.553		
-50	-1.819	-2.787	-2.431	-1.889		
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.789	1.192	1.019	0.798	0.111	0.113
40	1.611	2.419	2.058	1.611	0.232	0.235
60	2.467	3.683	3.115	2.436	0.363	0.365
80	3.357	4.983	4.186	3.266	0.501	0.502
100	4.277	6.317	5.268	4.095	0.647	0.645
120	5.227	7.683	6.359	4.919	0.800	0.795
140	6.204	9.078	7.457	5.733	0.959	0.950
160	7.207	10.501	8.560	6.539	1.124	1.109
180	8.235	11.949	9.667	7.338	1.294	1.273
200	9.286	13.419	10.777	8.137	1.468	1.440
220	10.360	14.909	11.887	8.938	1.647	1.611
240	11.456	16.417	12.998	9.745	1.830	1.785
260	12.572	17.942	14.108	10.560	2.017	1.962
280	13.707	19.481	15.217	11.381	2.207	2.141
300	14.860	21.033	16.325	12.207	2.400	2.323
350	17.816	24.961	19.089	14.292	2.896	2.786
400	20.869	28.943	21.846	16.395	3.407	3.260
450		32.960	24.607	18.513	3.933	3.743
500		36.999	27.388	20.640	4.471	4.234
600		45.085	33.096	24.902	5.582	5.237
700		53.110	39.130	29.218	6.741	6.274
800		61.022		33.277	7.949	7.345
900		68.873		37.325	9.203	8.448
1000		76.358		41.269	10.503	9.585
1100				45.108	11.846	10.754
1200				48.828	13.224	11.947
1300				52.398	14.624	13.155
1400					16.035	14.368
1500					17.445	15.576
1600					18.842	16.771
1700					20.215	17.942

Termočláňkové snímače teploty – Shrnutí

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

Odporové snímače teploty (2)

- 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 (3)

- **Calendar–Van Dusenova rovnice (pro Pt):**

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

- α , β , δ jsou kalibrační konstanty

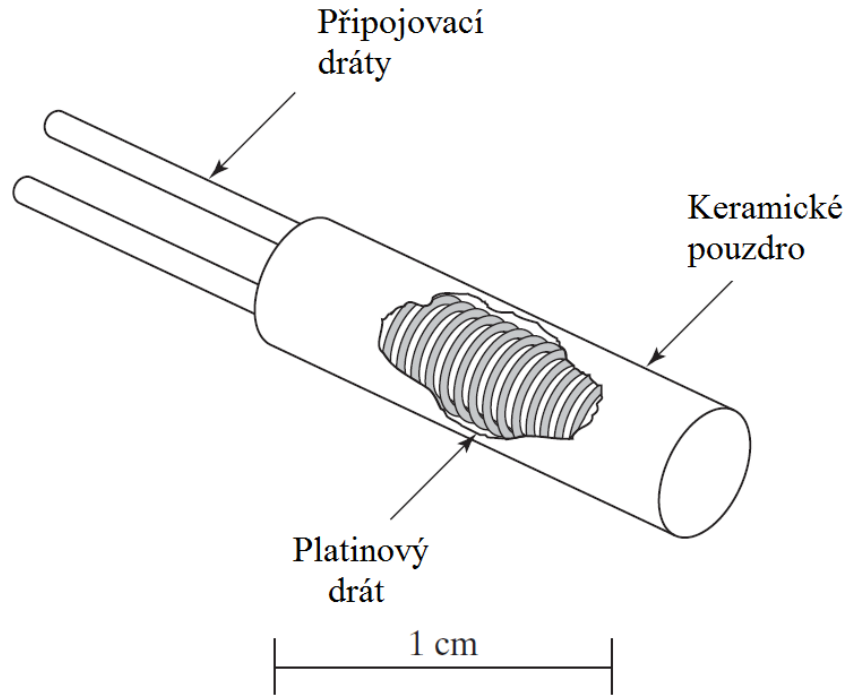


Platinový RTD (Pt100): Závislost odporu na teplotě $R = f(T)$

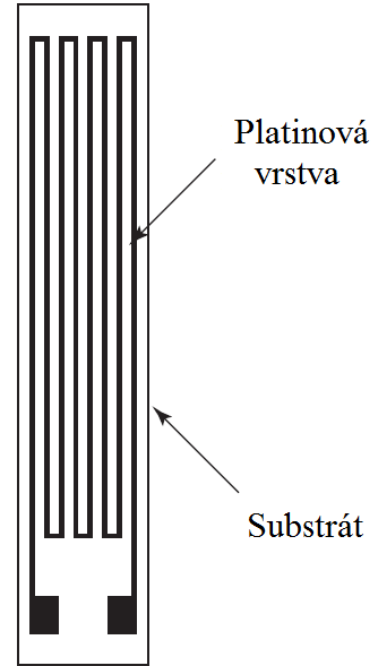
T (°C)	R(Ω)	T (°C)	R(Ω)	T (°C)	R(Ω)
-100	59.57	100	139.16	300	213.92
-90	63.68	110	143.01	310	217.54
-80	67.78	120	146.85	320	221.14
-70	71.85	130	150.68	330	224.74
-60	75.91	140	154.49	340	228.32
-50	79.96	150	158.29	350	231.89
-40	83.99	160	162.08	360	235.44
-30	88.01	170	165.86	370	238.99
-20	92.02	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 - Druhy



(a) Platinový drát



(b) Tenká vrstva (film)

Odporové snímače teploty – Shrnutí

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

Termistory (2)

- **Záporná změna je častější**, tj. s růstem teploty odpor klesá
- Jsou **silně nelineární**:

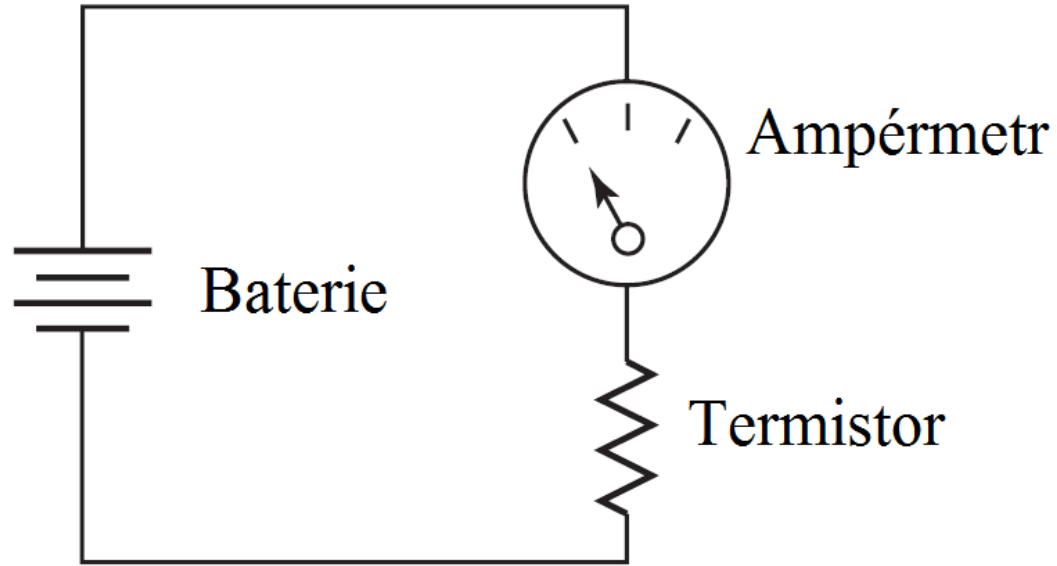
$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

- Mohou být poměrně malé (průměr cca 2.5 mm), avšak pořád jsou **větší než některé termočlánky**

Termistory (3)

- 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 obvodů, apod.
- Moc se nevyužívají v procesním a inženýrském měření (RTD, termočlánky jsou preferované)

Termistor – Zapojení



Termistor – Ukázky



Termistory – Shrnutí

- Poměrně rychlá odezva
- Vysoký výstupní signál



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



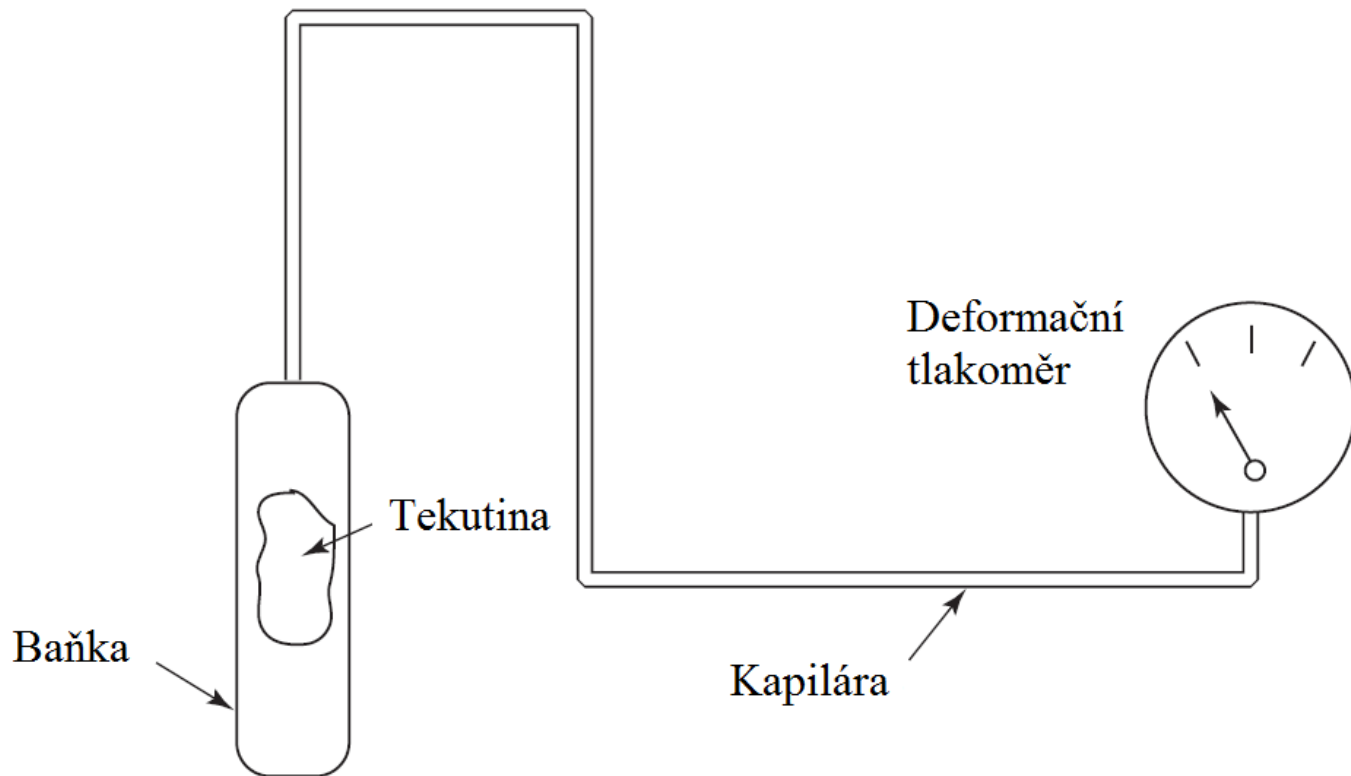
Tlakové (kapilárové) snímače teploty

- **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)**

Tlakové (kapilárové) snímače teploty (2)

- **V případě kapaliny se využívá rozdílné teplotní objemové 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 - Schéma



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)
- Využívají Stefan-Boltzmannův zákon:

$$\dot{q} = \varepsilon\sigma T^4$$



Děkuji za pozornost