

Měření tlaku

Definice tlaku

ROZDĚLENÍ PODLE VELIKOSTI :

Podtlak

Přetlak

tlak určitého prostředí proti normálnímu atmosférickému okolí

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

ROZDĚLENÍ PODLE CHARAKTERU :

Atmosférický tlak = Tlak barometrický

Hydrostatický tlak

Měrný tlak

OSTATNÍ:

Absolutní tlak - tlak měřený od absolutní nuly tlaku, tj. vakua

Dynamický tlak

Kapilární tlak

Parciální tlak – tlak sytých par

Rozdíl tlaků = tlaková diference tlaků dvou různých prostředí

MĚŘENÍ TLAKU

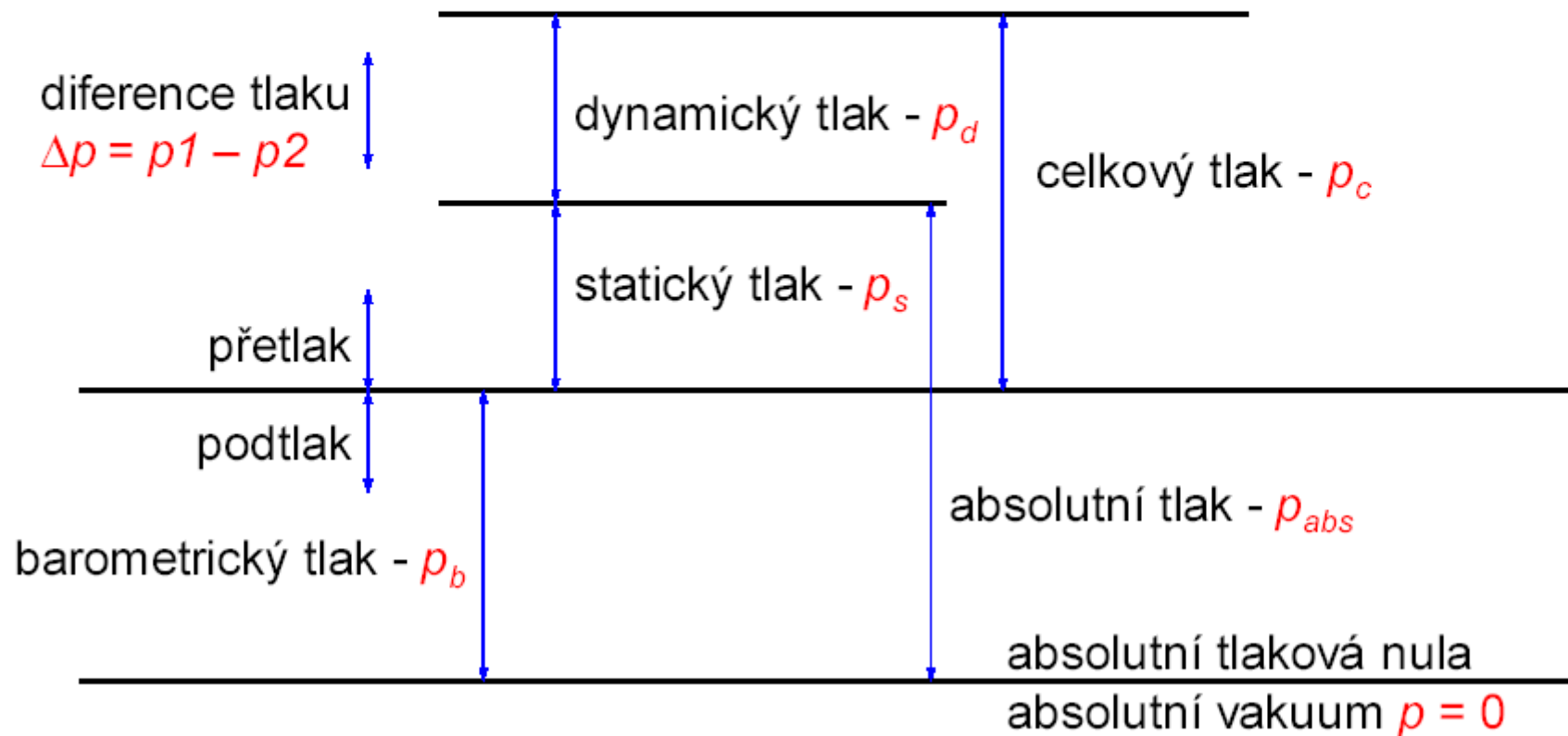
zdroj:

<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/predn/FCHI06-Tlak.pdf>

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

tlak = síla/plocha, hlavní jednotka tlaku je Pa

Základní pojmy:



normální barometrický tlak: $p_{bn} = 101\,325\text{ Pa}$



PODTLAK

Je to tlak menší než barometrický.

Velký podtlak se někdy nazývá nesprávně vakuem, ale slovo vakuum znamená dokonale prázdný prostor neboli vzduchoprázdno, v němž je tlak roven 0. Proto je zaveden pojem ***redukované vakuum***.

PŘETLAK

Je to tlak který je větší jak barometrický. Přetlakem tedy rozumíme kladný rozdíl zjištěného tlaku a tlaku barometrického.

ATMOSFÉRICKÝ (BAROMETRICKÝ) TLAK

Země je obklopena vzduchovým obalem, který se nazývá atmosféra. Atmosféra je v gravitačním poli Země. V tomto poli působí gravitační síla Země na jednotlivé molekuly plynů z nichž je vzduch složen. Tím vzniká ve vzduchu atmosférický nebo-li barometrický tlak.

HYDROSTATICKÝ TLAK

Je to tlak, který je v kapalinách. Pokud je kapalina v klidu a nepůsobí na ni žádná síla, kromě gravitační, potom se tlak mění s hloubkou kapaliny. Pokud bude působit na volný povrch kapalného tělesa tlaková síla, vznikne ve všech místech kapalného tělesa stejný tlak.

MĚRNÝ TLAK

O měrném tlaku se nejčastěji mluví při styku dvou pevných těles. Vzhledem k nedokonalosti styku není tlaková síla obyčejně rozložena spojitě a měrný tlak pak představuje průměrný tlak ve stykové ploše.

ABSOLUTNÍ TLAK

Je to tlak jehož počátek je vztažen k nulovému tlaku, tedy k vakuu. Má vždy kladnou hodnotu, jelikož tlak nemůže být záporný

DYNAMICKÝ TLAK

Je to tlak, který vzniká při pohybu tekutiny. Měří se z rozdílu statického tlaku a z tlaku proudu kapaliny

KAPILÁRNÍ TLAK

Je to přídavný tlak v kapalině, který způsobuje zakřivení povrchu kapaliny při stěnách nádoby, v kapilárách, u kapek a bublin.

Pod vypuklým povrchem je tlak větší o kapilární tlak než tlak uvnitř kapaliny; pod dutým je o tento tlak menší.

Kapilární tlak, vyvolaný povrchovým napětím, je tím větší, čím menší plochu má hladina kapaliny.

PARCIÁLNÍ TLAK

Daltonův zákon parciálních tlaků

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

Je to tlak, který je přímo úměrný objemovému procentu, v jakém je plyn obsažen ve vzduchu (zlomek vyjadřující poměrné objemové zastoupení složky ve směsi)

Celkový tlak plyné směsi P je roven součtu parciálních tlaků jednotlivých složek P_i .

Parciální tlak jedné složky P_i je roven tlaku, který by tato složka měla za teploty T a celkového objemu V plyné směsi.

Např. celkový tlak vzduchu je cca 101 kPa,
z toho p. t. kyslíku je cca 21 kPa, p. t. dusíku je cca 80 kPa

Jednotky tlaku



Blaise Pascal

(1623 až 1662) - jeden ze základních zákonů hydrostatiky - **Pascalův zákon**.

Působíme-li vnější silou na povrch kapaliny, v kapalině je ve všech místech stejný tlak

✓ **Pascal**

✓ **Bar**

✓ **Torr**

1 torr = 1 mm Hg = 1 mm rtuťového sloupce

✓ **Atmosféra**

✓ **Barye**

jednotka tlaku akustické vlny.
Značí se ba.

✓ **Psi**

(pound per square inch)
anglosaská jednotka tlaku,
definovaná jako libra síly na
čtverečný palec

1 psi = 1 lb_f/in² ≈ 6 894,757 Pa



Evangelista Torricelli

(1608 až 1647) -
zavedl označení
atmosférický tlak
vzduchu

Atmosféra

dříve používaná jednotka tlaku.

- **Fyzikální atmosféra (atm) absolutní**
1 atm = 760 torr = 101 325 Pa (přesně) = 0,1 MPa (přibližně)
1 atm = 1,0332 27 at
 - odvozená od normálního tlaku atmosféry
 - hydrostatický tlak svislého sloupce, vysokého 760 mm, čisté rtuti
teplé 0°C při normální tíhovém zrychlení 9,806 65 m.s⁻²
- **Technická atmosféra (at) absolutní**
1 at = 735,52 torr = 98 066,5 Pa (přesně) = 0,1 MPa (přibližně)
1 at = 0,967 84 atm.
 - tlak, který vznikne působením síly 1 kilopondu (kp)
kolmo na plochu 1 cm².
 - byla definována jako normální tlak vzduchu při hladině moře.

Principy měření tlaku

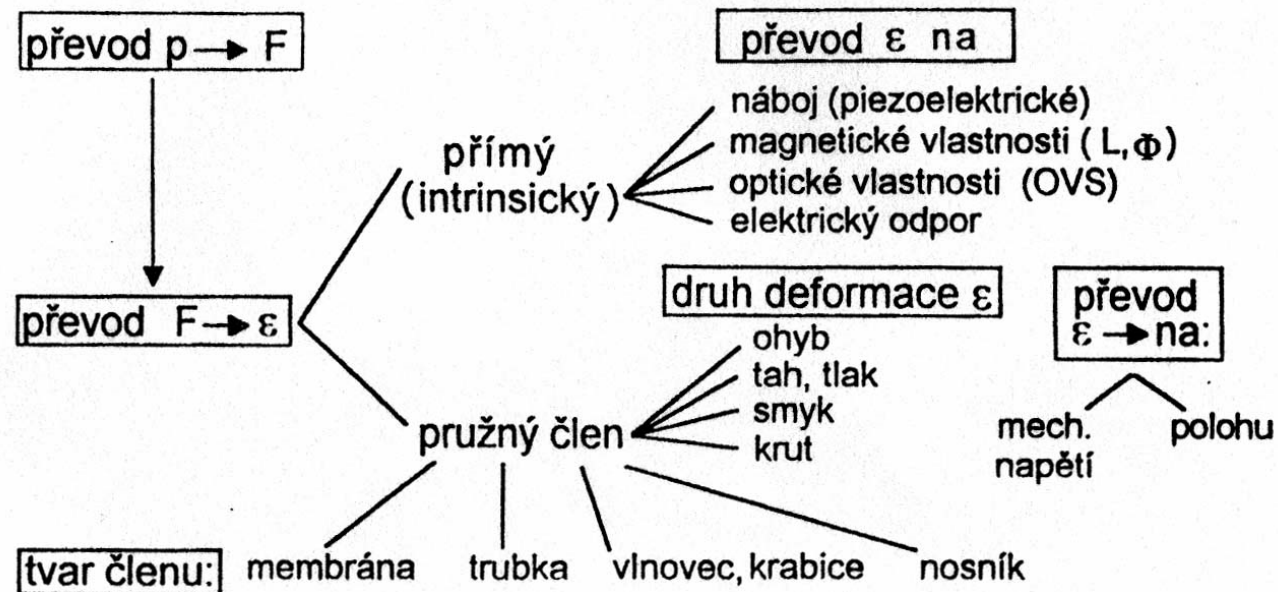
- K měření tlaku lze použít jakéhokoliv fyzikálního děje, který je tlakem ovlivňován.
- Přístroje k měření tlaku = TLAKOMĚRY
 - obvyklé složení
 - **ČIDLO**, reagujícího na příslušný fyzikální děj,
 - **INDIKÁTOR**, který chování čidla převádí na děj objektivně pozorovatelný zrakem.

Mezi čidlo a indikátor se někdy zařazuje převodový člen, který reakci čidla zesiluje, přenáší na dálku, nebo transformuje.

- Konstrukce tlakoměru závisí na:
 - velikosti měřeného tlaku
 - časové proměnnosti měřeného tlaku
 - potřebné přesnosti měření.

Podle kladených požadavků se kombinují různé druhy čidel a indikátorů.

Přístroje pro měření tlaku



Rozdělení tlakoměrů

- TLAKOMĚRY – souhrnný název pro všechny přístroj na měření tlaku
- MANOMETRY – tlakoměry pro měření přetlaků
- VAKUOMETRY – tlakoměry k měření velmi malých absolutních tlaků (méně než barometrický tlak)
- DIFERENČNÍ TLAKOMĚRY – k měření tlakových rozdílů

ROZDĚLENÍ TECHNICKÝCH TLAKOMĚRŮ

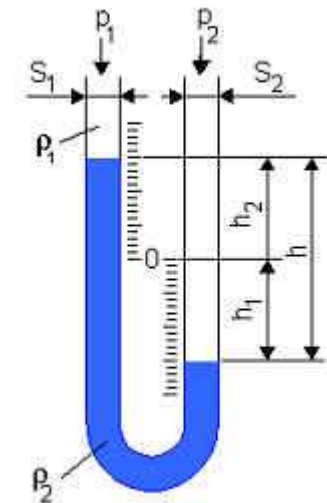
podle funkčního principu:

- hydrostatické
- deformační
- pístové
- elektrické převodníky tlaku

HYDROSTATICKÉ TLAKOMĚRY

- využívá se účinku hydrostatického tlaku
- mírou tlaku je výška kapalinového sloupce h
- **měření tlaku se převádí na měření délky**
- údaj hydrostatických tlakoměrů je závislý na hustotě manometrické kapaliny a na teplotě
- spolehlivé a přesné přístroje využívané hlavně k laboratorním účelům
- nevýhodou je, že neposkytují signál vhodný pro dálkový přenos a pro další zpracování

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

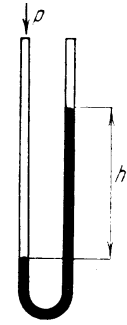


http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/tlak/tlak_tlakomery_kapalinove.htm

HYDROSTATICKÉ TLAKOMĚRY

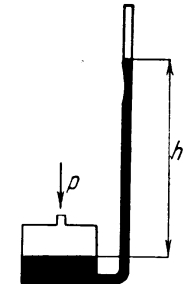
- **U – tlakoměr**

- nejčastěji skleněná U-trubice
- manometrické kapaliny: rtuť, voda, alkohol, tetrachlor



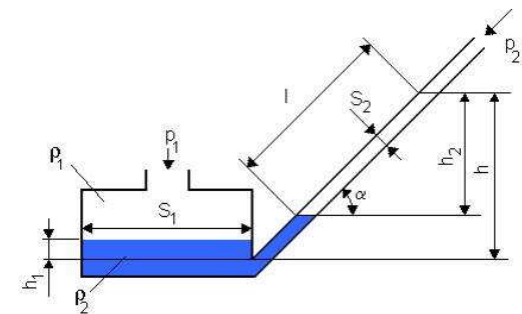
- **nádobkový tlakoměr s potlačenou hladinou**

- modifikace U-tlakoměru s jedním rozšířeným ramenem
- změna výšky hladiny v nádobce je velmi malá \Rightarrow odečítání výšky hladiny pouze v jednom rameni



- **Mikromanometr – nádobkový tlakoměr se šikmou trubicí**

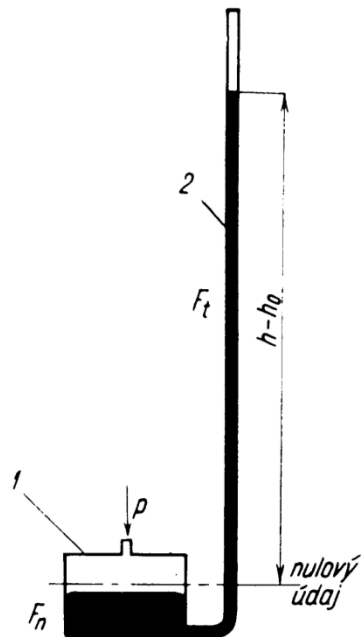
- nakloněním ramene se zvýší citlivost



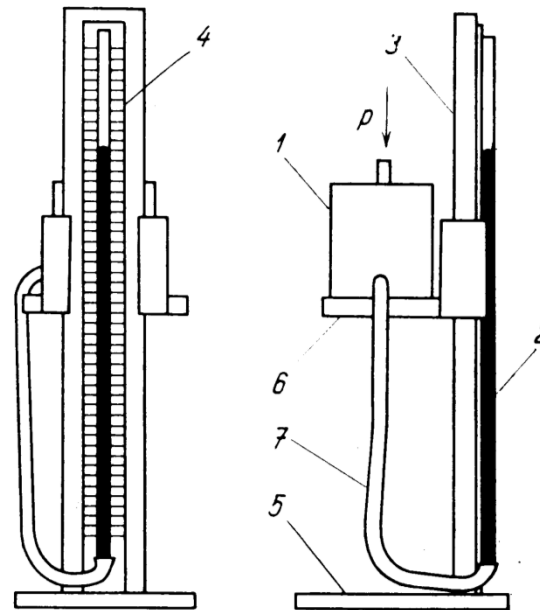
- viz další typy a variace hydrostatických tlakoměrů uvedených v literatuře

MĚŘENÍ MALÝCH TLAKOVÝCH ROZDÍLŮ

Hydrostatický tlakoměr se svislou trubicí a potlačenou hladinou

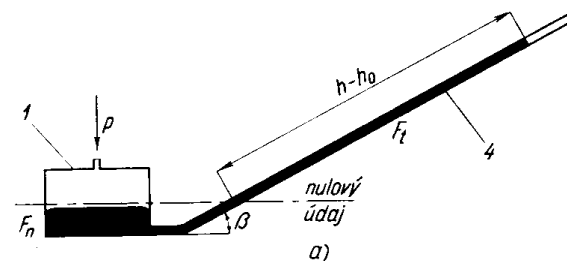


Schéma

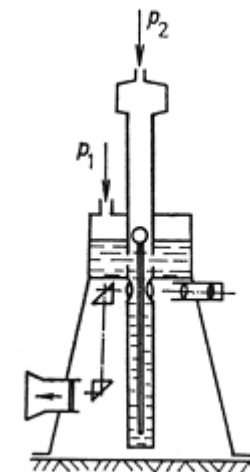


Provedení

Hydrostatický tlakoměr se sklopenou trubicí a potlačenou hladinou



Hydrostatický tlakoměr typu Betz



http://www.e-automatizace.cz/ebook/s/mmv/tlak/tlak_tlakomery_kapalinove.htm

DEFORMAČNÍ TLAKOMĚRY

Při měření tlaku dochází k deformaci čidla, která se vhodným způsobem přeměňuje na jiný signál, který je vhodný pro další zpracování.

- princip je založen na pružné deformaci a změně tvaru tlakoměrného prvku vlivem působení měřeného tlaku
- oblast použití je omezena platností Hookova zákona
- nejčastěji používané tlakoměry v průmyslu
- Nejčastěji používanými tlakoměrnými prvky jsou:
 - Bourdonova trubice
 - membrána
 - vlnovec

VLASTNOSTI **DEFORMAČNÍCH TLAKOMĚRŮ**

- **VÝHODY**

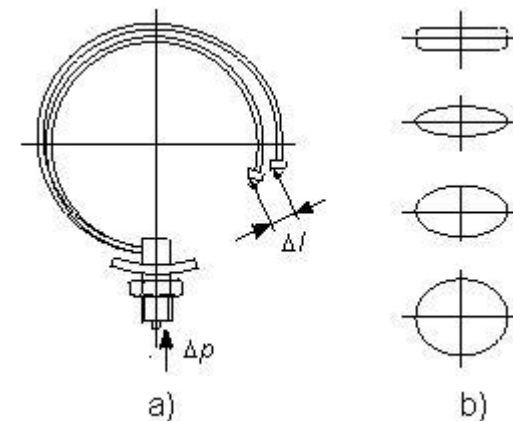
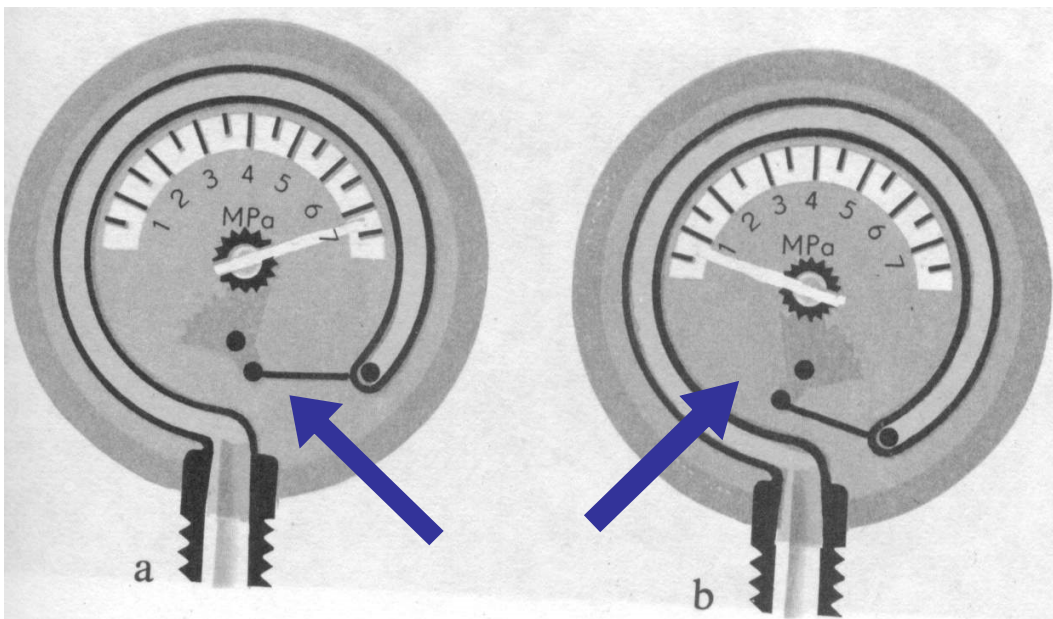
- velká přestavující síla
- robustní měřicí systém
- možnost připojení přídatných převodníků na elektrický signál (použití odporového, kapacitního či indukčního převodníku)
- velký měřicí rozsah
- jednoduchost, spolehlivost v provozu
- jednoduchá obsluha a údržba

- **NEVÝHODY**

- elastické dopružování, případně trvalá deformace během provozu
- statická charakteristika vykazuje hysterezi
- vyžadují pravidelnou kalibrační kontrolu

TRUBICOVÝ (BOURDONŮV) TLAKOMĚŘ BOURDONOVO PERO

- pro měření přetlaku i podtlaku
- zploštělá mosazná trubice eliptického průřezu, která se tlakem narovná
- nejpoužívanější typ deformačních tlakoměrů
- měřící rozsah $0 \div 2000$ MPa

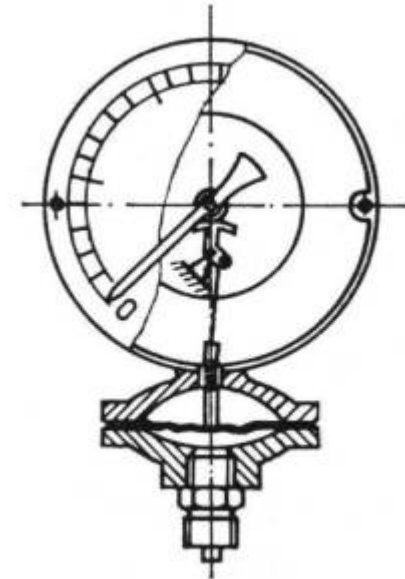
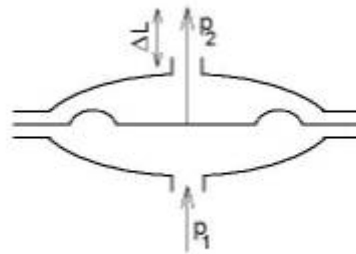


<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm>

http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/tlak/tlak_deformacni_tlakomery.htm

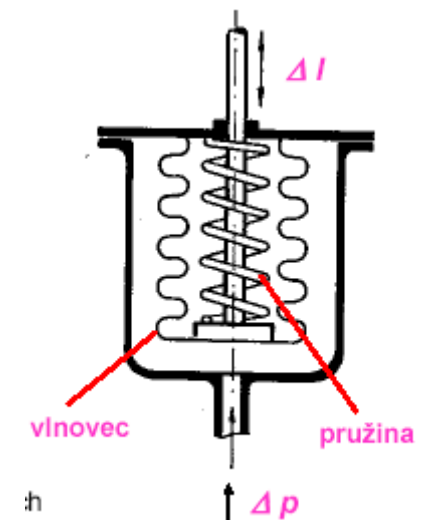
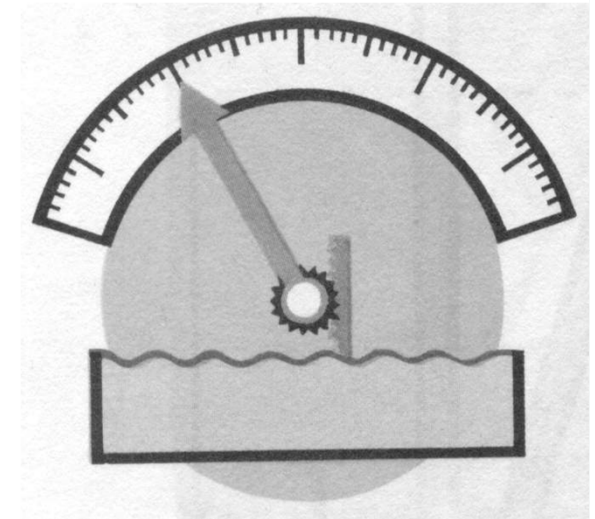
MEMBRÁNOVÉ TLAKOMĚRY

- pro měření přetlaku, podtlaku a diferencí tlaku
- tlakoměrný element – kovová membrána
- membrána je sevřena mezi dvěma přírubami
- tlak je možno přivádět z jedné strany nebo z obou stran
- průhyb membrány se přenáší na ukazovatel
- výhodou je malá setrvačná hmotnost membrány a proto možnost použití v provozech s chvěním a otřesy
- měřící rozsahy: do 4 MPa



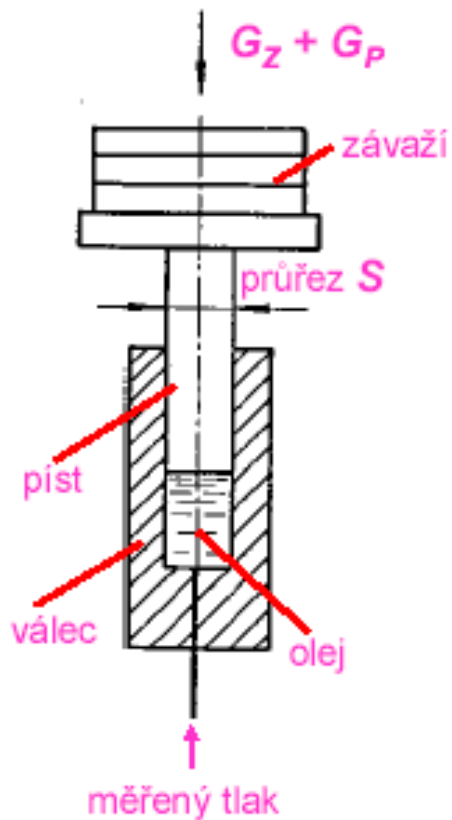
VLNOVCOVÝ TLAKOMĚŘ

- tlakoměrný element je vlnovec - tenkostěnný kovový měch umístěný v pouzdře
- tlak je možno přivádět z jedné strany nebo z obou stran
- tuhost vlnovce a tím i průběh charakteristiky lze upravit vložením pružiny
- deformace vlnovce se přenáší na ukazovatel
- vlnovec má dobrou linearitu a značnou přestavující sílu
- často používaný prvek u pneumatických regulačních systémů
- měřící rozsahy: do 0,4 MPa



TLAKOMĚRY SE SILOVÝM ÚČINKEM

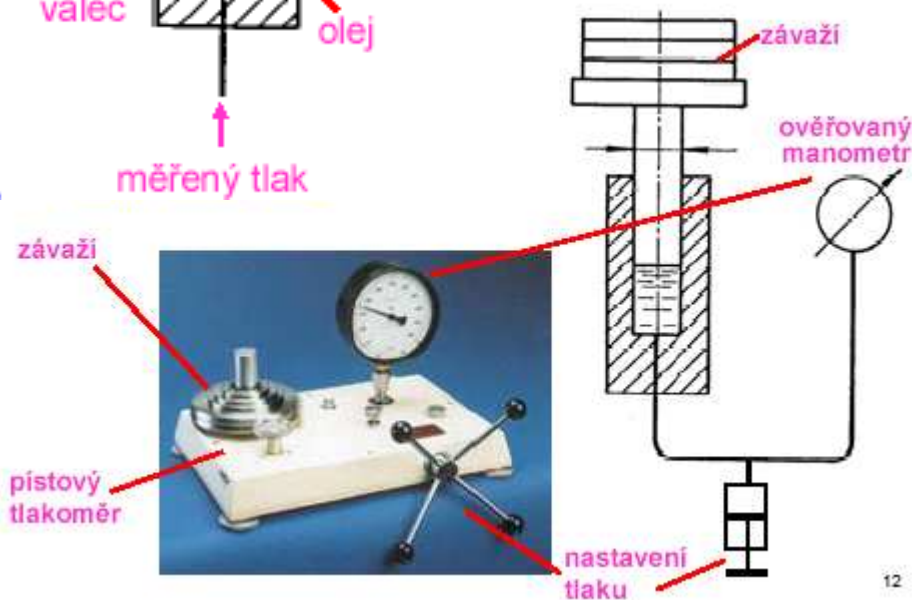
PÍSTOVÉ TLAKOMĚRY



- píst přesného průřezu umístěný ve válci
- tlakové médium – vzduch, voda nebo olej
- tlaková síla na píst je kompenzována tíhou pístu a závaží
- měří na základě definice tlaku

G_z, G_p - tíha závaží a pístu
 S - plocha pístu

$$p = \frac{G_z + G_p}{S}$$



- měření tlaku se převádí na měření síly
- silový účinek je kompenzován například závažím nebo pružinou
- použití hlavně ke kalibraci a ověřování
- vysoká přesnost

ELEKTRICKÉ PŘEVODNÍKY TLAKU

- snímače tlaku, které poskytují výstupní elektrický signál
- jsou vybaveny tlakoměrným prvkem jehož deformace se vlivem působení tlaku převádí na změnu elektrické veličiny jako je odpor, kapacita, náboj, atd.
- moderní a perspektivní snímače vybavené moderními elektronickými vyhodnocovacími obvody
- Nejčastější:
 - snímače tlaku s odporovými tenzometry
 - kapacitní snímače tlaku
 - piezoelektrické snímače tlaku

SNÍMAČE S ODPOROVÝMI TENZOMETRY

ODPOROVÝ TENZOMETR

- využití piezorezistivního jevu
- při mechanickém namáhání v oblasti pružných deformací dochází u kovových vodičů nebo polovodičů ke změně jejich elektrického odporu

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

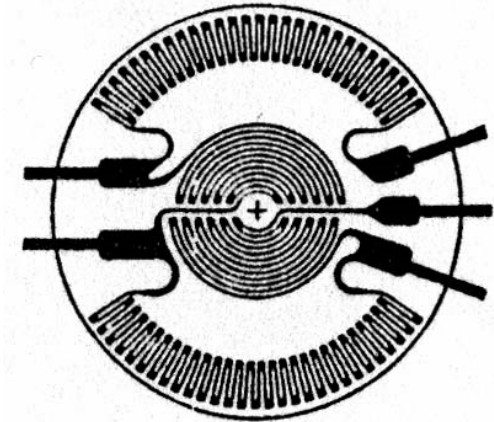
R	odpor vodiče [Ω]
ρ	měrný el. odpor (rezistivita) [Ωm]
l	délka vodiče [m]
S	obsah kolmého průřezu [m^2]

Při natahování se zvětšuje délka vodiče tenzometru (pevně spojeného s povrchem namáhaného objektu, zmenšuje se průřez a podle použitého materiálu se mění i jeho měrný elektrický odpor – u kovových tenzometrů je, ale prakticky nezávislý na deformaci, tedy veličina ρ je **konstantní**). Na změny odporu kovového tenzometru mají pak vliv jen rozměry jeho vodiče.

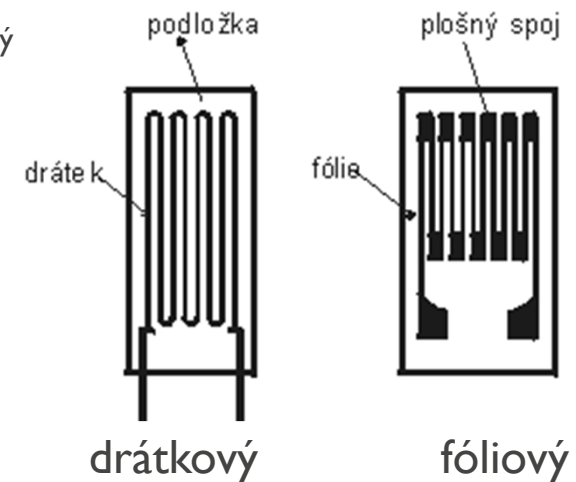
KOVOVÉ ODPOROVÉ TENZOMETRY

- tenké odporové drátky ve tvaru vlásenky
- fóliové – vytvořené odleptáním kovové vrstvy

Kovové odporové tenzometry mají obvykle vodič z **konstantanu** (slitina mědi (55 %) a niklu (45 %)), kvůli malé závislosti jeho odporu na změnách teploty.



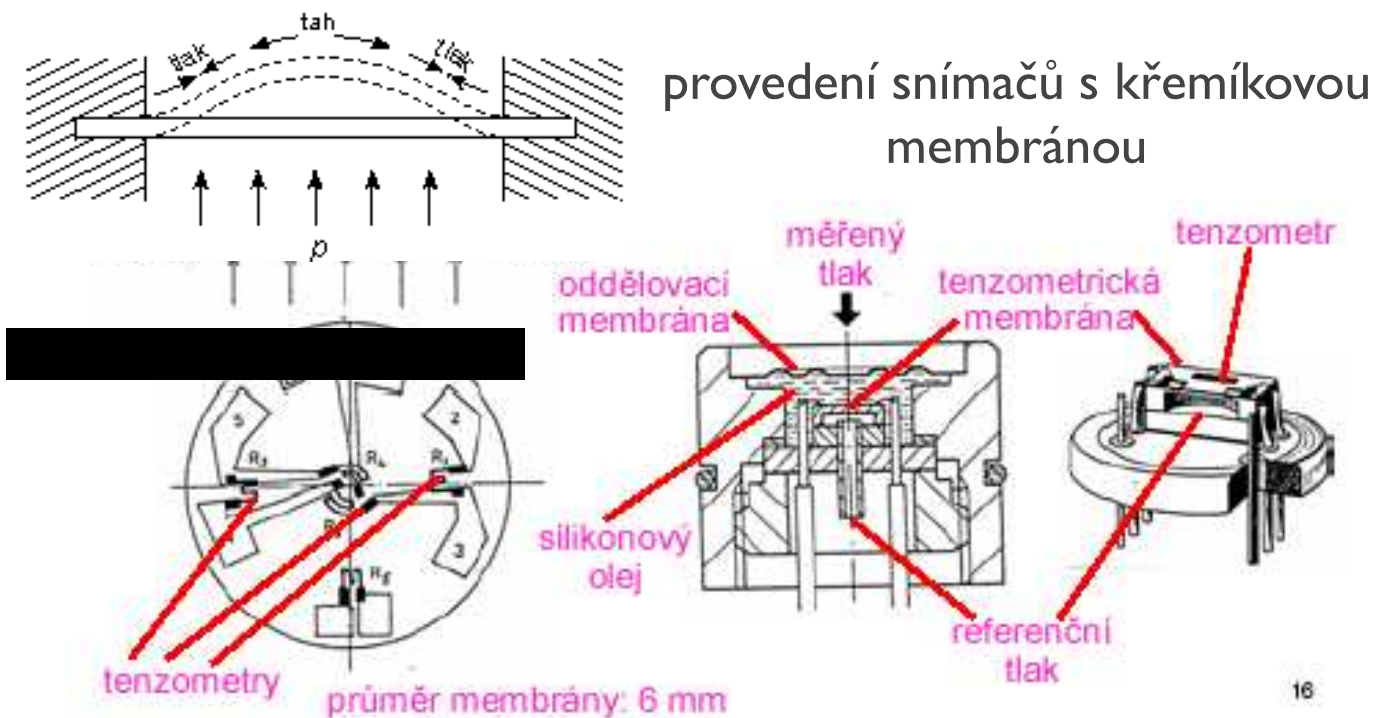
fóliová rozeta pro membránové senzory tlaku



SNÍMAČE S ODPOROVÝMI TENZOMETRY

POLOVODIČOVÉ TENZOMETRY

- řezáním broušením či leptáním z monokrystalu křemíku
- citlivější než kovové, závislost na teplotě

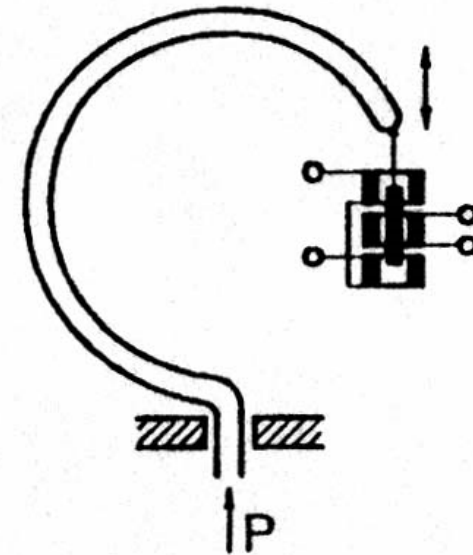


<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm>

U polovodičových odporových tenzometrů se výrazněji projevuje piezorezistivní jev, tj. závislost měrného odporu ρ na mechanické deformaci.

DEFORMAČNÍ SENZORY TLAKU TRUBICOVÉ

- pružný člen je navržen tak, aby bylo snadné měřit jeho maximální deformaci senzory polohy



Obr. Senzor tlaku s Bourdonovou trubicí

<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm>

KAPACITNÍ SNÍMAČE TLAKU

- jedna elektroda kondenzátoru je tvořena membránou jejíž poloha se mění při působení tlaku
- změna vzdálenosti elektrod kondenzátoru se projeví změnou jeho kapacity

$$C[F] = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

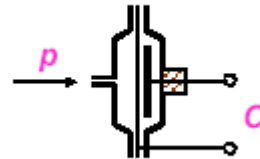
ε_0 - permitivita vakua

ε_r - relativní permitivita

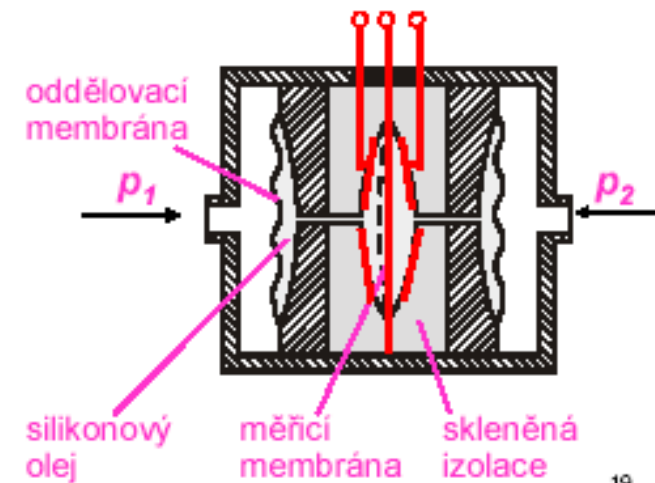
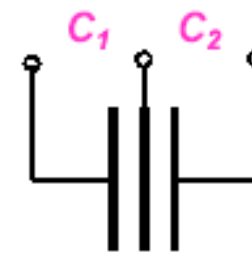
S - plocha elektrod

d - vzdálenost elektrod

- Diferenciální kapacitní senzor s oddělovací kapalinou pro měření difference tlaku
- membrána tvoří střední pohyblivou elektrodu
- měřící rozsah: 100 Pa ÷ 40 MPa



rozdělení elektrod
na
dvě
části



<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm>



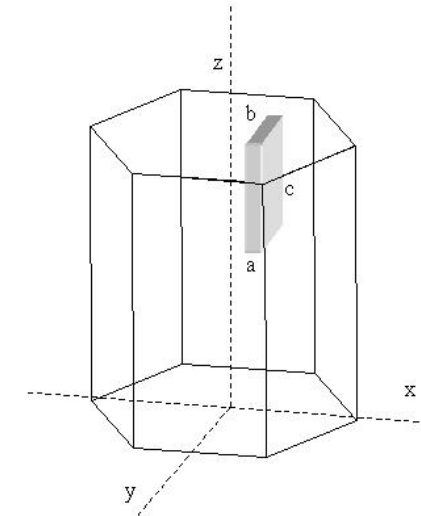
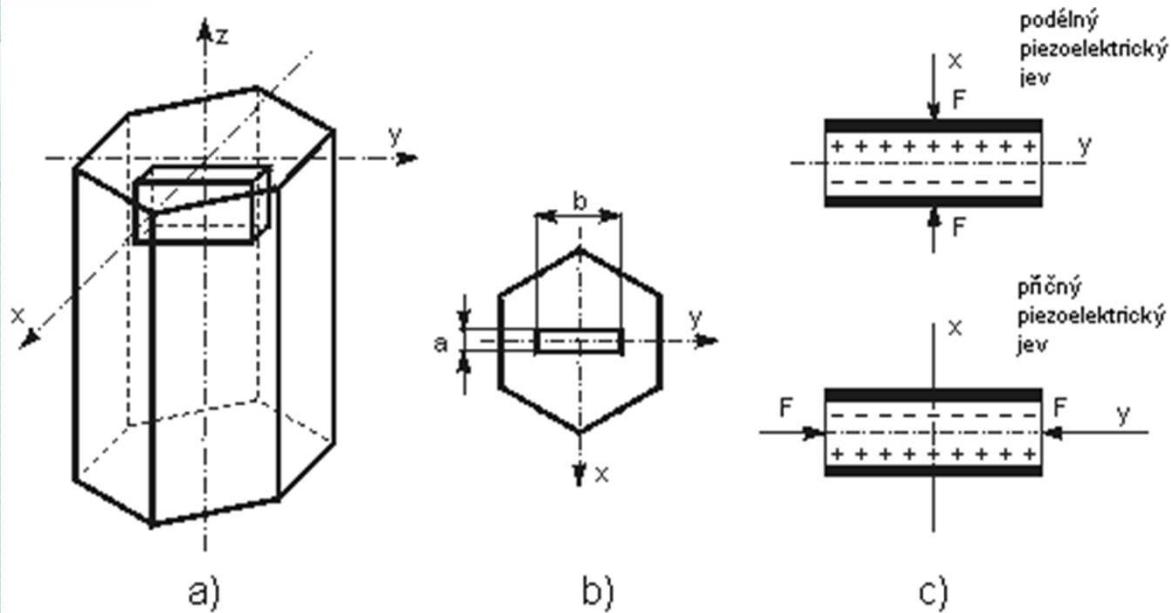
PIEZOELEKTRICKÉ SNÍMAČE TLAKU

- Princip – piezoelektrický jev
- při mechanické deformaci některých krystalů (např. křemene, BaTiO_3) vzniká uvnitř dielektrika polarizace a tím elektrický náboj

PIEZOELEKTRICKÝ SENZOR

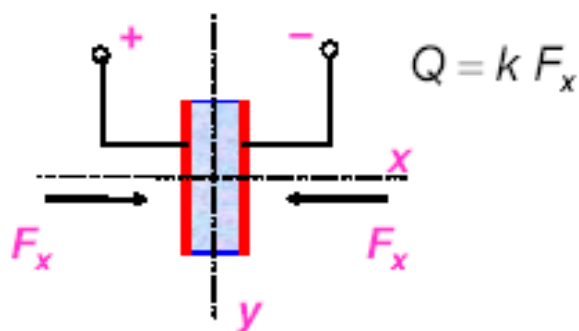
- výbrus z krystalu, který má piezoelektrické vlastnosti
- x – elektrická osa, y – mechanická osa
- na plochách kolmých k elektrické ose jsou naneseny elektrody
- velikost náboje Q je úměrná působící síle F

PIEZOELEKTRICKÉ SNÍMAČE TLAKU

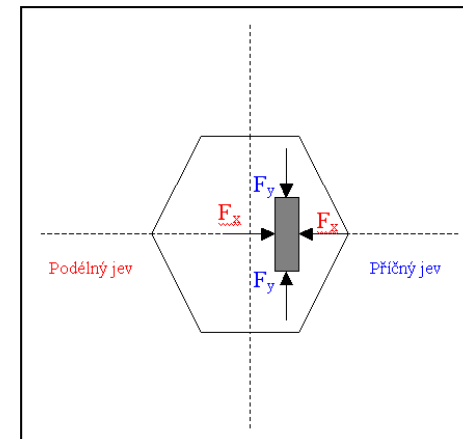
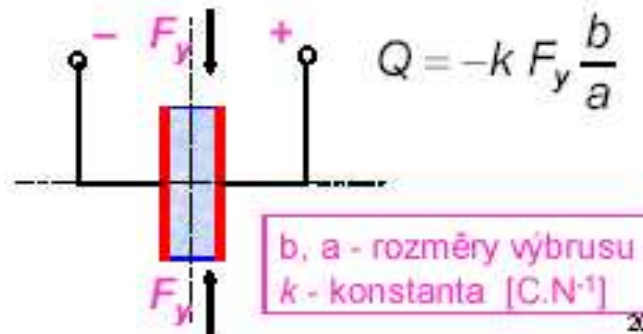


http://e-automatizace.vsb.cz/ebooks/mmv/tlak/tlak_tlakomery_elektricke.htm

Podélný piezoelek. jev



Příčný piezoelek. jev



http://www.umel.feec.vutbr.cz/%7Eadamek/uceb/DATA/s_6_1.htm

PIEZOELEKTRICKÉ SNÍMAČE TLAKU

- při silovém působení na výbrus vzniká náboj
- piezoelektrický snímač je generátorem náboje
- snímač představuje zdroj napětí s vysokým vnitřním odporem
- vhodný pro měření rychlých dějů
- vhodný pro měření za vysokých teplot
- měřicí rozsah až do 100 MPa

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{k \cdot F_x}{C}$$

U – výstupní napětí snímače

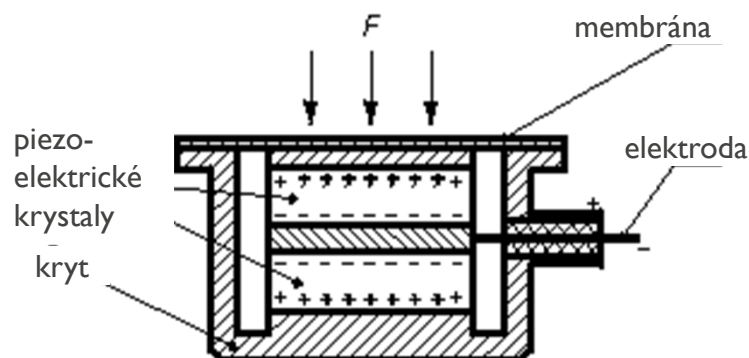
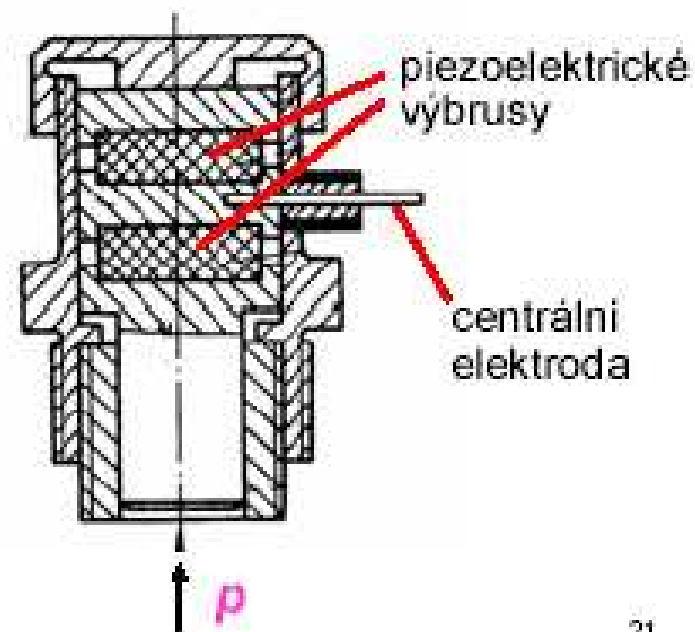


Schéma snímače:



21

<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm>