



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výukové texty

pro předmět

Měřicí technika

(KKS/MT)

na téma

Podklady k principu měření tlaku (podtlak, přetlak)

Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podklady k principu měření tlaku (podtlak, přetlak)

1) Rozbor tlaku

Tlak je fyzikální veličina, kdy hlavní jednotkou je pascal [Pa]. Jednotka pascalu – jeden Pascal je tlak, který vyvolá síla jednoho newtonu rovnoměrně působící na plochu o obsahu 1 m^2 kolmou ke směru síly.

Základní jednotkou tlaku je **pascal** :

$$1 \text{ pa} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

A) Síla působící kolmo na plochu

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S}$$

Kde: F - síla [N]
S - plocha [m^2]
m - hmotnost [kg]
g - tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

B) Hydrostatický tlak

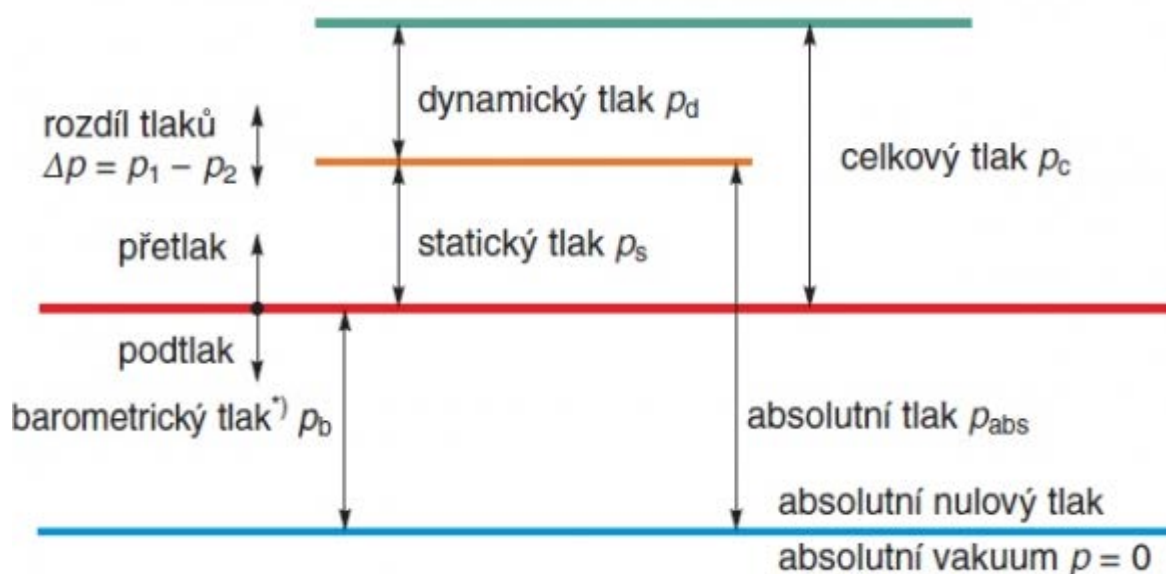
$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Kde: h - výška tekutiny [m]
 ρ - hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
g - tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tlak ve vzduchu

Hodnota tlaku se obvykle udává proti dvěma základním vztažným hodnotám, a to k absolutnímu nulovému tlaku nebo k barometrickému tlaku.



Obr. 1 Grafické znázornění jednotlivých tlakových veličin [1]

P_a ... absolutní tlak, tlak měřený od absolutní tlakové nuly

P_b ... barometrický tlak - tlak vzduchu v daném místě měření

P_{bn} ... normální barometrický tlak, který je roven 101 325 [Pa]

Přetlak/podtlak ... určují se vyšší hodnota/nížší hodnota od aktuálního barometrického tlaku

Vakuum ... velmi silný podtlak blížíící se hodnotě absolutní nuly

Tlak v proudící kapalině

$P_c = P_s + P_d$... celkový tlak v kapalině (je roven součtu statického a dynamického tlaku)

P_s ... statický tlak je stejný v celém průtočném průřezu, měří se kolmo k proudění tekutiny

P_d ... dynamický tlak zahrnující vliv stlačitelnosti (s) kapaliny, je $f(\text{rychlosti})$ -empiricky vyjádřeno

$$P_d = P_k \cdot s$$



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

P_k ... kinetický tlak

$$p_k = \rho \frac{w^2}{2}$$

Známé jednotky tlaku:

Pascal

Bar

Torr - 1 torr = 1 mm Hg = 1 mm rtuťového sloupce

Fyzikální atmosféra (atm) absolutní 1atm = 760 torr = 101 325 Pa (přesně) = 0,1 MPa (přibližně)

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 lbf/in² ≈ 6 894,757 Pa

2) Principy měření tlaku

V minulosti bylo vynalezeno a vyvinuto několik způsobů měření přetlaku a podtlaku. Zařízení pro měření tlaků se mohou nazývat různými jmény, především je to pro měření přetlaku tzv. manometr nebo měření podtlaku tzv. vakuometr, dále to může být ve smyslu snímač tlaku, čidlo tlaku nebo také tlakový senzor.

K měření tlaku lze použít jakéhokoliv fyzikálního děje, který je tlakem ovlivňován. Přístroje k měření tlaku se obecně nazývají tlakoměry. Další dělení může být pro měření přetlaku nebo podtlaku.

Základní konstrukce se obvykle skládá ze – snímacího prvku, které reaguje na příslušný fyzikální děj a – indikátoru, který chování čidla převádí na stupnici pozorovatelnou zrakem nebo jinou veličinu. Též se mezi čidlo a indikátor zařazuje převodový člen (můstek, operační zesilovač, apod.), který reakci čidla zesiluje, linearizuje a přenáší na větší vzdálenost nebo přímo transformuje na požadovanou veličinu.

Konstrukce tlakoměru závisí na:

- velikosti měřeného tlaku
- časové proměnnosti měřeného tlaku
- potřebné přesnosti měření.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Názvosloví tlakoměrů

Manometr ... měření přetlaků (deformační)

Vakuometr ... měření velmi malých absolutních tlaků

Manovakuometr ... měří podtlak i přetlak

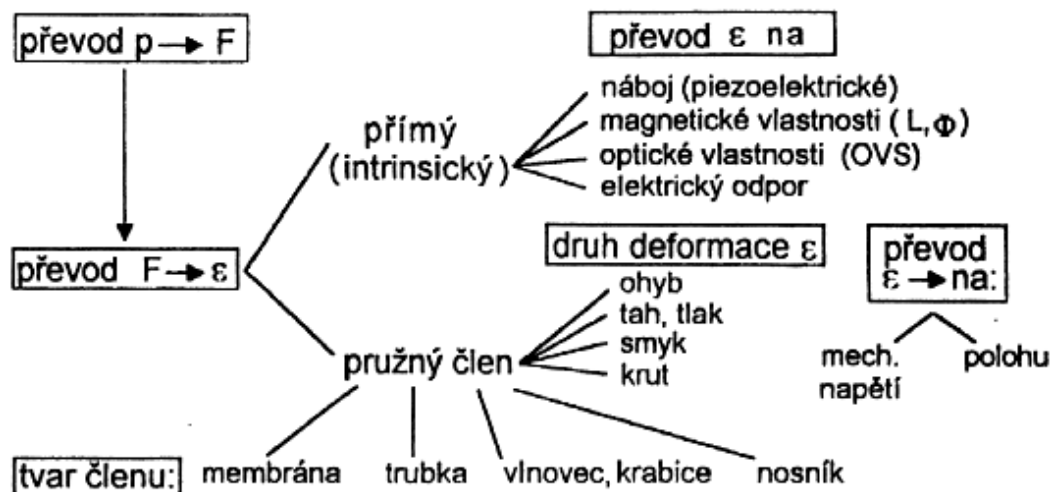
Tahoměr ... měření malých podtlaků (kapalinové nebo deformační)

Diferenční tlakoměry ... měření tlakových rozdílů

Rozdělení tlakoměrů

- Zvonové a pístové
- Kapalinové
- Deformační
- Elektrické

Podle kladených požadavků se kombinují i různé druhy čidel a indikátorů. Způsoby měření tlaku jsou uvedeny na obr. 1 včetně kombinace možností.



Obr. 1.1 Základní blokové schéma možných způsobů měření tlaku nebo podtlaku

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zvonové tlakoměry

Jedná se o princip vztlaku. Pod zvon ponořený do kapaliny je přiveden měřený tlak, který zdvihne zvon.

Měřítkem tlaku je zdvih zvonu - **S účinkem vztlaku**

Tlak lze spočítat dle vzorce:

$$p = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \cdot \rho_2 \cdot g \cdot h = k \cdot h$$

Kde:

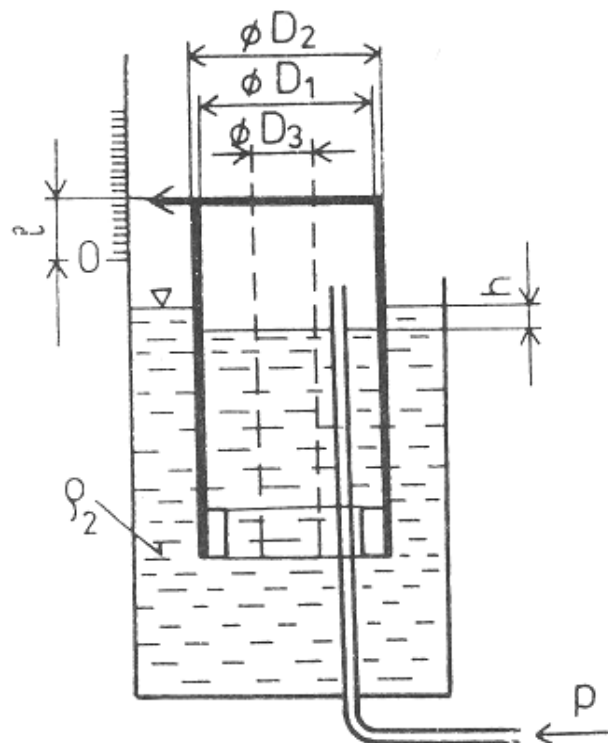
S_1 ... vnitřní plocha dna zvonu [m^2]

S_2 ... vnější plocha dna zvonu [m^2]

ρ_2 ... hustota kapaliny v nádobě [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

h ... zdvih zvonu [m]

k ... konstanta tlakoměru [$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$]



Obr. 1.2 Základní blokové schéma zvonového tlakoměru s účinkem vztlaku [1]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zvětšení měřicího rozsahu se zachovanou citlivostí měření

Při maximální výchylce se na zvon položí závaží až se zvon ponoří do výchozí polohy – citlivost měření se zachová (měří se stejný rozsah) ale celkový rozsah je dvojnásobný

Zvětšení měřicího rozsahu se sníženou citlivostí měření

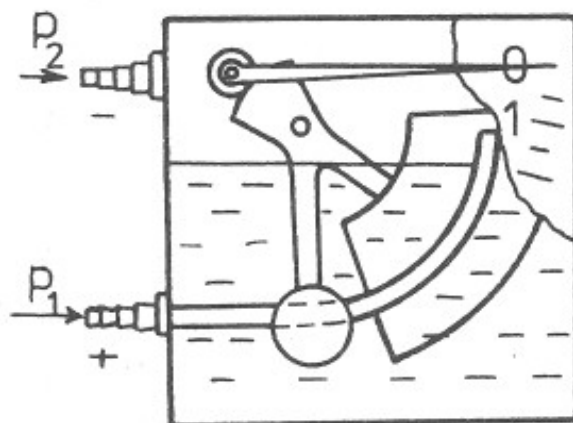
Měřicí rozsah se zvyšuje při jednom zdvihu zvonu. Do zvonu se vloží vztakové přídavné tělo o průřezu S_3 , pak se tlak počítá dle:

$$p' = \frac{S_2 - S_1 + S_3}{S_1 - S_3} \cdot \rho_2 \cdot g \cdot h = k' \cdot h$$

Měřítkem tlaku je zdvih zvonu - **Bez účinku vztlaku**

Jsou vybaveny zdrojem kompenzační síly, která vyrovnává zvon ve stejné poloze. Zdrojem kompenzační síly může být:

- závaží
- pružina



Obr. 1.3 Základní blokové schéma zvonového tlakoměru bez účinku vztlaku [1]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kapalinové tlakoměry

Jednoduché měřicí přístroje, které využívají účinku hydrostatického tlaku, jsou velmi spolehlivé a přesné přístroje využívané hlavně k laboratorním účelům. Jejich nevýhodou je, že neposkytují signál vhodný pro další zpracování nebo dálkový přenos.

Tlak je dán výškou sloupce tlakoměrné kapaliny podle vzorce pro hydrostatický tlak uvedeného výše. Je-li jedno rameno uzavřeno a odčerpán vzduch, lze takto měřit absolutní tlaky. Rozsah je dán použitou kapalinou a délkou ramen trubice. Přesnost kolem 1 mm sloupce použité kapaliny.

U trubicové tlakoměry

Skleněná trubice tvaru U (dvě spojené skleněné trubice), manometrické kapaliny mohou být: rtuť, voda, alkohol, tetrachlor.

Statická charakteristika:

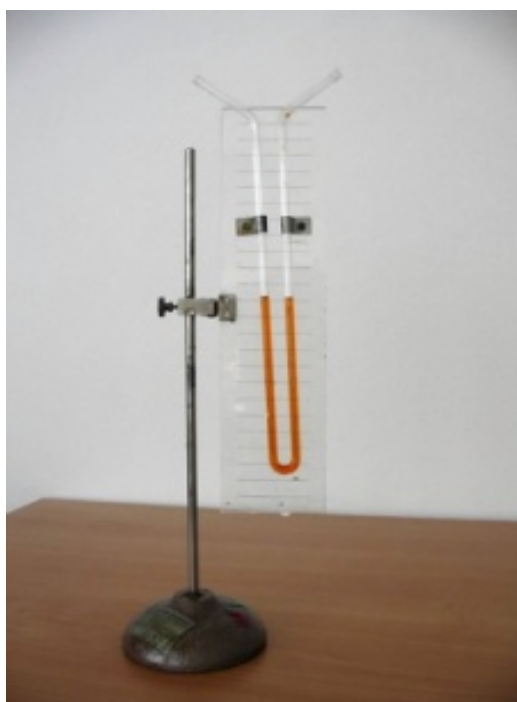
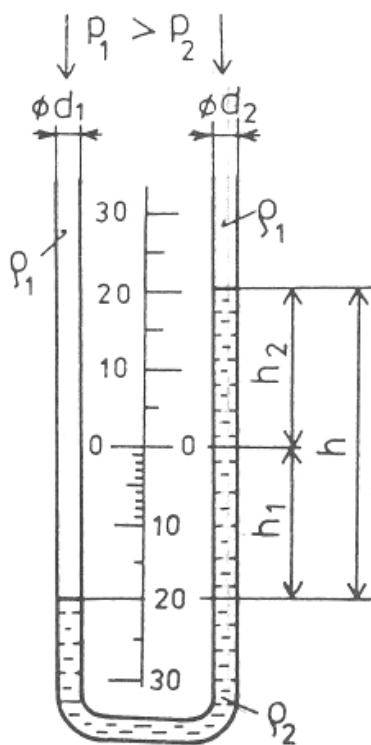
$$h = \frac{p_1 - p_2}{(\rho_2 - \rho_1)g}$$

Kde:

ρ_1 ... hustota měřeného prostředí [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

(při měření tlaku plynu možno zanedbat, protože $\rho_2 \gg \rho_1$)

ρ_2 ... hustota tlakoměrové kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

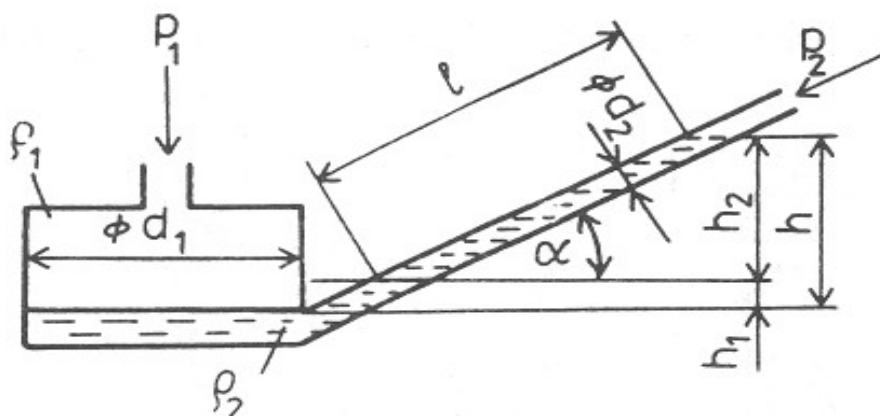


Obr. 1.4 Základní blokové schéma tlakoměru ve tvaru U [1]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Mikromanometr se sklopnou trubicí (sklonný manometr)

Pracuje na stejném principu jako U trubice, ale slouží hlavně k přesnému kontrolnímu měření malých tlaků nebo malých tlakových rozdílů. Zvýšení citlivosti měření a zmenšení měřicího rozsahu se dosahuje skláněním jednoho ramena a rozdílným průřezem ramen.



Obr. 1.5 Základní blokové schéma tlakoměru se skloněnou trubicí (mikromanometr) [1]

Deformační tlakoměry

Základem deformačních tlakoměrů je tzv. pružný element, který je schopný pružné deformace při jeho zatížení působícím tlakem (silou na plochu). Deformační tlakoměry, jsou též známy pod pojmem manometry, se od sebe vzájemně liší svojí konstrukcí a uložením měrného deformačního členu. Díky své konstrukci jsou méně závislé na pracovní poloze, více přetížitelné, mohou mít provedení pro těžké provozní podmínky a jsou pro velké rozsahy tlaku (od setiny až stovky MPa).

Výhody:

- Robustnost
- Malé rozměry
- Velký měřicí rozsah
- Dostatečná přesnost
- Přetížitelnost

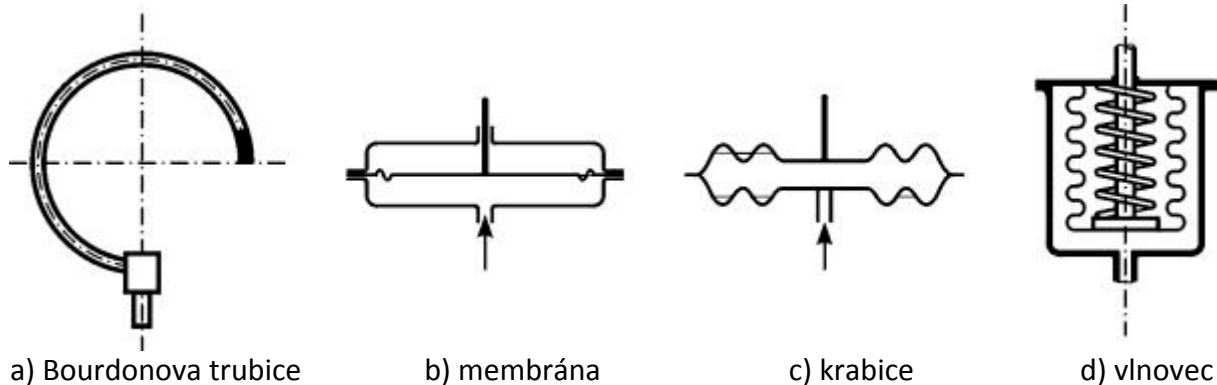
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nevýhody:

- Elastičnost měřicího prvku
- Trvalé deformace měřicího prvku při provozu
- Nejsou definiční přístroje tzn. potřebují kalibrovat a ověřovat

Rozdělení:

- Trubicové
- Membránové
- Vlnovcové
- Krabicové



Obr. 1.6 Základní blokové schéma deformačních prvků tlakoměrů [1]

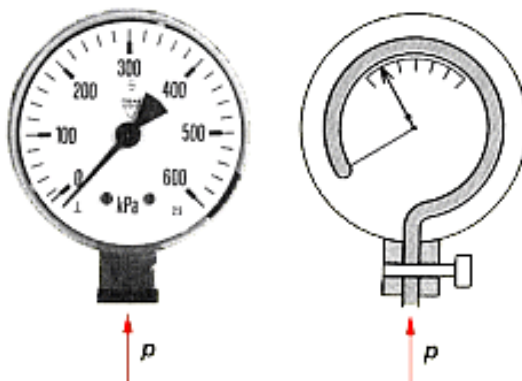
Trubicové tlakoměry

U trubicových tlakoměrů se jako deformačního elementu používá tzv. Bourdonovy trubice, která má eliptický (menší tlaky) nebo kruhový (vyšší tlaky) průřez a je stočená do kruhového oblouku, spirály nebo šroubovice. Konec trubice je pevně spojen s tělesem měřidla, který je opatřeným závitem pro připojení měřeného tlaku. Druhý konec trubice (volný) je pevně uzavřen a spojen přes převodové ústrojí s ukazovatelem. Při působení tlaku se snaží trubice tzv. narovnat v „napřímít se“ z kruhového zakřivení. Pro nízké tlaky je trubice z materiálu nezelezného - mosaz s plošším profilem, pro vysoké tlaky je materiál - ocel a je kruhového profilu. Měřicí rozsahy trubicových tlakoměrů bývají od 0 až do 2 000 MPa.

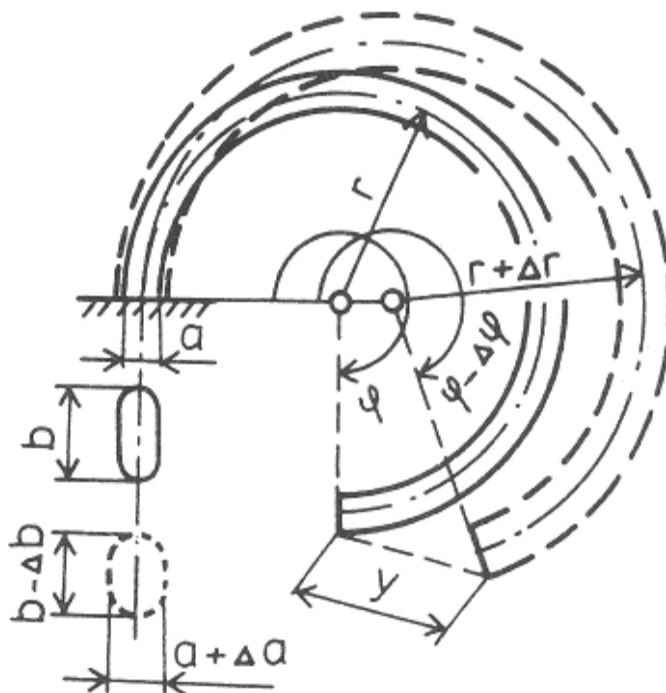
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nevýhody:

- Elastičnost měřicího prvku
- Trvalé deformace měřicího prvku při provozu
- Nejsou definiční přístroje tzn. potřebují kalibrovat a ověřovat



Obr. 1.7 Základní schéma principu deformačního trubcového tlakoměru [1]



Obr. 1.8 Základní blokové schéma deformačního trubcového tlakoměru [1]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

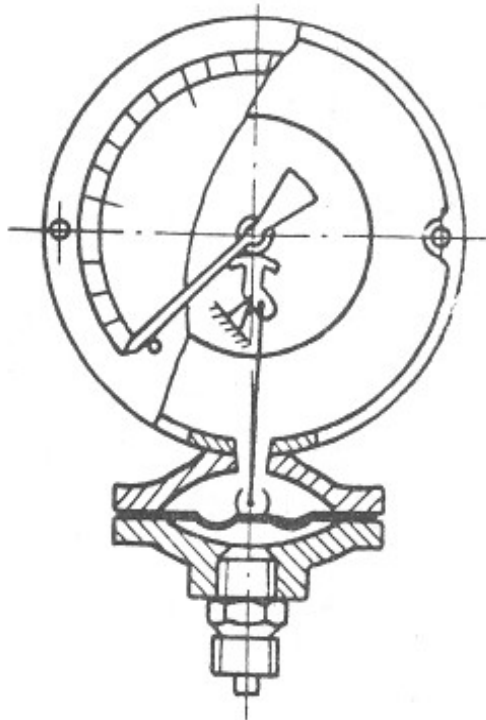


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Membránové tlakoměry - průmyslové

Funkčním principem je využití pružné deformace pružného členu – membrány. Velikost tlaku tak určuje změny geometrického tvaru membrány, která je uložena mezi příruba komory, kam se přivádí z jedné strany měřený tlak nebo z obou stran tlak. Závislost zdvihu na tlaku je přibližně lineární. Používají se kruhové membrány (60 - 250 mm) buď ocelové (pro vyšší tlaky) nebo pryžové (pro nižší tlaky). Kovové membrány mají vlastní tuhost, kdežto pryžové jsou doplněny pružinou, aby byla zaručena charakteristika. Používají se v provozech se silnými vibracemi. Membránové tlakoměry se vyrábějí pro tlaky do 4 MPa a díky konstrukci jsou vhodné pro měření velmi rychle pulsujících tlaků a lze jimi měřit i podtlaky.



Obr. 1.9 Základní blokové schéma membránového tlakoměru [1]

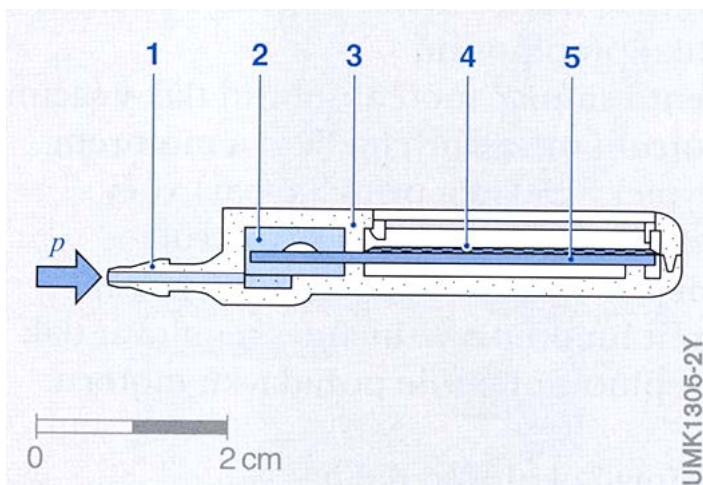
Membránové tlakoměry - miniaturní

Tlakoměrný prvek je polovodičová membrána integrovaná do inteligentního snímače. Snímač je rozdělen na měřicí buňku a vyhodnocovací obvod. Měřicí buňka je z tlustovrstvé membrány, která uzavírá referenční tlak 0,1 bar. Podle měřeného tlaku se membrána deformuje. Deformace se měří tenzometry zapojenými v můstku.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tlustovrstvý senzor tlaku pro montáž do řídicí jednotky automobilu (BOSCH):

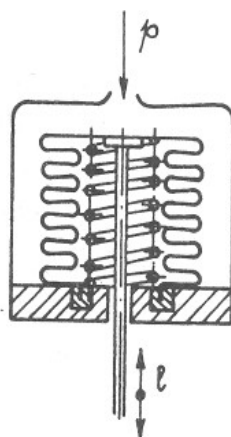
- 1 ... tlaková přípojka
- 2 ... měřicí buňka
- 3 ... těsnicí mezistěna
- 4 ... vyhodnocovací obvod
- 5 ... tlustovrstvý obvod na keramickém substrátu



Obr. 1.10 Základní řez membránového tlakoměru [2]

Vlnkové tlakoměry

Tlakoměrným prvkem je v tomto případě tenkostěnný kovový (případně teflonový) měch - vlnovec, který je umístěn v pouzdře ke kterému je připevněn. Do prostoru nad vlnovec je přiváděn měřený tlak, která jej deformuje. Velikost deformace se přenáší táhlem na ukazatel. Odolnost proti deformaci (tuhost vlnovce) lze snadno zvětšit tuhostí tlačné pružiny. Měří-li se tlakový rozdíl, vně vlnovce vždy působí větší tlak. Používají se pro měření přetlaků a tlakových diferencí do 0,4 MPa a to převážně v regulační technice.

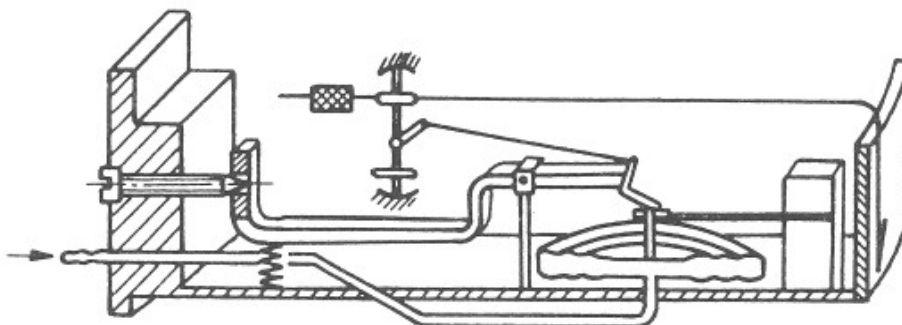


Obr. 1.11 Základní blokové schéma vlnovcového tlakoměru [1]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Krabicové tlakoměry

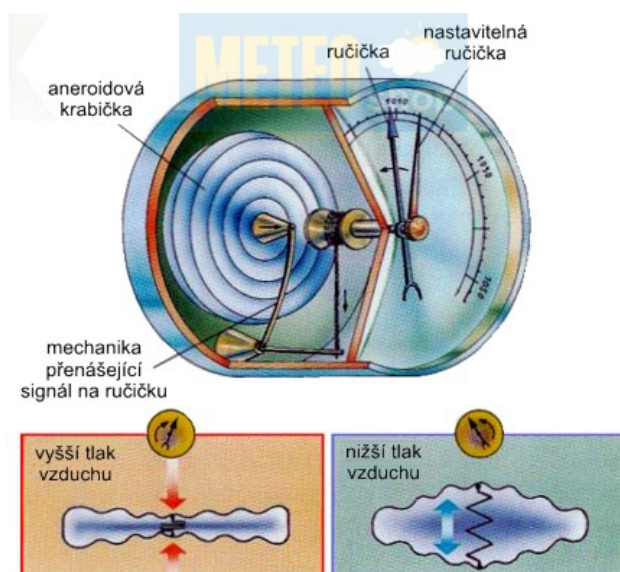
Tlakoměrný prvek je plochá krabice kruhového tvaru, kde jsou dna krabice tvořena membránami o průměru 50 až 100 mm. Používají pro měření malých přetlaků, podtlaků či tlakových diferencí v řádech 10 až 10^3 Pa. Pro zvýšení citlivosti se spojuje několik krabic v jeden konstrukční celek.



Obr. 1.12 Základní blokové schéma krabicového tlakoměru [1]

Krabicové tlakoměry - aneroidy

Tlakoměrné krabice se používá i v přístroji sloužícím pro měření barometrického tlaku. Takovýto krabicový tlakoměr s neprodyšně uzavřeným měřícím členem s vakuem, který se nazývá aneroid a měřený barometrický tlak působí na krabici zevnějšku.



Obr. 1.13 Princip funkce aneroidového barometru [3]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

3) Zabudování tlakoměrů

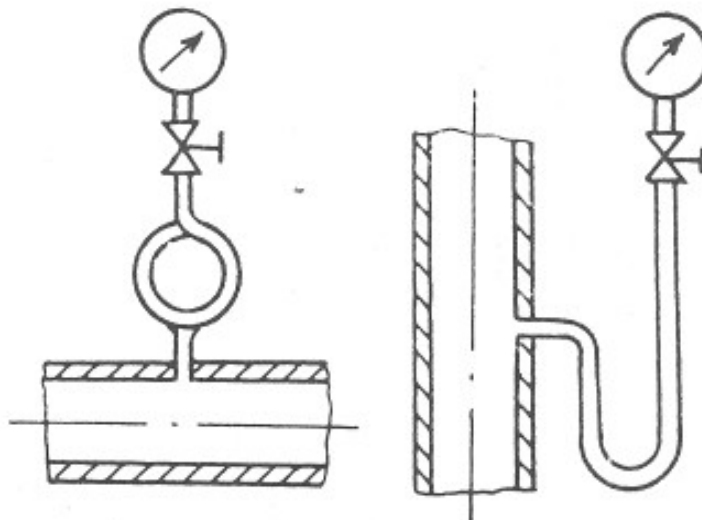
Statický tlak proudění se snímá poměrně malým otvorem (1 mm pro čisté plyny, ve zvláštních případech 2 - 6 mm)

Měřicí místo musí být dostatečně daleko od zdrojů rušení (armatury, ovládací prvky) – obvykle stačí vzdálenost 10d potrubí.

Stěna potrubí musí být v místě měření hladká

Při delším přívodním potrubí k tlakoměru, musí toto potrubí mít určitou světlost (6-10 mm) a spád (min. 1:20) aby nedocházelo k tvorbě kondenzátů a vzduchových bublin. V nejnižším a nejvyšším místě musí být odkalovací resp. odzdušňovací ventily.

Při měření tlaku vodní páry při vysokých teplotách se tlakoměry připojují přes kondenzační smyčky, aby se zabránilo průchodu páry do tlakoměru.



Obr. 1.14 Základní blokové schéma umístění tlakoměru s kondenzačními smyčkami [1]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.

Literatura

- [1] JENČÍK, J., VOLF, J. a kol.: *Technická měření*. ČVUT v Praze, Praha 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [2] Snímače v motorových vozidlech, Robert Bosch odbytová s.r.o, Praha, 2001, ISBN 80-903132-5-6
- [3] Aneroid, <http://www.meteoshop.cz/meteostanice-85-mm-barometr-311376-p-351.html>
- [4] Tlak, <http://www.woehler.cz/cz/hlavni-menu/odborne-informace/obecne/tlak>
- [5] Tlakoměry, <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mertl.htm>
- [6] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [7] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [8] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [9] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [10] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [11] Kompresory, http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Aov/Vyuka/prednaska-kompresory_2cast.pdf
- [12] Atmosféra, <http://www.enviroexperiment.cz/fyzika-stredni-skola/atmosfera-zeme-podtlak-pretlak>