

Měření tlaku

1. Základní pojmy a definice

Tlak je definován silou F působící kolmo na jednotku plochy S , tedy

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

kde je F - síla [N],
 S - plocha [m²],
 m - hmotnost [kg],
 g - tíhové zrychlení [m/s²],

nebo hydrostatickým tlakem sloupce kapaliny o výšce h a hustotě ρ , tedy

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

kde je ρ - měrná hmotnost kapaliny [kg/m³],
 h - výška [m].

Jednotkou tlaku je pascal (Pa). Tlak o velikosti jednoho pascalu je vyvolán silou o velikosti jednoho newtonu rovnoměrně rozloženou na rovinou plochu o obsahu jednoho čtverečního metru kolmou ke směru síly. V termodynamice a některých dalších oborech se používá též jednotka bar. Tedy

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ torr}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1 \text{ kp/m}^2$$

Protože se vyskytují ještě jiné jednotky, je připojena převodní tabulka.

	PSI	kPa	in H ₂ O *	mm H ₂ O	in Hg **	mm Hg	bar	mbar	kp/cm ²	p/cm ²
1 PSI =	1	6,8948	27,7296	704,332	2,036	51,7149	0,0689	68,9476	0,0703	70,307
1 kPa =	0,145	1	4,0218	102,155	0,2953	7,5006	0,01	10	0,0102	10,197
1 in H ₂ O * =	0,0361	0,2486	1	25,4	0,0734	1,865	0,0025	2,4864	0,0025	2,5355
1 mm H ₂ O =	0,0014	0,0098	0,0394	1	0,0029	0,0734	0,0001	0,0979	0,00001	0,1
1 in Hg ** =	0,0412	3,3864	13,6195	345,936	1	25,4	0,0339	33,8639	0,0345	34,532
1 mm Hg =	0,0193	0,1333	0,5362	13,6195	0,0394	1	0,0013	1,3332	0,0014	1,3595
1 bar =	14,5038	100	402,184	10215,5	29,53	740,062	1	1000	1,0197	1019,72
1 mbar =	0,0145	0,1	0,4022	10,2155	0,0295	0,7501	0,001	1	0,001	1,0197
1 kp/cm ² =	14,2233	98,0665	394,408	10000	28,959	735,559	0,9807	980,665	1	1000
1 p/cm ² =	0,0142	0,0981	0,3944	10	0,029	0,7356	0,001	0,9807	0,001	1

* teplota 15 °C

** teplota 0 °C

Absolutní tlak p_a se měří od absolutní nuly, přetlak a podtlak se měří od okamžitého barometrického tlaku p_b .

Vakuum je velice malý absolutní tlak blížící se nule.

Statický tlak p_s se měří v proudící tekutině a je v celém průtočném průřezu stejný.

Kinetický tlak p_k je funkcí rychlosti proudění w a hustoty tekutiny ρ podle vztahu

$$p_k = \rho \cdot w^2 / 2$$

Dynamický tlak p_d zahrnuje vliv stlačitelnosti tekutiny s a je roven

$$p_d = s \cdot p_k$$

U nestlačitelných tekutin (tj. většiny kapalin) je kinetický tlak roven dynamickému.

Celkový tlak p_c je roven součtu statického a dynamického (kinetického) tlaku, tedy

$$p_c = p_s + p_d = p_s + p_k$$

Měření tlaku

Při měření rychle proměnných tlaků je maximální frekvence f_{\max} tlakových změn závislá na délce L impulsního potrubí (přívodní potrubí ke snímači tlaku) podle vztahu

$$f_{\max} = 0,141 \cdot c / L$$

kde je c - rychlost šíření zvuku v prostředí v impulsním potrubí.

2. Rozdělení snímačů tlaku (tlakoměrů)

Podle velikosti měřeného tlaku a podle použití, lze snímače tlaku (tlakoměry) rozdělit na:

- snímače vakua - k měření velmi malých absolutních tlaků - (též vakuometry a ultravakuometry),
- snímače podtlaků i přetlaků (manovakuometry),
- snímače malých podtlaků (tahoměry),
- snímače přetlaků (manometry),
- diferenční snímače - k měření tlakových rozdílů.

Podle definičních vztahů a funkčního principu lze snímače tlaku (tlakoměry) rozdělit na:

- zvonové snímače (tlakoměry) - etalonové přístroje ke kalibraci nízkotlakých snímačů. Měřítkem tlaku je obvykle zdvih zvonu,
- pístové snímače (tlakoměry) - etalonové přístroje ke kalibraci vysokotlakých snímačů. Měřítkem tlaku je hmotnost závaží na pístu známého průřezu,
- deformační snímače (tlakoměry) - nejčastěji používané snímače. Měřítkem tlaku je deformace pružného prvku. Podle tlakoměrného prvku jsou to snímače trubicové, membránové, krabicové a vlnovcové. Další rozdělení je podle způsobu snímání deformace pružného prvku a to: pizorezistivní, tenzometrické, indukční, indukčnostní, kapacitní apod.,
- elektrické snímače - využívají tlakové závislosti elektrické veličiny. Jsou to snímače odporové (vysokotlaké tlakoměry), bolometrické a ionizační (vakuometry).

3. Deformační snímače tlaku

Nejrozšířenější deformační snímače tlaku jsou trubicové a membránové.

3.1. Trubicové snímače tlaku

Deformačním prvkem je trubice oválného nebo eliptického profilu, která je stočena do kruhového oblouku, nebo do spirály o několika závitách. Trubice má volný konec uzavřen. Otevřeným upevněným koncem je do ní přiváděn měřený tlak. Vlivem působícího tlaku se trubice napřimuje a její konec se vychýlí. Toto vychýlení je kromě tlaku také závislé na úhlu stočení trubice. Jak ukazují hodnoty v připojené tabulce, není tato závislost lineární a upozorňuje na to, při jakém úhlu stočení trubice je přírůstek deformace největší

Úhel (°)	180	210	240	270	300	330	360	450
Výchylka (%)	60	72	84	94	97	98	100	110

Z uvedené tabulky např. plyne, že nejvýhodnější úhel stočení trubice je 270 °, protože dalším stočením (až na 360 °) se nedocílí podstatného zvětšení výchylky konce trubice.

Velký vliv na přesnost snímače má teplota trubice. Teplota ovlivňuje modul pružnosti materiálu trubice. Tento vliv je zahrnut teplotního součinitele deformace, který je např. pro barevné kovy (mosaz, bronz, tombak) roven $a = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Absolutní chybu snímače lze vyjádřit vztahem

$$\Delta p_u = \alpha \cdot p_m \cdot \Delta t$$

a relativní chyba

$$\delta(\Delta p) = (\Delta p_u / p_{\max}) \cdot \alpha \cdot \Delta t.$$

3.2. Membránové snímače tlaku

Membrány jsou kruhového tvaru různých velikostí a různé tuhosti. Používají se membrány tzv. tenké a tuhé (s vlastní tuhostí). Tenké membrány jsou rovné, nebo opatřeny soustřednými vlisy. Rovné membrány mají velmi malou deformaci (průhyb středu membrány). Snímání průhybu membrány se provádí několika způsoby: tenzometricky, piezorezistivně, kapacitně, indukčně, induktivně apod. Na velikost průhybu membrány má vliv především konstrukční uspořádání a materiál membrány (modul pružnosti E a součinitel tuhosti membrány).

4. Snímače s odporovými tenzometry

U těchto snímačů se používají odporové tenzometry pro měření deformace v předchozím textu uvedených deformačních členů. Ve většině případů jsou tenzometry umístěny přímo na deformačním členu. Pouze u zvláště membrány je její průhyb převeden na deformaci dalšího členu (např. jednostranně vetknutého nosníku), na kterém jsou umístěny tenzometry. Na deformačním členu je alespoň poloviční tenzometrický můstek, většinou však celý nebo vícenásobný tenzometrický můstek.

Používají se:

1. Tenzometry kovové
2. Tenzometry polovodičové
3. Tenzometry integrované

Tenzometry kovové

Dosud jsou používána čidla s tenzometry lepenými na deformačním členu. Tuhá membrána představuje téměř ideální deformační člen (malá hmotnost, jednoduchá konstrukce, vysoký rezonanční kmitočet). Je vhodná pro měření časově proměnných tlaků. Používají se naprašované tenké nebo tlusté kovové vrstvy na deformační člen. Dosáhlo se zvýšení stability, přesnosti, rozšíření teplotního rozsahu, lepší vlastnosti dynamické a další výhodné vlastnosti. Pro vytvoření izolační vrstvy na kovovém deformačním členu se používá např. nitrid Si, oxid Al, sklo apod. Vyrábí se jak jednoduchá čidla, tak čidla hybridní s vestavěným zesilovačem, dvouodičovým převodníkem nebo úplnou elektronikou.

Čidla s polovodičovými tenzometry

Snaha o zvýšení citlivosti tlakových snímačů vedla k náhradě tenzometrů kovových tenzometry polovodičovými. Dosáhlo se sice zvýšení citlivosti o jeden až dva řády, avšak problémy s lepením tenzometrů nebyly odstraněny. Navíc při použití polovodičových tenzometrů se výrazně zvyšuje teplotní chyba. Optimální se jeví pouze uspořádání pro měření malých tlaků, kdy tenzometry jsou umístěny na samostatném, jednostranně vetknutém nosníku, jehož volný konec je spojen se středem membrány.

Čidla integrovaná

Představují další vývojovou etapu tlakových snímačů a svými parametry jsou velmi vhodným řešením některých požadavků automatizační techniky, robotiky, lékařské techniky apod. U těchto čidel tlaku je jako deformační člen použita tuhá membrána z polovodiče (obvykle křemík) a v ní jsou vytvořeny v difúzních vrstvách polovodičové tenzometry. Tento typ čidla je tedy založen na využití piezorezistence v polovodiči a difúzní vrstvě polovodiče. Působením mechanického namáhání v určité krystalografické ose monokrystalu polovodiče nebo v difúzní vrstvě polovodiče dochází ke změně vodivosti. Vzhledem k řadě výhod, využívá se především piezorezistivní jev v difúzních vrstvách polovodiče. Toto řešení umožňuje:

1. Vytvořit miniaturní (až subminiaturní) snímače.
2. Podstatně jsou zlepšeny mechanické vlastnosti deformačního členu (hystereze, dopružování apod.).
3. Citlivost lze zvýšit ještě tím, že se na deformačním členu vytvoří větší počet aktivních piezorezistivních čidel (tenzometrů).
4. Zvětšit kmitočtový rozsah tlakového snímače.

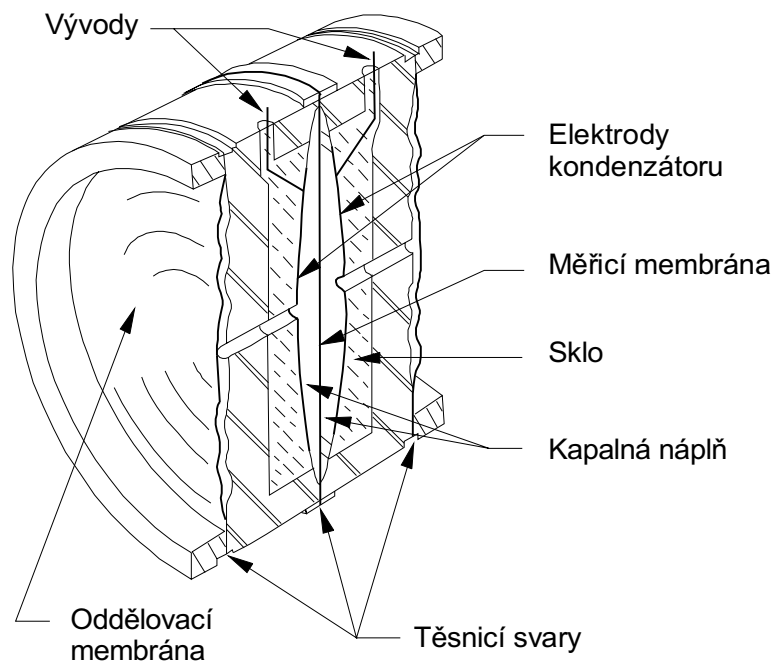
Mezi základní výhody křemíku při použití u deformačního členu patří platnost Hookova zákona v širokém rozsahu deformací (až do $\varepsilon = 0,01$). Další výhodou je minimální hystereze, dobře snáší vysoké teploty a není příliš chemicky reaktivní. Většinou se vyrábí kruhové membrány, na nichž jsou vytvořeny dva nebo více tenzometrů jednoduchých tvarů, které jsou spojeny přímo na membráně plošným spojením.

Značnou výhodou polovodičové technologie je, že lze realizovat čidla s extrémně malými rozměry. Průměr 0,8 mm až 3,9 mm, hmotnost 0,1 g až 0,6 g. Tlakové rozsahy jednotky kPa až desítky MPa. Vlastní kmitočet membrány 100 kHz až 1,6 MHz. Teplotní rozsah $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. U polovodičových snímačů tlaku s křemíkovou membránou je možnost vytvoření vyhodnocovacích obvodů přímo na křemíkovém substrátu. Sériově jsou vyráběny snímače s vestavěnou elektronikou včetně procesoru a paměti. U snímačů s vysokou integrací se prodlužuje doba měření až na 0,2 s.

Použití odporových tenzometrů představuje optimální řešení pro snímače tlaku. Lze realizovat snímače s dostatečnou citlivostí, stabilitou, frekvenčním rozsahem a subminiaturního provedení.

5. Snímače s kapacitními čidly

U těchto snímačů je využíván pro měření tlaku kapacitní čidlo. Deformační člen (kovový, polovodičový, keramický) vytváří alespoň jednu elektrodu kapacitního čidla. Nejčastěji používaným deformačním členem je membrána. Pro malé tlaky se používá tenká membrána nebo vlnovec. Kapacitní čidlo tlaku je konstrukčně velmi jednoduché. Pro speciální aplikace jsou známa čidla plochá a velmi malých rozměrů. Parazitní vliv kapacity přívodů je řešen pomocí hybridní nebo integrované elektroniky vestavěné ve snímači. Kapacitní princip je velmi často využíván při měření tlakové diference. Společnou vlastností všech těchto snímačů je velká rozlišovací schopnost a ochrana deformačního členu snímače před přetížením. Pracovní rozsah těchto diferenčních snímačů tlaku je v rozmezí 100 Pa až 40 MPa. Přitom statický tlak může dosáhnout až 40 MPa. Nejznámější provedení diferenčního čidla tlaku je dle obr. 3 se střední elektrodou (membránou) a pevnými elektrodami vytvořenými na izolantu (keramika, sklo), tvarovaném tak, aby změna kapacity byla co největší a současně byl vytvořen mechanický doraz proti přetížení. Běžně se používají kovové nebo keramické oddělovací membrány, přičemž prostor mezi měřicí membránou a oddělovací membránou je naplněn silikonovým olejem nebo inertní kapalinou.



Obr. 3 Průřez kapacitním čidlem δ -Cell™

Kapacitní čidlo představuje optimální řešení pro snímač tlakové diference. Nejnovější kapacitní snímače jsou založeny na miniaturizaci a vysoké kvalitě čidel. Díky malým rozměrům bylo možno čidla přesunout do skříně elektroniky, kde jsou lépe chráněna před teplotním a hlavně mechanickým namáháním. Tím došlo k dalšímu zlepšení parametrů - přesnost až 0,05 %, vliv změny teploty až 0,0012 %/K, vliv statického tlaku a 0,015 %/ 1 MPa.

Kapacitní princip se používá též u zpětnovazebních snímačů se silovou elektrostatickou nebo elektromagnetickou kompenzací. Tento způsob zaručuje opakovatelnost lepší než 0,02 %, práh měření 0,1 Pa.

6. Snímače s piezoelektrickými snímači

U snímačů tohoto typu se využívá piezoelektrický jev, který se vyznačuje tím, že při působení tlaku na materiál s piezoelektrickými vlastnostmi se generuje náboj úměrný tlaku. Jako citlivý materiál se používá především piezokeramika a křemen. Čidlo tlaku je vytvořeno spojením několika disků. Podmínkou pro lineární charakteristiku snímače a vysoký rezonanční kmitočet je mechanické předpětí. Do snímače bývá obvykle zabudován impedanční převodník. Piezoelektrický snímač tlaku se vyznačuje malými rozměry. Může pracovat při vysokých teplotách. Některé konstrukce mají vzduchové nebo kapalinové chlazení. Tento typ snímače je vhodný pouze pro měření časově proměnných tlaků. Obvykle mají vestavěnu kompenzaci parazitního působení vibrací. Horní hranice snímačů tlaku tohoto typu je 100 MPa.

7. Speciální snímače tlaku

Do této skupiny můžeme zařadit, mimo jiné, světlovodné snímače tlaku. Pro jejich funkci se využívá vlastností světla. Jako příklad lze uvést reflexní snímač pracující s odrazem světelného toku na membráně. Jako zdroj světla se používá světelná emisní dioda, která je připojena na skleněné vlákno. Druhý konec světlovodu (skleněného vlákna) je umístěn do definované vzdálenosti od membrány tak, aby se světelný tok vycházející ze světlovodu odrazil od membrány a vrátil se do přijímacího světlovodu. Na druhém konci přijímacího světlovodu je fotodioda, která převede světelný tok na elektrický signál. Snímače tohoto typu se vyznačují malými rozměry. Mohou pracovat ve výbušném prostředí a v zařízeních s extrémním rušením elektromagnetickým polem. Byly zkonstruovány snímače vysoké citlivosti (0,1 mPa) v subminiaturním provedení pro měření zvukových a ultrazvukových signálů. Snímače tohoto typu lze považovat za perspektivní.

8. Inteligentní snímače

Pod tímto označením rozumíme uplatnění zcela nových koncepcí obvodů zpracování výstupních signálů z čidel, vyvolané především rozvojem mikroelektroniky, výpočetní techniky a číslicového zpracování signálů. Splnění základních úkolů inteligentních snímačů vyžaduje soustředění v těsné blízkosti čidla elektroniku zajišťující následující operace:

- základní diagnostiku čidla a měřicích obvodů
- digitalizaci signálu
- řízení měřicího algoritmu
- úpravu převodní charakteristiky čidla
- automatickou kalibraci
- automatickou korekci systematických chyb
- úpravu signálu pro číslicovou komunikaci s centrem.

Typické pro inteligentní snímače je:

1. umístění elektronických obvodů do pouzdra nebo těsné blízkosti čidla
2. číslicová obousměrná komunikace s centrem.

Toto je možné díky miniaturizaci elektronických obvodů s využitím mikroelektronických a mikromechanických technologií. Inteligentní snímače vedou k podstatnému zlepšení metrologických parametrů měřeného signálu. Je to především:

- a) Potlačení vlivu rušení číslicovým přenosem informace zkrácením spoje čidlo - měřicí obvody
- b) Kontrola integrity výsledků a přenášené informace
- c) Identifikace snímače adresami podporuje adaptibilitu a zvýšení spolehlivosti řídicích systémů
- d) Možnost dálkové diagnostiky snímačů.

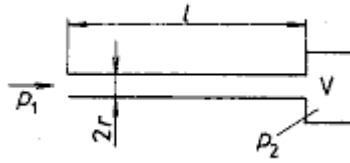
Mezi problémové oblasti u inteligentních snímačů lze uvést:

- A) Složitost a problémy spojené s nároky na vývoj snímačů (nákladné vývojové systémy mikropočítačů).
- B) Nároky na kvalifikaci údržby a její přístrojové vybavení.
- C) Nepříznivé podmínky v okolí snímače (především teplota) mohou ovlivnit popř. vyřadit z funkce mikroelektronické obvody.

Inteligentní snímače jsou nasazovány především v oblasti diagnostiky. Budoucí rozvoj a uplatnění inteligentních snímačů je zásadně podmíněn existencí společného standardního komunikačního rozhraní pro spolupráci inteligentních snímačů a akčních členů. V této oblasti se velice rozšířil protokol HART, který se stal de facto standardem pro provozní inteligentní snímače. O tom, který novější protokol jej do budoucna nahradí, se zatím můžeme jen dohadovat. Kandidátů je mnoho, např. Foundation Field Bus, CAN, Device-Net, Profibus-PA, Lon Work aj., ale s největší pravděpodobností si každý z nově vzniklých způsobů komunikace najde své uplatnění v určité oblasti průmyslu.

9. Měření časově proměnných tlaků

Ideální pro snímání časově proměnných tlaků jsou snímače s čelní membránou, bez přívodního potrubí nebo mrtvého prostoru před membránou. Ve většině aplikací je však tlakový snímač vzdálen od místa snímání tlaku a je s tímto místem spojen potrubím. Obzvláště u některých systémů bývá v místě měření tlaku velmi malý prostor. Frekvenční vlastnosti snímače se přívodním potrubím výrazně změní. Uspořádání je patrné z obr. 4.



Obr. 4 Přívodní potrubí ke snímači

Jestliže vyjádříme parametry potrubí pomocí soustředěných parametrů R_m , L_m , C_m , pak pro akustickou kapacitu platí

$$C_m = \frac{V}{\rho \cdot v^2}$$

Akustická indukčnost je definována jako

$$L_m = \frac{4l\rho}{3\pi r^2}$$

Akustický odpor je

$$R_m = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

kde je V - objem pracovní dutiny čidla,
 ρ - měrná hmotnost měřeného prostředí,
 v - rychlost šíření zvuku v prostředí,
 l - délka potrubí,
 r - vnitřní poloměr potrubí,
 η - dynamická viskozita prostředí.

Závislost tlaku p_2 uvnitř pracovní dutiny snímače na měřeném (vstupním) tlaku p_1 ve vstupním konci trubky je dána vztahem

$$\left| \frac{p_2}{p_1} \right| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 L_m C_m)^2 + \omega^2 R_m^2 C_m^2}}$$

nebo

$$\left| \frac{p_2}{p_1} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + 4h^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

kde kruhový kmitočet vlastních kmitů akustického systému je

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_m C_m}} = \sqrt{\frac{3\pi r^2 v^2}{4lv}}$$

příčemž poměrné tlumení

$$h = \frac{1}{2} R_m C_m \omega_0 = \frac{2\eta}{\nu \rho r^2} \sqrt{\frac{3lv}{\pi}}$$

Rozdíl fáze mezi tlaky p_2 a p_1 můžeme určit z rovnice

$$\varphi = \arctg\left(-\frac{\omega R_m C_m}{1 - \omega^2 L_m C_m}\right) = \arctg\left[-\frac{2h \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right]$$

Pro velmi tenké trubky může být předchozí vztah upraven ($L_m \rightarrow 0$)

$$\left|\frac{p_2}{p_1}\right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_m^2 C_m^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

kde $\tau = R_m C_m = \frac{8\eta\nu}{\pi r^4 \nu^2 \rho}$ je časová konstanta systému

Obvykle však bývá uspořádání přívodu ke snímači ještě složitější. Kmitočtové vlastnosti snímače a snímače s přívodním potrubím se od sebe výrazně liší.

10. Metrologické zajištění tlaku

Úlohou metrologie je zajišťovat jednotnost a správnost měření. Čím je vyšší technická úroveň v aplikační oblasti měření tlaku, tím vyšší jsou požadavky na metrologické zabezpečení.

Primární etalonáž tlaku v rozsahu 10^{-4} Pa až 1 GPa s následujícími nejistotami zajišťuje ČMI, primární laboratoř tlaku, umístěná v Brně.

- a) Přetlak v plynném médiu:
 - rozsah 5 - 350 kPa s nejistotou 8 ppm (0,0008 %)
 - rozsah 350 kPa - 7 MPa s nejistotou 10 ppm (0,001 %)
- b) Absolutní tlak v plynném médiu:
 - rozsah 5 - 350 kPa s nejistotou 1,5 Pa + 0,0012 % z měřené hodnoty
 - rozsah $10^3 - 10^{-3}$ Pa s nejistotou 0,05 %
 - rozsah $10^{-3} - 10^{-4}$ Pa s nejistotou 0,2 %
- c) Podtlak v plynném médiu:
 - rozsah 0 - 100 kPa s nejistotou 10 ppm (0,001 %)
- d) Přetlak v olejovém médiu:
 - rozsah 2 - 28 MPa s nejistotou 0,004 %
 - rozsah 10 - 141 MPa s nejistotou 0,005 %
 - rozsah 141 - 1000 MPa s nejistotou 0,1 %

V současnosti zajišťují sekundární etalonáž tlaku nejvyšších přesností v ČR dvě laboratoře ČMI umístěné v Brně a Praze v rozsazích a přesnostech pokrývajících metrologické potřeby:

- přetlak v plynném médiu v rozsahu 10 Pa - 20 MPa s nejistotou od 0,004 % a horší
- podtlak v plynném médiu v rozsahu 0 - 100 kPa s nejistotou od 0,01 % a horší
- absolutní tlak v plynném médiu v rozsahu 0 - 300 kPa s nejistotou od 0,01 % a horší
- diferenční tlak v plynném médiu v rozsahu 0 - 1 MPa za statického tlaku do 20 MPa s nejistotou 0,01 % a horší
- přetlak v olejovém médiu v rozsahu 0,1 - 1000 MPa s nejistotou 0,01 % a horší.

5. Montáž snímačů tlaku

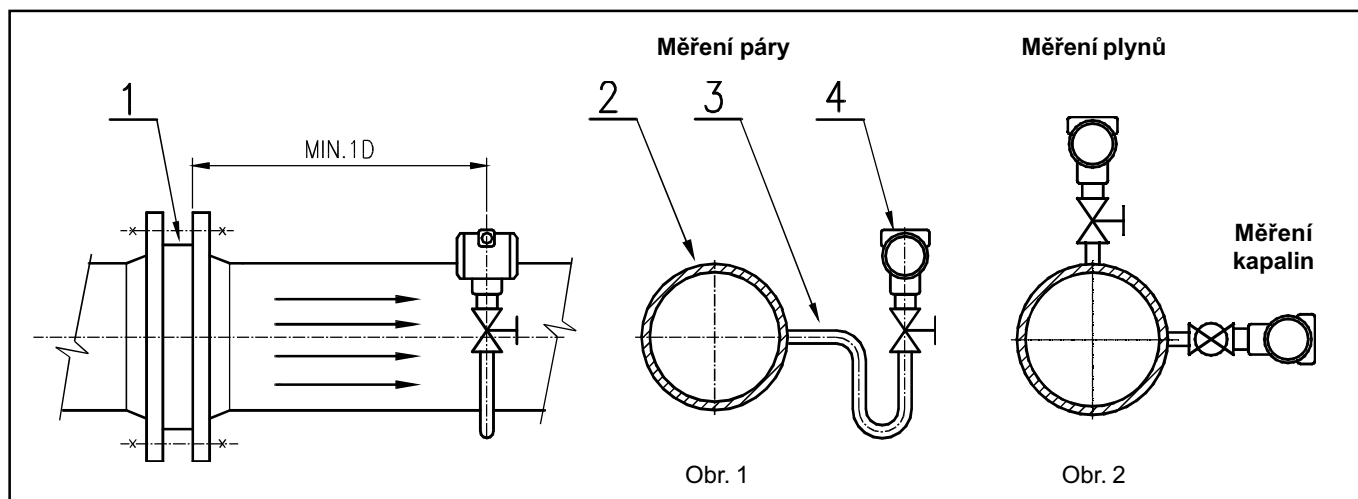
Snímač tlaku. Při teplotě měřené tekutiny nepřesahující maximální povolenou hodnotu instalovaného snímače tlaku se přístroj umísťuje co nejbližší k provoznímu potrubí. Pro měření tlaku plynu nad potrubí a pro měření tlaku kapalin do boku potrubí (viz obr. 2). U takto instalovaných snímačů nedochází k zanášení odběru nečistotami nebo kondenzátem (při měření tlaku plynu). Pro měření tlaku přehřáté páry se snímač připojuje pomocí kondenzační smyčky (viz obr. 1). Pro teplotu páry nad 250 °C je vhodné z důvodu lepšího ochlazování přidat před smyčku alespoň 0,5 m trubky nebo řešit připojení snímače tlaku pomocí kondenzační nádoby.

Není-li možné umístit snímač tlaku přímo u potrubí a je třeba uskutečnit propojení pomocí impulzního potrubí, platí pro připojení snímače tlaku stejné podmínky jako pro připojení snímače tlakové difference.

Připojení odběru tlaku z provozního potrubí lze uskutečnit před i za clonou, avšak nedoporučuje se do vzdálenosti 1D od clony. Odběr se může napojit i na impulzní potrubí tlakové difference. Je zde však nebezpečí, že případná malá netěsnost ve větvi ovlivní tlakovou diferencí a tím i celé měření.

Při měření tlaku plynu (páry) přes oddělovací kapalinu (kondenzát) je třeba v případě, že hydrostatický tlak sloupce kapaliny ($p = \rho \cdot g \cdot h$) v impulzním potrubí je větší než přípustná chyba měření tlaku, provést posunutí nuly o hodnotu vypočítaného hydrostatického tlaku sloupce kapaliny. Kontrola snímače se doporučuje provádět 1x za rok nebo dle doporučení výrobce.

Doporučená umístění snímače tlaku



1 - měřicí clona
2 - provozní potrubí

3 - kondenzační smyčka
4 - snímač tlaku