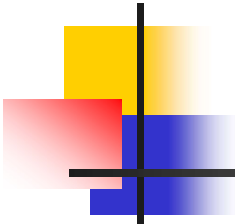


Nyomásérzékelés

Gerzson Miklós

Pannon Egyetem, Villamosmérnöki és Információs
Rendszerek Tanszék

2019/2020 II. félév



Nyomásérzékelés

- Nyomás – fizikai állapotjelző
abszolút és relatív fogalom
- közvetlenül nem mérhető:
nyomásváltozás $\Rightarrow$ elmozdulás
 $\Rightarrow$ mechanikus kijelző
 $\Rightarrow$ átalakítás elektromos jellé
- nemcsak „önmagában” használatos:
hőérzékelés, áramló közeg, szint mérése

- dinamika:
 - gyorsabban változik, mint a hőmérséklet, szint
 - lassabban, mint más egyéb paraméterek
 - általában 5 s-os mintavételi idő
- történet
 - Torricelli 1643 Hg-os kísérlet a légnyomásra
 - Pascal 1647 tengerszint feletti magasság
 - Boyle 1660 $pV = \text{konst.}$ (T konst. mellett)
 - Bernoulli gázmolekulák ütközési elmélete

- elmélet:
 - nyomás definíciók – a megfigyelő szemszögéből
 - mechanikai
$$p = \frac{F}{A}$$
 - hidraulikai
$$p \propto \rho h \quad p = p_0 + \rho g h$$
 - kinetikai
$$p = \frac{2}{3} \frac{KE}{V}$$
 - termodinamikai
$$p = \frac{\partial W + \partial f}{dV}$$

- mértékegységek:

- SI: Pa (N/m²)

$$[Pa] = \left[\frac{N}{m^2} \right] = \frac{[kg] \left[\frac{m}{s^2} \right]}{[m^2]} = \frac{[kg]}{[m][s^2]}$$

- dimenzióegyenlet: $[p] = [M][L]^{-1}[T]^{-2}$
 - 1 Pa kis nyomás, ezért általában kPa használatos

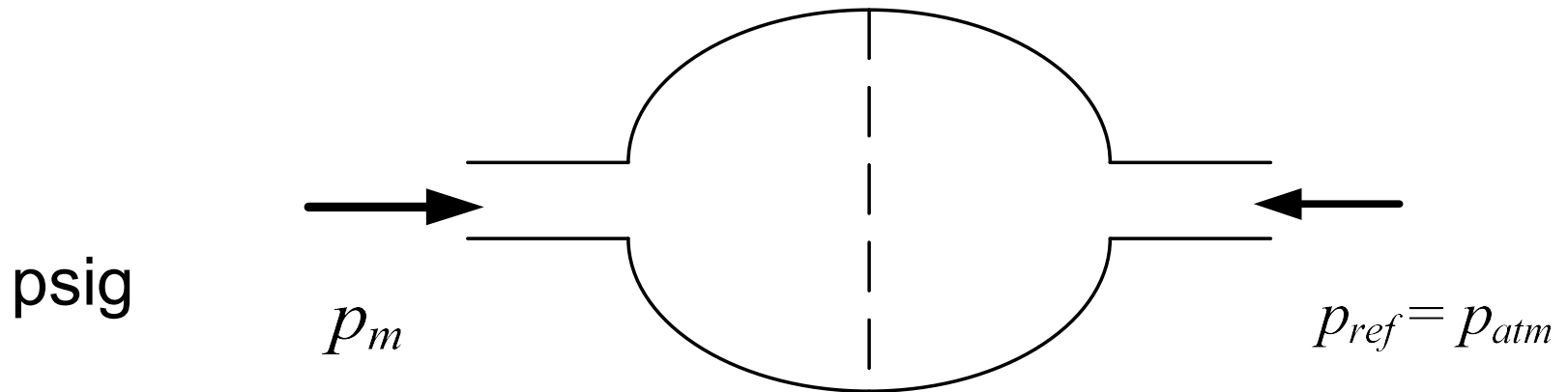
$$1Pa = \frac{0,1kg \cdot 10m/s^2}{1m^2}$$

- további mértékegységek
 - bar $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
 - atm $1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 - at $1 \text{ at} = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
 - vízoszlopmm $1 \text{ v.o.mm} = 9,8 \text{ Pa}$
 - Hgmm (torr) $1 \text{ torr} = 1,33 \cdot 10^2 \text{ Pa}$
 - psi $1 \text{ Pa} \approx 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ psi}$, $1 \text{ psi} \approx 6,89 \text{ kPa}$
 - vízoszlopinch, pound/inch², ...
- mérési tartományok
 - vákuum 10^{-9} Pa
 - túlnyomás 10^9 Pa

Nyomásmérési konfigurációk

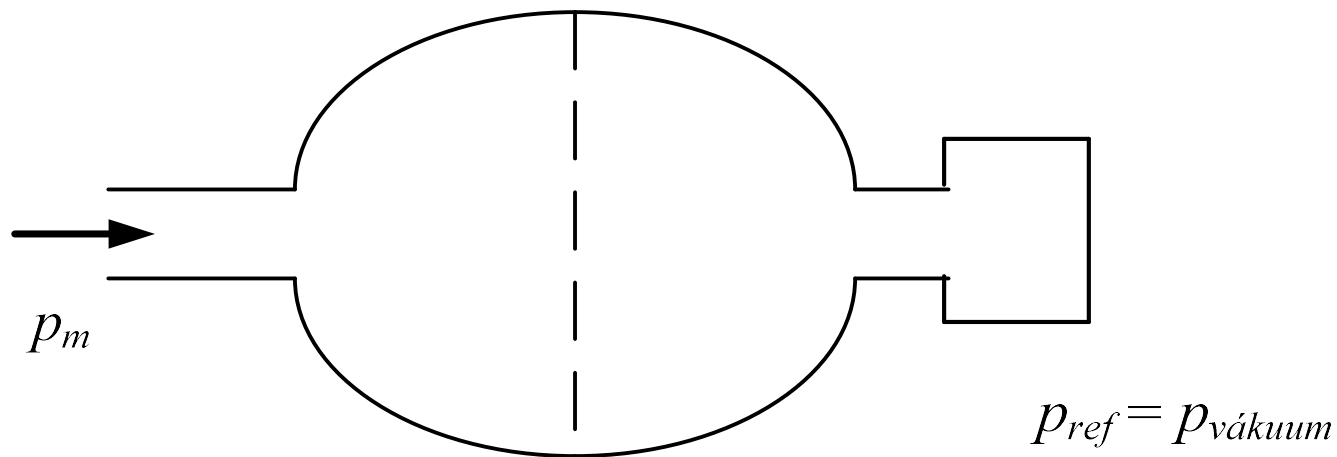
- nyomásmérési konfigurációk: minden eszköz ténylegesen nyomáskülönbség mérésének elvén működik, azaz valamilyen nyomásértékhez viszonyítva méri a nyomást

1. „túlnyomás-mérés”: mérés a légköri nyomással szemben



Nyomásmérési konfigurációk

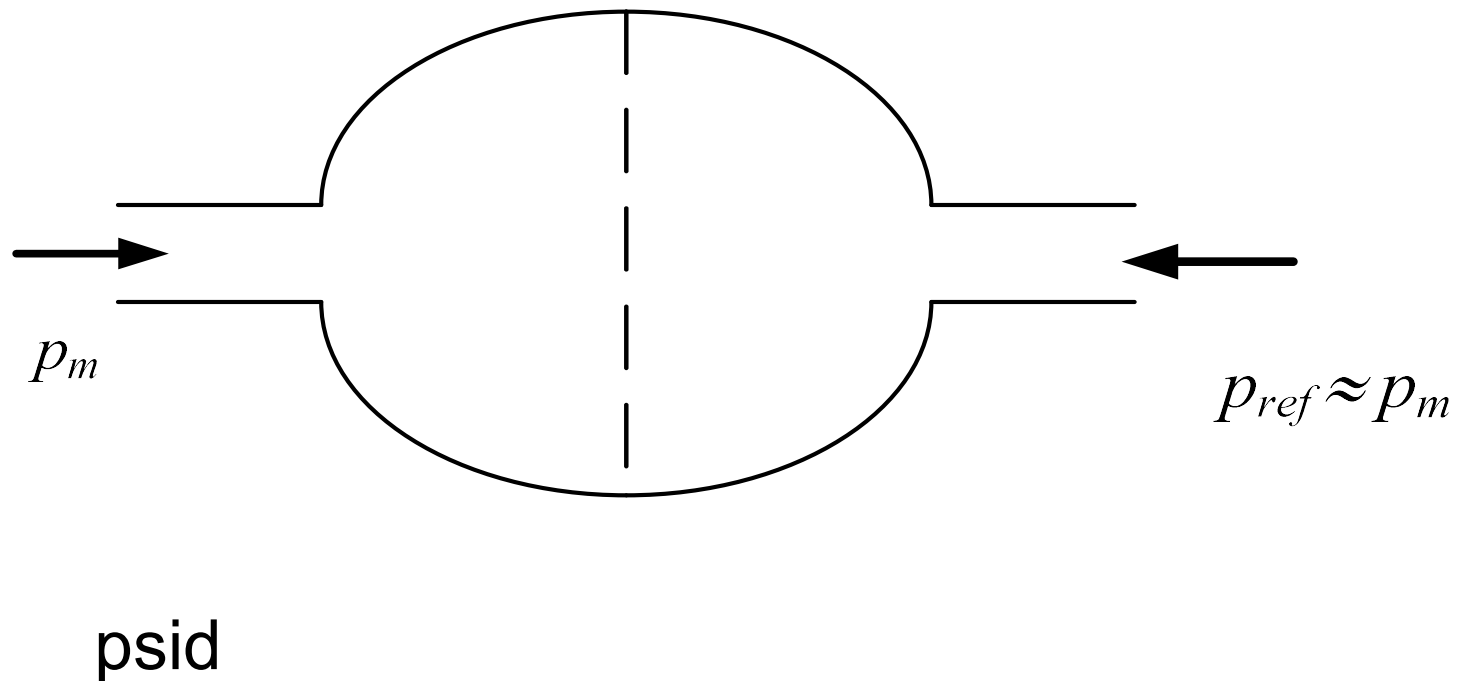
2. „abszolút nyomás mérése”: mérés vákuummal szemben



psia

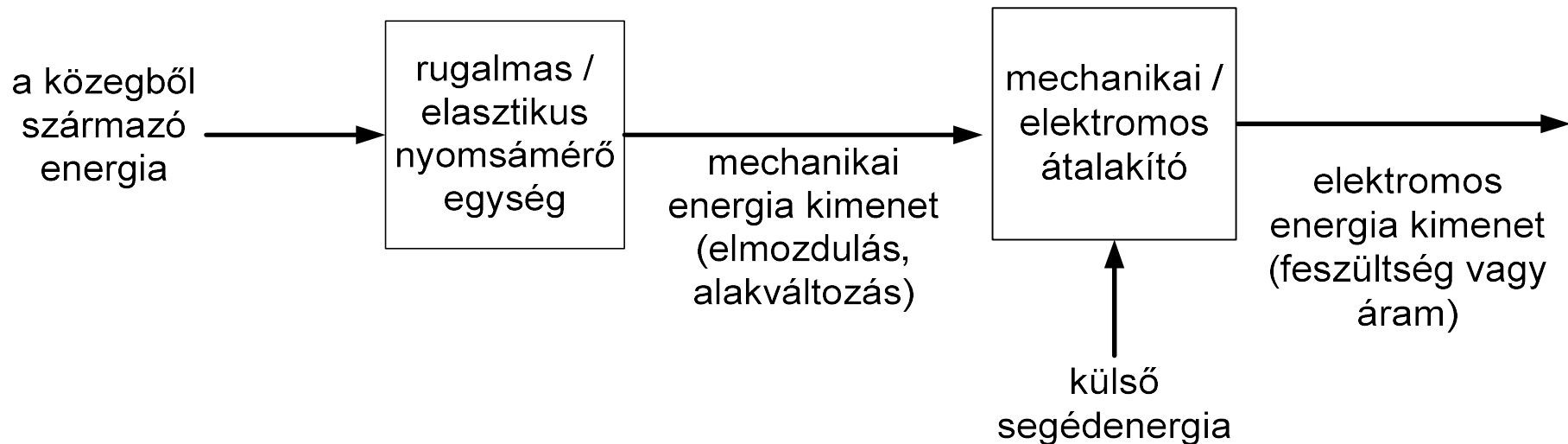
Nyomásmérési konfigurációk

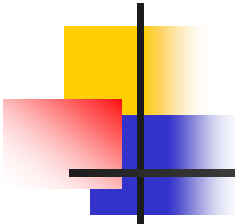
3. „nyomáskülönbség mérés”: mérés referencia (közel hasonló) nyomással szemben



Nyomásmérő típusok

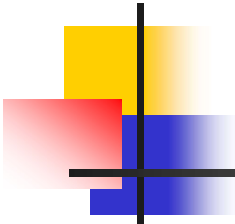
- nyomásmérő típusok
 - alapelv: a mért rendszerbeli energiát át kell alakítani a mérendő mennyiséggel arányos energiává





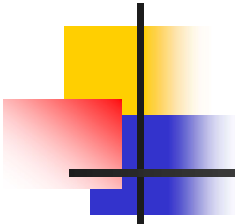
Nyomásmérő típusok

- direkt nyomásmérők
 - a $p=F/A$ definícióegyenlet elvén működnek
 - pl. U-csöves manométerek
 - standard vagy kalibráló eszközök
- indirekt nyomásmérők
 - elasztikus (rugalmas, hajlékony) elemet tartalmaznak, mely a nyomás hatására megváltoztatják az alakjukat
 - pl. membrán, Bourdon-cső
 - ipari alkalmazás



Nyomásmérő típusok

- választási szempontok
 - általános szempontok:
 - alkalmazható mérési elv
 - mérendő érték, mérési tartomány
 - környezeti tényezők
 - érzékelő mérete
 - pontosság, stabilitás, válaszidő, érzékenység, linearitás
 - ár
 - konfiguráció
 - alkalmazási hőmérséklet
 - mért közeg jellege

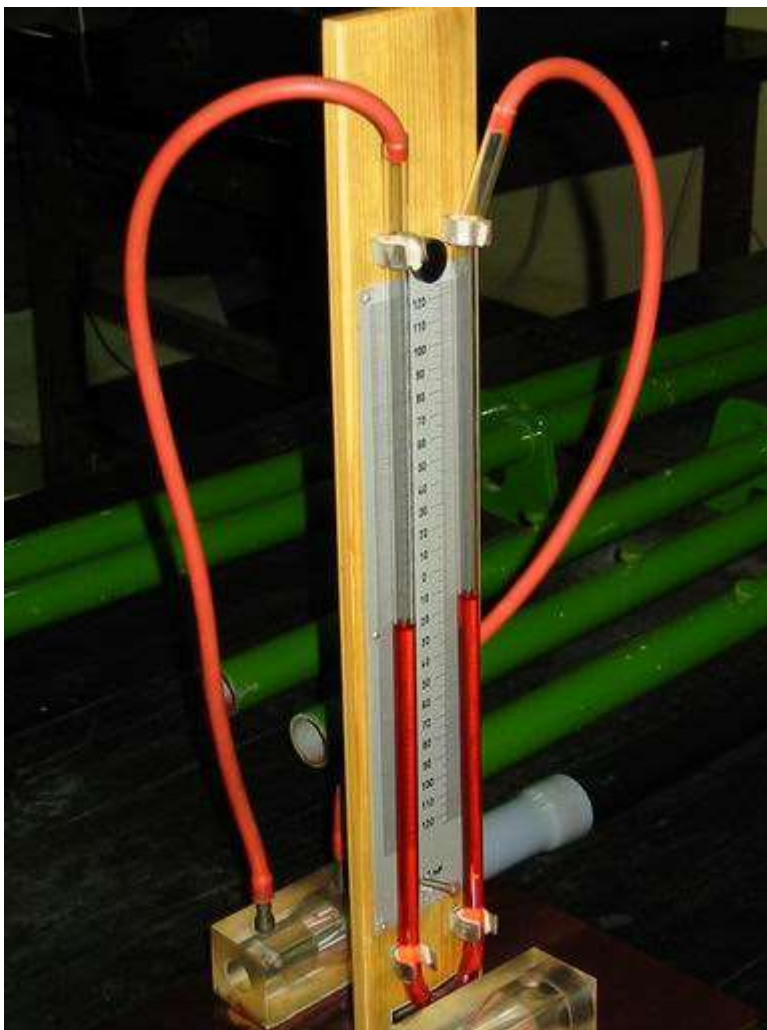


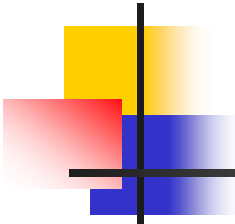
Közvetlen nyomásmérők

- U-csöves manométer
 - mérési elv: folyadékok összenyomhatatlansága, a nyomás gyengítetlen terjedése, nyomásmérés a hidrosztatikai nyomásdefiníció alapján
 - felépítés
 - U-alakban meghajlított cső
 - definíció egyenlet:
$$\Delta p = \rho g h$$
 - folyadék: higany, víz, alkohol

Nyomásérzékelés – Közvetlen nyomásmérők

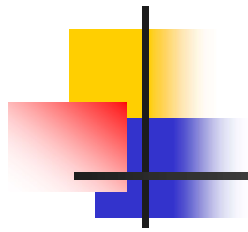
- U-csöves manométer





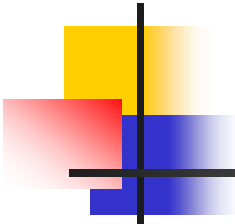
Nyomásérzékelés – Közvetlen nyomásmérők

- tartomány:
 - függ az alkalmazott mérőfolyadéktól (sűrűség)
 - lehet vákuumban és túlnyomásra is használni
 - ténylegesen az üvegcső hossza szabja meg
pl. 1 m-es cső: $1000\text{Hgmm}=133\text{kPa}$
- alkalmazási területek
 - laboratórium
 - hitelesítés



Nyomásérzékelés – Közvetlen nyomásmérők

- előnyök
 - pontosság
 - egyszerűség
 - olcsó
 - önbeálló
- hátrány
 - törékeny
 - leolvasás nehézkessége
 - nem automatizálható



Bourdon csöves nyomásérzékelés

- Bourdon csöves nyomásmérők
 - eszközcsalád
 - mérési elv: vékony falú fémcsövek az alakjukat változtatják a nyomás változásával, nyomás $\Rightarrow$ elmozdulás
 - felépítés: ellipszis alakú cső, különböző módokon meghajlítva, a megadott méréstartományon belül rugalmas alakváltozás
 - szerkezeti anyag: sárgaréz, bronz, Be-Cu ötv., acél

Bourdon csöves nyomásérzékelés

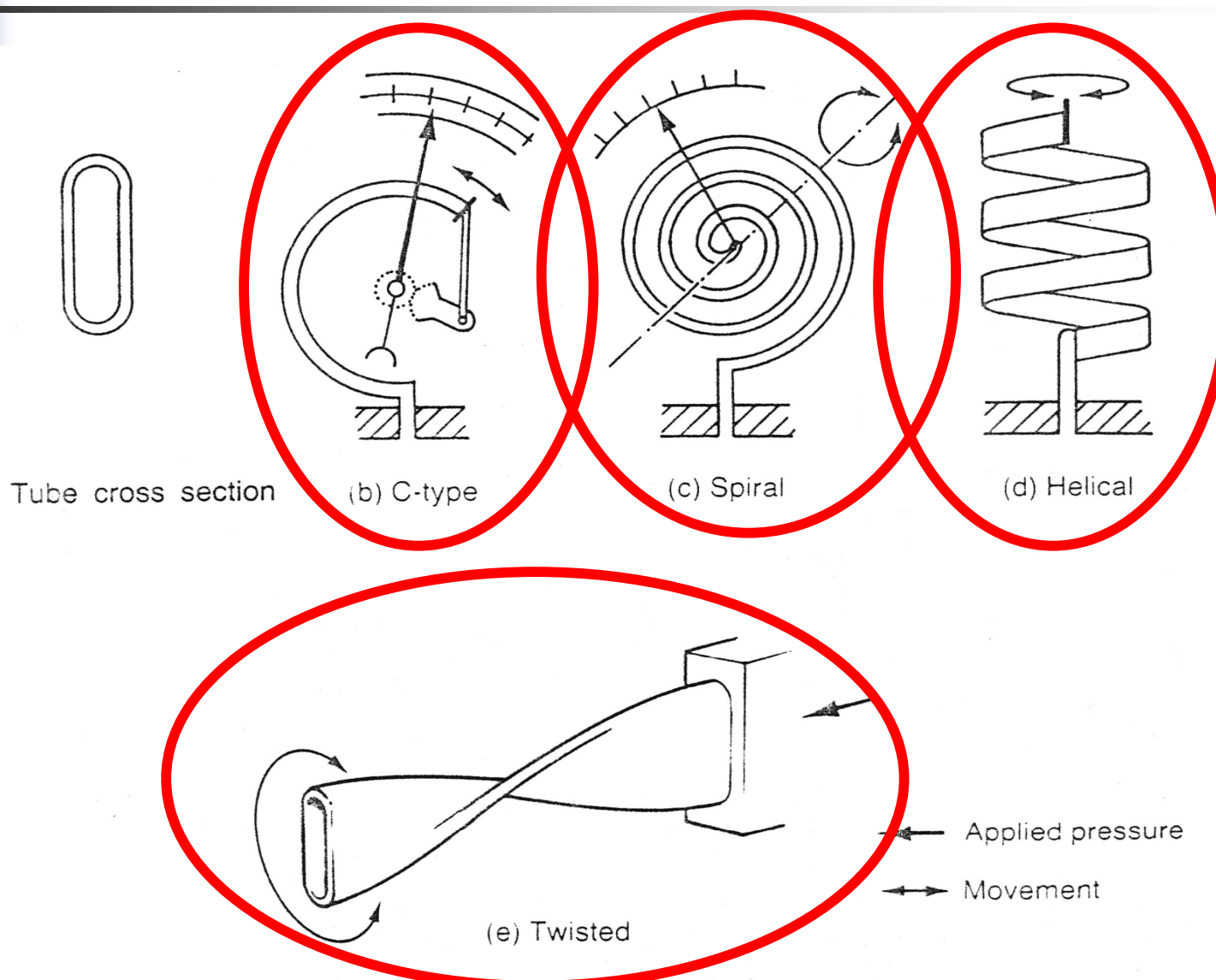


Figure 4.4 Elastic deformation elements

Bourdon csöves nyomásérzékelés

- Bourdon csöves műszerek

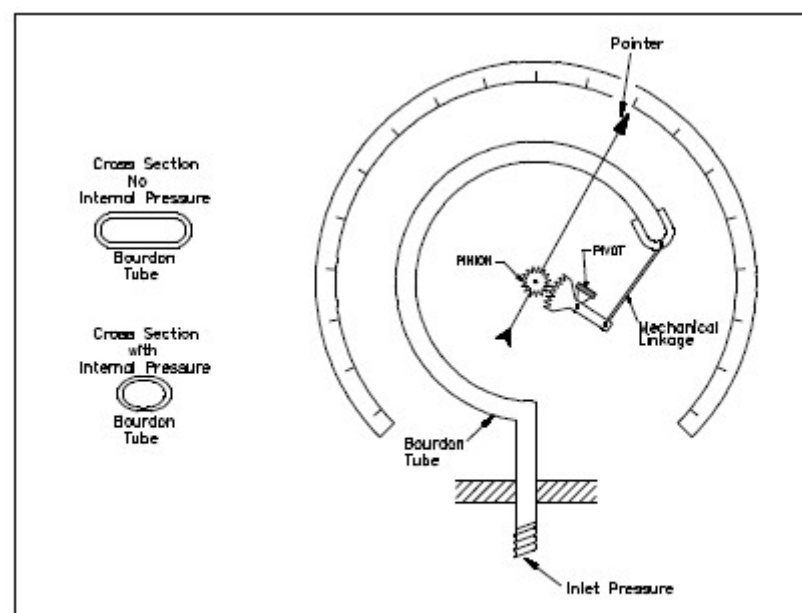
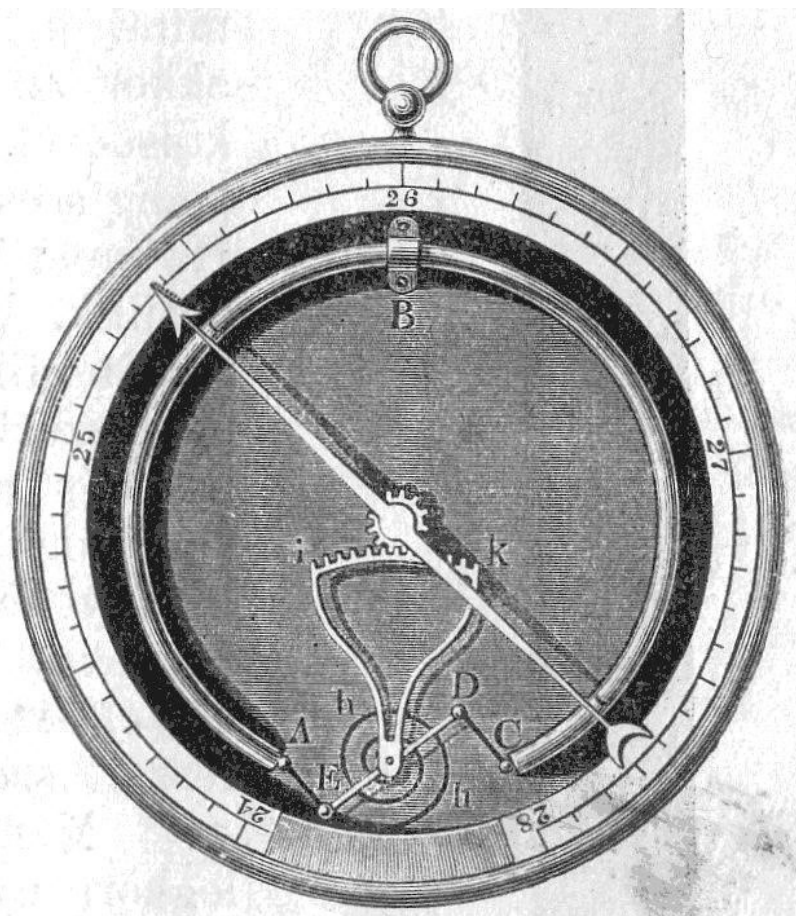
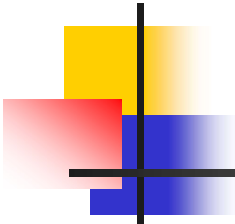


Figure 2 Bourdon Tube

Bourdon csöves nyomásérzékelés

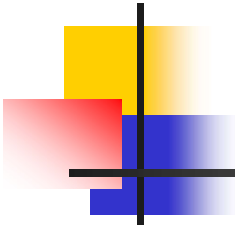
- Bourdon csöves műszerek





Bourdon csöves nyomásérzékelés

- mérési tartomány: 35kPa – 1 GPa
 - hőmérséklettartomány: -30°C – 50°C
- alkalmazási terület:
 - „hagyományos” iparban
 - fejlettebb eszközökben hőmérséklet-, rugalmassági modulus kompenzáció, áttételek válthatósága

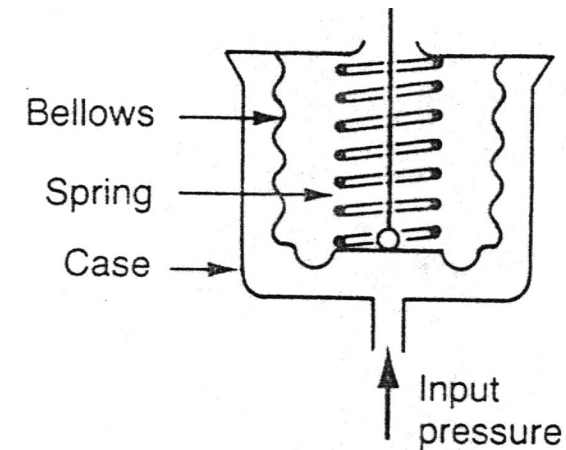


Bourdon csöves nyomásérzékelés

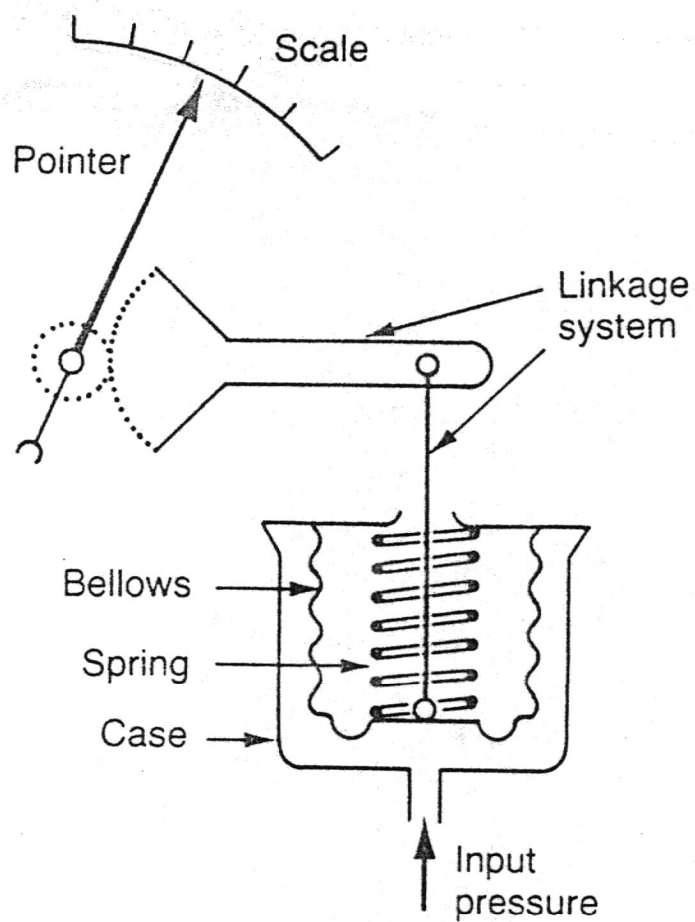
- előnyök
 - alacsony ár
 - egyszerűség
 - robusztus
 - könnyen szerelhető
 - nem kell segédenergia
 - automatizálható
- hátrány
 - lassú – viszonylag nagy időállandó
 - nem lehet széthúzni a tartományt
 - gyárilag javítható

Harmonika elvű nyomásérzékelés

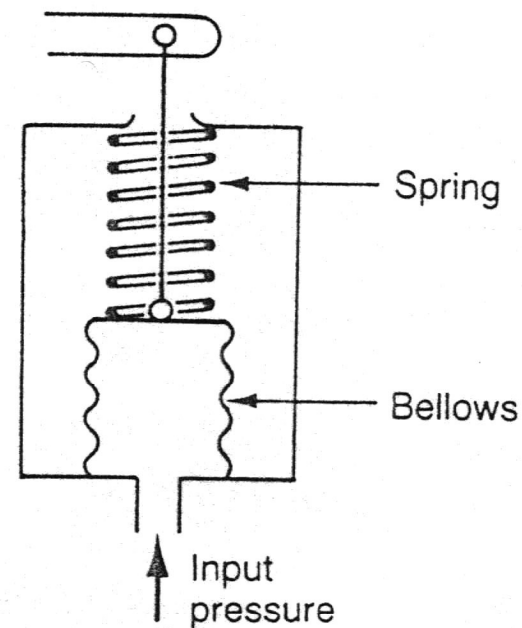
- Harmonika elvű nyomásmérők
 - mérési elv: vékonyfalú fémcső rugalmas alakváltozása a nyomás hatására
 - felépítés:
 - harmonikaszerű membrán – végtelenszámú rugó
 - sárgaréz vagy acél, 0.1 mm falvastagság
 - beszerelt rugó feladata: rugóhatás segítése, védelem, nyomástartomány beállítása



Harmonika elvű nyomásérzékelés



(a) Pressure exerted outside bellows internal spring

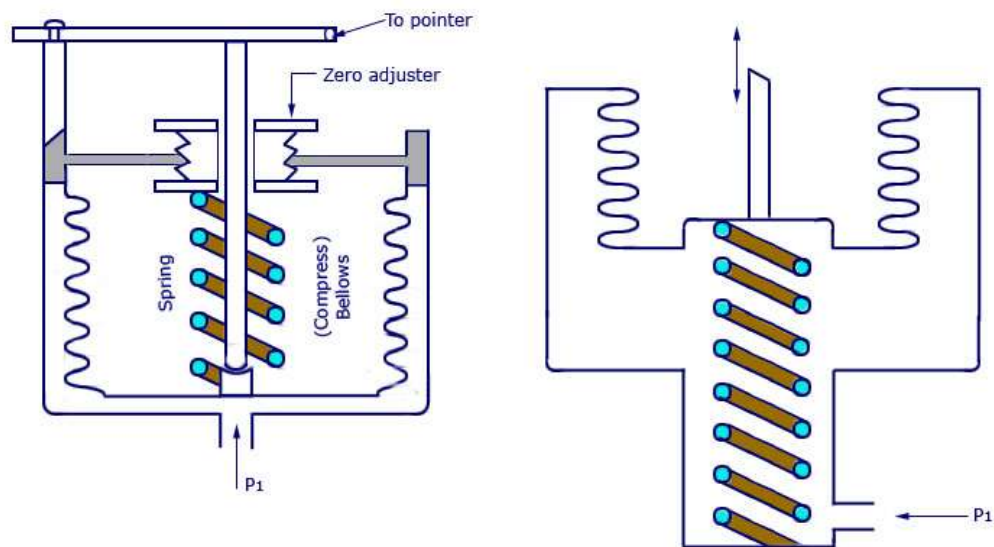


(b) Pressure exerted inside bellows external spring

Figure 4.5 Bellows pressure gauge

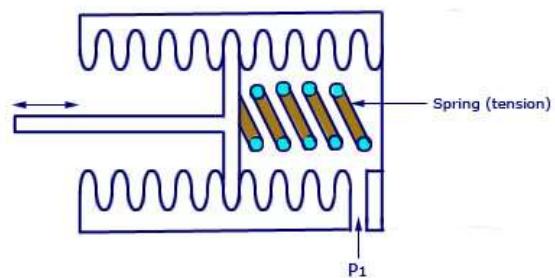
Harmonika elvű nyomásérzékelés

Bellow Pressure Gauge



Compressed Type

Expanded Type

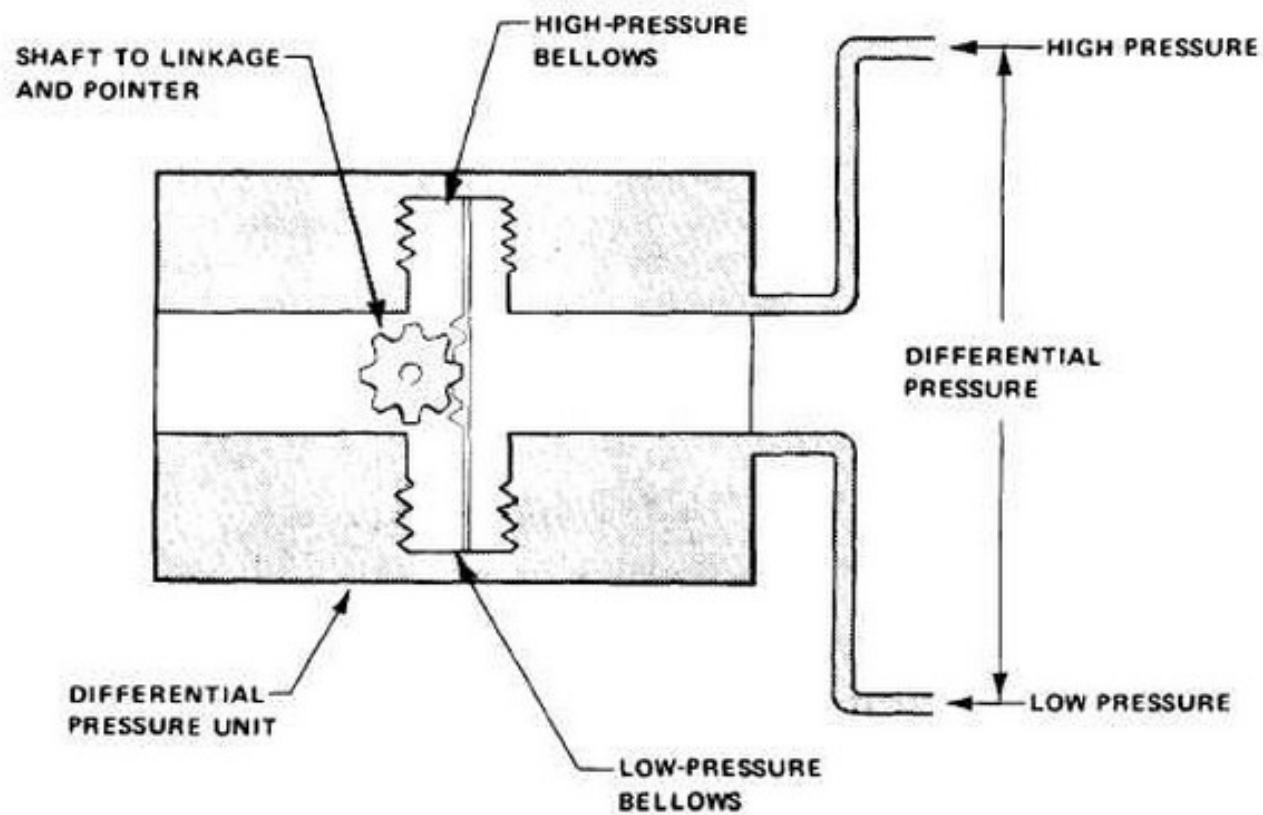


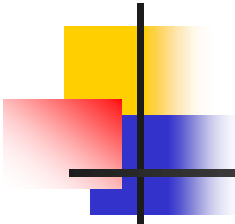
Spring Opposed Bellows

www.InstrumentationToday.com

Harmonika elvű nyomásérzékelés

- differenciál elrendezés



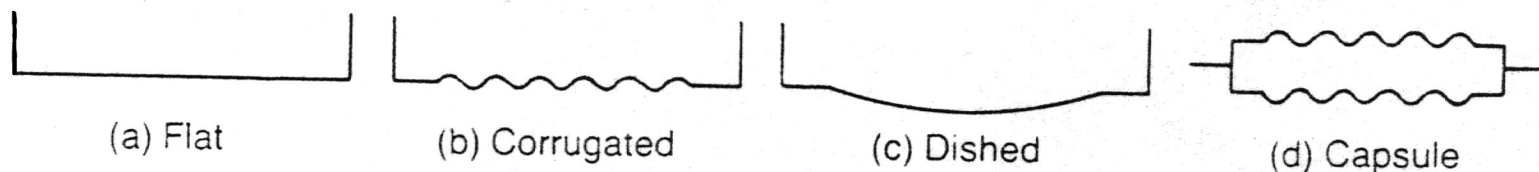


Harmonika elvű nyomásérzékelés

- mérési tartomány: 200Pa – 1 MPa
 - hőmérséklettartomány: -30°C – 50°C
- alkalmazási terület:
 - iparban
- előnyök
 - linearitás
 - pontosság 0.1%
- hátrányok
 - stabilitás

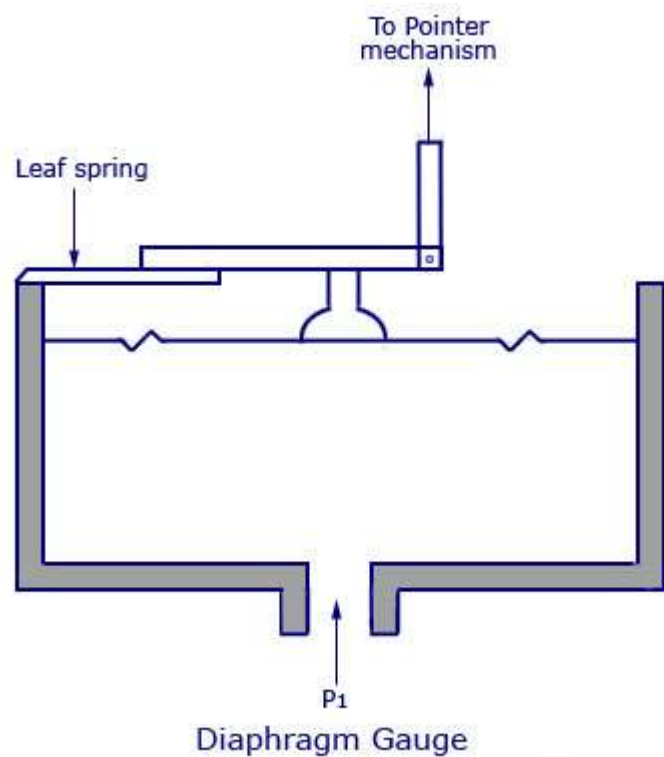
Membrános nyomásmérők

- Membrán (diafragma) típusú nyomásmérők
 - mérési elv: vékonyfalú fémlap rugalmas alakváltozása a nyomás hatására
 - felépítés:
 - membrán
 - szerkezeti anyag: bronz, tantál, acél
választás a nyomástartomány, hőmérséklet, szükséges érzékenység, elviselt nemlinearitás, közeg agresszivitása függvényében

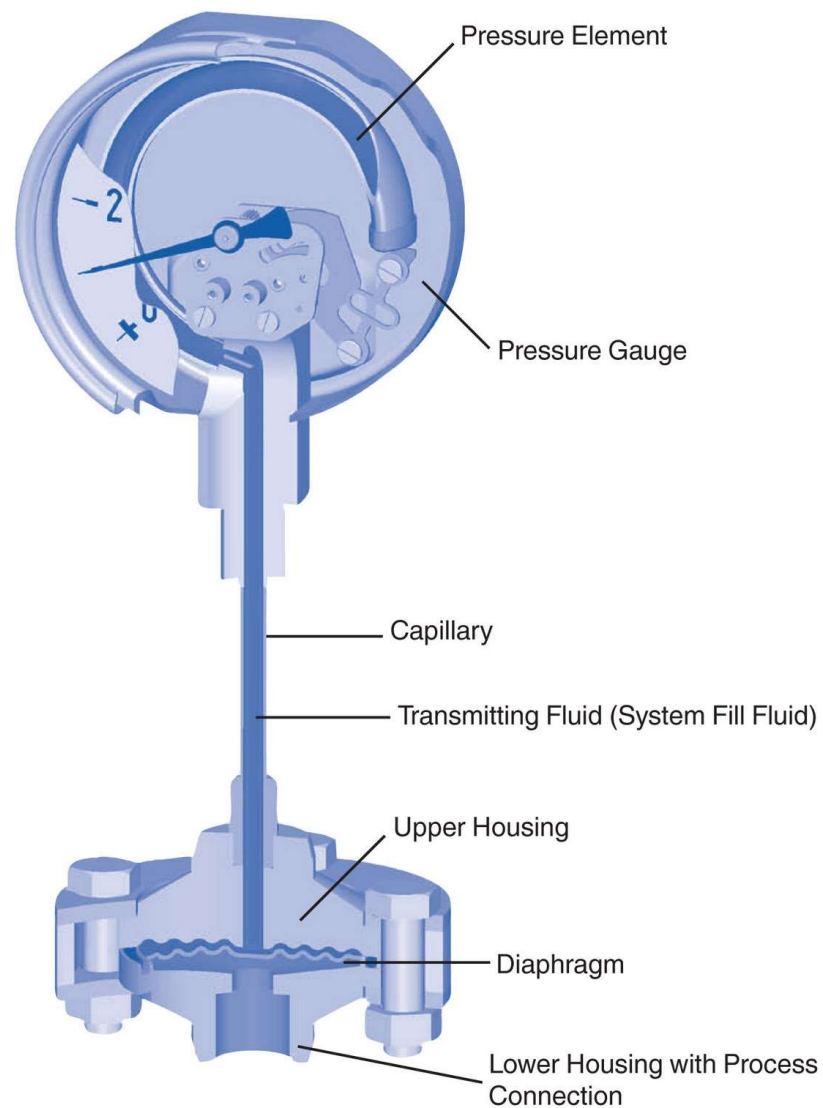


Membrános nyomásmérők

- Membrános nyomásmérő



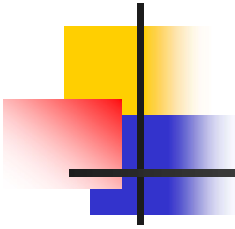
www.InstrumentationToday.com



Membrános nyomásmérők

- Membrános nyomásmérő



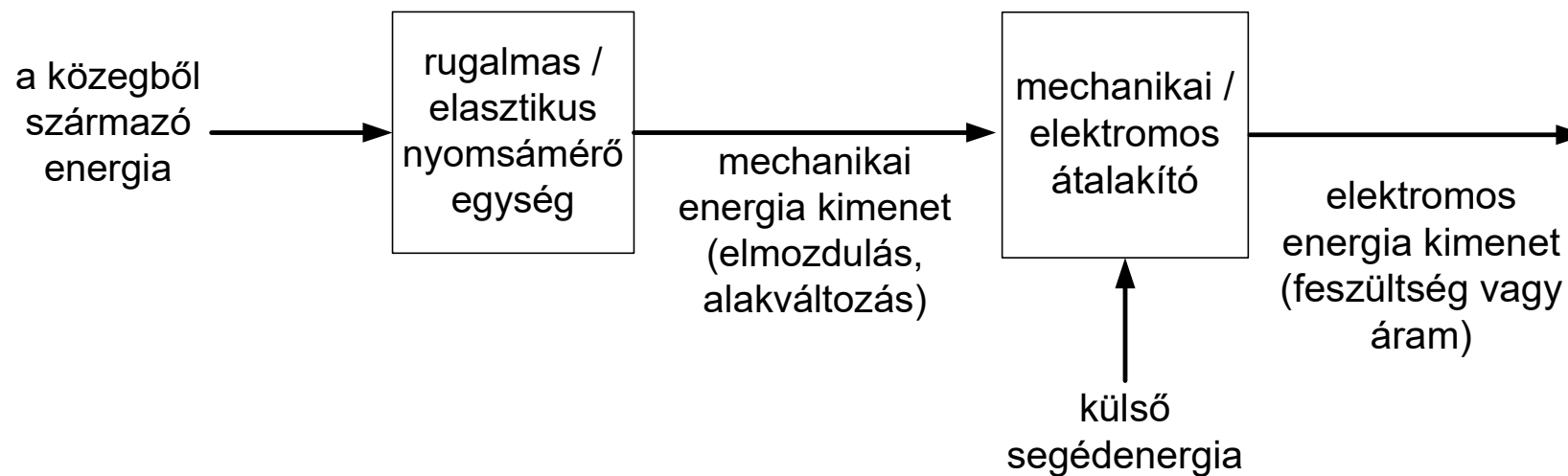


Membrános nyomásmérők

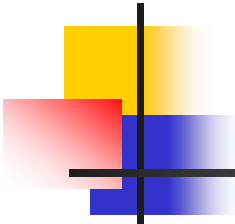
- mérési tartomány: 1Pa – 2 MPa
 - hőmérséklettartomány: -30°C – 50°C
- alkalmazási terület:
 - iparban
- előnyök
 - széles mérési tartomány (típus)
 - pontosság 0.1%
- hátrányok
 - határérték túllépését rosszul tűrik

Villamos elvű nyomásérzékelés

- Villamos elvű nyomásmérés



- főbb típusai:
 - kapacitív
 - induktív
 - ellenállás

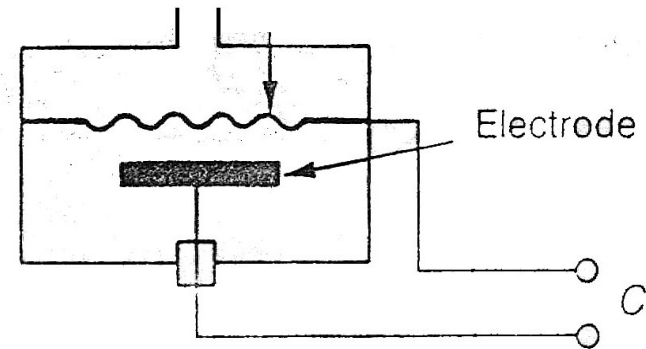


Villamos elvű nyomásérzékelés

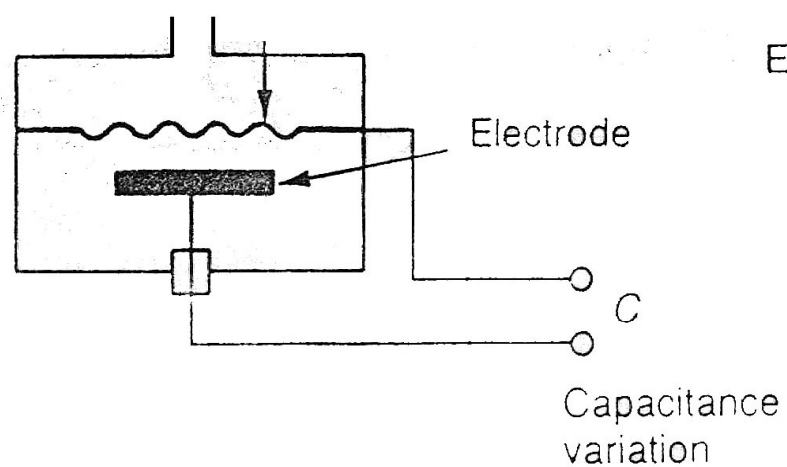
- mechanikus mérési elven alapulnak
- kiküszöböli a mechanikus nyomásmérők hátrányait
 - pontosabbak
 - érzékenyebbek
 - automatizálhatók
- villamos energia jelenléte!

Kapacitív elvű nyomásérzékelés

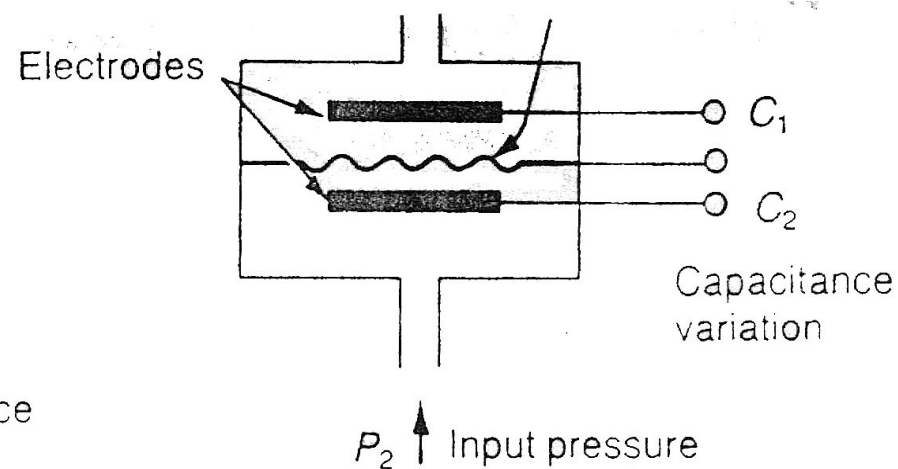
- mérési elv:
 - membrános nyomásmérés elvén alapul
 - a membrán és egy másik lemez kondenzátort alkot, melynek kapacitása függ a fegyverzetek távolságától
 - felépítés:
 - membrán
 - szerkezeti anyag: bronz, tantál, acél
- választás a nyomástartomány, hőmérséklet, szükséges érzékenység, elviselt nemlinearitás, közeg agresszivitása függvényében



Kapacitív elvű nyomásérzékelés

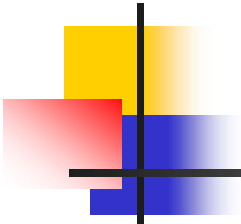


(a) Single electrode



(b) Dual electrode

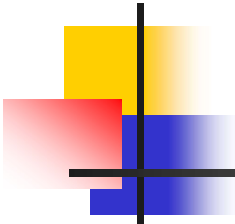
Figure 4.7 Capacitive pressure (displacement) transducers



Kapacitív elvű nyomásérzékelés

- tulajdonságok

mérési elrendezés	nyomás- tartomány	időállandó
differentiális	1 Pa – 1.2 kPa	0.15 – 2 s
túlnyomásos	1 Pa – 200 Pa	0.2 s
abszolút	0.01 Pa – 150 kPa	10 ms



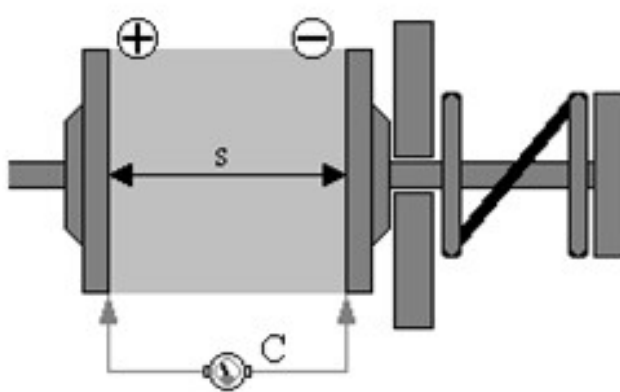
Kapacitív elvű nyomásérzékelés

- előnyeik
 - jó a linearitásuk
 - pontosak 0,2%
 - hőmérséklettartomány -30°C – 90°C

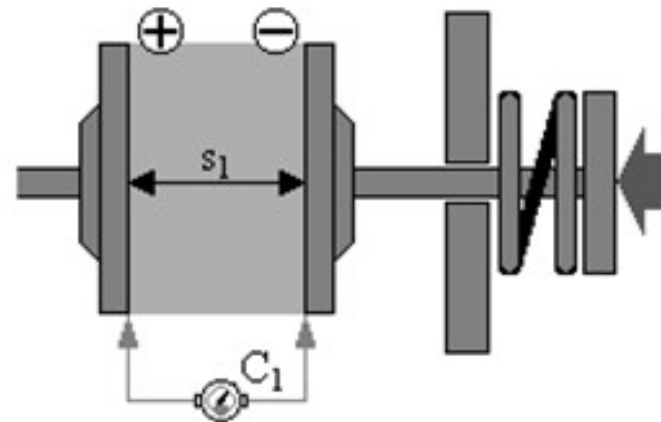
Kapacitív elvű nyomásérzékelés

- Fékező nyomás érzékelő

A kapacitív érzékelőnél a kondenzátor egyik fegyverzete a házhoz rögzített, a másikat a dugattyú a nyomással arányosan rugó ellenében elmozdítja. A kondenzátor kapacitását a fegyverzetek közötti távolság határozza meg. Ha a fegyverzetek közelebb kerülnek egymáshoz a nyomás hatására, a kapacitás nagyobb lesz.



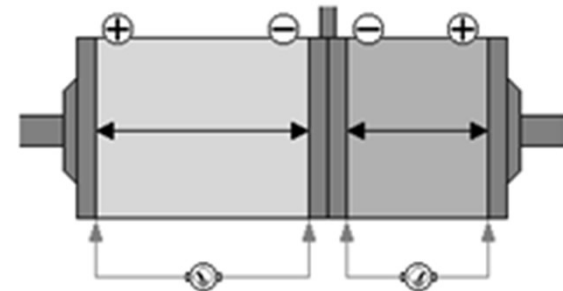
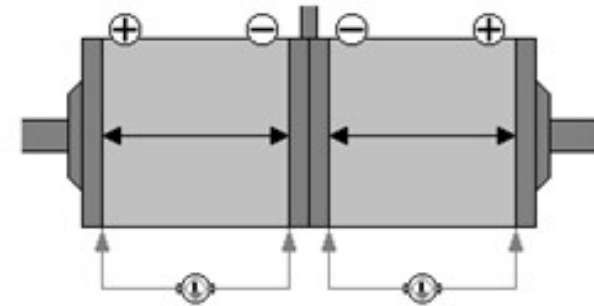
alaphelyzet



nyomás hat rá

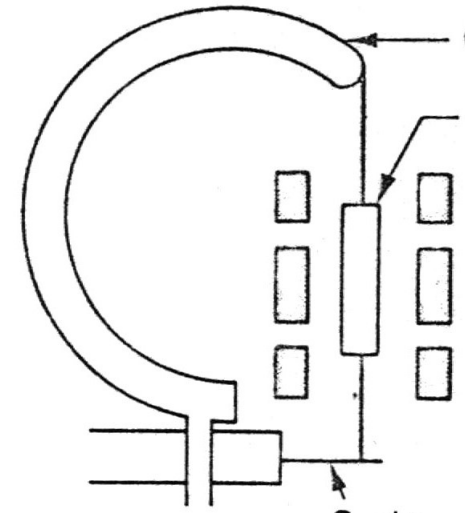
Kapacitív elvű nyomásérzékelés

- Keresztirányú gyorsulásérzékelő
 - Két, sorba kapcsolt azonos kapacitású kondenzátorból áll.
 - Ha nincs keresztirányú gyorsulás a középső fegyverzet azonos távolságban van a szélsőktől.
 - Keresztirányú gyorsuláskor a közös középső fegyverzet, a tömegére ható tehetetlenségi erő miatt elmozdul a felfüggesztő rugó ellenében
 - Az érzékelő két részének kapacitása a kereszt irányú gyorsulással arányosan változik. Az érzékelő lineáris feszültség jele arányos lesz a kereszt irányú gyorsulással.

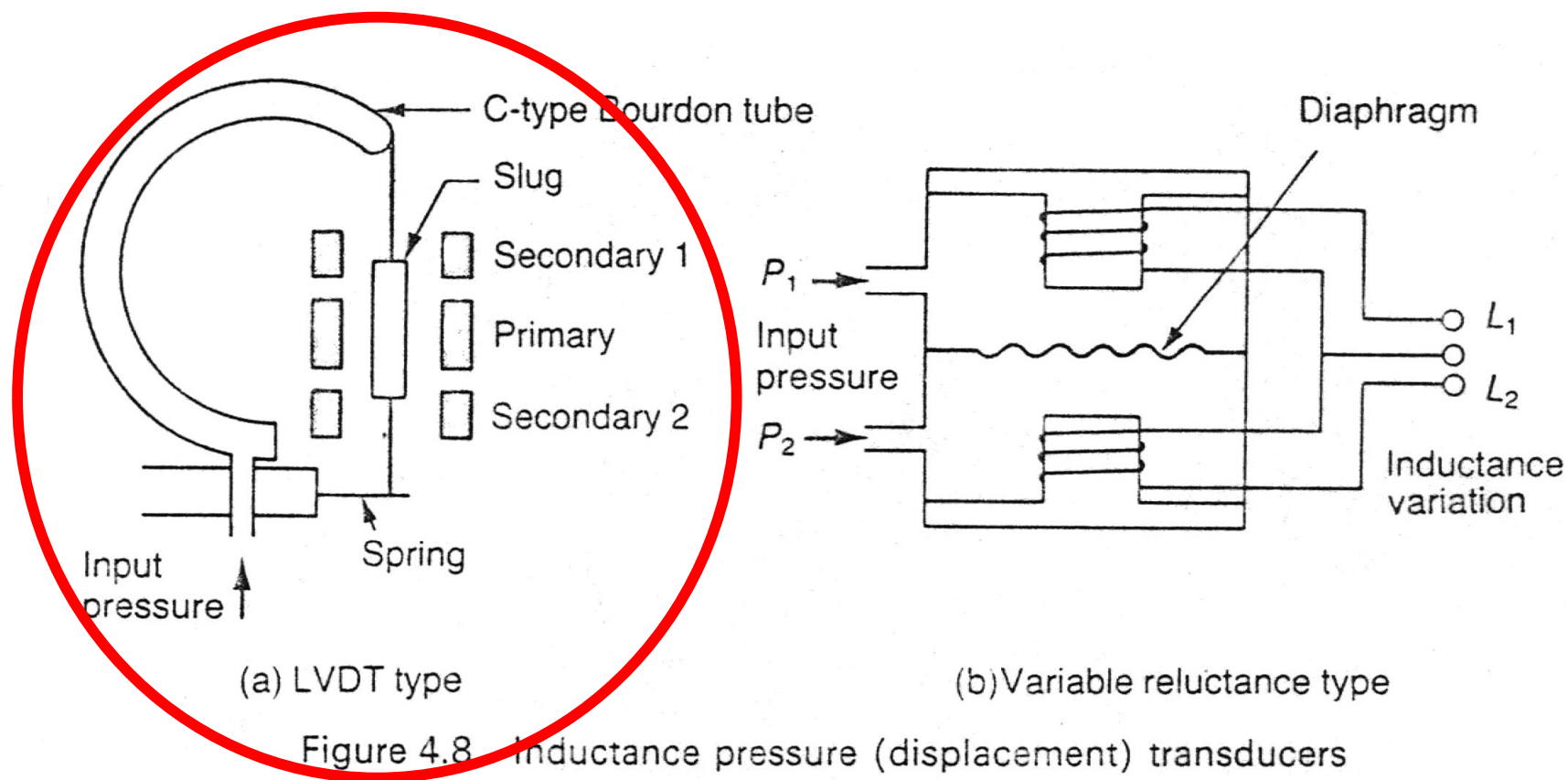


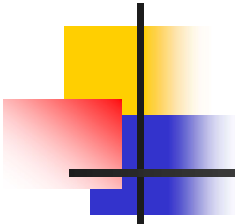
Induktív elvű nyomásérzékelés

- mérési elv:
 - Bourdon csöves nyomásmérés elvén alapul
 - vasmag mozog primer és szekunder tekercsek előtt, induktív csatolást hozva létre
- felépítés:
 - Bourdon cső
 - lineáris változójú differenciál transzformátor
 - léteznek más elrendezések is pl. membrános vagy harmonika



Induktív elvű nyomásérzékelés



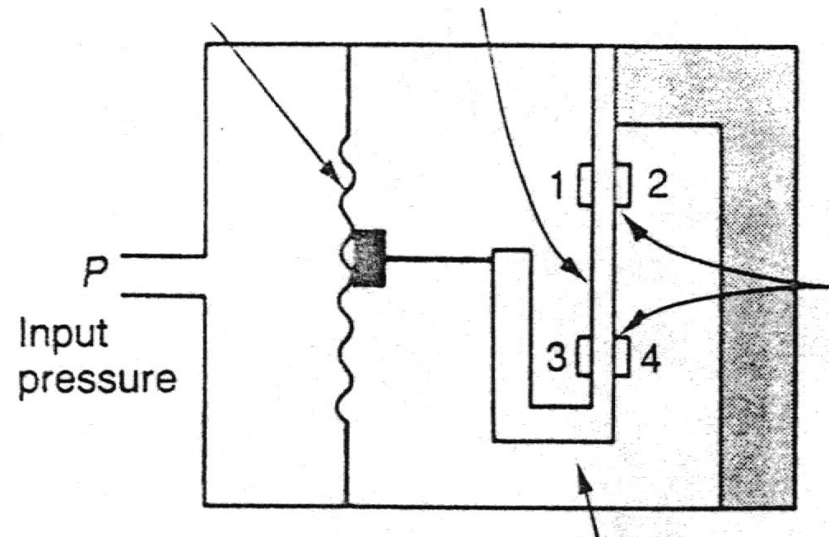


Induktív elvű nyomásérzékelés

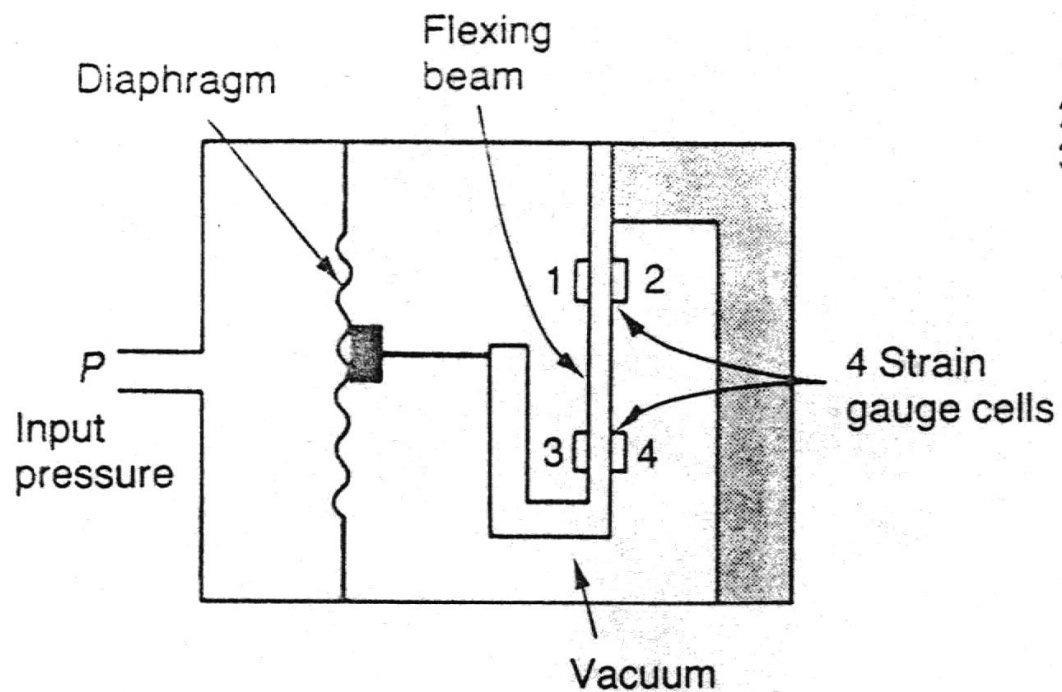
- feszültség kimenet
- méréstartomány 1 Pa – 1 GPa
- pontosság 0,2%

Ellenállás elvű nyomásérzékelés

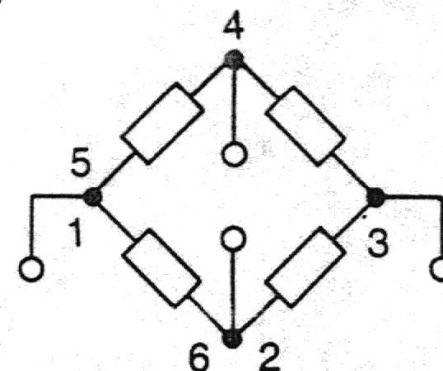
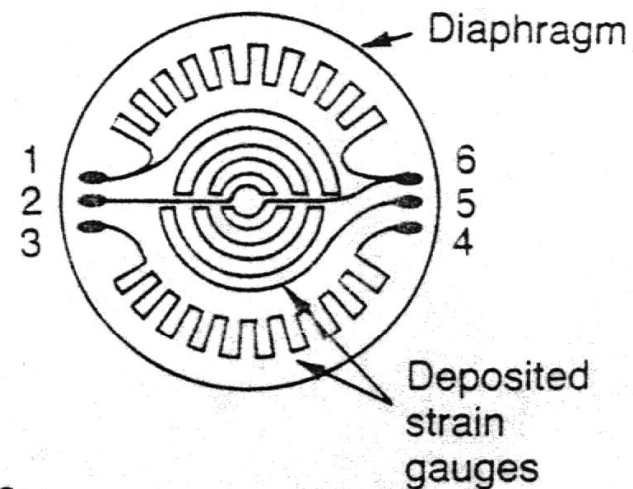
- mérési elv:
 - membrános nyomásmérés elvén alapul
 - ellenállás-változás érzékelése nyúlásmérő bélyeggel
- felépítés:
 - membrán
 - karáttétel
 - nyúlásmérő bélyeg torzulása miatti ellenállás-változás



Ellenállás elvű nyomásérzékelés



(a) Flexing beam/strain gauge

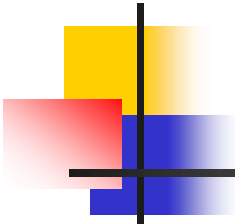


(b) Rosette strain gauge and bridge configuration

Ellenállás elvű nyomásérzékelés

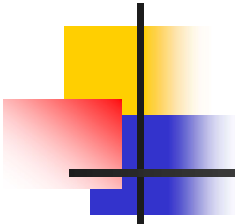
- Nyúlásmérő bélyeg





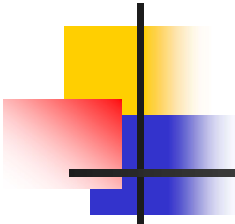
Ellenállás elvű nyomásérzékelés

- mérési tartomány 20 kPa – 250 MPa
- pontosság 0,1%



Piezoelektromos nyomásérzékelés

- mérési elv:
 - kvarckristály erő/nyomás hatására feszültség kimenettel reagál
- felépítés:
 - membrán – nyomás (erő) közvetítő
 - kvarckristályok

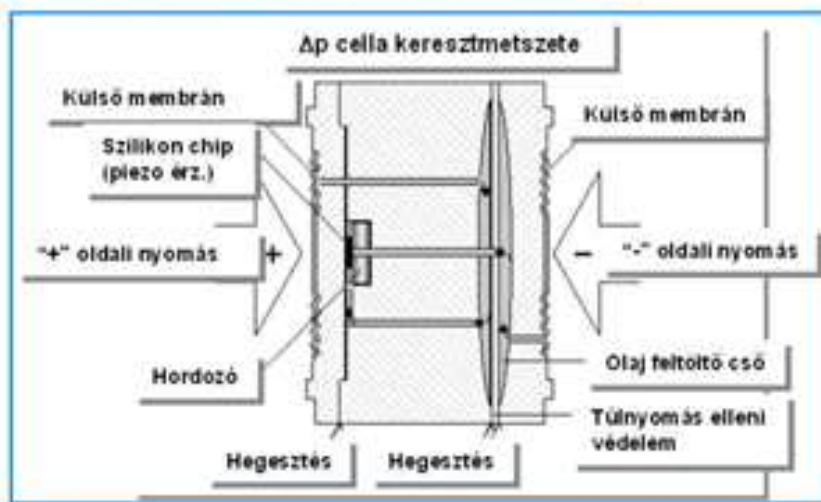
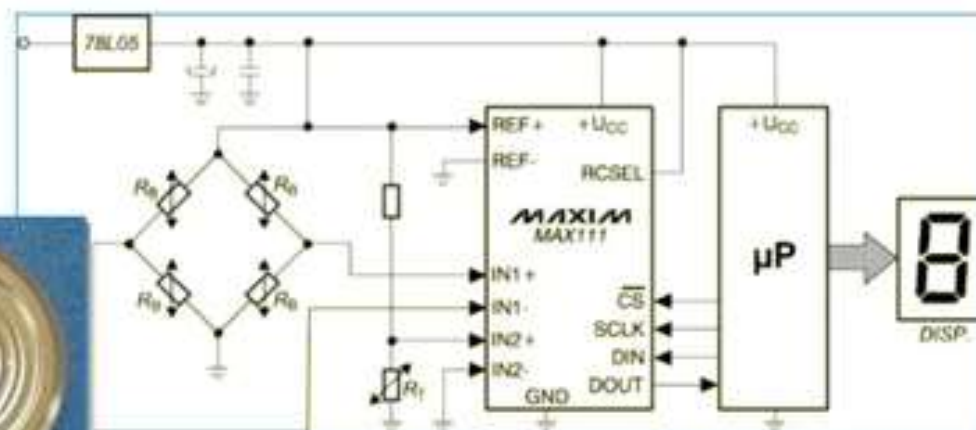


Piezoelektromos nyomásérzékelés

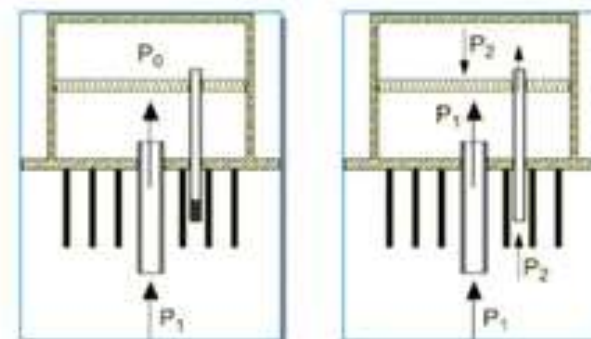
- jellemzők
 - elsősorban dinamikus nyomásváltozás mérésére
 - statikus/konstans nyomás mérésére kevésbé alkalmas
 - a nyomásváltozás frekvenciája akár 500 Hz is lehet
 - méréshatár 150 MPa, rövid ideig 1,5GPa
 - pontosság 0,1%

Piezelektromos nyomásérzékelés

Piezo-rezisztív érzékelő



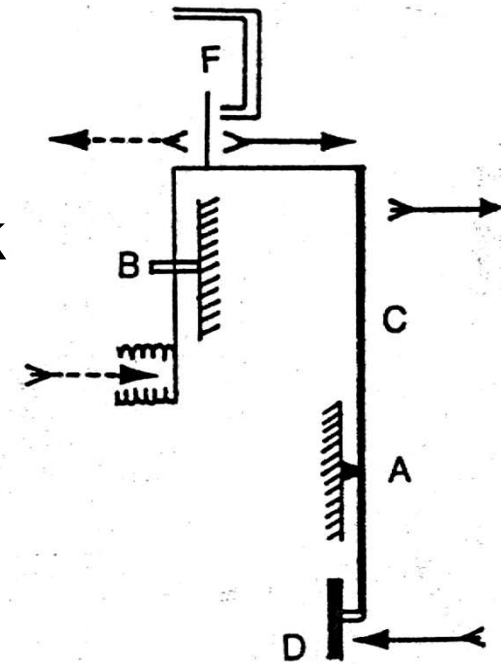
Nyomáskülönbség



Abszolút- és túlnyomás

Differenciális nyomásmérő cella

- mérési elv:
 - elmozdulás elvű nyomásmérés
 - segédenergia: sűrített levegő
- felépítés:
 - elmozdulás a nyomáskülönbségnek megfelelően
 - karáttétel
 - sűrített levegő útjának és így nyomásának szabályozása



Differenciális nyomásmérő cella

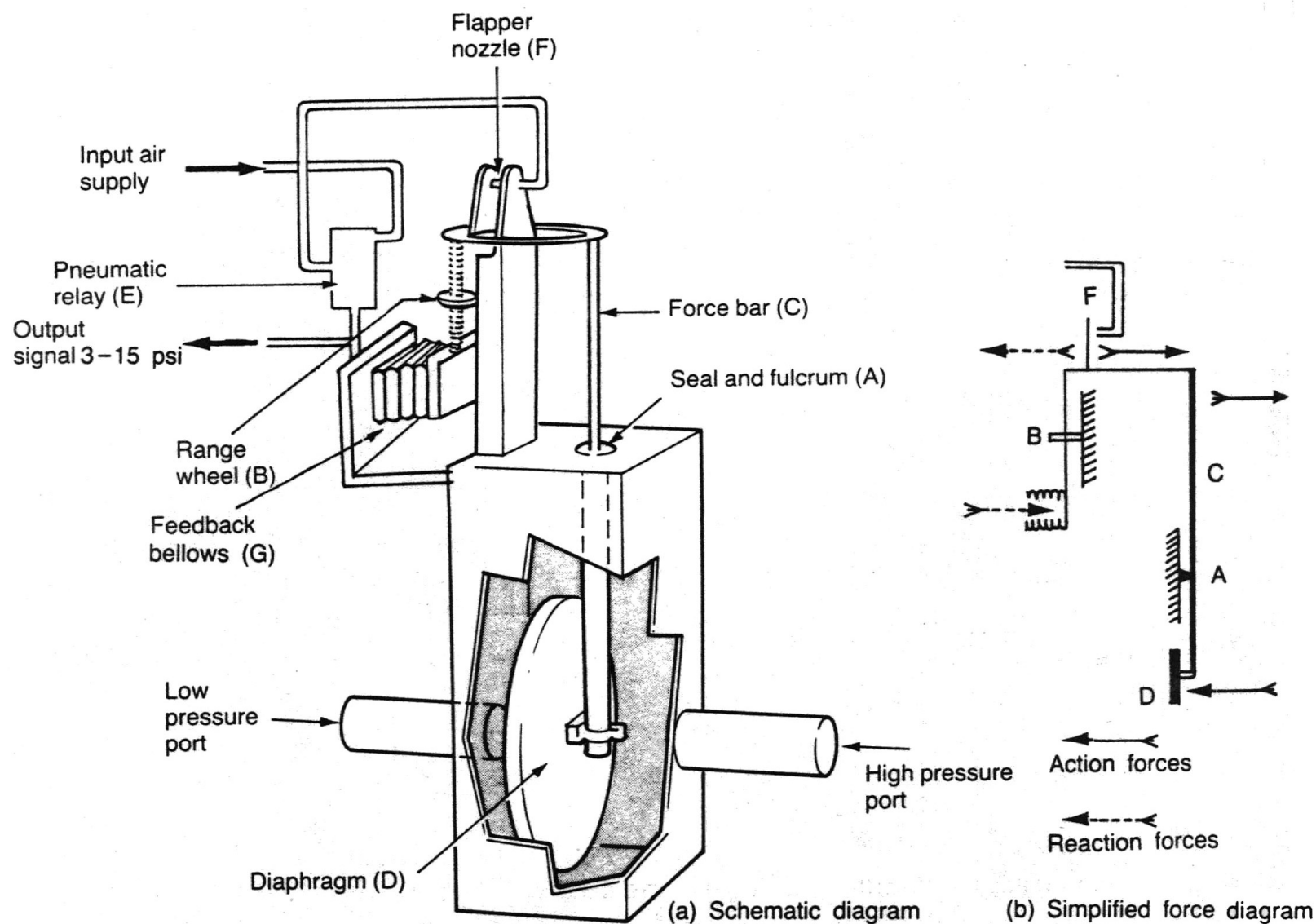


Figure 4.11 Differential pressure (DP) cell

Differenciális nyomásmérő cella

