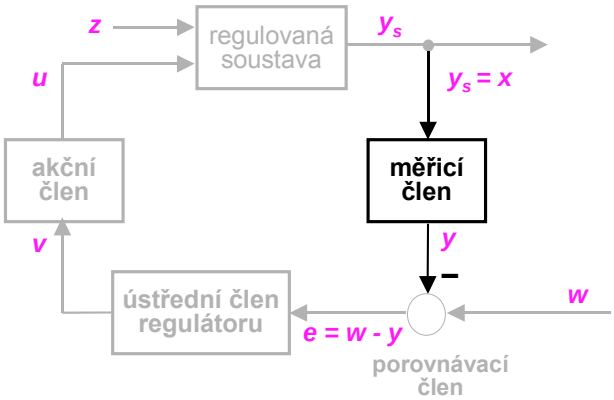
Měřicí technika
jako součást automatizační techniky

- **měření je zdrojem informací:**
  - **o stavu technologického zařízení a o průběhu výrobního procesu, tj. měření pro primární zpracování informací**
  - **o bezpečnostních parametrech procesu, tj. měření pro diagnostiku řízeného i řídicího systému**
- **prvky měřicí techniky**
  - **vytvářejí informační část automatických řídicích systémů**
  - **vlastnosti měřicího zařízení v rozhodující míře ovlivňují i kvalitu řídicí činnosti**

1

Měřicí člen jako součást regulačního obvodu



2

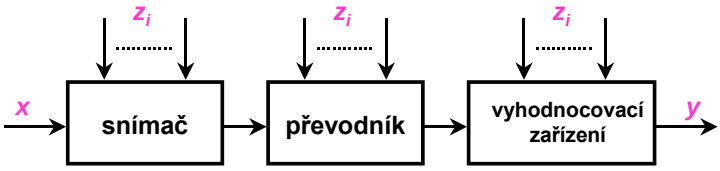
Skladba měřicího řetězce

x - měřená veličina *y* - výstupní údaj

- **snímač (senzor)**
  - vstupní blok měřicího řetězce
  - je v přímém styku s měřeným objektem
  - primární zdroj informace, snímá sledovanou veličinu a transformuje na měřicí veličinu (nejčastěji na elektrickou)
  - pojmy: snímač, senzor, čidlo
- **převodník**
  - transformuje měřicí veličinu obvykle na unifikovaný signál
- **vyhodnocovací zařízení**
  - koncový blok řetězce,
  - výstupem je indikace, zápis, signál pro vstup regulátoru

3

Vliv ovlivňujících veličin na měřicí zařízení



x - měřená veličina

y - výstupní údaj

z_i - ovlivňující (poruchové) veličiny

Ovlivňující veličiny

- ovlivňují výstupní signál
- nejsou předmětem měření
- jejich vliv je nutno minimalizovat
- vliv na výstupní údaj se vyjadřuje pro každou ovlivňující veličinu zvlášť

4

Druhy signálů

- podle průběhu informačního parametru
  - **anlogové:** $IP_{min.} \leq IP \leq IP_{max.}$
  - **diskrétní:** $IP_1 < IP_2 < . . < IP < . . < IP_n$
- podle časového průběhu
  - **kontinuální:** IP je snímán nepřetržitě
  - **diskontinuální:** IP je snímán v určitých časových intervalech
- digitální (číslicový) signál
  - druh diskrétního a diskontinuálního signálu

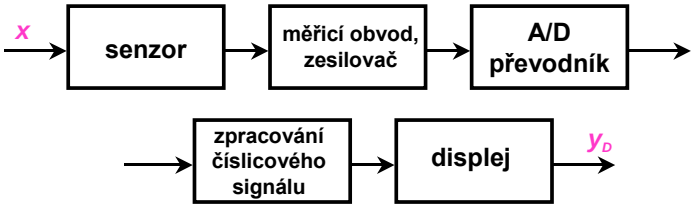
5

Měřicí přístroje

- **analogové**
  - **každé hodnotě měřené veličiny je přiřazena určitá hodnota jiné fyzikální veličiny s analogickým průběhem závislosti signálu**
- **číslicové**
  - **poskytují diskrétní výstupní signál**
  - **udávají měřenou veličinu číselně násobkem základního kvanta signálu**

6

Blokové schéma číslicového měřicího přístroje

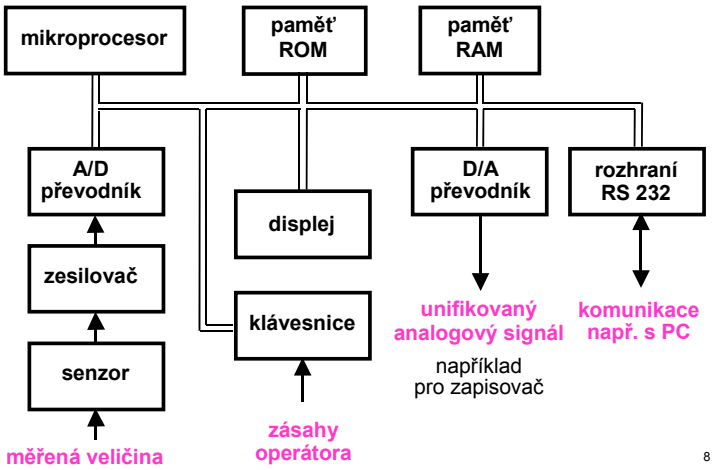


x - měřená veličina y_D - digitální signál

- **měřicí obvod, zesilovač**
  - úprava signálu pro jeho další zpracování
- **A/D převodník**
  - převod analogového signálu na signál číslicový
- **displej**
  - koncový blok řetězce, výstupem je číslicový údaj přístroje

7

Měřicí přístroj řízený mikroprocesorem



8

Přednosti přístrojů řízených mikroprocesorem

- **konfigurace vlastností přístroje podle požadavků uživatele**
- **možnost připojení několika druhů senzorů**
- **možnost úpravy statické charakteristiky (posun nulového bodu, změna směrnice)**
- **potlačení rušivého vlivu ovlivňujících veličin**
- **signalizace mezních stavů**
- **možnost konfigurace analogového výstupního signálu**
- **možnost komunikace přístroje s počítačem**
- **blokování proti nežádoucím zásahům**

9

Rozdělení snímačů (senzorů)

- podle **měřené veličiny:**
  - snímače tlaku, teploty, průtoku, hladiny, chemického složení, elektrických veličin aj.
- podle **fyzikálního principu:**
  - senzory odporové, kapacitní, indukčnostní, indukční, magnetické, elektrochemické, optoelektronické, piezoelektrické aj.
- podle **transformace signálu:**
  - aktivní, pasivní
- podle **styku senzoru** s měřeným objektem:
  - dotykové, bezdotykové

10

MĚŘENÍ TECHNOLOGICKÝCH VELIČIN

- **měření tlaku**
- **měření teploty**
- **měření průtoku a proteklého množství**
- **měření stavu hladiny**
- **měření koncentračních veličin**

11

MĚŘENÍ TLAKU

- pojmy:
  - definice tlaku, jednotky
  - absolutní tlak, přetlak, podtlak, diference tlaku
  - tlakoměr, manometr, vakuometr, diferenční tlakoměr
- rozdělení technických tlakoměrů:
  - **hydrostatické**
  - **deformační**
  - **tlakoměry se silovým účinkem**
  - **tlakoměry elektrické**

12

Hydrostatické tlakoměry

- využívá se **účinku hydrostatického tlaku** $p = h.\rho.g$
- 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**

13

Typy hydrostatických tlakoměrů

- **U - tlakoměr**
  - nejčastěji skleněná U-trubice
  - manometrické kapaliny: rtuť, voda, alkohol, tetrachlor
- **nádobkový tlakoměr**
  - modifikace U-tlakoměru s jedním rozšířeným ramenem (odečítá se výška hladiny v jednom rameni)
- **plovákový tlakoměr**
- **mikromanometr**
  - nádobkový tlakoměr se sklonným ramenem
  - nakloněním ramene se zvýší citlivost přístroje

14

Deformační tlakoměry

- princip je založen na pružné deformaci a změně tvaru tlakoměrného prvku vlivem působení měřeného tlaku
- oblast použití je vymezena platností Hookeova zákona
- nejčastěji používané tlakoměry v průmyslu

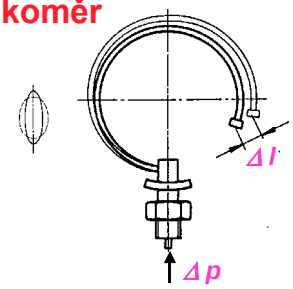
Nejčastěji používanými tlakoměrnými prvky jsou:

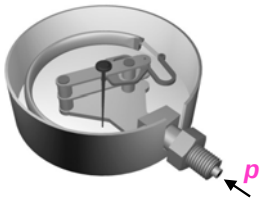
- **Bourdonova trubice**
- **membrána**
- **vlnovec**

15

Trubicový (Bourdonův) tlakoměr

- **Bourdonova trubice**
  - trubice **eliptického průřezu** stočená do kruhového oblouku
  - jedním koncem pevně spojená s přívodním šroubením
  - volný konec trubice je uzavřen a spojen přes převod s ukazovatelem
- **nejpoužívanější typ deformačních tlakoměrů**
- možno použít pro **měření přetlaku i podtlaku**
- **měřicí rozsahy:**
  - od (0 do 0,5) MPa až do 2 000 MPa

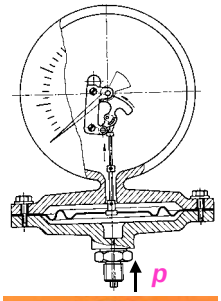


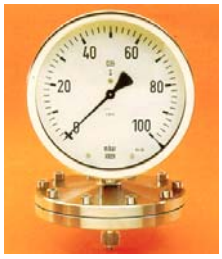


16

Membránový tlakoměr

- tlakoměrným elementem je **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
- možnost ochrany membrány před nepříznivými vlivy
- vhodné pro **měření přetlaku, podtlaku a diferencí tlaku**
- **měřicí rozsahy:**
  - do 4 MPa

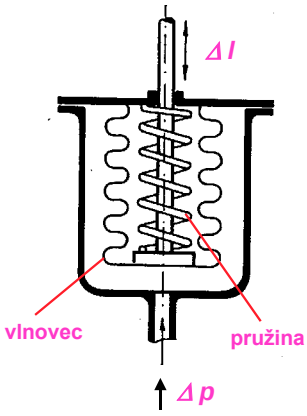




17

Vlnovcový tlakoměr

- tlakoměrným elementem je **vlnovec**
  - tenkostěnný kovový měch umístěný v pouzdře
  - tlak je možno přivádět z jedné strany nebo z obou stran
  - tuhost vlnovce, a tím průběh charakteristiky lze upravit vložením pružiny
  - deformace vlnovce se přenáší na ukazovatel
- často používaný prvek u pneumatických regulačních systémů
- **měřicí rozsahy:** do 0,4 MPa



18

Vlastnosti deformačních tlakoměrů:

- **hlavní přednosti:**
  - velká přestavující síla
  - **robustní měřicí systém**
  - možnost **připojení přídavných převodníků** na elektrický signál (použití odporového, kapacitního či indukčnostního převodníku)
  - **velký měřicí rozsah**
  - jednoduchost, **spolehlivost v provozu**
- **nevýhody:**
  - elastické dopružování případně trvalá deformace během provozu
  - statická charakteristika **vykazuje hysterezi**
  - vyžadují pravidelnou **kalibrační kontrolu**

19

Tlakoměry se silovým účinkem

- měření tlaku se převádí na měření síly
- silový účinek je kompenzován například závažím nebo pružinou
- tyto přístroje měří na základě definice tlaku a používají se zejména ke kalibračním účelům

Do skupiny tlakoměrů se silovým účinkem patří:

- **pístový tlakoměr**
- **zvonový tlakoměr**

20

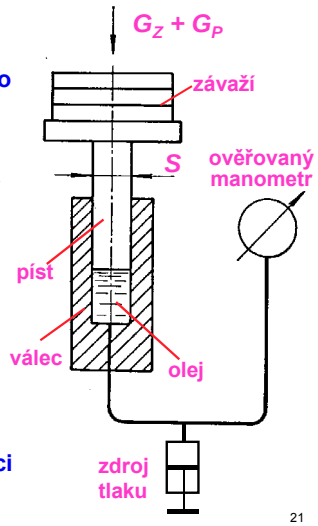
Pístový tlakoměr

- podstatnou součástí je **píst přesného průřezu umístěný ve válci**
- tlak na píst se přenáší olejem
- tlaková síla na píst je kompenzována tíhou pístu a závaží

$$p = \frac{G_Z + G_P}{S}$$

G_Z, G_P - tíha závaží a pístu
S - plocha pístu

- přístroj vykazuje **vysokou přesnost**
- používá se **pro ověřování a kalibraci** deformačních manometrů



21

Tlakoměry elektrické

- v této skupině jsou zařazeny takové snímače tlaku, které poskytují výstupní elektrický signál
- jedná se o moderní a perspektivní snímače doplněné vesměs moderními elektronickými vyhodnocovacími obvody

Budou popsány tyto typy snímačů tlaku:

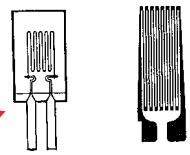
- **snímače tlaku s odporovými tenzometry**
- **kapacitní snímače tlaku**
- **piezoelektrické snímače tlaku**

22

Snímače s odporovými tenzometry

Odporový tenzometr:

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

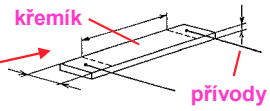


Kovové tenzometry:

- tenké odporové drátky ve tvaru vlásenky
- foliové - vytvořené odleptáním kovové vrstvy

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

k - koeficient deformační citlivosti
ε - poměrná deformace
R - odpor tenzometru



Polovodičové tenzometry:

$$\frac{\Delta R}{R} = k_1 \cdot \varepsilon + k_2 \cdot \varepsilon^2$$

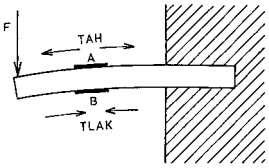
- řezáním, broušením či leptáním z monokrystalu křemíku
- citlivější než kovové, závislost na teplotě

23

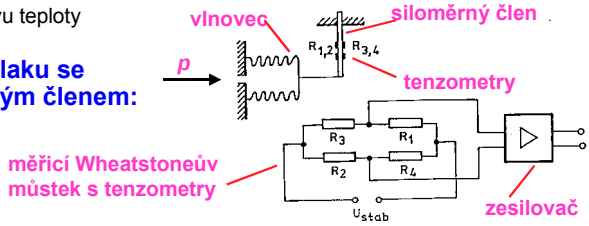
Snímače tlaku s odporovými tenzometry

Siloměrný měřicí člen

- pružný vetknutý nosník s nalepenými tenzometry
- povrchová vlákna nosníku jsou namáhána tahem i tlakem
- 4 tenzometry zapojené do můstku
- zvýšení citlivosti měření
- potlačení nelinearity
- potlačení vlivu teploty



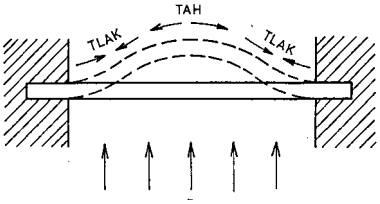
Snímač tlaku se siloměrným členem:



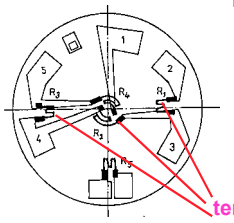
24

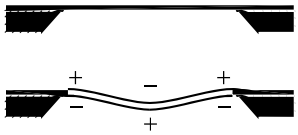
Snímače tlaku s difundovanými tenzometry

- na povrchu křemíkové membrány jsou difúzní technologií vytvořeny polovodičové tenzometry
- membrána je současně pružným elementem pro snímání tlaku
- mechanické napětí povrchových vláken membrány se měří tenzometricky



Křemíková membrána vytvořená leptáním:

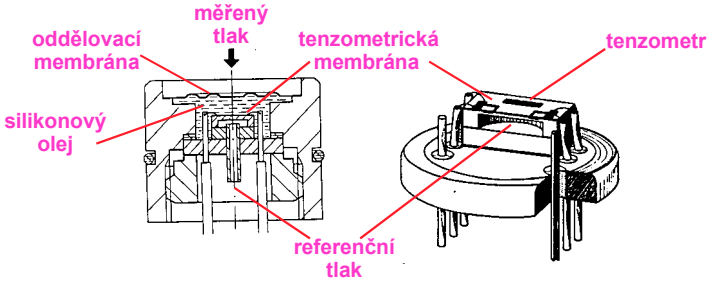




průměr membrány: 6 mm

25

Provedení snímačů s křemíkovou membránou

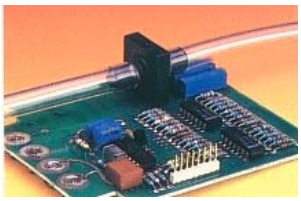


26

Ukázky elektrických tlakoměrů:

Příruční tlakoměr s tenzometrickým senzorem:

Miniaturní snímač tlaku a diference tlaku s tenzometrickou membránou:

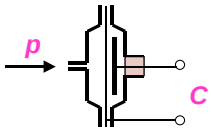


Zabudování snímače do desky plošného spoje

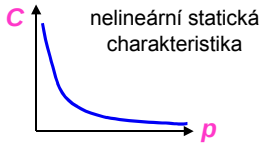
27

Kapacitní snímače tlaku

Princip:
jedna elektroda kondenzátoru je tvořena membránou, jejíž poloha se mění při působení tlaku



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

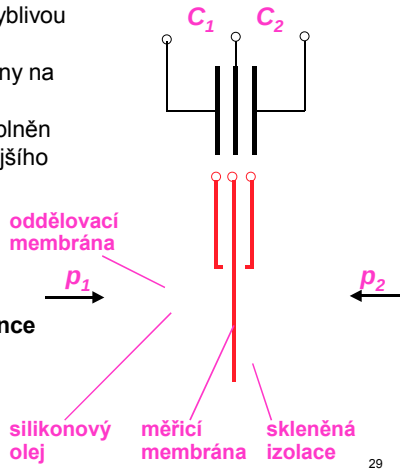


ε_0 - permitivita vakua
ε_r - relativní permitivita
S - plocha elektrod
d - vzdálenost elektrod

28

Diferenční kapacitní snímač tlaku

- membrána tvoří střední pohyblivou elektrodu
- pevné elektrody jsou umístěny na izolantu (sklo)
- vnitřní prostor senzoru je vyplněn silikonovým olejem a od vnějšího prostředí jej oddělují kovové oddělovací membrány



- **používá se k měření diference tlaku, často ve spojení s průřezovým měřidlem**

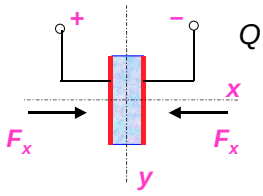
29

Piezoelektrické snímače

Princip: **piezoelektrický jev**

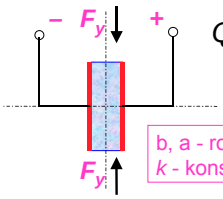
- při mechanické deformaci některých krystalů (např. křemene, $BaTiO_3$) vzniká elektrický náboj
- základem senzoru je výbrus z krystalu
- **x** - elektrická osa, **y** - mechanická osa
- na plochách kolmých k elektrické ose jsou naneseny elektrody
- velikost náboje *Q* je úměrná působící síle *F*

Podélný piezoelektrický jev:



$$Q = k\,F_x$$

Příčný piezoelektrický jev:



$$Q = -k\,F_y \frac{b}{a}$$

b, a - rozměry výbrusu
k - konstanta [C.N^{-1}]

30

Piezoelektrický snímač tlaku

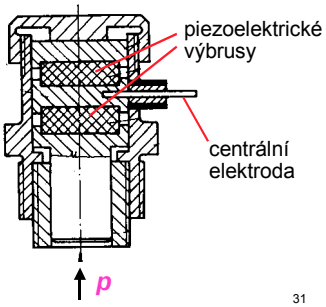
- při silovém působení na výbrus vzniká náboj
- piezoelektrický snímač je **generátorem náboje**
- snímač představuje zdroj napětí s vysokým vnitřním odporem

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

U - výstupní napětí snímače

- při měření je nutno použít zesilovač s vysokým vstupním odporem
- zesilovač tvoří součást snímače
- snímač má **velmi rychlou odezvu**
- vhodný pro měření rychlých dějů

Schéma snímače:



31

Měření tlaku - souhrn

Probrali jsme:

- **hydrostatické tlakoměry**
  - pro laboratorní měření
- **deformační tlakoměry**
  - nejrozšířenější pro běžné provozní měření
- **pístové tlakoměry**
  - pro kalibrační účely
- **tenzometrické, kapacitní a piezoelektrické snímače**
  - moderní perspektivní snímače pro provozní aplikace v řídicích obvodech

32