

SENZORI I METODE MERENJA NEELEKTRIČNIH VELIČINA

- SENZORI SILE i MOMENTA
- SENZORI PRITISKA
- SENZORI NIVOA

SENZORI SILE i MOMENTA

FIZIKALNE OSNOVE MERENJA SILE

- **Sila** je jedna od osnovnih veličina u mehanici.

Sila, koja je vektorska veličina, može se definisati kao akcija koja izaziva ubrzanje ili neku reakciju tela.

Ukoliko na telo deluju druga tela, desiće se izobličenja i/ili promena položaja tela u tačkama delovanja ili kontakta.

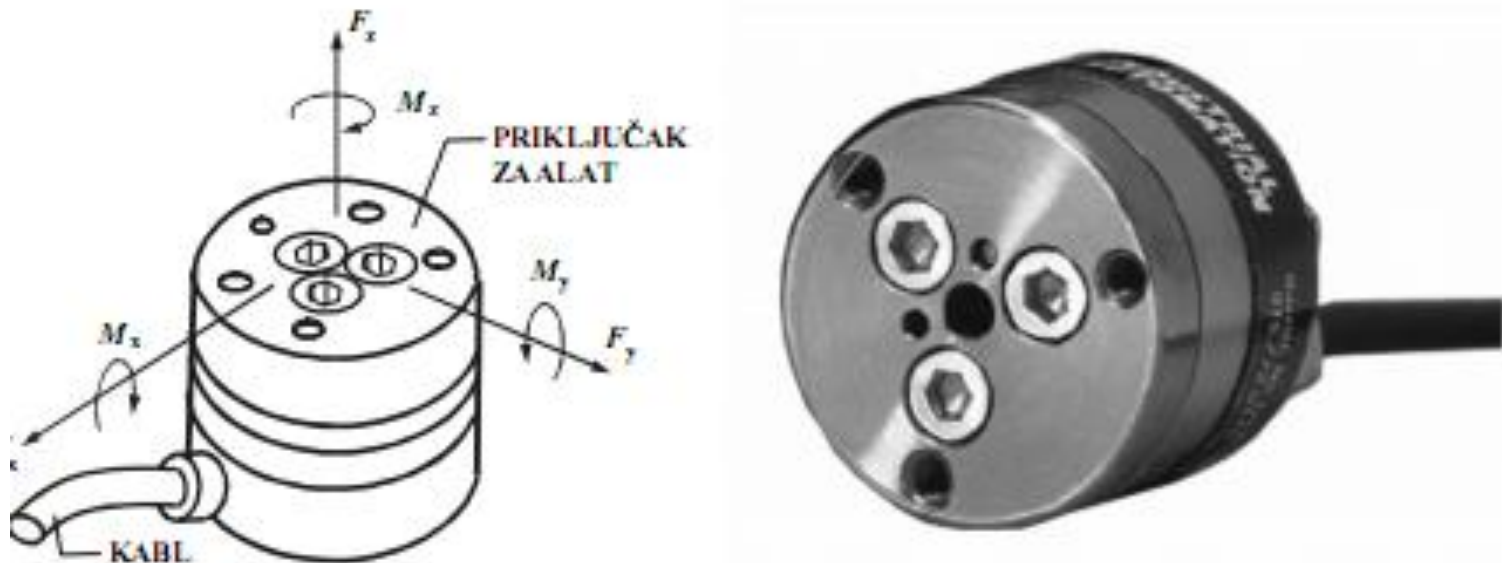
- **Metode merenja** zasnivaju se na primeni:
 - drugog Njutnovog zakona,
 - gravitacionog zakona i
 - Hukovog zakona.

Nepoznata sila se može meriti na sledeći način:

1. Izjednačavanjem nepoznate sile sa poznatom masom kroz sistem poluga.
2. Merenjem ubrzanja tela čija je masa poznata.
3. Njeno izjednačavanje sa magnetskom silom koja je nastala kao interakcija između kalema i magneta.
4. Raspoređivanjem sile na specifičnu oblast da bi generisali pritisak, a zatim merenjem pritiska.
5. Pretvaranjem primenjene sile u deformaciju elastičnog elementa.

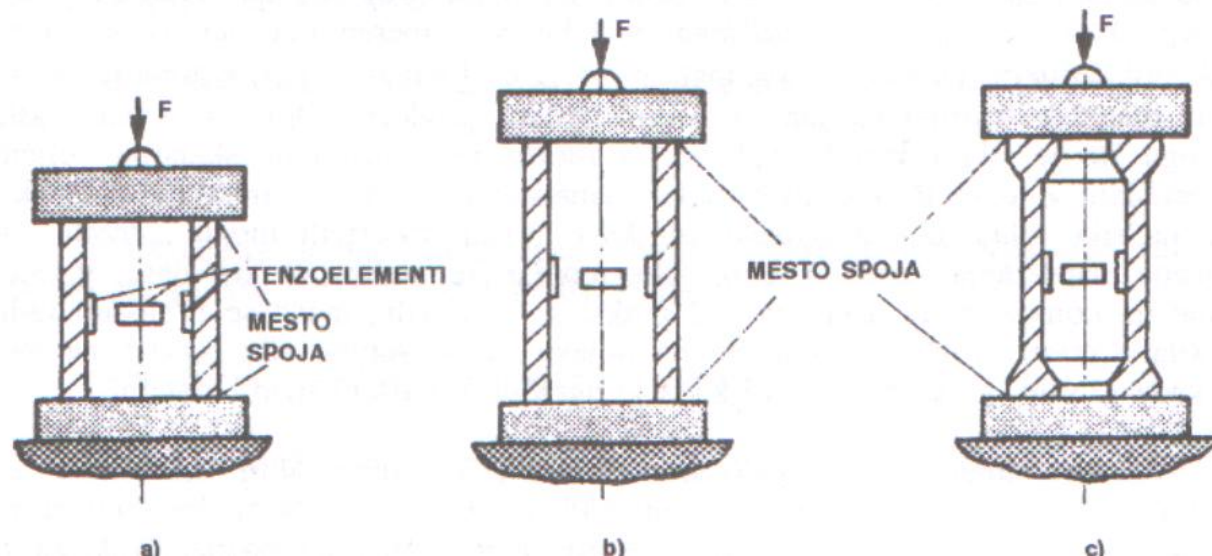
▪ Problemi merenje sile

- problem tačnosti,
- ulaz vektorska a izlaz skalarna veličina,
- ogranišenost mehaničkih naprezanja u materijalu i
- problem interakcije u mernom sistemu.

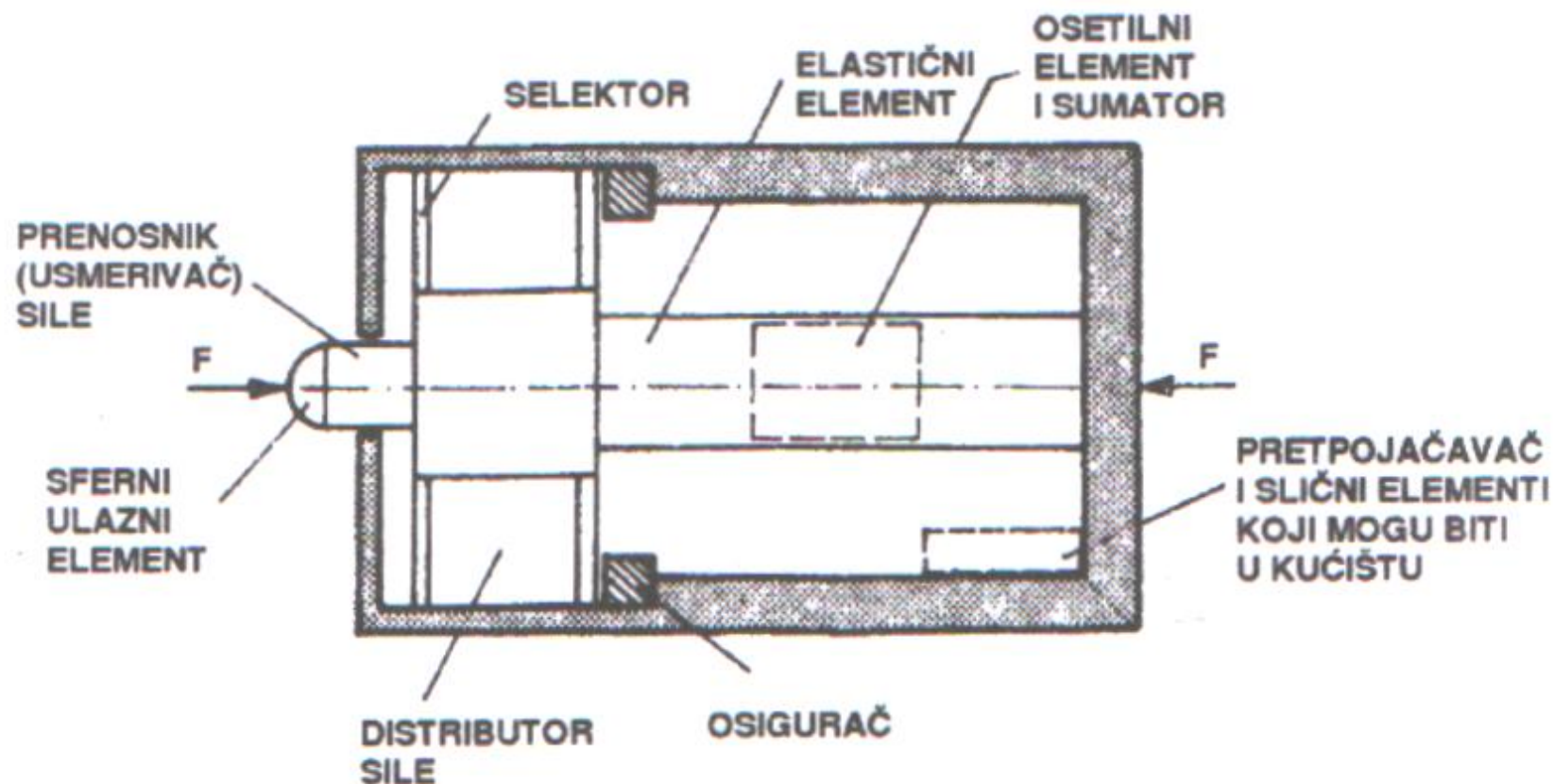


Slika 17.1. Šestokomponentni senzori: a) komponente sile i momenta, b) izgled senzora

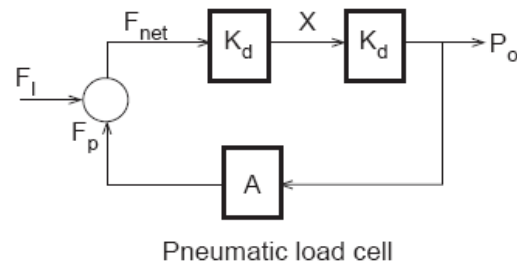
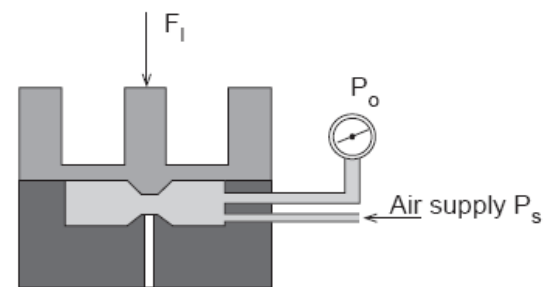
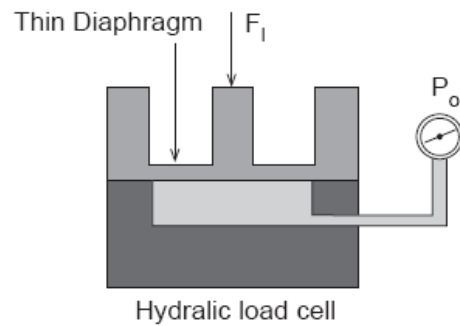
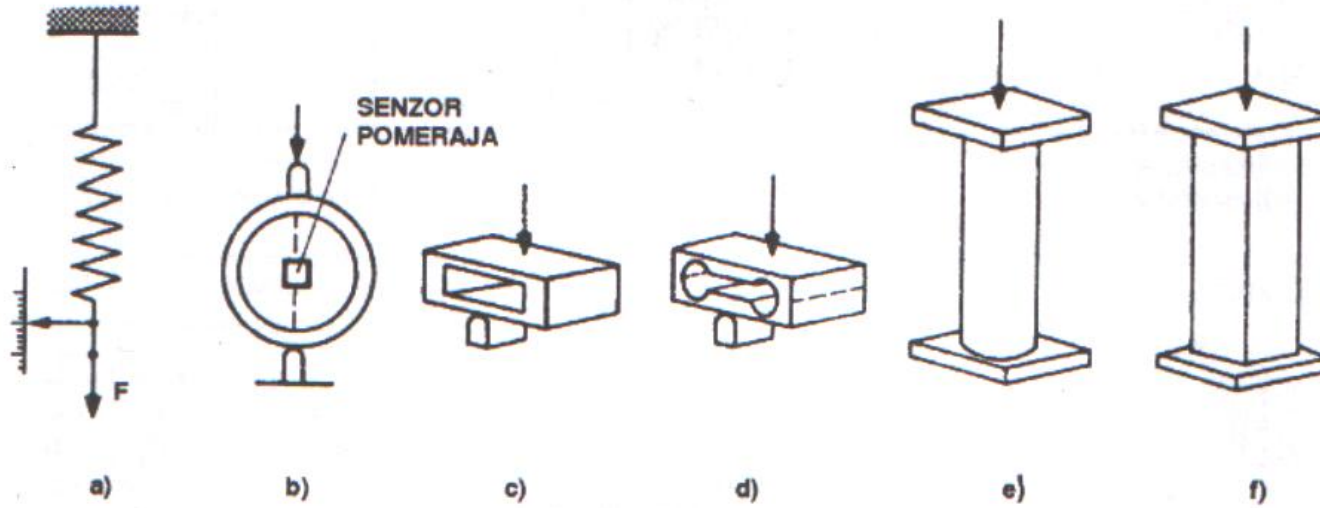
- **Gradnja senzora sile** je određena fizikalnim principima konverzije sile u izlazni signal, te tehnološkim i ekonomskim mogućnostima.
- Da bi se dobile optimalne tehničke karakteristike prilikom gradnje treba poštovati:
 - princip monolitnosti,
 - princip integriranja
 - princip optimalnih konstruktivnih granica i
 - princip simetrije.



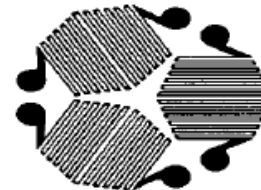
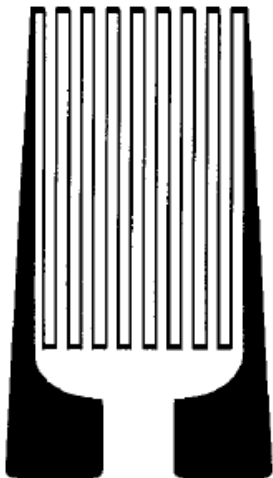
Struktura senzora sile



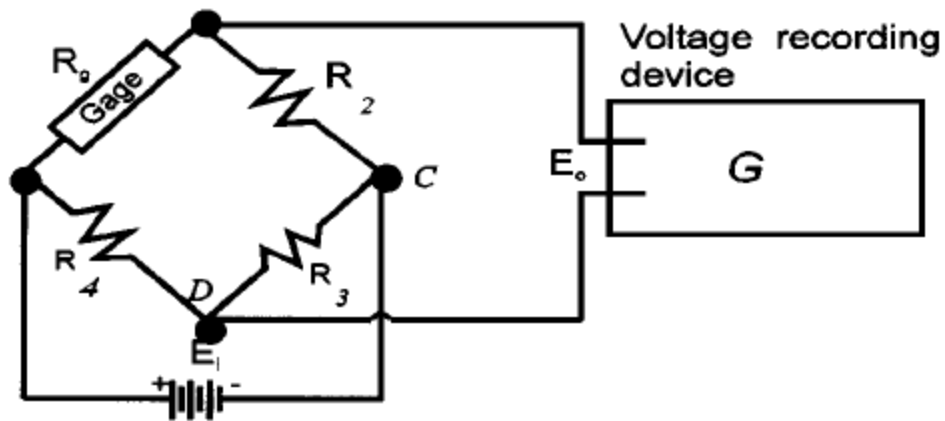
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE



ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE

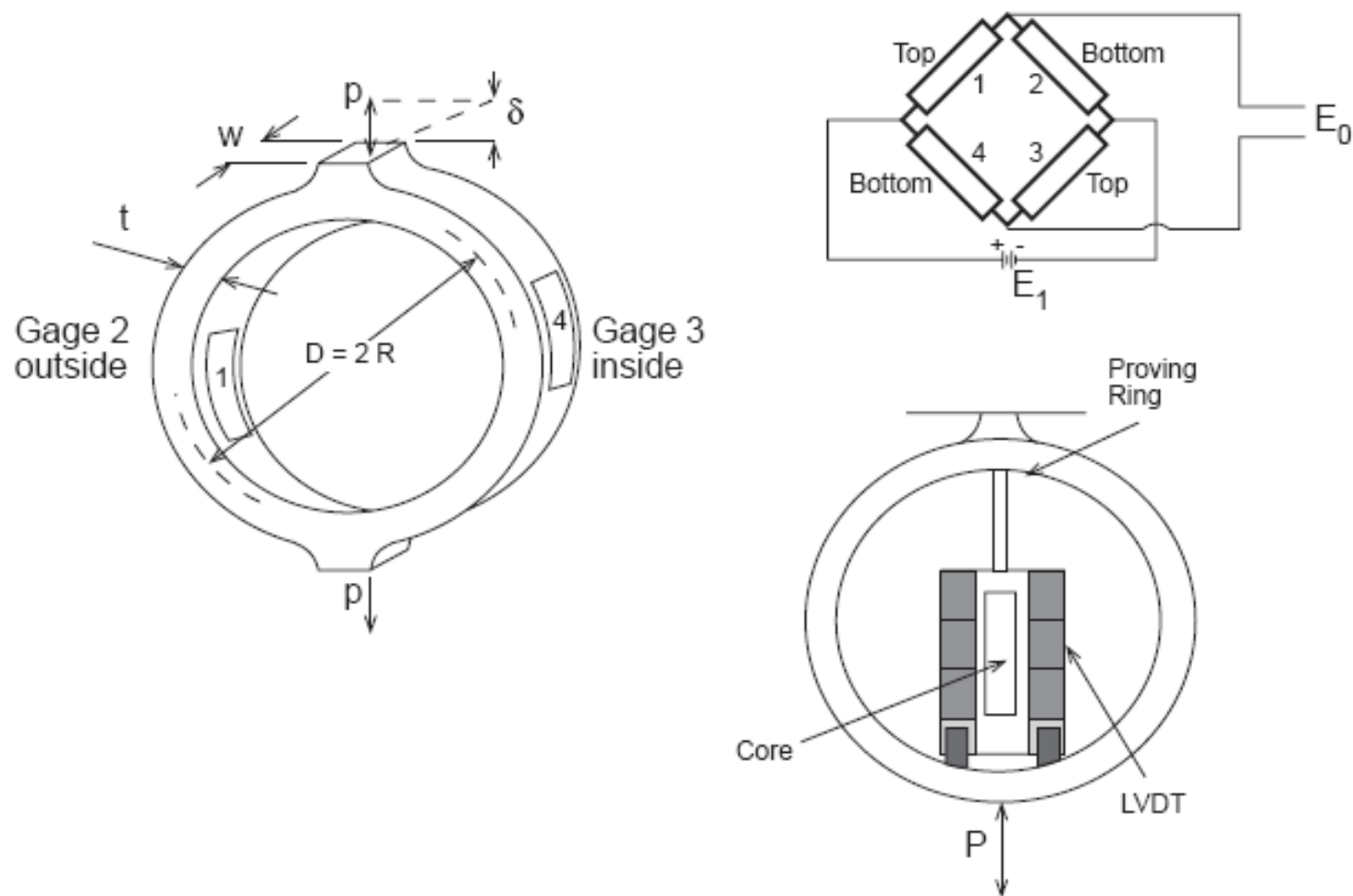


Konfiguracija mernih traka sa metalnim otpornim folijama: (a) sa jednim elementom; (b) sa dva elementa; i sa tre elementa (c).



Vistonov most

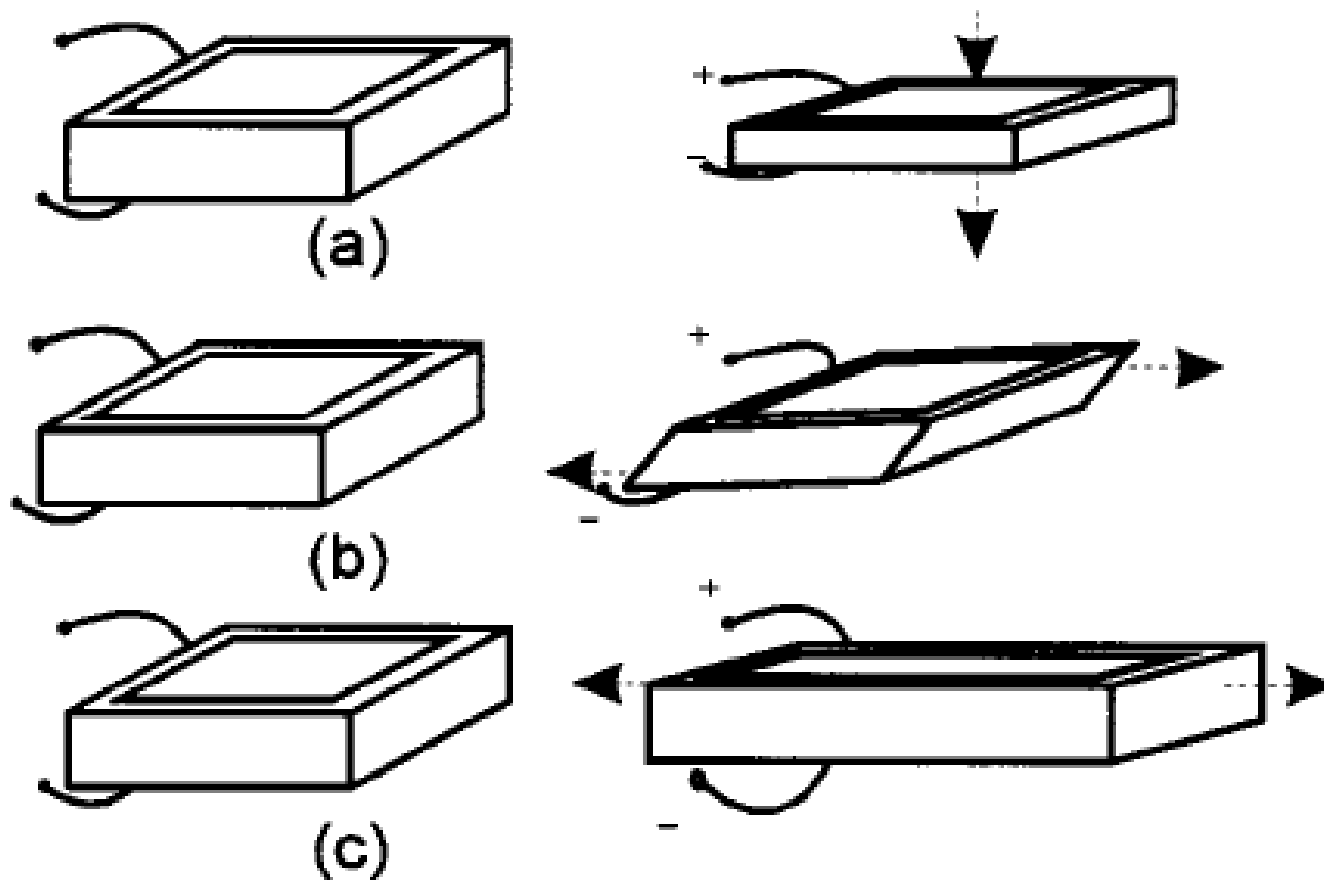
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE



(c)

Prstenaste otporne ćelije: (a) elastični element sa deformacionom trakom kao senzorom; (b) položaji deformacionih traka u Vistonovom mostu; i (c) elastični elementi sa LVDT kao senzorom.

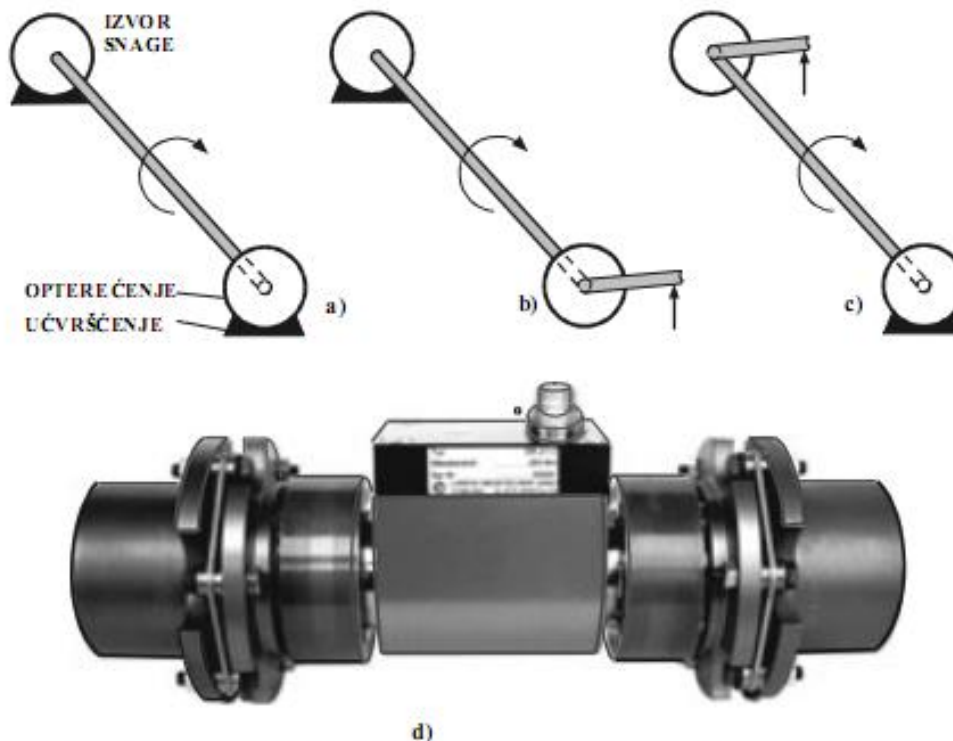
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE



Načini rada za jednostavnu ploču kao piezoelektrični uređaj

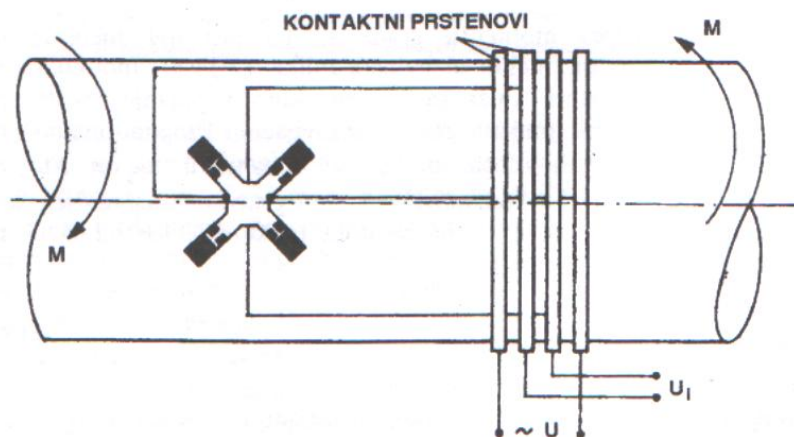
MERENJE MOMENTA

- **Moment** je izvedena mehanička veličina koja predstavlja proizvod sile i njenog rastojanja do referentne ose.
- **Problemi merenje momenta** su isti kao i kod merenja sile a dodatni je problem postavljanja osovine (vratila) u ležište.

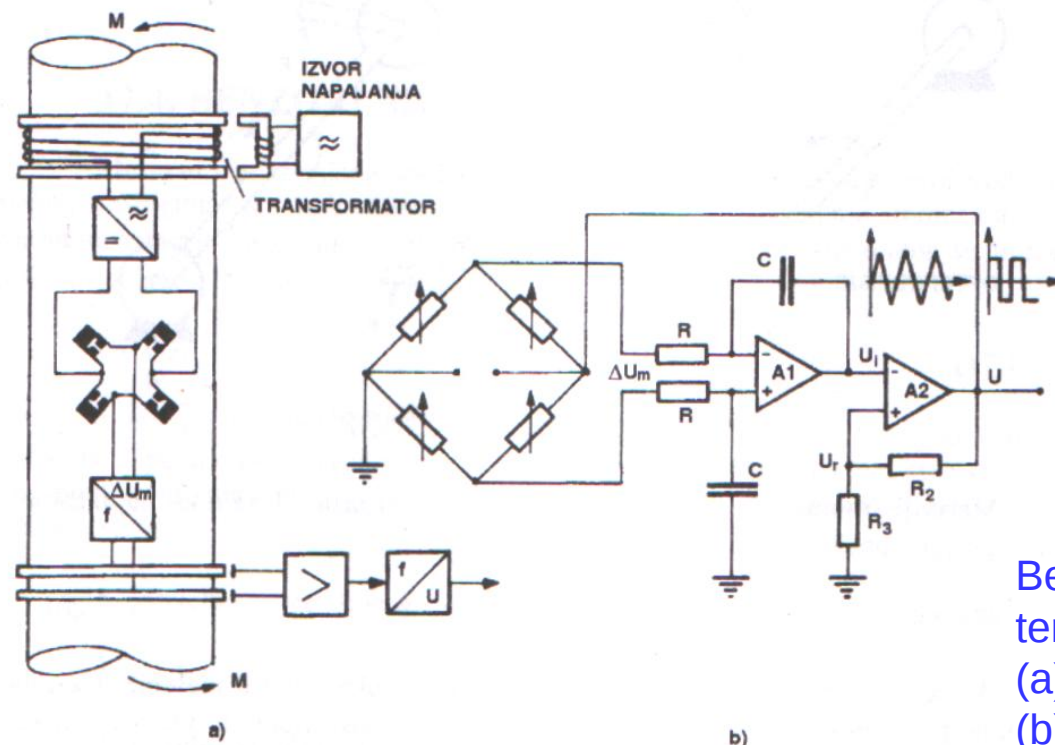


Slika 17.10. Dinamometarski princip merenja momenta: a) prenos snage pomoću osovine, b) merenje sile na strani opterećenja, c) merenje sile na strani izvora, d) merni sistem

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI MOMENTA

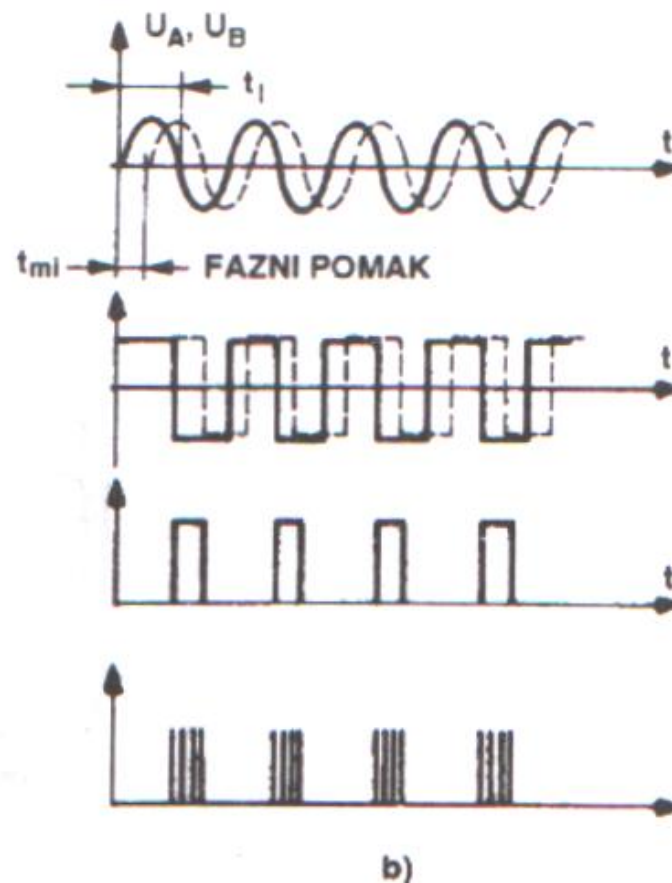
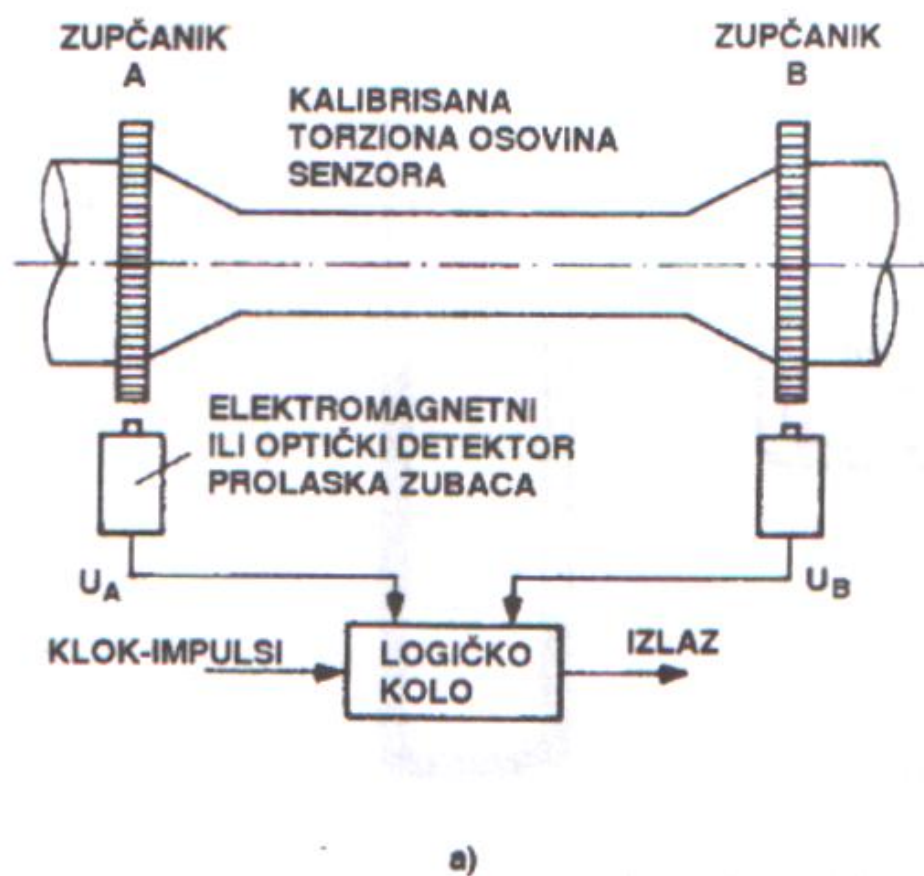


Senzor momenta sa tenzoelementima i kontaktnim prstenovima.



Beskontaktni senzor momenta sa tenzoelementima:
(a) principijelna šema;
(b) pretvarač napona u frekvenciju.

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI MOMENTA



Digitalni senzor momenta: (a) princip rada; (b) talasni oblici signala.

SENZORI PRITISKA

FIZIKALNE OSNOVE

- U mehanici veličina koja predstavlja odnos sile F [N] po jedinici površine S [m²] zove se pritisak p $p=F/S$
- U teoriji fluida, pritisak je lokalno svojstvo fluida i zavisi od visine stuba fluida h [m] iznad date lokacije i gustine fluida ρ [kg/m³] $p = \rho gh$
- U kinetičkoj teoriji gasova, pritisak je mera prosečne kinetičke energije E [J=Nm] translatorsnog kretanja N molekula gasa u volumenu V [m³] na temperaturi T [K]

$$p = \frac{2 N k T}{3 V} \quad k = 1,380658 \cdot 10^{-21} \text{ J/K} - \text{Bolcmanova konstanta}$$

Jedinica je Pa=N/m² a dopušta se *bar*, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

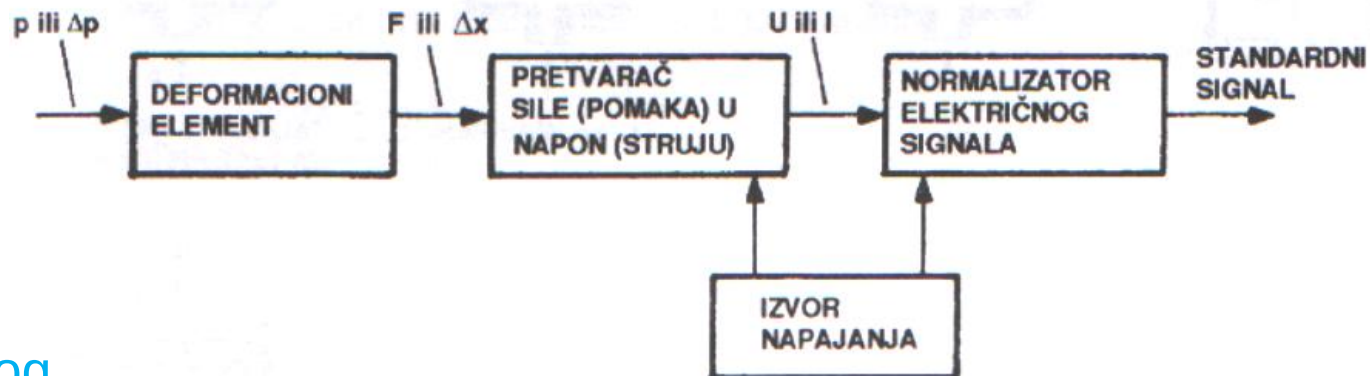
Merni opseg

Pritisak se meri u opsegu od $0 \div 10^{10}$ Pa, a u tehničkoj praksi on se meri u četiri oblasti:

- oblast niskog apsolutnog pritiska (tehničkog vakuuma)
u opsegu ($10^{-10} \div 100$ Pa)
- oblast barometarskog pritiska,
- oblast malih diferencijalnih pritisaka u odnosu na atmosferski u opsegu ($0 \div 100$ Pa):
 - potpritiska $p - p_a < 0$
 - natpritiska $p - p_a > 0$
- oblast visokog relativnog pritiska (natpritiska) ($0 \div 10^{10}$ Pa)

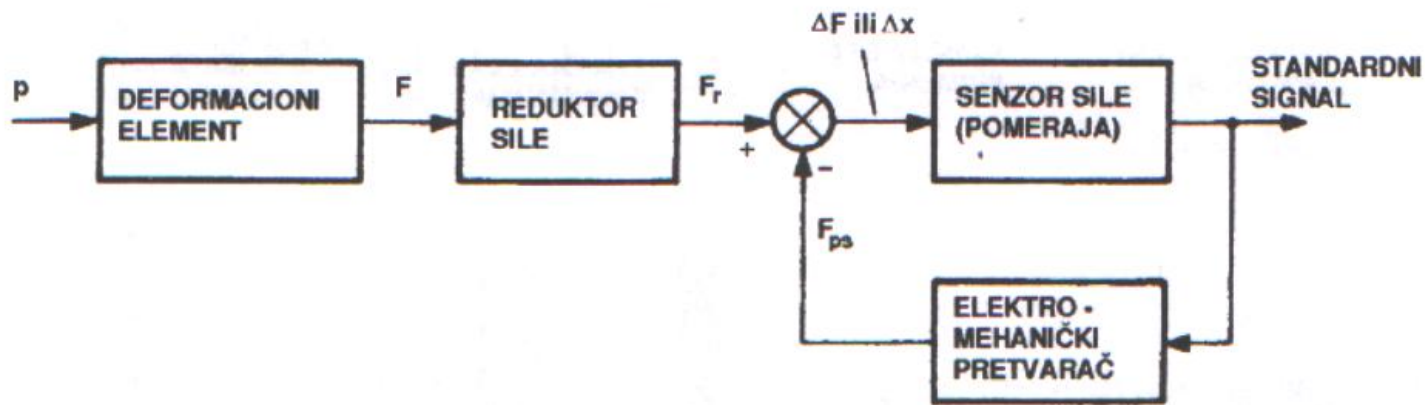
PRINCIPI GRADNJE SENZORA PRITISKA

▪ Struktura:



- direktnog

a)

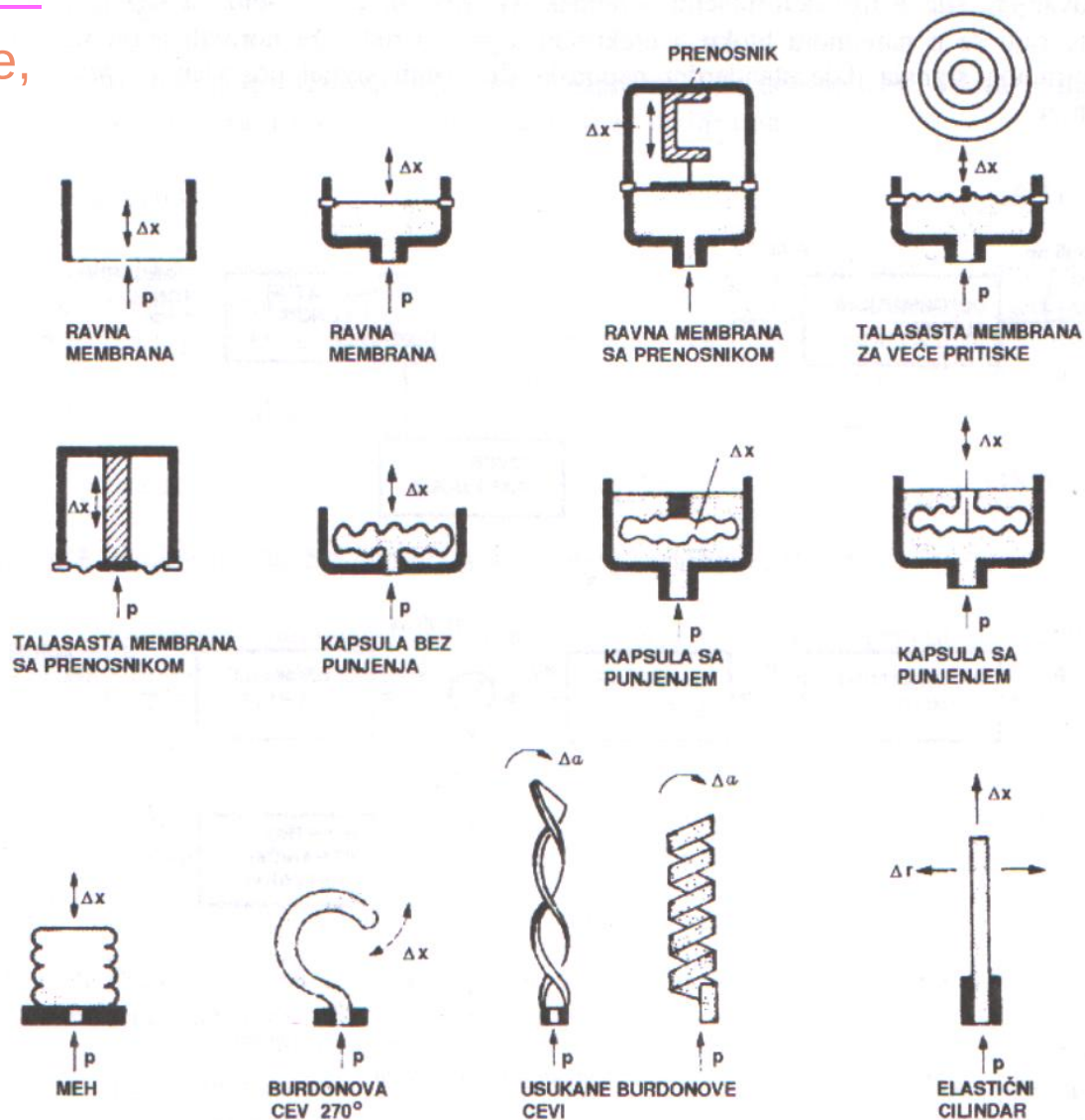


- kompezacionog tipa

b)

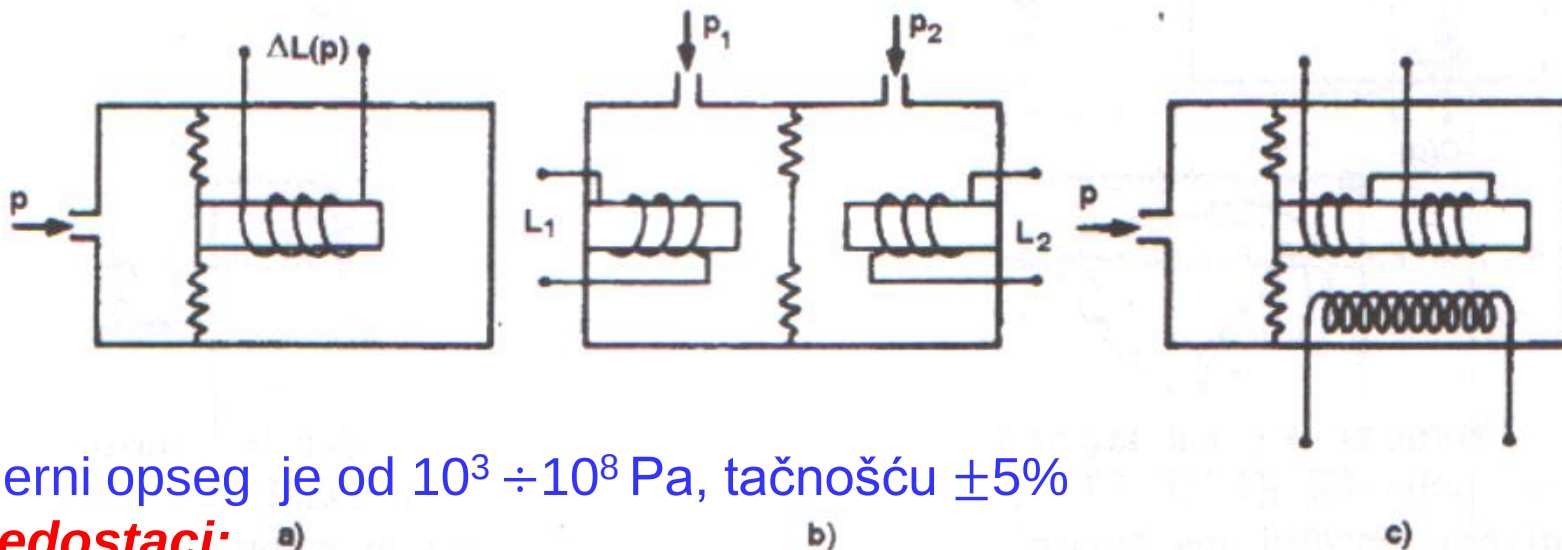
Elastični elementi:

- membrane,
- mehovi i
- cevi



TIPIČNI SENZORI PRITISKA

▪ Elektromagnetni senzori pritiska:



Merni opseg je od $10^3 \div 10^8$ Pa, tačnošću $\pm 5\%$

Nedostaci:

- temperaturna osetljivost,
- mali frekventni opseg (50 – 1000 Hz) i
- relativno velike dimenzije

Prednosti su:

- ✓ mogućnost statičkih i dinamičkih merenja
- ✓ visok odnos signal/šum,
- ✓ visoka vrednost izlaza,
- ✓ dozvoljeno preopterećenje do 6 puta veće od p_{max}

TIPIČNI SENZORI PRITISKA

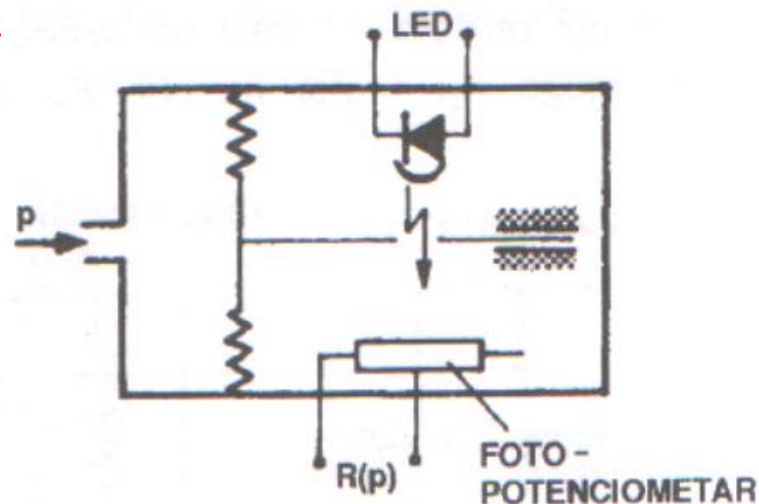
▪ Optoelektronski senzori pritiska

Prednosti su:

- ✓ mogućnost statičkih i dinamičkih merenja
- ✓ visoka vrednost izlaza,
- ✓ jednostavnost

Nedostaci:

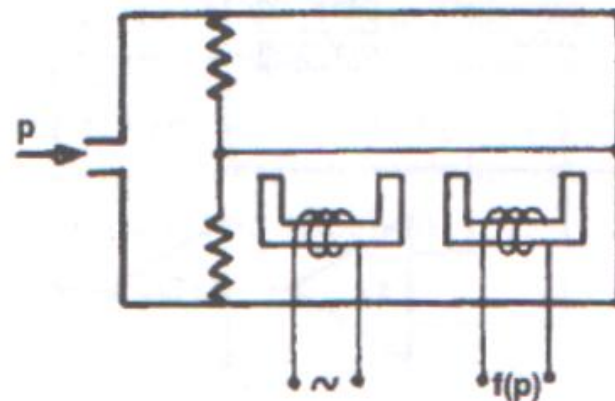
- temperaturna osetljivost,
- mali frekventni opseg i
- nestab. stat. k-ka sa starenjem



▪ Senzori sa strunom

Nedostaci:

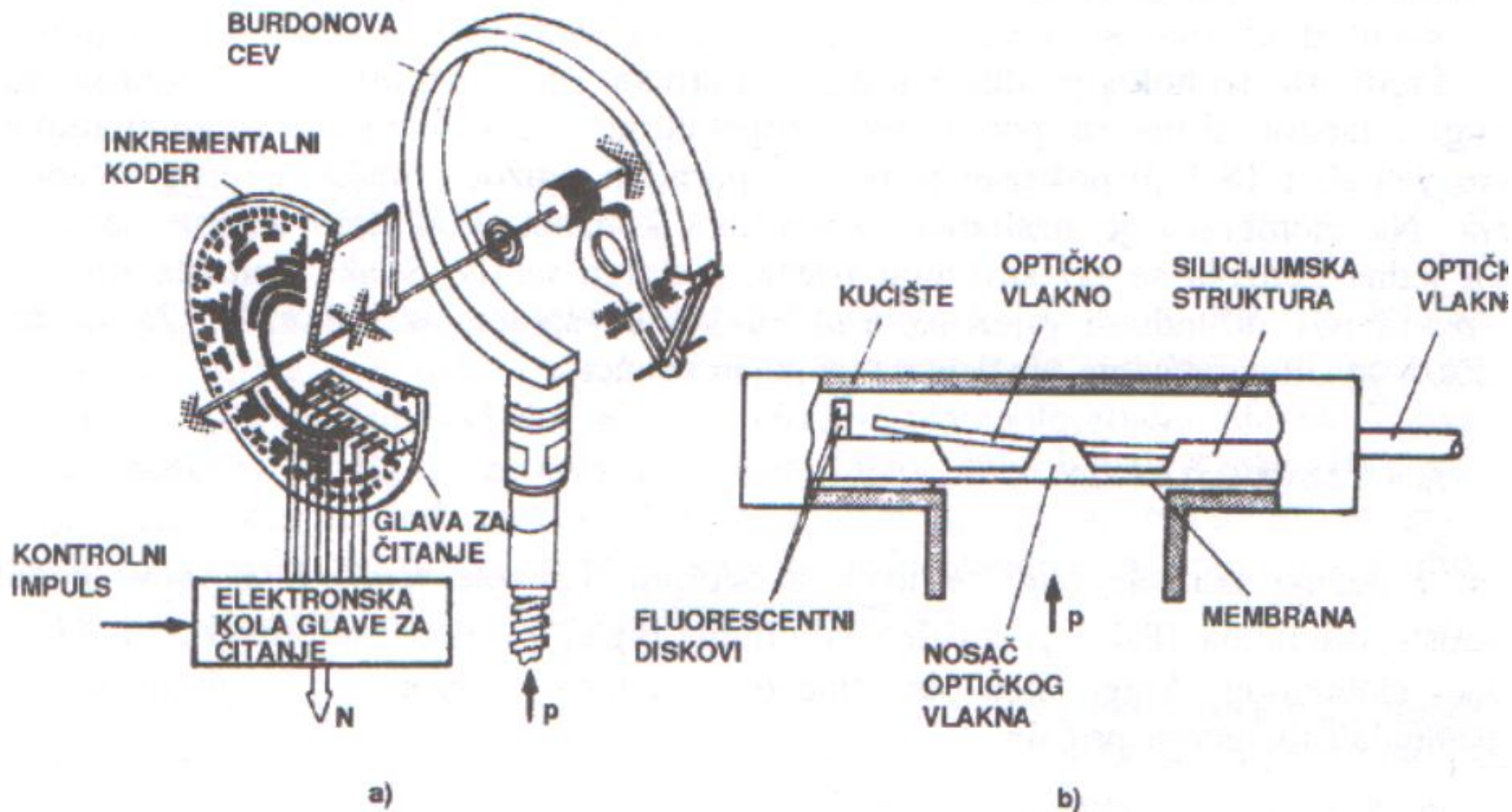
- osetljivost na meh. udare, vibracije i temperaturnu,
- velika nelinearnost i histerezis.



Slika 18.10. Senzor pritiska sa strunom (oscilirajućom žicom)

TIPIČNI SENZORI PRITISKA

- Digitalni senzori pritiska



Slika 18.25. Digitalni senzor pritiska: a) senzor sa inkrementalnim enkoderom, b) optoelektronski senzor

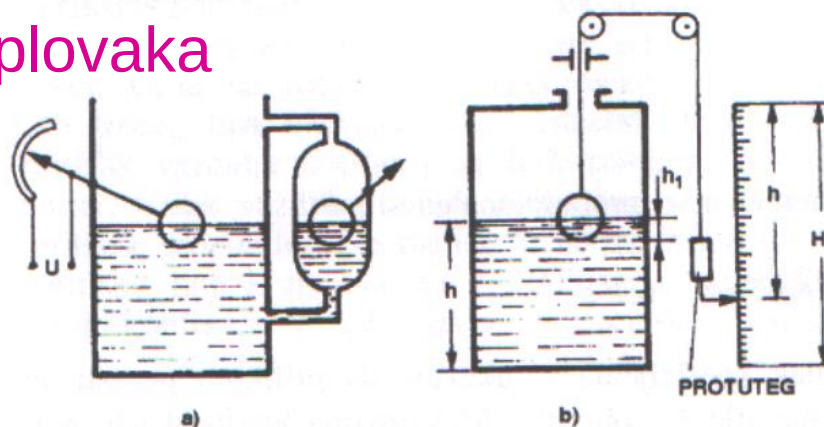
SENZORI NIVOVA

KARAKTERISTIKE MERENJA NIVOVA

- **Nivo** je visina tečnog ili usitnjenog (sipkastog, praškastog) materijala u posudi.
- U suštini nivo predstavlja graničnu površinu između dve sredine različite gustine u odnosu na neku refer.površinu.
- Senzori se nazivaju **nivometrima**.
- Prema veličini mernog opsega razlikuju se nivometri:
 - širokog opsega 0,5 -25 m za mer. apsolutnih nivoa i
 - uskog opsega 0 – 100 mm za mer. u SAU
- **Metode merenja** dele se u dve grupe:
 - u odabranim (diskretnim) tačkama,
 - kontinualne metode merenja

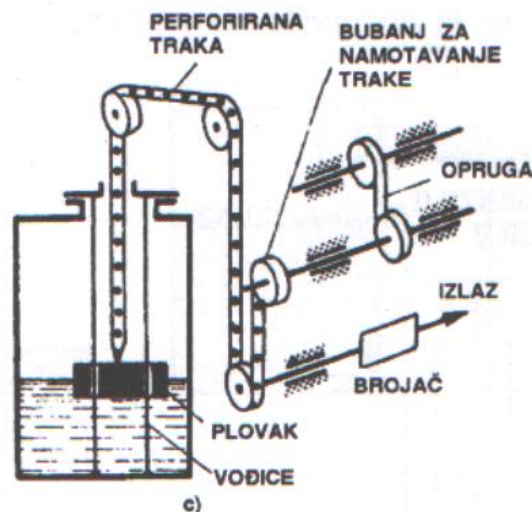
TIPIČNI SENZORI NIVOA

▪ Senzori na principu plovaka



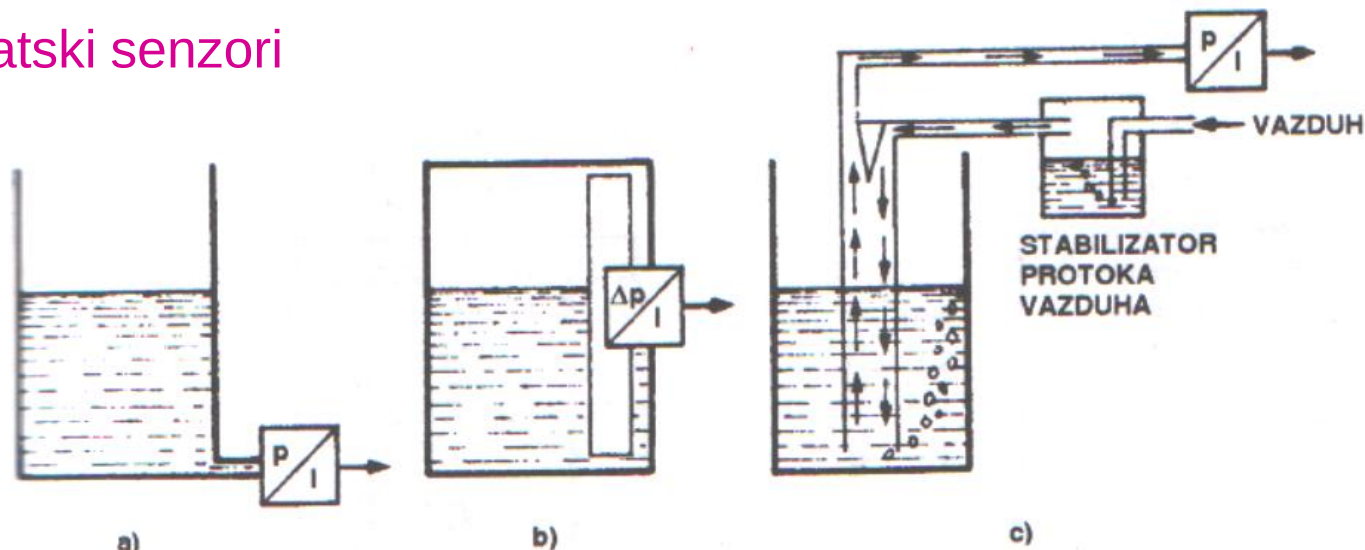
- minimalni merni opseg
je od $0 \div \pm 200$ mm,

- tačnošću $\pm 1,5\%$



Slika 19.2. Senzori nivoa sa plovkom: a) plovak u rezervoaru i sa vanjske strane rezervoara, b) plovaka sa protutegom, c) plovak sa trakom

■ Hidrostatski senzori

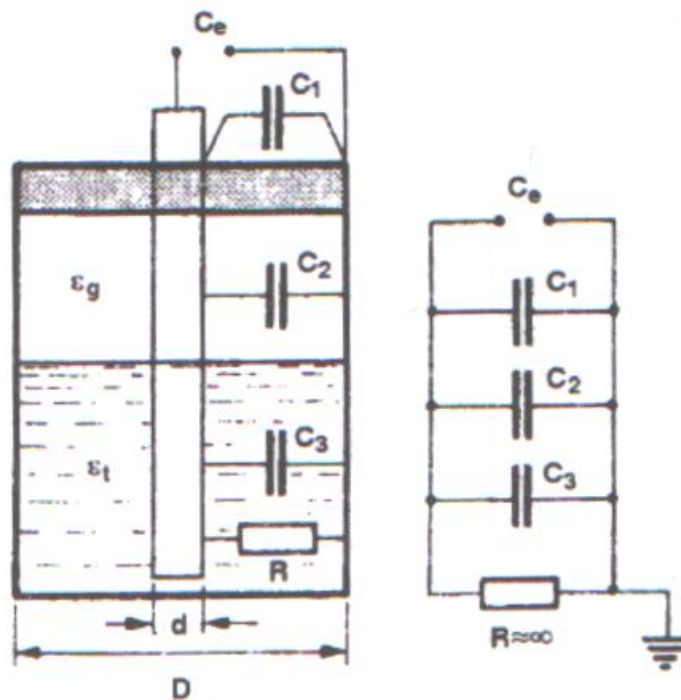


Slika 19.4. Hidrostatski senzor: a) hidrostatski senzor kao senzor relativnog pritiska, b) hidrostatski senzor kao senzor diferencijalnog pritiska, c) pneumatski tip za otvoreni rezervoar

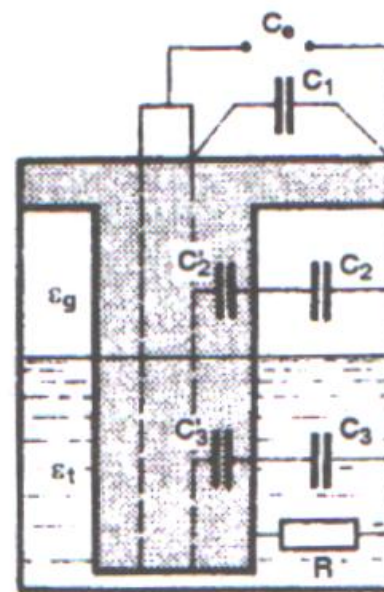
Prednosti su:

- ✓ jednostavnost načina rada,
- ✓ odsustvo pokretnih delova,
- ✓ mogućnost primene na otvorene i zatvorene rezervoare sa zapaljivim ili agresivnim tečnostima.
- merni opsezi od $0 \div 10$ m do $0 \div 70$ m
- tačnost $\pm 0,15 \div 1,5\%$ za puni opseg

- Električni senzori
- kapacitivni



a)



b)

Prednosti su:

- ✓ jednostavnost,
- ✓ odsustvo pokretnih delova,
- ✓ otpornost na koroziju.
- merni opsezi od $0 \div 0,4$ m do $0 \div 20$ m
- tačnost $\pm 0,5 \div 2,5\%$

Nedostaci:

- pojava obloge na sondi i
- zavisnost od promena diel. konst. materijala

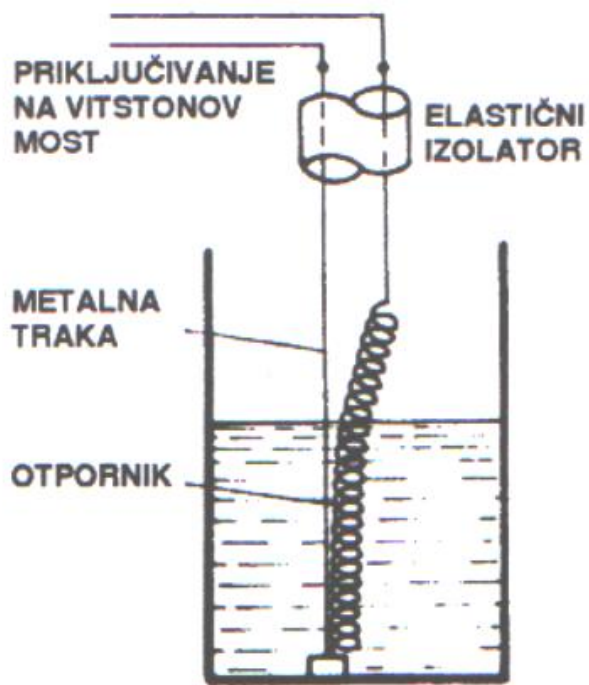
▪ Električni senzori

- otpornički

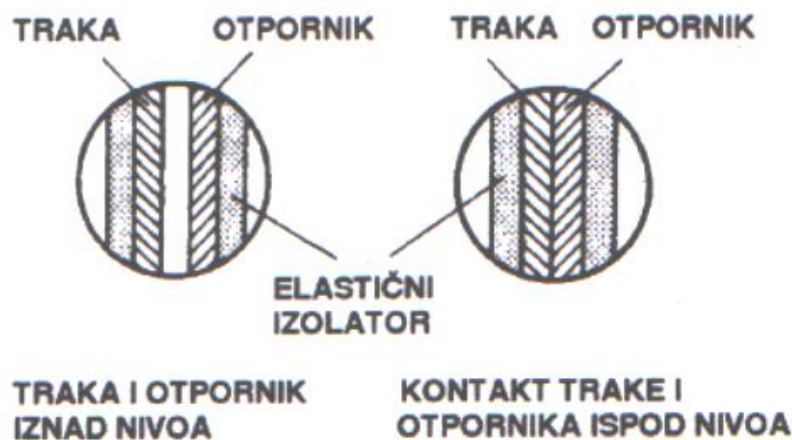
- merni opseg do 60 m

- tačnost $\pm 20 \div 100$ mm

- jednostavni i jeftini senzori za mer. granulastih materijala u silosima

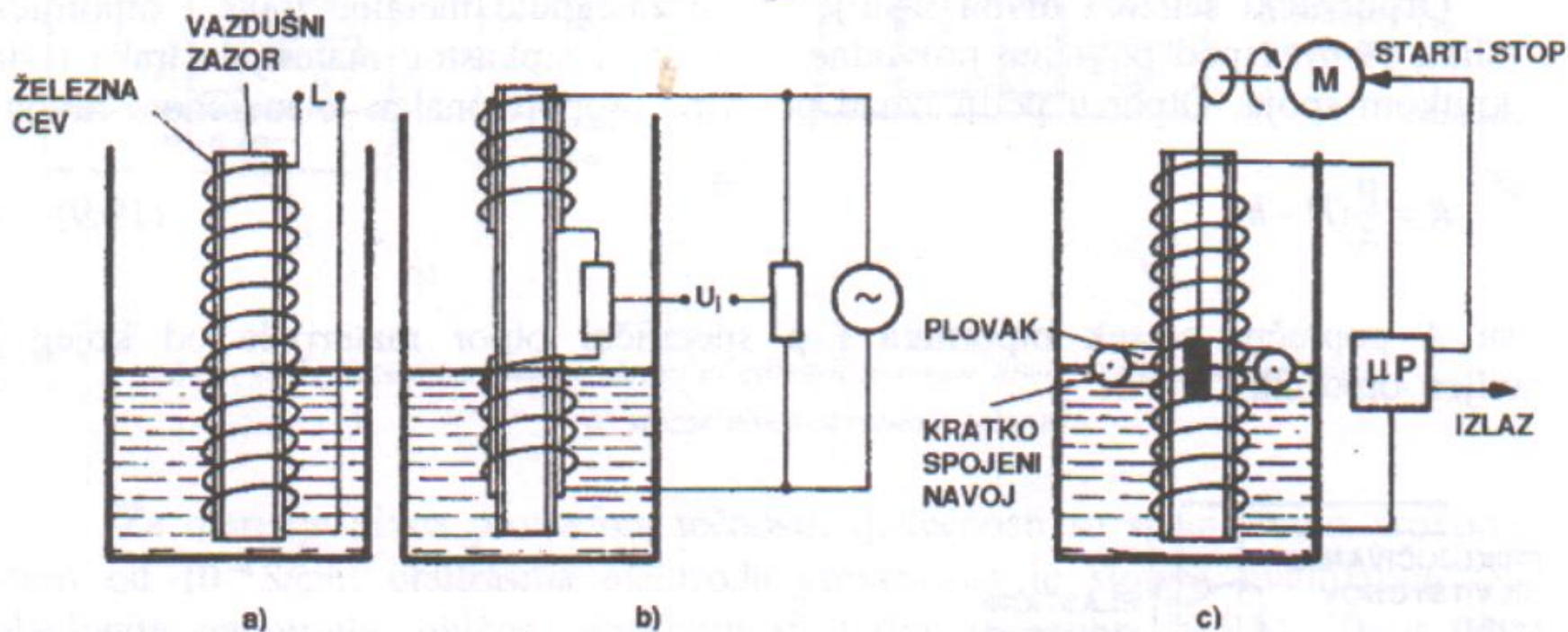


a)



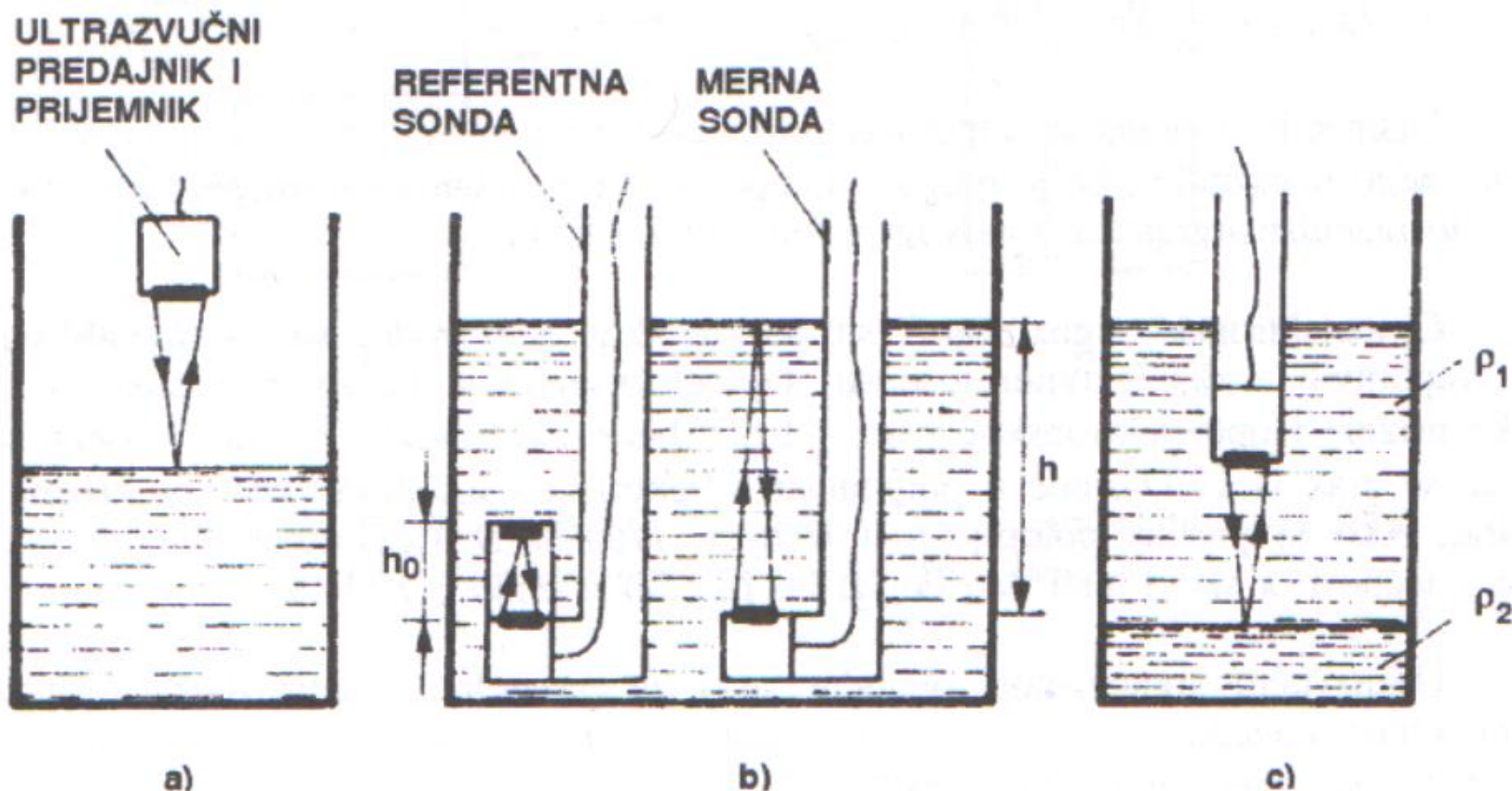
b)

- Električni senzori
- induktivni



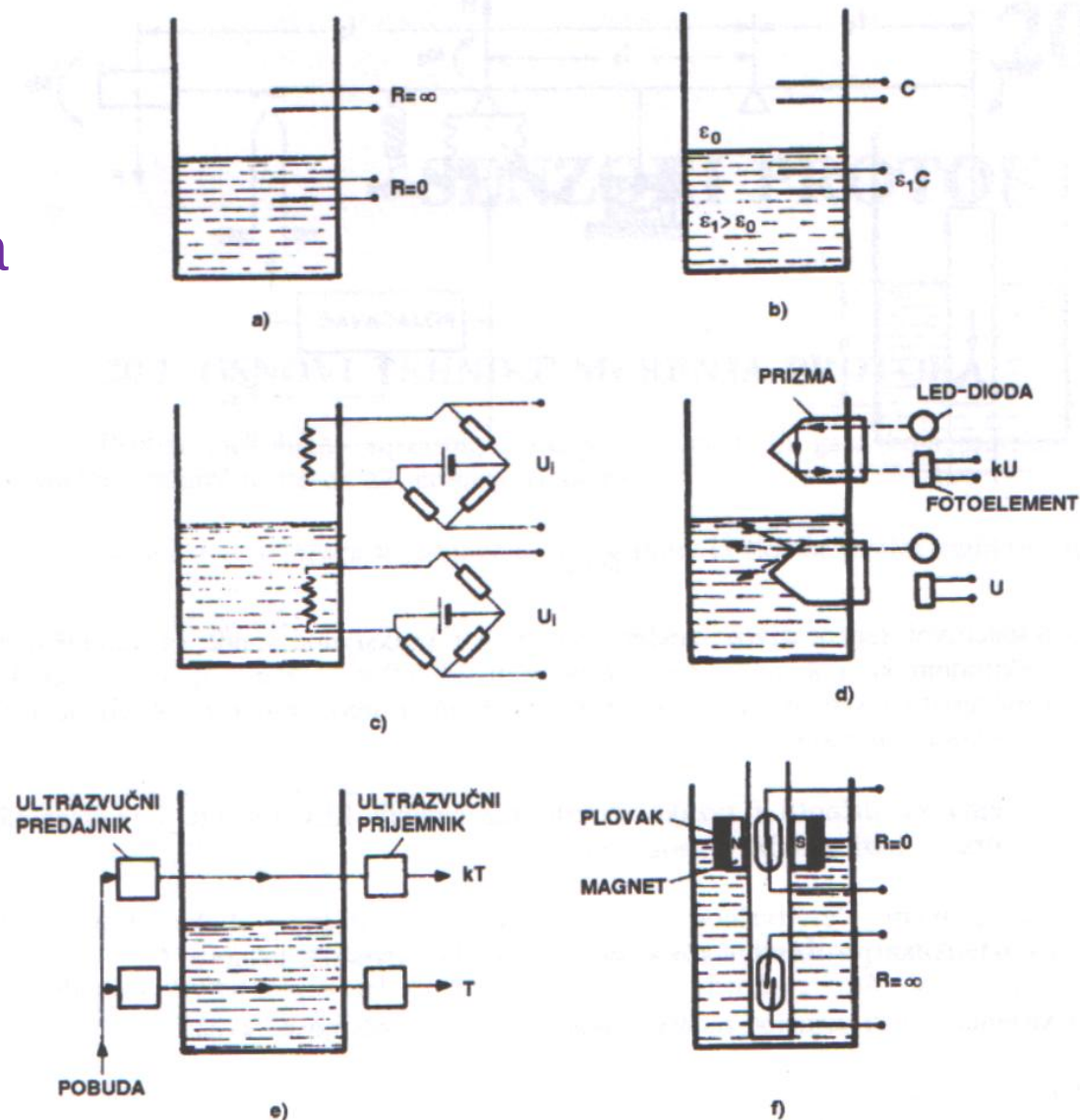
Slika 19.7. Induktivni senzor nivoa: a) senzor sa prespajanjem navoja, b) senzor sa promenom međuindukcije dvaju namotaja, c) senzor sa pokretnim jezgrom

- **Ultrazvučni senzori nivoa** - opsezi od $0 \div 1$ m do $0 \div 10$ m
- tačnošću $\pm 1,5 \div 2,5\%$



Slika 19.12. Ultrazvučni senzor nivoa: a) osnovna izvedba, b) izvedba sa referentnom sondom, c) merenje nivoa razdelne površine dveju tečnosti

- Signalizatori diskretnih vrednosti nivoa



Slika 19.13. Signalizatori diskretnih vrednosti nivoa: a) otpornički, b) kapacitivni
c) termički, d) optoelektronski, e) ultrazvučni, f) magnetni