



INSTRUMENTACIJA

Reaktorska tehnika, 14. 12. 2012

AVTOR:
Žiga Štancar, dipl. fiz. (UN)

PROFESOR:
Prof. dr. Iztok Tiselj

PREGLED SEMINARJA

- MOTIVACIJA – zakaj je instrumentacija pomembna
- OSNOVE – MERILNI SISTEMI
- ZAZNAVALA
 - Merjenje temperature
 - Merjenje tlaka
 - Merjenje pretoka
 - Merjenje nivojev
- MERILNI PRETVORNIKI
 - Mehanski pretvorniki
 - Pnevmatiski pretvorniki
 - Električni pretvorniki
- NORMIRNI ČLEN
- MERILNA ZANKA

MOTIVACIJA

Zakaj je instrumentacija pomembna ?

- Jedrska elektrarna zapleten objekt – veliko sistemov
- Procesi v sistemih usklajeni
- Odzivnost na spremembe obratovanja in motnje

KOMUNIKACIJA MED SISTEMI

KOMUNIKACIJA Z OPERATERJEM

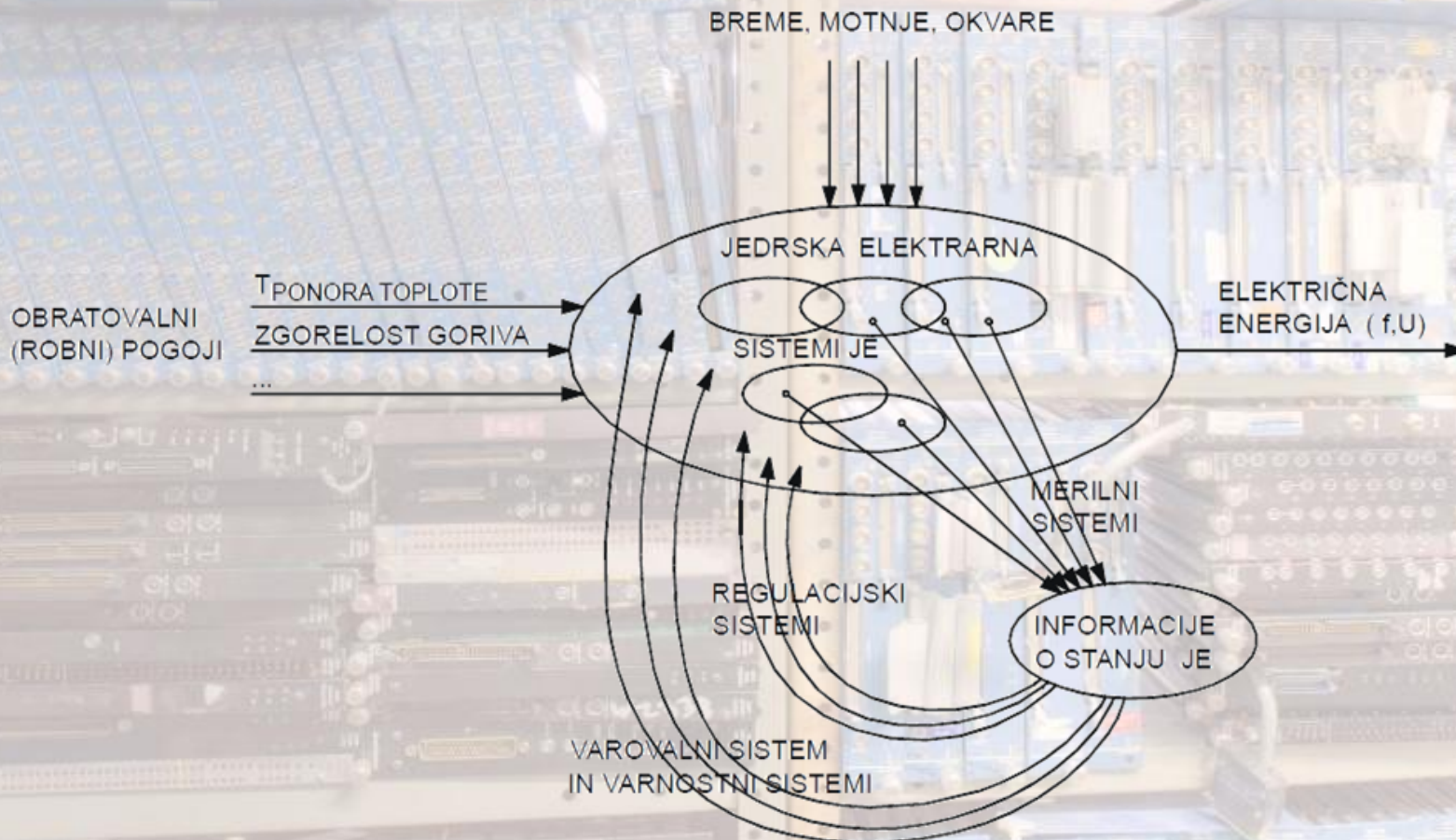


STABILNOST

VARNOST

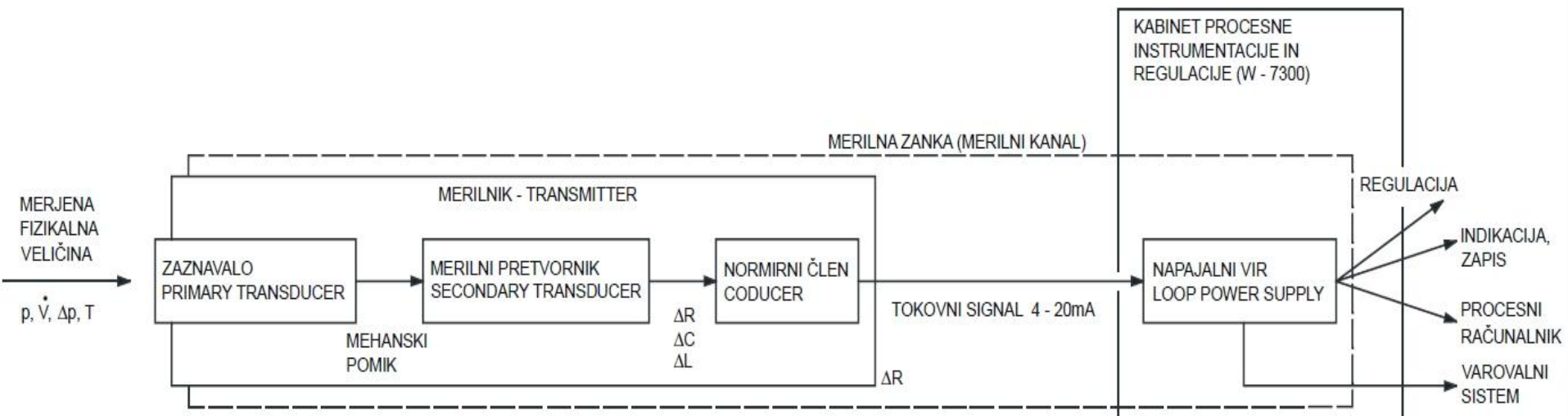
MERILNI SISTEMI

- Posredovanje vrednosti fizikalnih količin (parametrov)
- Zbiranje informacij o stanju sistemov in procesov v JE
- Osnova za delovanje regulacijskih in varnostnih sistemov



DEFINICIJA MERILNIKA ang. "transmitter"

- Meri vrednosti fizikalnih veličin - izmerjeno pretvori v električni, mehanski ali pnevmatski signal
- Sestava:
 - **Zaznavalo:** vrednost fizikalne veličine v mehanski pomik
 - **Merilni pretvornik:** mehanski pomik v električni signal
 - **Normirni člen:** izhodni signal normira
- Merilna zanka izhodni signal posreduje regulacijskim in prikaznim sistemom



ZAZNAVALA

ang. “primary transducer”

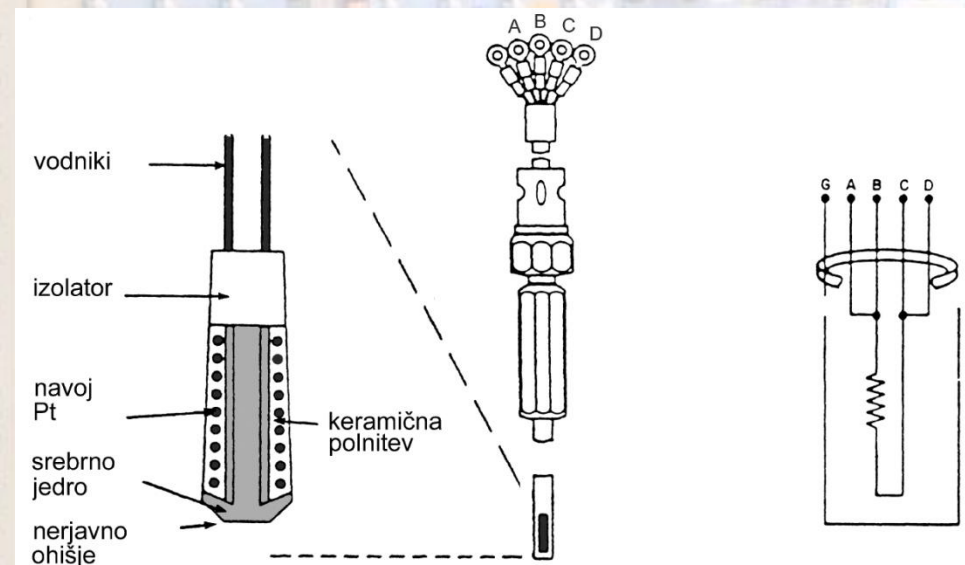
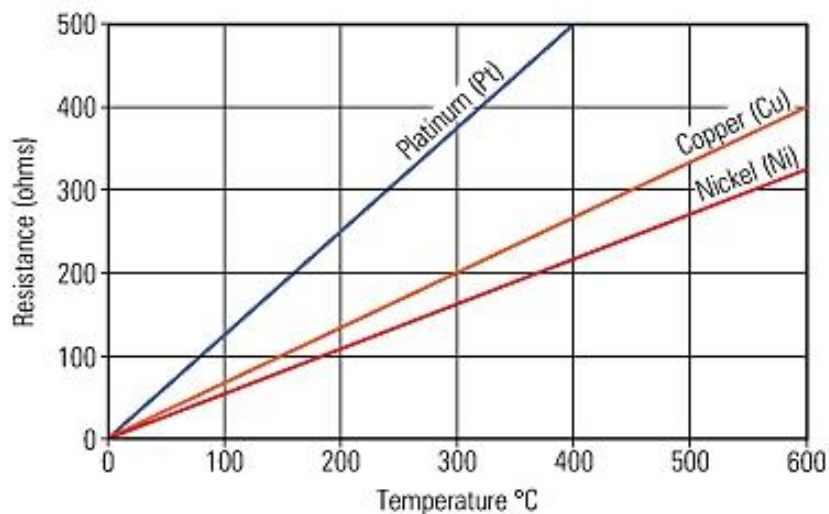
- Primarno zaznavalo, tipalo, senzor ali odjemnik
- Primarni element merilne zanke – odjem merilnega signala in pretvorba v mehansko izhodno veličino
- Podatki o procesnih fizikalnih veličinah: temperaturi, tlaku, pretoku, nivoju

Zaznavala za merjenje TEMPERATURE

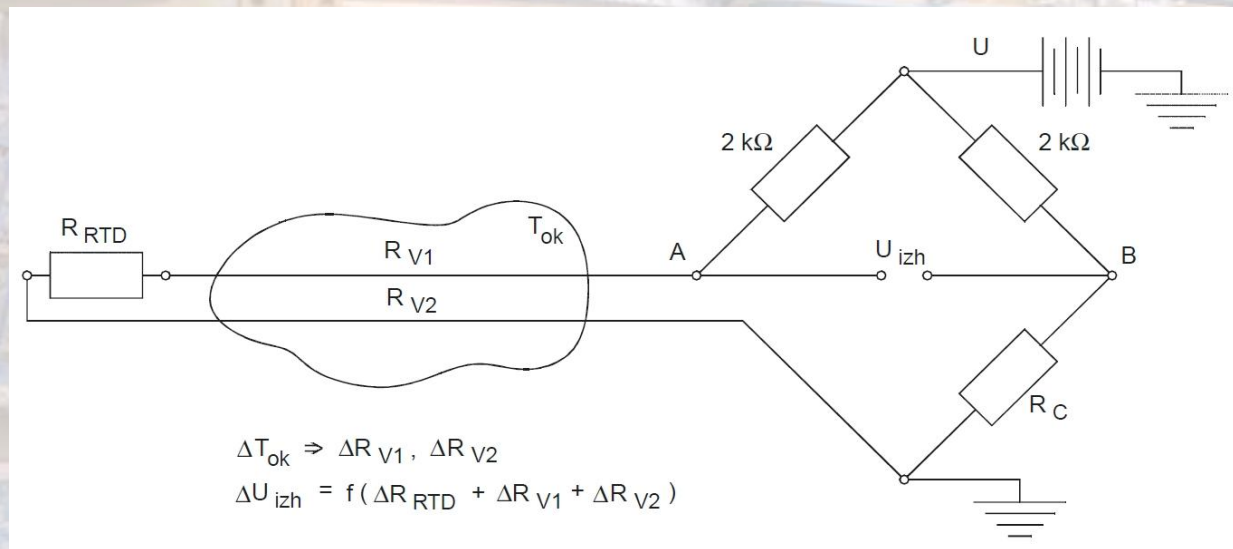
- Primerjava lastnosti zaznavala – toplotno ravnotežje z merjenim objektom in izhodiščno stanje
- Štiri osnovne skupine temperaturnih zaznaval
 - Uporovna temperaturna zaznavala
 - Termoelementi
 - Termometri na osnovi polnjenih sistemov
 - Bimetalni termometri

Uporovni termometri

- Pasivna zaznavala v temperaturnem območju do 600 °C
- Zelo natančne meritve – odstopanja od 0,02 °C do 0,05 °C
- Čiste kovine – platina, nikelj (staranje), baker (oksidacija)
- Oznake: Pt-100, upornost zaznavala pri 0 °C je 100 Ω
- Linearnost $R(T)$ na širokem merilnem območju
- Uporovna žica vdelana v keramični izolator (omejitev), navita okrog srebrnega jedra (dober prevodnik)
- Zaščita iz nerjavečega jekla, glava potopljena v meritveni medij



- Uporovni termometer kot upor povežemo v Wheatstonov mostiček
- Najnižja merjena temperatura $R_c = R_{RTD}$, $U_A = U_B$ in $U_{izh} = 0$

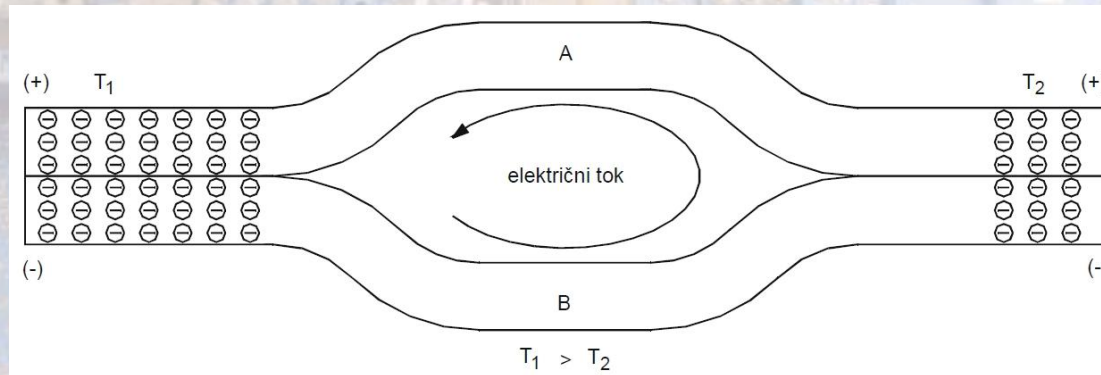


- Zvišanje temperature, R_{RTD} se poveča, tok skozi vejo se zmanjša – napetost U_A se poveča in $U_{izh} = U_A - U_B$
- V NEK najbolj uporabljeni uporovni termometri Pt – 100 in Pt – 200
- Meritve temperature reaktorskega hladila v obeh hladnih in vročih vejah (direktno omočena)
- Ostala uporabna zaznavala nameščena v zaščitna ohišja – pomembno tesno prileganje

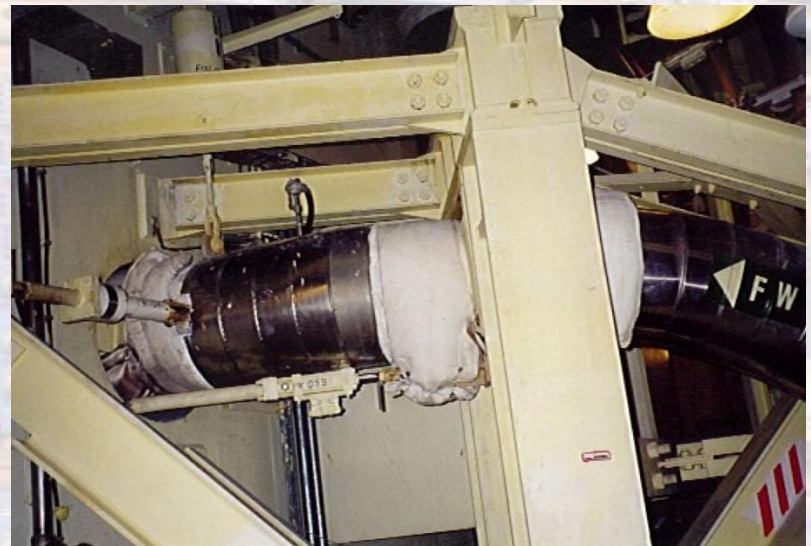
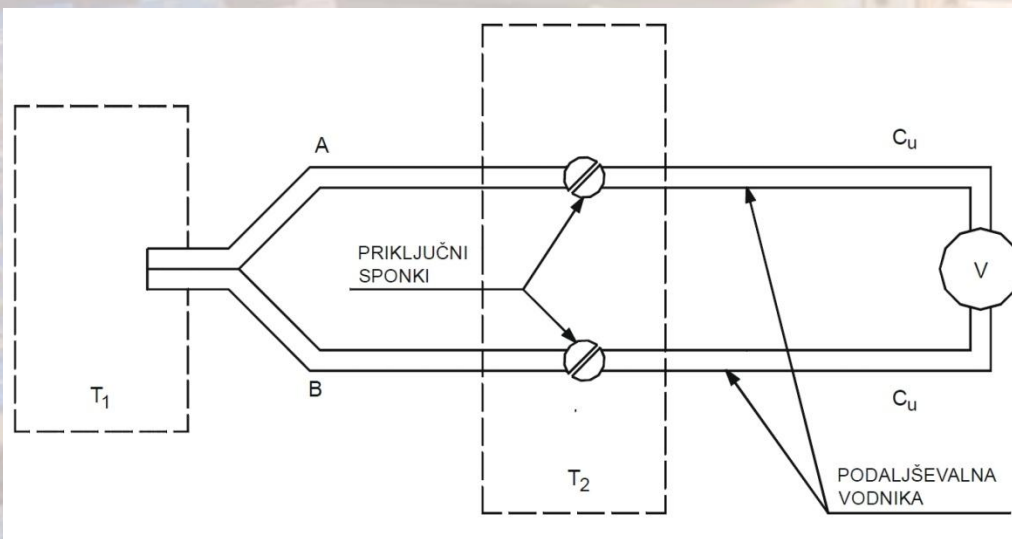


Termoelementi

- Aktivna zaznavala v temperaturnem območju od 300 °C do 1500 °C
- Delovanje temelji na Peltierjevem pojavu – na spoju dveh različnih prevodnih materialov se generira termoelektrična napetost



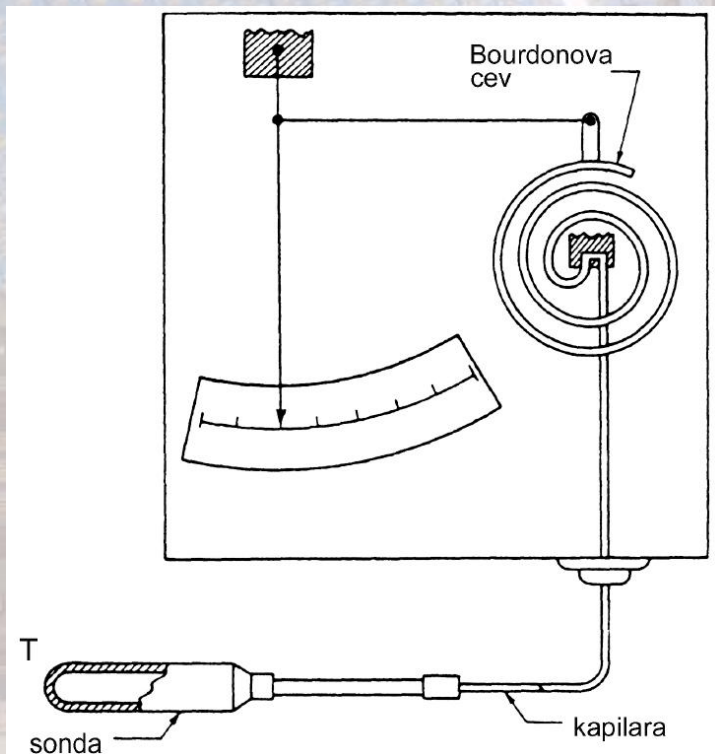
- Različna temperatura spojev zanke T_1 in T_2
- Termoelektrična napetost linerano odvisna od razlike temperatur
- Enostavna, cenena konstrukcija, majhna masa in volumen zaznavala, izredno hiter odziv, šibak izhodni signal
- Praktična uporaba – opuščen hladen termoelement, nadomestijo priključki na konstantni temperaturi



- V NEK je nameščenih več termoelementov kot uporovnih termometrov
- Tipi termoelementnih temperaturnih zaznaval v NEK:
 - Tip E (NiCr – konstantan): turbogenerator, kondenzatni sistem
 - Tip J (Fe – konstantan): grelniki napajalne vode
 - Tip K (NiCr – NiAl): sredica, peči za sežig vodika
- Instrumentacija v sredici – 39 termoelementov K, porazdelitev T v toku hladila na izstopu iz sredice
- Skupaj s sistemom premičnih nevtronskih detektorjev omogoča določitev radialne porazdelitve moči

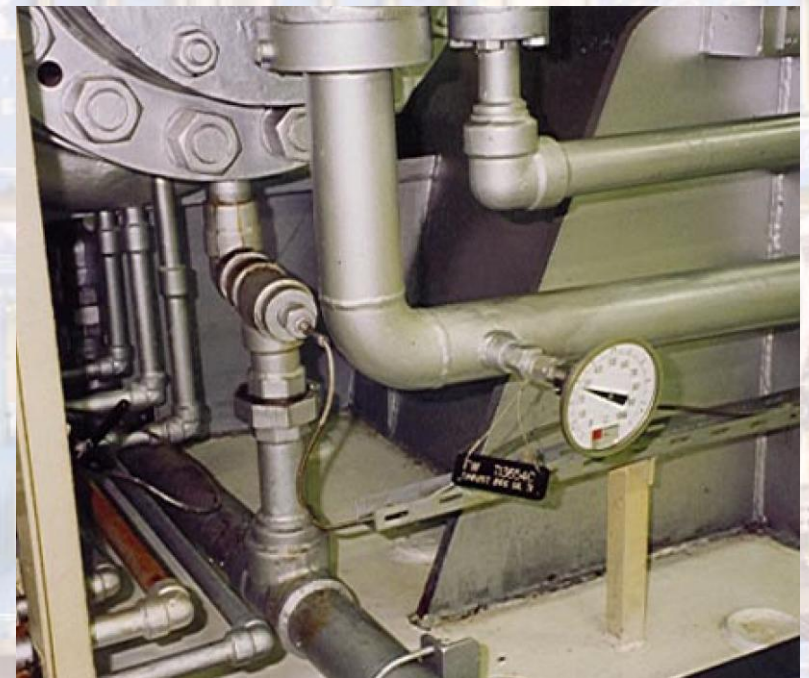
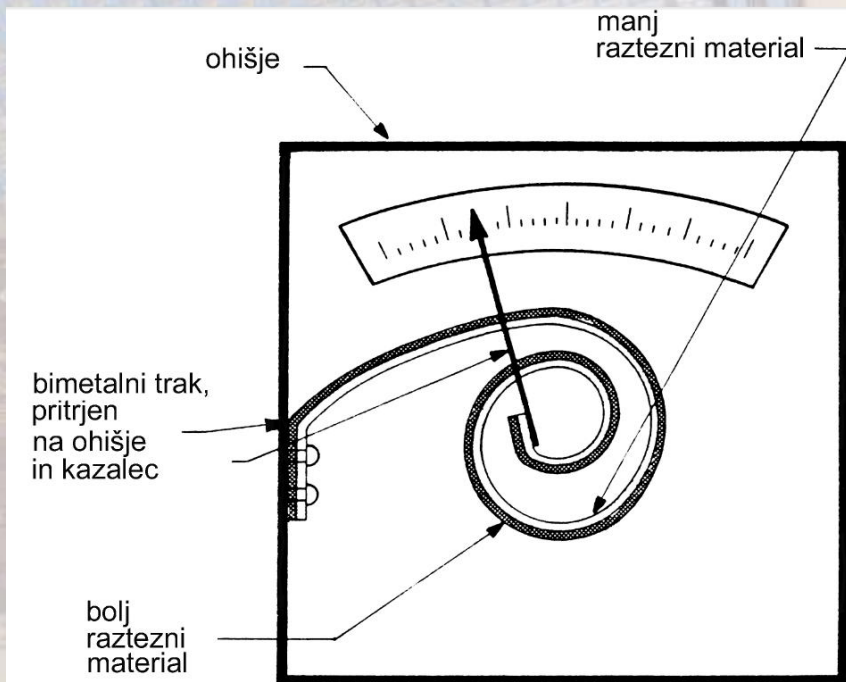
Ekspanzijski termometri

- Meritve temperature na osnovi toplotnega raztezanja kapljev in plinov (tlak)
- Izhodni signal je mehanski pomik – neposredna indikacija merjenega parametra, vhodna veličina pnevmatskega regulacijskega sistema
- Meritve niso natančne – odstopanja do 2 % merilnega območja
- Enostavna in robustna izvedba – malo vzdrževanja, nizka cena



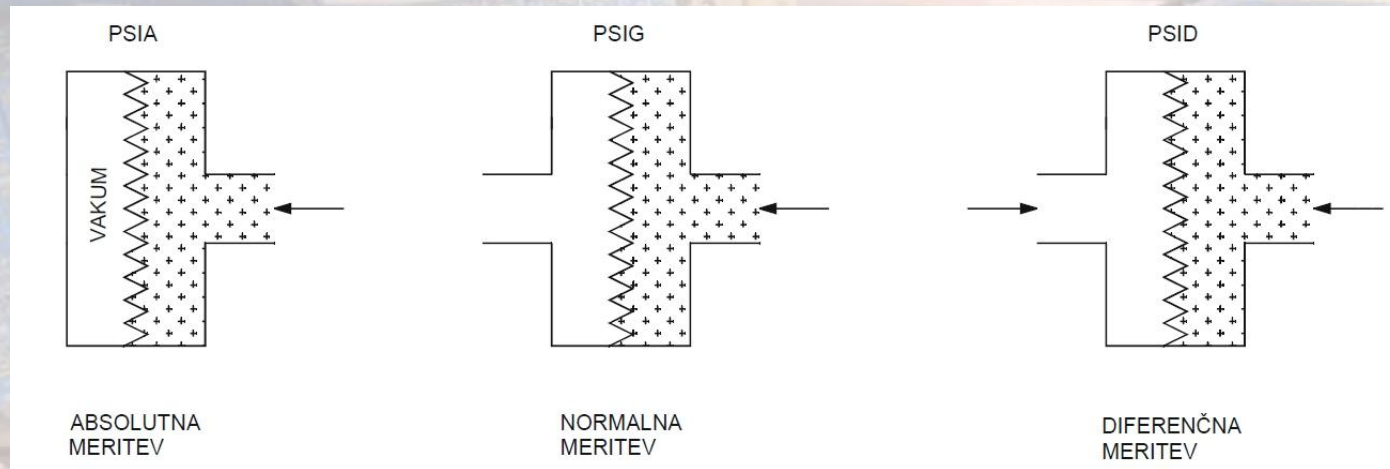
Bimetalni termometri

- Meritve temperature na osnovi toplotnega raztezanja kovin
- Spoj dveh kovin z različnima koeficientoma volumskega raztezka
- Izhodni signal je mehanski pomik
- Premik odvisen od spremembe temperature, dolžine in debeline kovinskih trakov
- Meritve niso natančne – odstopanja do 5 % merilnega območja
- Praktična uporaba – trak zvit v tuljavo, zaščitna cevka s silikonskim oljem
- Enostavna in robustna izvedba – malo vzdrževanja, nizka cena



Zaznavala za merjenje TLAKA

- Tlačne meritve lahko izvedemo kot:
 - Absolutno meritev: referenca absolutni vakuum
 - Relativno (normalno) meritev: referenca atmosferski tlak
 - Diferenčno meritev: Referenca poljubno izbran tlak

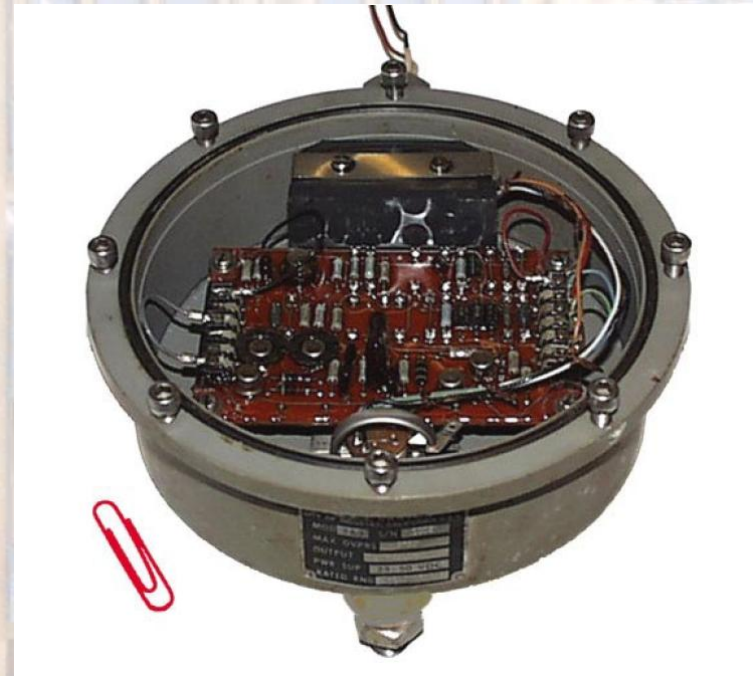
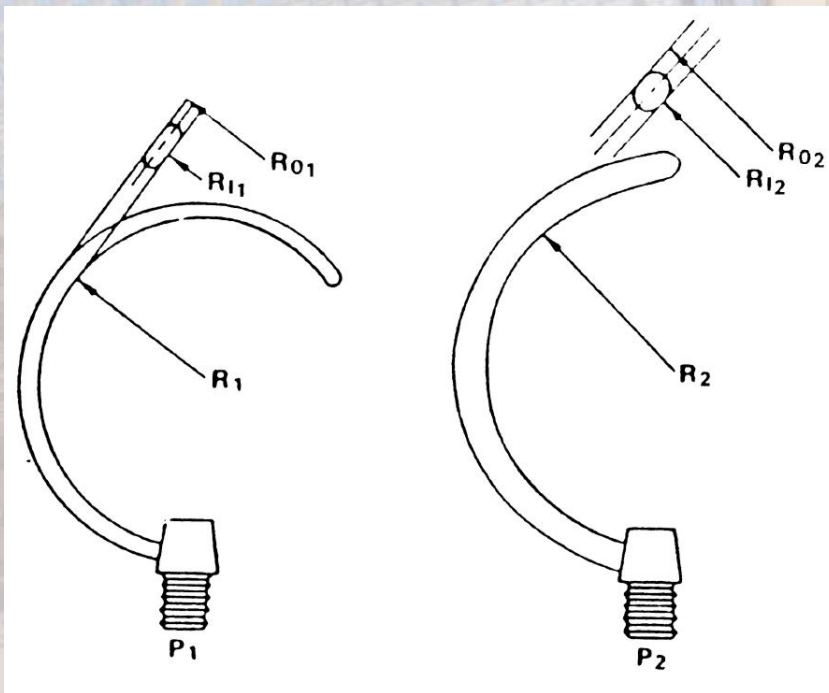


Manometer

- Meritev tlačne razlike s kapljevino v U – cevi
- Tlačna razlika sorazmerna razliki višin stolpcev kapljevine
- Natančne meritve – odstopanja do 0,02 % merilnega območja
- Umerjanje tlačnih zaznaval

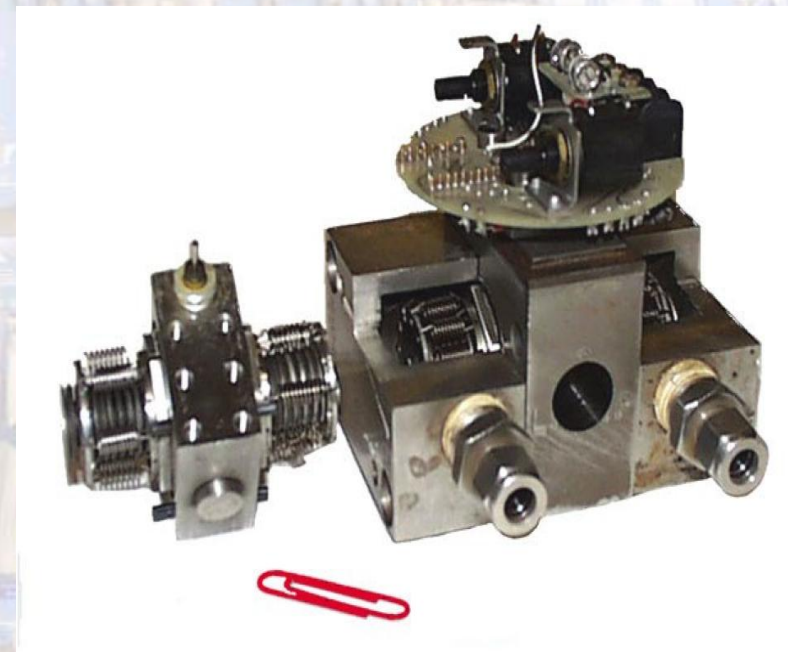
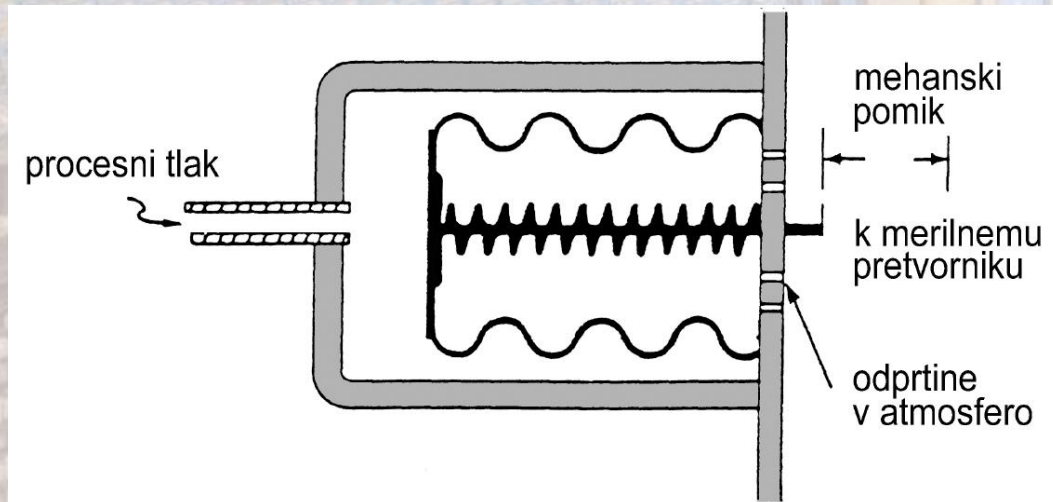
Bourdonova cev

- Na enem koncu zaprta cev, zavita v lok konstantnega premera
- Zvišanje tlaka – presek se poveča (bolj okrogel) in ukrivljenost se zmanjša
- Meritev deformacije po premiku prostega konca
- Izhodni signal je mehanski pomik – neposredna indikacija merjenega parametra, pretvorba pomika v električni signal
- Materiali: jeklene, berilijeve in bronove zlitine (konstanten koeficient elastičnega raztezka)



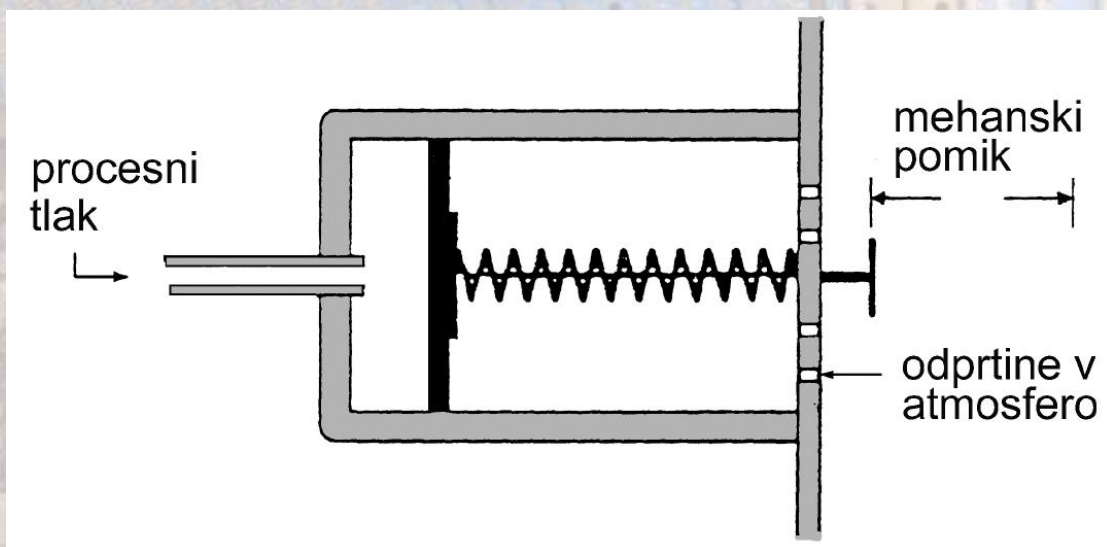
Meh

- Tlačna posoda s spremenljivim volumnom – zložljiv zguban obod
- Zvišanje tlaka – volumen oboda se zmanjša, vzvod na vzmeti
- Meritev deformacije po premiku vzvoda (sorazmeren merjenemu tlaku)
- Izhodni signal je mehanski pomik – neposredna indikacija merjenega parametra, pretvorba pomika v električni signal
- Dva spojena meha – diferenčna tlačna meritev



Membrana

- Tlačna posoda, zaprta z membrano (meja med procesnim in referenčnim tlakom)
- Zvišanje tlaka – membrana se deformira (30 % debeline), vzvod na vzmeti
- Meritev deformacije po premiku vzvoda (sorazmeren merjenemu tlaku)
- Izhodni signal je mehanski pomik – premajhen za neposredno indikacijo merjenega parametra, nujna pretvorba pomika v električni signal
- Zaradi majhnih pomikov primerna za meritve hitrih sprememb
- Materiali: nerjaveče jeklo, bronove zlitine, berilij, tantal

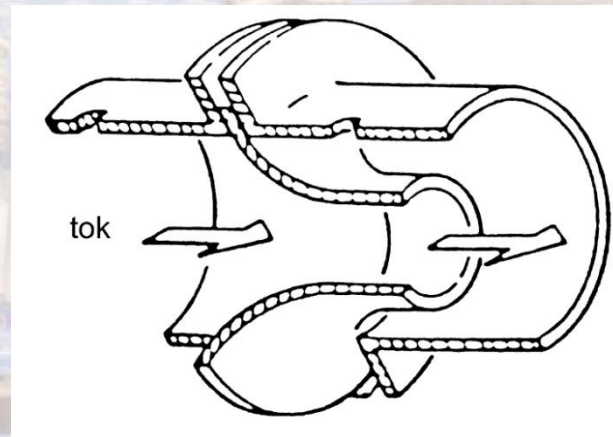


Zaznavala za merjenje PRETOKA

- Meritve diferenčni tlačni merilniki – znižanje statičnega tlaka v toku skozi oviro
- Ovira v toku tekočine: zožitev pretočnega preseka – znižanje statičnega tlaka v zožitvi (dušilni element)
- Bernoullijeva enačba – pretok skozi oviro sorazmeren korenu znižanja statičnega tlaka

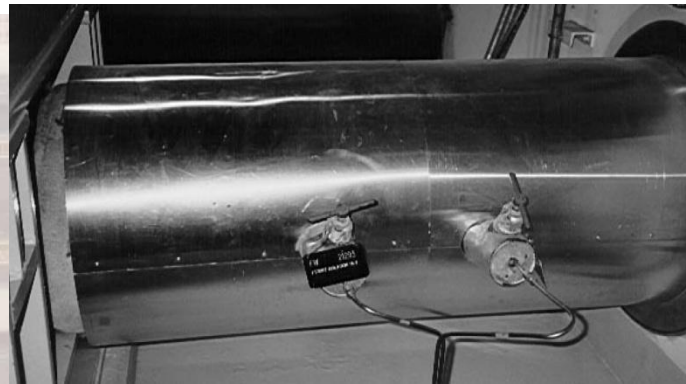
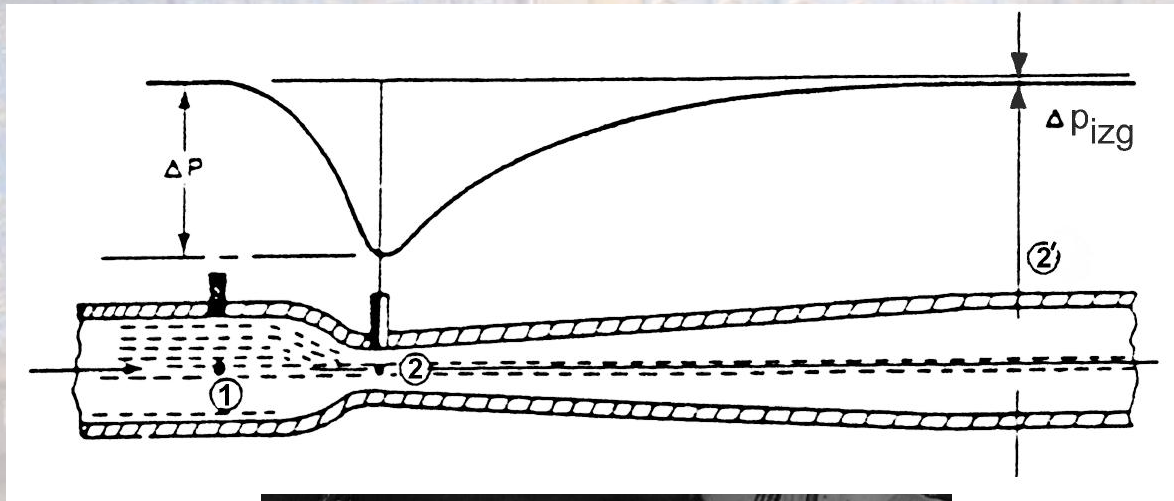
Pretočna šoba

- Zmanjšanje tokovnega preseka po eliptičnem ali krožnem profilu
- Po izstopu iz šobe tok hitro zavzame polni pretočni presek – vrtinčenje
- Šoba mehansko zelo odporna – tokovi z večjimi hitrostmi in temperaturami
- V NEK uporabljali kot dušilni element pri meritvah v glavnih napajalnih linijah uparjalnikov, Zamenjali zaradi erozije (kavitacije)



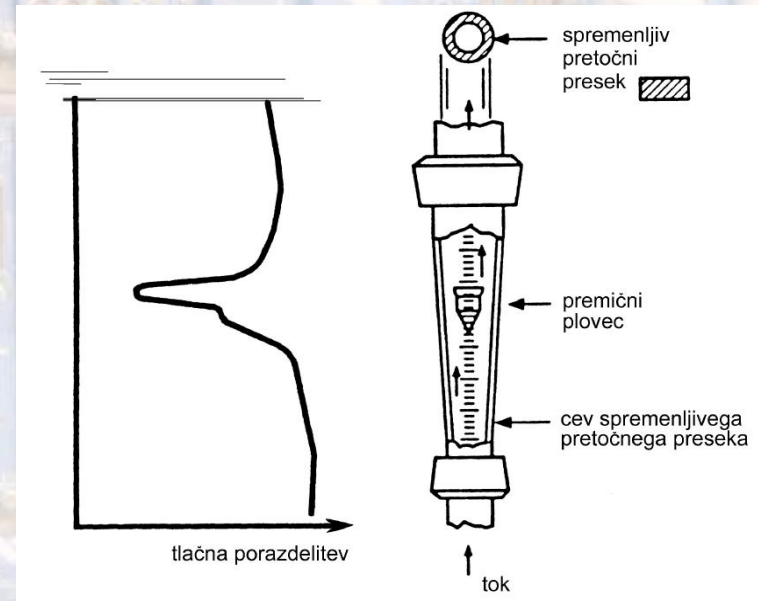
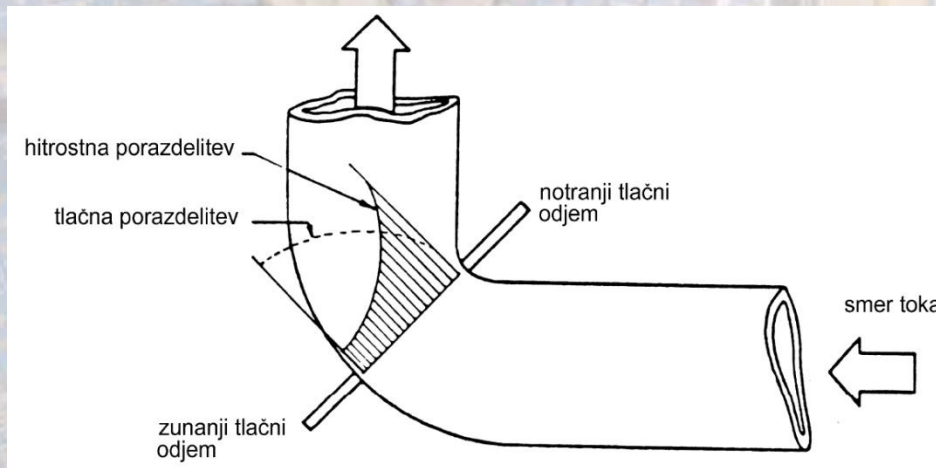
Venturimeter

- Zožitev in razširitev zelo hidrodinamično oblikovana – malo vrtnčenja in tlačnih izgub
- Primerna za zelo hitre tokove plinov in kapljev, tudi umazanih, viskoznih tekočin
- Natančnejše meritve od zaslonke in šobe – večji in dražji
- Tlačni odjem – tlačna razlika med tlakom na vstopu in najnižjim tlakom v zožitvi



Cevni zavoj

- Pretok sorazmeren korenu razlike med statičnim tlakom na robovih zavoja
- Z meritvijo ne oviramo toka in ne vnašamo hidravličnih izgub
- Meritve niso natančne – obtok primarnega hladila, izključno varnostni namen

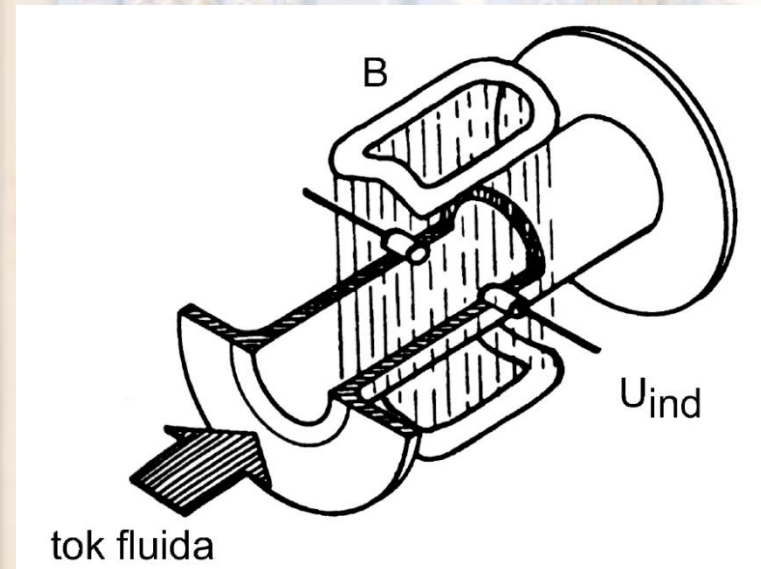
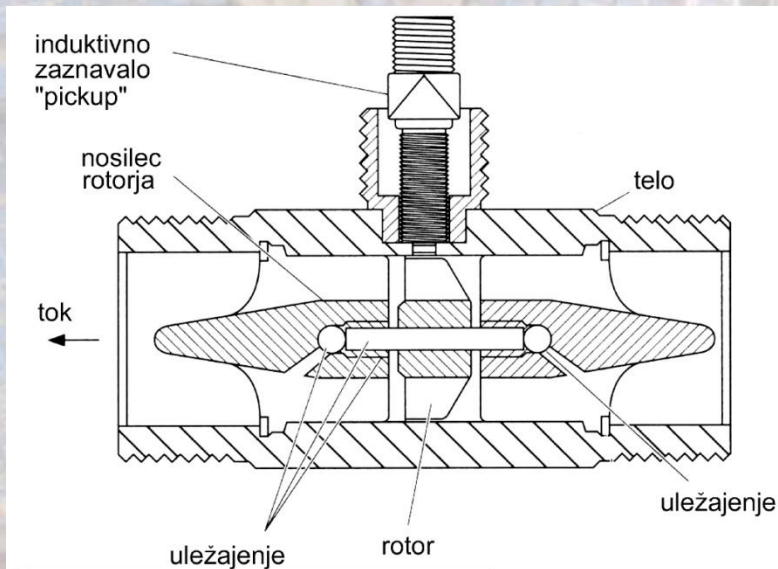


Rotameter

- Vertikalna cev, presek se povečuje proti vrhu (premer do 10 cm)
- Dvižna sila toka je v ravnovesju s težo plovca – meritev hitrosti pretoka se pretvori v mehanski pomik plovca
- Lokalna indikacija pretokov – stekleni rotametri s skalo, magnetni plovci

Turbinski merilnik pretoka

- Turbinski rotor vgrajen v ohišje – aksialen ali radialen prenos vrtiljajev
- Vrtilna hitrost rotorja sorazmerna hitrosti tekočine (stacionarni pogoji)
- Merjenje vrtilne hitrosti z induktivnim zaznavalom



Magnetni merilnik pretoka

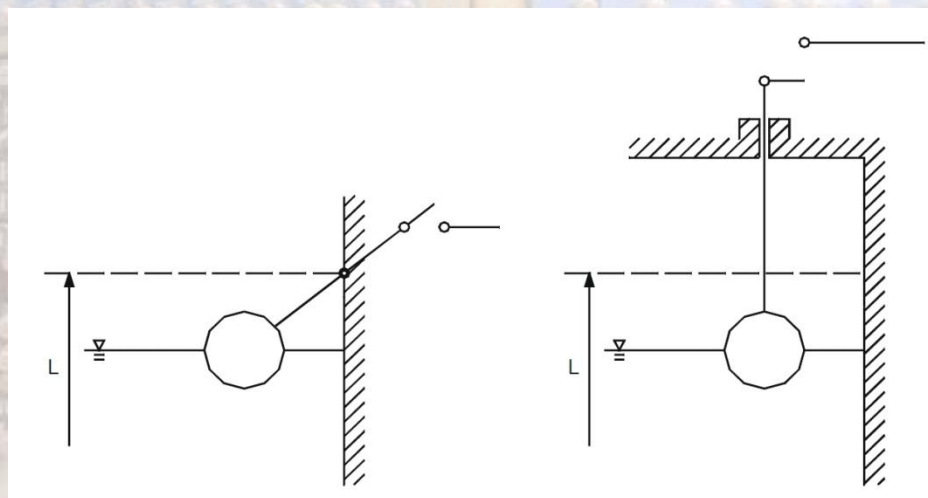
- V prevodni tekočini, ki se giblje skozi magnetno polje, se inducira napetost
- Dve navitji zunaj cevi, pravokotno magnetno polje na pretok – omočeni elektrodi zaznavata inducirano napetost
- Merilniki ne vnašajo tlačnih izgub, niso občutljivi na viskoznost, spremenljiva smer

Zaznavala za merjenje NIVOJEV

- Merjenje nivojev tekočin v rezorvoarjih ali tlačnih posodah
- Meritve z uporabo plovcev ali merjenja tlačnih razlik

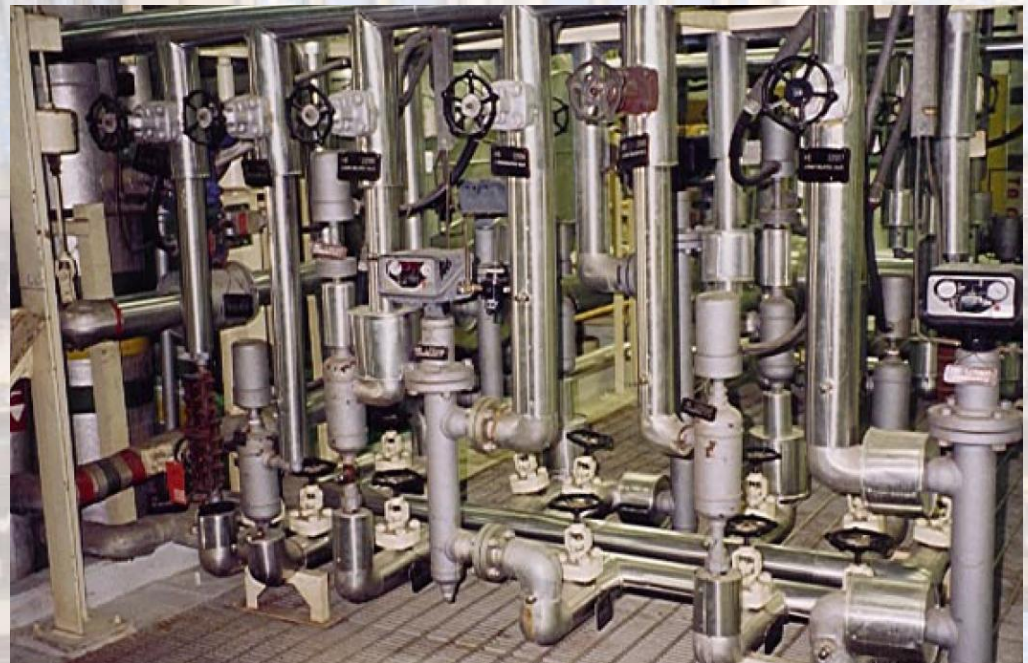
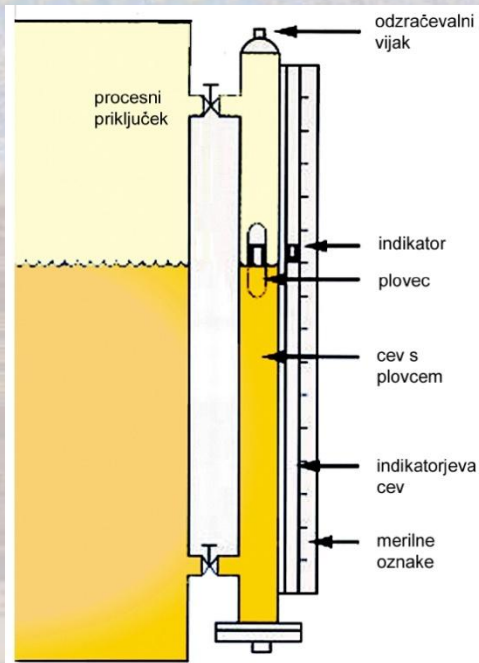
Nivojska stikala s plovci

- Premikajoči plovec preko mehanskega vzvoda ali po magnetnem principu prenese signal do stikala
- Enostaven izhodni signala stikala – nivo pod ali nad merilno točko
- Modernejše izvedbe brez premičnih delov zmanjšujejo uporabo



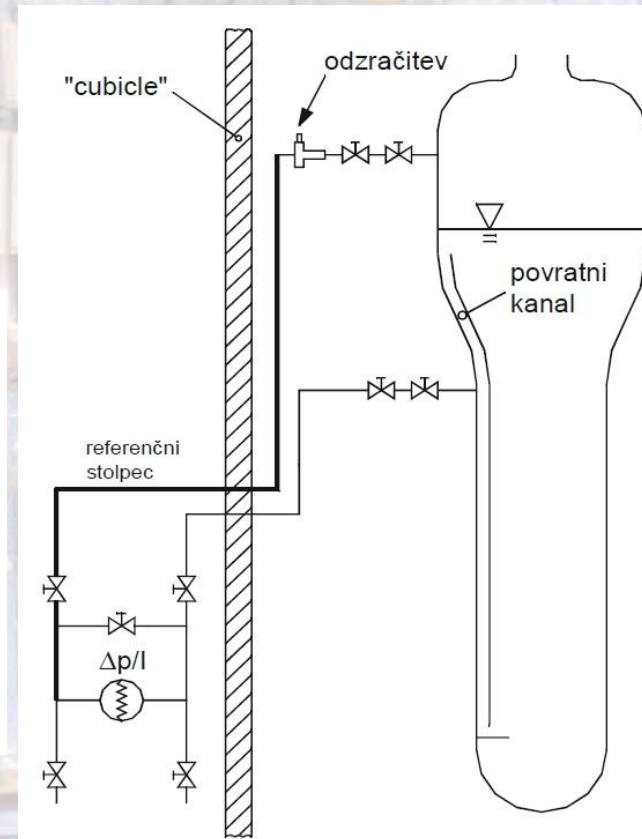
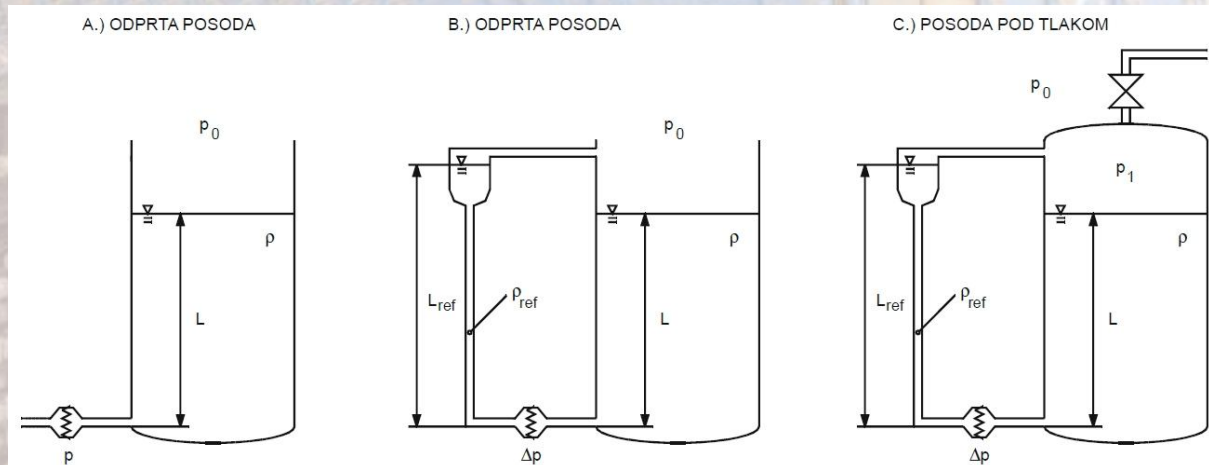
Merjenje nivoja s plovci

- Gibljiv plovec v vertikalni cevi – povezana z procesno posodo
- Različni načini indikacije:
 - Zastekljena indicirana cev z vidljivim položajem plovca
 - Magnetni plovec, ki premika sledeči mu indikator nivoja
 - Magnetni plovec, ki obrača obarvane kovinske zastavice v indikatorju nivoja
- V NEK uporaba za lokalno indikacijo nivoja: drenažni grelniki (zastekljeni), praznjenje reaktorskega hladilnega sistema (magnetni)



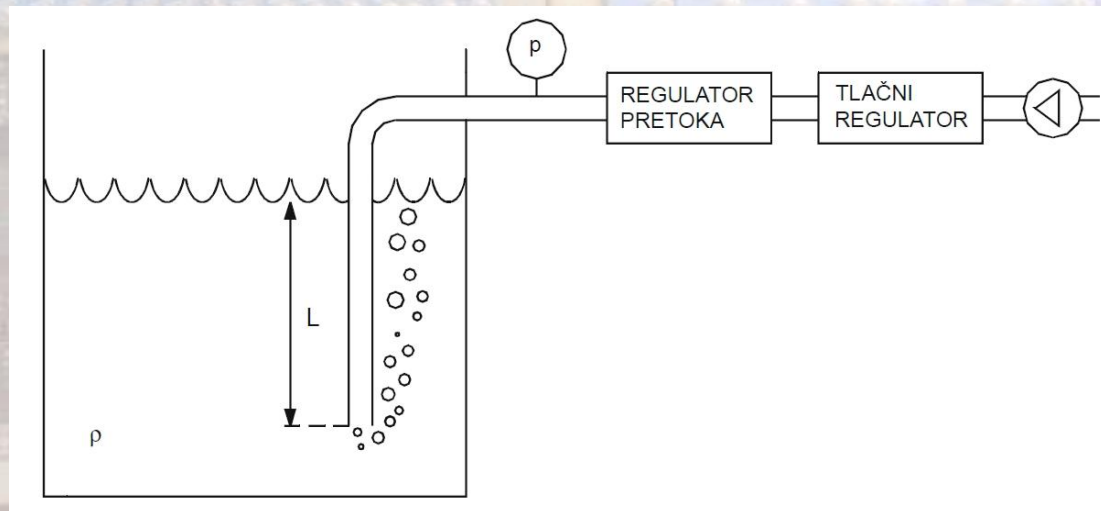
Merjenje nivoja v odprti posodi ali posodi pod tlakom

- Odprta posoda – meritev hidrostatičnega tlaka na dnus posode, nivo sorazmeren
- Odprta posoda – diferenčni tlačni merilnik, meritev razlike med statičnima tlakoma na dnu posode in referenčnega stolpca (gladina – atmosferski tlak)
- Posoda pod tlakom - diferenčni tlačni merilnik, meritev razlike med statičnima tlakoma na dnu posode in referenčnega stolpca (gladina – nadtlak posode)
- V NEK merjenje nivoja v tlačniku (3) in v uparjalnikih (4) – skrbno reguliran parameter



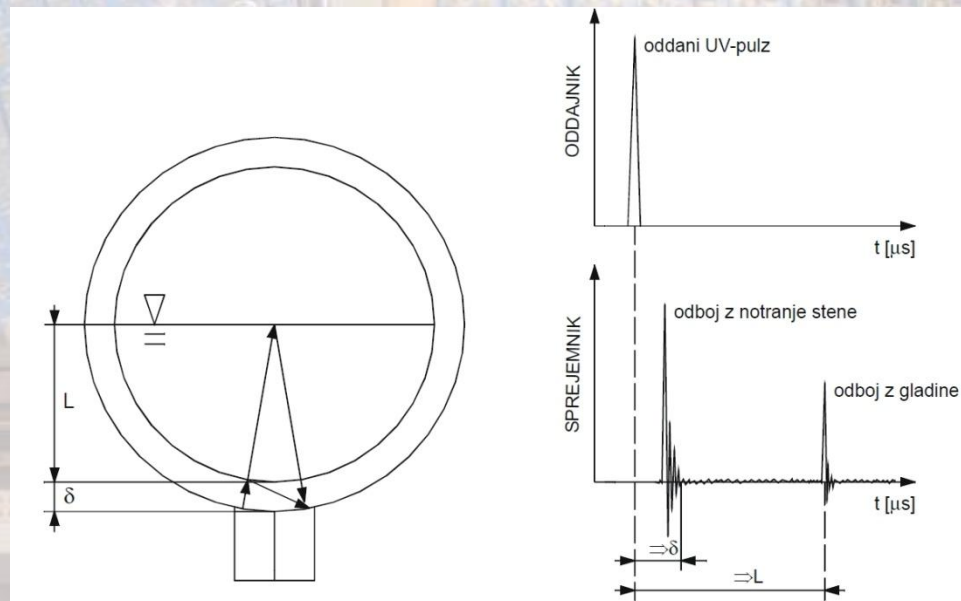
Merjenje nivoja z vpihovanjem zraka

- Cev na enem koncu potopljena v merjeno kapljevino, na drugem pa povezana s sistemom za dobavo zraka
- Za vpihovanje zraka izriniti nivo kapljevine do dna cevi – premagati statični tlak
- Meritev potrebnega tlaka s tlačnim merilnikom in pretvorba v signal nivoja kapljevine
- Zaznavalo ni v stiku z merjenim medijem – zelo primerno za merjenje nivojev korozivnih ali umazanih tekočin
- V NEK merjenje nivoja savske vode v vstopnem objektu (zajetju) obtočne hladilne vode – razlika nivojev pred in za potujočimi reškami



Ultrazvočni merilnik nivoja (ULMS)

- Namestitev ultrazvočne naprave na dno posode
- Oddajnik odda UV pulz – dobimo signal odboja na prvem robu posode in gladine vode, iz časovnega zamika odgovora razberemo nivo gladine
- V NEK se ultrazvočni merilnik nivoja uporablja za merjenje nivoja kapljevine v vroči veji med obratovanjem z znižano gladino hladila v reaktorskem hladilnem sistemu



- Integrirano zaznavalo
- Inteligentno zaznavalo

MERILNI PRETVORNIKI

ang. “secondary transducer”

- Signal iz zaznavala uporabimo za indikacijo vrednosti merjene količine ali v regulacijske namene
- Merilni pretvorniki – signal pretvorijo v obliko primerno za prenos in nadaljnjo obdelavo
- Tri skupine merilnih pretvornikov glede na vrsto signala:
 - Mehanski pretvorniki
 - Pnevmatiski pretvorniki
 - Električni pretvorniki

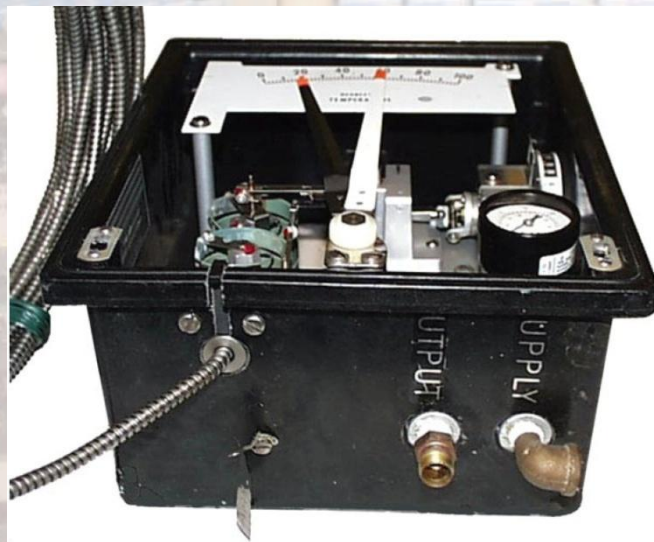


Mehanski merilni pretvorniki

- Se pojavljajo le v merilnikih lokalnega prikaza rezultatov meritev
- Zobniški, vzvodni ali vzvojni mehanizmi – pomik prikažemo na skali indikatorja
- Signala ni mogoče prenesti na večje razdalje ali uporabiti za regulacijske namene

Pnevmatski merilni pretvorniki

- Osnovni del zračna šoba (sapnica) – na pretok vpliva premična ploščica
- Zaznavalo z mehanskim premikom odpira šobo (tlak v merilniku pade) ali zapira šobo (tlak v merilniku naraste) – odziv pnevmatskega merilnika na premik mora biti linearen
- Standardna dobava zraka s tlakom 1,4 bar
- Odzivnost na zelo majhne spremembe položaja ploščice (stotinka mm)
- Nastavitev ničle s premikom ploščice, merilnega območja z velikostjo dušilne šobe
- Pnevmatški signal natančno v območju od 0,2 bar do 1 bar – omogočeno delovanje pnevmatskih regulatorjev in ventilov

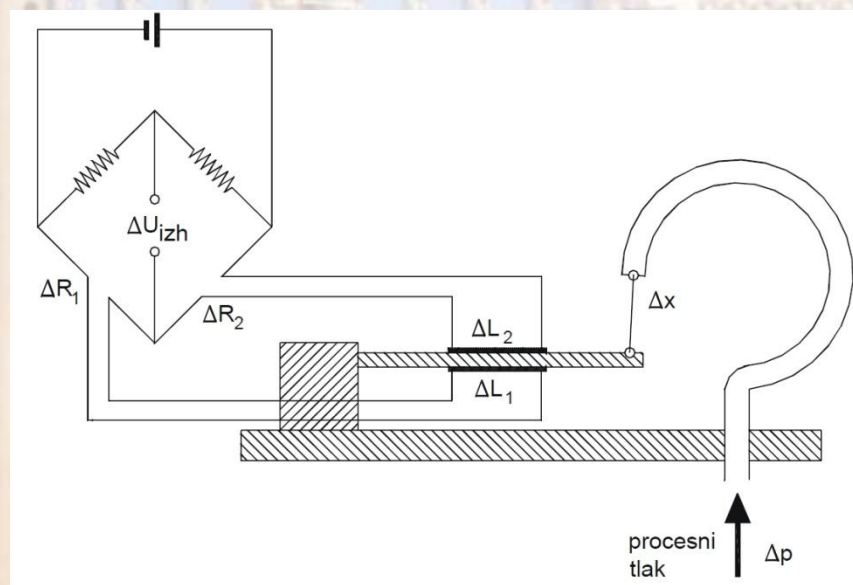
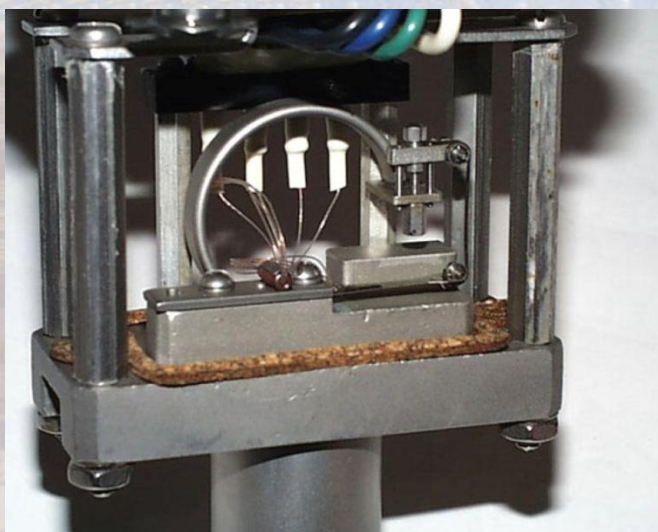


Električni merilni pretvorniki

- Pretvarjajo mehanski pomik zaznavala v električni izhodni signal
- Tri najbolj značilni tipi: uporovni, kapacitivni, induktivni

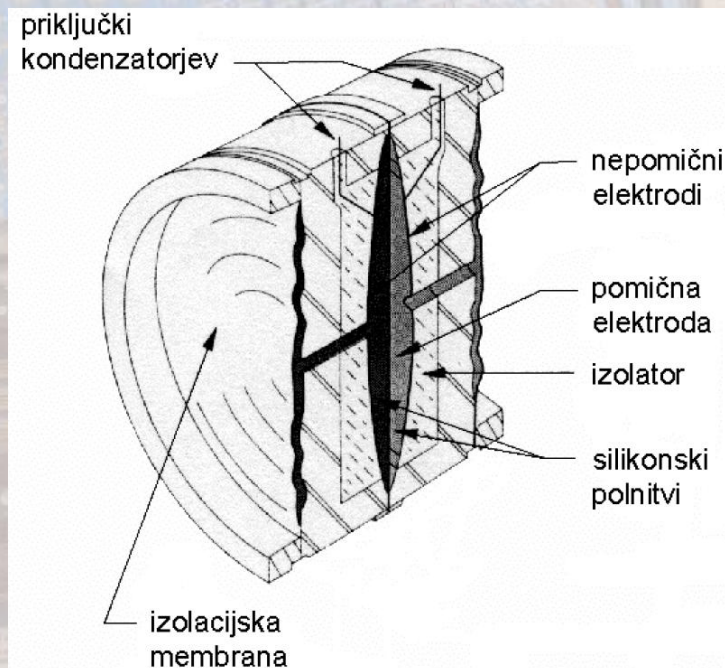
Uporovni merilni pretvorniki

- Električna upornost žice odvisna od specifične upornosti materiala, preseka in dolžine – sprememba geometrije povzroči spremembo upornosti
- Razteg žice – poveča se dolžina, zmanjša presek in poveča upornost
- Merilnik vežemo v Wheatstonov mostiček – zaradi deformacije sprememba napetosti



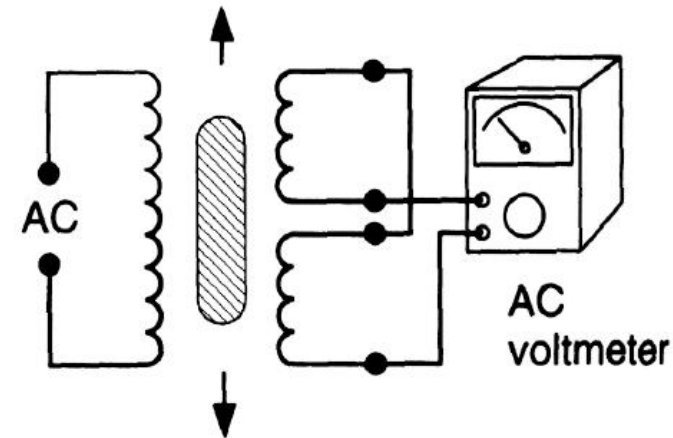
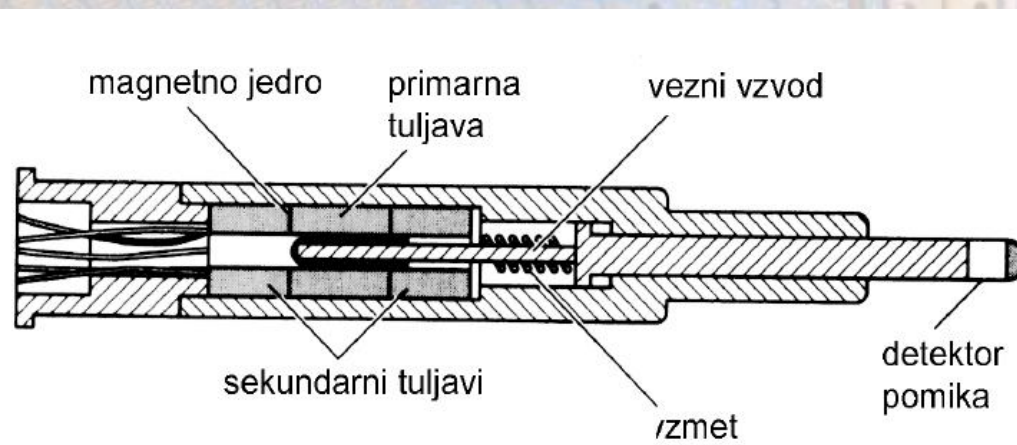
Kapacitivni merilni pretvorniki

- Kapacitivnost kondenzatorja odvisna od konstante izolatorja, površine elektrod in razdalje med njima – sprememba geometrije povzroči spremembo upornosti
- Tlačno zaznavalo – razlika tlakov povzroči deformacijo membrane med izolatorjema
- Kapacitivnosti kondenzatorjev se nasprotno spremenita, kar pretvorimo v električni signal (nihajni krog z oscilatorjem – sprememba impedance v krogu)



Induktivni merilni pretvorniki

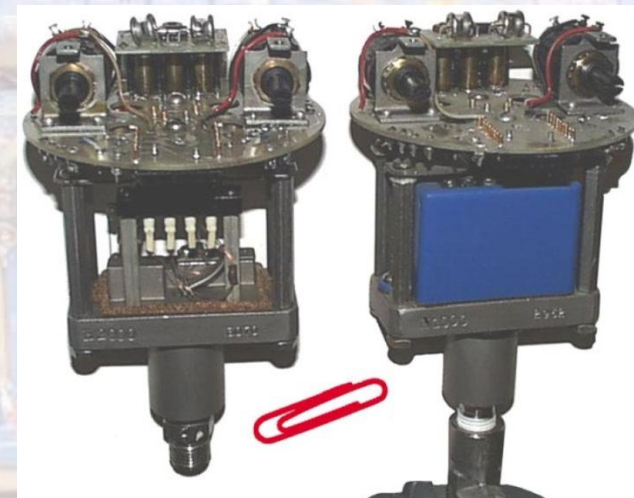
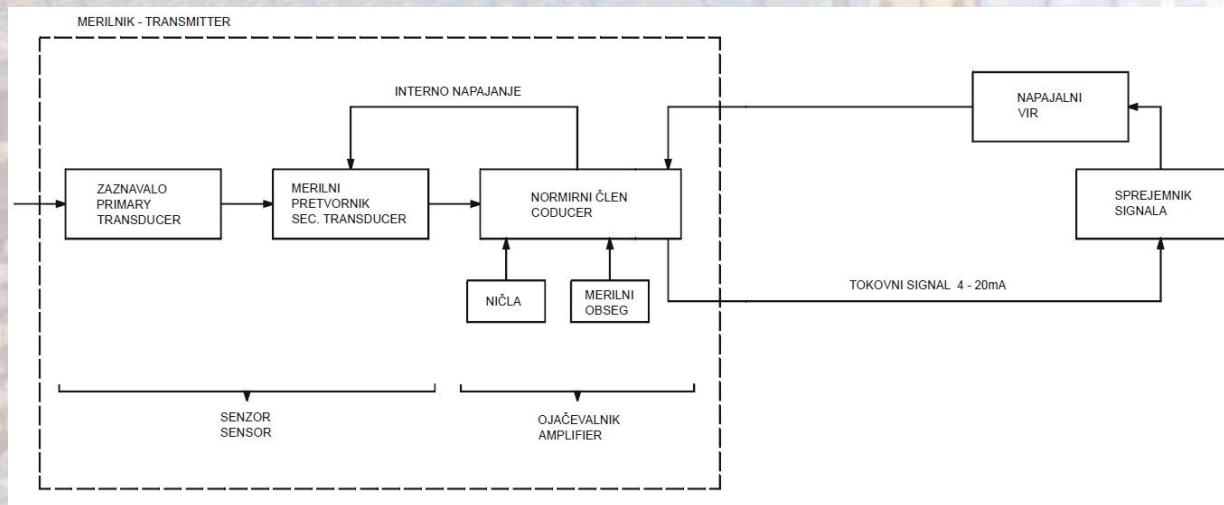
- Deluje na principu spreminjanja permeabilnosti in posledično induktivnosti tuljav
- Tri zaporedne tuljave – srednja na stabilnem izvoru izmenične napetosti, inducirani napetosti na sekundarnih tuljavah si nasprotujeta
- Feromagnetno jedro v sredini pritrjeno na vzvod zaznavala – v ničelnem položaju izhodna napetost nič, izmik proti eni izmed tuljav pomeni povečanje inducirane napetosti
- Pojavi se izhodna napetost sorazmerna pomiku zaznavala



NORMIRNI ČLEN

ang. “coducer”

- Normirni člen normira signal merilnika:
 - Izhodišče (ničla) ja natančno na spodnji meji merilnega območja
 - Maksimalna vrednost je natančno na zgornji meji merilnega območja
- Pri merilnikih z mehanskimi ali pnevmatskimi pretvorniki so normirni členi deli mehanizmov, ki omogočajo nastavitve merilnega območja (np. nastavitve deformacije zaznaval v skali, dušilke)
- Pri merilnikih z električnimi pretvorniki normirni člen pretvarja električni signal v tokovni signal (4 – 20 mA)



Prenos signalov

- V NEK je za prenos signala iz merilnika z električnim merilnim pretvornikom do kabinetov procesne instrumentacije in regulacije uporabljen tokovni signal 4 – 20 mA (sorazmeren vrednosti merjene količine)
- Takšen tok neobčutljiv na dolžino signalnih vodov (več sto metrov), možno daljinsko napajanje merilnika po samem signalnem vodu, kontrola sklenjenosti enostavna (vedno teče tok)

MERILNA ZANKA

ang. “process measurement loop”

- Sklop elementov, ki izmerijo fizikalno količino in informacijo o njeni vrednosti prenesejo in posredujejo sistemom procesne instrumentacije in regulacije
- Elementi zanke: merilnik, vodniki za prenos signala in napajalni vir s sprejemnikom signala
- Potrebno je redno kontroliranje merilnih zank – vsaj tri merilne zanke za količine, ki lahko sprožijo varovalni sistem (možno testiranje med obratovanjem)

Napajalni vir

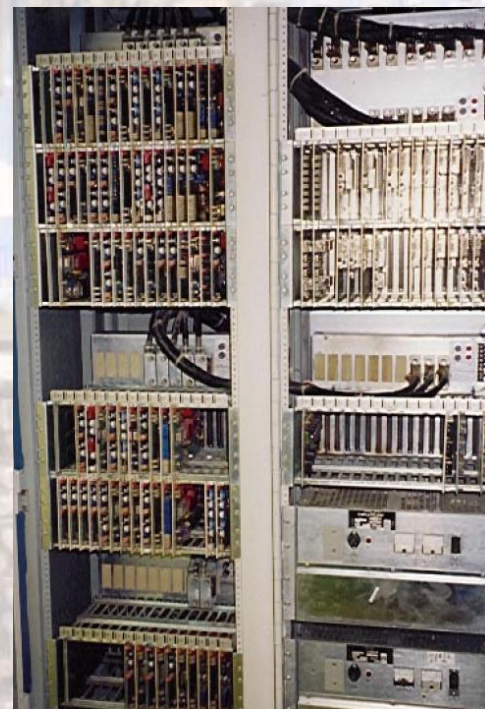
- Sprejemnik signala o merjeni veličini z nalogami:
 - Stabilno napajanje merilne zanke, v kateri se merilnik na spremembe meritev odziva kot spremenljiva upornost
 - Sprejem tokovnega signala in pretvorba v neizoliran napetostni signal (0 – 10 V) za varovalni sistem reaktorja – bistabili (dve diskretni vrednosti napetosti)
 - Sprejem tokovnega signala in pretvorba v izoliran napetostni signal (0 – 10 V) za regulacijski sistem reaktorja in sistem za prikaz merjene veličine
- Procesiranje napetostnih signalov (filtriranje, diferenciranje, integriranje,...) v komponentah analogne elektronike je lažje kot procesiranje tokovnih
- V NEK napajalni viri večinoma v kabinetih procesne instrumentacije in regulacije v komandni sobi – Westinghouse 7300 Process Instrumentation System:
 - Kartice NLP za napajanje tlačnih in diferenčnih tlačnih merilnikov pri meritvah tlakov, nivojev in pretokov
 - Kartice NRA za napajanje uporovnih temperaturnih zaznaval

Zapis in indikacija merilnih signalov

- Sistem za prikaz in zapis signalov prejema izoliran napetostni signal
- V indikatorjih se pretvori v premik kazalcev, digitalni zapisa ali svetlobno / zvočno opozorilo za vrednosti, ki presežejo dovoljena območja
- Potek merjenih količin se shranjuje na registracijskih instrumentih in procesnih računalnikih (informacijski sistem) – določanje trendov in sledljivost pri morebitnih nezgodah

Kabineti procesne instrumentacije v NEK

- Razdeljeni na varnostne in regulacijske (fizično ločeni)
- Uporabljen princip redundantnih merilnih zank, fizična in električna ločenost zank ter možnost testiranja med obratovanjem
- Vsaka izmed redundantnih zank za isto fizikalno veličino se zaključuje v svojem kabinetu procesne instrumentacije (4 kabineti)
- Samostojno napajanje – v primeru izpada baterijsko napajanje



LITERATURA

- Gortnar O., Uvod v instrumentacijo, revizija 4, Ljubljana, februar 2007.
- Spletna stran izdelovalca uporovnih termometrov:
<http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/control-hardware-el-pn-actuation/controllers-and-sensors.asp> (dostop: 13. 12. 2012).
- Svilar R., Špan B., Uvod v instrumentacija in regulacijo, skripta ICJT, 1990.

HVALA ZA POZORNOST