

**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

Departman za energetiku i procesnu tehniku

Predmet:

# MERENJE I REGULISANJE

Školska godina 2021/22

---

**Predmetni nastavnik:**

dr Miroslav Kljajić, Vanr. prof.

Prostorija 3, Blok F, SP

[kljajicm@uns.ac.rs](mailto:kljajicm@uns.ac.rs)

**Asistent:**

Vladimir Munćan, MSc

Prostorija 9, Blok F, SP

[vladimirmuncan@uns.ac.rs](mailto:vladimirmuncan@uns.ac.rs)

# Pripremanje i polaganje ispita

---

## ZA PRIPREMANJE ISPITA KORISTITI:

- Osnovni udžbenik FTN-a: **Merenje i regulisanje u termoprocenoj tehnici**, autora: Dušan Gvozdenac, Miroslav Kljajić, Jovan Petrović,
- Beleške sa predavanja i prezentacije (*pisane sa više informacija i koje se mogu koristiti kao beleške sa predavanja – ali ne kao jedini izvor za pripremu ispita*) i
- Ispitna pitanja (*koja mogu sadržati minimalne varijacije*)

## ISPIT:

- Ispit se polaže pismenim putem i sastoji od 6 pitanja, gde svaki odgovor nosi od 0 do 10 bodova. Ukupan broj bodova na ispitu je 60. Ispit se smatra položenim sa ostvarenih minimum 31 boda (51% tačnih odgovora).
- Laboratorijske vežbe 30 bodova (usmena odbrana)
- Način formiranja ocene: Nakon što je ispit položen, na ostvaren broj bodova dodaju se bodovi sa LAB vežbi i bodovi dodeljeni na osnovu prisustva nastavi (od 0 do 10 bodova).

# Dostupni materijali na <http://dept.uns.ac.rs/>



dept  
Departman za energetiku  
i procesnu tehniku

Početna  
Početna

Departman  
O nama

Studijski programi  
Departmana

Studenti  
Resursi

Saradnja  
Partneri

Kontakt  
8+15h

## Merenje i regulisanje

### Laboratorijske vežbe

#### Laboratoriska vežba 1 - Dokumenti

- Dnevnik laboratorijskih vežbi - 2018/2019
- **Omogućavanje solvera u excel-u - pomoćni link za omogućavanje solvera**
- Lab 1 - dijagrami 18-19

#### Lab 2,3,4,5 - slike sa rezultatima po grupama

#### Preračunavanje delta p - laboratorijska vežba 3

preračunavanje delta p

DOWNLOAD

Dnevnik laboratorijskih vežbi 2018/2019

DOWNLOAD

Lab 1 - dijagrami 18-19

DOWNLOAD

Laboratorijske vežbe 2,3,4,5 - rezultati merenja

DOWNLOAD

Znacaj, pojmovi

DOWNLOAD

Matematički model mernog uređaja

DOWNLOAD

Izračunavanje najverovatnije greške

DOWNLOAD

Pritisak

DOWNLOAD

temperatura 1

DOWNLOAD

temperatura 2

DOWNLOAD

Protok-brzina

DOWNLOAD

Oglasna tabla

Studentska praksa

Nastavni materijal

Portal mobilnosti

Korisni inženjerski softveri

OME \ DOWNLOAD

Katedra za toplotnu tehniku

Katedra za procesnu tehniku

Katedra za mehaniku fluida i hidropneumatski



dept

Departman za energetiku  
i procesnu tehniku

Početna  
Početna

Departman  
O nama

Studijski programi  
Departmana

Studenti  
Resursi

## Katedra za toplotnu tehniku



Nekonvencionalni sistemi grejanja i hlađenja

0.00 KB 34 downloads

Download



Energetska efikasnost - CET

485.61 KB 16 downloads

Download



Grejanje, ventilacija i klimatizacija - CET

13.30 MB 105 downloads

Download



Inženjerski proračuni energetskih aparata i uređaja

14.17 MB 61 downloads

Download



Merenje i regulisanje

0.00 KB 100 downloads

Download

Laboratorijske vežbe Laboratoriska vežba 1 - Dokumenti Dnevnik laboratorijskih...

1 2

## Poglavlje #1 i #2

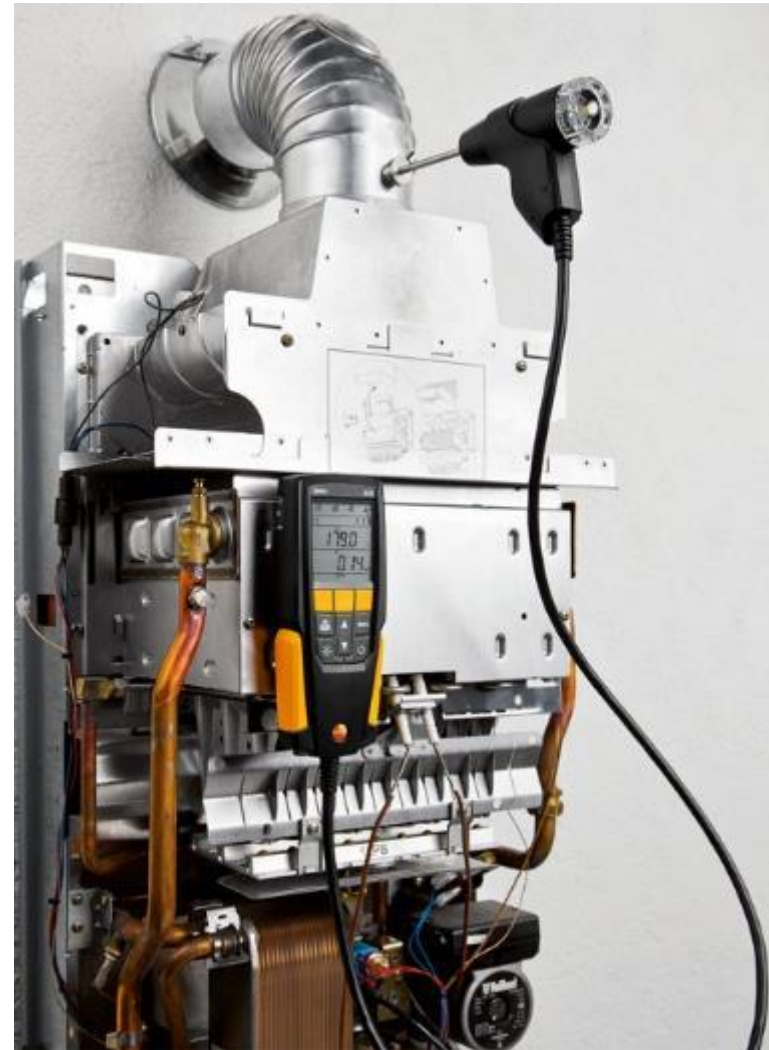
# ZNAČAJ MERENJA I REGULISANJA U TERMOPROCESNOJ TEHNICI, OSNOVNI POJMOVI

# ZNAČAJ MERENJA I REGULISANJA U TERMOPROCESNOJ TEHNICI

Ako se nešto ne može izmeriti,  
ne može se ni kontrolisati.

Ako se ne može kontrolisati,  
ne može se ni upravljati.

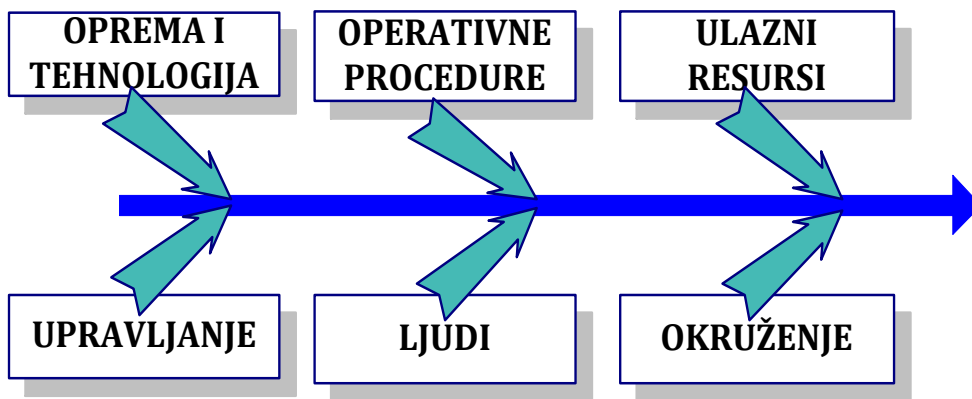
Ako se ne može upravljati,  
ne može se ni poboljšavati.



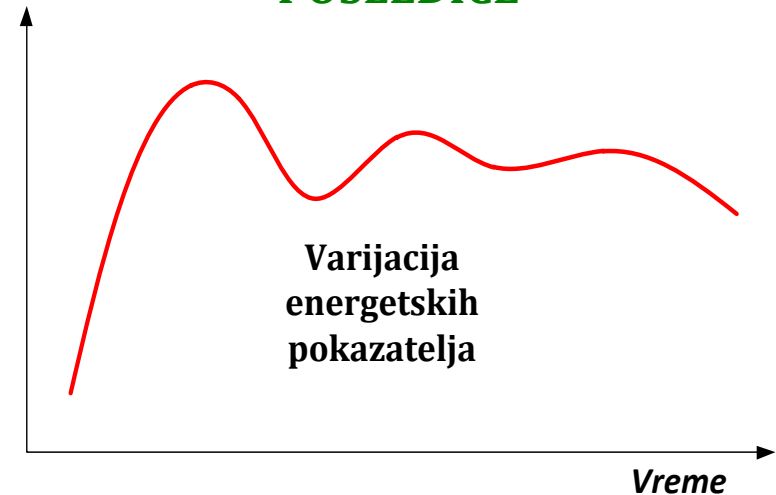
# ZNAČAJ MERENJA I REGULISANJA U TERMOPROCESNOJ TEHNICI

Zbor različitih okolnosti i poremećaja, prisutna je stalna promenljivost termičkih i procesnih parametara u složenom okruženju u kojem termo-procesni sistemi funkcionišu.

## UZROCI



## POSLEDICE



► Pored pomenutih okolnosti, prisutni su i visoki operativni zahtevi, savremena tehnologija, složeni procesi, strogi propisi, brojni standardi...

→ sve to uslovljava vođenje procesa putem merne i regulacione opreme.

# ZNAČAJ MERENJA I REGULISANJA U TERMOPROCESNOJ TEHNICI

---

**CIJ** je dovesti termoenergetsko i/ili procesno postrojenje u optimalno radno stanje, što znači (istovremeno) ispunjenje različitih kriterijuma:

- Efikasnog korišćenja resursa,
- Optimalnih performansi
- Pouzdanog i bezbednog pogona,
- Kvalitet proizvoda ...

**ZNAČAJ se ogleda i u primeni za tipične termotehničke metode, procedure i pristupe, kao što su:**

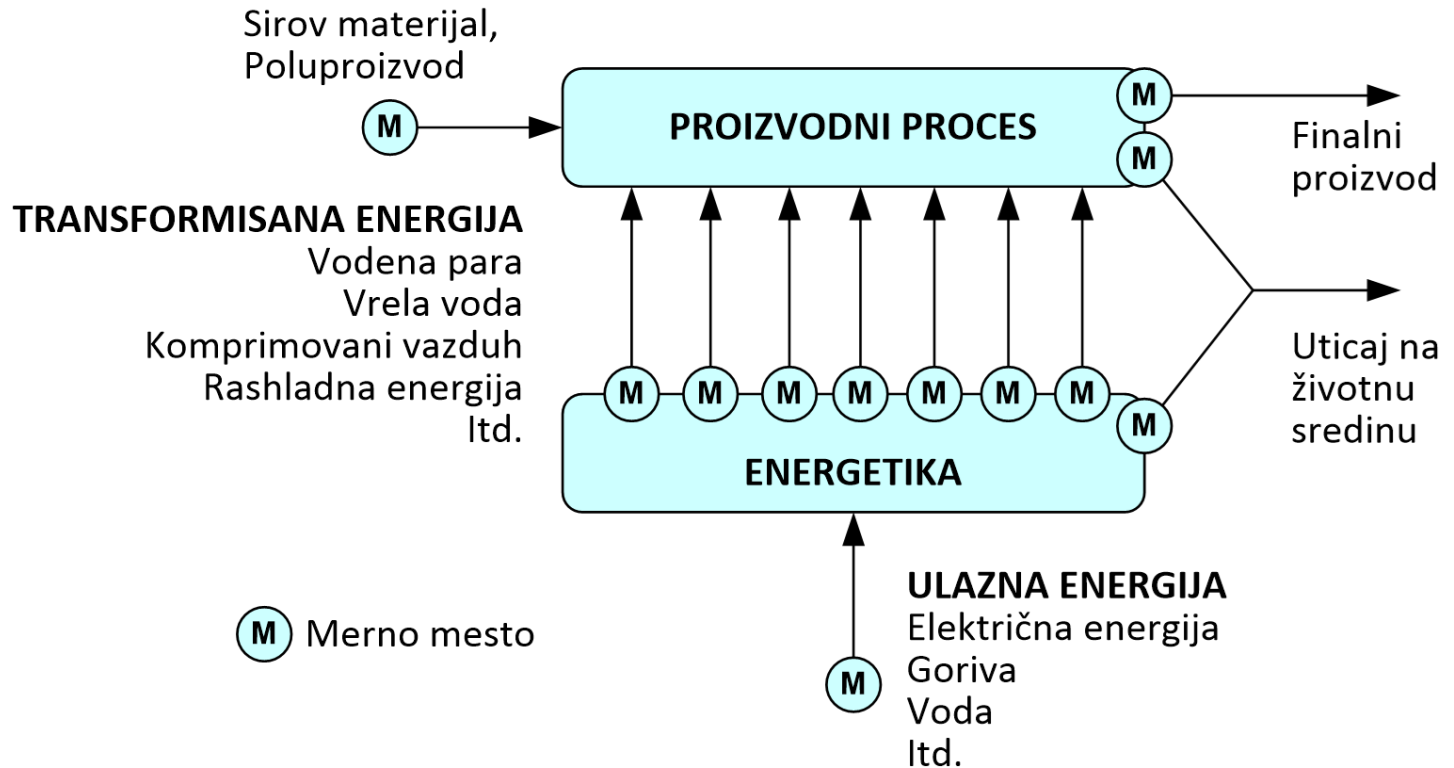
Nadzor, analitika, bilansiranje, dijagnostikovanje, upravljanje, verifikacija, kontrola, podešavanje, izveštavanje...

# MERNA MESTA

1. Kada su usvojeni kriterijumi vođenja procesa i
2. Kada su formulisani i poznati energetske pokazatelji



**Sledi definisanje mernih mesta unutar procesa**





# DEFINISANJE MERNIH MESTA

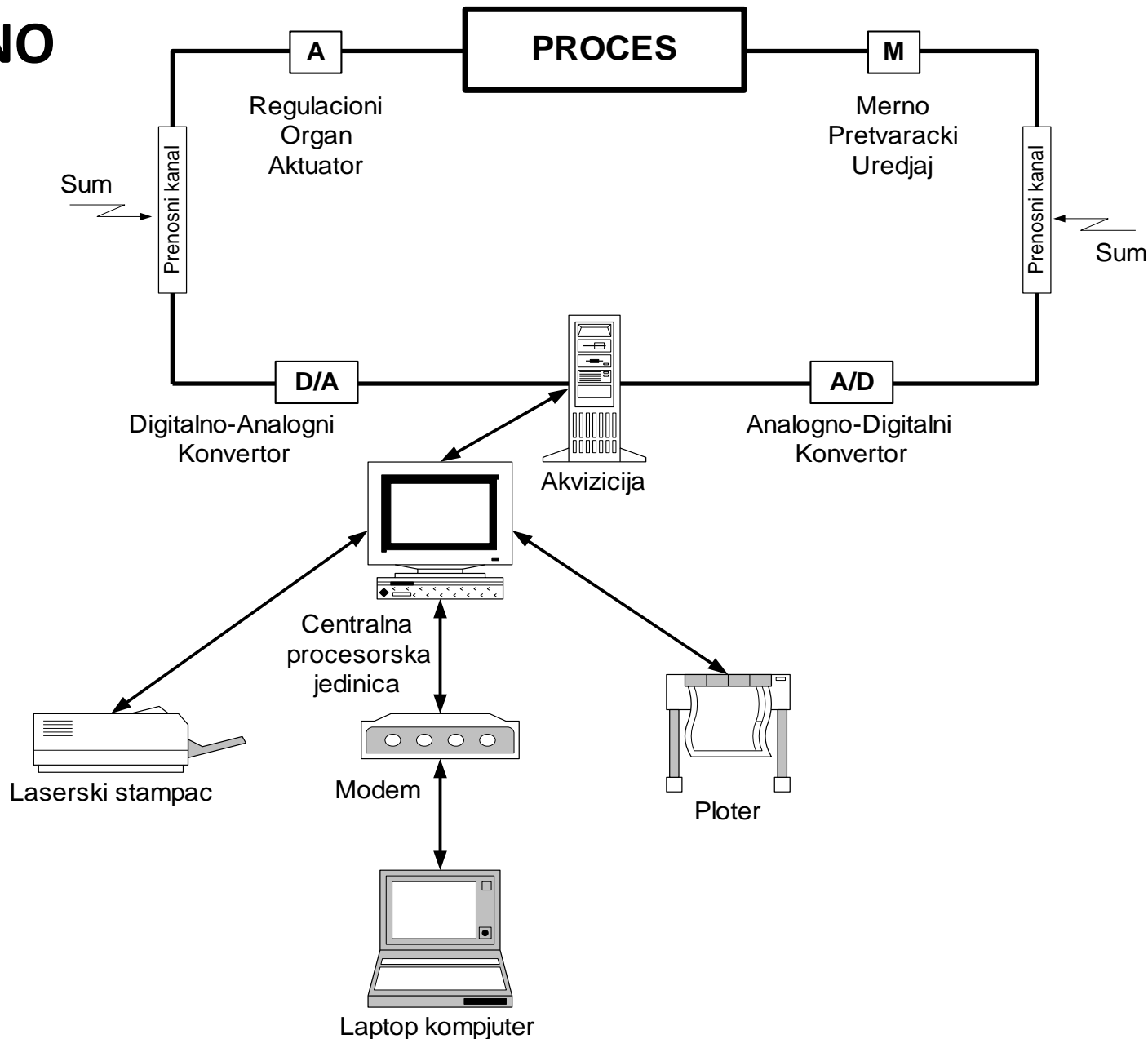
---

Merna mesta razlikujemo i po njihovoj nameni pri vođenju procesa:

- **Za regulisanje.** Signal se prenosi do centralne procesorske jedinice, gde se obrađuje i upoređuje sa zadatom veličinom, te se softverski donosi odluka o načinu reagovanja regulacionog organa.
- **Za nadzor.** To su merna mesta koja se koriste za nadzor i praćenje procesa, te za izračunavanje zbirnih ili izvedenih veličina. U slučaju da dođe do poremećaja regulisanih veličina izvan zadatih tolerancija, takve merene veličine mogu da se upotrebe i za dijagnostikovanje stanja procesa i otklanjanje uzroka poremećaja.
- **Za alarmiranje.** Ova merna mesta ukazuju na kritična odstupanja i na moguće značajnije posledice po proces. One su upozoravajućeg karaktera i zahtevaju brzo reagovanje (ručno ili automatski) na otklanjanju uzroka neželjenog odstupanja.

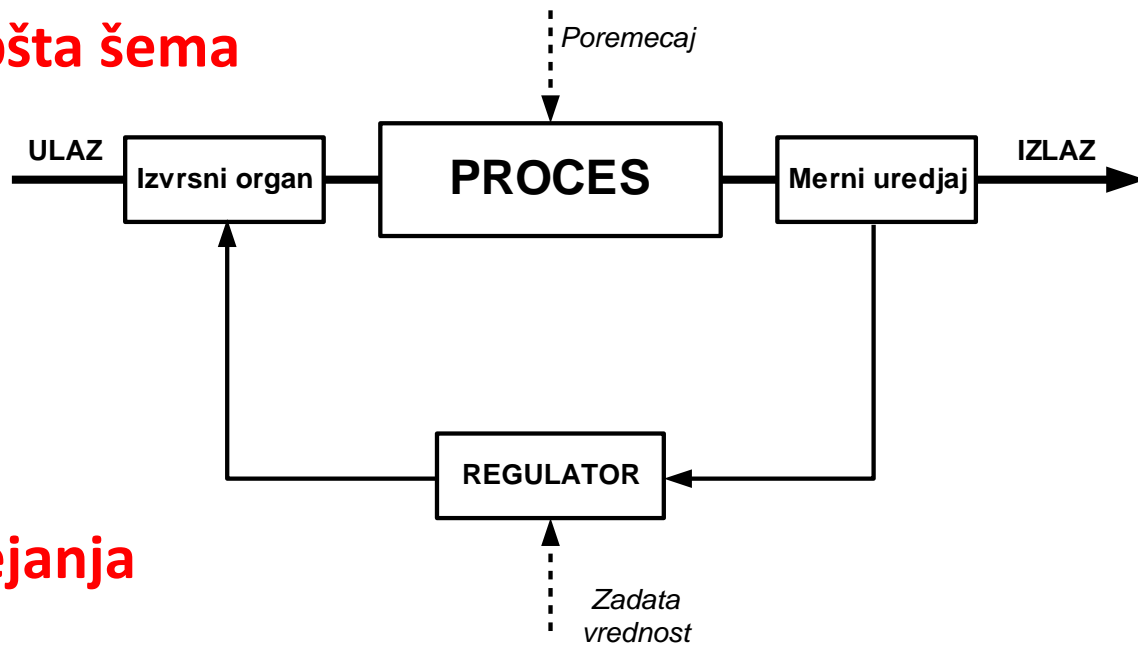
# POJEDINAČNO MERNO MESTO

## Shema vođenja procesa i merno mesto za regulaciju procesa

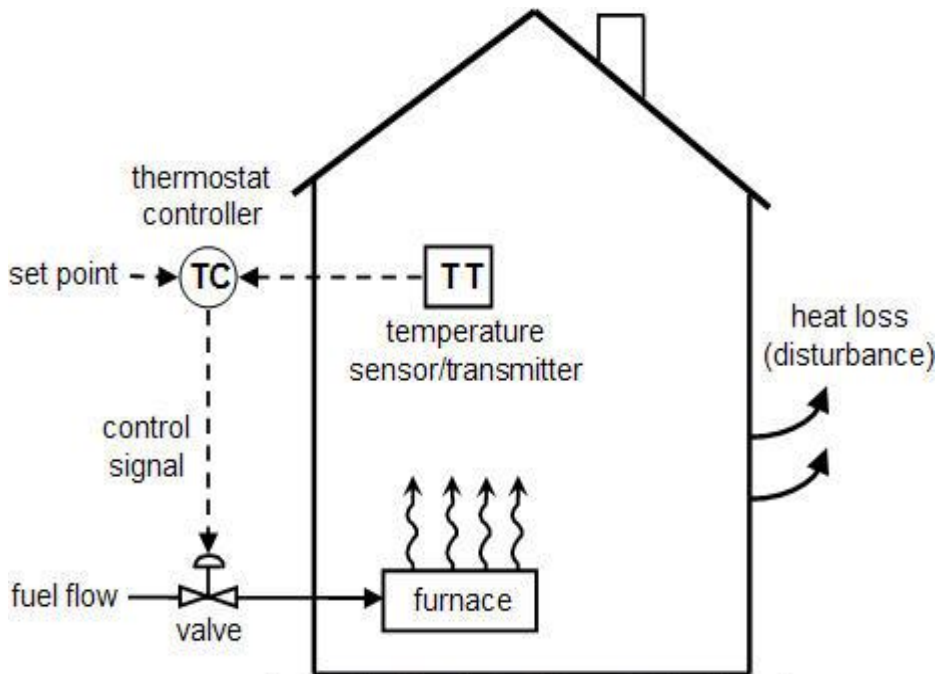


# POJEDINAČNO MERNO MESTO za regulaciju procesa

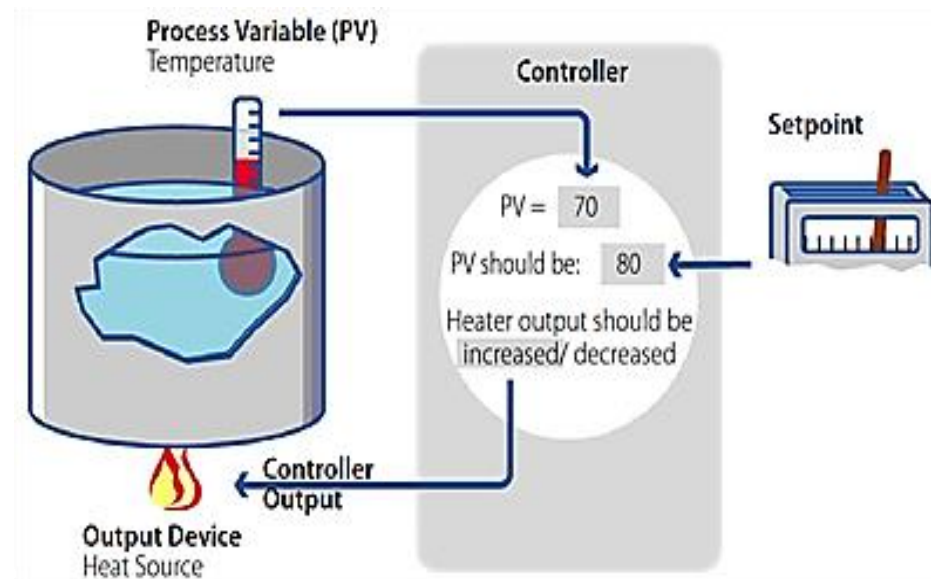
## Opšta šema



## Primer sistema kućnog grejanja

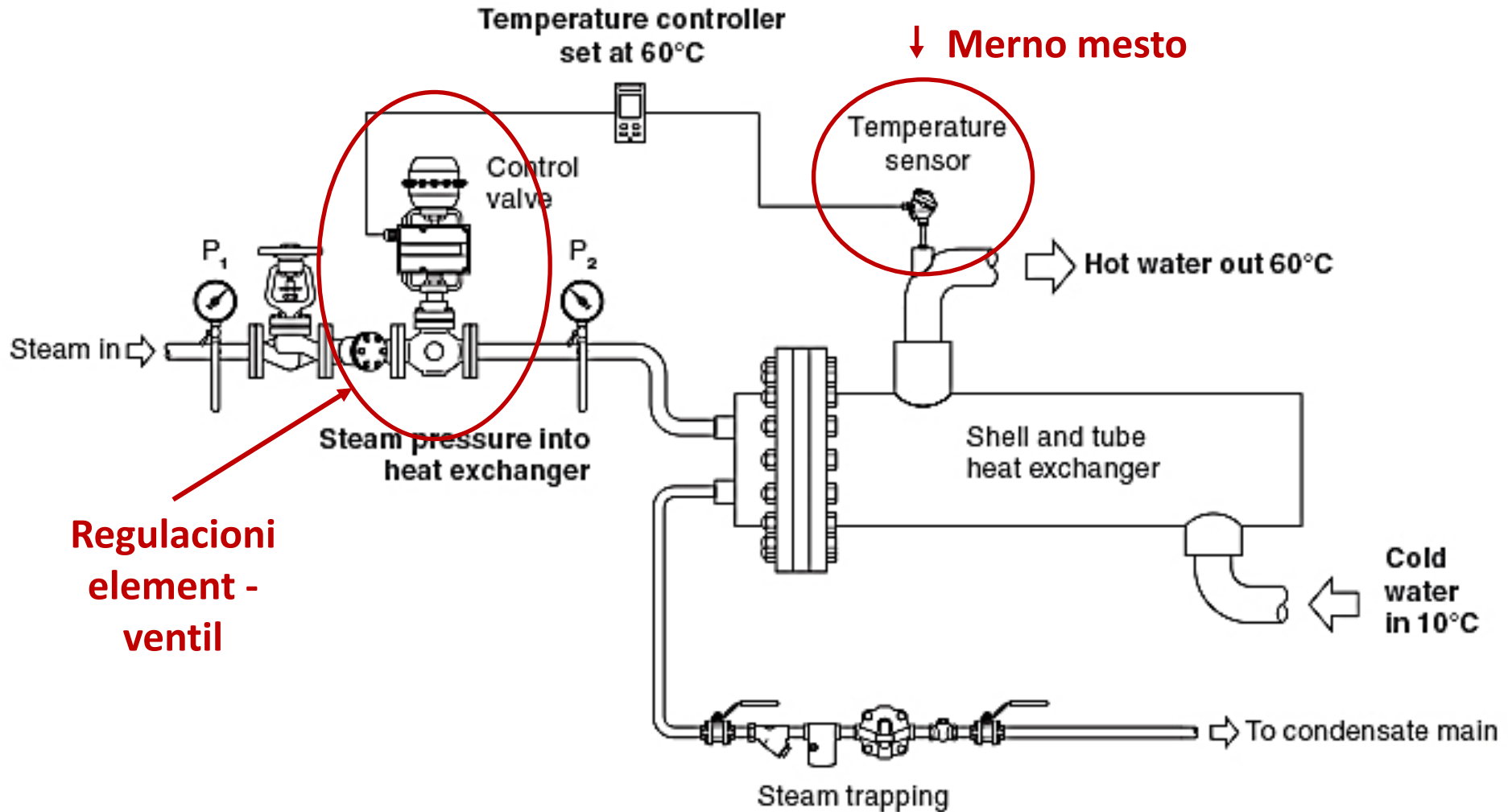


## Primer procesnog sistema ↓



# POJEDINAČNO MERNO MESTO za regulaciju procesa

## Primer sistema pripreme tople potrošne vode, vodenom parom



# ULOGA MERNIH UREĐAJA

---

Merni uređaji se koriste za prikupljanje parametara posmatranog procesa koji se mogu upotrebiti za:

- Regulisanje procesa
- Posmatranje i praćenje procesa (nadzor)
- Alarmiranje neželjenih vrednosti pojedinih veličina
- Eksperimentalnu - stručnu analizu

**Savremeni uređaji objedinjuju pojedine opcije uz mogućnost nadogradnje, povezivanja, konfigurisanja...**

# FUNKCIONALNA ANALIZA RADA MERNIH UREĐAJA

## ELEMENTI MERNIH UREĐAJA

---

Analiza predstavlja opisivanje rada mernih uređaja i pripadajuće opreme, na **OPŠTI NAČIN**, bez razmatranja specifičnosti pojedinačnih konstrukcija.

Rad mernih uređaja može se opisati pomoću funkcionalnih delova koji sačinjavaju merni sistem.

**>>> To je koncept raščlanjavanja uređaja na ograničen broj delova u skladu sa opštom funkcijom koju ima svaki od delova / celina.**

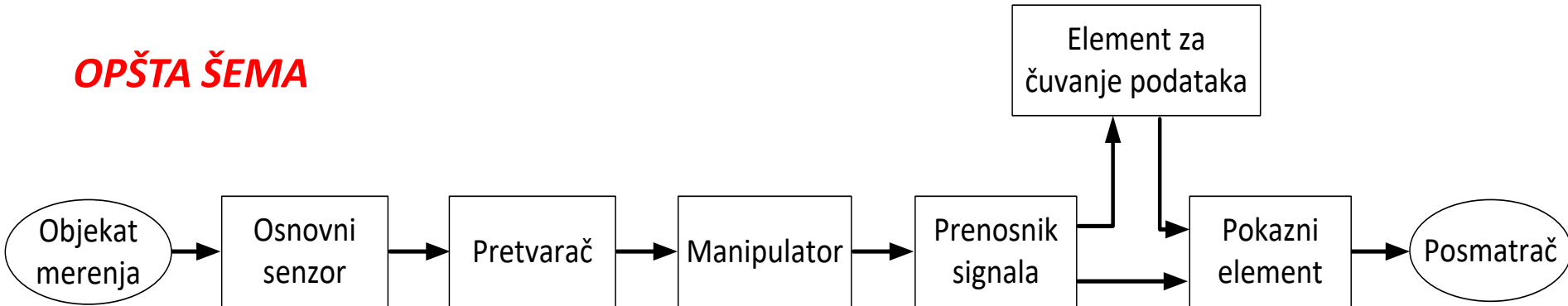
❖ *Koncept raščlanjavanja može biti učinjen na mnogo načina, tako da danas nema standardne (opšte prihvaćene) šeme, koju bi koristili.*

# FUNKCIONALNA ANALIZA RADA MERNIH UREĐAJA

## ELEMENTI MERNIH UREĐAJA

*Funkcionalni elementi mernog sistema ili lanca*

### OPŠTA ŠEMA

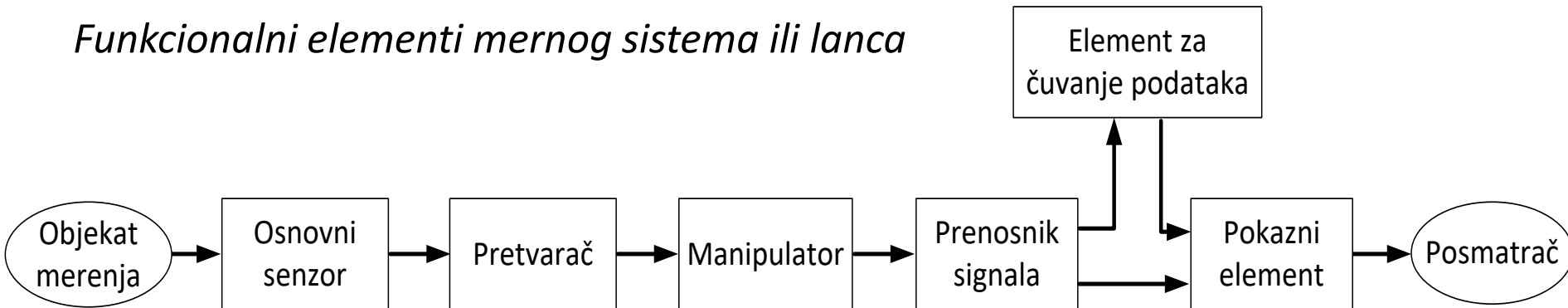


- ▶ Na slici je prikazana suština koncepta funkcionalnih delova mernog sistema ili lanca, ali **ne fizička šema opšteg uređaja,**

# FUNKCIONALNA ANALIZA RADA MERNIH UREĐAJA

## ELEMENTI MERNIH UREĐAJA

*Funkcionalni elementi mernog sistema ili lanca*



► **Osnovni senzor** je taj koji prvi prima energiju od objekta kojem merimo neku veličinu i proizvodi izlaz koji na neki poznati način zavisi od merene veličine.

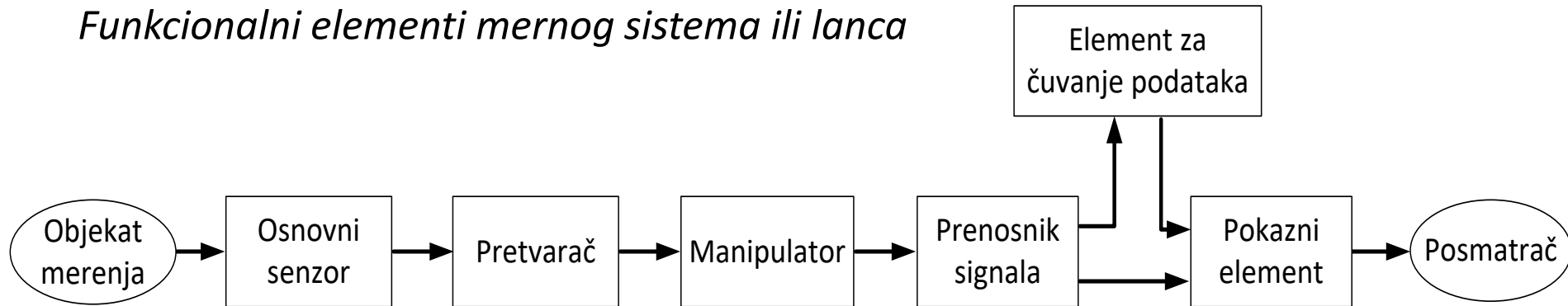
Važno je primetiti da uređaj uvek preuzme izvesnu količinu energije od objekta podvrgnutog merenju. Time je merena veličina uvek poremećena samim postupkom merenja, što **savršeno merenje** čini teoretski nemogućim. *Dobar uređaj je konstruisan tako da ovaj efekat bude što manji, ali on je uvek prisutan do određene mere.*



# FUNKCIONALNA ANALIZA RADA MERNIH UREĐAJA

## ELEMENTI MERNIH UREĐAJA

*Funkcionalni elementi mernog sistema ili lanca*



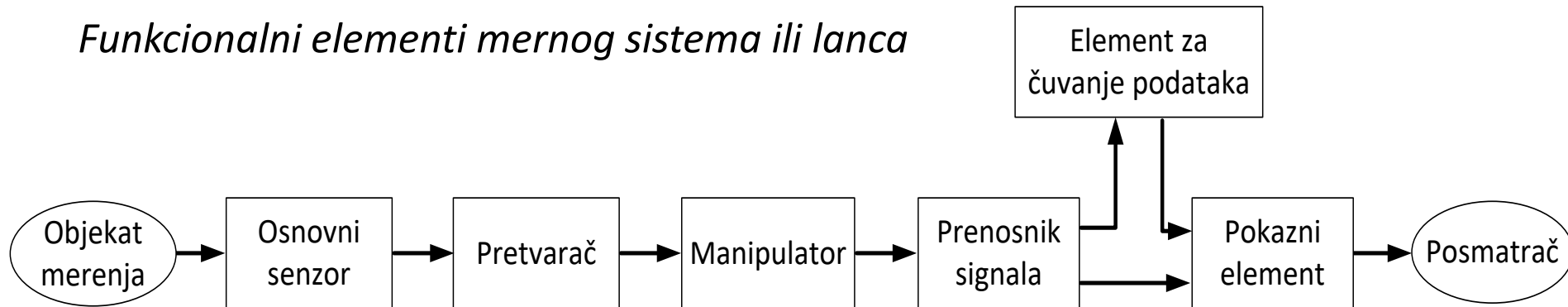
- ▶ Signal na izlazu iz senzora je neka fizička promenljiva veličina, kao npr. mehanički pomak ili otklon, napon itd.
- ▶ Za instrument može biti potrebno pretvaranje promenljive veličine u neku drugu podesniju veličinu, koja zadržava informaciju generisanu originalnim signalom. Element koji obavlja takvu funkciju naziva se **pretvarač**

*Treba napomenuti da svaki uređaj nema pretvarač, ali je kod nekih mernih uređaja potrebno i nekoliko pretvarača.*

# FUNKCIONALNA ANALIZA RADA MERNIH UREĐAJA

## ELEMENTI MERNIH UREĐAJA

*Funkcionalni elementi mernog sistema ili lanca*



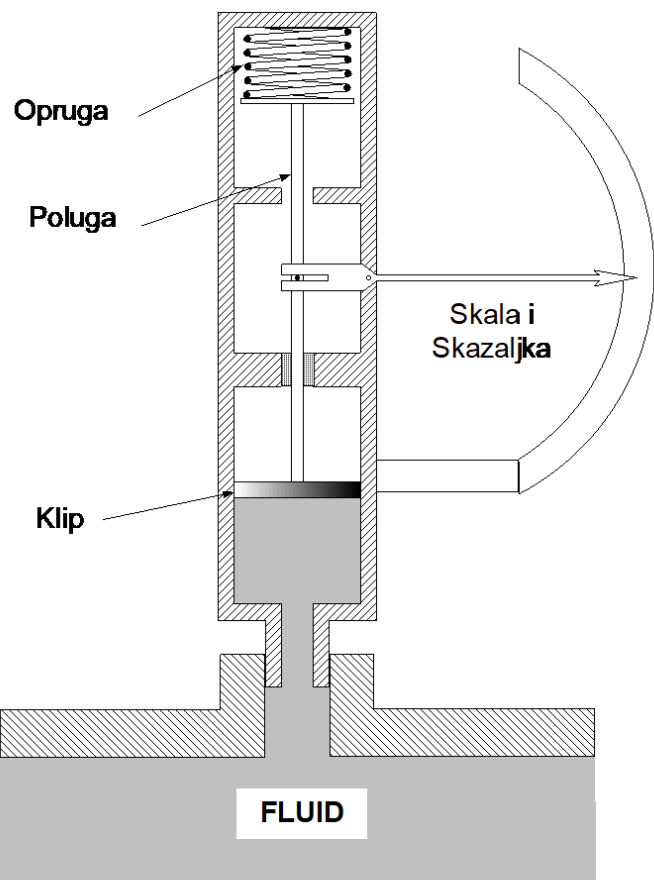
► Uređaj može zahtevati da signal (fizička promenljiva), bude na neki način obrađen. Pod obradom se ovde podrazumeva numerička obrada, ali zadržavajući fizičku prirodu promenljive.

Element koji obavlja takvu funkciju naziva se **manipulator** (mada se često naziva i pojačalom). Manipulator je širi pojam i podrazumeva neku operaciju nad ulaznim signalom koja može biti, između ostalog i pojačanje.

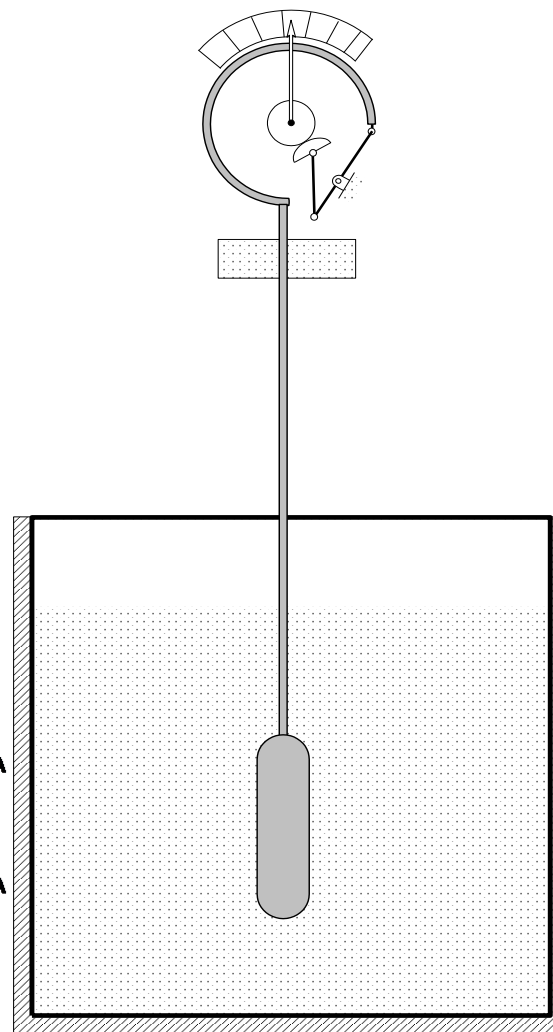
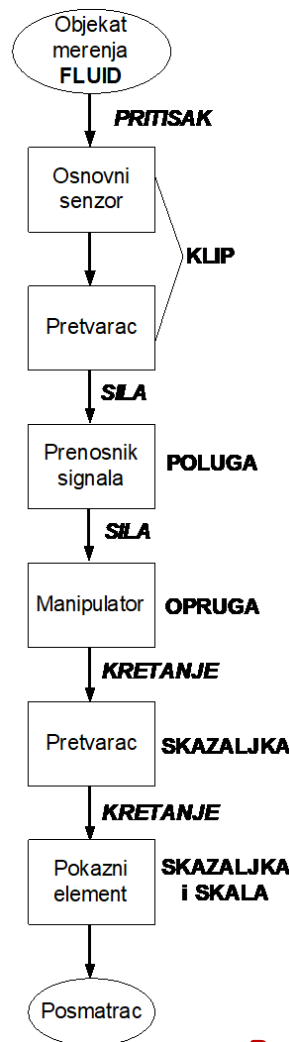
*Manipulator ne mora bezuslovno da sledi iza pretvarača, već može i da mu prethodi ili da se pojavljuje na nekom drugom mestu u mernom lancu, ili da ga uopšte nema.*

# FUNKCIONALNA ANALIZA RADA MERNIH UREĐAJA

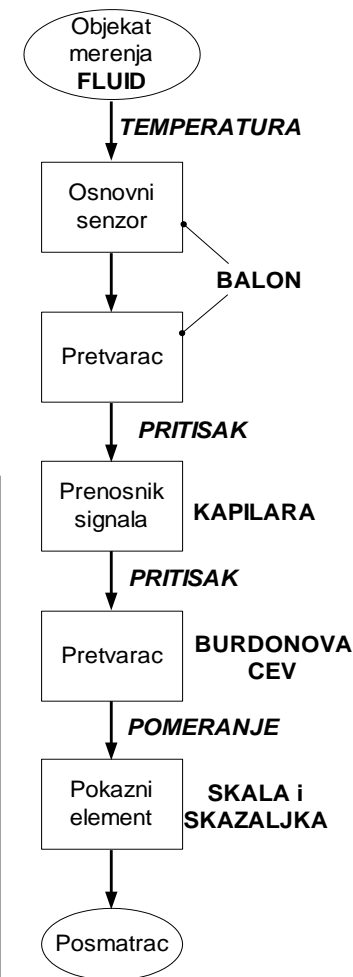
## PRIMERI KONKRETNIH MERNIH UREĐAJA



**Manometar**



**Manometarski termometar**



# Klasifikacija mernih uređaja: **AKTIVNI I PASIVNI PRETVARAČI**

---

Klasifikacija mernih uređaja u odnosu na energiju kojom se pokreću:

## **AKTIVNI I PASIVNI PRETVARAČI**

(merni uređaj može funkcionisati kao **AKTIVNI** ili **PASIVNI PRETVARAČ**)

### **#1 PASIVNI PRETVARAČI**

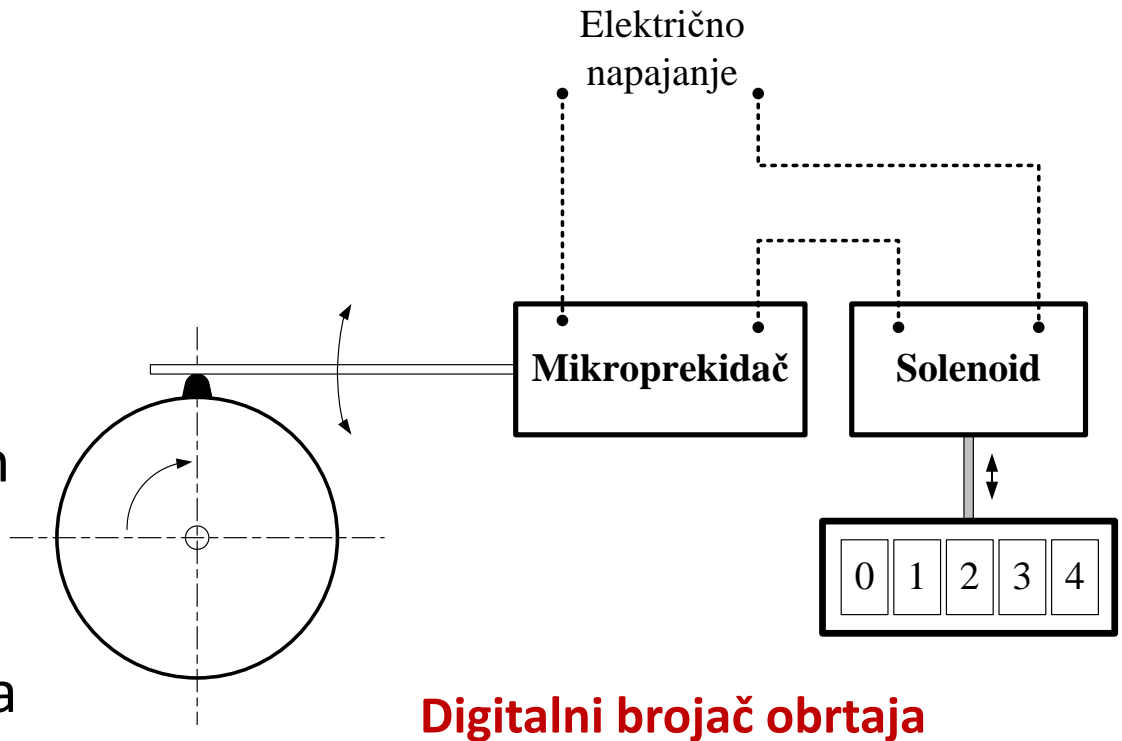
Element čija se energija na **izlazu** potpuno ili gotovo potpuno napaja energijom **ulaznog** signala naziva se ***pasivni pretvarač***.

Energija izlaznog i ulaznog signala mogu biti istog oblika (recimo, da su oba signala mehanička) ili mogu biti pretvoreni iz jednog u drugi oblik energije (recimo, toplotna u mehaničku).

# Klasifikacija mernih uređaja: AKTIVNI I PASIVNI PRETVARAČI

## #2 AKTIVNI PRETVARAČI

*Aktivni pretvarač,* međutim, poseduje **dopunski** izvor snage, kojom se najvećim delom snabdeva izlazni signal (snaga na izlazu), dok je napajanje ulaznog signala zanemarljivo.



# Klasifikacija mernih uređaja: **ANALOGNA I DIGITALNA MERENJA**

---

Klasifikacija merenja prema prirodi dobijenog signala:

## **ANALOGNA I DIGITALNA MERENJA**

### **#1 ANALOGNA MERENJA**

Veličine koje se mere obično se po svojoj prirodi menjaju kontinualno pa se slično (analogno) i merni signali menjaju kontinualno.

Ovakvi signali se nazivaju *analogni signali*, a merenja se tada zovu *analogna*.

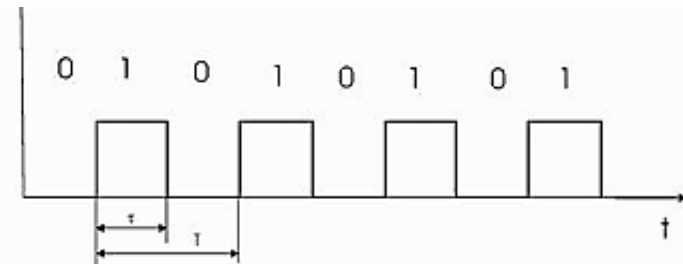
# Klasifikacija mernih uređaja:

## ANALOGNA I DIGITALNA MERENJA

### #2 DIGITALNA MERENJA

Kod **digitalnih** merenja, merna veličina se pretvara u digitalnu poruku koja predstavlja digitalni električni signal.

To je signal koji se sastoji od DISKRETNIH stanja amplitude (skokova) → napona ima ili nema



Ti skokovi su međusobno jednaki (po amplitudi) i odgovaraju jednoj tačno određenoj promeni merene veličine.

Frekvencija pojave svakog skoka je mera promene merene veličine.

► **To znači da se merenje svodi na brojanje skokova, a ustanovljeni broj skokova pomnožen sa vrednošću skoka predstavlja izmerenu veličinu.**

>>> Električni signali koji nose digitalnu poruku nazivaju se **digitalni signali**, a merenja se tada zovu **digitalna**.

# Klasifikacija mernih uređaja:

## NULTI METOD I METOD OTKLONA

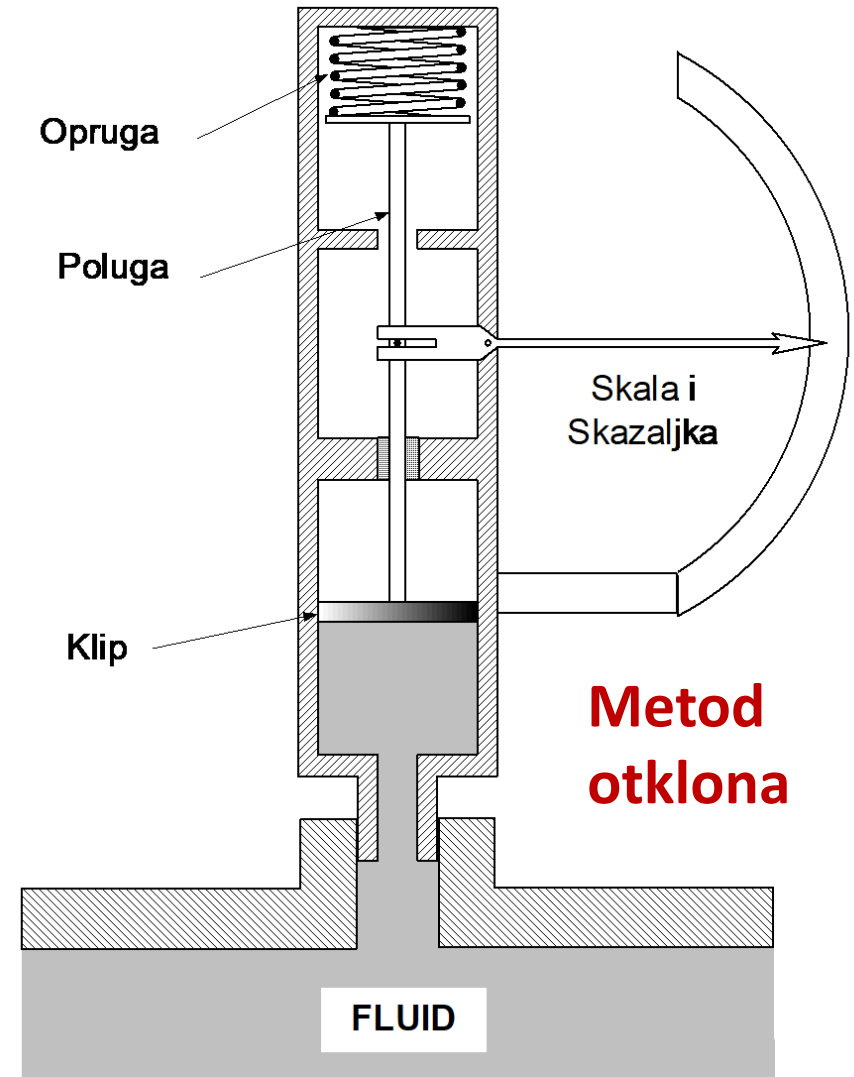
Sledeća korisna podela mernih uređaja je na one koji koriste:

**a) Metod otklona** ili

**b) Nulti metod**

Kod mernih uređaja koji koriste **metod otklona**, merena veličina proizvodi neki fizički efekat koji izaziva sličan efekat u drugom delu uređaja.

► Efekat je usko vezan za neku promenjivu (obično mehanički pomak ili otklon) koja se može uočiti nekim ljudskim čulom.

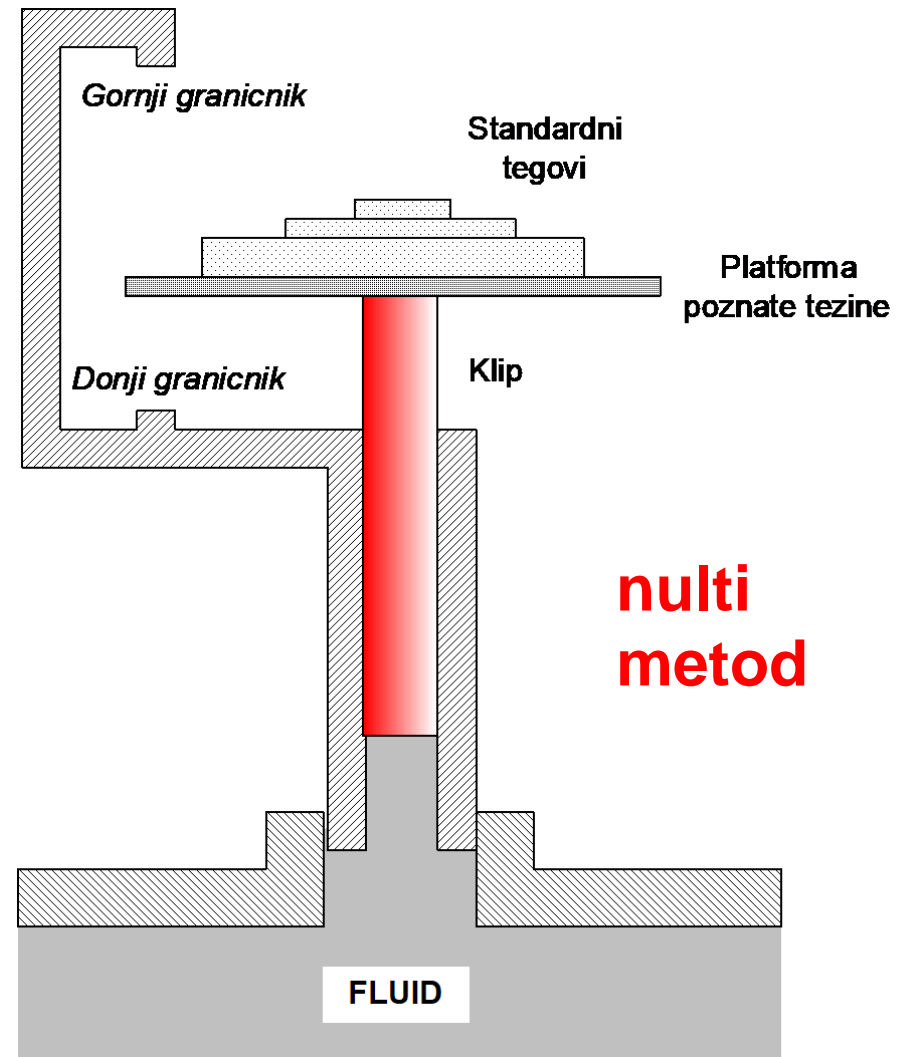




# Klasifikacija mernih uređaja:

## NULTI METOD I METOD OTKLONA

- ❖ Merni uređaj koji koristi **nulti metod** teži da zadrži nulti položaj pokaznog elementa, primenom suprotnog efekta od onoga koji je generisan merenom veličinom.
- ❖ Za ovakav rad uređaja je neophodan detektor neravnoteže i neko sredstvo (ručno ili automatsko) za uspostavljanje ravnoteže.



# Klasifikacija mernih uređaja:

## NULTI METOD I METOD OTKLONA

---

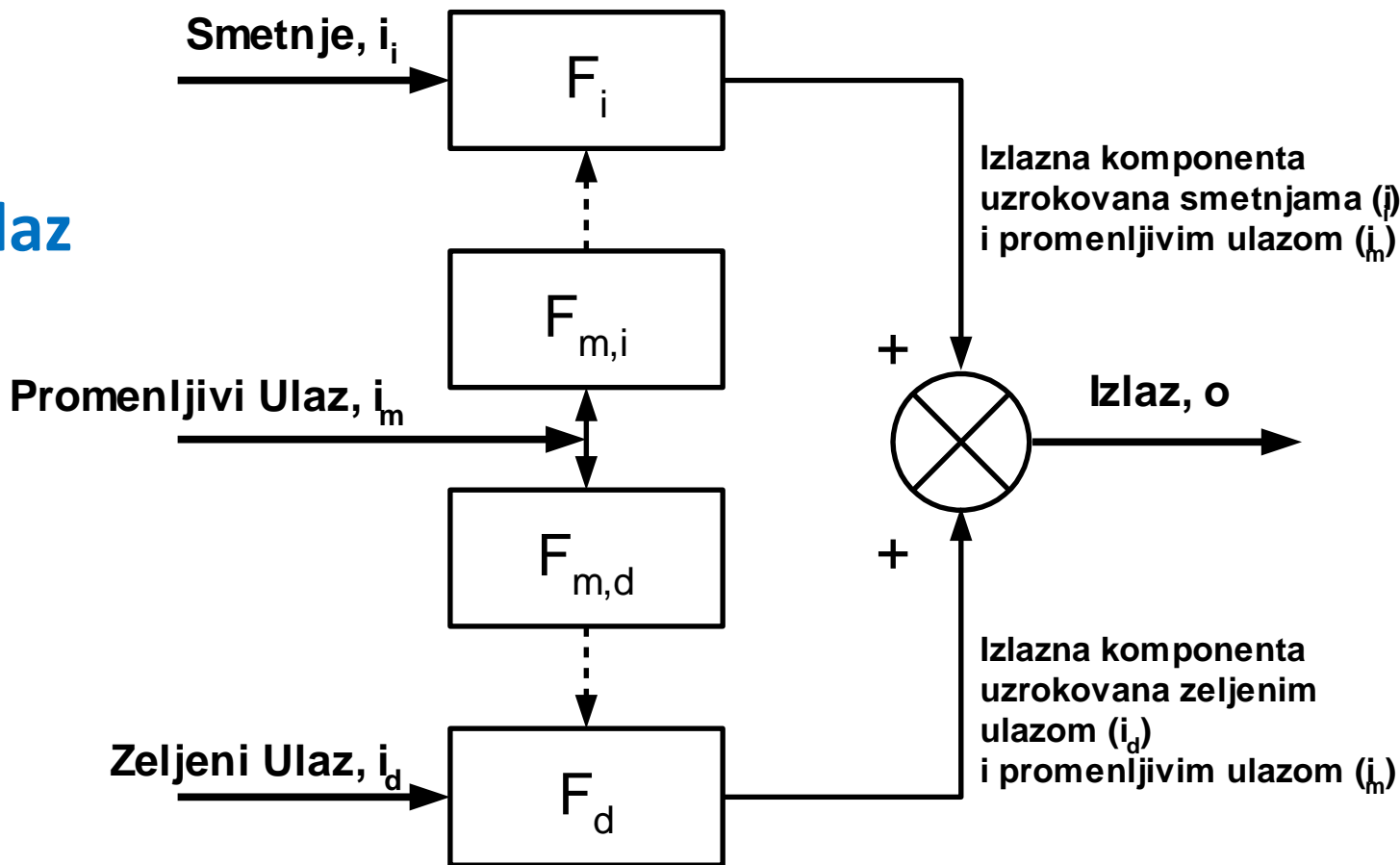
### POREĐENJE METODA

- ▶ Kod uređaja koji koriste **metod otklona** tačnost zavisi od kalibracije opruge, za razliku od uređaja koji radi **po nultom metodu**, kod kojeg tačnost zavisi od tačnosti standardnih tegova.
- ▶ Tačnost koja može da se postigne **nultom metodom** je veća od tačnosti uređaja koji koriste **metod otklona**.
- ▶ Prednost **nultog metoda** jeste u tome što detektor neravnoteže treba da pokriva samo uski opseg oko nultog položaja.
- ▶ Kod **nultog metoda** detektor neravnoteže ne mora biti kalabrisan jer služi samo za registrovanje neravnoteže, ali ne i određivanje iznosa.
- ▶ Uređaj koji koristi **metod otklona** mora biti veći i grublji ako meri veće vrednosti veličine ili veće opsege, kako bi bio manje osetljiv.
- ▶ Nedostaci **nultog metoda** pojavljuju se uglavnom pri dinamičkim merenjima.

# ULAZNO-IZLAZNA SPREGA MERNIH UREĐAJA

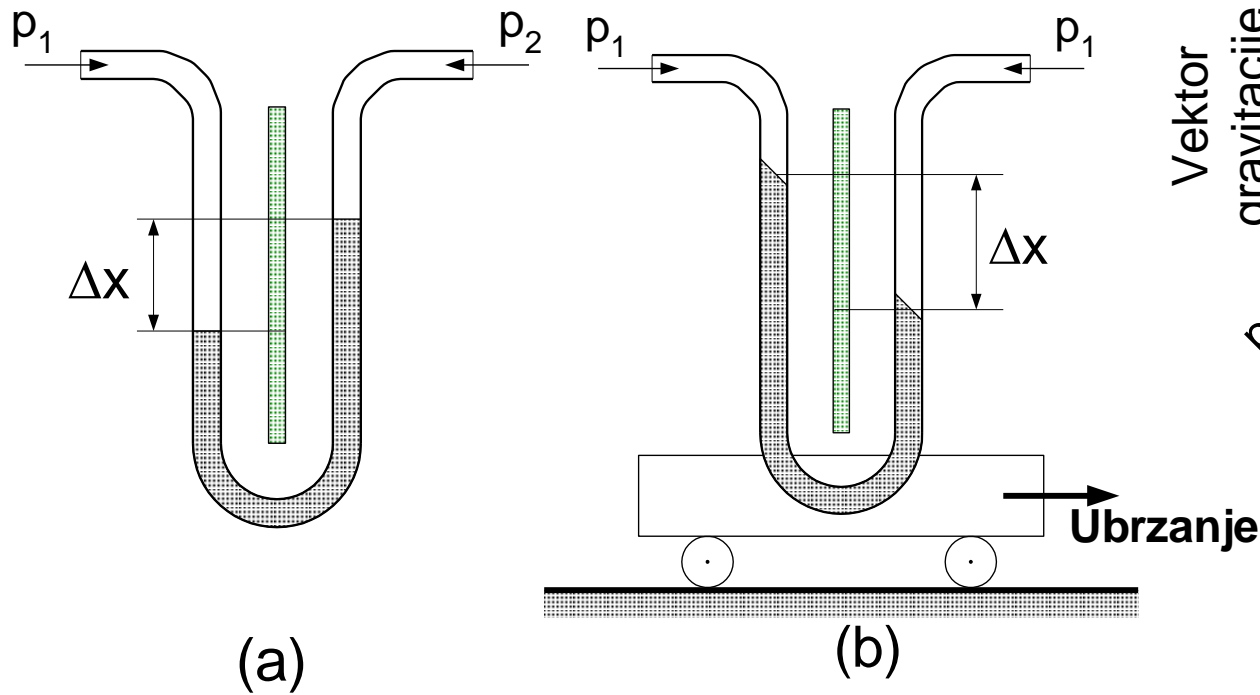
Radi analize radnih karakteristika mernih uređaja, korisno je razmotriti opštu **ulazno - izlaznu spregu** mernog uređaja

## Opšta sprega ulaz-izlaz



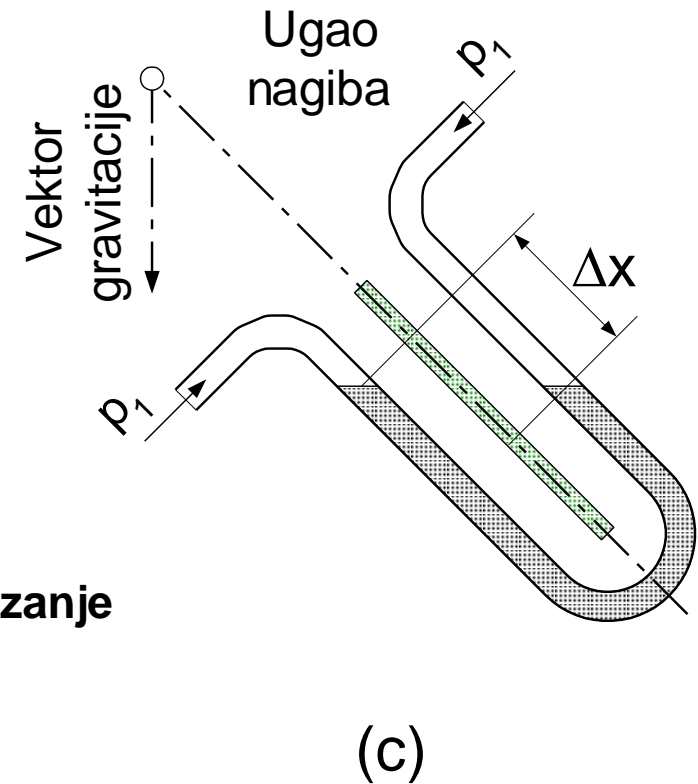
# ULAZNO-IZLAZNA SPREGA MERNIH UREĐAJA

## Primer U - manometar



(a)

(b)



(c)

Regularno merenje

Delovanje smetnji

Delovanje smetnji

# ULAZNO-IZLAZNA SPREGA MERNIH UREĐAJA

## Primer U - manometar

- ▶ **Željeni ulazi** su pritisci  $p_1$  i  $p_2$ , čija razlika prouzrokuje pomak  $\Delta x$  na izlazu (očitava se na kalibrisanoj skali).

\*\*\*\*\*

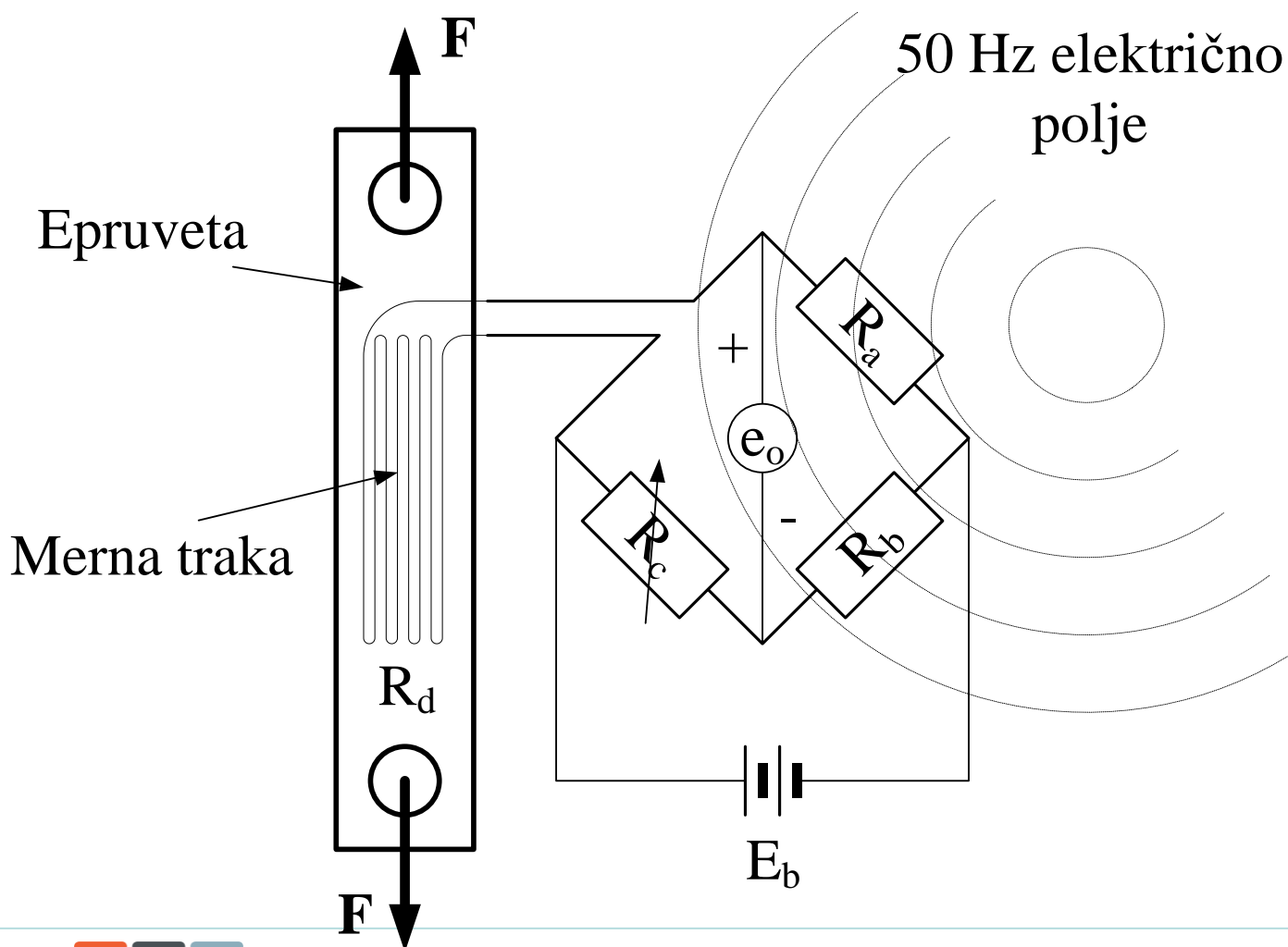
- ▶ **Smetnja #1** smetnja željenoj ulaznoj veličini mernog uređaja nastala zbog dejstva ubrzanja
- ▶ **Smetnja #2** ako manometar nije propisno postavljen, pod uticajem gravitacije možemo da dobijemo izlazni signal  $\Delta x$ , iako razlika pritisaka ne postoji. Na taj način ugao nagiba  $\theta$  predstavlja smetnju željenoj ulaznoj veličini.

\*\*\*\*\*

- ▶ **Promenljivi ulaz #1.** Temperatura okoline deluje kao promenljivi ulaz, pošto promena izaziva promenu dužine kalibrisane skale. Takođe, promena temperature izaziva promenu gustine žive, što opet dovodi do promene faktora proporcionalnosti skale
- ▶ **Promenljivi ulaz #2.** Sila gravitacije čija vrednost se nalazi u relaciji koja vezuje visinu stuba tečnosti i pritiska.

# ULAZNO-IZLAZNA SPREGA MERNIH UREĐAJA

Primer: elektrootporni pretvarač sa mernom trakom – merač istežanja



Prilikom pojave sile ( $F$ ) na krajevima epruvete dolazi do njenog istežanja, a time i otpornika kojem se zbog toga smanjuje poprečni presek. Pri istežanju otpor merne trake se menja po poznatoj zavisnosti

Na taj način, mereći otpor može da se izmeri istežanje, nastalo delovanjem sile  $F$

# ULAZNO-IZLAZNA SPREGA MERNIH UREĐAJA

- ▶ **Željeni ulaz** je istežanje ( $\varepsilon$ ),

\*\*\*\*\*

- ▶ **Smetnja #1** je 50 Hz-no električno polje prouzrokovano blizinom provodnika ili električnog motora
- ▶ **Smetnja #2a** je promena temperature okoline a samim tim i temperature merne trake. Ova promena izazvaće promenu otpornosti.
- ▶ **Smetnja #2b**: je promena temperatura epruvete, jer prouzrokuje i različito istežanje.

\*\*\*\*\*

- ▶ **Promenljivi ulaz #1.** Temperatura okoline deluje kao promenljivi ulaz, pošto je faktor merača (karakteristika epruvete) osetljiv na temperaturu.
- ▶ **Promenljivi ulaz #2.** Napon baterije  $E_b$  je drugi promenljivi ulaz.

*Oba promenljiva ulaza su predvidiva i poznata, i dobrom pripremom merenja se mogu kontrolisati tako da ne utiču na korektno merenje.*

# METODE KOREKCIJE SMETNJI I PROMENLJIVIH ULAZA

---

Pri projektovanju ili korišćenju mernih uređaja, broj metoda za eliminisanje ili smanjivanje efekata koje uzrokuju neželjeni ulazi je ograničen.

**Neke najšire korišćene metode su:**

**1. Metod ograničene neosetljivosti** podrazumeva da elementi uređaja treba da budu osetljivi isključivo na željene ulaze.

Primenjujući ovaj metod na prethodno spomenuti merni uređaj, znači da materijal epruvete treba izabrati s izrazito malim koeficijentom temperaturskog širenja, a da pri tome ima zadovoljavajuću karakteristike u odnosu na istezanje.



# METODE KOREKCIJE SMETNJI I PROMENLJIVIH ULAZA

---

## 2. Metod visokopojачane povratne sprege

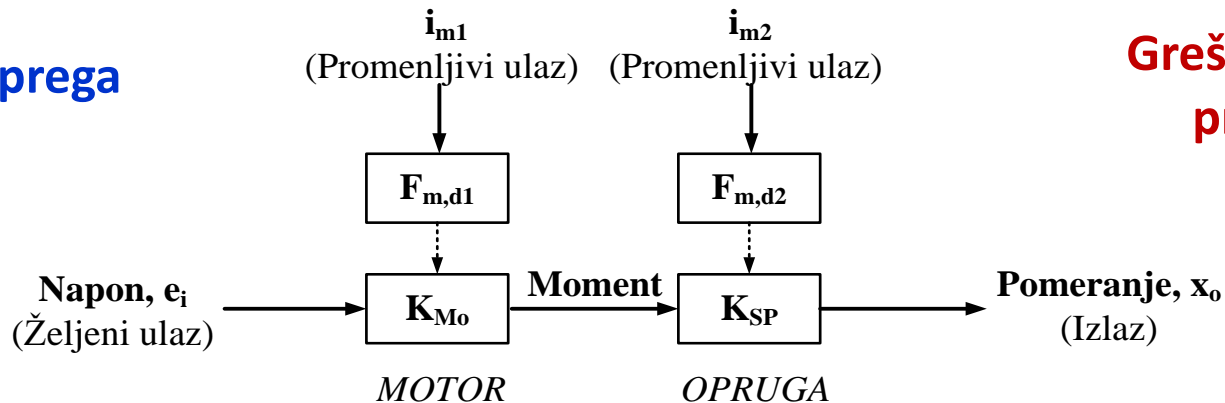
ako se merni lanac s otvorenom petljom sastoji od nekoliko (ponekad mnogo) uređaja, od kojih je svaki osetljiv na svoje neželjene ulaze, tada svi ovi „loši efekti“ mogu biti eliminisani korišćenjem **visokog pojačanja i stabilnih i tačnih povratnih sprege**.

U praksi ovaj metod često dovodi do velikih poboljšanja tačnosti.

## Otvorena sprega

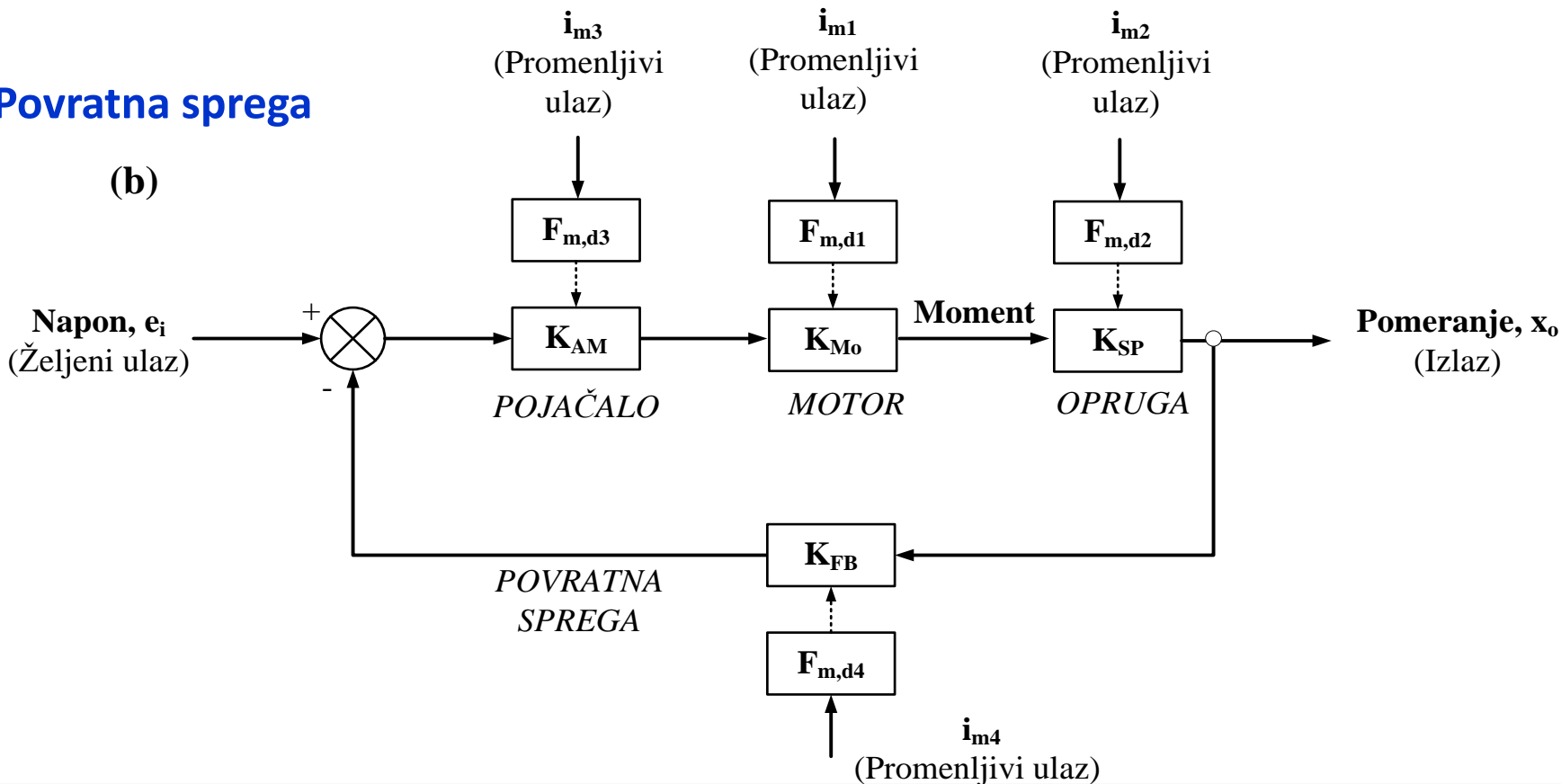
**Greška je direktno  
proporcionalna  
konstantama**

(a)



## Povratna sprega

(b)



## 3. Metod filtriranja signala

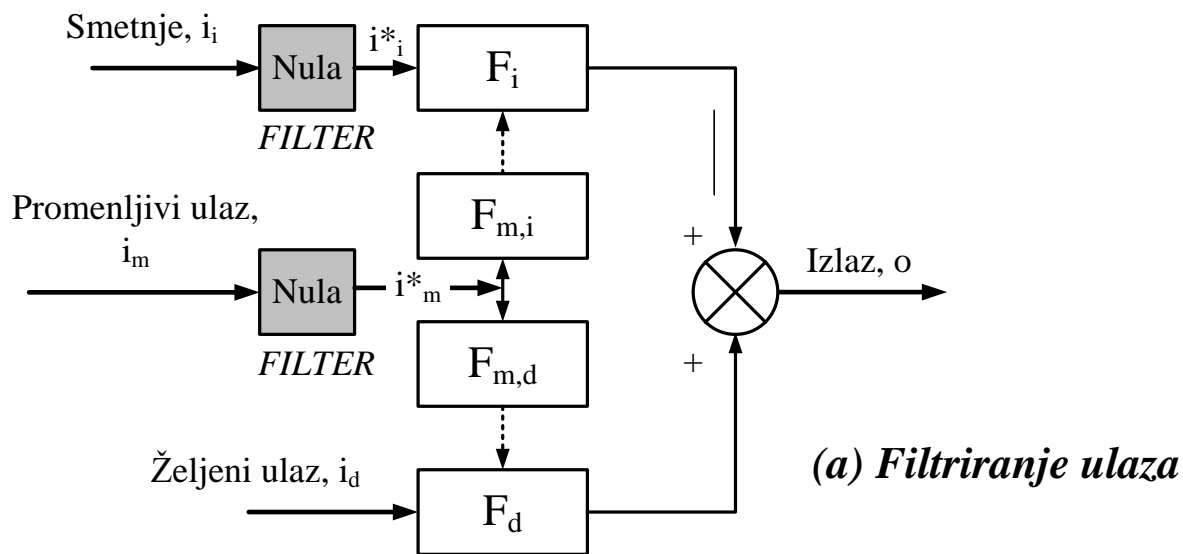
Baziran je na mogućnosti ugradnje posebnih elemenata (**filtera**) u merni uređaj.

Ovi elementi na određen način blokiraju neželjene signale, tako da su neželjeni efekti na izlazu uklonjeni ili umanjeni.

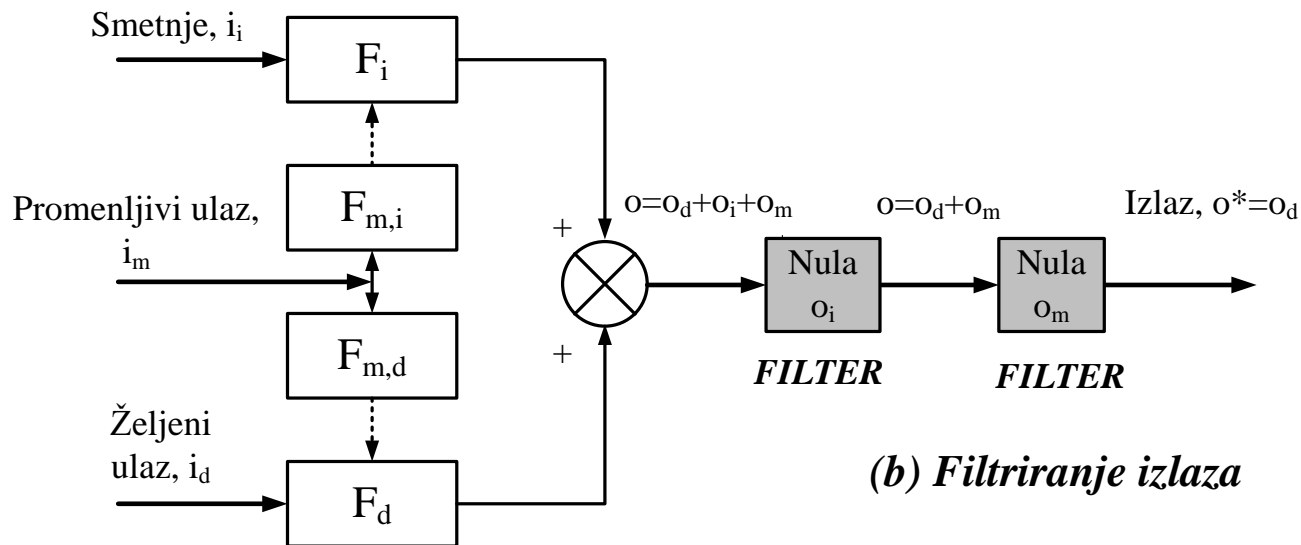
Filter može biti primenjen na bilo koji podesan signal u uređaju, bilo na ulazu, izlazu, ili između njih.

# METODE KOREKCIJE SMETNJI I PROMENLJIVIH ULAZA

## 3. Metod filtriranja signala



(a) Filtriranje ulaza

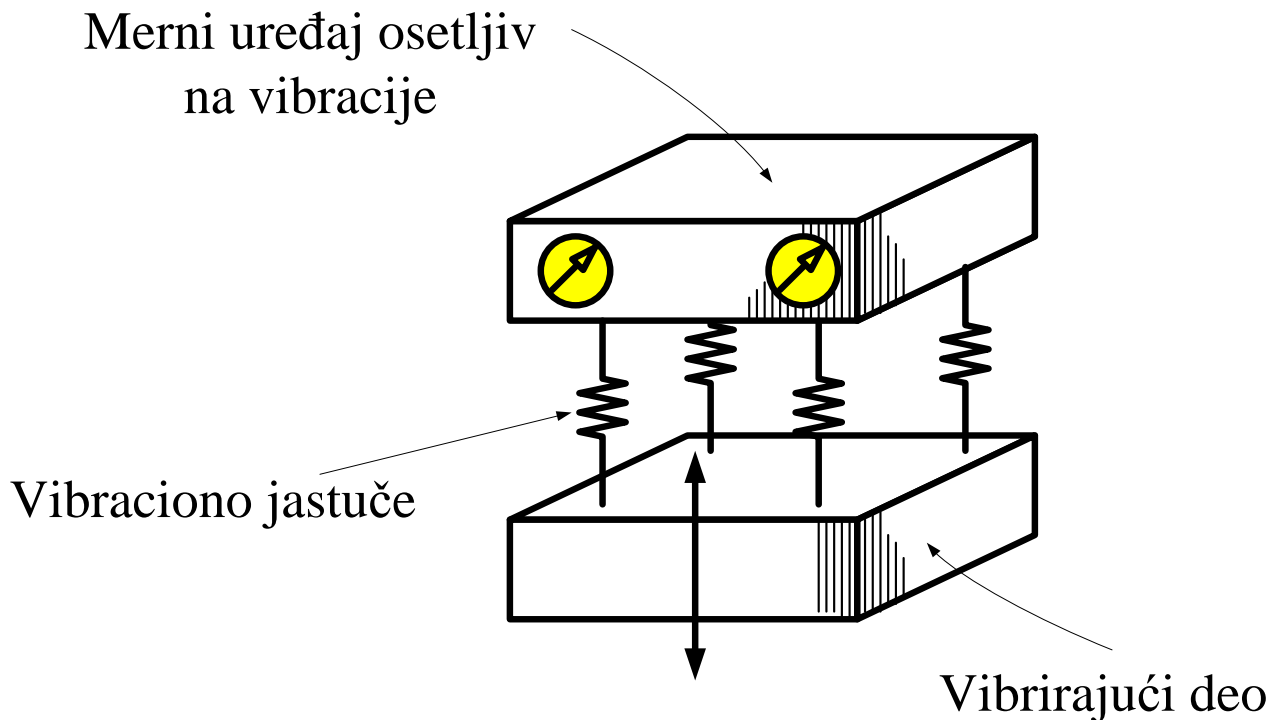


(b) Filtriranje izlaza

## 3. Metod filtriranja signala - PRIMER

Slika pokazuje kako smetnje od vibracija mogu biti uklonjene filtriranjem pomoću pogodno postavljenih opruga.

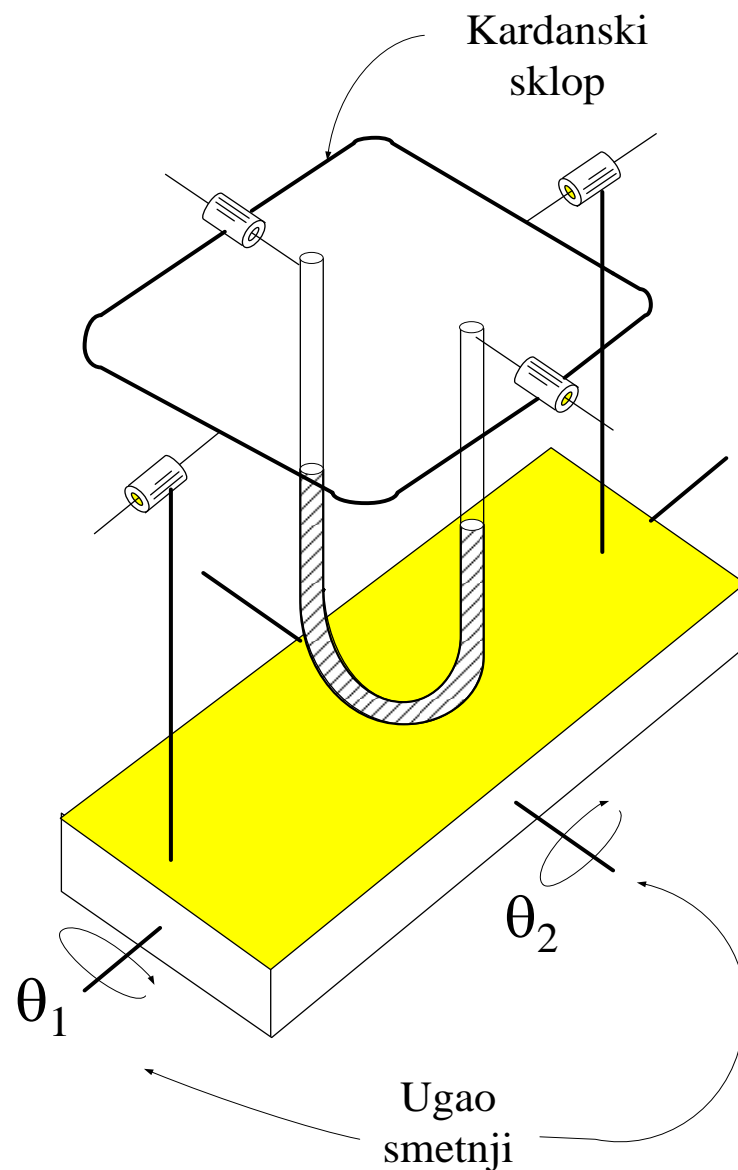
Sistem s oprugama je **mehanički filter** koji propušta zanemarljiv deo kretanja sklopa, koji vibrira.



## 3. Metod filtriranja signala – PRIMER

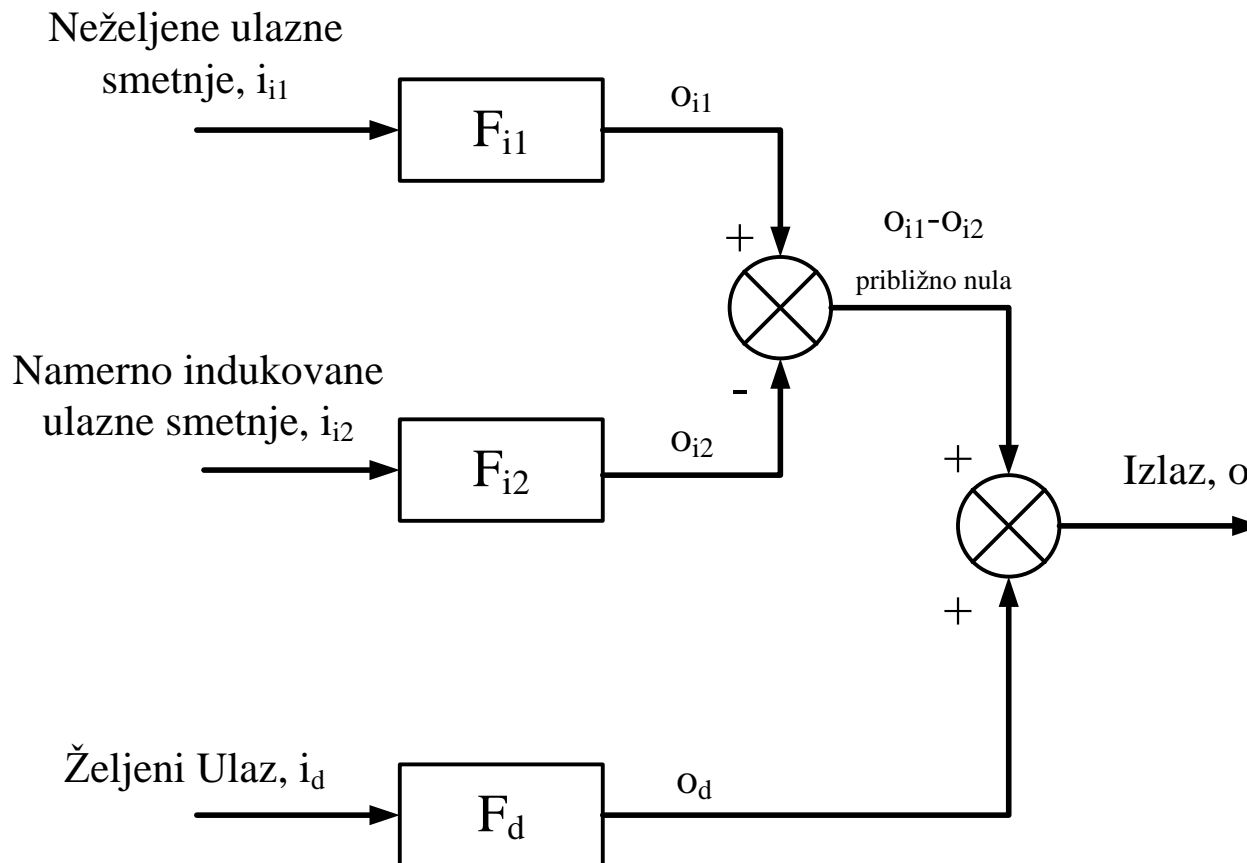
Ugao nagiba kao smetnja ulaza pomenutog U manometra može biti efikasno otklonjena filtriranjem pomoću sklopa sa kardanskim zglobovima prema šemi sa slike.

Ako je trenje u ležajevima kardanskog zgloba zanemarljivo, rotacije  $\Theta_1$  i  $\Theta_2$  ne mogu da deluju na manometar, tako da se on uvek nalazi u vertikalnom položaju.



# METODE KOREKCIJE SMETNJI I PROMENLJIVIH ULAZA

**4. Metod suprotnih ulaza** sastoji se od namernog dovođenja na ulaz mernog uređaja smetnji i/ili promenljivih ulaza u nameri da ukinemo loše efekte neželjenih ulaza

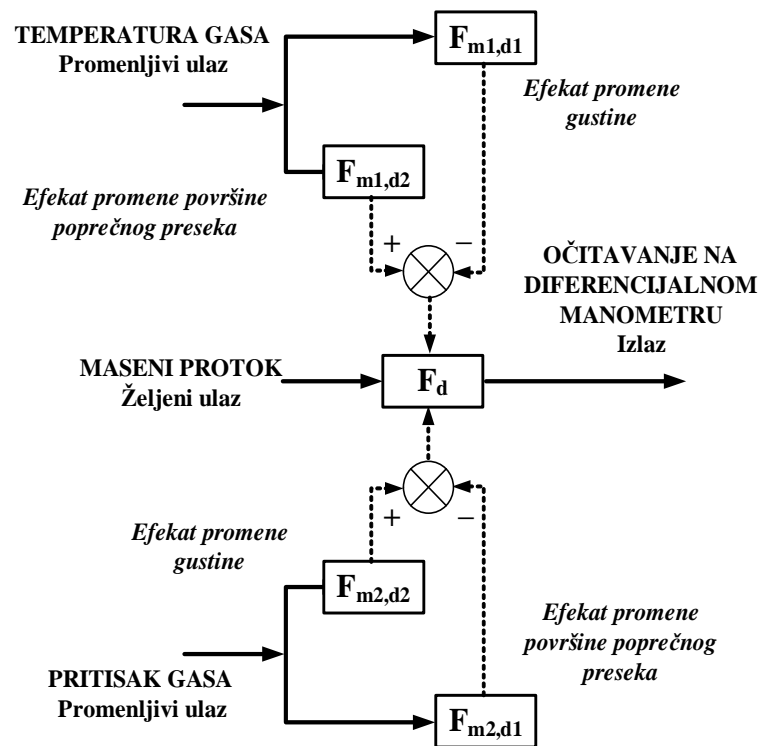
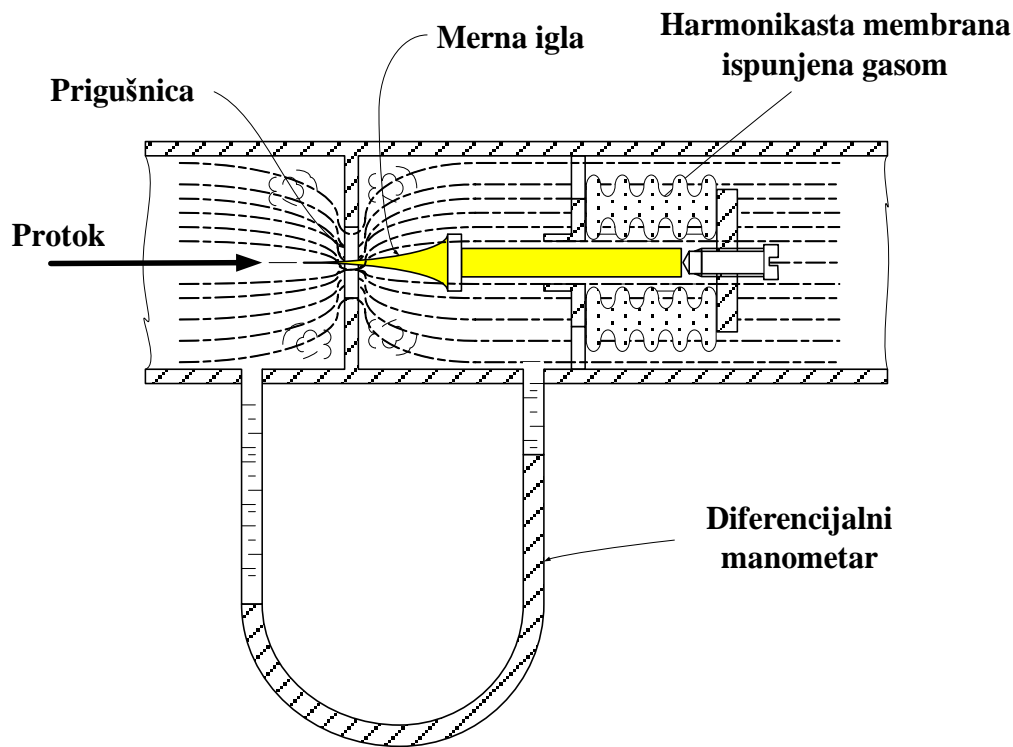


Namerno indukovana smetnja na ulazu ( $i_2$ ) ima istu veličinu kao i neželjena ulazna smetnja ( $i_1$ ), ali deluje u suprotnom smeru, tako da se na izlazu praktično dobija nula.

*Ovaj metod može da se tumači i kao varijanta metoda proračunatih izlaznih korekcija.*

# METODE KOREKCIJE SMETNJI I PROMENLJIVIH ULAZA

**4. Metod suprotnih ulaza – primer:** Uređaj za merenje masenog protoka gasa. SMETNJA: protok zavisi od gustine gasa, koja se menja sa promenama pritiska i temperature



Pri padu temperature dolazi do porasta gustine gasa, a time i porasta masenog protoka ( $V=A \cdot \rho \cdot w$ ). Pritisak gasa u mehu opada sa padom temperature, što dovodi do pomeranja igle u levo, čime se smanjuje protočni presek. To vraća maseni protok na zadatu vrednost.