

# Elementi sistema automatskog upravljanja

Studijski program: Energetika i automatika

Semestar: VI

Broj časova: 2 + 1 + 0,5

Nastavnik: Prof. dr Milovan Radulović

Saradnici: Mihailo Micev

## Literatura:

Milovan Radulović, Elementi sistema automatskog upravljanja, 2005.

Ljubiša Draganović, Elementi SAU principi izgradnje, Beograd, 1997

Ljubiša Draganović, Projektovanje SAU, Beograd, 2000

## Sadržaj predmeta: (Nazivi metodskih jedinica, kolokvijuma i završnog ispita po nedjeljama u toku semestra)

|               |       |  |          |
|---------------|-------|--|----------|
| I nedjelja    | 14.02 | Uvodna razmatranja. Primjeri sistema AU. Definicije i termini u oblasti SAU.         | LAB VIEW |
| II nedjelja   | 21.02 | Klasifikacija uređaja i sistema AU.  | LAB VIEW |
| III nedjelja  | 28.02 | Tehničke karakteristike sistema AU. (statičke i dinamičke)                           | LAB VIEW |
| IV nedjelja   | 7.03  | Senzori i mjerni pretvarači.   | LAB VIEW |
| V nedjelja    | 14.03 | Kondicioniranje i filtriranje signala..  | LAB VIEW |
| VI nedjelja   | 21.03 | Aktuatori i izvršni organi.  | LAB VIEW |
| VII nedjelja  | 28.03 | <b>I kolokvijum</b>  |          |
| VIII nedjelja | 4.04  | Algoritmi i sistemi upravljanja.   | LAB VIEW |
| IX nedjelja   | 11.04 | Sekvencijalni sistemi automatskog upravljanja, PLC –programabini logički kontroleri. | LAB VIEW |
| X nedjelja    | 18.04 | Distribuirani sistemi AU. SCAD-a sistemi.  |          |
| XI nedjelja   | 25.04 | Komunikacije u SAU Pouzdanost SAU. Uticaj šumova i smetnji na SAU.                   |          |
| XII nedjelja  | 9.05  | Elektronski izvori napajanja. Konstrukcija i mehanika SAU.                           |          |
| XIII nedjelja | 16.05 | Sistemi za rad u realnom vremenu.  |          |
| XIV nedjelja  | 23.05 | <b>Završni ispit.</b>  |          |
| XV nedjelja   | 30.05 | Popravni kolokvijumi   |          |
| XVI nedjelja  |       | <b>Završni ispit</b>   |          |

## OPTEREĆENJE STUDENATA

### Nedjeljno

4.5 kredita x 40/30 = 6 sati

#### Struktura:

2 sata predavanja

1 sat računskih vježbi

30 minuta laboratorijskih vježbi

2 sata i 30 minuta samostalnog rada, uključujući konsultacije

### U toku semestra

Nastava i završni ispit: (6 sati) x 16 = 96 sati

Neophodne pripreme prije početka semestra (administracija, upis, ovjera)

2 x (6 sati) = 12 sati

**Ukupno opterećenje za predmet**  
4.5x30 = 135 sati

**Dopunski rad** za pripremu ispita u popravnom ispitnom roku, uključujući i polaganje popravnog ispita od 27 sati.

#### Struktura opterećenja:

96 sati (Nastava)+12 sati (Priprema)+27 sati (Dopunski rad)

## *Oblici provjere znanja i ocjenjivanje:*

|  |            |
|--|------------|
| Laboratorijske vježbe<br>+<br>LabView test | 20 bodova  |
| Kolokvijum                                 | 40 bodova  |
| Završni ispit                              | 40 bodova. |

Prelazna ocjena se dobija ako se kumulativno sakupi najmanje 50 bodova.

## CILJ PREDAVANJA

- Razumijevanje uloge upravljanja u inženjerstvu
- Upoznavanje sa ključnim idejama i konceptima Dinamike i POVRATNOM SPREGOM – Feedback
- Osnovni elementi regulacionoj konturi
- Upoznavanje sa relevantnom matematičkom teorijom
- Sposobnost rješavanja prostih problema upravljanja
- Prepoznavanje problema upravljanja

Što je automatika danas?

Automatsko upravljanje  
+  
(Procesno) računarstvo  
+  
Komunikacione tehnologije

Sinergija automatike (Control), računarstva (Computing) i komunikacija (Communication): C3 složeni međusobno povezani sistem



AUTOMATIKA

Centralni problem u upravljanju je da se pronade tehnički ostvarljiv način kako da se djeluje na dati proces tako da njegovo ponašanje bude što je moguće bliže nekom željenom.

Osim toga, ovo aproksimativno ponašanje treba da se postigne u prisustvu nekih neodređenosti procesa i nekontrolabilnih spoljašnjih poremećaja koji djeluju na proces.

## Elementi sistema automatskog upravljanja

Opšta razmatranja

Strukture i modeli sistema automatskog upravljanja

Tehničke karakteristike SAU

Identifikacija objekta i sistema upravljanja

Elementi sistema automatskog upravljanja

Mjerni pretvarači

Aktuatori i izvršni organi

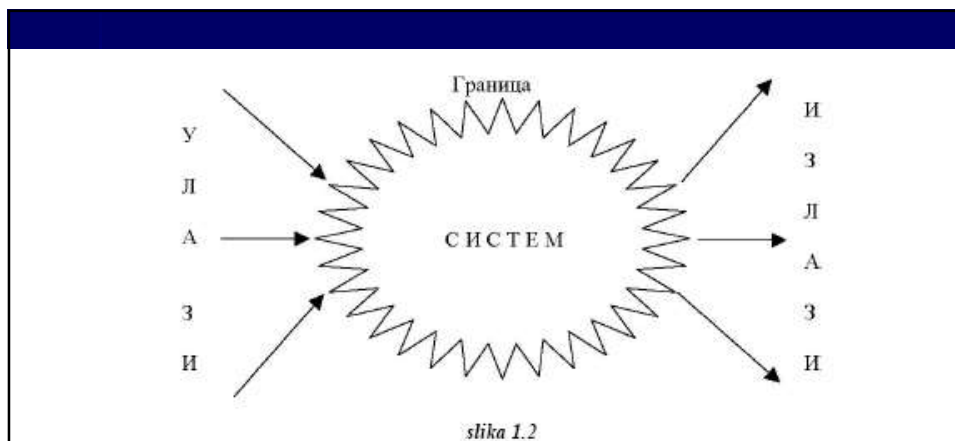
Komunikacije u SAU i kondicioniranje i filtriranje signala

Distribuirani SAU

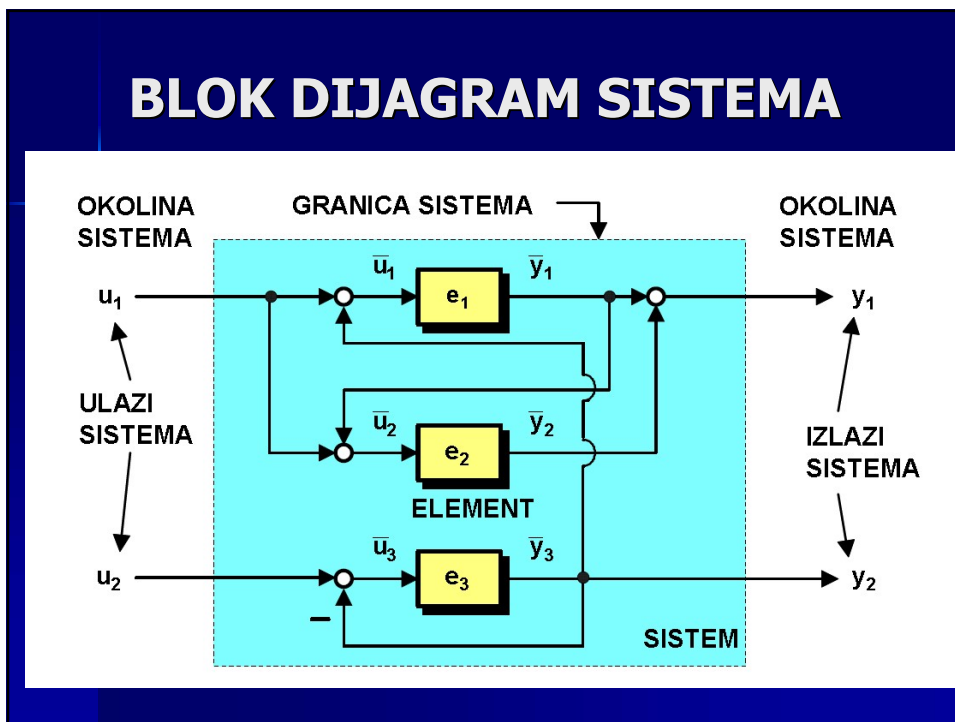
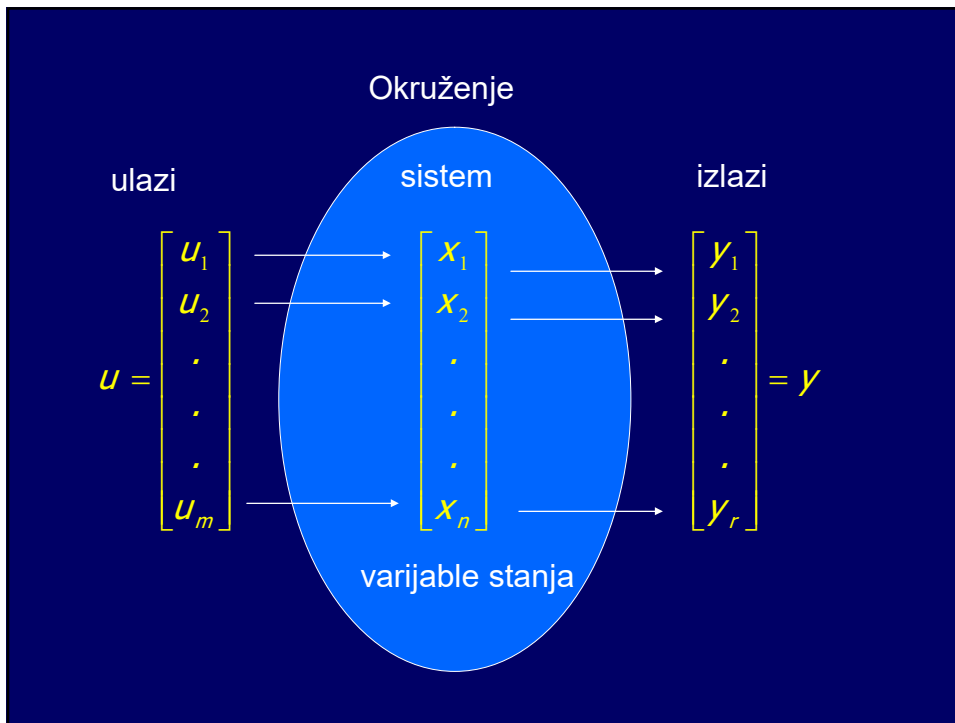
**Postrojenje** je skup opreme ili mašina koje funkcionišući zajedno, obavljaju neku operaciju.

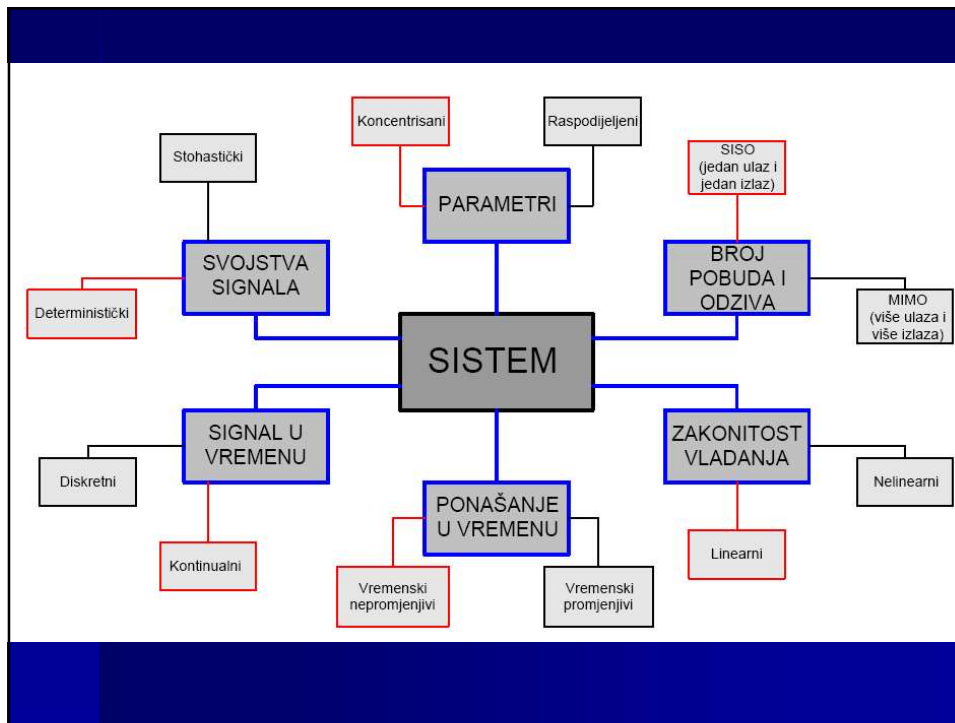
**Proces** je progresivna neprekidna operacija koja sadrži niz kontrolisanih djelovanja ili kretanja usmjerenih prema određenom rezultatu ili kraju.

**Sistem** je skup međusobno zavisnih elemenata obrazovanih radi postizanja određenog cilja posredstvom izvršavanja određenih funkcija. Smatra se da je sistem odvojen od okoline i ostalih spoljnih sistema zamišljenom zatvorenom površi koja presijeca veze između njih i posmatranog sistema.



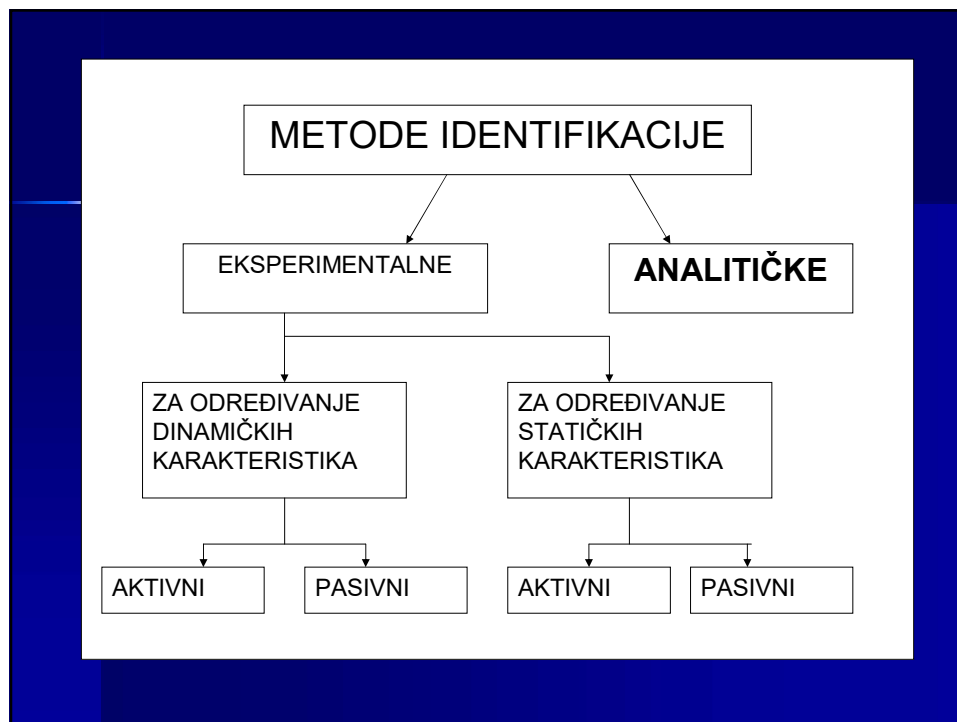
**Sistem je skup međusobno zavisnih elemenata obrazovan radi postizanja određenog cilja posredstvom izvršavanja određenih funkcija.**





## IDENTIFIKACIJA

- Da bi ostvarili osnovnu ulogu sistema automatskog upravljanja potrebno je identifikovati objekat upravljanja odnosno proces koji želimo da upravljamo.
- Zadatak identifikacije je da se na odgovarajući način prikažu veze između ulaza i izlaza sistema



## MATEMATIČKI MODEL ELEMENATA I SAU

Klasične metode formalnog opisa linearnih sistema koje se najčešće koriste su:

**metod funkcije prenosa,  
metod impulsnog odziva,  
blok dijagrami,  
metod teorije grafova, i mnoge druge.**

Opisivanje ovih sistema vrši se ulazno – izlaznim relacijama. Opisivanjem funkcijama prenosa, zanemaruje se postojanje početnih uslova. No i pored toga funkcije prenosa pogodne su za analizu u frekventnom domenu i za analizu stabilnosti sistema.

Alternativni metod opisivanja linearnih, nelinearnih i nestacionarnih sistema je metod prostora stanja.



- Identifikacija objekta upravljanja ili sistema upravljanja znači rješavanje problema izgradnje matematičkog modela dinamičkih sistema bazirano na razmatranjima podataka o i iz sistema.
- Modeli mogu biti više ili manje formalne prirode, ali njihova osnovna karakteristika je da oni omogućavaju da se opservacije o njima organizuju i strukturiraju u neki skup podataka u vidu parametara ili stanja sistema.
- Cilj je da se iznesu osnovne metode i alati identifikacije objekta / procesa upravljanja kako bi se objekat upravljanja identifikovao (struktura, parametri, varijable stanja...), a za potrebe projektovanja SAU.

- Kada se identifikuje objekat upravljanja, njemu se pridružuju odgovarajući senzori i mjerni pretvarači (varijabli stanja i smetnji) i biraju se odgovarajući izvršni organi i aktuatori za promjenu upravljanih veličina.
- Upravljačka struktura se onda projektuje i sintetizuje tako da se zadovolje određene tehničke specifikacije i funkcionalne karakteristike.

- Jednom kada se identifikuje objekat upravljanja odaberu se senzori i aktuatori, jedini stepen slobode koji ostaje da se poprave performanse SAU, je na upravljačkoj strukturi ili regulatoru.

Osnovna svrha modeliranja u automatici je:

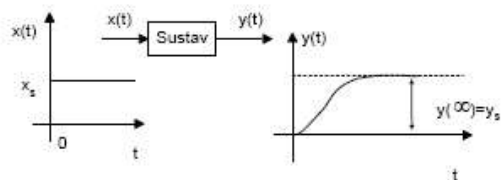
- analiza sistema upravljanja
- sinteza sistema upravljanja

Za uspješno projektovanje sistema upravljanja (regulatora) i njegovu analizu i sintezu neophodno je dobro poznavanje ponašanja procesa kao dinamičkih sistema

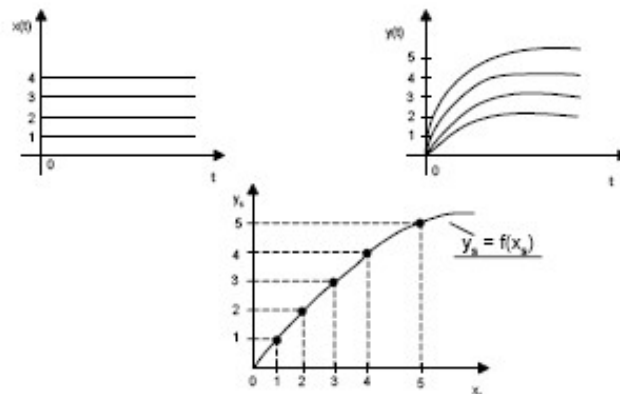
• Ponašanje procesa matematički se izražava matematičkim modelom:

- **stacioniranim** - opisuje ponašanje sistema u stacionarnom (ustaljenom, ravnoteženom) stanju
- **dinamičkim** - opisuje ponašanje sistema pri prelazu iz jednog stanja u drugo stanje, tj. pri prijelazu iz jedne radne tačke u drugu; brzina prelaza zavisi od karakteristika sistema (broju i veličini skladišta energije) i o pobudnom signalu koji djeluje na ulaz procesa

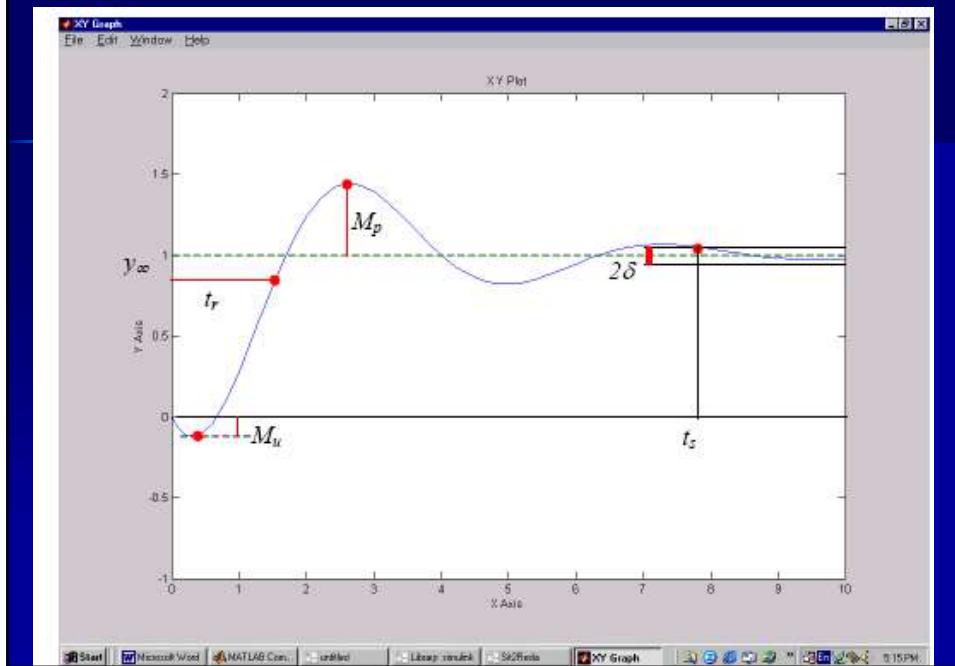
#### STATIČKE KARAKTERISTIKE



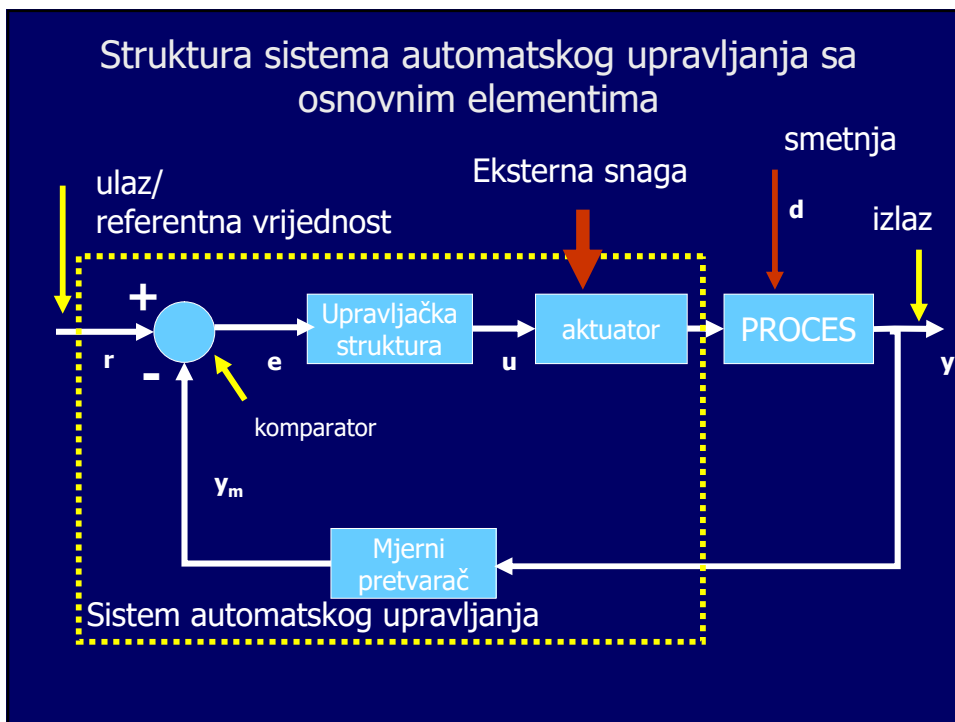
Za različite vrijednosti  $x_s = \text{konst.}$  imamo:

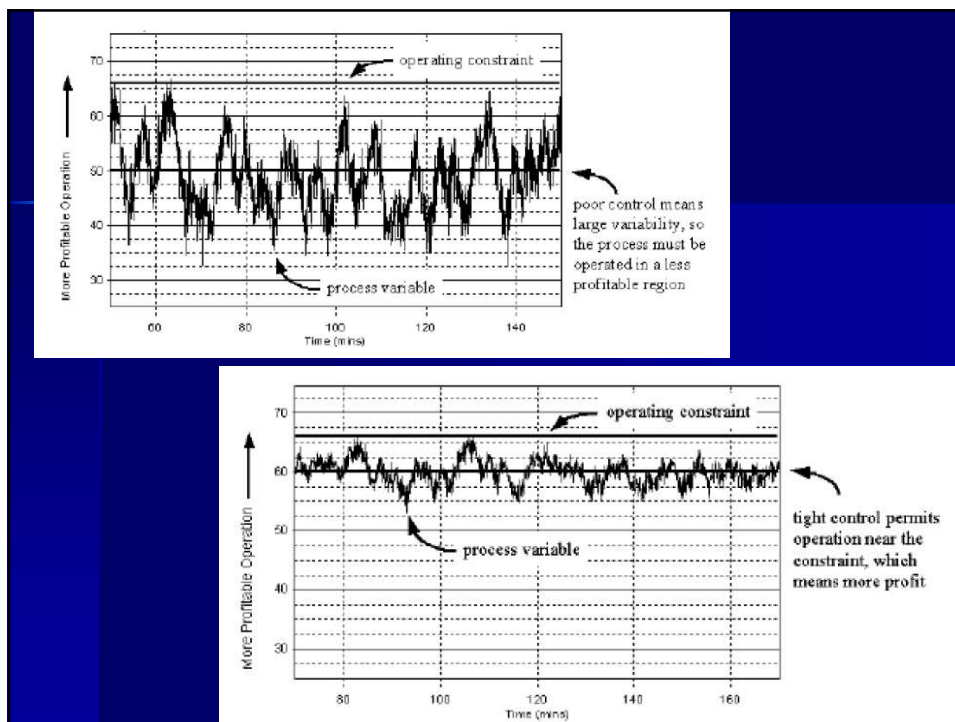


## DINAMIČKE KARAKTERISTIKE

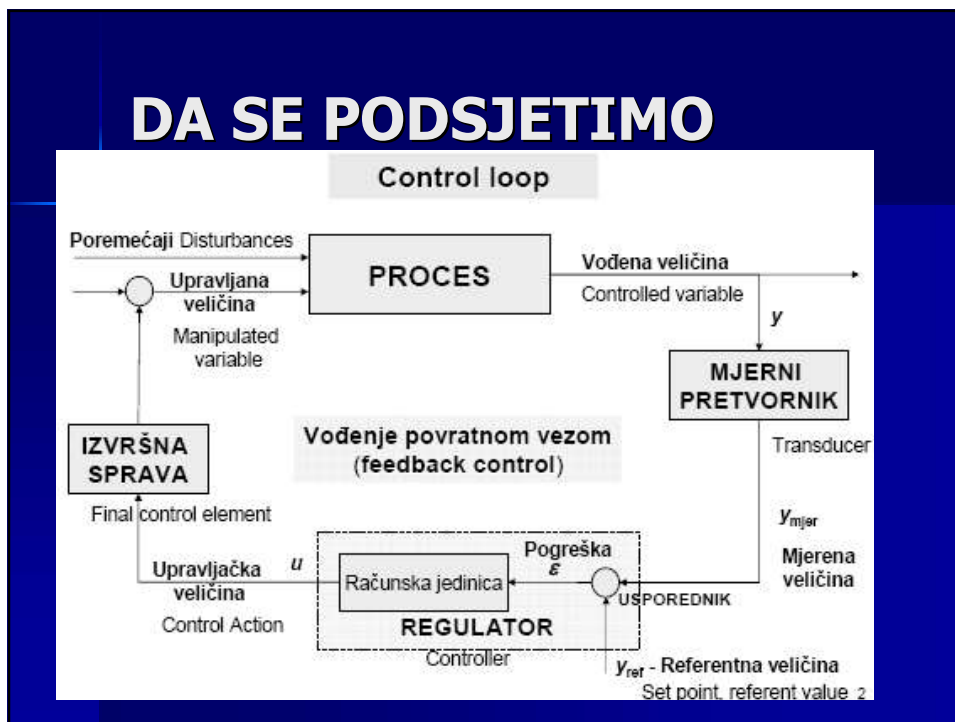


## Struktura sistema automatskog upravljanja sa osnovnim elementima





## DA SE PODSJETIMO



**Zadata vrijednost** označava željenu vrijednost koju SAU treba da obezbijedi/održava.

**Transdjuser (Transducer)** je oprema koja transformiše jednu fizičku veličinu u drugu upotrebljivu za mjerenje.

**Mjerni pretvarač ili transmitter** je transdjuser koji daje odziv na mjerenu varijablu pomoću senzora i konvertuje tu varijablu u standardizovani signal, pri čemu je taj signal samo funkcija mjerene varijable.

**Senzor (davač)** je element koji kvantitativno konvertuje energiju mjerene varijable u formu podesnu za mjerenje

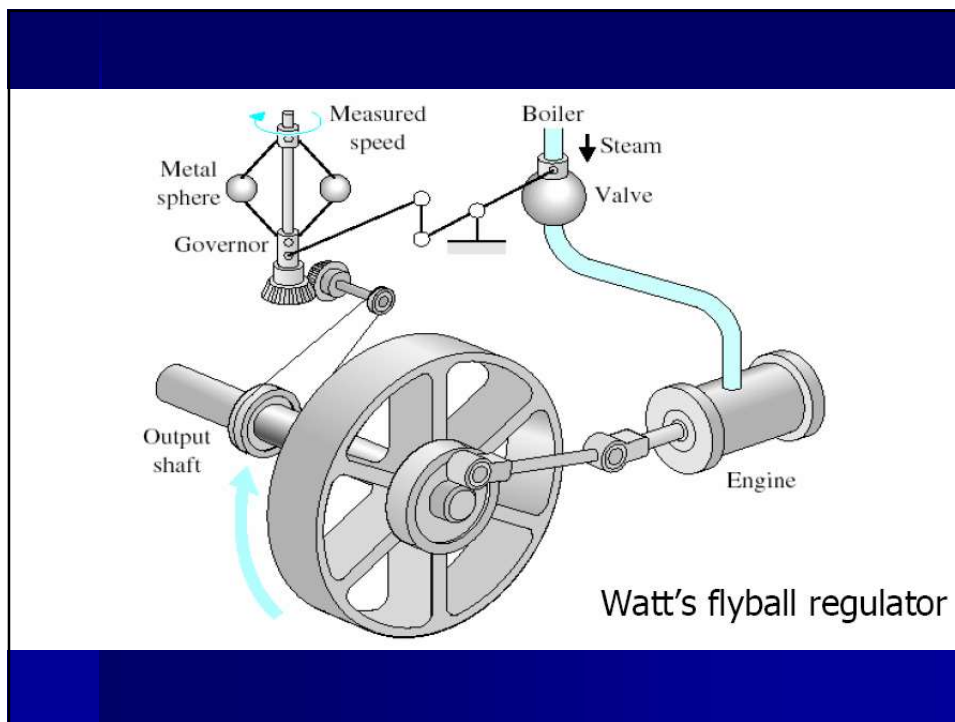
**Izvršni organ** je element direktne grane SAU kojim se neposredno mijenja izvršna veličina. Izvršni organ mijenja tok energije ili materijala kroz objekat upravljanja u cilju dostizanja određenih radnih stanja (režima).

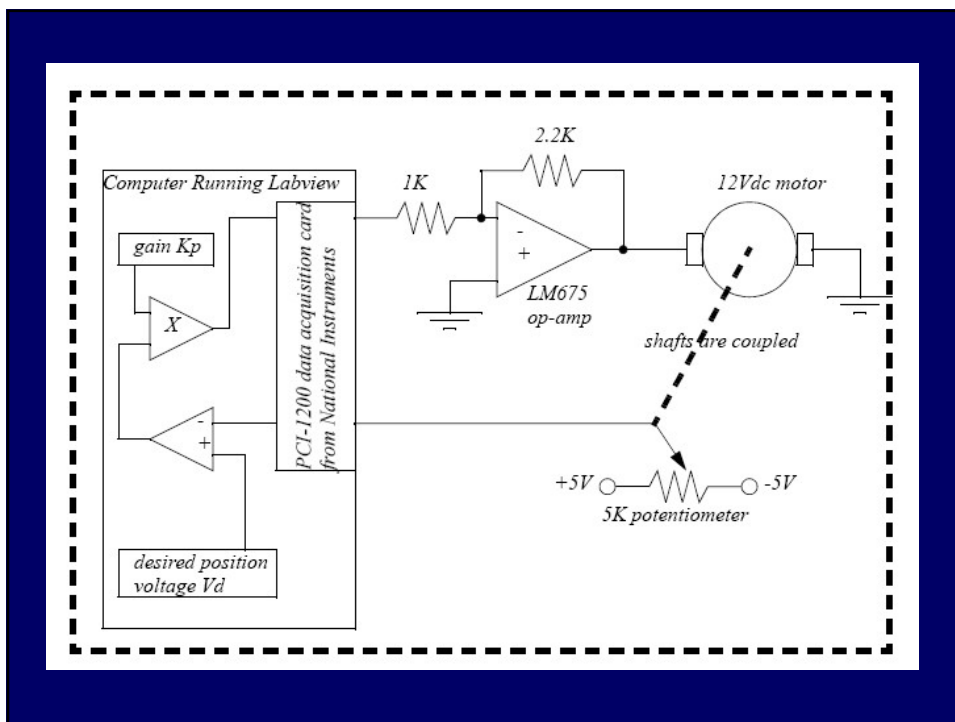
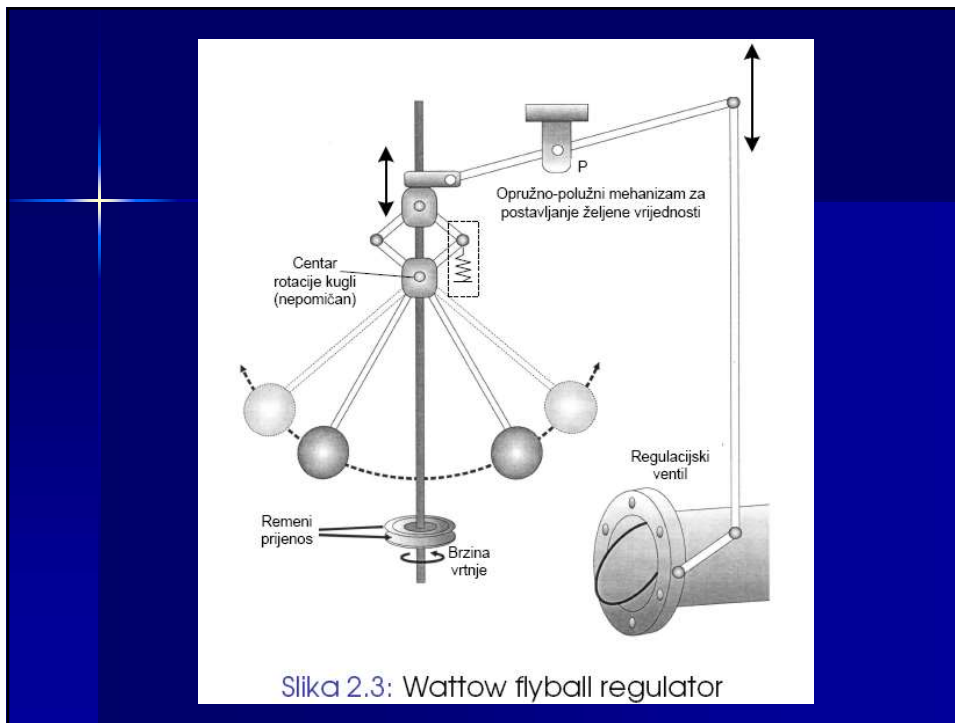
**Aktuator (Izvršni mehanizam)** je izvršni organ mehaničkog tipa. Izvršni mehanizam se obično sastoji iz mehaničkog uređaja kojim se mijenja upravljana veličina (ventil, klapna, leptirica,...) i pogonskog uređaja (solenoid, servomotor,...) koji mogu, ali ne moraju, biti izvedeni kao jedinstvena konstrukciona cjelina. Ulaz u aktuator je signal iz regulatora, a izlaz pokreće izvršni organ.

**Signal** je mjerljiva veličina čiji jedan ili više parametara nose informaciju o jednoj ili više veličina koje signal predstavlja.

**Smetnja** je uticaj na proces ili upravljanje koji u opštem slučaju nije predvidiv osim na statistički način. Sistem upravlja kompencira takvu smetnju bilo njenim direktnim mjerenjem ili detektovanjem njenog uticaja na izlaz sistema redukujući njene efekte regulatorom ili aktuatom (eksterne ili interne).

**Interface (Međusprega)** je oprema/uređaj koja vrši impedansno i druga prilagođenja između raznih elemenata na prenosnom putu signala unutar SAU. (A/D interface prilagođava analogne signale koje diskretizuje da bi ove mogao da prihvati računar i dalje obrađuje).







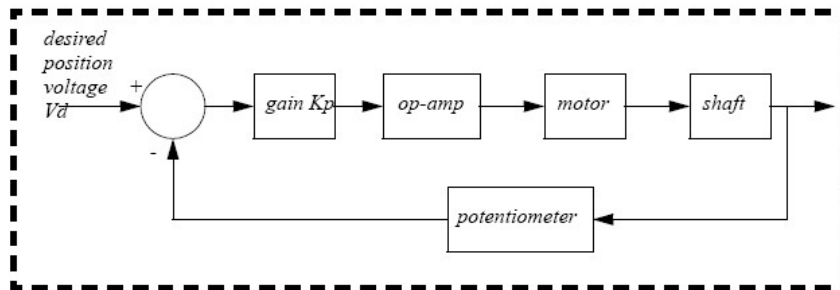
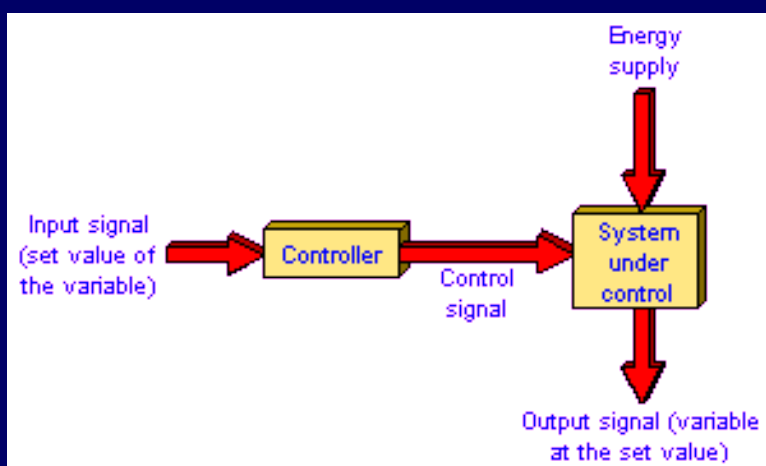
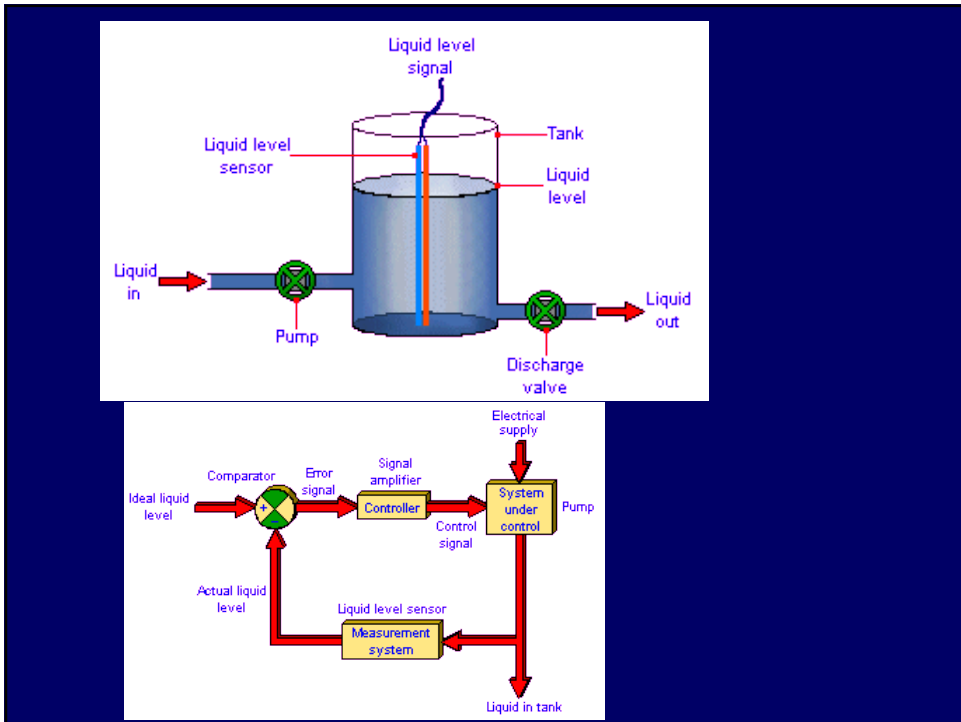
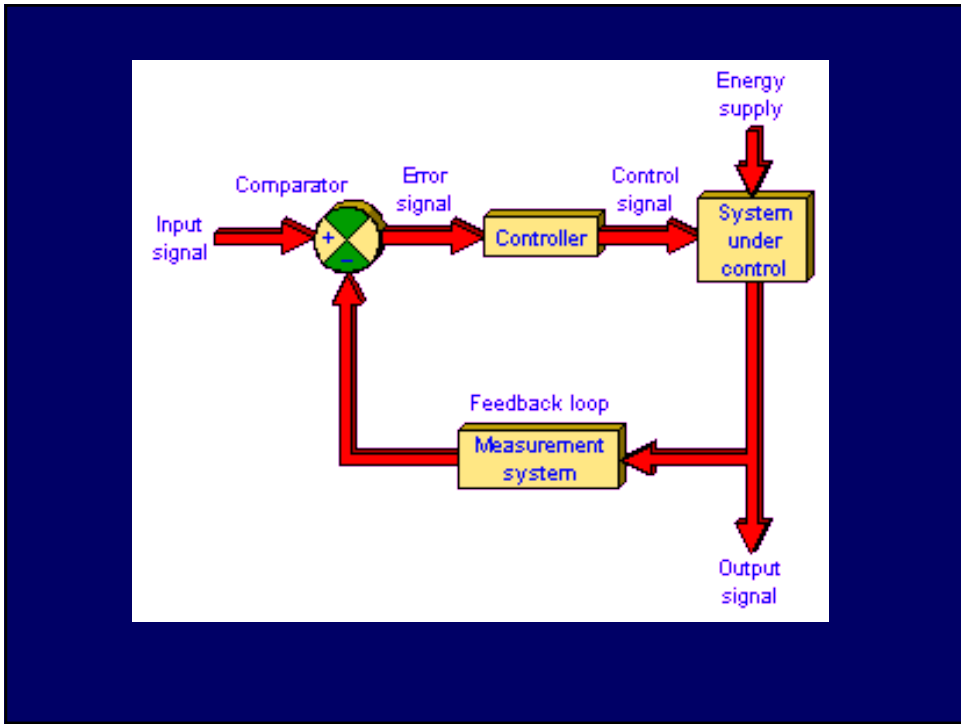


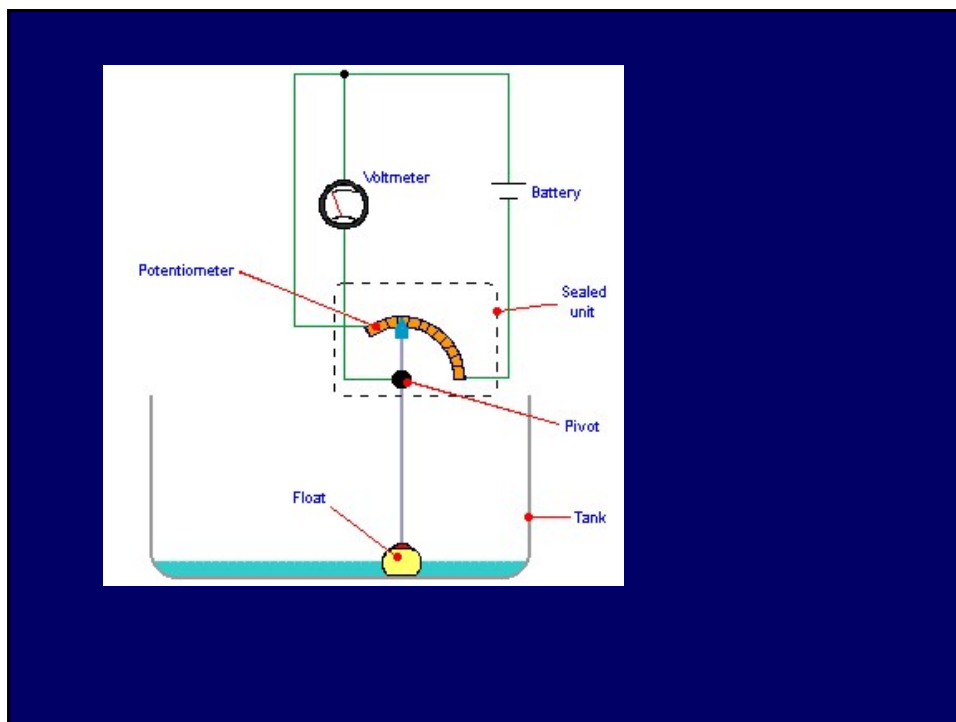
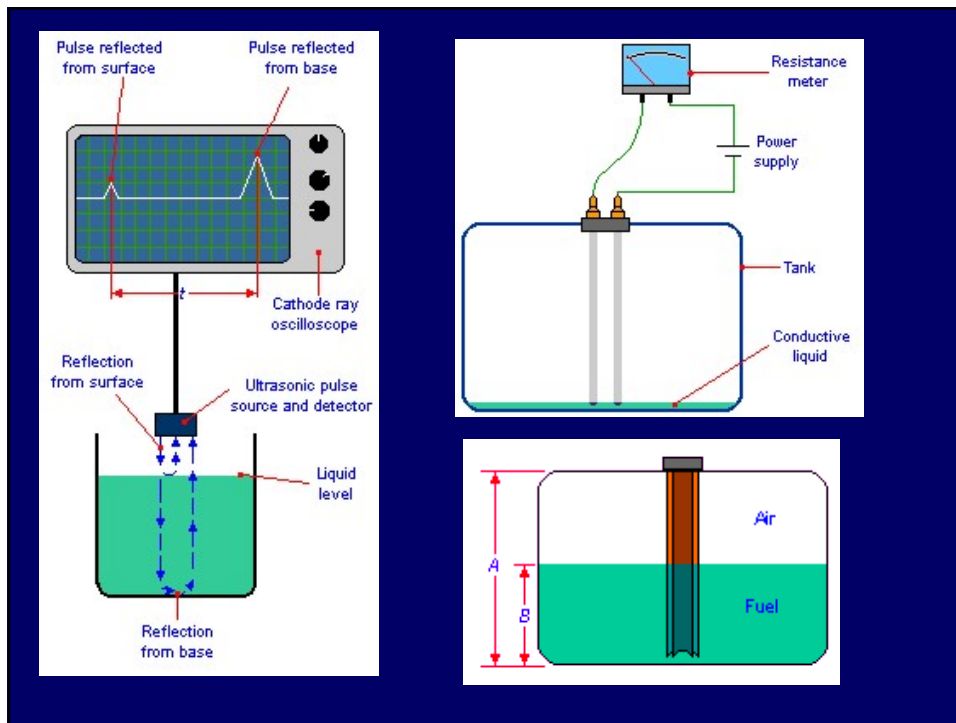
Figure 8.20 A block diagram for the feedback controller

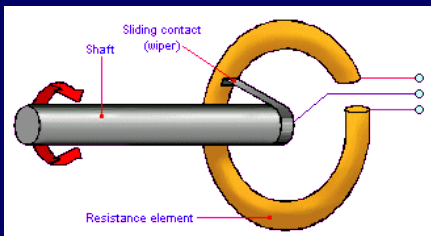
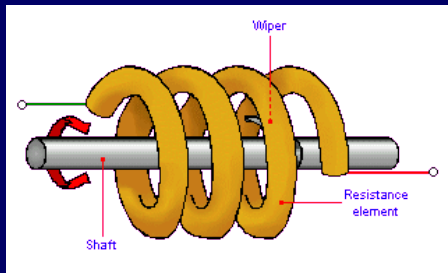
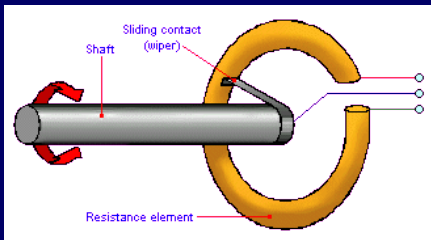
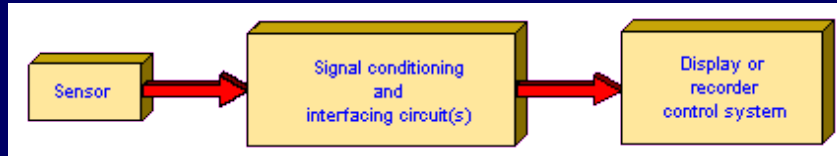
Mjerenje izlaza objekta upravljanja i njegovo vraćanje na ulaz sistema sa ciljem da se redukuje ili dostigne zadata vrijednost naziva se "zatvaranje konture". Za stabilizaciju sistema se koristi negativna povratna sprega.

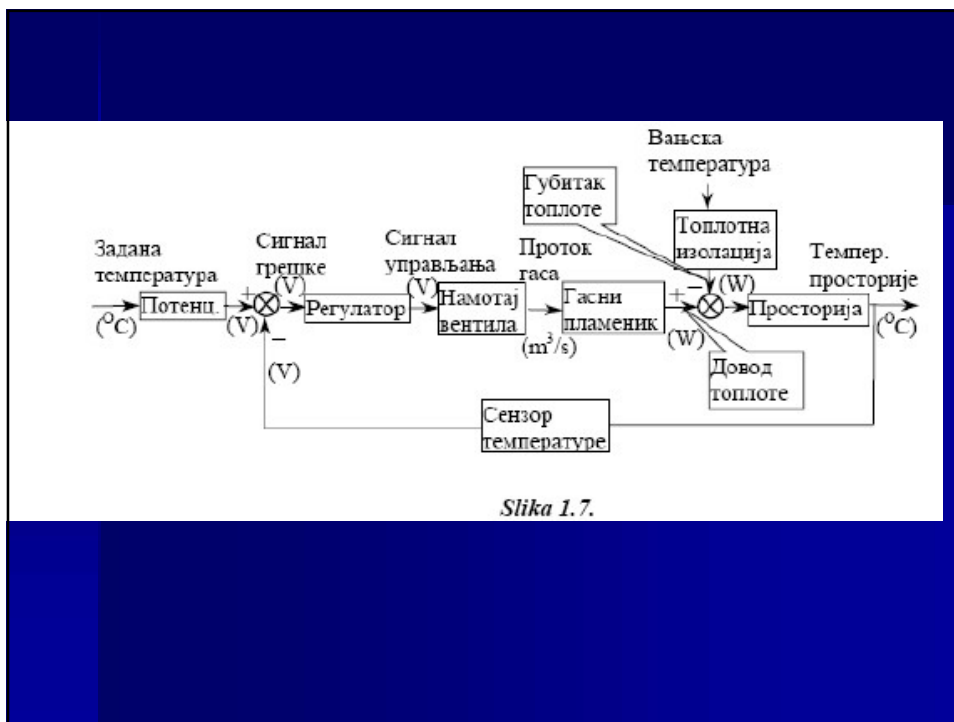
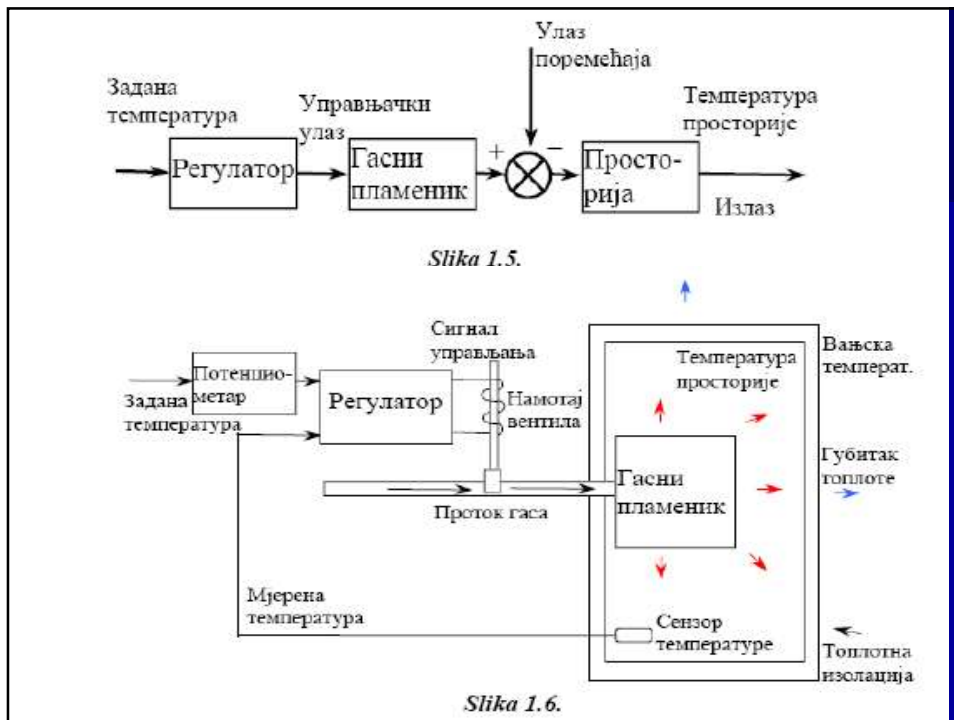


Upravljanje bez povratne sprege ne koristi informaciju (mjerjenja) o upravljanim veličinama



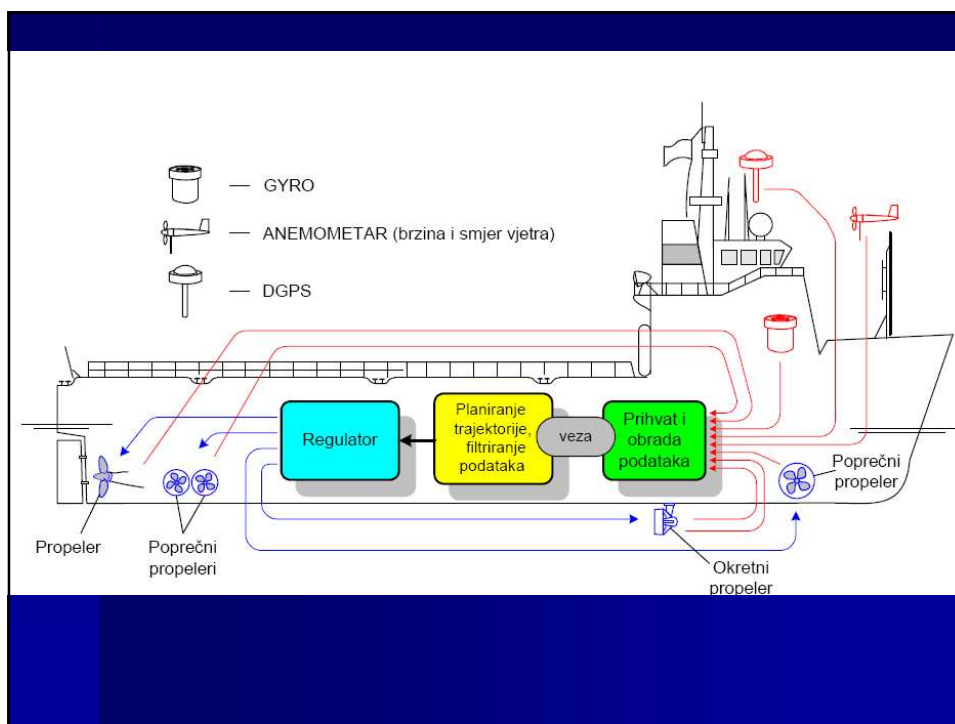








Sl. 1.8 prikazuje opšti blok dijagram za sistem u zatvorenoj sprezi, ili sistem upravljanja u zatvorenoj sprezi (eng. *feedback control system*). Regulator i objekat se nalaze u direktnoj putanji toka informacija (signala), a senzor je u povratnoj putanji (vezi). Izmjerena vrijednost izlaza objekta se poredi u tački sumiranja sa željenom vrijednošću. Razlika, ili greška, se vodi u regulator koji generiše upravljački signal koji djeluje na objekat dok se njegov izlaz ne izjednači sa željenom vrijednošću. Ovakav pristup se nekada naziva sistem upravljanja po grešci.





**Upravljanje** je dejstvo na sistem ili u sistemu usmjereno na postizanje određenog cilja.

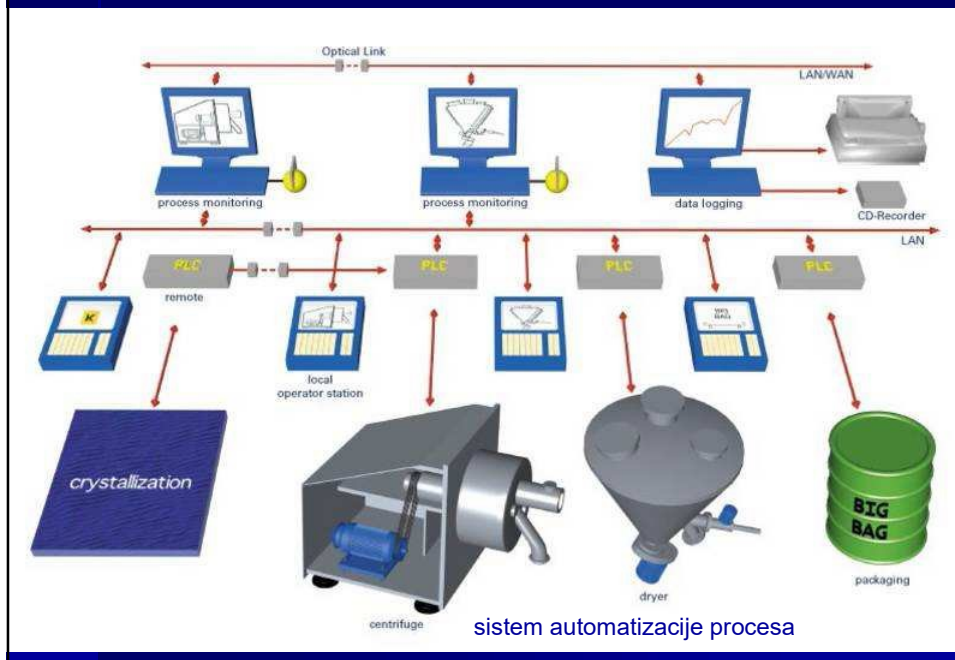
Ručno upravljanje je upravljanje koje zahtijeva direktno ili indirektno djelovanje čovjeka na izvršni uređaj.

Prateće upravljanje je upravljanje sa povratnom spregom čiji je cilj mjerenje upravljane veličine tako da ona prati zadatu veličinu.

Programsko upravljanje je upravljanje koje se izvršava prema programu koji propisuje dejstva na sistem samo kao funkciju vremena.

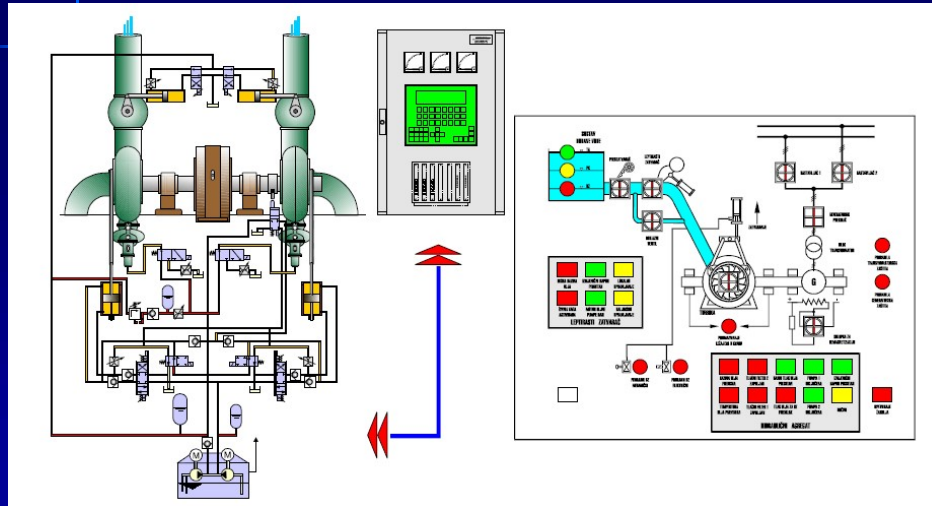
Sekvencijalno upravljanje je upravljanje koje se izvršava prema redosledu programa koji određuje dejstvo na sistem po unapred određenom redosledu. Pri tome neka dejstva zavise od izvršenja prethodnih dejstava ili od ispunjenja određenih uslova.

## Neki primjeri tehničkih sistema





## TEHNIČKI SISTEM - HIDROELEKTRANA

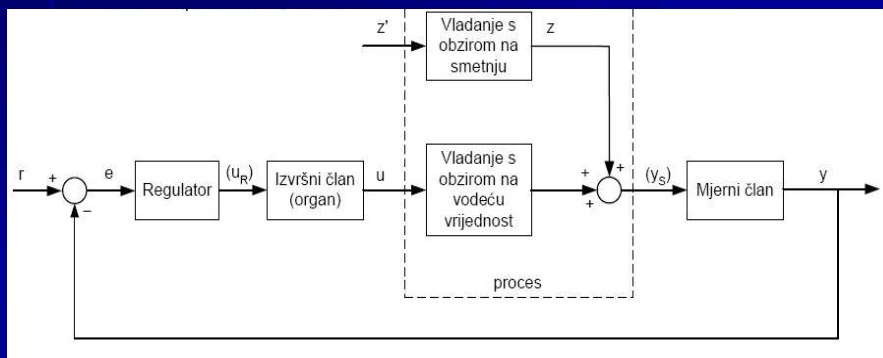


Upravljanje sa povratnom spregom je ono upravljanje koje, u prisustvu smetnji, teži da smanji razliku između izlaza sistema i zadatog ulaza. Pri tome, ovdje se radi o nepredvidivim smetnjama budući da je poznate smetnje uvijek moguće kompenzovati.

## Osnovna struktura sistema upravljanja

Regulaciona petlja sadrži 4 glavna osnovna dijela:

- proces
- mjerni element
- regulator
- izvršni element



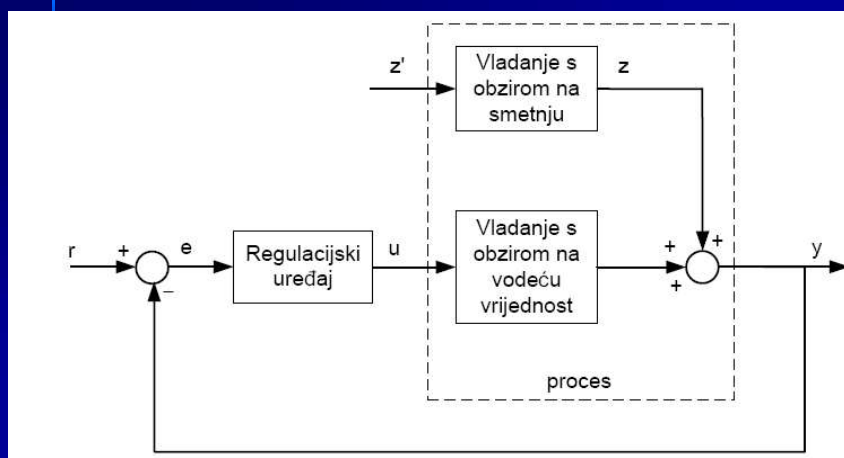
## Važne veličine regulacione petlje

- $y$  – regulisana veličina (stvarna vrijednost)  
(*engl.* Controlled variable)
- $r \hat{=} w$  – referentna veličina (referenca)  
(*engl.* reference value)
- $e$  – regulaciono odstupanje (*engl.* control error)
- $u$  – upravljačka, izvršna veličina  
(*engl.* manipulated variable)
- $z$  – smetnja, poremećaj (*engl.* disturbance)

Povratna sprega – Mjerenje izlaza objekta upravljanja i njegovo vraćanje na ulaz sistema u regulator sa ciljem da se redukuje i dostigne zadata vrijednost zove se "zatvaranje konture". Sistem u otvorenom nema povratne sprege. Obično se koristi negativna povratna sprega za stabilizaciju sistema. Ponekad, za pojačanja u konturi koristi se pozitivna povratna sprega, ali to vodi sistem u nestabilno stanje. Signal povratne sprege bitan je za sisteme automatskog upravljanja (SAU) i od njegove tačnosti zavisi tačnost održavanja izlazne veličine na zadatoj vrijednosti.

### Pojednostavljena struktura sistema upravljanja

- Često nije moguće regulacionu petlju podijeliti u 4 navedena dijela, pa se koristi pojednostavljena blok-šema:



## Regulator

- Suštinska je uloga regulatora da obrađuje regulaciono odstupanje:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

po određenom algoritmu (zakonu upravljanja):

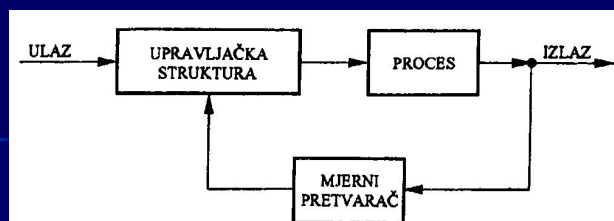
$$u = f(e(t))$$

djelujući preko izvršnog elementa na proces (zatvoreni tok signala).

- Smetnja je uticaj na proces ili upravljanje koji u opštem slučaju nije predvidiv osim na statistički način. Sistem upravljanja kompenzuje takvu smetnju bilo njenim direktnim merenjem ili detektovanjem njenog uticaja na izlaz sistema redukujući njene efekte regulatorom ili aktuatorom.

- Aktuator je izvršni organ mehaničkog tipa. Izvršni mehanizam se obično sastoji iz mehaničkog uređaja kojim se mijenja upravljačka veličina i pogonskog uređaja koji mogu, ali ne moraju, biti izvedeni kao jedinstvena konstrukcijska celina. Ulaz u aktuator je signal iz regulatora, a izlaz pokreće izvršni organ.

- Izvršni organ je element direktne grane SAU kojim se neposredno mijenja izvršna veličina. Izvršni organ mijenja tok energije ili materijala kroz objekat upravljanja u cilju dostizanja određenih radnih stanja.



*Sl. 1.8 Sistem upravljanja s povratnom spregom*

Prednost sistema s povratnom spregom je što ovi sistemi upravljanja koriste povratnu spregu koja omogućava da odziv sistema bude relativno neosjetljiv na eksterne smetnje i u izvjesnoj mjeri, na varijacije parametara sistema. Zbog toga, osim mjernog pretvarača, koji mora biti visoke tačnosti, ostali elementi sistema upravljanja mogu biti relativno manje tačnosti i jeftiniji, da se dobije dovoljno tačan izlaz. Ovo je nemoguće ostvariti korišćenjem sistema upravljanja bez povratne sprege.

## **SISTEM UPRAVLJANJA BEZ POVRATNE SPREGE**

To je sistem upravljanja kod kojeg upravljačko dejstvo ne zavisi od izlazne varijable. Kod ovog sistema izlazna varijabla se ne mjeri i ne upoređuje sa ulaznom varijablom.

Praktičan primjer sistema bez povratne sprege je veš – mašina. Natapanje, pranje i cijeđenje u veš – mašini vrše se na vremenskoj osnovi. Mašina ne mjeri izlazni signal – čistoću u rublju koje pere.

U bilo kom sistemu upravljanja bez povratne sprege, izlazna varijabla ne upoređuje se sa referentnim ulazom, slika 1.7.



*Sl. 1.7 Sistem upravljanja bez povratne sprege*

Svakom referentnom ulazu odgovaraju fiksni radni uslovi. Radi toga, tačnost sistema zavisi od kalibracije. U prisustvu smetnje, ovaj sistem neće izvršiti postavljeni zadatak.

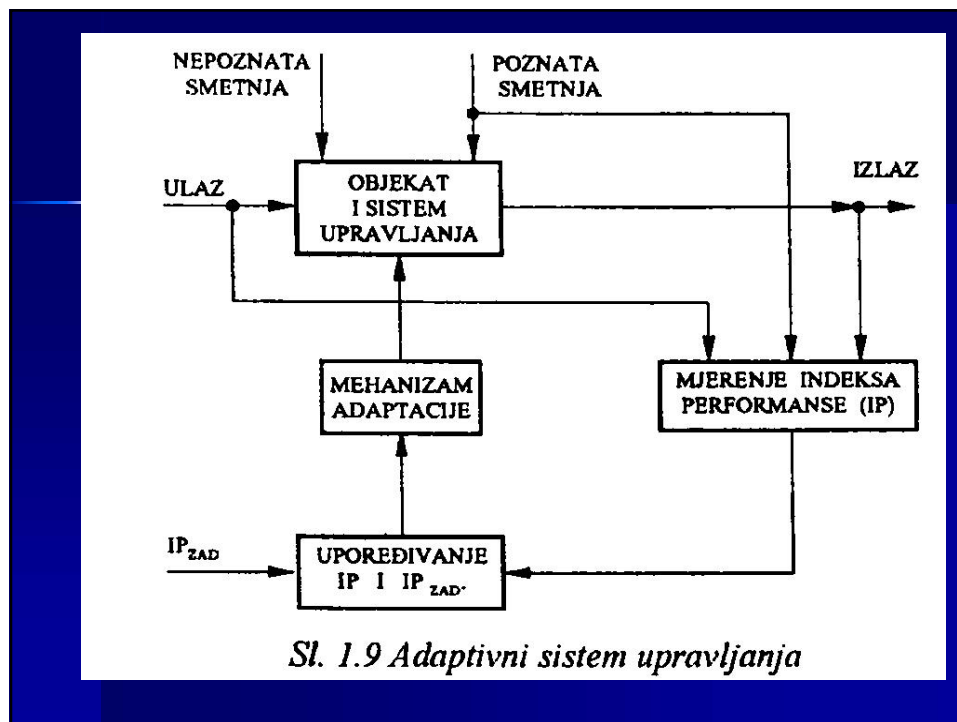
Sa gledišta stabilnosti, sisteme upravljanja bez povratne sprege lakše je sintetizovati jer je kod njih problem stabilnosti manje izražen.

Problem stabilnosti sistema upravljanja sa povratnom spregom mnogo je više izražen; težeći da se smanji greška, može doći do pojave oscilacija konstantne ili promjenljive amplitude.

## *ADAPTIVNI SISTEMI UPRAVLJANJA*

Jedna od najčešće korišćenih definicija glasi:

Adaptivni sistem upravljanja određuje (mjeri) indeks performanse, korišćenjem ulaza, izlaza i stanja upravljanog sistema i na bazi upoređivanja vrijednosti indeksa performanse sa njegovom zadatom vrijednošću, mijenja parametre podesivog sistema ili generiše na ulazu upravljačke signale sa ciljem da indeks performanse održi na zadatoj vrijednosti ili u njenoj okolini.



Dinamičke karakteristike većine sistema upravljanja nisu postojane iz više razloga, kao što je kvar komponenti sistema ili izmjena parametara i ambijentalnih uslova (npr. promjene u masi i atmosferskim uslovima u slučaju vasijske letjelice).

Mada su efekti određenih promjena na dinamičke karakteristike sistema upravljanja prigušeni uvođenjem povratne sprege, u slučaju značajnih promjena parametara sistema, da bi sistem zadovoljavajuće funkcionisao, on mora imati mogućnost adaptacije. Adaptacija sistema upravljanja podrazumjeva mogućnost samopodešavanja i modifikacije u skladu sa nepredvidivim promjenama parametara objekta upravljanja, ambijentalnih uslova ili strukture objekta. Dakle, sistemi upravljanja koji imaju takvu mogućnost adaptacije nazivaju se adaptivni sistemi upravljanja.



U adaptivnom sistemu upravljanja, dinamičke karakteristike upravljanoj objekta moraju biti identifikovane u svakom trenutku vremena tako da je moguće podešavanje parametara upravljačke strukture (regulatora) s ciljem održavanja željene performanse. Adaptivni sistem upravljanja, saglasno prethodnoj definiciji, dat je na slici 1.9.

- Proces je progresivna neprekidna operacija koja sadrži niz kontrolisanih delovanja ili kretanja usmjerenih sistemski prema određenom rezultatu ili kraju. Svaka operacija koja treba da bude upravljana predstavlja proces.
- Proces je skup postupaka fizičkog ili hemijskog pretvaranja ili niza takvih pretvaranja.
- Transport materijala ili energije kao i prenos informacija mogu se razmatrati kao proces.

- Procesno upravljanje je automatsko upravljanje koje se primjenjuje za upravljanje tehnoloških procesa u procesnoj industriji. Upravljanje varijable su najčešće temperatura, pritisak, protok, diferencijalni pritisak, pH vrijednost, koncentracija, nivo tečnosti, linearni pomjeraj...

