

**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**  
**Departman: Energetika i procesna tehnika**  
**Predmet: MERENJE I REGULISANJE**

**Poglavlje 12:**

# **KONCEPT REGULACIJE PROCESA**

## **deo 1**

---

**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)

# KONCEPT REGULACIJE PROCESA

---

Osnovni razlozi česte upotrebe automatske regulacije procesa u industriji i šire su:

- ▶ Preciznost i ponovljivost operacija koje rezultiraju u boljem kvalitetu, većoj produktivnosti i manjem škartu
- ▶ Radnici koji učestvuju u procesu proizvodnje imaju više vremena za praćenje procesa i održavanje
- ▶ Smanjuju se troškovi proizvodnje povećanjem produktivnosti i smanjenjem učešća ljudskog rada

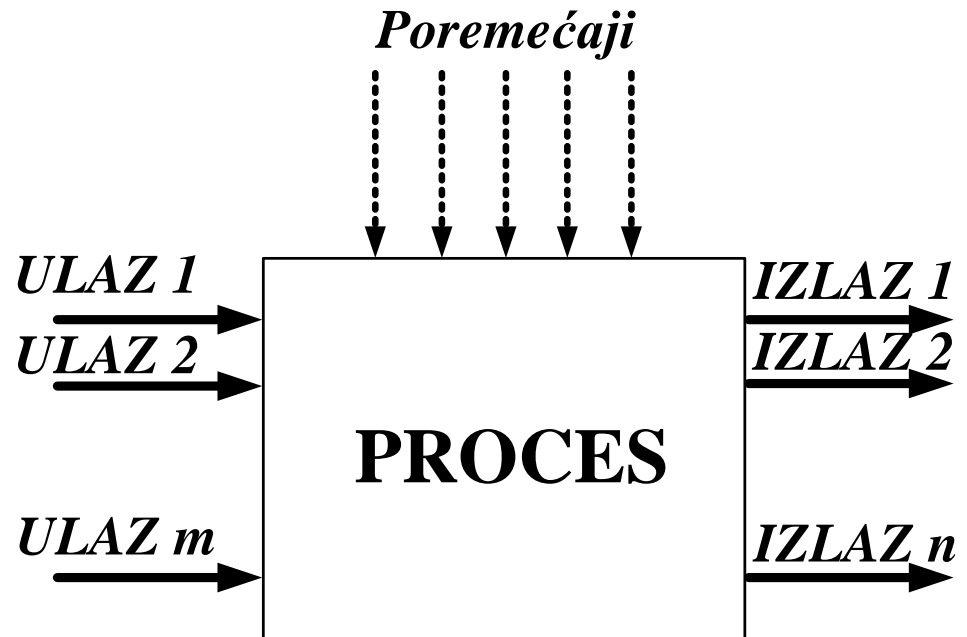
*Sve pomenute prednosti, direktno ili indirektno, doprinose i smanjenju troškova energije i ulazne sirovine procesa.*

# OSNOVE REGULACIJE PROCESA

## Opšta šema procesa

Proces može biti cela ili deo proizvodnog pogona, operacija gde se čine fizičke i/ili hemijske promene nad ulaznim materijalom ili energetska transformacija.

Proces može biti regulacija temperature u nekoj zgradi, toplotni razmenjivač, kotao za proizvodnju zasićene pare itd.



# OSNOVE REGULACIJE PROCESA

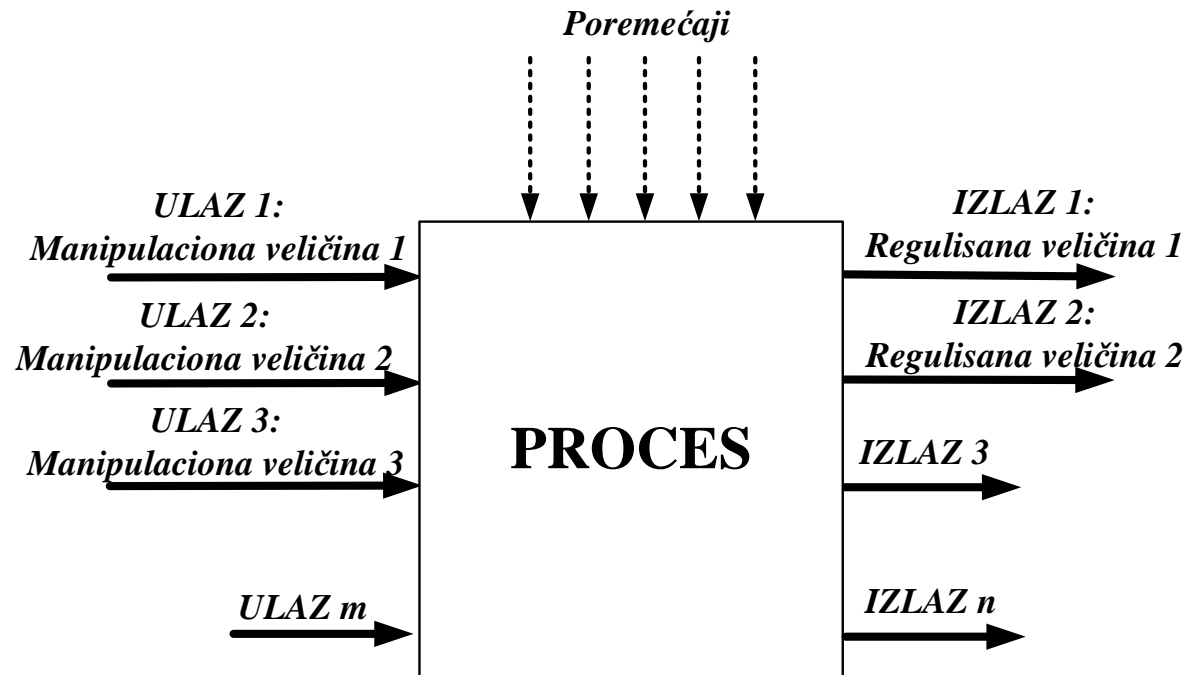
## Uopšteni prikaz regulacionog procesa - pojmovi

**Izlaz ili Izlazi** su veličine koje se regulišu i predstavljaju **regulacionu veličinu ili veličine**, koje je neophodno održavati što je moguće bliže zadatoj vrednosti u toku procesa.

**Ulazne veličine**, koje mogu biti promenljive da bi zadovoljile regulisane veličine i eliminisale poremećaje, nazivaju se **manipulacione veličine**.

**Poremećaji** deluju obično na proces tako što udaljavaju regulisane veličine od zadate vrednosti.

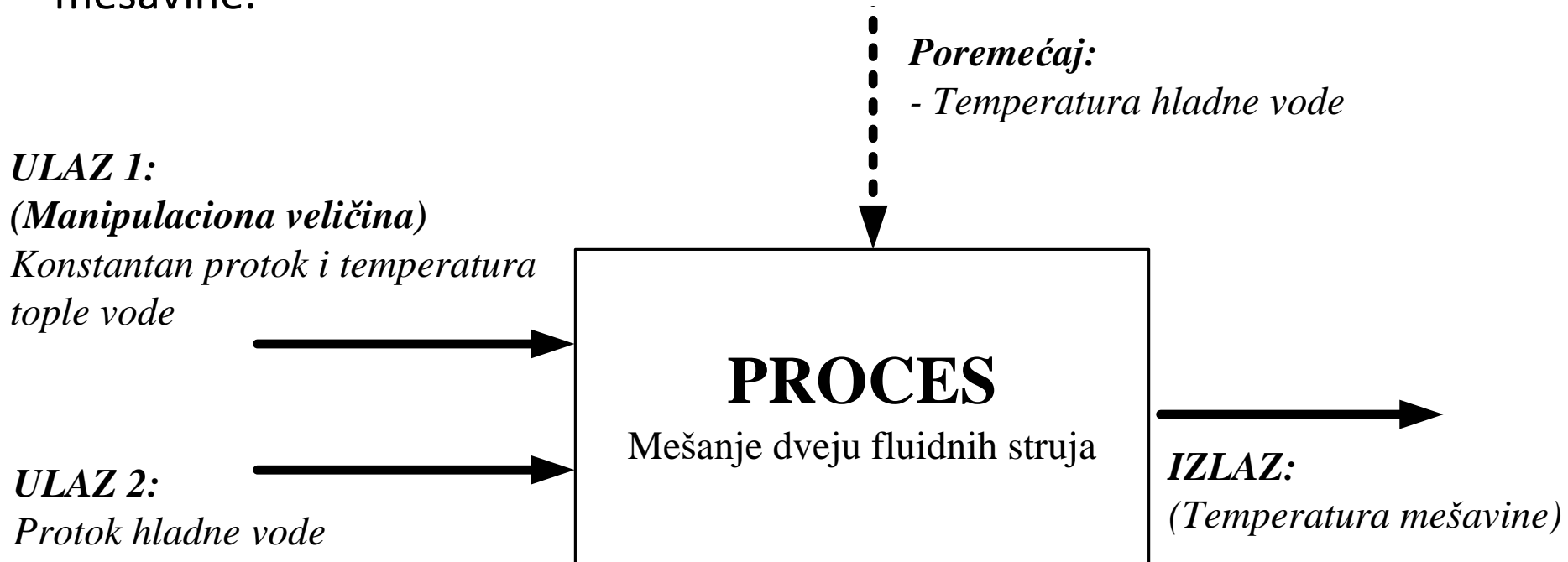
**Zadata vrednost** je željena vrednost regulisane veličine.



# OSNOVE REGULACIJE PROCESA

Regulacija procesa na primeru **mešanja tople i hladne vodene struje**.

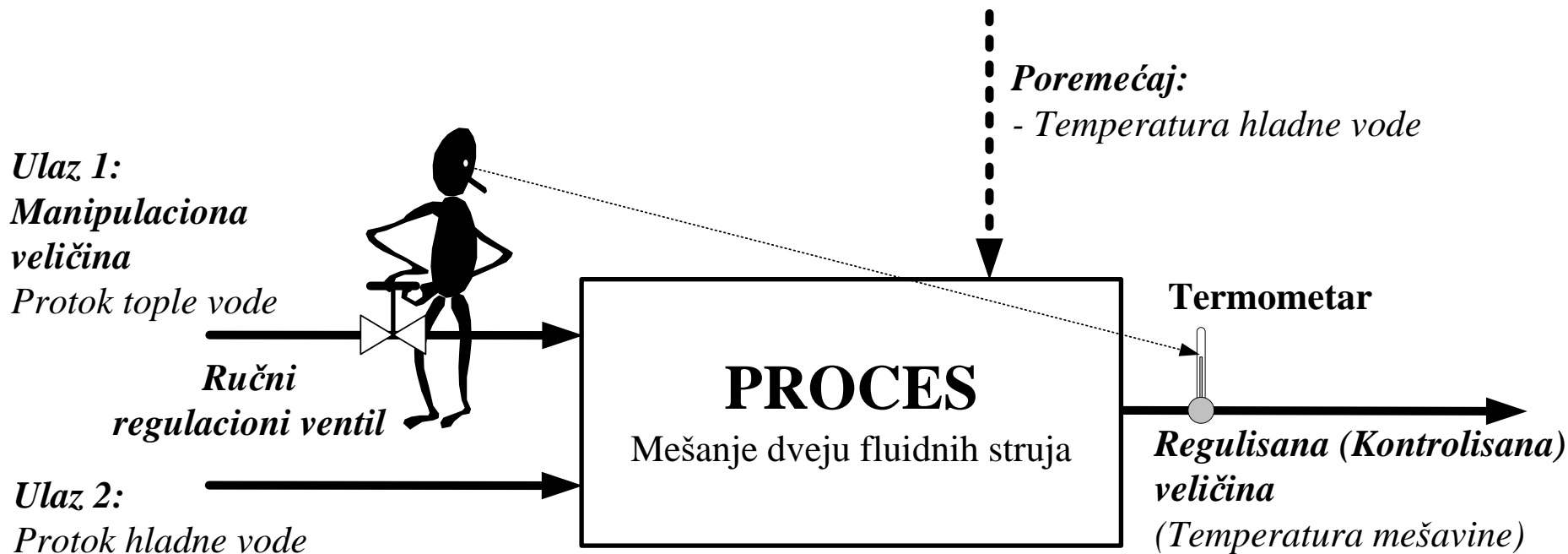
**Cilj procesa** je da mešanjem dveju struja vode različitih temperatura obezbedi vodu zadate temperature. **Poremećaj** u procesu je promenljiva temperatura hladne vode. Protok tople vode je **promenljiva veličina** tako da u kombinaciji sa hladnom vodom obezbeđuje zadatu temperaturu mešavine.



# RUČNA REGULACIJA

Regulacija procesa na primeru **mešanja tople i hladne vodene struje**.

Jedan od metoda koji može biti primenjen za održavanje konstantne temperature mešavine tople i hladne vode jeste **ugradnja termometra na cevovod mešavine i ručnog regulacionog ventila na cevovod tople vode**



# RUČNA REGULACIJA

---

Ručna regulacija izgleda vrlo jednostavno, ali zahteva pažljivo i pouzdano rukovanje ventilom od strane operatora.

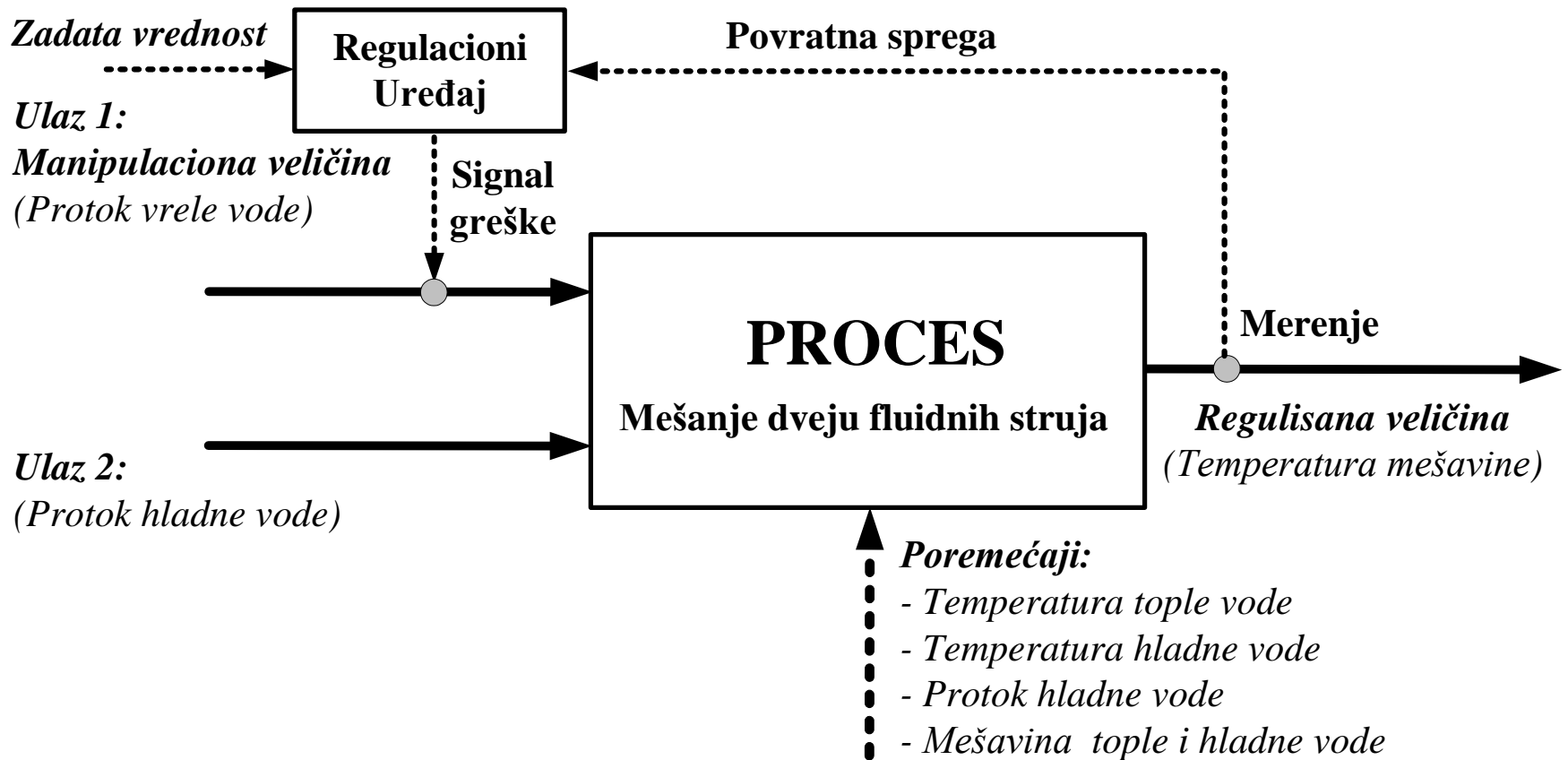
Ručna regulacija **može biti nezadovoljavajuća**, zbog sledećih razloga:

- ▶ Poremećaji mogu biti nepredvidivi po amplitudi i vremenu
- ▶ Operater možda neće imati dovoljno vremena da se koncentriše na poremećaje da bi pravilno korigovao manipulacionu veličinu. To znači da broj i tipovi regulacionih veličina mogu da premaše mogućnosti operatora.
- ▶ “Kašnjenje procesa” može da prouzrokuje zakasnelu reakciju operatora, što uvek rezultira u prevelikoj reakciji. Različito reagovanje operatora na vremensko kašnjenje procesa prouzrokuje nekonzistentnu regulaciju i veliku varijaciju regulisane veličine.
- ▶ Nedostatak pažnje operatora u vremenu promena smene često dovodi do greške u vođenju procesa.
- ▶ Složenost procesa koja prevazilazi sposobnost operatora.

# AUTOMATSKA REGULACIJA

Automatska regulacija koristi se radi eliminacije pomenutih nedostataka ručne regulacije i da obezbedi pouzdanu kontrolu procesa.

**Koncept povratne sprege – na primeru mešanja dveju fluidnih struja**



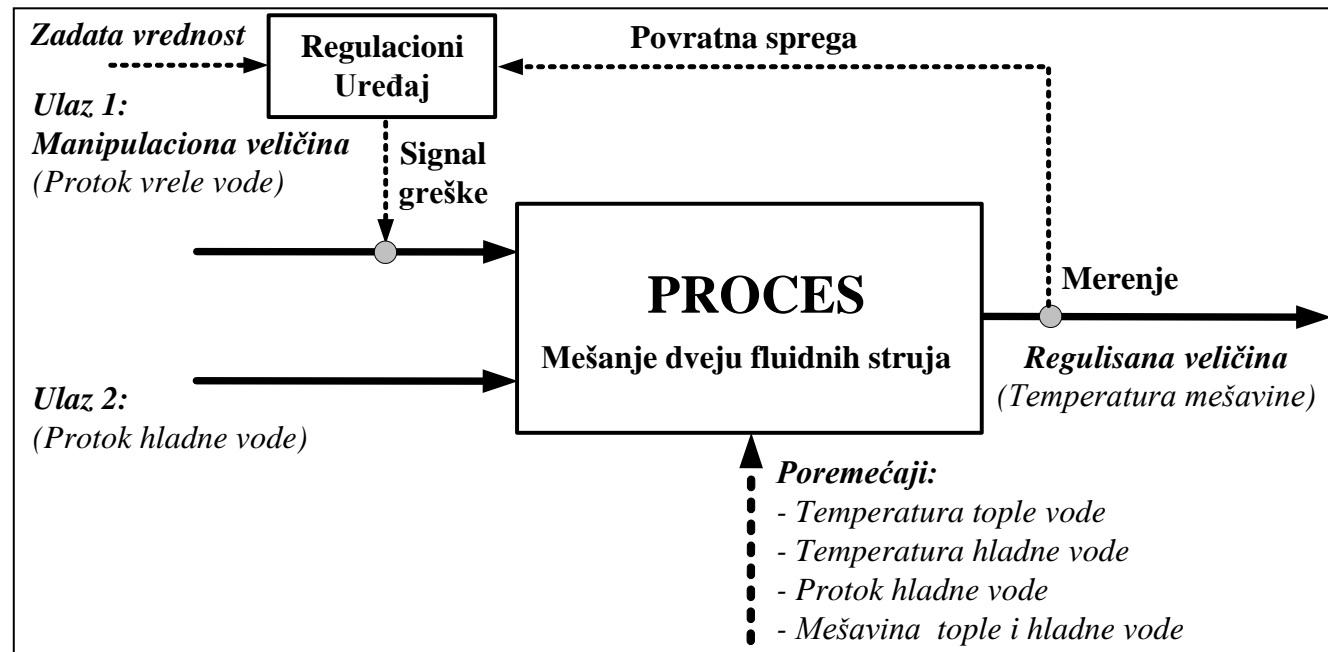


# AUTOMATSKA REGULACIJA

**1. REGULACIONI UREĐAJ** može biti vrlo različitog oblika, ali mora da sadrži sl.:

- ▶ Merenje regulisane veličine da bi obezbedili povratnu vezu iz procesa
- ▶ Mogućnost zadavanja zadate vrednosti
- ▶ Mehanizam generisanja izlaza (mehaničkog, hidrauličkog, pneumatskog ili električnog), koji će biti u direktnoj vezi sa merenom regulisanom veličinom i zadatom vrednošću. Izlaz može biti predstavljen kao **SIGNAL GREŠKE** (*razlika između zadate vrednosti i merene veličine*), koji će se iskoristiti za promenu manipulacione veličine, čime će signal greške postati jednak nuli.

*Procedura kontinualnog poređenja merene - regulisane veličine i zadate vrednosti, radi generisanja upravljačkog signala ili signala greške, naziva se **POVRATNA SPREGA**.*



# AUTOMATSKA REGULACIJA

---

## 2. MERNI UREĐAJ

Osnovni zahtev dobre regulacije je **tačno i pouzdano merenje**.

**Merni element** može biti i sastavni deo regulacionog uređaja. U tom slučaju govorimo o autonomnom regulatoru.

Međutim, većina automatskih regulacionih uređaja ne mere regulisanu veličinu direktno.

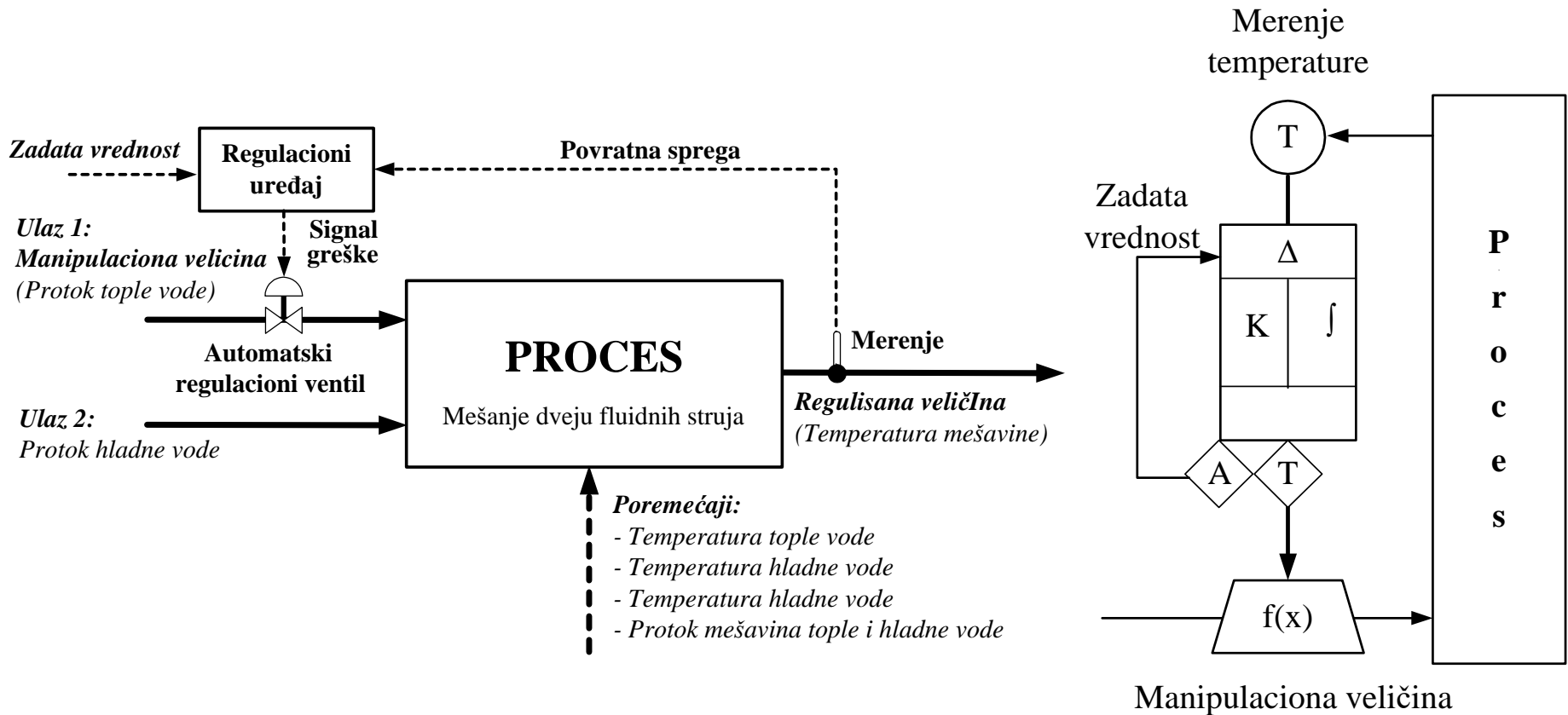
► U tim slučajevima se koristi nezavisni senzor i transponder, kojim se obezbeđuje adekvatan signal regulisane veličine za regulacioni uređaj.

*Time je omogućeno da se eventualno postojeći indikator iskoristi za snabdevanje regulacionog uređaja sa signalom regulisane veličine.*

*To, takođe, omogućuje i napajanje nekoliko regulacionih uređaja sa jednom veličinom, koja po prirodi stvari učestvuje u odvojenim regulacionim krugovima.*

# AUTOMATSKA REGULACIJA

Uobičajeno je prikazivanje regulacionih procesa i korišćenjem **simbola**, čime se pojednostavljuje naročito prikazivanje hardvera, neophodnog za ostvarivanje regulacionog procesa



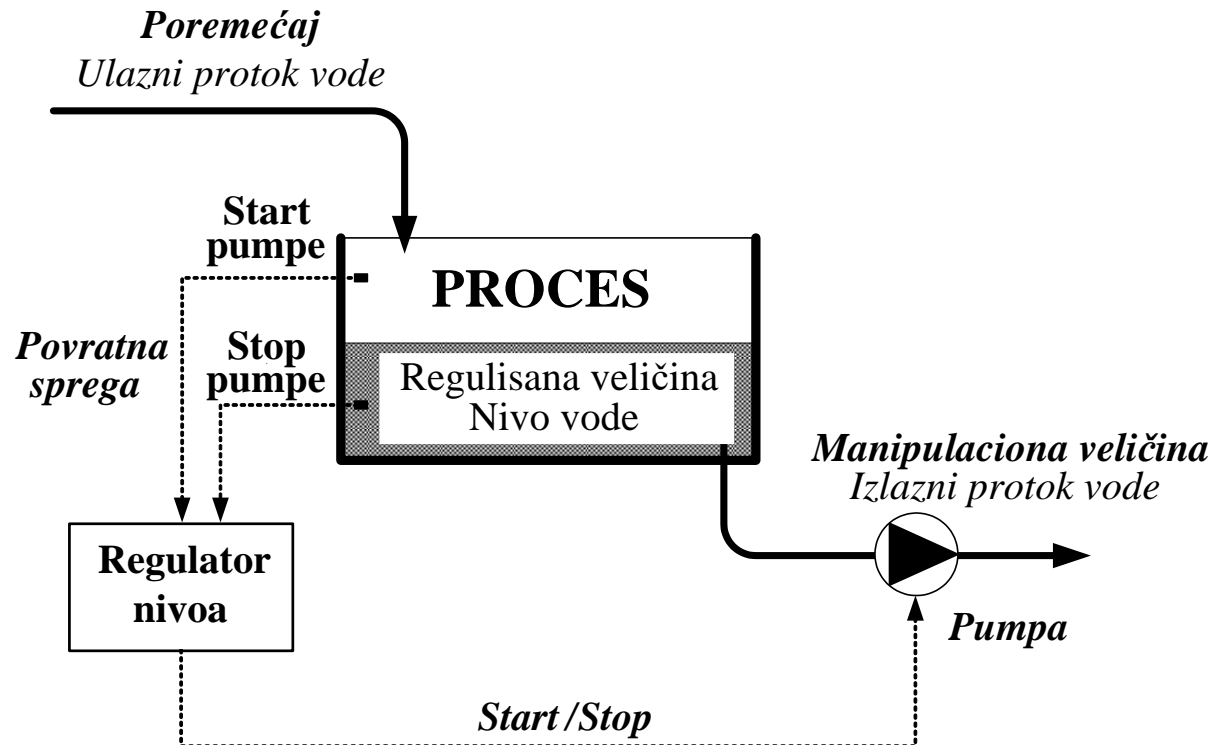
# AUTOMATSKA REGULACIJA

## Dvopoziciona regulacija

Ovaj tip kontrole podrazumeva uključivanje ili isključivanje izvršnog organa kada je dostignuta maksimalna dopuštena vrednost regulacione veličine i obrnuto, isključivanje ili uključivanje istog kada je dostignuta njena minimalna dopuštena vrednost.

Uobičajen je oblik koji razlikuje poziciju **ON** (uključeno) i **OFF** (isključeno).

Varijanta iste regulacije je i **HIGH** (gornja granica) i **LOW** (donja granica).



# AUTOMATSKA REGULACIJA

---

## Dvopoziciona regulacija

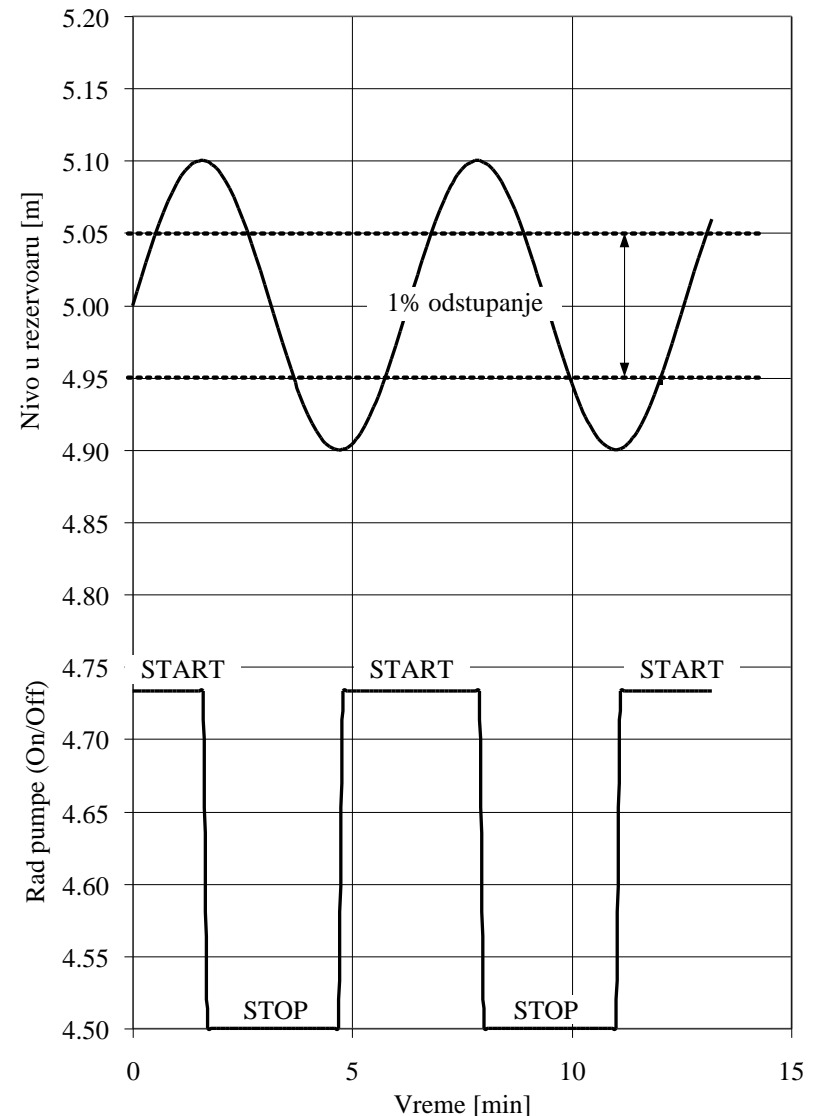
- Promene nastaju **naglo i u ekstremnom** iznosu. To može biti prihvatljivo, ali ponekad nestabilnosti koje nastaju mogu biti nepovoljne po proces.
- Dvopoziciona regulacija je u potpunosti prihvatljiva kada je:
  - potrebno malo kašnjenje prenosa signala, tako da regulisana veličina (nivo vode) reaguje brzo na promenu manipulacione veličine (izlazni protok vode);
  - akumulaciona karakteristika regulisane veličine dovoljno velika da spreči preveliki broj ciklusa on/off;
  - prihvatljiva promena regulisane veličine sa poznatom amplitudom oko zadate vrednosti koju će on/off regulacija ostvariti.

# AUTOMATSKA REGULACIJA

## Dvopoziciona regulacija

**Primenljivost** ovog tipa regulacije zavisi od **akumulacionih karakteristika** regulisane veličine. Potrebno je ostvariti takvu promenu nivoa vode u rezervoaru pri kojoj će se izbeći prečesto uključivanje i isključivanje pumpe, što može da uzrokuje njeno oštećenje.

Ključna karakteristika nivo regulatora je **odstupanje** koje predstavlja veličinu za koju se mora promeniti regulaciona veličina da bi generisala promenu stanja pumpe (uključeno ili isključeno). Mnogi regulacioni uređaji imaju mogućnost za podešavanja odstupanja, tako da regulator može fino da se podešava prema potrebama procesa.

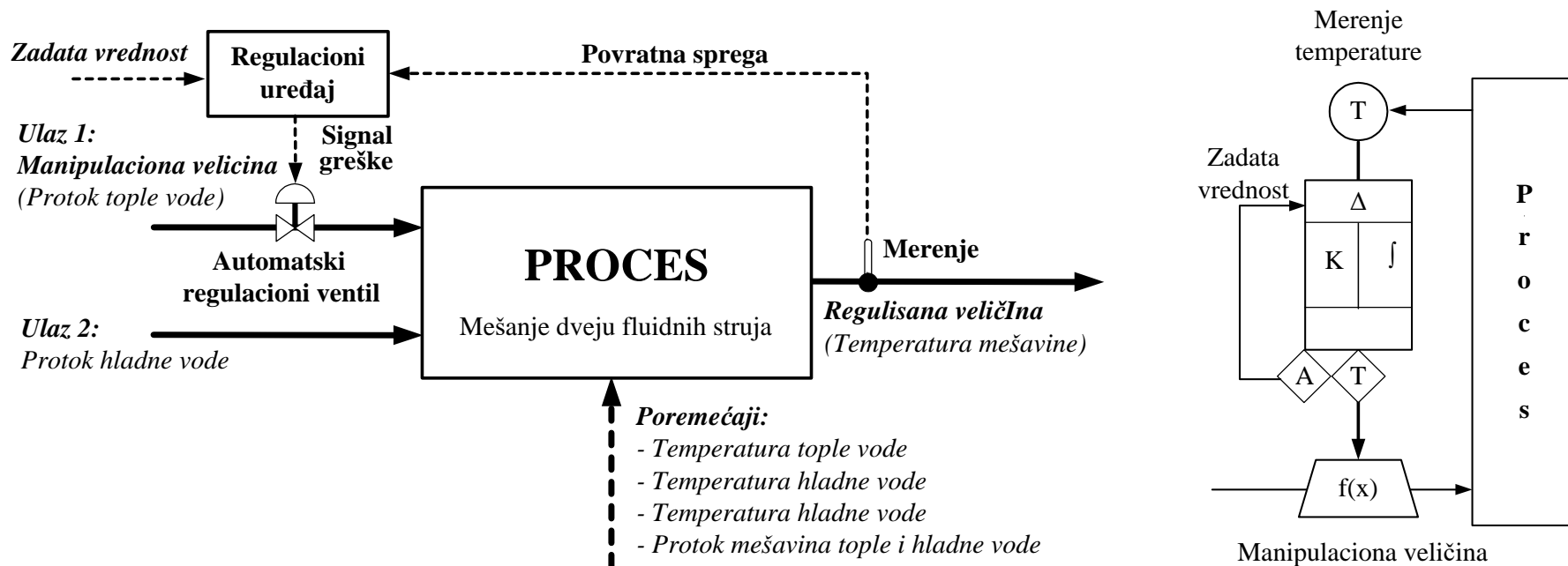


# AUTOMATSKA REGULACIJA

## Modulaciono regulisanje

Mada je dvopoziciona regulacija najjeftinija, ponekad je neprihvatljiva za kontrolu procesa. Vrlo često je potrebno obezbediti **KONTINUALAN PROCES REGULACIJE**, tako da regulaciona veličina bude vrlo bliska zadatoj vrednosti i da su oscilacije promene regulacione veličine minimalne.

► Oblik upravljanja procesom, pri čemu je moguće obezbediti da manipulaciona veličina bude **BILO KOJE VREDNOSTI UNUTAR OPSEGA REGULACIJE** i da pri tome održava regulisanu veličinu vrlo blisku zadatoj vrednosti.



# AUTOMATSKA REGULACIJA

---

## Modulaciono regulisanje

Obavlja se prema **ZAKONU UPRAVLJANJA** koji predstavlja matematičku zavisnost na osnovu koje regulacioni uređaj obrađuje ulazne signale (zadatu vrednost i upravljačku promenljivu – merenu veličinu) i generiše odgovarajuća upravljačka dejstva. **Matematička zavisnost koja vezuje ulaze i izlaze regulacionog uređaja predstavlja regulacionu funkciju.**

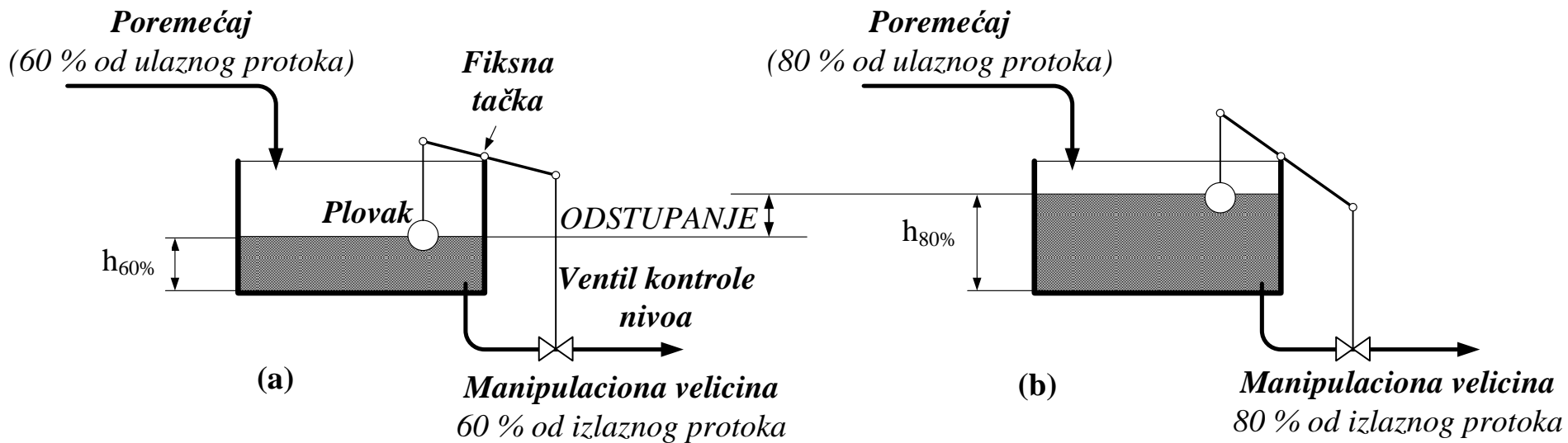
**REGULACIONA FUNKCIJA** može biti:

- Proporcionalna (P)
  - Proporcionalna + integralna (PI)
  - Proporcionalna + derivatna (PD)
  - Integralna (I)
  - Proporcionalna + derivatna + integralna (PID)
- U svim ovim slučajevima regulacioni uređaj sadrži generator signala greške, koji kontinualno proizvodi razliku merene veličine i zadate vrednosti.



# AUT. REGULACIJA - Proporcionalna regulacija

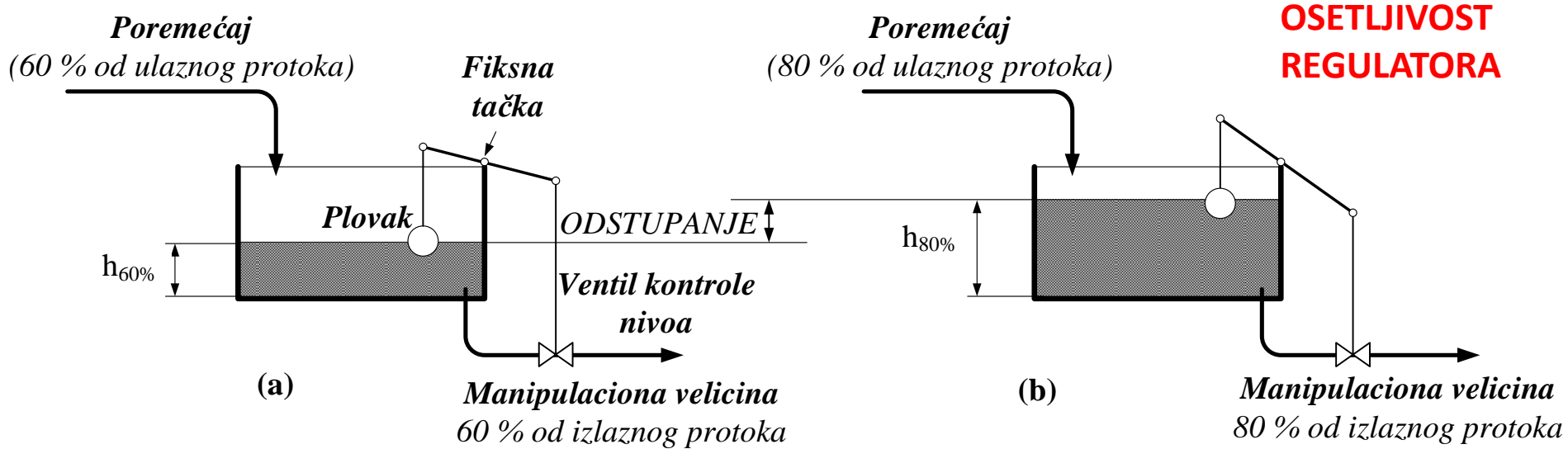
Proporcionalni regulacioni uređaji generišu izlaz koji je **linearno proporcionalan** ulaznom signalu greške (*razlika zadate vrednosti i merene veličine*)



Može se zaključiti da će posmatrani regulacioni sistem reagovati tako da će za svaki poremećaj uspostavljati neki drugi nivo tečnosti u rezervoaru.

► Kod proporcionalnih regulatora uvek postoji različito **ODSTUPANJE** za različite ulazne protoke (poremećaje) i nije ga moguće izbeći.

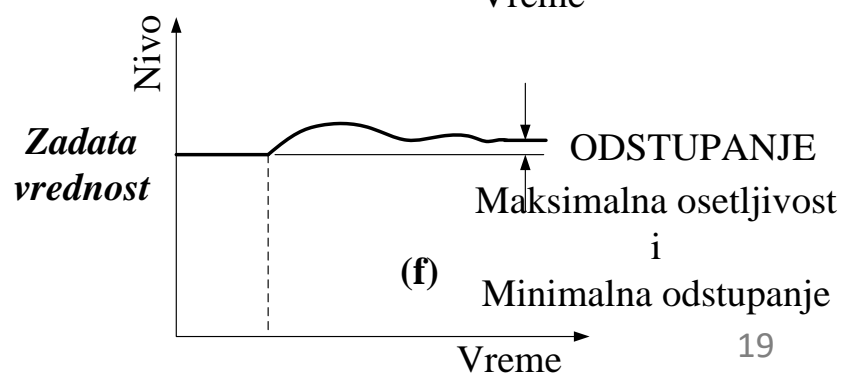
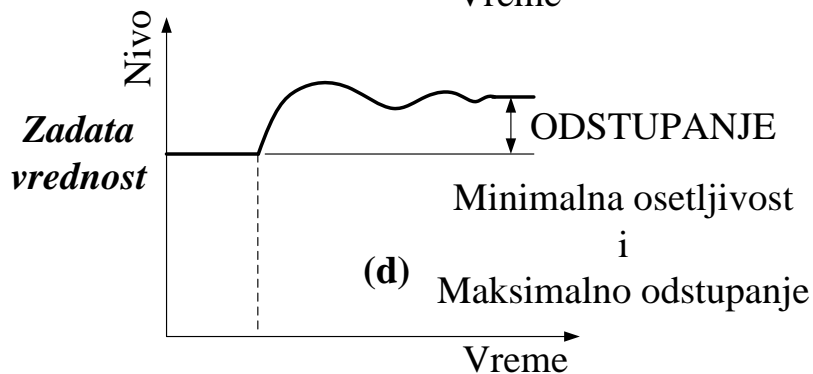
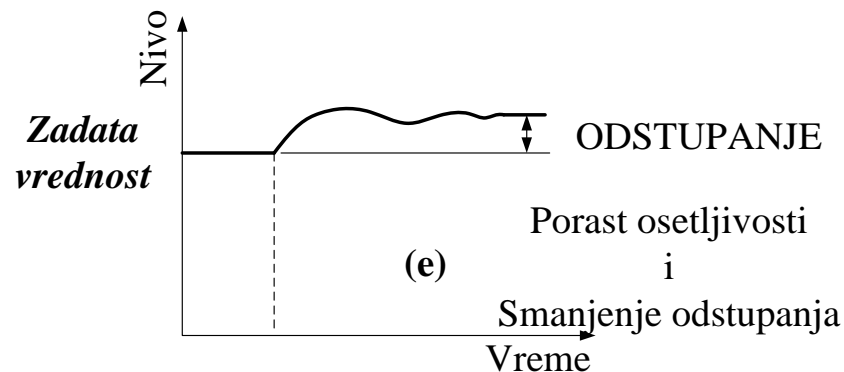
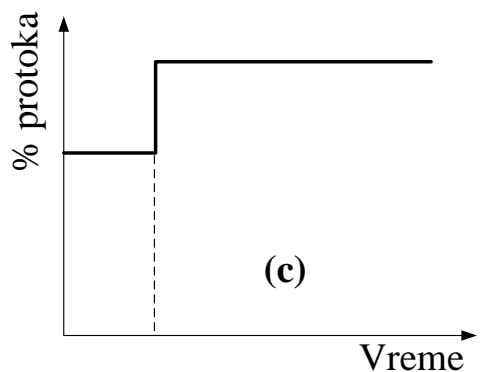
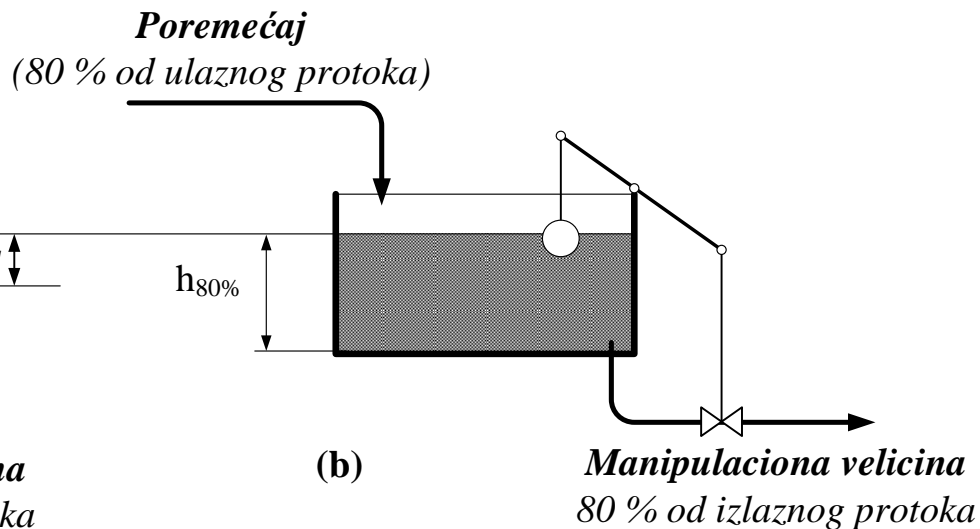
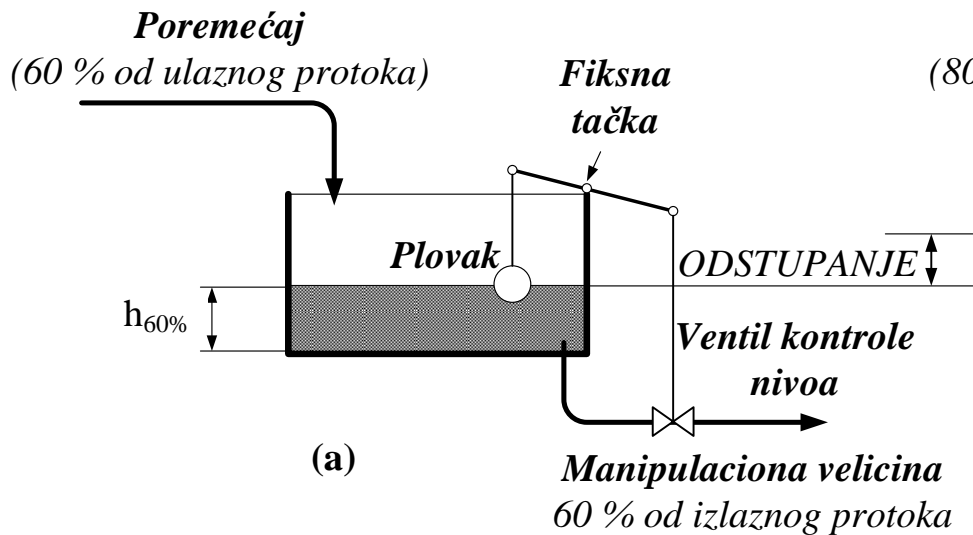
# AUT. REGULACIJA - Proporcionalna regulacija



**OSETLJIVOST REGULATORA** može da se menja promenom dužina poluga plovka i ventila. Ako se dužina poluge plovka skрати a dužina poluge ventila produži, povećaće se pomeranje ventila za istu promenu nivoa u rezervoaru. Time će se povećati osetljivost regulatora.

**Povećanjem osetljivosti odstupanje se smanjuje**, ali, nažalost, može da dovede i do nestabilne regulacije ako se osetljivost poveća previše. **Međutim, često je postojanje razumnog odstupanja prihvatljivo i tada ovakvi jednostavni i jeftini uređaji mogu biti uspešno primenjeni.**

# AUTOMATSKA REGULACIJA - Proporcionalna regulacija

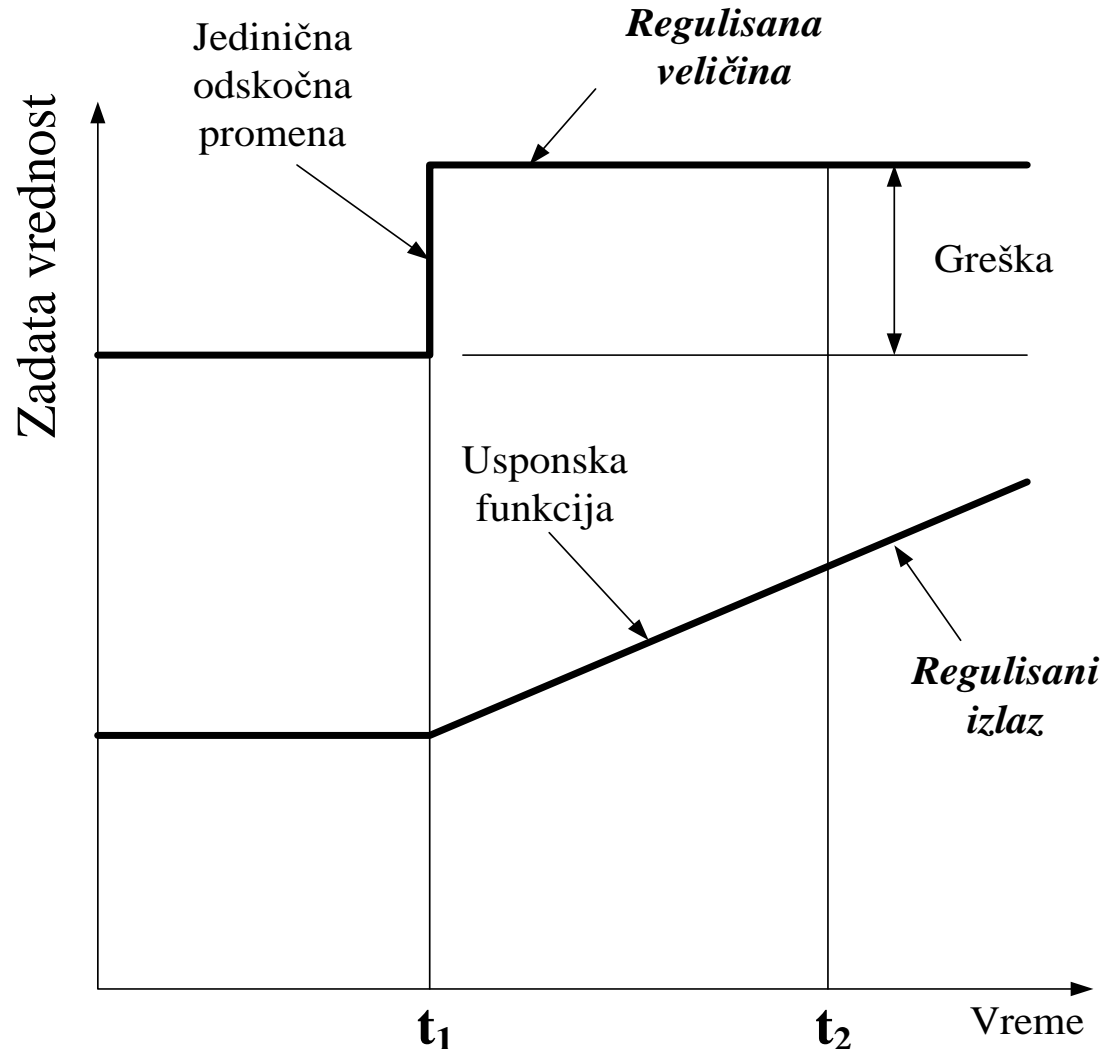


# AUT. REGULACIJA - Integralna regulacija

Ovo je regulaciona tehnika kojom se eliminiše nedostatak proporcionalne regulacije, sadržan u neizbežnom prisustvu odstupanja.

Izlazni signal integralnog regulatora se menja prema **veličini signala greške** (razlika zadate i trenutne vrednosti regulisane veličine) i **vremenu trajanja te greške**.

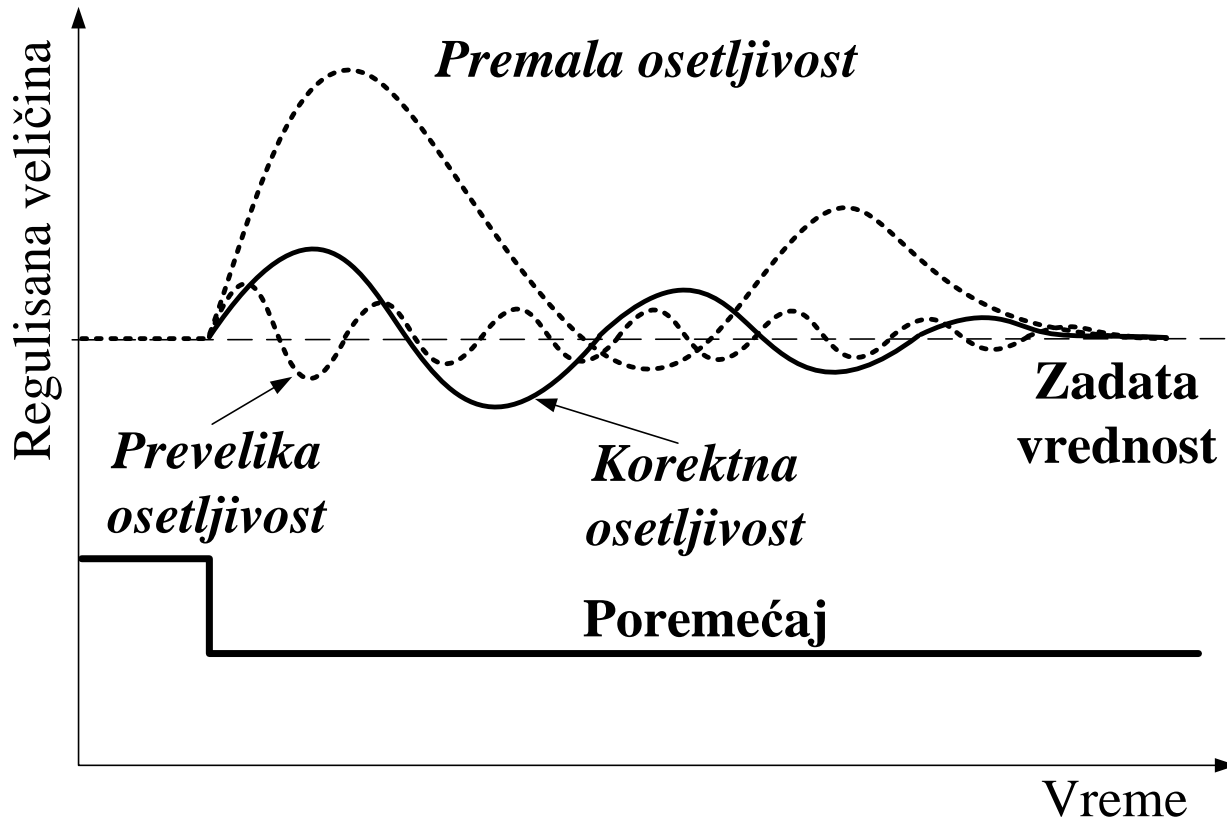
Termin **integral** je nastao iz matematičke operacije kojom se dobija izlaz iz regulatora, kao vremenski integral signala greške.



# AUT. REGULACIJA - PI regulacija

**Integralna regulacija** je tip regulacione tehnike koji se obično koristi u kombinaciji sa proporcionalnom regulacijom → **PI regulacija**

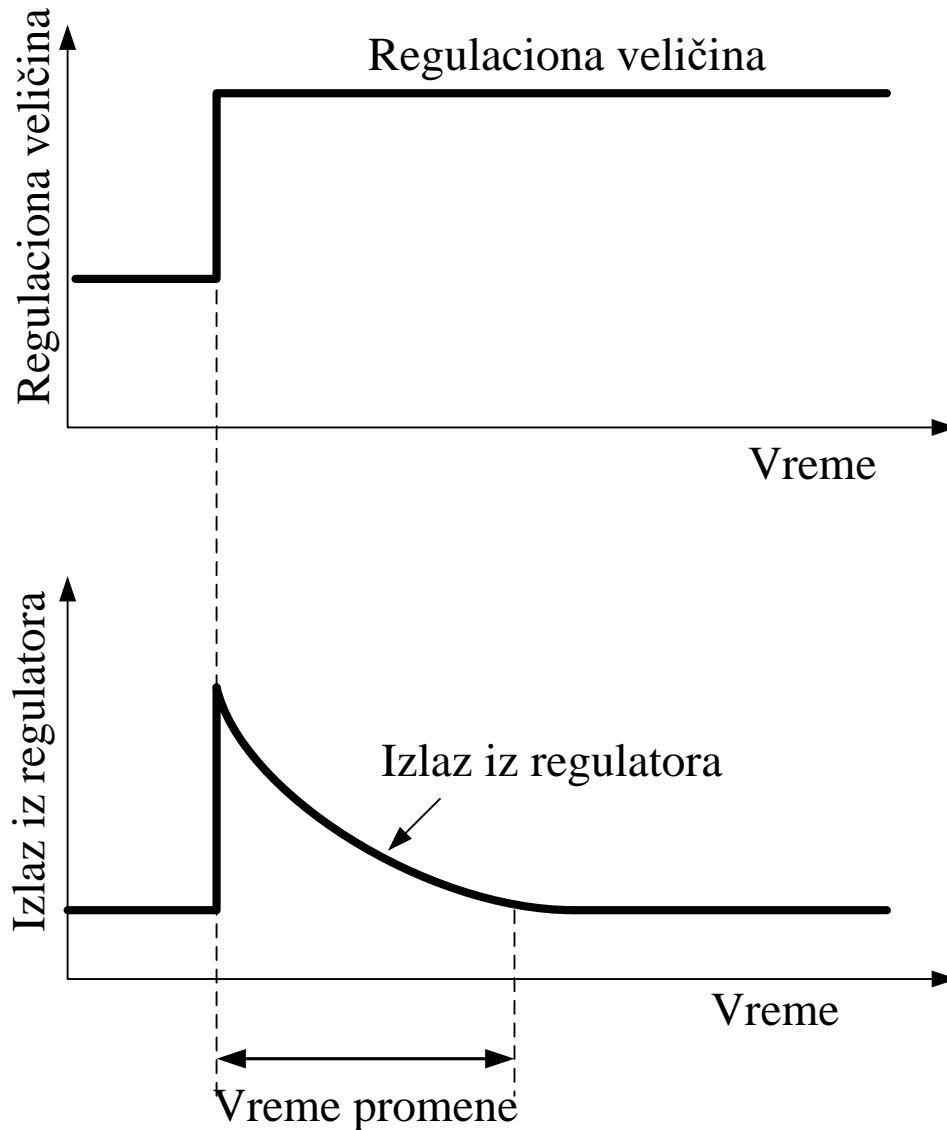
## Proporcionalna + integralna regulacija (PI)



Proporcionalna + integralna regulacija je jedna od najčešće primenjivanih metoda regulacije.

Izlazni signal regulacije biće suma ovih dvaju nezavisih izlaza.

# AUT. REGULACIJA - Derivaciona regulacija

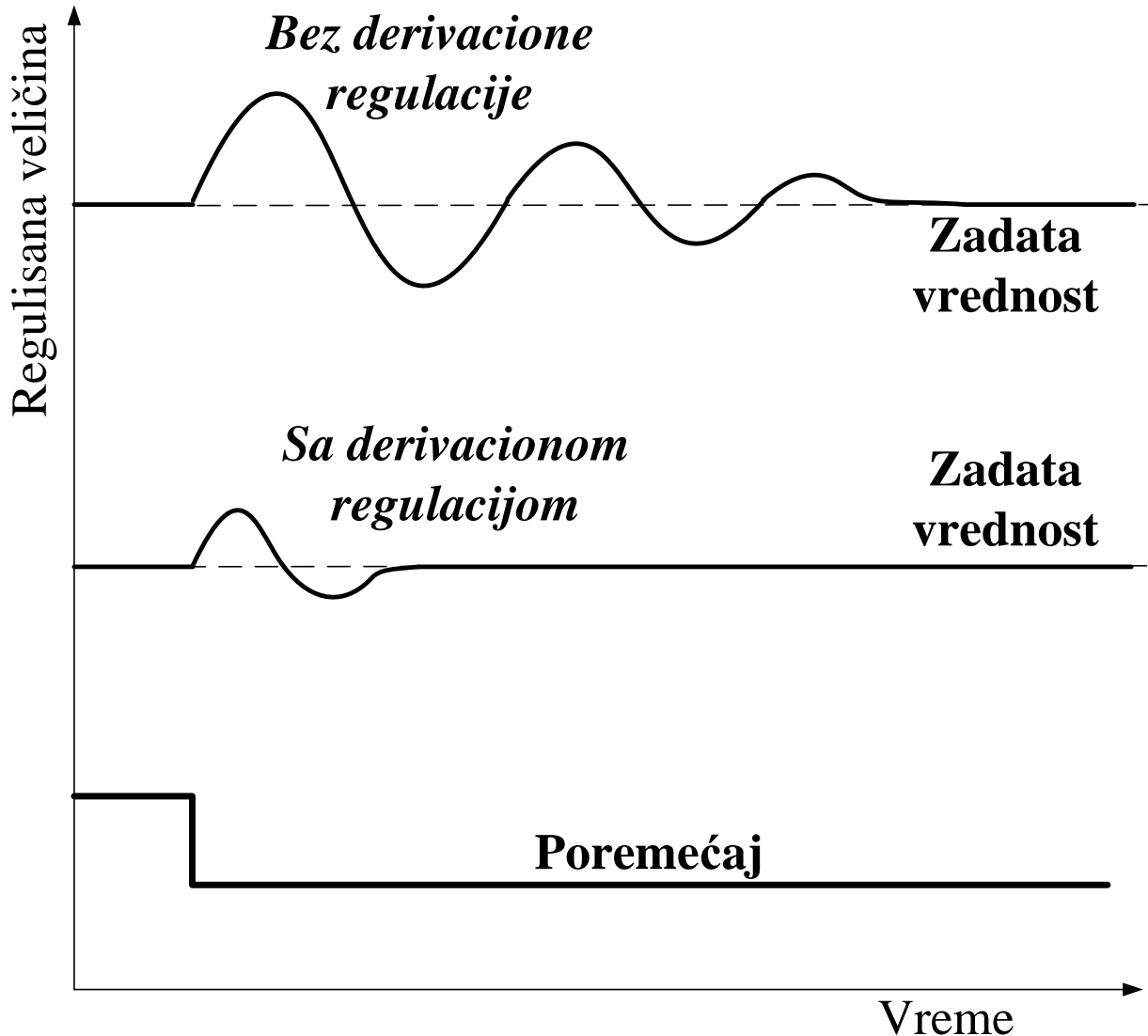


Ovaj tip regulacije obično se koristi u kombinaciji sa proporcionalnom i integralnom regulacijom.

U trenutku nastanka poremećaja derivaciona funkcija prouzrokuje veliku promenu izlaza regulatora, koji s vremenom pada.

# AUT. REGULACIJA - PID regulacija

## Proporcionalna + integralna + derivaciona regulacija (PID)



**Proportional-integral-derivative (PID)** je najčešće primenjivana regulacija procesa.

Izlazni signal regulacije biće suma ovih tri nezavisnih izlaza.

# POBOLJŠANJA REGULACIJE

---

Postoje primene koje traže dodatna poboljšanja koja zahtevaju primenu dodatne merno regulacione opreme i usložnjavanje šeme regulacionog kruga.

Takve opcije zahtevaju da budu razmotrene u sledećim situacijama:

1. Kada su poremećaji u procesu preveliki i kada je odstupanje regulacione veličine od zadate vrednosti nedopustivo veliko;
2. Kada je vremensko kašnjenje merenja u odnosu na proces preveliko, te čini probleme u procesu regulisanja.

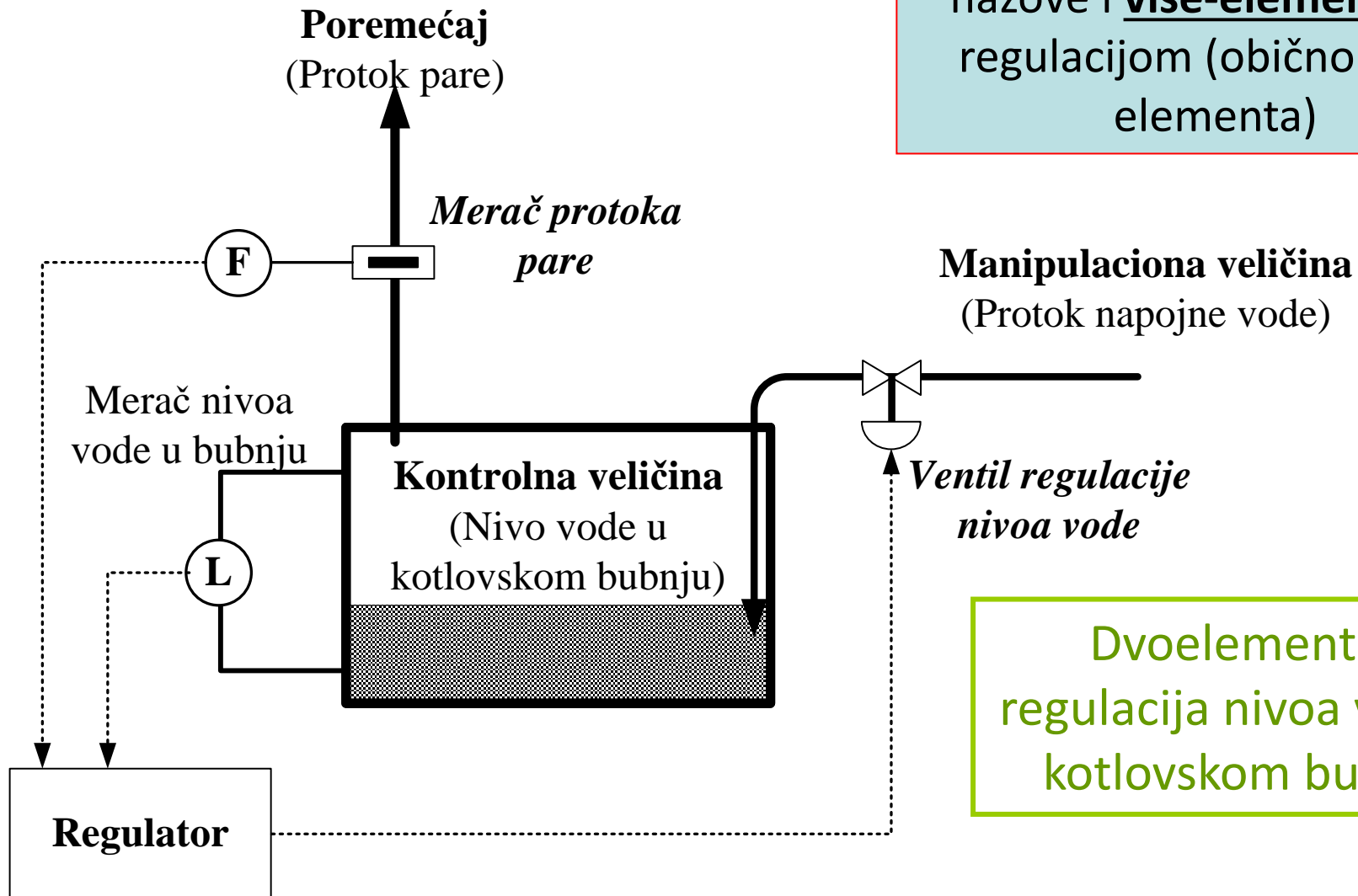
**!** Naravno, poboljšanja regulacije moraju biti pažljivo analizirana i proverena, kako bi neizostavno povećanje troškova bilo adekvatno poboljšanju regulacije i svakako, sigurnosti sistema.



# POBOLJŠANJA REGULACIJE

## Regulacija sa kontrolom poremećaja

Ovaj tip regulacije može da se nazove i više-elementnom regulacijom (obično 2 ili 3 elementa)

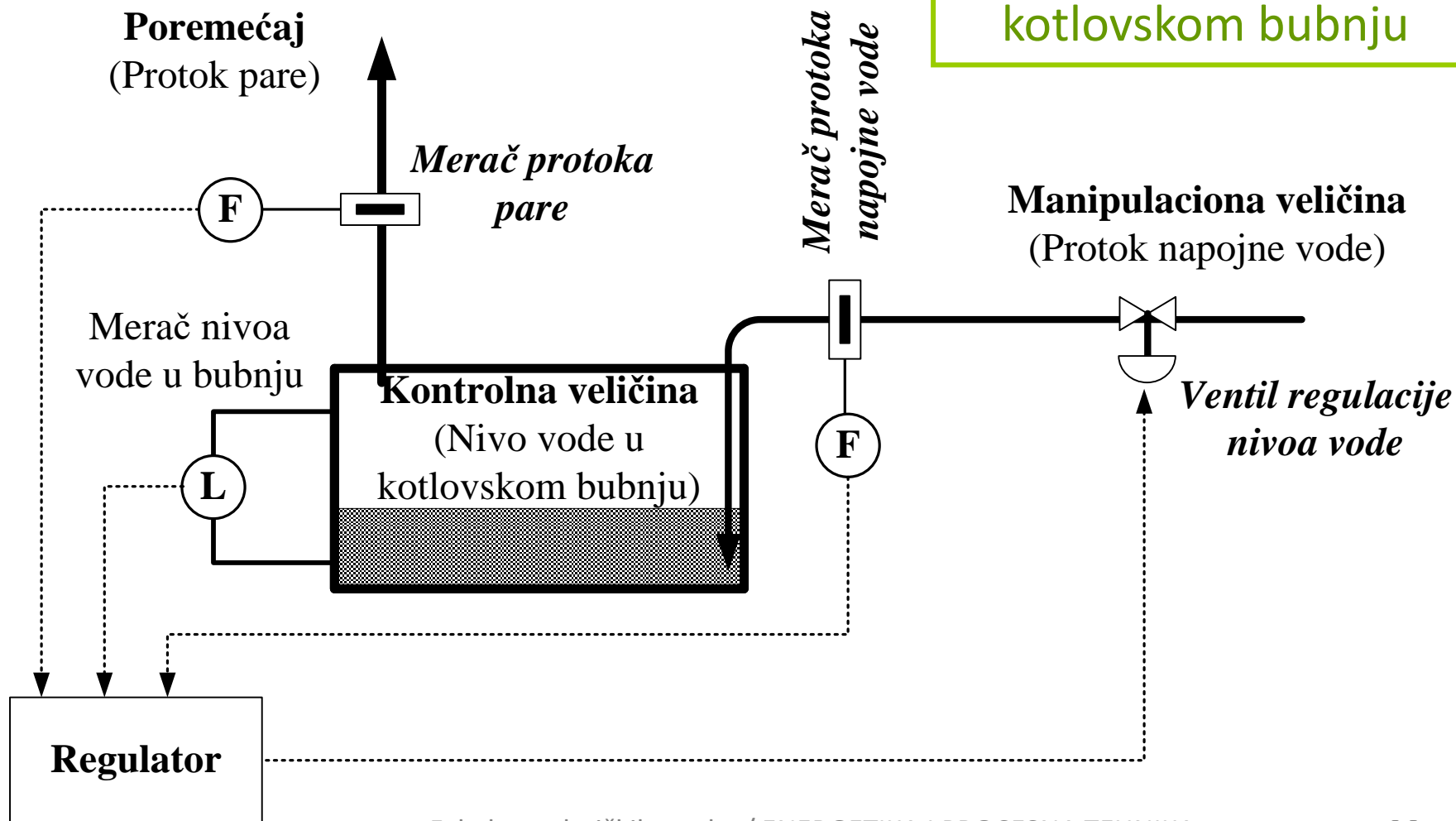


Dvoelementna regulacija nivoa vode u kotlovskom bubnju

# POBOLJŠANJA REGULACIJE

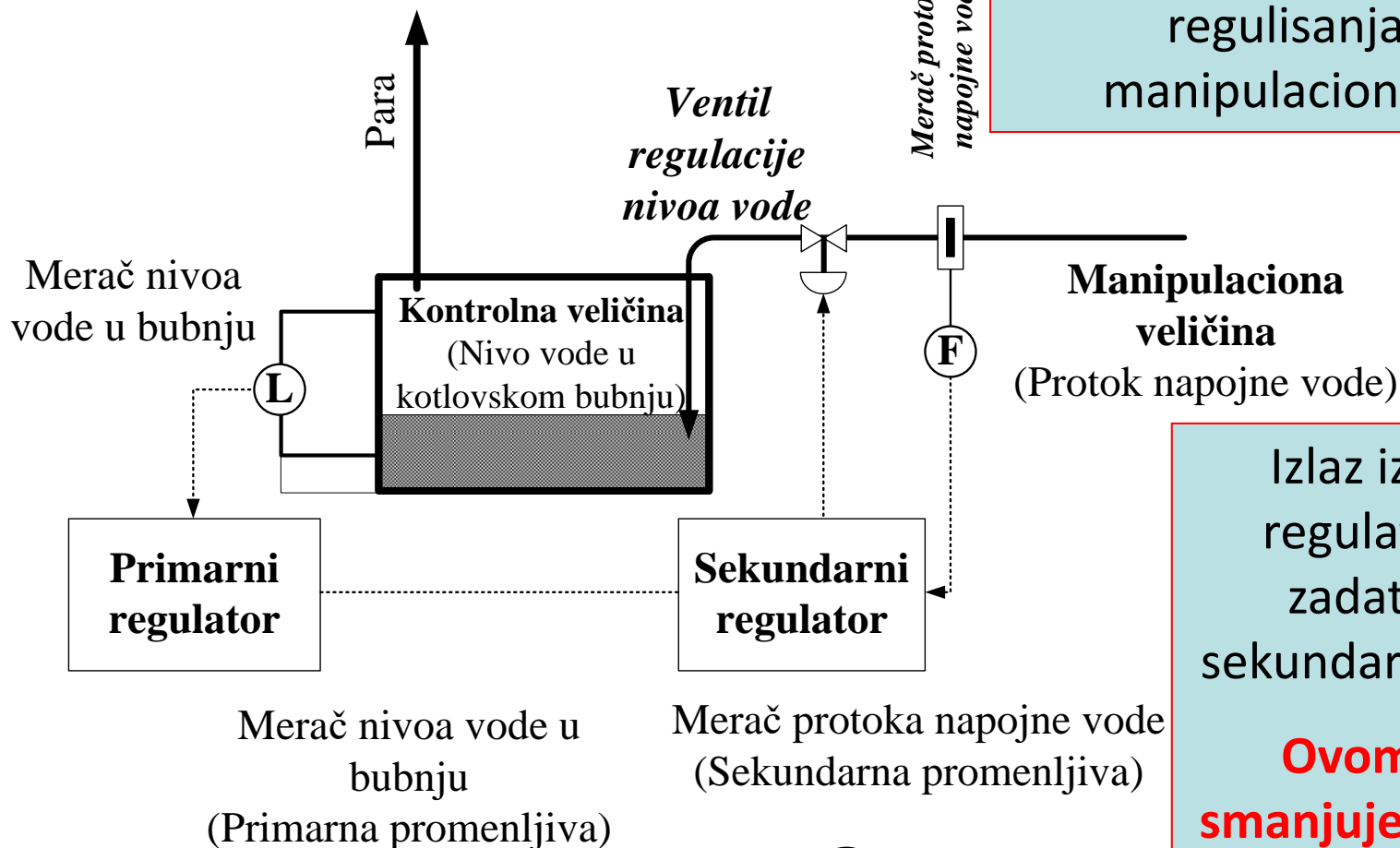
## Regulacija sa kontrolom poremećaja

Troelementna  
regulacija nivoa vode u  
kotlovskom bubnju



# POBOLJŠANJA REGULACIJE

## Kaskadna regulacija



koriste dva merenja, radi regulisanja jedne manipulacione veličine

Izlaz iz primarnog regulatora postaje zadata vrednost sekundarnog regulatora

**Ovom tehnikom smanjuje se vremensko kašnjenje oba merna signala u odnosu na proces**