

20. Elementi automatske regulacije

10.	Elementi automatske regulacije.....	
	10.3 Osnove regulacije.....	2
	10.3.1 Uvod	2
	10.3.2 Stanja sustava i procesi	3
	10.3.3 Izvodi iz termodinamike	4
	10.4 Automatska regulacija	5
	10.5 Elementi automatske regulacije	5
	10.5.1 Senzori	5
	10.5.2 Aktuatori	9
	10.6 Primjena automatske regulacije	11
	10.6.1 Mehanika	11
	10.6.2 Fluidi.....	11
	10.6.3 Toplina.....	11
	Dodatak.....	12
	Literatura	24

Ishodi učenja:

1. **Razumijevanje osnova regulacije** (*definicija, struktura i nazivlje, funkcioniranje, karakteristike*).
2. **Razumijevanje osnova automatske regulacije** (*definicija, struktura i nazivlje, funkcioniranje, karakteristike*).
3. **Umjeće oblikovanja krugova automatske regulacije** (*struktura i elementi, primjeri krugova automatske regulacije fizičkih i kemijskih veličina*).
4. **Usvojena znanja iz elemenata sustava automatske regulacije** (*senzori, aktuatori, regulatori i interfejsi*).
5. **Razumijevanje funkcioniranja često korištenih krugova automatske regulacije** (*kućanstvo, vozila, plovila*).

20.3 Osnove regulacije

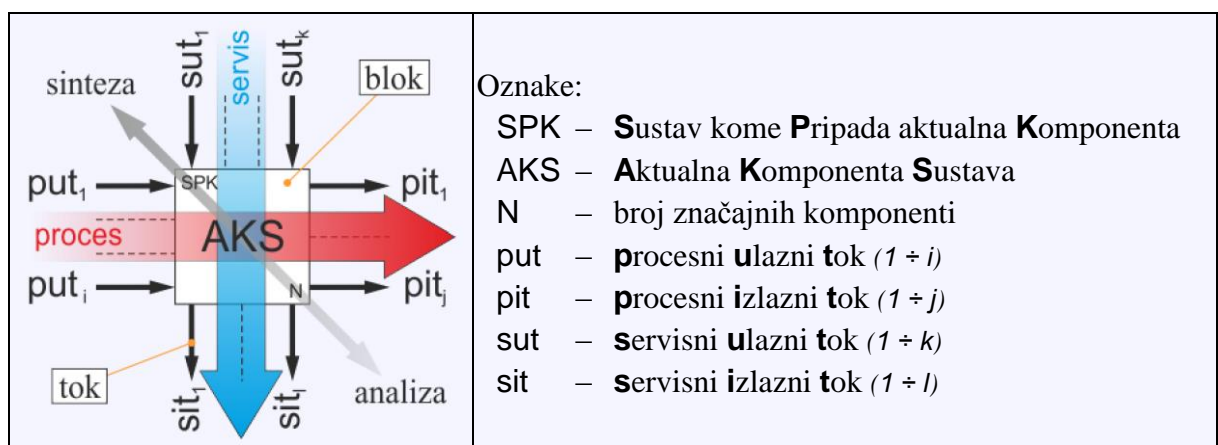
20.3.1 Uvod

Tehnički sustav (*skraćeno, sustav*) – umjetna tvorevina namijenjen obavljanju postavljenog zadatka. Obuhvaća skup povezanih uzajamno ovisnih komponenti – od minimalno dvije do vrlo velikog broja komponenti kod velikih složenih sustava (**S-10.01**).



Slika 10.01 Tehnički sustavi

Sistemske analize tehničkih sustava (*pod sustava, komponenti*) najčešće se provode uz korištenje blok shema (**S-10.01**).

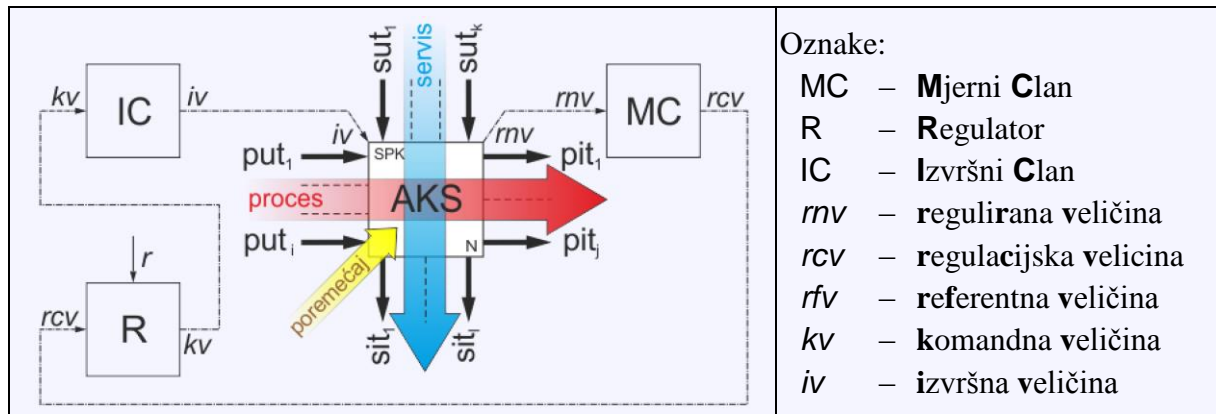


Slika 10.01 Blok shema komponente sustava

Pri obavljanju zadatka u tehničkim sustavima odvijaju se procesi (*transformacija raspoloživih ulaznih u zadate izlazne tokove*) uz korištenje neophodnih servisa. Efektivan pogon tehničkog sustava često podrazumijeva regulaciju brojnih veličina procesnih i servisnih tokova.

Regulacija – mijenjaju se vrijednosti ulaznih veličina sustava (*procesni/servisni tokovi*) kako bi se postigle željene vrijednosti izlaznih veličina (*procesni/servisni tokovi*). Pri tome se na temelju informacija (*očitanje pokazivanja instrumenata ÷ senzori*) o neželjenim vrijednostima izlaznih veličina mijenjaju vrijednosti ulaznih veličina (*ručno postavljanje ÷ aktuatori*).

Regulacijski krug obuhvaća 4 glavne komponente – **S-10.02**.



Slika 10.02 Regulacijski krug

Na tehničke sustave djeluju vanjski utjecaji:

1. nekontrolirani (*koji su van utjecaja korisnika*) i
2. kontrolirani (*kojima upravlja korisnik*).

Nekontrolirani vanjski utjecaji nazivaju se poremećajima.

Zadaci su regulacije tehničkih sustava:

- poboljšanje kvalitete proizvoda i usluga,
- minimizacija otpada u proizvodnom procesu,
- zaštita okoliša,
- veća proizvodnost postojećih kapaciteta u proizvodnom procesu,
- veći prihod,
- produljenje životnog vijeka postrojenja,
- veća sigurnost.

Svi ovi zahtjevi relevantni su za upravljanje "integriranih" industrijskih, energetskih i transportnih sustava.

20.3.2 Stanja sustava i procesi

Stanje tehničkog sustava opisuje se dovoljno velikim brojem vrijednosti **veličina stanja** za razlikovanje aktualnog stanja od njemu sličnih stanja. Sa „stanjem“ se ne ukazuje na mirovanje nego na promatranje u određenom trenutku vremena.

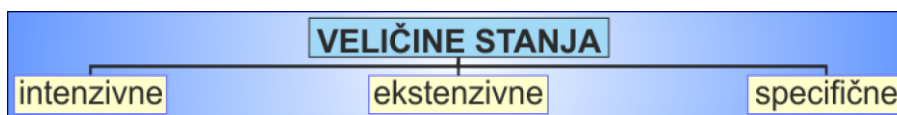
4 Elementi strojeva 2

Na primjer, u mehanici je za opis stanja krutog tijela u pravilu dovoljno odrediti tri vrijednosti veličina: masu (*otpor promjeni stanja gibanja*), položaj (*potencijalna energija*) i brzinu (*kinetička energija*) tijela. Ovo je točno u slučaju pravocrtnog gibanja (*gibanja po kružnici*) bez trenja. Kod gibanja u ravnini i u prostoru se moraju koristiti vektorske veličine s dvije (2D) ili tri (3D) komponente.

Proces tehničkog sustava opisuje se s dovoljno velikim brojem vrijednosti **veličina procesa** za razlikovanje aktuelnog procesa od njemu sličnih procesa. S „procesom“ se ukazuje na promjene stanja tijekom vremena.

Veličine stanja

Tri su vrste veličina stanja:



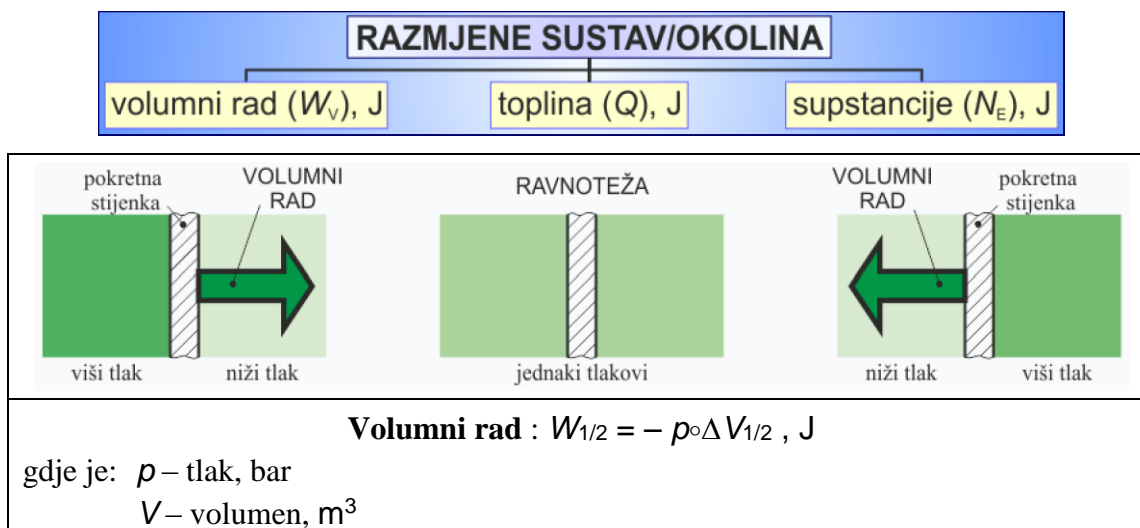
Intenzivne veličine stanja (*tlak, temperatura, električni potencijal, kemijski potencijal*) mogu se odrediti za svaku točku tehničkog sustava. Kod sustava s česticama njihove vrijednosti su jednake u svim točkama u slučaju ravnoteže, dok se u slučaju neravnoteže mijenjaju od točke do točke.

Ekstenzivne veličine stanja (*masa, volumen, množina supstancija*) aditivne su – vrijednosti veličina za cjelinu dobivaju se sumiranjem vrijednosti veličina za dijelove.

Specifične veličine stanja (*gustoća, specifična toplina*) dobivaju se svođenjem ekstenzivnih veličina stanja na jedinične količine supstancija.

20.3.3 Izvodi iz termodinamike

Termodinamika proučava stanja sustava i procese razmjene sustava i okoline:



20.4 Automatska regulacija

[Golnaraghi (2009), str. 5÷15/104÷118] , [Hompele (2008), str. 129÷180] , , [Kilian (2000), str. 1÷24] ,

Automatsko upravljanje je nužno u većini tehničkih sustava. Ono je skrivena tehnologija i nije toliko razvikana kao neke druge discipline, no bez nje 90% današnjih sustava ne bi moglo raditi.

20.5 Elementi automatske regulacije

Elektronički elementi

[Dunn (2005), str. 27÷79]

20.5.1 Senzori

[Childs (2004), str. 299÷306] , [Steinheilper 2 (2008), str. 695÷704]

U širem smislu, senzori pretvaraju teže u lakše mjerljive veličine. Na primjer, temperatura tijela se mjeri prema promjeni boje prikladne kemijske supstancije.

U užem smislu, senzori pretvaraju fizičke veličine (*npr. razmak, temperatura*) u električne veličine (*npr. napon, otpor*).

Nazivlje

Karakteristike senzora

Karakteristike su senzora:

- mjerena veličina,
- mjerni opseg (raspon mjerene veličine unutar kojeg senzor ostvaruje deklarirana svojstva),
- točnost (određuje mjerna svojstva senzora u odnosu na stvarnu vrijednost mjerene veličine),
- brzina odziva (kašnjenje izmjerene vrijednosti za mjerenom veličinom),

6 Elementi strojeva 2

- linearnost (odnos između mjerene veličine i izmjerene vrijednosti za čitav mjerni opseg),
- vrsta izlaza (analogni ili digitalni),
- temperaturni opseg (temperaturni opseg unutar kojeg senzor ostvaruje deklarirana svojstva),
- ...

Točnost senzora

Vrijednost fizičku veličinu nije moguće odrediti senzorom bez pojave greške. Na točnost senzora utječu:

- Statička pogreška je odstupanje izmjerene vrijednosti od stvarne vrijednosti mjerene veličine. Izražava se u postotku punog mjernog opsega senzora. Mjerena veličina treba biti konstantna.
- Dinamička pogreška nastaje uslijed vremenske promjene mjerene veličine, tako da izmjerena vrijednost kasni za stvarnom vrijednosti mjerene veličine.
- Ponovljivost je izražena preko statističkog odstupanja izmjerene vrijednosti od stvarne vrijednosti mjerene veličine. Kod senzora koji ima dobru ponovljivost moguće je kompenzirati statičku pogrešku.
- Mrtvo vrijeme predstavlja vremenski interval između promjene mjerene veličine do promjene izmjerene vrijednosti.
- Mrtva zona definirana je kao najveća promjena mjerene veličine koja neće izazvati promjenu izmjerene vrijednosti.

Brzina odziva

Senzorima nije moguće odrediti trenutne vrijednosti fizičke veličine uslijed dinamičkih grešaka, mrtvih vremena i mrtvih zona.

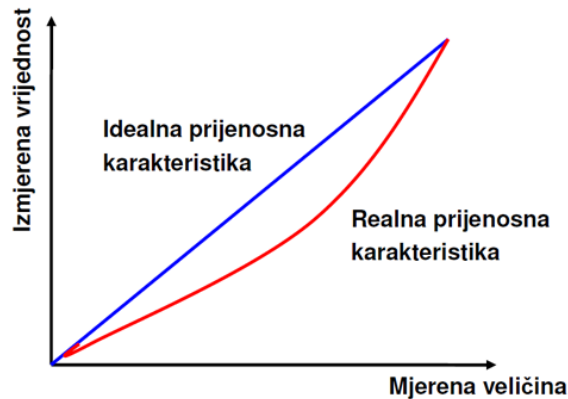
Brzina odziva senzora ovisi o nizu utjecaja. Na primjer, na brzinu odziva termopara utječu:

- toplinski otpor - ovisi o prirodi medija čija temperatura se mjeri (vrsta tekucine ili plina) i brzini protoka,
- toplinski kapacitet senzora, Toplinski kapacitet i vodljivosti dijelova izvan medija kojem se mjeri temperatura,
- kašnjenje u prijenosu, tj. vrijeme od promjene temperature na mjernoj točki termopara do promjene izmjerene vrijednosti.

Slični utjecaji se sreću kod svih vrsta senzora.

Linearnost

Pri linearnoj (pravocrtnoj) promjeni određivane veličine javlja se odstupanje promjena izlazne veličine senzora od prave crte.



Nelinearnosti senzora je moguće kompenzirati hardverski i softverski.

Vrste senzora

Prema određivnoj veličini razlikuju se:

Senzori					
mehanički			električni	toplinski	kemijski
mehanika čvrstih tijela	titranje (zvuk, svjetlost)	mehanika fluida			
položaj vrijeme brzina ubrzanje sila	frekvencija amplituda	tlak razina protok	napon struja otpor	temperatura vlažnost	konzentracija

Prema prirodi izlaznog signala razlikuju se:

Senzori

analogni digitalni

Senzori temperature

Prema načinu postavljanja i prirodi razlikuju se:

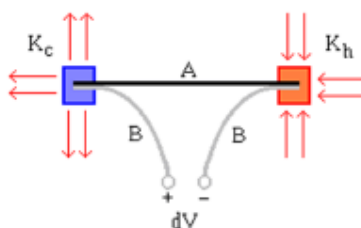
Senzori temperature	
kontaktni	daljinski
termopari otpornički	

8 Elementi strojeva 2

temistori	
diode	

Termistori (*eng. thermistor* \Leftarrow *thermal resistor* – *toplinski otpornik*) elektronički elementi čiji se otpori značajno mijenjaju s promjenama temperature. Za red veličina su osjetljiviji od otporničkih i veoma su stabilni te omogućavaju određivanja temperature s greškom manjom od 10 mK.

Termoparovi



Tip	Korišteni materijali	Temperaturni opseg, °C
B	platina 30% rodij // platina 6% rodij	1370 ÷ 1700
C	volfram 5% renij // volfram 26% renij	1650 ÷ 2315
E	chromel // constantan	95 ÷ 900
J	željezo // constantan	95 ÷ 760
K	chromel // alumel	95 ÷ 1260
N	nicrosil // nisol	650 ÷ 1260
R	platina 13% rodij // platina	870 ÷ 1450
S	platina 10% rodij // platina	980 ÷ 1450
T	bakar // constantan	- 200 ÷ 350

Otpornički temperaturni senzori

Primjeri senzora

Termopar





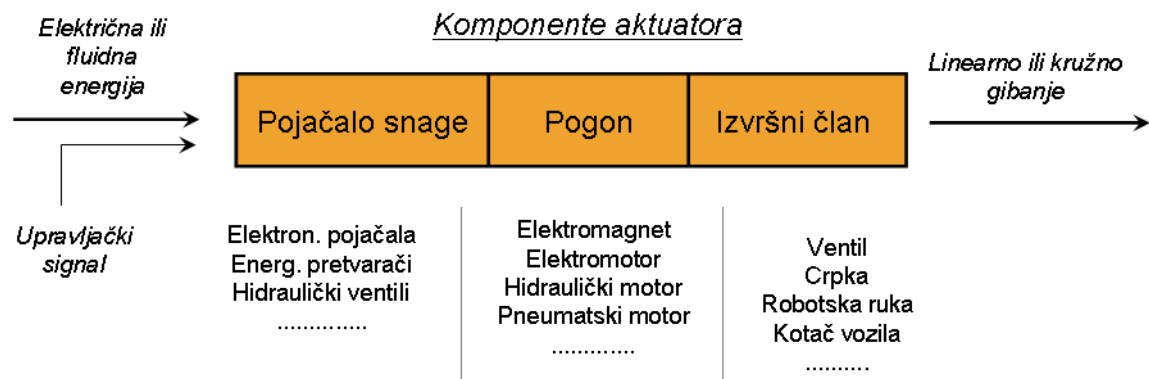
20.5.2 Aktuatori

[Childs (2004), str. 306÷312] , [Steinhilper 2 (2008), str. 672÷694]

Aktuatori pretvaraju su uređaji koji električnu ili fluidnu energiju pretvaraju u mehaničku energiju, te kao izlaznu veličinu imaju silu ili moment pomoću kojih ostvaruju linearno ili kružno gibanje.

Nazivlje

Mogu se razlikovati tri osnovna dijela aktuatora:

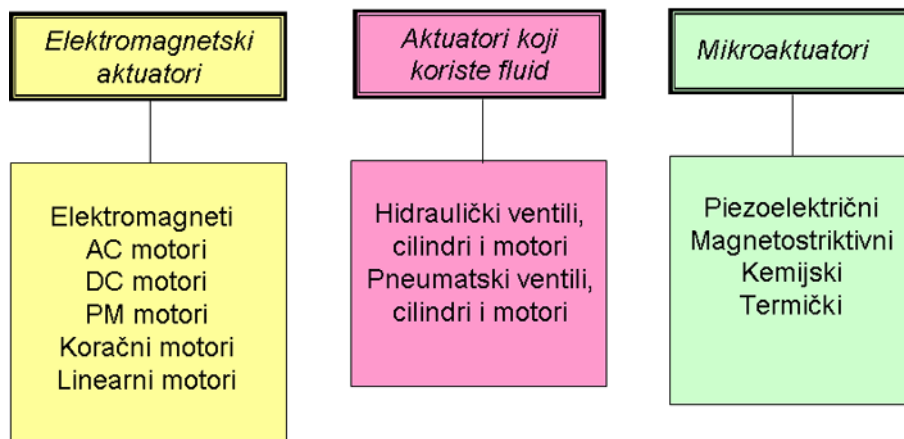


Karakteristike aktuatora

Vrste aktuatora

Aktuatore je moguće podijeliti s obzirom na načine pretvorbe energije:

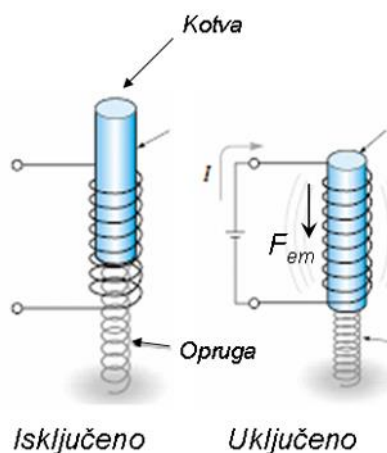
10 Elementi strojeva 2



Elektromagneti

Solenoidi su jednostavni elektromagnetski uređaji koji električnu energiju direktno pretvaraju u linearno mehaničko gibanje. Imaju relativno mali hod, što ograničava njihovu primjenu.

Solenoid se sastoji od zavojnice i željezne kotve koja se može gibati unutar zavojnice. Kada se kroz zavojnicu pusti istosmjerna ili izmjenična struja, na kotvu djeluje elektromagnetska sila (F_{em}) koja je uvlači unutar zavojnice. Za povratak kotve u početni položaj koristi se opruga.



Zbog malog hoda primjene su ograničene, ali ipak postoji mnoštvo primjena pri čemu se elektromagneti uglavnom koriste kao “on/off” (uključiti/isključiti) aktuatori: npr. releji, električne brave, elektromagnetski ventili, sklopnici.....

Znatno veći napon i struja potrebni su za uvlačenje kotve, nego za držanje kotve u uvučenom položaju kada nepotrebno teče veća struja i zagrijava zavojnicu.

Primjeri aktuatora

20.6 Primjena automatske regulacije

[Golnaraghi (2009), str. 2÷5]

20.6.1 Mehanika

20.6.2 Fluidi

20.6.3 Toplina

Dodatak

Literatura

Popis

Albertos2010S, Ashby2007, Astrom2008M, Avallone2006P, Battikha2007S, Beeby2004P4, Berger2010P, Bishop2008P, Böge2011S, Boll1989, Bonnick2011P, Childs2004S, Czichos2008S, DIN2008P4, DiStefano1994S4, Dorf2010S4, Dunn2005S5, Eren2006P4, Ferger2010P, Garrett2001P5, Gaura2006, Golnaraghi2009P5, Golnaraghi2010P5, Grote2007P, Hering2004P4, Hesse2009P, Higuchi2010P5, Jackson2009P, James2000P, Kiencke2005P4, Kilian2000S5, Kraut1988S5, Kreith2005P4, Kutz22005P4, Levine2011S4, Liptak2003P4, Lunze12010S5, Lunze22010S5, Lurie2000P5, Mandal2006S4, Margithu2001P4, Marek2003P, Meixner1995P5, Mims1996, Nice2004, Oberg/2487P4, Ogata2002, Orłowski2009, Orłowski2011, Parthier2008, Pawlak2007, Petruzzellis2006, Pons2005, Reif2011P5, Reif2004P5, Ripka2007P4, Rothbart2004, Sauter2010P, Scott2008, Sholz1990, Sinclair2001, Smith1997, Smith2000/157÷204, Sobey2009P4, Sobey2006P4, Solomon2010, Steinhilper22008P, Šurina1987S, tenHompel2008, Timings2005P3, Tompkins1998, Tönshoff2001P5, Tuman-ski2006, Wagner1991, Webster2009, Weck2006S4, Wilson2005P4, Xue2007, Yamasaki2001, Yurish2004P4, Zacher2011.

C – čitljivo, M – matematika, S – sustavno, P – parcijalno.

1. Battikha N. E.: The Condensed Handbook of Measurement and Control, 3rd Edition; The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2007.
2. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 – Mechanik und Wärme, 5. Auflage; Springer-Lehrbuch, 2008.
3. Dunn W.C.: Introduction to Instrumentation Sensors and Process Control; Artech House, 2005.
4. Fraden J.: Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs and Applications, 4th Edition; Springer, 2010.
5. Hebra A. J.: The Physics of Metrology – All about Instruments – From Trundle Wheels to Atomic Clocks; Springer, 2010.
6. Lipták B. G.: Instrument Engineers' Handbook – Vol 1 Process Measurement and Analysis, 4th Edition; CRC, 1995.
7. Morris A. S.: Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.
8. Parthier R.: Messtechnik – Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, 4th Edition; Vieweg & Sohn, 2008.
9. Reif K.: Sensoren im Kraftfahrzeug – Bosch Fachinformation Automobil; Vieweg-Teubner, 2010.
10. Webster J. G.: The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM; CRC 1999.

AA Alfirević/249÷293 – priručnik

AA Böge20/D1÷D81 – priručnik s primjerima

AA Brown/21÷336 – izvodi + primjeri

AA Kraut/65÷70 – pregled čvrstoće, 165÷217 – izbor materijala, 277÷282 – dopuštena naprezanja

AA Lingaiah/2÷207 – oznake, formule i tablice, 1058÷1077 – oznake, formule, tablice

AA Mott/45÷276 – materijali, opterećenja i deformacije, Mohr, opterećenja, stupovi

AA Muhs-Aufgabesammlung/13÷15 – zadaci, 162÷163 – postavke rješenja, 250÷252 – rješenja

AA Muhs-Formelsammlung/20÷32 – kratice, formule, tijek rješavanja zadataka, norme

AA Norton/96÷437 – iscrpno, literatura, zadaci – djelomično s rezultatom

AA Patnaik/7÷53 – pregled s primjerima i zadacima s rezultatima

AA Podrug/3÷10 – sažetak

AA Wittel/56÷89 – sažeto + primjeri

AA Ashby-Engineering – svojstva i karakteristike materijala

AA Ashby-Art – izbor materijala

- AA Ashby-Selection – izbor materijala
 AA Callister – izbor materijala
 AA Hibbeler-2010 – iscrpno lijepo, primjeri i problemi – rješeni
 AA Hibbeler-2004 – obuhvaćena statika, iscrpno, primjeri i problemi – rješeni
 AA Leckie – dobre ilustracije, sažetak, primjeri
 AA Vnučec – pregled
 AA Arndt – pregled + primjeri
 AA Beer – dobre ilustracije, iscrpno s brojnim primjerima i problemima s rješenjima
 AA Gross – dobre ilustracije, iscrpno s brojnim primjerima i problemima s rezultatima
 AA Hibbeler-2010 – iscrpno lijepo, primjeri i problemi – rješeni
 AA Läßle-Einführung – pregledno s brojnim primjerima i problemima s rezultatima
 AA Läßle-Lösungsbuch – sažeci, tablice, rješenja problema iz Uvoda u čvrstoću
 A Singer – rješenje problema iz nepoznatog udžbenika
 AA Pytel – izvrsna grafika, iscrpno, jasno, primjeri, problemi s parnim rezultatima, *tablice*
 AA Gere7 – izvrsna grafika, iscrpno, jasno, primjeri, problemi s rezultatima, dodaci *rješavanja problema*
 AA Gere-Brief – izvrsna grafika, iscrpno, jasno, primjeri, problemi s rezultatima, *ispitni zadaci*
 AA Pytel – izvrsna grafika, iscrpno, jasno, primjeri, problemi s parnim rezultatima, *tablice*
 AA Beer – dobre ilustracije, iscrpno s brojnim primjerima i problemima s rješenjima
 AA Läßle-Einführung – pregledno s brojnim primjerima i problemima s rezultatima
 AA Hibbeler-2010 – iscrpno lijepo, primjeri i problemi – rješeni
 AA Leckie – dobre ilustracije, sažetak, primjeri

Internet

[Childs (2004), str. 312]

http://peerlesselectric.com (elektromotori)
www.baldor.com (elektromotori, oprema)
www.detroitcoil.com (solenoidi)
www.geindustrial.com (opsežna paleta proizvoda)
www.leeson.com (elektromotori, reduktori)
www.pneumatic-source.com (proizvođači pneumatike)
www.reliance.com (elektromotori, oprema)
www.siemens.com (opsežna paleta proizvoda)
www.tic.toshiba.com (opsežna paleta proizvoda)
www.usmotors.com (elektromotori)

Podloge

Glosar

[Dunn (2005), str. 12÷14]

Absolute Accuracy of an instrument is the deviation from true expressed as a number.

Accuracy of an instrument or device is the difference between the indicated value and the actual value.

Actuators are devices that control an input variable in response to a signal from a controller.

Automation is a system where most of the production process, movement, and inspection of materials are performed automatically by specialized testing equipment, without operator intervention.

Controlled or Measured Variable is the monitored output variable from a process, where the value of the monitored output parameter is normally held within tight given limits.

Controllers are devices that monitor signals from transducers and keep the process within specified limits by activating and controlling the necessary actuators, according to a predefined program.

Converters are devices that change the format of a signal without changing the energy form (e.g., from a voltage to a current signal).

Correction Signal is the signal that controls power to the actuator to set the level of the input variable.

Drift is the change in the reading of an instrument of a fixed variable with time.

Error Signal is the difference between the set point and the amplitude of the measured variable.

Feedback Loop is the signal path from the output back to the input, which is used to correct for any variation between the output level and the set level.

Hysteresis is the difference in readings obtained when an instrument approaches a signal from opposite directions.

Instrument is the name of any various device types for indicating or measuring physical quantities or conditions, performance, position, direction, and so forth.

Linearity is a measure of the proportionality between the actual value of a variable being measured and the output of the instrument over its operating range.

Manipulated Variable is the input variable or parameter to a process that is varied by a control signal from the processor to an actuator.

Offset is the reading of the instrument with zero input.

Precision is the limit within which a signal can be read, and may be somewhat subjective.

Range of an instrument is the lowest and highest readings that it can measure.

Reading Accuracy is the deviation from true at the point the reading is being taken, and is expressed as a percentage.

Repeatability is a measure of the closeness of agreement between a number of readings taken consecutively of a variable.

Reproducibility is the ability of an instrument to repeatedly read the same signal over time, and give the same output under the same conditions.

Resolution is the smallest change in a variable to which the instrument will respond.

Sensitivity is a measure of the change in the output of an instrument for a change in the measured variable.

Sensors are devices that can detect physical variables.

Rječnik

hrvatski	engleski	njemački
regulirana veličina	controlled variable	
referentna vrijednost	reference value	
regulacijsko odstupanje	control error	
regulacijska veličina	manipulated variable	
smetnje	disturbance	
sila	force	Kraft
površina	area	Fläche
tlak	pressure	Druck
senzor	sensor	Fühler
aktuator	actuator	Aktuator
povratna veza	feedback	Rückkopplung
regulation	control	Steuerung
sustav automatskog upravljanja	automatic-control system	Automatik-Steuerungssystem

Oznake

Carvill2003/299÷300, Haberhauer2011/637, Shigley1996/A.2,

16 Elementi strojeva 2

[Childs (2004), str. 312÷313]

A	–	površina, m^2
AC	–	izmjenična struja (<i>en. Alternating Current</i>)
D/d	–	vanjski/unutarnji promjer, mm
AD	–	jednosmjerna struja (<i>en. Direct Current</i>)
F	–	sila, N
m	–	masa, kg
$L/B/H$	–	duljina/širina/visina, mm
n	–	frekvencija, $^\circ/\text{min}$
p	–	tlak, N/mm^2
q_m	–	maseni protok, kg/s ,
q	–	volumni protok, m^3/s ,
t	–	vrijeme, s
T	–	apsolutna temperatura, K
V	–	napon, V; volumen, m^3
v	–	brzina, m/s
W	–	rad, J
ϑ	–	temperatura, $^\circ\text{C}$
η	–	koeficijent gubitaka energije, 1;
ω	–	kutna brzina, rad/s ,
ρ	–	gustoća, kg/dm^3 ; električna otpornost, $\mu\Omega \cdot \text{cm}$
Δp	–	razlika tlakova, Pa,
$\Delta\vartheta$	–	razlika temperatura, $^\circ\text{C}$,

Formule

Norme

Podaci

Razno

Teme

1. **Elementi automatske regulacije**

- Sustavi, stanja i procesi
- Dinamika procesa
- Regulacija procesa
- Povratna veza
- Automatska regulacija procesa
- Mjerni podsustavi
- Upravljački podsustavi
- Proporcionalni upravljački podsustavi
- Diferencijalni upravljački podsustavi
- Integralni upravljački podsustavi
- PID upravljački podsustavi
- Izvršni podsustavi
- Elektromagnetni aktuatori
- Koračni elektromotori
- Programibilni sustavi automatske regulacije
- Korištenje PC-a za automatsku regulaciju
- Sustavi automatske regulacije s mikroprocesorima
- Sustavi daljinske regulacije
- Sustavi bežične regulacije
- Stabilnost, osjetljivost i robustnost
- Analiza sustava i procesa
- Sinteza automatske regulacije
- Ugradnja i povezivanje komponenti automatske regulacije
- Puštanje u rad sustava automatske regulacije
- Pogon i održavanje sustava automatske regulacije
- Odlaganje sustava automatske regulacije
- Sustav automatske deblokade kotača vozila
- Sustav automatske regulacije hladnjaka
- Sustavi automatske regulacije centralnog grijanja
- Sustavi automatske regulacije stroja za pranje rublja

Izvodi

Provjera znanja

Pitanja

Zadaci

Provjera znanja

Kod prezentacija i računskih zadataka ocjenjuje se: zanimljivost, sadržaj, obim, razina i estetika.

Prezentacija

- *Svaki student u grupi priprema prezentaciju uz korištenje programa: PowerPoint, CorelDraw i Photoshop;*

Izračunavanja

- *Računske zadatke rade timovi od po 3 studenta (2 ili 4);*
- *Tekst se piše u Word-u s formulama pisanim uz korištenje MathType-a;*
- *Crteži se izrađuju u CorelDraw i/ili AutoCAD-u i/ili SolidWorks-u;*
- *Zadacima se prilažu MATLAB semi-programi (format *.m);*

2. Zadatak – **02 Čvrstoća materijala: (60 bodova)**

- Izraditi prezentaciju odabrane teme iz Čvrstoće materijala i elemenata (20 bodova);
- Izraditi zadatak iz: rastezanja, sabijanja ili smicanja (20 bodova);
- Izraditi zadatak iz: uvijanja, savijanja ili izvijanja (20 bodova);
- Izraditi zadatak iz: koncentracija naprezanja ili dinamičkih naprezanja (20 bodova).

OBAVEZNO:

- svaki student po jednu prezentaciju (a),
- svaka grupa po jedan zadatak (b).
- svaka grupa jedan zadatak po izboru (c) ili (d),

2. Zadatak – (a) Presentacija (20 bodova)

Izraditi prezentaciju odabrane teme iz Čvrstoće materijala i elemenata.

Napomena: Naslov teme može biti jednak ili uži od sljedećih naslova tema:

Teme (prijedlozi naslova za prezentacije)

3. Nauka o čvrstoći i vrste mehaničkih opterećenja
4. Rastezanje i sabijanje - opterećenje
5. Savijanje - opterećenje
6. Smicanje i uvijanje - opterećenje
7. Osnove naprezanja i deformacija
8. Rastezanje i sabijanje - naprezanja i deformacije
9. Savijanje - naprezanja i deformacije
10. Smicanje i uvijanje - naprezanja i deformacije
11. Koncentracija naprezanja
12. Izvijanje
13. Mehanička opterećenja
14. Dinamička opterećenja
15. Kontaktna naprezanja
16. Proces deformiranja pri opterećivanju
17. Svojstva i mehaničke karakteristike materijala
18. Promjene mehaničkih karakteristika tijekom vremena
19. Izbor materijala
20. Načela proračuna
21. Primjeri proračuna (1): rastezanje, sabijanje, čisto savijanje
22. Primjeri proračuna (2): smicanje, uvijanje
23. Primjeri proračuna (3): koncentracija naprezanja i izvijanje
24. Primjeri proračuna (4): Dinamičko opterećenje

20 Elementi strojeva 2

2. Zadatak – (b) Rastezanje, sabijanje, smicanje (20 bodova)

Izraditi zadatak iz: istežanja, sabijanja ili smicanja.

2. Zadatak – (c) Uvijanje, savijanje, izvijanje (20 bodova)

Izraditi zadatak iz: uvijanja, savijanja ili izvijanja.

22 Elementi strojeva 2

2. Zadatak – (d) Koncentracija naprezanja, dinamičko naprezanje (20 bodova)

Izraditi zadatak iz: koncentracija naprezanja ili dinamičkih naprezanja.

Literatura

Albertos P., Mareels I.: *Feedback and Control for Everyone*; Springer, 2010.

Aström K. J., Murray R. M.: *Feedback Systems – An Introduction for Scientists and Engineers*; Princeton University Press, 2008.

1. Bau H. H., deRooij N. F., Kloek B.: *Sensors – A Comprehensive Survey - Vol 7 Mechanical Sensors*; VCH, 2004.
2. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N.: *MEMS Mechanical Sensors*; Artech House, 2004.
3. Berger H.: *Automatisieren Mit SIMATIC – Controller, Software, Programmierung, Datenkommunikation, Bedienen Und Beobachten*, 4. Auflage; MCD Werbeagentur, 2009.
4. Bishop R. H.: *Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators – Fundamentals and Modeling*; CRC, 2008.
5. Böge A.: *Vieweg Handbuch Maschinenbau - Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik*, 18. Auflage; Vieweg, 2008.

Bungartz H.-J., Zimmer S., Buchholz M., Pflüger D.: *Modellbildung und Simulation – Eine anwendungsorientierte Einführung*; Springer, 2009.

6. Childs P.: *Mechanical Design*, 2nd Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

DiStefano J. J., Stubberud A. R., Williams I. J.: *Schaum's Outline Theory and Problems of Feedback and Control Systems*, 2nd Edition; McGraw-Hill, 1994.

Dorf R. C., Bishop R. H.: *Modern Control Systems*, 12th Edition; Prentice Hall, 2010.

7. Dunn W. C.: *Introduction to Instrumentation, Sensors, And Process Control*; Artech House, 1580530117.
8. Eren H.: *Wireless Sensors and Instruments*; CRC 2006.
9. Fraden J.: *Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs, and Applications 3rd Edition*; Springer, 2003.
10. Fraden J.: *Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs, and Applications*, 3th Edition; Springer 2004.
11. Fraden J.: *Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs, and Applications*, 4th Edition; Springer 2010.
12. Frank R.: *Understanding Smart Sensors*, 2nd Edition; Artech House, 2000.
13. Gaura E., Newman R.: *Smart MemS And Sensor Systems*; Imperial College Press 2006.
14. Golnaraghi F., Kuo B. C.: *Automatic Control Systems*, 9th Edition – Solutions Manual; Wiley 2009.
15. Golnaraghi F., Kuo B. C.: *Automatic Control Systems*, 9th Edition; Wiley 2009.
16. Grote K.-H., Feldhusen J.: *Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau*, 22. Auflage; Springer, 2007.
17. Hering E., Schröder B.: *Springer Ingenieurtabellen*; Springer, 2004.
18. Hesse S., Schnell G.: *Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation: Funktion – Ausführung - Anwendung*, 4. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
19. Hompel M., Büchter H., Franzke U.: *Identifikationssysteme und Automatisierung (VDI-Buch)*, Springer, 2008.
20. Jackson R. G.: *Novel Sensors and Sensing*; Institute of Physics, 2004.
21. Kiencke U., Nielsen L.: *Automotive Control Systems: For Engine, Driveline, and Vehicle*, 2nd Edition; Springer, 2005.
22. Kilian C. T.: *Modern Control Technology - Components and Systems*, 2nd Edition; Delmar Thomson Learning, 2000.

Levine W. S.: *The Control Handbook – Control System Fundamentals*, 2nd Edition; CRC, 2011.

Lunze J.: Regelungstechnik 1 – Systemtheoretische Grundlagen Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen, 8. Auflage; Springer, 2011.

Lunze J.: Regelungstechnik 2 – Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung, 6. Auflage; Springer, 2010.

Lurie B. J., Enright P. J.: Classical Feedback Control - With MATLAB; Marcel Dekker, 2000.

Mandal A. K.: Introduction to Control Engineering – Modeling, Analysis and Design; New Age International, 2006.

23. Marek J., Trah H.-P., Suzuki Y., Yokomori I.: Sensors Applications Vol 4 - Sensors for Automotive Technology; Wiley-VCH, 2003.

24. Mims F. M.: Engineer's Mini Notebook – Sensor Projects B000OTERV0; Radio Shack, 1996.

25. Nawrocki W.: Measurement Systems And Sensors; Artech House, 2005.

26. Nyce D. S.: Linear Position Sensors – Theory and Application; John Wiley & Sons, 2004.

Ogata K.: Modern Control Engineering, 2nd Edition; Pearson Education International, 2002.

Orlowski P. F.: Praktische Regeltechnik – Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 8. Auflage; Springer VDI 2009.

Orlowski P. F.: Praktische Regeltechnik – Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 9. Auflage; Springer VDI 2011.

27. Pawlak A. M.: Sensors and Actuators in Mechatronics – Design and Applications; CRC, 2007.

28. Petruzzellis T.: Electronics Sensors for the Evil Genius - 54 Electrifying Projects; McGraw-Hill 2006.

29. Pons J. L.: Emerging Actuator Technologies – A Micromechatronic Approach; John Wiley & Sons 2005.

30. Reif K.: Bosch Autoelektrik und Autoelektronik – Bordnetze, Sensoren und elektronische Systeme, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2010.

31. Reif K.: Sensoren im Kraftfahrzeug; Vieweg+Teubner, 2010.

32. Ripka P., Típek A.: Modern Sensors Handbook; ISTE, 1905209665 2007.

33. Scott D. M.: Industrial Process Sensors; Taylor and Francis Group, 2007.

34. Sinclair I. R.: Sensors and Transducers 3rd Edition; Newnes, 2001.

35. Smith C. A.: Principles and Practice of Automatic Process Control, 2nd Edition; Wiley, 1997.

36. Soloman S.: Sensors and Control Systems in Manufacturing, 2nd Edition; McGraw-Hill Professional, 2009.

37. Steinhilper W., Sauer B.: *Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben*, 6. Auflage; Springer, 2008.

38. Šurina T.: *Automatska regulacija, četvrto izdanje*; Školska knjiga, 1987.

39. Tompkins W. J., Webster J. G.: – Interfacing Sensors to the IBM-PC; Prentice-Hall, 1998.

40. Tönshoff H. K., Inasaki I.: Sensors Applications – Vol 1 Sensors in Manufacturing; Wiley-VCH, 2001.

41. Webster J. G.: The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM; CRC 1999.

42. Weck M., Brecher C.: Werkzeugmaschinen 4 – Automatisierung von Maschinen und Anlagen (VDI-Buch); Springer, 2006.

43. Wilson J. S.: Sensor Technology Handbook; Newnes, 2005.

Xue D., Chen Y.Q., Atherton D.P.: Linear Feedback Control - Analysis and Design with MATLAB; Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007.

44. Yamasaki H.: Handbook of Sensors and Actuators – Vol 3 Intelligent Sensors; Elsevier, 2001.

45. Yurish S. Y., Gomes M. T.: Smart Sensors and MEMS; Kluwer Academic, 2004.

Zacher S., Reuter M.: Regelungstechnik für Ingenieure – Analyse Simulation und Entwurf von Regelkreisen, 13. Auflage; Vieweg+Teubner 2011.

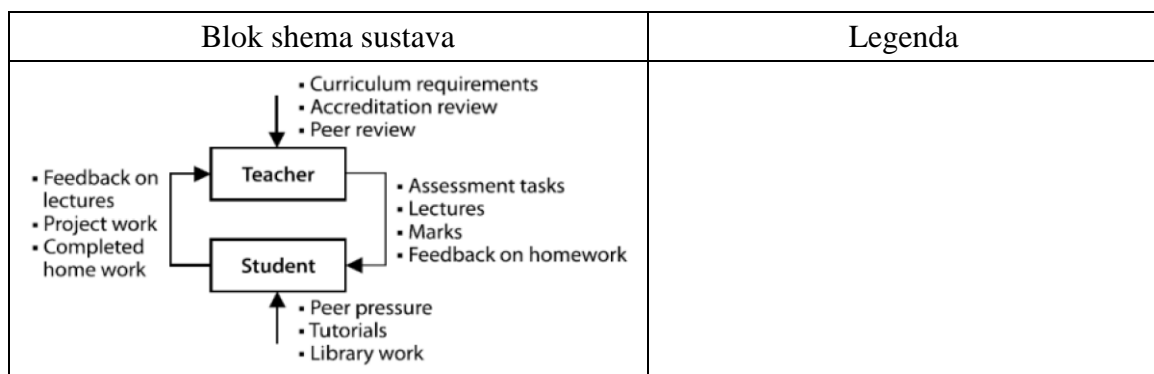
We will find it very useful to visualize the information loop associated with feedback in a so-called *block diagram*. We will make extensive use of block diagrams throughout the book.

For the student-teacher example we just discussed, we may use the block diagram as represented in Fig. 1.1. Both the teacher and the student are represented by a separate box. The defining feature of a *box* in a block diagram is that a box can take actions (e.g. the teacher provides lectures, results, and assessment tasks). Also, when we observe a box, or take measurements from it, we obtain information about its possible actions (e.g. we may observe the teacher's command of how to project his/her voice during lectures). Both, actions and observations are indicated by an arrow leaving a box. The arrow leaving a box indicates that information has been extracted from it. We refer to these as *outputs*. Further, a box can receive information, or an *input* and this is indicated by an arrow directed into it. In particular, a box may produce an action in response to an input; but not all of the output has to be initiated by or be in response to an input. The teacher may deliver a marked assignment in response to the received assignment, but most of the lecture material is not in response to student input, although some invariably is. An output of one box can be an input into another box, as is clearly the case in Fig. 1.1.

When we identify a closed path or a cycle in the block diagram, we know that feedback is present.

The boxes in a block diagram are normally referred to as *systems*, or *subsystems*, and the entire block diagram is interpreted as the system of interest.

Block diagrams are a very useful tool to visualize a system, or a part of a system of interest. They provide us with a window, a point of view on a system. Any one system of interest may have a few different block diagrams associated with it, depending on what information we may be interested in, or which signals we want to include. A block diagram captures and communicates to the viewer how (sub)systems interact as well as what we find important.



The overall behavior of the teacher-student interaction will also depend on other information, coming from the environment in which the student-teacher interaction takes place. The teacher will need to plan the teaching in order to meet the curriculum requirements, and will need to satisfy the accreditation board that the expected standards are met. Likewise peer pressure and self study time will play an important role in how much progress the student makes in the class. This other information is also indicated in the block diagram Fig. 1.1, by arrows coming from nowhere into the blocks. These signify external signals, coming from other sys-

tems not identified, and loosely referred to as the environment. At times it may be useful to indicate information extracted from the system that is available to the system's environment. Such is represented by arrows leaving a box pointing to nowhere in particular. So it may be perceived that the block diagram in Fig. 1.1 is but a small subset of a potentially much larger block diagram considering many other interactions, and further feedback loops.

Upravljanje – mijenjaju se vrijednosti ulaznih veličina kako bi se postigle željene vrijednosti izlaznih veličina.

Zadaci su upravljanja tehničkim sustavima:

- poboljšanje kvalitete proizvoda i usluga
- minimizacija otpada u proizvodnom procesu
- zaštita okoliša
- veća proizvodnost postojećih kapaciteta u proizvodnom procesu
- veći prihod
- produljenje životnog vijeka postrojenja
- veća sigurnost
- ...

Sa stajališta procesa, tri su osnovne grupe zadataka koje sistem upravljanja treba da obavi:

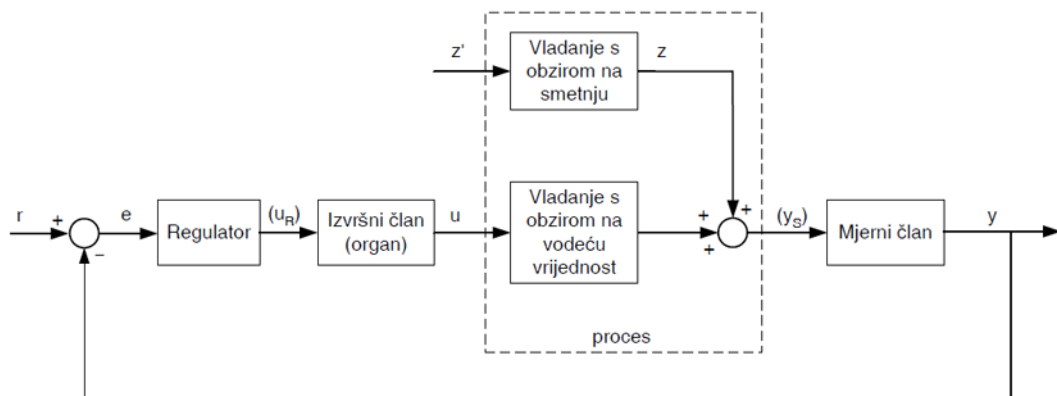
- Otklanjanje uticaja spoljašnjih poremećaja
- Osiguravanje stabilnosti procesa
- Optimizovanje rada procesa

Svi ovi zahtjevi relevantni su za upravljanje "integriranih" industrijskih, energetskih i transportnih sustava.

Regulacija – na temelju informacije o neželjenim vrijednostima izlaznih veličina mijenjaju se vrijednosti ulaznih veličina.

Regulacijski krug obuhvaća 4 glavna sastavna dijela:

25. proces
26. mjerni član
27. regulator
28. izvršni (postavni) član



y – regulirana veličina (stvarna vrijednost) (engl. controlled variable)

r – referentna veličina (postavna veličina, referenca) (engl. reference value)

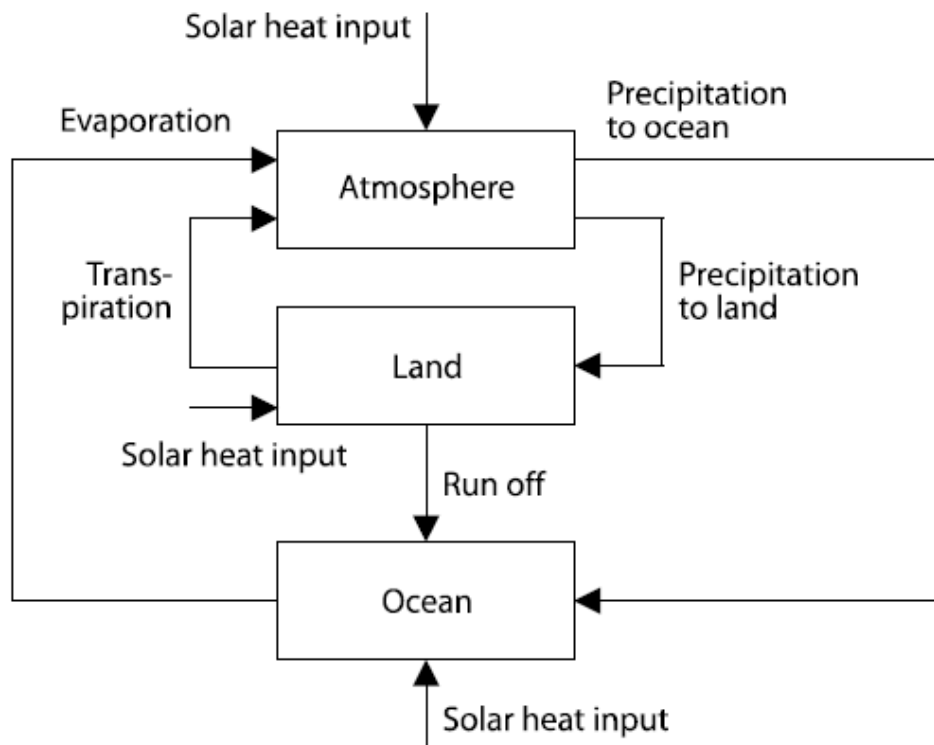
e – regulacijsko odstupanje (engl. control error)

u – upravljačka, izvršna veličina (engl. manipulated variable)

z – smetnja, poremećaj (engl. disturbance)

Blok dijagrami

A simple representation of the hydrocycle, illustrated in Fig. 1.3, reveals more generally how recycling in a material flow, not just water, implies feedback. In depicting a block diagram for the hydrocycle we have distinguished three major water reservoirs, the atmosphere, the oceans and the soil; as well as the water flows between them. This block diagram reflects that we are interested in water storage and water transport. Any one box stores water, its inputs represent inflows, and its outputs represent water outflows. Clearly a lot is missing (for one, no amount of information about the flows will reveal to us how much water there is actually in the reservoirs). The main energy source driving all of this comes from the Sun, and this is indicated. To make the description more complete we could further subdivide the land reservoir and consider both surface water and ground water.



Summary Block Diagrams [Albertos2010/26]

In general, block diagrams are composed of:

- (labeled) blocks representing (sub)systems, that act on signals (inputs) and produce signals (outputs);
- directed lines, representing the direction of information flow; these are labeled by the signals.

It is the tradition in drawing block diagrams that some special, frequently occurring blocks that perform very simple operations, are often represented by other than rectangular boxes. Some examples are:

- a *summation block*, typically represented by a circle with a plus sign inside. A summation block's output signal is the sum of all the input signals. The input arrows into the summation block often carry a label + or -, if the label is + (or when no such label is provided) the input signal gets simply added, if the label is -, then the negative of the signal is added to form the output.
- a *multiplication block*, also called a multiplier, typically represented by a circle with a multiplication sign inside. A multiplier is a block whose output signal is the product of its input signals. Input arrows into a multiplier can be labeled with + or - to indicate if the signal or its negative respectively is used in the multiplication.

Any other operation involving one or several inputs and providing one or several outputs is usually described inside a rectangular box. If the output y is generated as the result of the effect of two inputs, u_1 and u_2 , through the operation represented as G , the notation will be $y = G(u_1, u_2)$.

We may identify the following special classes of signals:

- *external input signals*, an arrow into the block diagram, but which does not originate from the block diagram under consideration;
- *external output signal*, an arrow away from the block diagram, but which does not terminate into the block diagram under consideration;
- *internal signal*, an arrow whose endpoints are connected to subsystems in the block diagram.

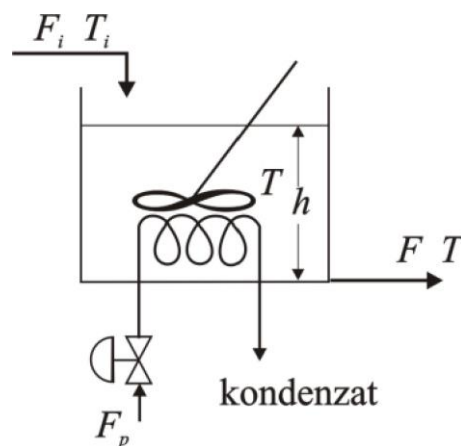
External signals are said to connect to, or originate from the *environment* of the block diagram. Internal signals are those signals whose cause (origin) and effect (consequence) are linked to the systems in the block diagram.

Signals can connect to more than one block. When this occurs, we say that the directed line representing the signal *bifurcates*.

- It is possible for a signal to be both an internal as well as an external output signal.
- a *gain block* or amplifier, typically represented by a triangle. The gain block takes the input signal and multiplies it with a constant, the so-called gain of the amplifier.

Primjeri automatske regulacije

Primer: Protočni sud za zagrevanje tečnosti

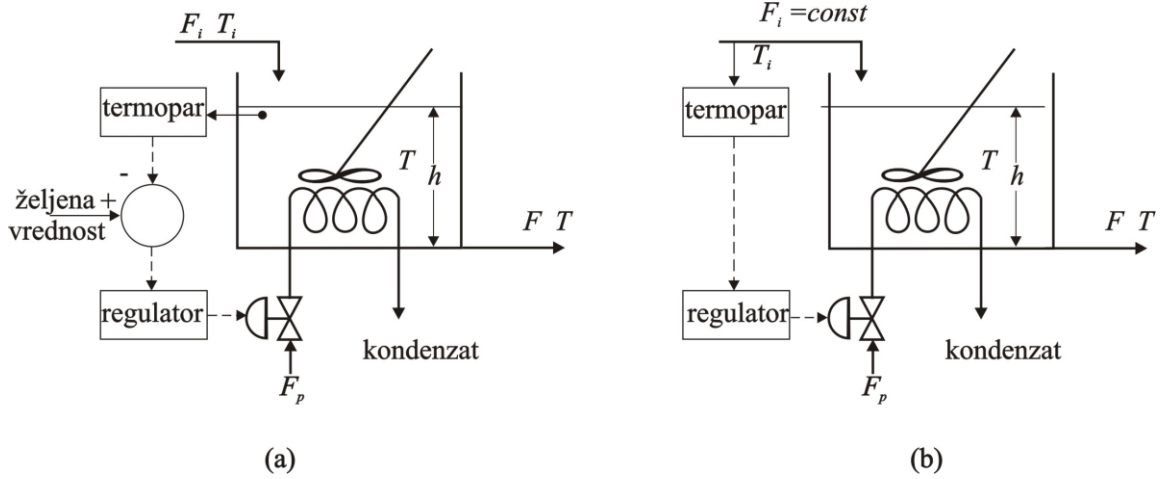


Ciljevi: Održavanje visine nivoa h i temperature u sudu T na konstantnim vrednostima

Mogući poremećaji: F_i , T_i , $T_{okoline}$

Moguća rješenja:

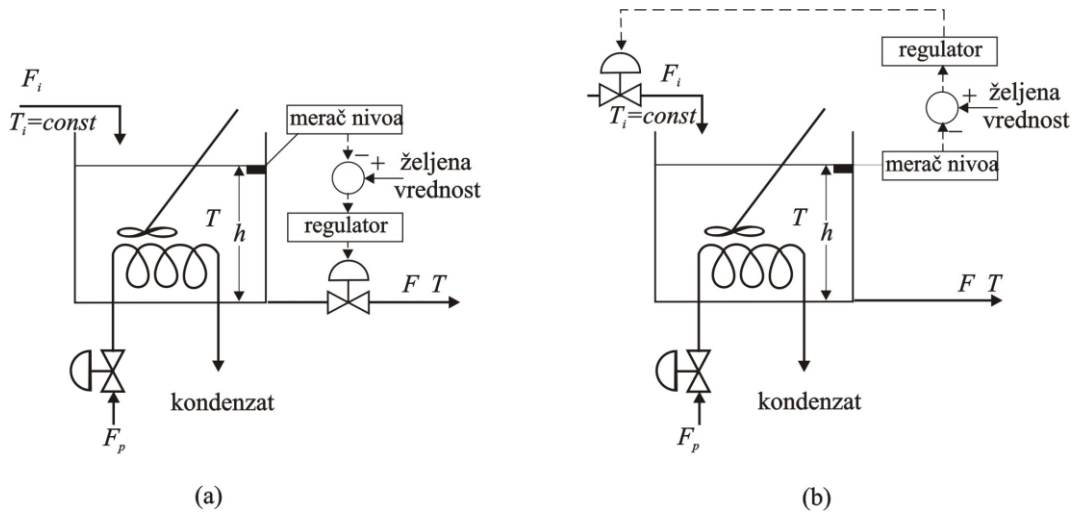
Održavanje konstantne temperature u reaktoru



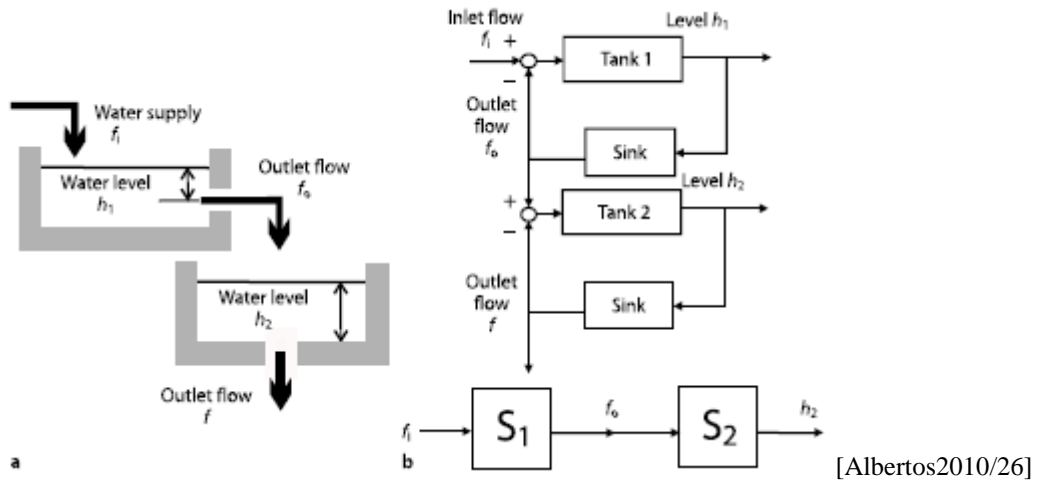
(a) sistem sa negativnom povratnom spregom

(b) sistem sa upravnom spregom

Održavanje konstantne visine nivoa u reaktoru



Regulacija nivoa: (a) u pravcu toka; (b) nasuprot toku

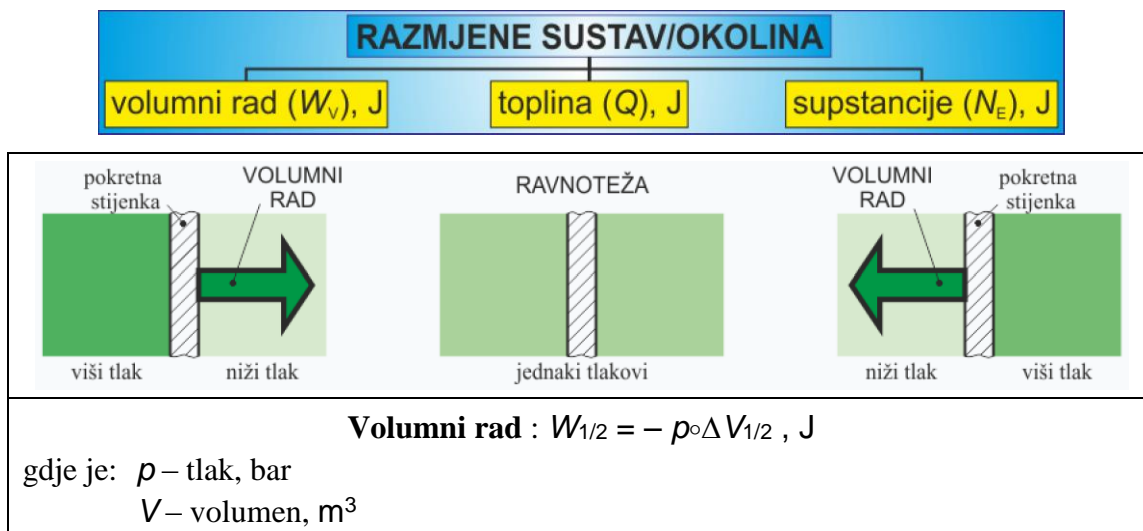


[Albertos2010/26]

Stanja i procesi

Stanje sustava se opisuje prikladnim veličinama stanja, a procesi veličinama procesa.

Termodinamika proučava stanja sustava i procese razmjene sustava i okoline:



Dinamika procesa [Albertos2010/17]

Procesno postrojenje:

“Skup procesnih jedinica (reaktora, razmenjivača toplote, destilacionih kolona, apsorbera, separatora, rezervoara, pumpi, cevovoda itd.) međusobno povezanih na sistematski i racionalan način, sa svrhom da se određene polazne sirovine prevedu u željene proizvode, uz korišćenje potrebne energije, na što ekonomičniji način.”

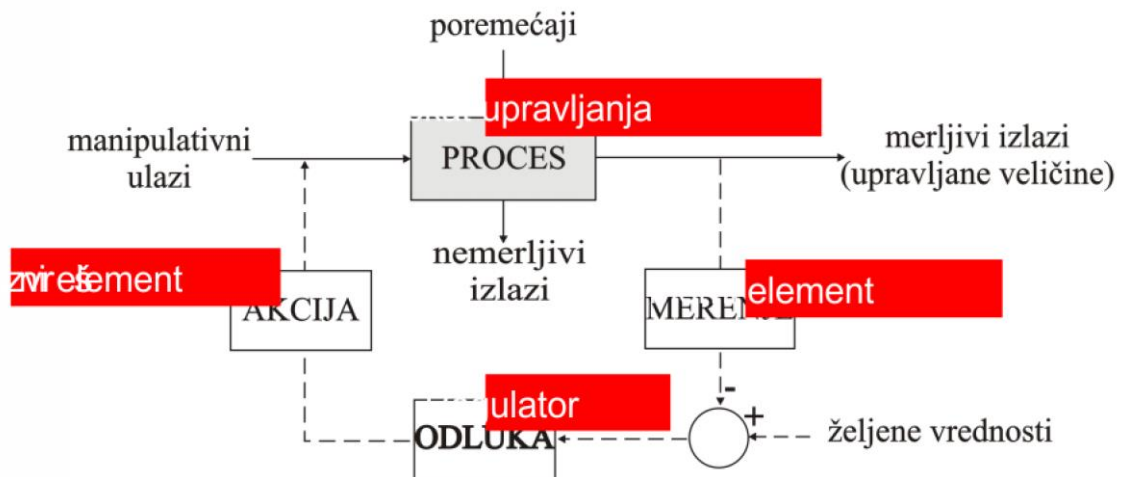
Osnovni zahtevi koje procesno postrojenje mora da ispuni:

- Sigurnost (bezbednost)
- Proizvodna specifikacija
- Zahtevi u pogledu očuvanja okoline
- Radna ograničenja
- Ekonomski zahtevi

Kontrola i regulacija – definicije

Automatsko upravljanje je nužno u većini tehničkih sustava. Ono je skrivena tehnologija i nije toliko razvikana kao neke druge discipline, no bez nje 90% današnjih sustava ne bi moglo raditi.

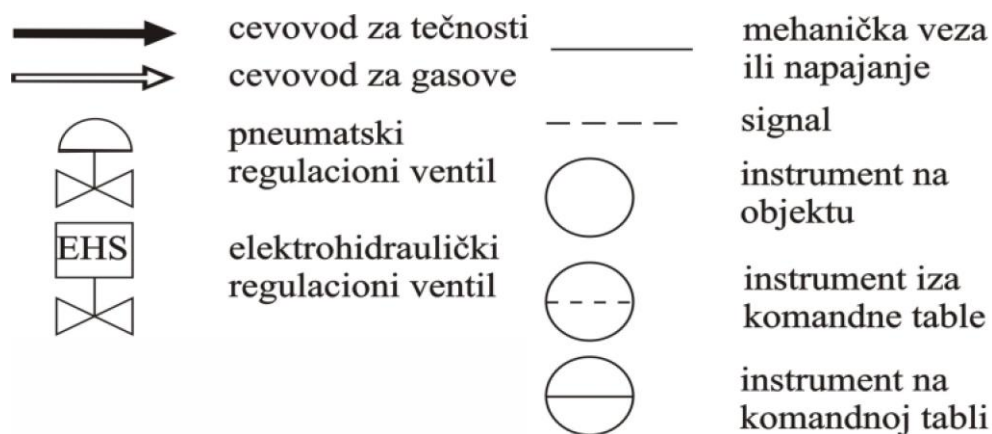
Vrste regulacije



- Objekat upravljanja - Proces (reaktor, separator, reazmenjivač toplote, ...)
- Merni element – transmitter: Pretvara fizičku veličinu koja se meri u standardni signal
- Regulator - računska mašina: obradjuje signal iz transmitera. Izlazni signal – nalog izvršnom elementu
- Izvršni element: Sprovodi u delo odluku regulatora. U procesnoj industriji najčešće regulacioni ventil
- Prenosne (transmisionne) linije – povezuju elemente SAU
- Vrste opreme - prema tipu signala i vrsti dodatne energije koju koristi:
 1. Pneumatska – precizna mehanika:
 - Signal: pritisak instrumentalnog vazduha (0.2-1 bar)
 - Napajanje: instrumentalni vazduh pritiska 1.4 bar (kompresor)
 - Prenos signala: standardne metalne cevčice
 2. Električna: standardni strujni i naponski sistemi
 - Signali: jačina struje (5-20 mA) ili napon (1-5 V)
 - Napajanje: 24 V (transformator)
 - Prenos signala: električni vodovi
 3. Digitalna: digitalni uredjaji i signali
- Dodatna oprema:
 - Pretvarači signala (P/I, I/P, I/U, U/P, ...)
 - Pokazivači (indikatori)
 - Pisači (registratori)
 - Uredjaji za signalizaciju (alarm)
 - Napojne jedinice

Standardne oznake uredjaja, merno-regulacione opreme i signala

34 Elementi strojeva 2



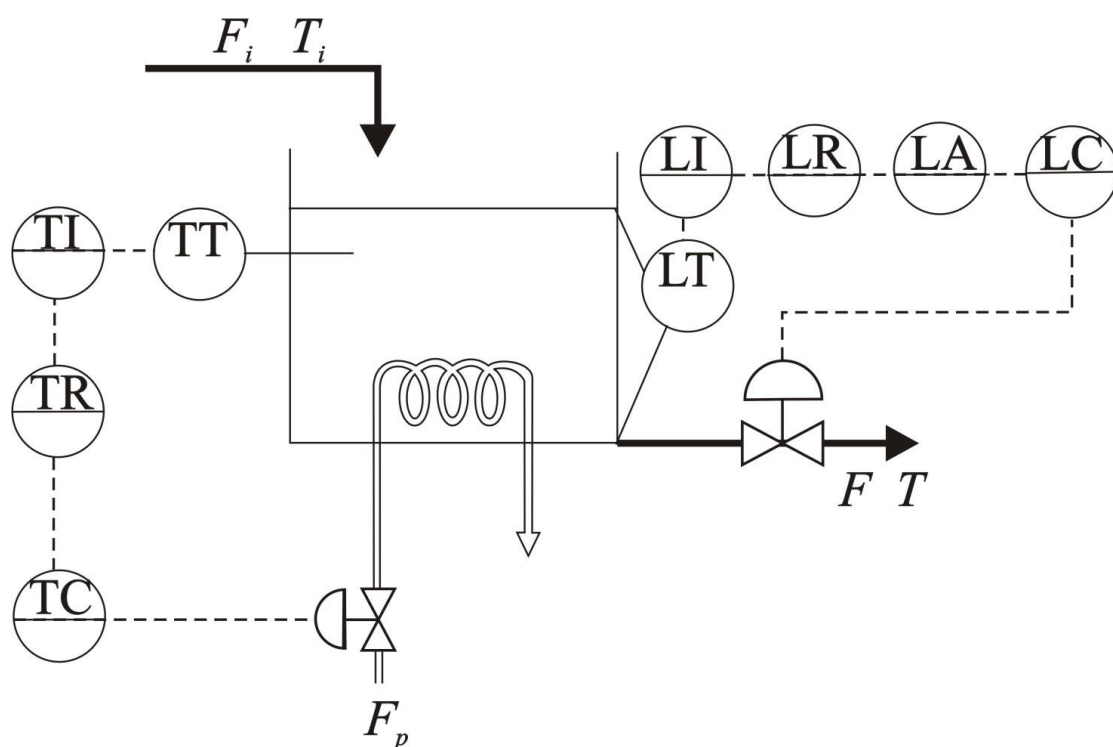
Oznake za merno regulacionu opremu
Standardni krugovi kojima se definiše:

- Dispozicija opreme
- Uloga uređaja - sistem slovnih oznaka:
 - I pozicija: fizička veličina
 - II pozicija: funkcija

Tabela 1.3-1. Najčešće oznake merno-regulacionih elemenata na tehnološkim šemama

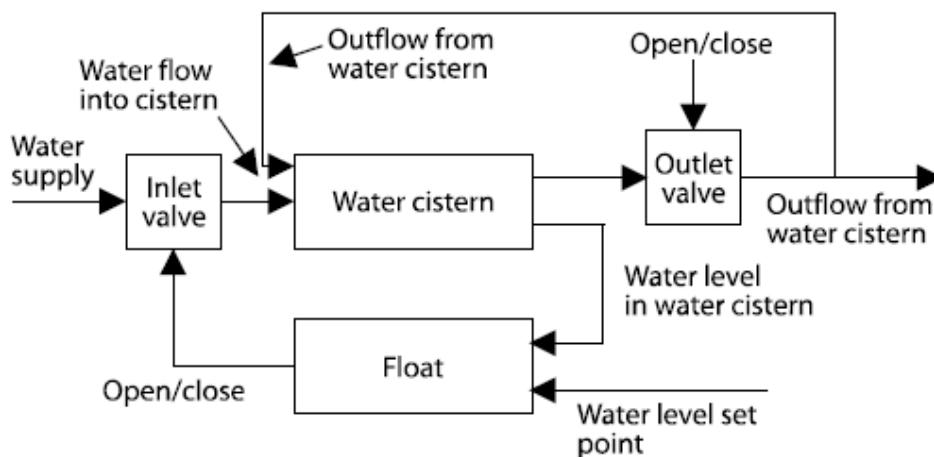
procesna veličina	transmitter	pokazivač	pisač	regulator	signa- lizacija	signal. niske vredn.	signal. visoke vredn.
temperatura, T	TT	TI	TR	TC	TA	TAL	TAH
pritisak, P	PT	PI	PR	PC	PA	PAL	PAH
razlika pritiska, PD	PDT	PDI	PDR	PDC	PDA	PDAL	PDAH
protok, F	FT	FI	FR	FC	FA	FAL	FAH
odnos protoka, FF		FFI	FFR	FFC	FFA	FFAL	FFAH
protekla zapremina, FQ		FQI	FQR	FQC	FQA	FQAL	FQAH
nivo, L	LT	LI	LR	LC	LA	LAL	LAH
sastav, A	AT	AI	AR	AC	AA	AAL	AAH

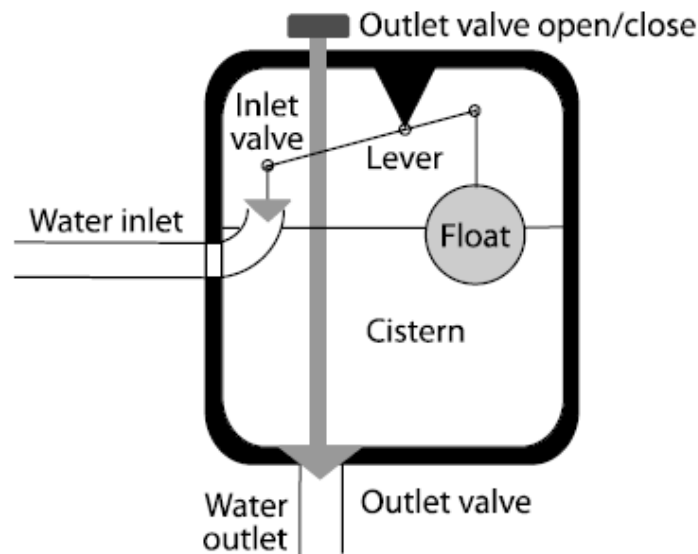
Sistem automatskog upravljanja za održavanje temperature i nivoa u sudu sa mešanjem na konstantnim vrednostima



Sustav automatske regulacije vodokotlića [Albertos2010/6]

Consider as another example Fig. 1.2 which captures the feedback that is present in a generic toilet flush system.





Here we have four boxes or (sub)systems that we focus on: the inlet valve, the water cistern, the outlet valve and the float. To be more complete we could have also considered the water supply, the water bowl and the drain. How the outlet valve is operated has been left out of the picture, it could be either manually operated or by means of a proximity sensor. What we measure, or where we draw the boundary for the block diagram is really our choice, it simply reflects the variables we are interested in. Here, in Fig. 1.2, we are interested in the water level in the water cistern, the inflow of water and the outflow of water as well as the input given to the inlet valve from the float. The inlet flow into the cistern is determined from the valve position and the available water pressure, but we have chosen not to consider these aspects. We simply treat the inlet flow as an input to the cistern as modulated by the valve. The feedback is executed through the float. The float ensures that as long as the water level is below the desired water level the inlet valve remains open. The details of how the inlet valve operates, the mechanics of the float and how the outlet flow comes about could be of interest, but to understand the overall working of the flush system they are actually of little concern.

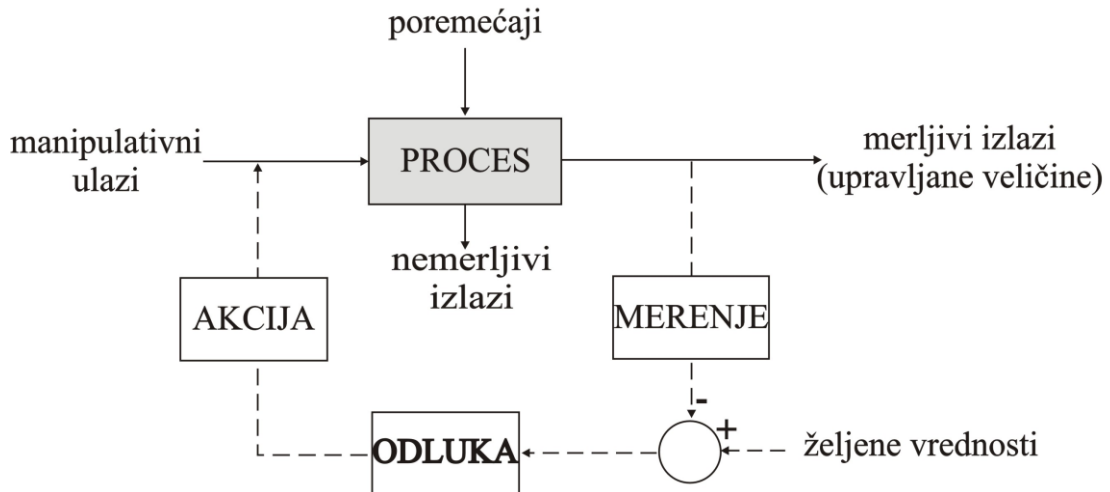
There is also a second feedback loop inherent in the operation of the cistern: the feedback from the outflow to the cistern. Indeed the outflow also determines the water level in the cistern. This loop nicely illustrates the fact that the arrows in a block diagram are about information, not material flow. If it were only the latter, clearly the only arrow would be out of the cistern as outflow means just that, water leaving the cistern. Nevertheless, the amount of water leaving the cistern determines together with the inflow and the cistern shape the water level in the cistern; the information associated with the outflow is required to determine the water level, hence the arrow from the outlet valve back into the cistern.

The external inputs to the system are the water supply, assumed amply available, the position of the outlet valve and the reference level, which is usually hidden in the input valve mechanism. This is one of the important points in the use of block diagrams. Precise knowledge of the internal workings of the separate subsystems in a block diagram is (often)

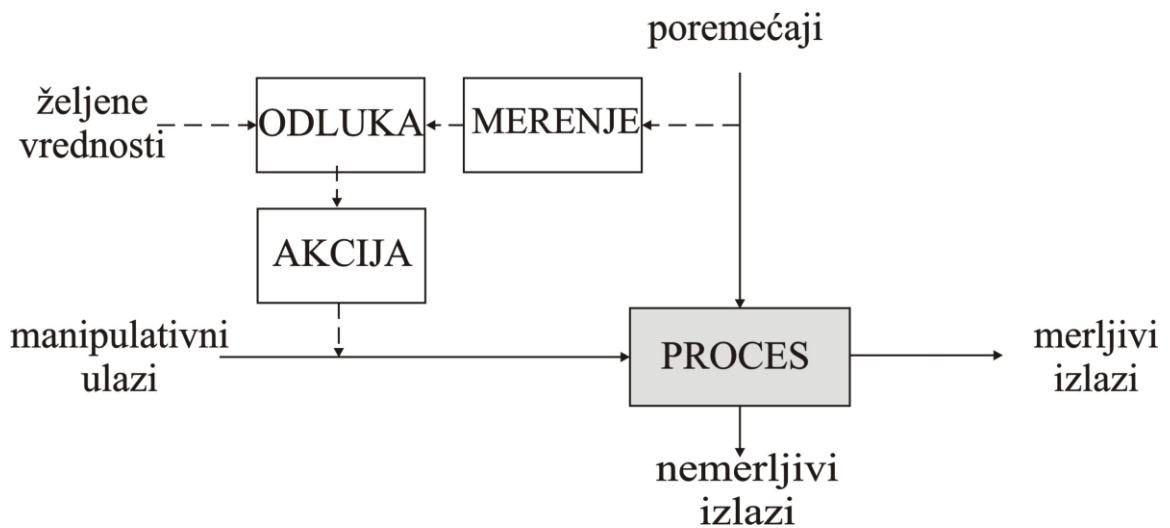
not required in understanding the overall working of the system captured in the block diagram.

Povratna veza

- Konfiguracija upravljanja sa negativnom povratnom spregom (zatvoreno regulaciono kolo)



- Konfiguracija upravljanja sa upravnom spregom (otvoreni sistem upravljanja – upravljanje po smetnji)



Vrste automatske regulacije

Automatska regulacija – blok shema

Senzori automatske regulacije

U širem smislu, senzori pretvaraju teže u lakše mjerljive veličine. Na primjer, temperatura tijela se mjeri prema promjeni boje prikladne kemijske supstancije.

U užem smislu, senzori pretvaraju fizičke veličine (*npr. razmak, temperatura*) u električne veličine (*npr. napon, otpor*).

Karakteristike su senzora:

- mjerena veličina,
- mjerni opseg (raspon mjerene veličine unutar kojeg senzor ostvaruje deklarirana svojstva),
- točnost (određuje mjerna svojstva senzora u odnosu na stvarnu vrijednost mjerene veličine),
- brzina odziva (kašnjenje izmjerene vrijednosti za mjerenom veličinom),
- linearnost (odnos između mjerene veličine i izmjerene vrijednosti za čitav mjerni opseg),
- vrsta izlaza (analogni ili digitalni),
- temperaturni opseg (temperaturni opseg unutar kojeg senzor ostvaruje deklarirana svojstva),
- ...

Vrijednost fizičku veličinu nije moguće odrediti senzorom bez pojave greške. Na točnost senzora utječu:

- Statička pogreška je odstupanje izmjerene vrijednosti od stvarne vrijednosti mjerene veličine. Izražava se u postotku punog mjernog opsega senzora. Mjerena veličina treba biti konstantna.
- Dinamička pogreška nastaje uslijed vremenske promjene mjerene veličine, tako da izmjerena vrijednost kasni za stvarnom vrijednosti mjerene veličine.
- Ponovljivost je izražena preko statističkog odstupanja izmjerene vrijednosti od stvarne vrijednosti mjerene veličine. Kod senzora koji ima dobru ponovljivost moguće je kompenzirati statičku pogrešku.
- Mrtvo vrijeme predstavlja vremenski interval između promjene mjerene veličine do promjene izmjerene vrijednosti.
- Mrtva zona definirana je kao najveća promjena mjerene veličine koja neće izazvati promjenu izmjerene vrijednosti.

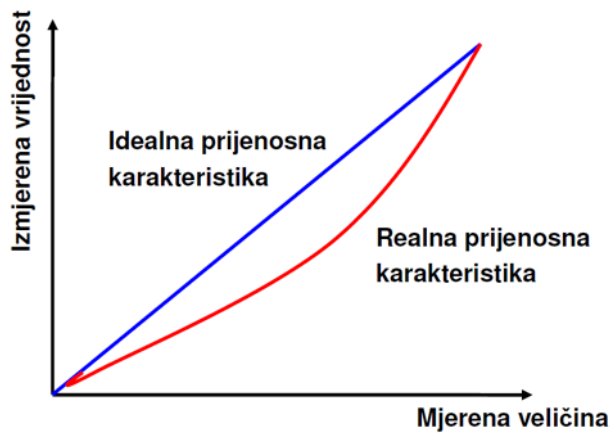
Senzorima nije moguće odrediti trenutne vrijednosti fizičke veličine uslijed dinamičkih grešaka, mrtvih vremena i mrtvih zona.

Brzina odziva senzora ovisi o nizu utjecaja. Na primjer, na brzinu odziva termopara utječu:

- toplinski otpor - ovisi o prirodi medija čija temperatura se mjeri (vrsta tekućine ili plina) i brzini protoka,
- toplinski kapacitet senzora, Toplinski kapacitet i vodljivosti dijelova izvan medija kojem se mjeri temperatura,
- kašnjenje u prijenosu, tj. vrijeme od promjene temperature na mjernoj točki termopara do promjene izmjerene vrijednosti.

Slični utjecaji se sreću kod svih vrsta senzora.

Pri linearnoj (pravocrtnoj) promjeni određivane veličine javlja se odstupanje promjena izlazne veličine senzora od prave crte.



Nelinearnosti senzora je moguće kompenzirati hardverski i softverski.

Prema određivnoj veličini razlikuju se:

Senzori					
mehanički			električni	toplinski	kemijski
mehanika čvrstih tijela	titranje (zvuk, svjetlost)	mehanika fluida			
položaj vrijeme brzina ubrzanje sila	frekvencija amplituda	tlak razina protok	napon struja otpor	temperatura vlažnost	koncentracija

Prema prirodi izlaznog signala razlikuju se:

Senzori
analogni
digitalni

Analogno-digitalni pretvarači

Pojačala signala

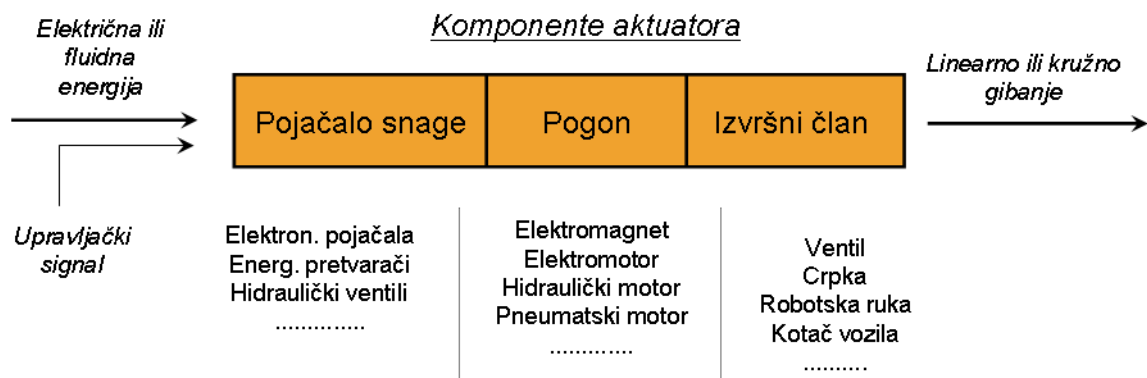
Analiza signala

Digitalno analogni pretvarači

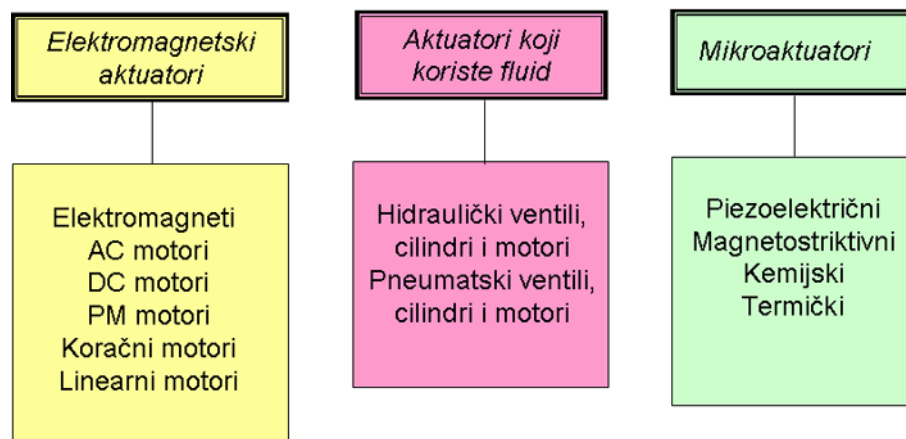
Aktuatori automatske regulacije

Aktuatori pretvaraju su uređaji koji električnu ili fluidnu energiju pretvaraju u mehaničku energiju, te kao izlaznu veličinu imaju silu ili moment pomoću kojih ostvaruju linearno ili kružno gibanje.

Mogu se razlikovati tri osnovna dijela aktuatora:



Aktuatore je moguće podijeliti s obzirom na načine pretvorbe energije:

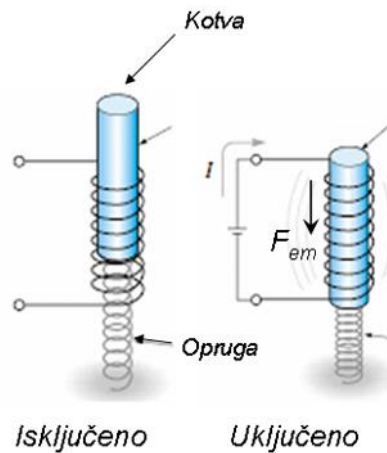


Elektromagneti

Solenoidi su jednostavni elektromagnetski uređaji koji električnu energiju direktno pretvaraju u linearno mehaničko gibanje. Imaju relativno mali hod, što ograničava njihovu primjenu.

Solenoid se sastoji od zavojnice i željezne kotve koja se može gibati unutar zavojnice. Kada se kroz zavojnicu pusti istosmjerna ili izmjenična struja, na kotvu djeluje elektromagnet-

ska sila (F_{em}) koja je uvlači unutar zavojnice. Za povratak kotve u početni položaj koristi se opruga.



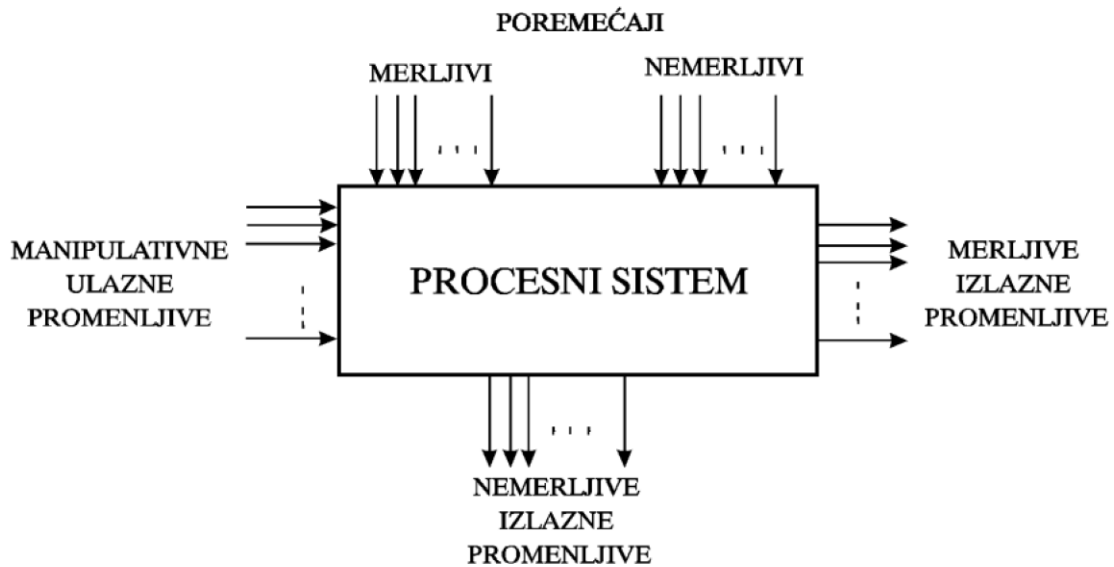
Zbog malog hoda primjene su ograničene, ali ipak postoji mnoštvo primjena pri čemu se elektromagneti uglavnom koriste kao “on/off” (uključiti/isključiti) aktuatori: npr. releji, električne brave, elektromagnetski ventili, sklopnici.....

Znatno veći napon i struja potrebni su za uvlačenje kotve, nego za držanje kotve u uvučenom položaju kada nepotrebno teče veća struja i zagrijava zavojnicu.

Analiza sustava [Albertos2010/17]

Klasifikacija promjenljivih u postrojenjima procesne industrije:

- Ulazne promjenljive (ulazi):
 - poremećaji
 - manipulativne (upravljačke promjenljive)
- Izlazne promjenljive (izlazi):
 - merljivi
 - nemerljivi



- i. Definisanje ciljeva upravljanja – definisanje izlaza kojima treba upravljati
- ii. Definisanje promenljivih koje treba meriti da bi se pratio rad postrojenja
- iii. Izbor najpogodnijih manipulativnih promenljivih za upravljanje procesom
- iv. Izbor konfiguracije sistema upravljanja
- v. Definisanje upravljačkog zakona:
 Matematička zavisnost na osnovu koje se obrađuju informacije dobijene merenjima, dajući kao rezultat vrednosti na osnovu kojih se vrši podešavanje manipulativnih promenljivih

Sinteza automatske regulacije

- vi. Definisanje ciljeva upravljanja – definisanje izlaza kojima treba upravljati i zahteva u pogledu tih izlaza
 - Sistemi stabilizacije – za velike kontinualne pogone procesne industrije
 - Sistemi programskog upravljanja – za šaržne procese
 -
- vii. Definisanje promenljivih koje treba meriti da bi se pratio rad postrojenja:
 - Primarna merenja: Direktno merenje veličine kojom treba upravljati
 - Sekundarna merenja: Merenje pomoćne veličine na osnovu koje se posredno izračunava promena veličine kojom treba upravljati
 - Merenja ulaznih poremećaja
- viii. Izbor najpogodnijih manipulativnih promenljivih za upravljanje procesom
 - što brži i direktniji uticaj na izlaz kojim se upravlja
 - u procesnoj industriji najčešće protok
- ix. Izbor konfiguracije sistema upravljanja
 - Zavisno od broja upravljanjih i upravljačkih promenljivih
 - Sa jednim ulazom i jednim izlazom (SISO - engl. single input - single output)

- Sa više ulaza i više izlaza (MIMO - engl. multiple input - multiple output)
- Zavisno od načina na koji su povezane informacije dobijene merenjem i manipulativne promenljive:
 - Konfiguracija sa negativnom povratnom spregom (engl. FEEDBACK CONTROL)
 - Konfiguracija sa upravnom spregom (engl. FEEDFORWARD CONTROL)
 - Složenije konfiguracije upravljanja

Stabilnost, osjetljivost i robustnost

Sustavi daljinske regulacije

Sustavi bežične regulacije

Ugradnja komponenti automatske regulacije

Puštanje u rad sustava automatske regulacije

Održavanje sustava automatske regulacije

Odlaganje sustava automatske regulacije

Proporcionalni regulatori

Diferencijalni regulatori

Integralni regulatori

44 Elementi strojeva 2

PID regulatori

Programibilni sustavi automatske regulacije

Korištenje PC-a za automatsku regulaciju

Koračni elektromotori

Sustavi za automatsku regulaciju s mikroprocesorom

Sustav automatske regulacije stroja za pranje rublja

Sustav automatske regulacije plinskih gorionika

Sustav automatske regulacije hladnjaka

Sustav automatske regulacije centralnog grijanja

Sustav automatske regulacije klima uređaja

prikupljanje i obrada podataka: James2000,

10.1 Osnove regulacije – Albertos2010, Astrom2008, Battikha2007/Ch1-1÷2, Czichos2008/11÷1123, Šurina1987, Childs2004/298÷299,312÷313, Böge2007/478÷517, Childs2004/306÷312, Ferger2010, Grote2007/176÷226, Sauter2010, Steinhilper22008/667÷671672÷696,

[Childs (2004), str. 298÷299], [Dunn (2005), str. 6÷16], [Golnaraghi (2009), str. 1÷5]

[Hering (2004), str. 277÷304], [Steinhilper 2 (2008), str. 669÷671]

10.1.1 Sustavi, procesi i poremećaji

10.1.2 Automatska regulacija – povratna veza: Albertos2010/18÷31, Astrom2008/1÷3, Battikha2007/Ch8,

10.1.2 Analiza sustava – Albertos2010/120÷152, Astrom2008/27÷94,

10.1.3 Sinteza automatske regulacije – Avallone2006/673÷674, Albertos2010/241÷266,

10.1.4 Primjeri sinteze automatske regulacije

10.2 Senzori i aktuatori – Albertos2010/200÷221, Battikha2007/Ch1-5÷10, Bishop2008, Marek2003,

- 10.3 Usvajanje sustava regulacije** – Albertos2010/200÷221, Battikha2007/Ch1-5÷10,Ch14,
 10.2.1 Vrste senzora i aktuatora
 10.2.2 Senzori
 Childs2004/299÷306, Steinhilper22008/667÷708, Hesse2009, Jackson2009, Meixner1995, Mims1996, Tönshoff2001, Wilson2005, Yurish2004;
 10.2.3 Aktuatori – Avallone2006/1720÷1744,
 Childs2004/306-313, Oberg/24878, Steinhilper22008/260÷296, Childs2004/298÷306, Steinhilper22008/697÷708, Higuchi2010,
 10.2.3 Sustavi za automatsku regulaciju – Eren2006, Ferger2010, Timings2005/509÷548,
10.4 Primjena sustava automatske regulacije
 10.3.1 Ugradnja i povezivanje komponenata sustava automatske regulacije – Battikha2007/Ch15, Czichos2008/K68÷K70;
 10.3.2 Puštanje u rad sustava automatske regulacije – Battikha2007/Ch13(regulacijski ventil),
 10.3.3 Održavanje sustava automatske regulacije – Battikha2007/Ch10(alarmi i isključenja),Ch16,
 10.3.4 Odlaganje sustava automatske regulacije
10.5 Primjeri automatski reguliranih sustava – Dorf2010,
 Kiencke2005, Mareck2003, Sobey2009, Sobey2006, Weck2006, Reifs2010,
 10.4.1 Mehanički automatski regulirani sustavi
 10.4.2 Programibilni sustavi automatske regulacije – Battikha2007/Ch9,
 10.4.2 Automatski regulirani sustavi s PC-ima
 10.4.3 Automatski regulirani sustavi s PLC-ima – Berger2010,
 10.4.4 Automatski regulirani sustavi s mikroprocesorima

Dodaci*Literatura* (obrada, rječnik)*Podloge* (kratice, norme, internet, razno)*Provjere znanja* (teme, pitanja, zadaci) –**Literatura**

senzor	sensor	Fühler
aktuator	actuator	Aktuator
povratna veza	feedback	Rückkopplung
regulation	control	Steuerung
sustav automatskog upravljanja	automatic-control system	Automatik-Steuerungssystem

Dodaci: Carvill2003/322÷340,

Literatura**Literatura**

- Haberhauer2011/639÷643, Kutz32005/766÷792, Timings2005/1÷28, Vöth2007/200÷201,
 Albertos2010/18÷19,267÷277, Avallone2006/1558÷1588(glosar), Battikha2007, Bonnick2011, Šurina1987/10÷12(upravljanje, regulacija i vođenje),
 Beeby2004, Berger2010, Bishop2008, Böge2011/H1÷H34,Q1÷R48, Childs2004/298÷299, DiStefano1994(definicije),
 Dorf2005/Ch98÷Ch105,200÷201(sigurnost), Dunn2005, Garrett2001, Golnaraghi2009, Golnaraghi2010, Grote2007/1668÷1687,
 Ferger2010, Hering2004/258÷304, Kilian2000, Kraut1988/154÷159, Kreith2005/1054÷1101, Kutz22005/265÷883, Levine2011,
 Liptak2003, Lunze12010, Lunze22010, Lurie2000, Mandal2006, Marek2003, Margithu2001/608÷711, Ogata2002, Orłowski2009,
 Orłowski2011, Parthier2008, Pawlak2007, Petruzzellis2006, Pons2005, Reif2011, Reis2010, Ripka2007, Rothbart2004, Scott2008,
 Sinclair2001, Smith1997, **Smith2000/157÷204**, Solomon2010, Steinhilper2/669÷671, tenHompel2008, Tompkins1998, Tuman-
 ski2006, Webster2009, Xue2007, Yamasaki2001, Zacher2011,
toplinski senzori i aktuatori: Ashby2007/260÷262, Sholz1990,
magnetni i optički senzori i aktuatori: Boll1989, Wagner1991,
kontrola gibanja: Oberg2004/2487÷2501, Nice2004,
mehatronika: Böge2007/586÷621, Böge2011/H, Fijalkowski2011, Grote2007/622÷640, Kreith2005/1935÷2062,2180÷2197, Gau-
 ra2006,
Dodaci – Avallone2006/1796÷1824, Battikha2007/Ch-appa, Budynas/2011÷1058, Carvill2003/310÷340(glosar),
 DIN2008/1034÷1068, DOorf2005/Ch233, Grote2007/1717÷1749, Grote2009/1580÷1589, Haberhauer2011/635÷638, Margit-
 hu2001/712÷843, Ulbrich2006/357÷367, Timings2005/560÷665,726÷728, Vöth2007/200, Wittel2011/T-I÷T-234,
Literatura (obrada, rječnik)
Podloge (kratice, norme, internet, razno)
Provjere znanja (teme, pitanja, zadaci) –