

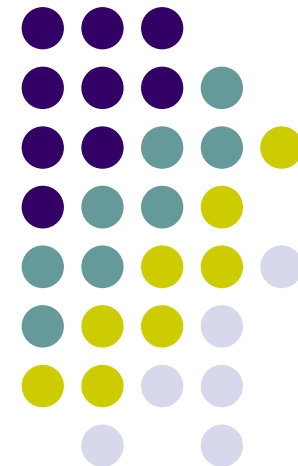
Lekcija 1:

Osnove mehatronike

Prof.dr.sc. Jasmin Velagić
Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Mehatronika

2012/2013



Kolegij: Mehatronika



2/50

Predmetni nastavnik: Prof.dr.sc. Jasmin Velagić, dipl.inž.el.

e-mail: jasmin.velagic@etf.unsa.ba

tel.: 033 25 07 65

Saradnik:

Mr.sc. Nedim Osmić

e-mail: nedim.osmic@etf.unsa.ba

tel.: 033 25 07 47

Konzultacije:

srijeda i četvrtkom 12-13, ili po dogovoru

Načini provjere

Znanja:

kolokvij laboratorijskih vježbi (20%)

seminarski rad (40%)

završni ispit (40%)

Kolegij: Mehatronika

Nastavne jedinice:

1. Osnove mehatronike
2. Dizajn mehatroničkih sistema
3. Real-time simulacije
4. Upravljanje sistemima
5. Implementacija upravljačkih algoritama
6. Senzori za mjerenje pozicije
7. Industrijski robot
8. Mobilni roboti
9. Estimacija parametara sistema
10. Mehatrički automobilski sistemi: suspenzija
11. Mehatrički automobilski sistemi: upravljanje zakretanjem
12. Mehatrički automobilski sistemi: kočenje, pogonski sistemi, tolerancija na kvarove
13. Neizraziti (fuzzy) sistemi upravljanja
14. Neuronski sistemi upravljanja



Kolegij: Mehatronika



4/50

Preporučena literatura:

1. Jasmin Velagić, *Zabilješke s predavanja*, Elektrotehnički fakultet, Sarajevo, 2011, URL:
<http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/lectures.htm>
2. R.H. Bishop, *Mechatronics Handbook*, Boca Raton: CRC Press, 2002.
3. R. Isermann, *Mechatronic Systems Fundamentals*, Berlin:Springer, 2003.
4. D.G. Alciatore and M.B. Histan, *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, New York: McGraw-Hill, 2003.

Dodatna literatura:

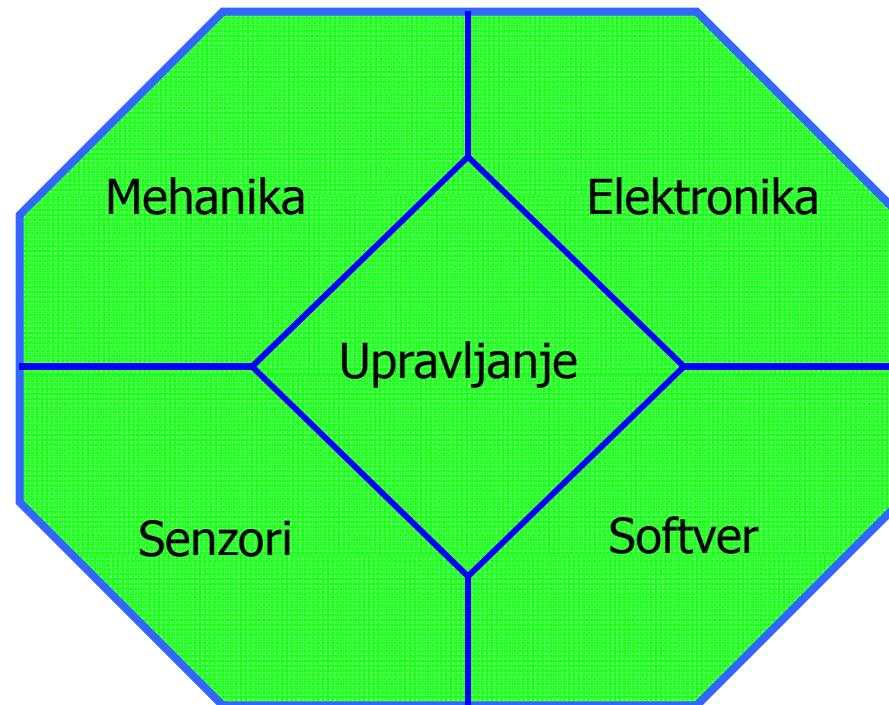
1. D. Shetty and R.A. Kolk, *Mechatronics System Design*, MA: PWS Publishing, 1997.
2. D. Neculescu, *Mechatronics*, NJ: Prentice-Hall, 2002.

Da li su svi upoznati sa mehatroničkom tehnologijom?



1.1. Definicija mehatronike

Mehatronika je sinergijska kombinacija mehaničkog i električkog inženjeringa, računarskih znanosti i informacijskih tehnologija, koja koristi sisteme upravljanja i numeričke metode za dizajn proizvoda i procesa, ugrađujući u njih inteligenciju (Davdas Shetty, Richard A. Kolk).

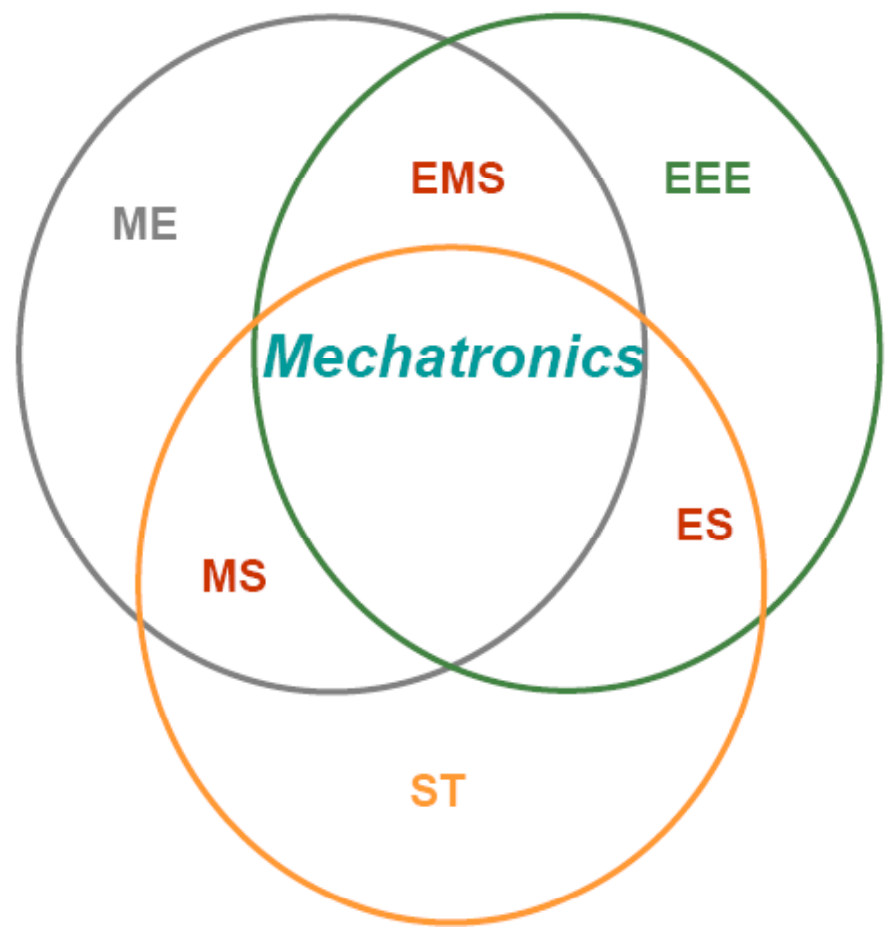


Definicija mehatronike

- Mehatronika je metodologija koja se koristi za optimalni dizajn elektromehaničkih proizvoda (Davdas Shetty, Richard A. Kolk).
- Izraz mehatronika se koristi za označavanje brzog razvoja, interdisciplinarnog polja inženjeringa koji se bavi dizajnom proizvoda čije funkcije se oslanjaju na sinergijskoj integraciji mehaničkih, električkih i elektroničkih komponenti (H.B. Hirst, D.G. Alciatore).
- Mehatronika implicira sinergijsku integraciju mehaničkih i električkih principa u konjukciji sa računarskom tehnologijom za inteligentno upravljanje strojevima, procesima i mehanizmima (C. Fraser, J. Milne).
- Mehatronika je proces ugradnje inteligencije u fizičke sisteme.



Definicija mehatronike



ME
Mechanical Engineering

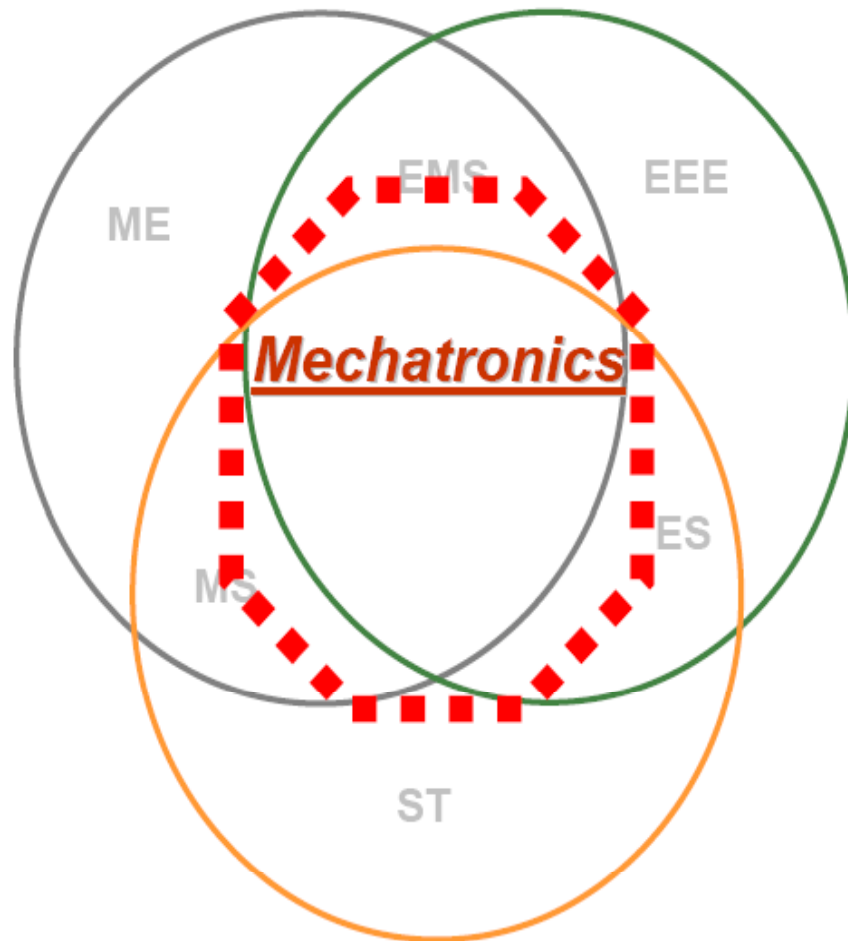
EEE
Electrical/Electrical Engineering

EMS
Electro-Mechanical Systems

ES
Electronic Software

MS
Mechanical Engineering Software

Definicija mehatronike



ME
Mechanical Engineering

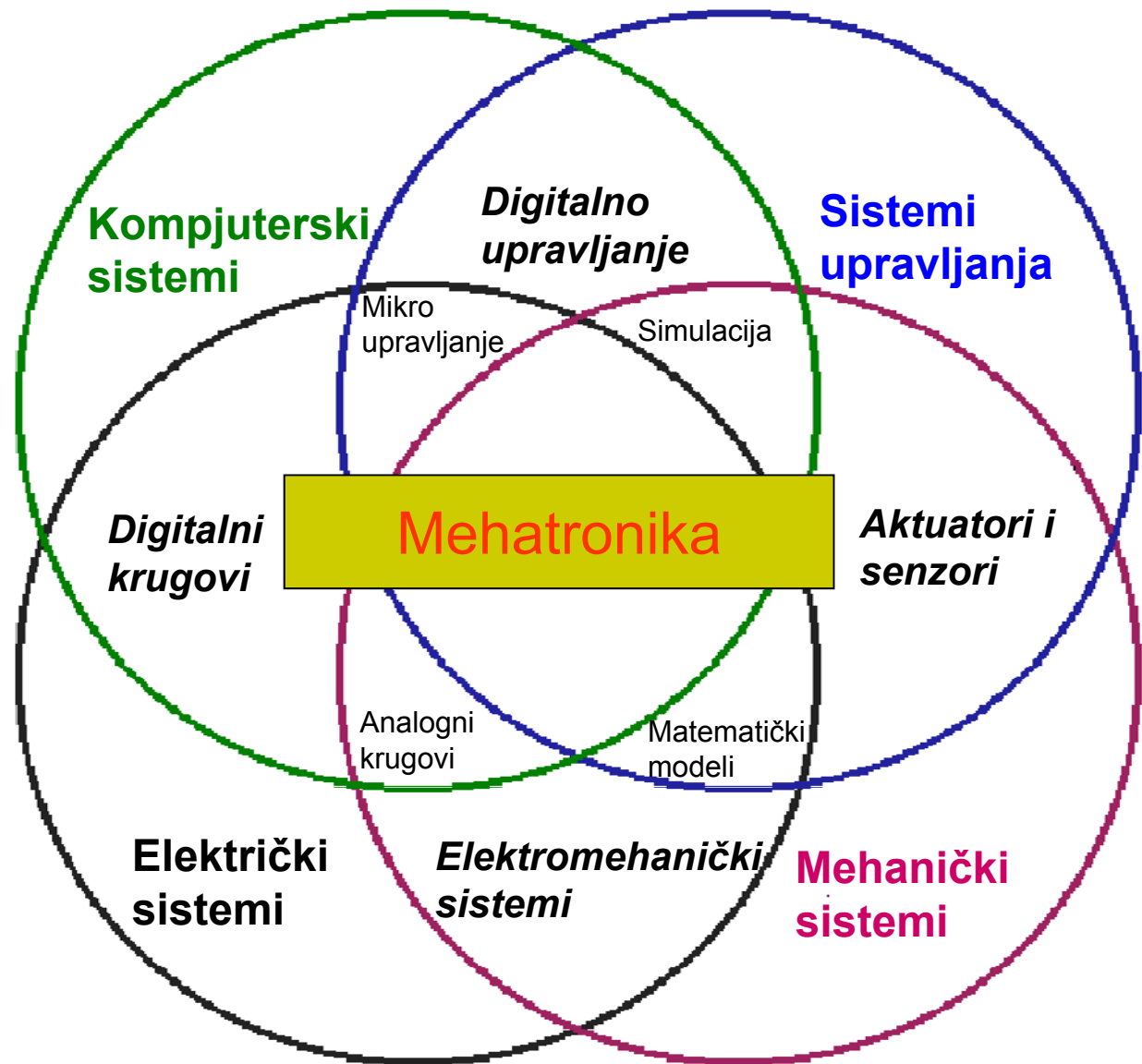
EEE
Electrical/Electrical Engineering

EMS
Electro-Mechanical Systems

ES
Electronic Software

MS
Mechanical Engineering Software

Definicija mehatronike

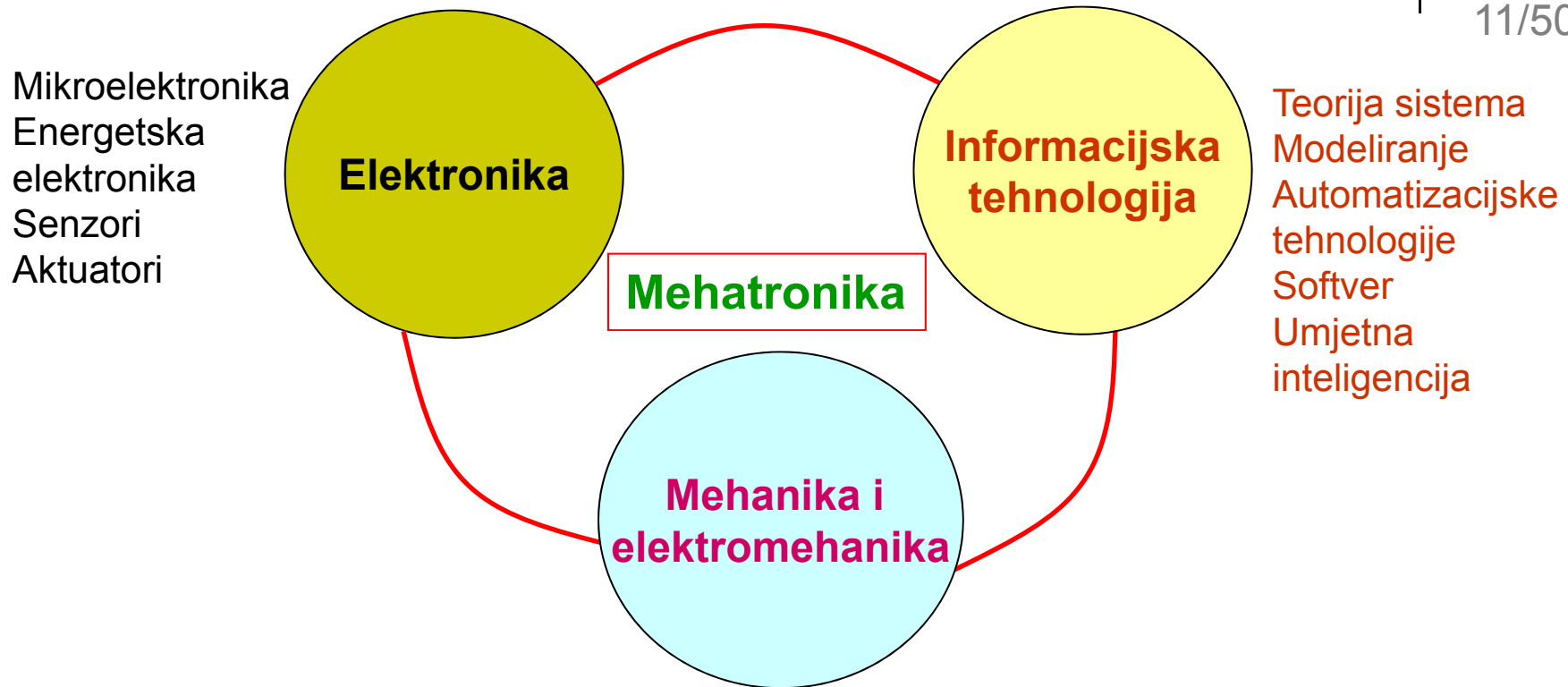


Definicija mehatronike

Mi ćemo koristiti sljedeću definiciju



11/50



Mehatronika je interdisciplinarna znanost u kojoj sljedeće tri discipline djeluju zajedno: mehanički sistemi, elektronički sistemi i informacijske tehnologije.

Mehanički elementi
Strojevi
Precizni strojevi
Električni elementi

Za dizajn mehatroničkih sistema koristi se *istovremeni inženjering* s ciljem integracije navedenih disciplina i kreiranja sinergijskih efekata.

1.2. Historija mehatronike

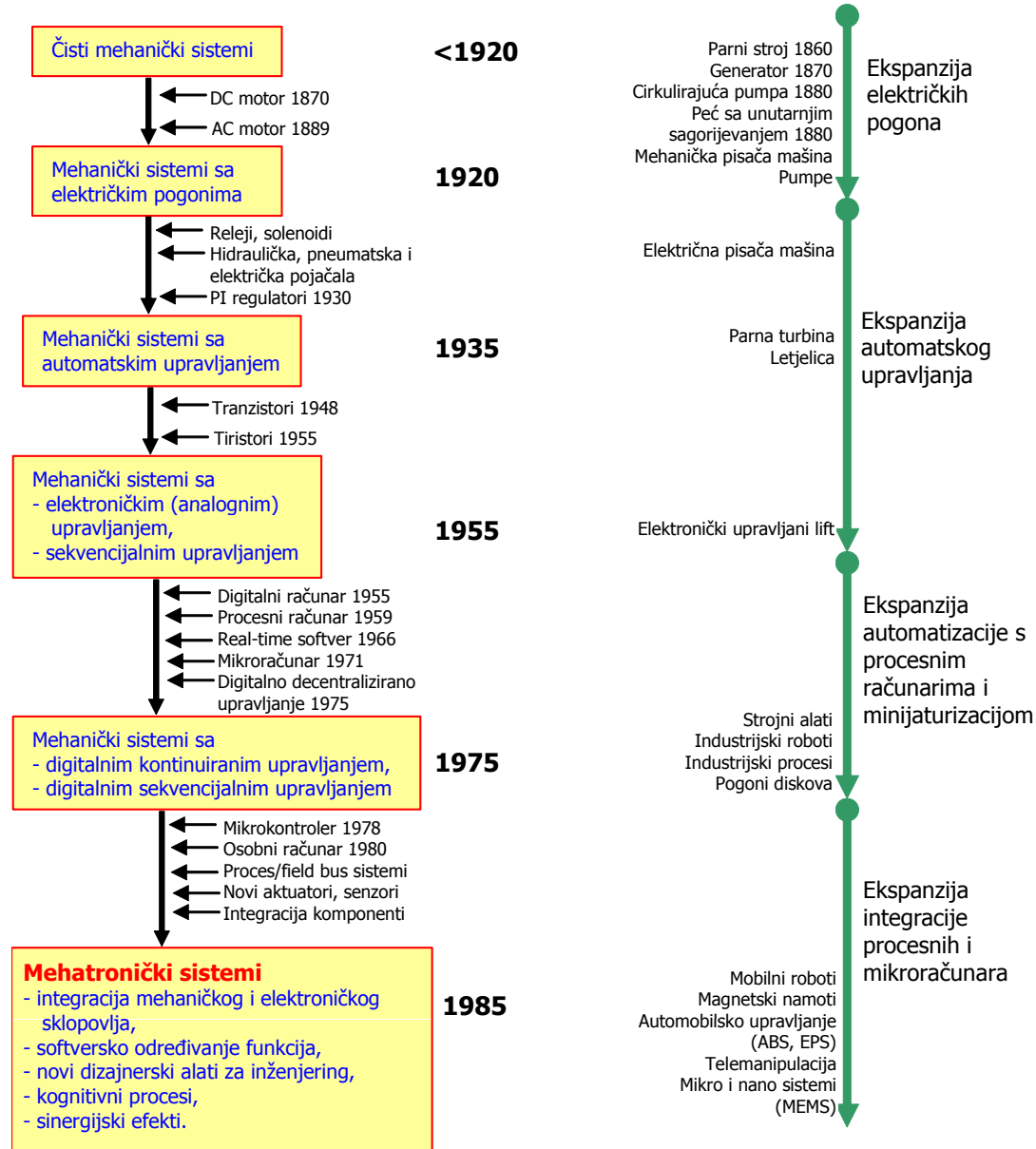
- Termin mehatronika su uveli Japanci (1975 godine u elektroničkoj kompaniji Askawa u Japanu - kombinacija riječi Mehanika-Elektronika-Kontrola).
- U početku zamišljena kao sredstvo dopunjavanja mehaničkih komponenti elektroničkim u preciznoj mehanici (refleksna kamera je bila tipična mehatronička naprava).
- S vremenom se koncept mehatronike promijenio i uvelike proširio.
- U Europi su se mehatronički koncepti značajno počeli primjenjivati kasnih 80-tih prošlog stoljeća.
- U Americi su pomalo rezervirani prema ovom terminu, pa umjesto mehatronika koriste izraz sistemski inženjering.
- Danas je postignut konsenzus oko toga šta je mehatronika i šta ona znači.
- **Cilj mehatronike je poboljšanje funkcionalnosti tehničkih proizvoda i sistema spajanjem svih komponenti u jednu.**



Historija mehatronike



Historijski razvoj mehaničkih, elektroničkih i mehatroničkih sistema

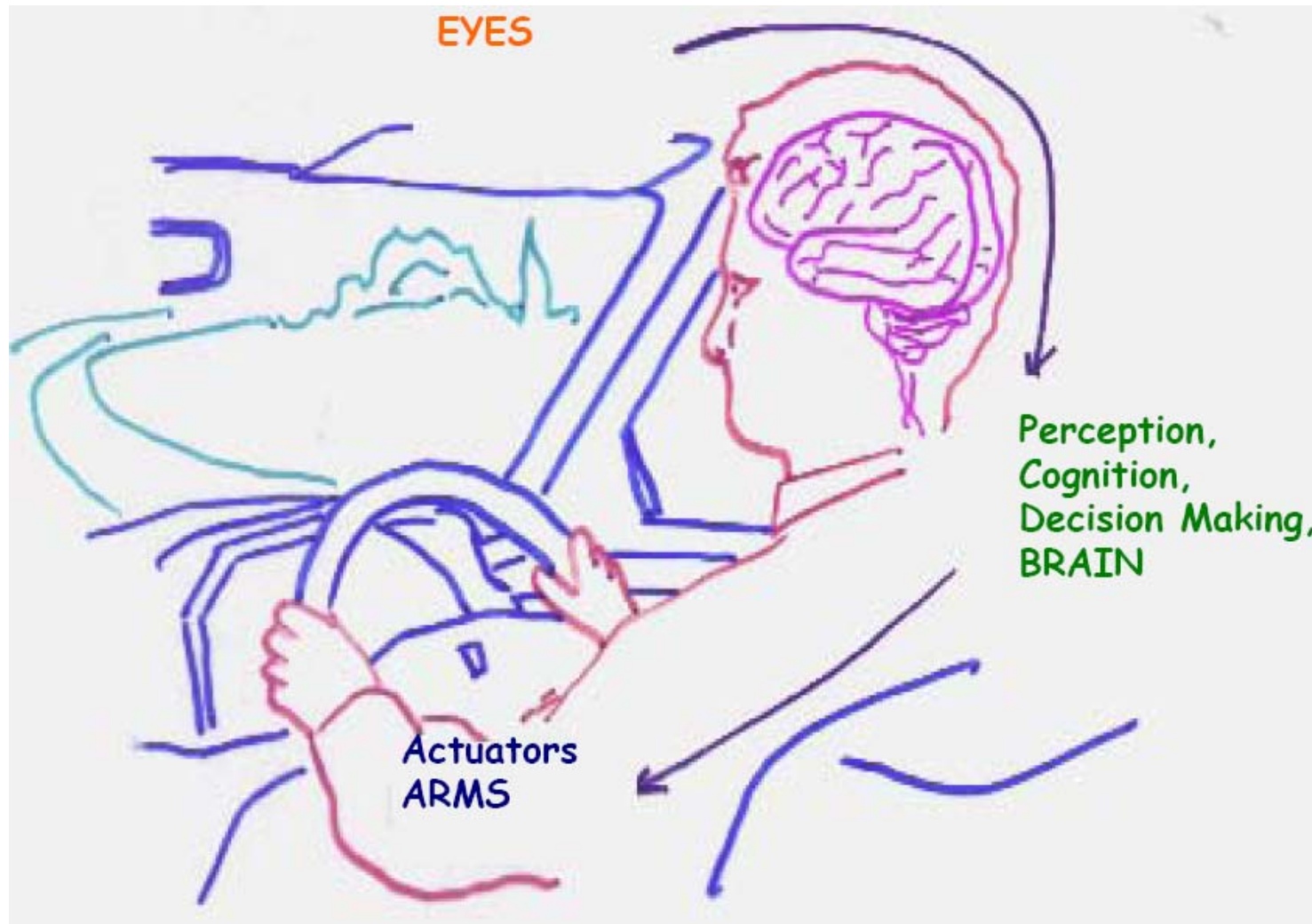


1.3. Mehatronički sistemi

- **Mehatronički sistemi uključuju percepciju, kognitivne procese i zaključivanje.**

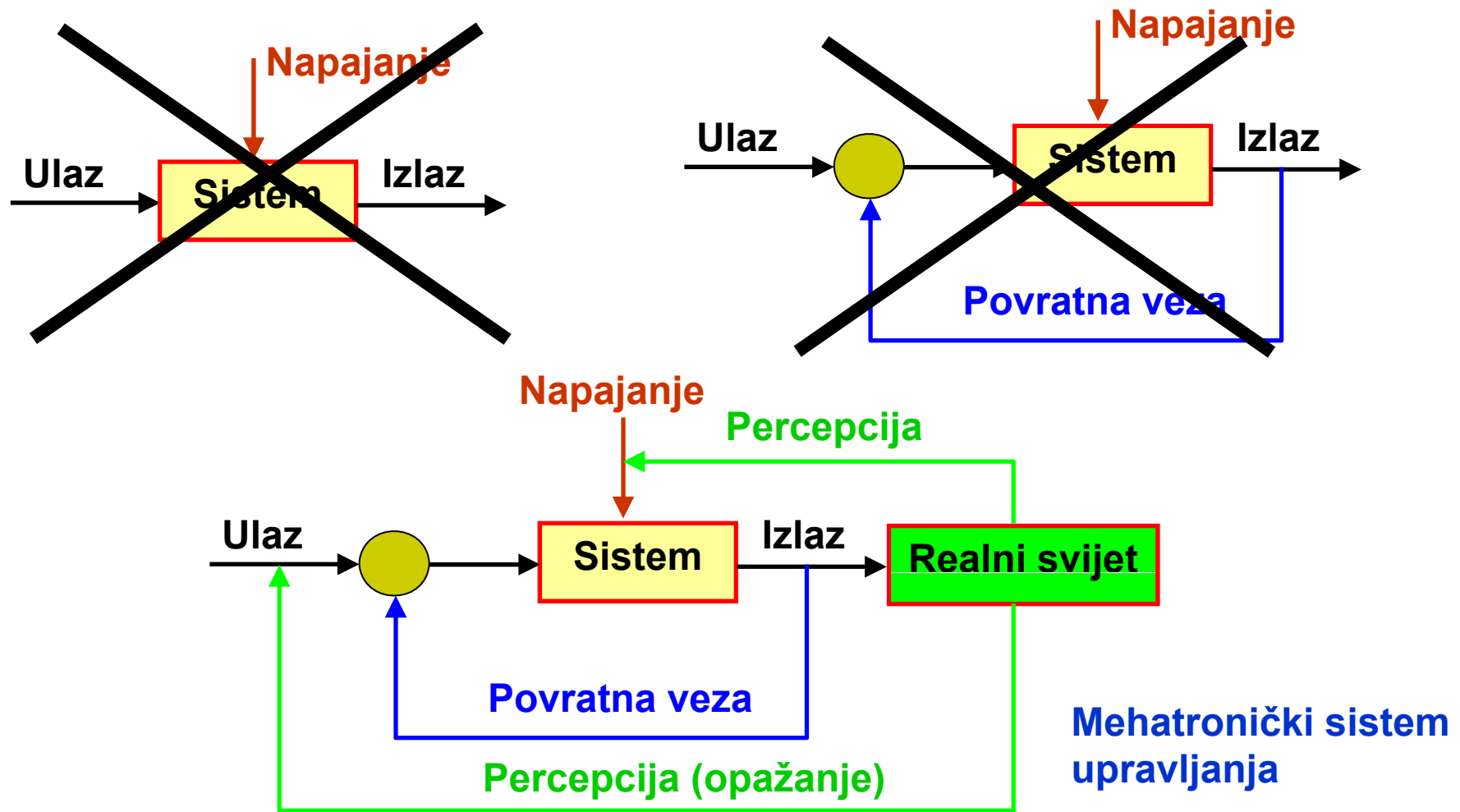
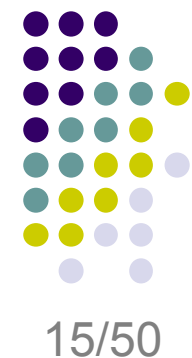


14/50



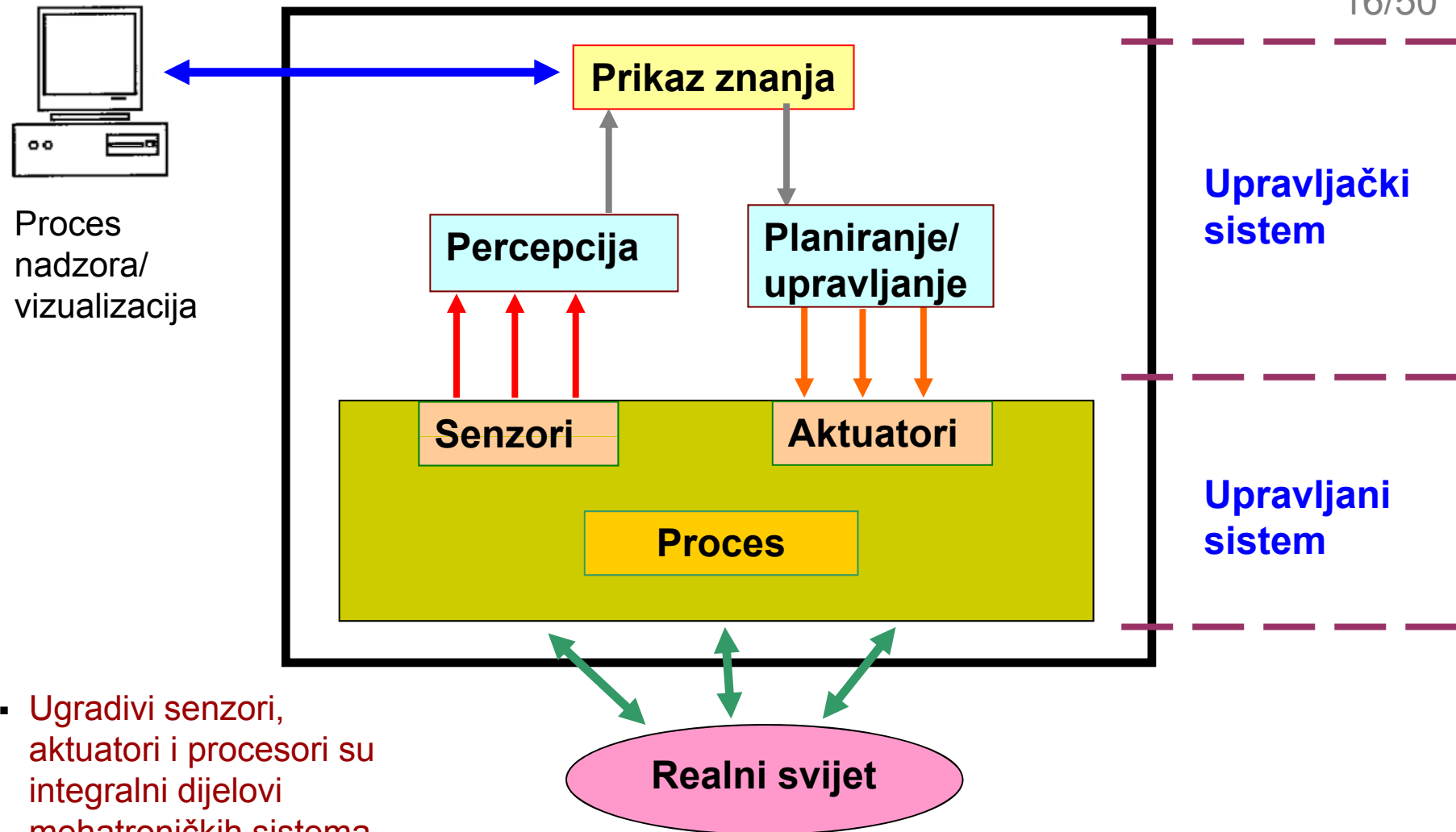
Mehatronički sistemi

- Razlika između mehatroničkih i tradicionalnih sistema upravljanja



Mehatronički sistemi

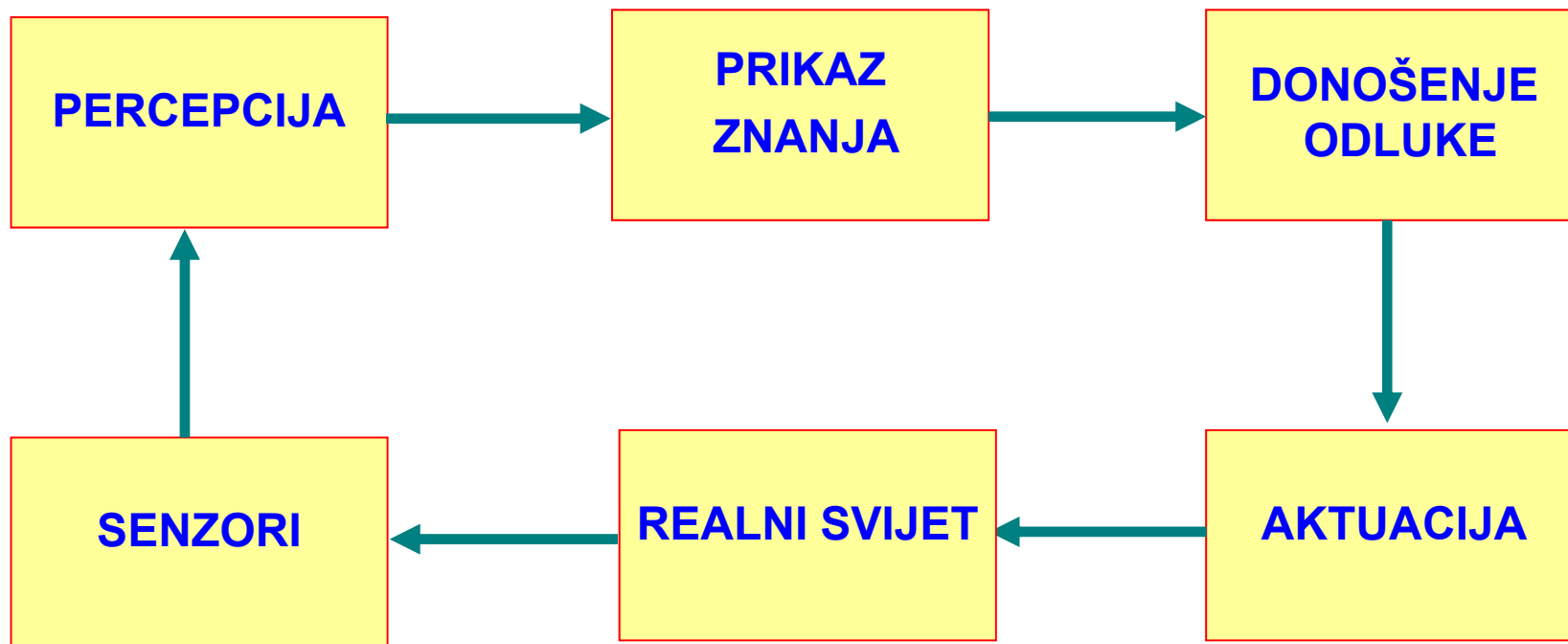
- Arhitektura mehatroničkog sistema



Mehatronički sistemi

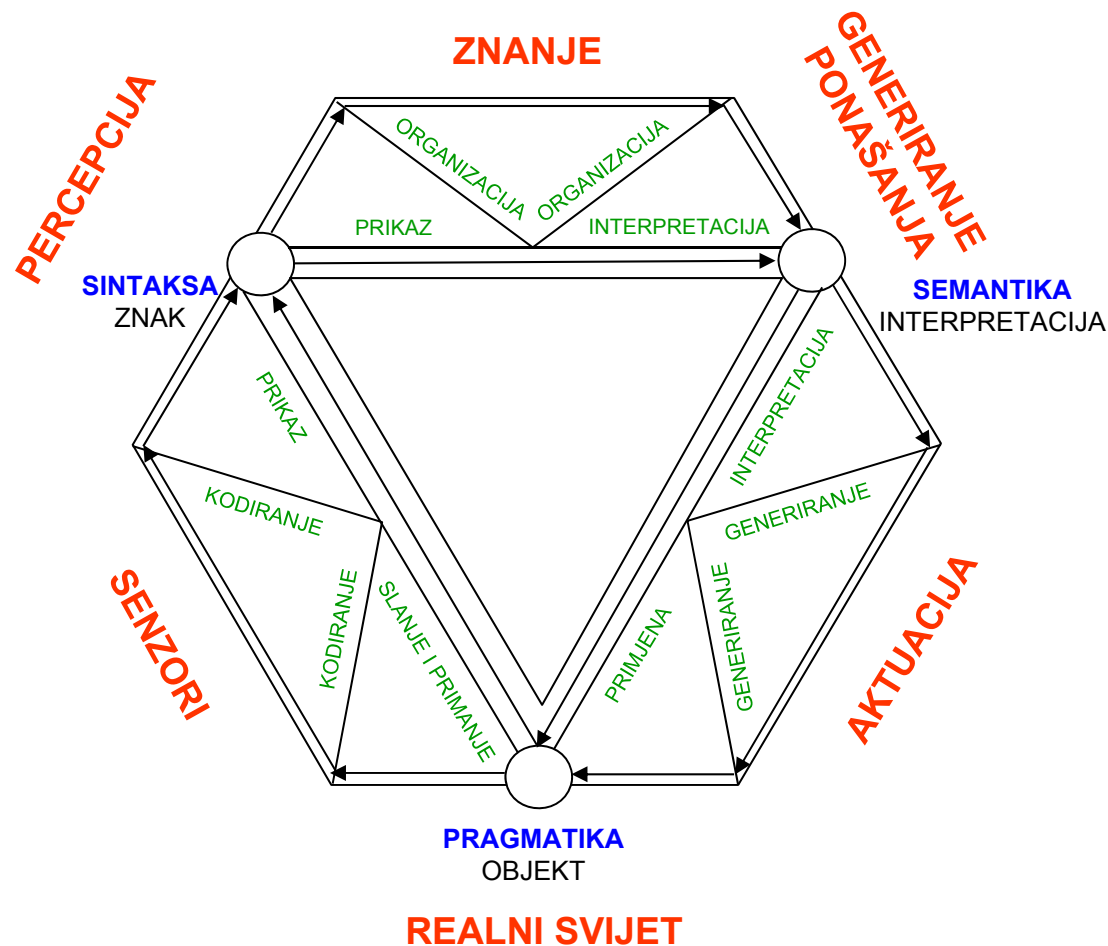
- Proces formiranja ponašanja

6-blokovski dijagram formiranja ponašanja
(višerezolucijska hijerarhija)



Mehatronički sistemi

- Funkcionalni dijagram semiotika (semiotics) – prihvaćena kao nova paradigma nauke u 21 stoljeću.



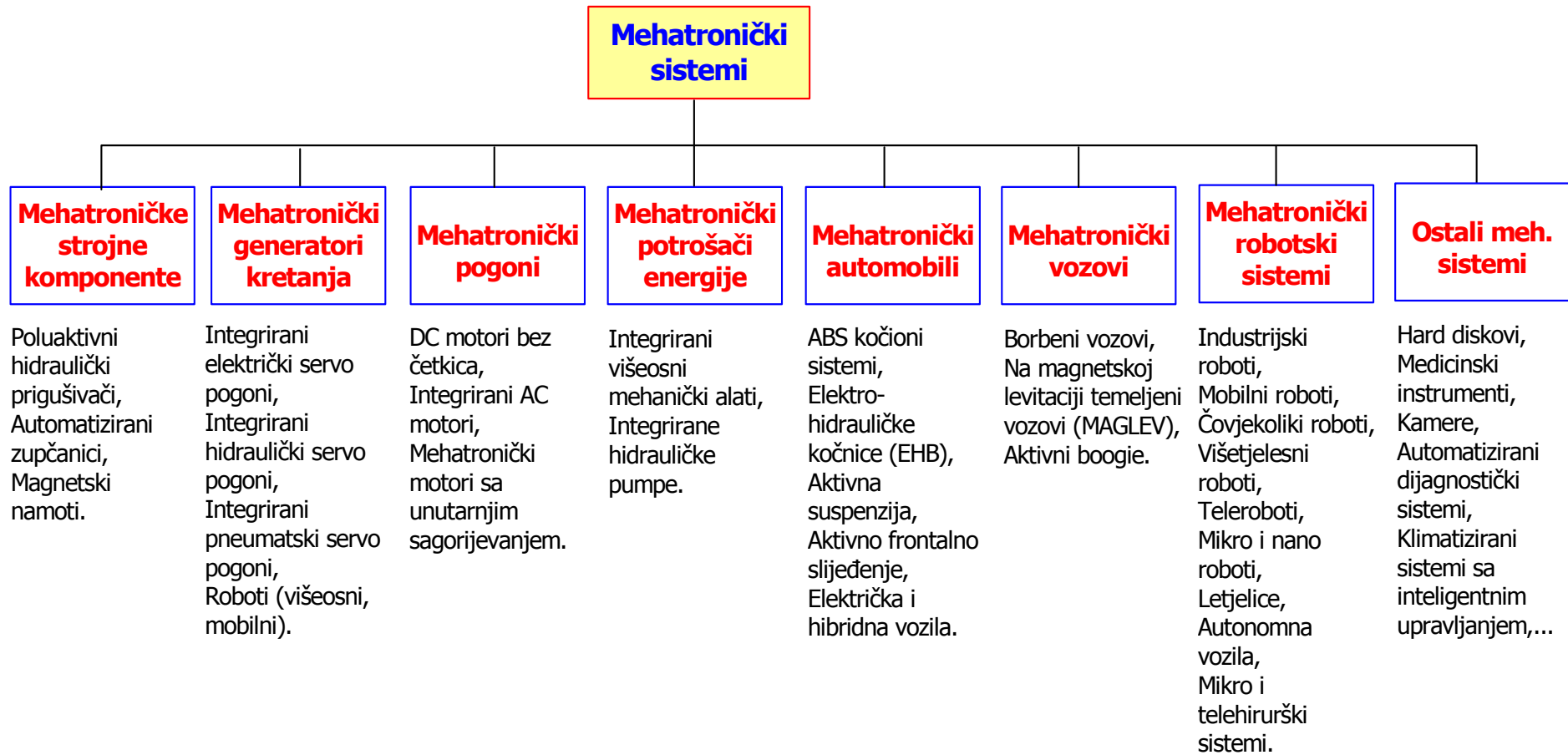
Mehatronički sistemi

- **Osobine mehatroničkih sistema i proizvoda:**
 - *Funkcionalno međudjelovanje* između mehaničkih, elektroničkih i informatičkih tehnologija.
 - *Prostorno povezivanje podsistema* u jednu jedinicu; *inteligencija* vezana uz upravljačke funkcije mehatroničkog sistema.
 - *Prilagodljivost*, pogodnost uz koju je moguće mehatroničke proizvode prilagoditi promjenjivim zadacima i situacijama.
 - *Višefunkcionalnost* koja se odnosi na funkcije mikroprocesora određene kompjuterskim programom.
 - *Nevidljive funkcije* koje obavlja mikroelektronika, teško vidljive i razumljive za potrošače.
 - *Tehnološka međuovisnost*, usko povezana sa dostupnim proizvodnim tehnologijama.



Mehatronički sistemi

- Primjeri mehatroničkih sistema



1.4. Funkcije mehatroničkih sistema

- **Distribucija mehaničkih i elektroničkih funkcija**
 - **Decentralizirani električki pogoni** sa mikroračunarskim upravljanjem (višeosni sistemi, automatski zupčanici, itd.).
 - **Elastične (lagane) konstrukcije:** prigušenje sa elektroničkom povratnom vezom (pogon niza povezanih vozila, elastični roboti, svemirske konstrukcije, itd.).
 - **Ukupno linearno ponašanje** nelinearnih mehanizama pomoću odgovarajuće povratne veze (hidraulički i pneumatski aktuatori, ventili, itd.).
 - **Adaptacije operatora** kroz programibilne karakteristike (pedala gasa, manipulatori, itd.).



Funkcije mehatroničkih sistema

- Operacijska svojstva – proces prilagođavanja ponašanja pomoću sistema upravljanja sa povratnom vezom
 - **Povećanje mehaničke preciznosti** uvođenjem povratne veze.
 - **Adaptivna kompenzacija trenja.**
 - **Modelsko i adaptivno upravljanje:** omogućuje širok opseg operacija (upravljanje protokom, silom i brzinom, motori, vozila, letjelice, itd.).
 - **Visoke upravljačke performanse** zbog bliskosti postavne (referentne) veličine sa ograničenjima (motori, turbine, strojevi za proizvodnju papira, itd.).



Funkcije mehatroničkih sistema

- Nove funkcije – ove funkcije ne bi bile moguće bez ugradivih (embedded) računara
 - **Upravljanje nemjerljivim varijablama** (klizanje kotača, unutarnje naprezanje ili temperatura, parametri prigušenja, ugao i brzina proklizavanja vozila, itd.).
 - **Napredna supervizija i dijagnostika kvara.**
 - **Na kvarove tolerantni sistemi** sa hardverskom i analitičkom redudancijom.
 - **Funkcije pružanja daljinskih usluga** za potrebe nadzora, održavanja, popravka, itd.
 - **Fleksibilna adaptacija** za mijenjanje graničnih uvjeta.
 - **Programibilne funkcije** omogućuju promjene tokom dizajna, te nakon prodaje proizvoda.



1.5. Integracijske forme

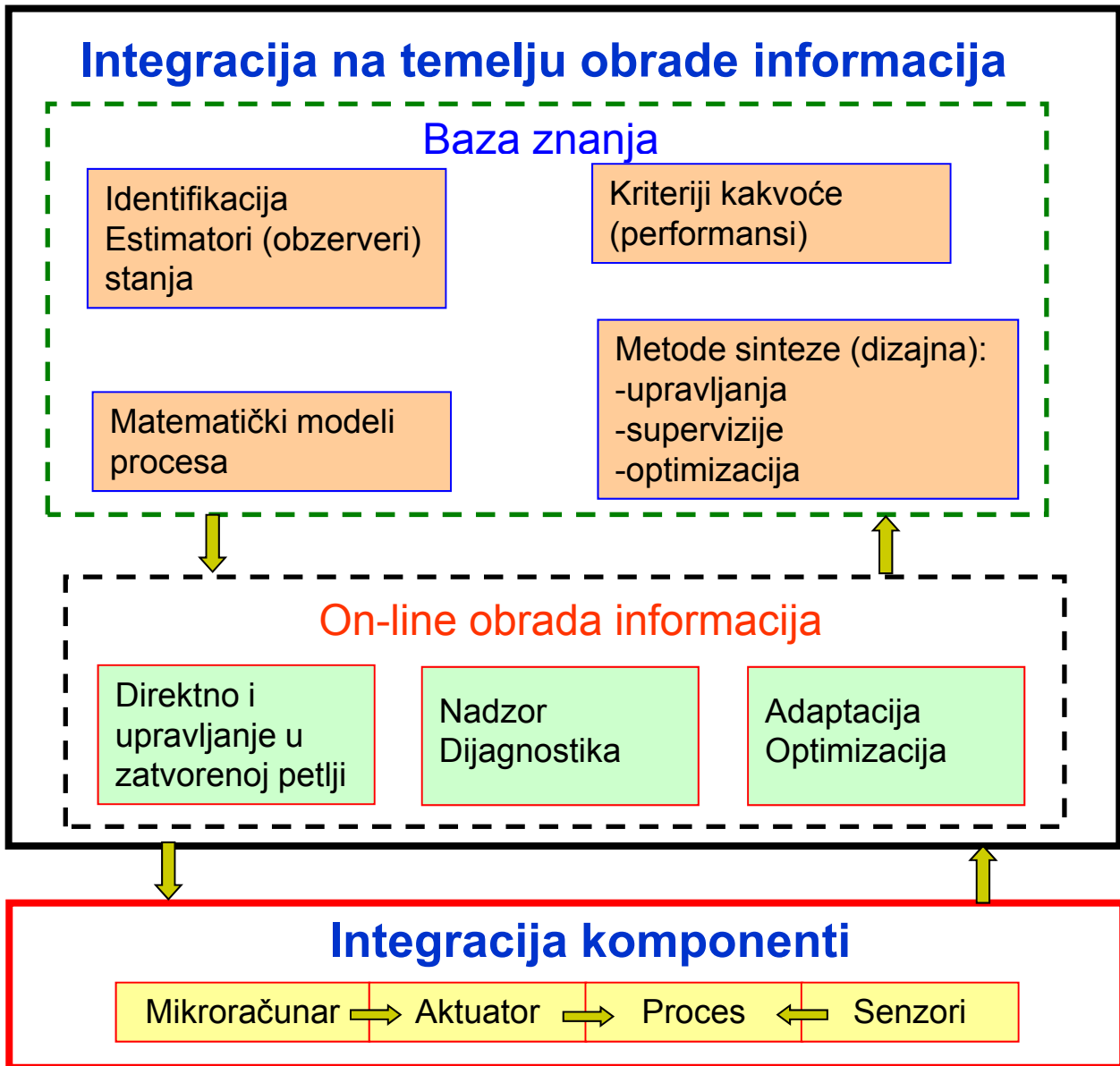
- Sa poboljšanjem minijaturizacije, povećanjem robusnosti i računarske moći mikroelektroničkih komponenti postavljaju se novi zahtjevi u pogledu integracijskih formi.
- Također uvođenje bežičnog prijenosa signala uvodi nove mogućnosti u mehatroničke sisteme.
- Integracija unutar mehatroničkog sistema se obavlja na dva načina: **integracija komponenti** i **integracija informacijskog procesiranja**.
- **Integracija komponenti (hardverska integracija)** rezultira hardverskim dizajniranjem cjelokupnog mehatroničkog sistema i ugradnjom senzora, aktuatora i mikroračunara u mehanički proces.
- Prostorna integracija je određena procesom, sensorima i aktuatorima.
- Integracijom mikroračunara i senzora dobivaju se **inteligentni (smart) senzori**, a integracijom mikroračunara i aktuatora **inteligentni (smart) aktuatori**.

Integracijske forme

- **Integracija korištenjem informacijskog procesiranja (softverska integracija)** se temelji na naprednim upravljačkim funkcijama.
- Osim standardnog direktnog upravljanja i upravljanja u povratnoj vezi (niža razina obrade signala), dodatna obrada signala se zahtijeva u procesima **temeljenim na znanju** i **on-line (real-time) procesiranju informacija** (više razine obrade signala).
- On-line obrada podataka uključuje rješavanje problema tipa nadzora sa dijagnosticiranjem kvarova, optimizacije i rukovanja procesom.
- Procesi svojstveni bazi znanja su: napredna obrada informacija, metode dizajniranja, matematički modeli procesa i kriteriji performansi.
- Na temelju ovih procesa omogućuje se ukorporiranje znanja u elektroničke i mehaničke komponente korištenjem softvera.



Integracijske forme



1.6. Dizajn mehatroničkih sistema

- Dizajn mehatroničkih sistema zahtijeva sistemski razvoj i korištenje modernih softverskih dizajnerskih alata.
- Mehatronički dizajn predstavlja iterativnu proceduru.
- “V” shema razvoja mehatroničkih sistema se koristi za dizajn, integraciju, validaciju, testiranje i evoluciju mehatroničkih sistema.
- *Dizajn sistema* uključuje distribuciju zadataka između mehaničkih, hidrauličkih, pneumatskih, električkih i elektroničkih komponenti, vrste i razmještaj senzora i aktuatora, elektroničke i softverske arhitekture, dizajn upravljačkog inženjeringa i kreiranje sinegracije.
- *Modeliranje i simulacije* igraju važnu ulogu u realizaciji različitih vrsta prototipova.



Dizajn mehatroničkih sistema

- U ovom stadiju razvoja također je važan i segment *simulacija softvera u otvorenoj petlji*, odnosno simulacija komponenti i upravljačkih algoritama na odgovarajućem računaru.
- *Dizajn komponenti* koristi različite CASE alate, kao što su CAD/CAE za mehaniku, CFD za fluide, VHDL za dizajn mikroelektroničkih komponenti, CADCS alati za sintezu automatskog upravljanja, itd.
- Nakon dizajna komponenti izrađuju se prototipovi u laboratorijskim uvjetima.
- *Integracija sistema* započinje sa kombiniranjem različitih komponenti.
- Zbog različitog razvojnog statusa komponenti tokom simulacijskog dizajna, minimizacije iterativnih razvojnih ciklusa i predviđenog vremenskog trajanja razvoja sistema, potrebno je koristiti različite *real-time simulacije*.

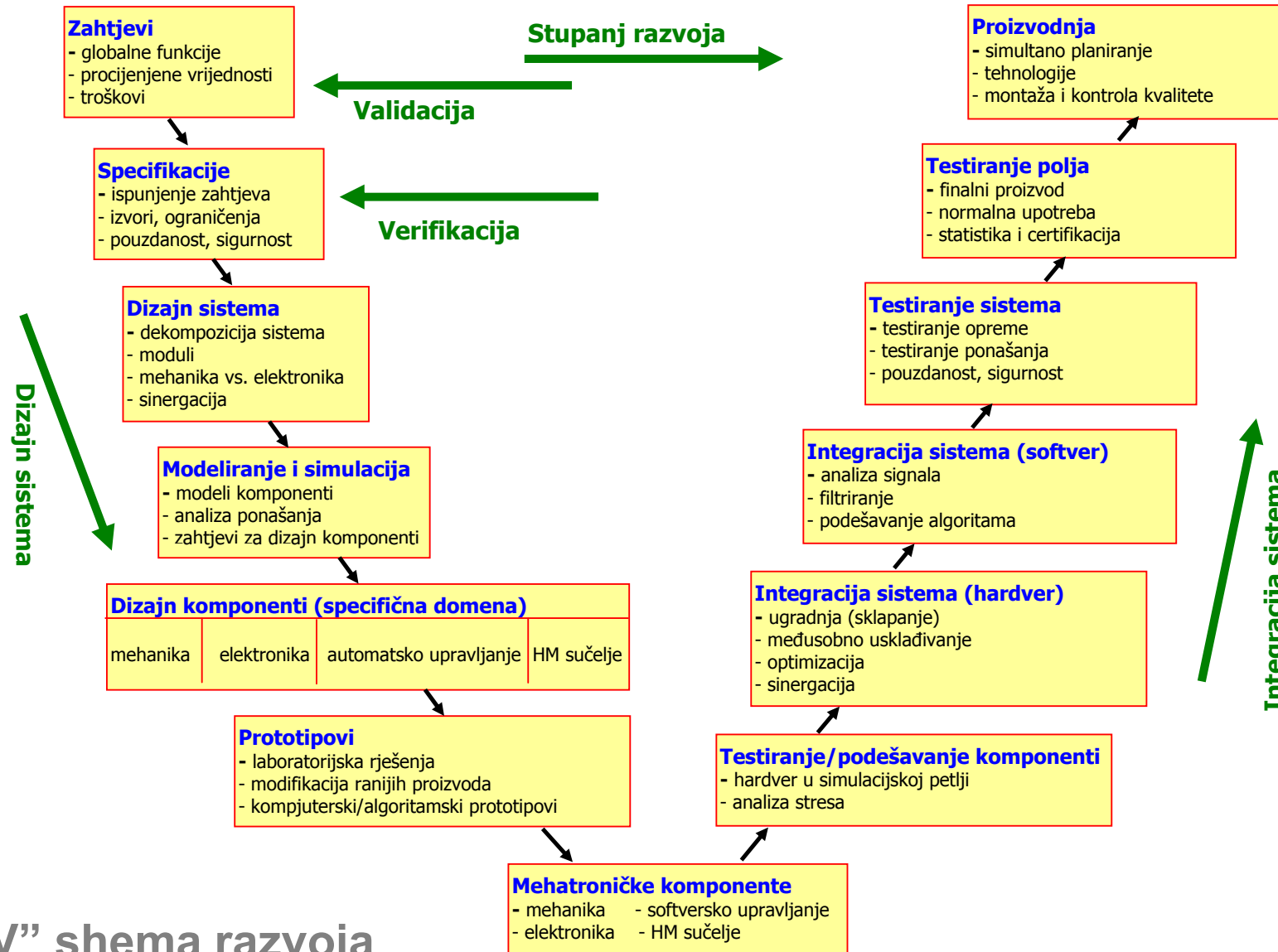


Dizajn mehatroničkih sistema

- Jedna od vrsta real-time simulacija je **RCP**, *brzi razvoj upravljačkog prototipa* (Rapid Control Prototyping) u kome realni proces operira zajedno sa *simulacijskim upravljanjem* sa visokobrzinskim hardverom i softverom.
- Druga vrsta vrsta real-time simulacije je **HIL**, *hardver u simulacijskoj petlji* (Hardware in the Loop simulation), gdje se real-time simulacijski proces pokreće zajedno sa realnim ECU (Electronic Control Unit) hardverom. Ovo predstavlja zahtjevan zadatak jer proces real-time simulacije mora biti jako precizan i izlazi senzora se moraju izvesti sa specijalnim sučeljskim krugovima.
- Integracija sistema obuhvaća prostornu integraciju **hardverskih komponenti**, ugradnjom senzora, aktuatora, kablova i sabirnica, u mehanički sistem i kreiranje sinergijskih efekata i funkcionalne integracije korištenjem softvera sa algoritmima za upravljanje, nadzor, dijagnosticiranje kvarova, tolerantnost na kvarove i HMI operacije.



Dizajn mehatroničkih sistema



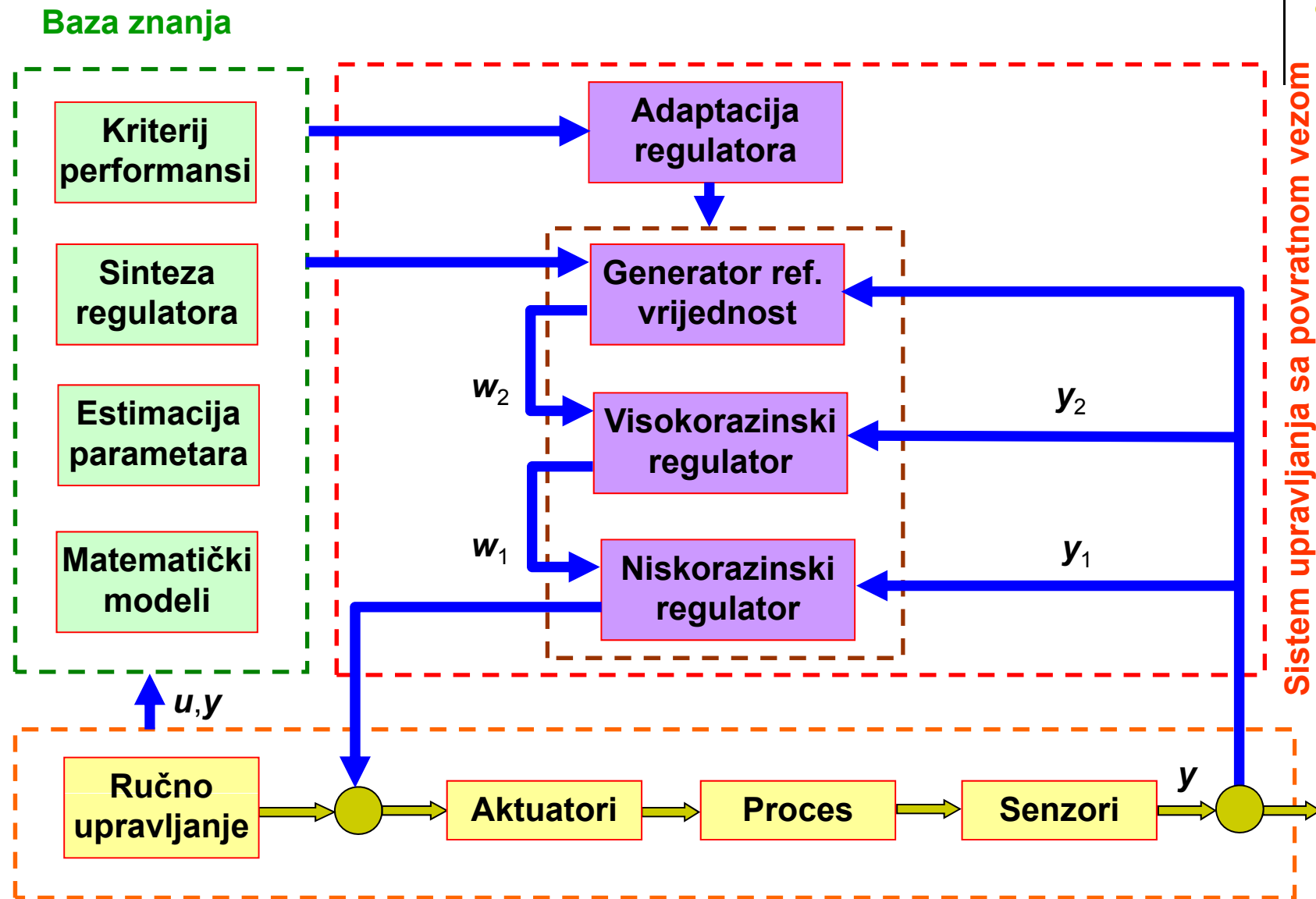
“V” shema razvoja

1.7. Upravljanje mehatroničkim sistemima

- Primjena algoritama upravljanja sa direktnom granom i granom povratne veze ovisi o pojedinačnim svojstvima električkih, mehaničkih, hidrauličkih, pneumatskih i toplotnih sistema.
- Svi se oni mogu predočiti na *znanju temeljenoj višerazinskoj upravljačkoj strukturi*.
- Ova upravljačka struktura se sastoji od:
 - Baze znanja,
 - Višerazinskog sistema upravljanja sa povratnim vezama.
- Baza znanja obuhvaća: *matematičke modele procesa, algoritme identifikacije i estimacije parametara, metode sinteze regulatora i kriterija upravljačkih performansi*.
- Sistem upravljanja se sastoji od *regulatora niske i visoke razine, modula generiranje referentne vrijednosti i adaptacije parametara regulatora*.



Upravljanje mehatroničkim sistemima



Upravljanje mehatroničkim sistemima

- Sinteza mehatroničkog sistema upravljanja je limitiranja računarskom moći, real-time zahtjevima, nelinearnošću procesa, ograničenom brzinom i radnim opsegom aktuatora, robusnošću, transparentnošću rješenja, održavanjem, itd.
- Najvažnija svojstvo mehatroničkog sistema je ***istovremeni (paralelni) dizajn mehatroničkog procesa i upravljanja***.
- Ovo znači da statičko i dinamičko ponašanje procesa, tip i pozicija aktuatora i senzora u sistemu, se dizajniraju na odgovarajući način rezultirajući u CDF (Control Dynamic Friendly) ukupnom ponašanju.
- ***Cilj niske razine upravljanja*** je omogućiti sigurno dinamičko ponašanje sa kompenzacijom nelinearnosti tipa trenja, smanjenjem osjetljivosti parametara i stabilizacijom istih.
- Tipični primjeri zadataka na ovoj razini su: ***prigušenje visokofrekvencijskih oscilacija, kompenzacija nelinearnih statičkih karakteristika, kompenzacija utjecaja trenja, stabilizacija, prekidno upravljanje aktuatorom, itd.***

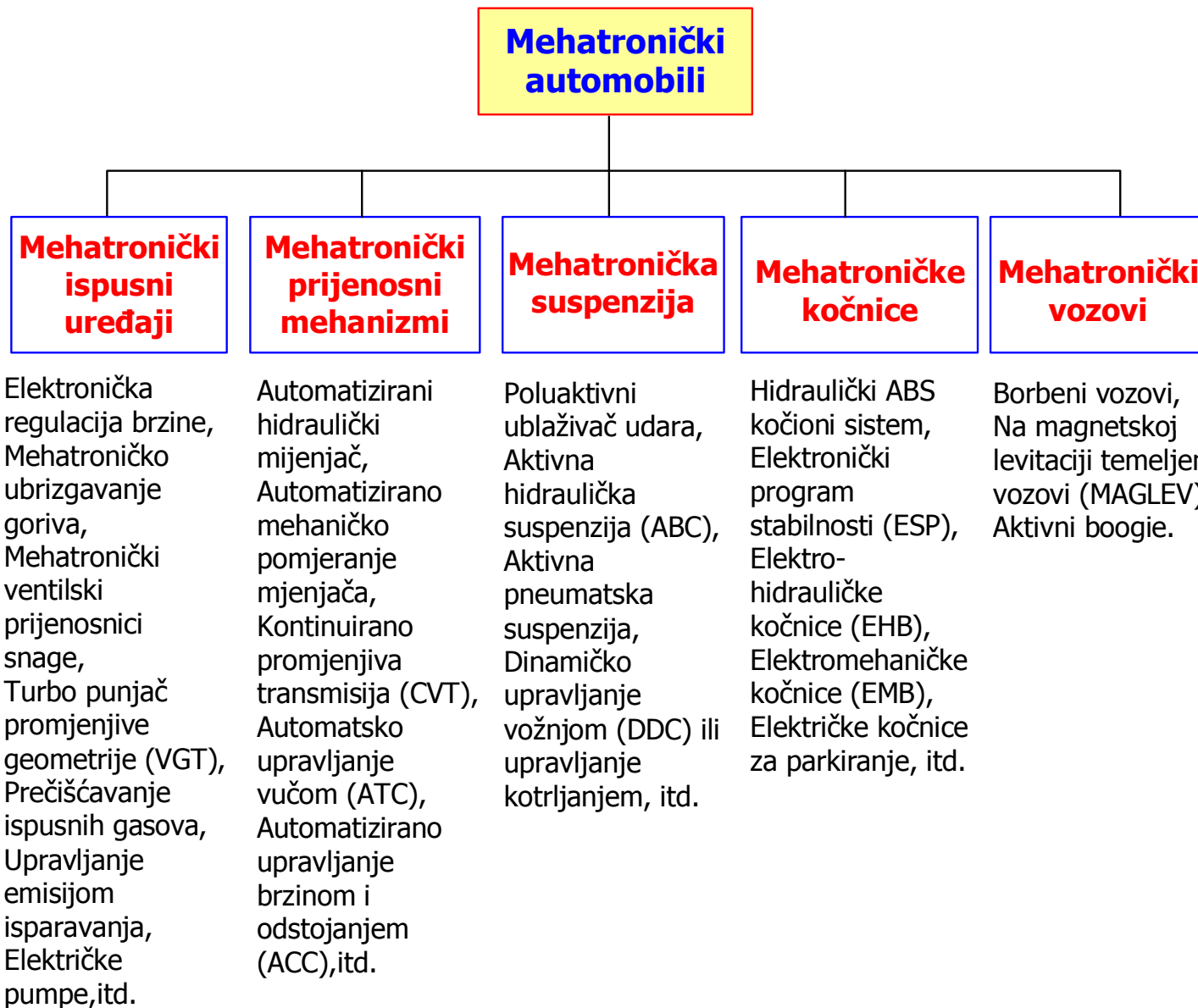


Upravljanje mehatroničkim sistemima

- Zadatak *regulatora više razine* je proizvesti dobro ukupno dinamičko ponašanje s obzirom na promjene referentne pozicije i kompenziranje djelovanja vanjskih poremećaja, npr. promjena mase tereta.
- Visokorazinski regulator se može realizirati kao parametarski optimizirani PID regulator, modelski zasnovan regulator ili regulator u prostoru stanja sa ili bez obzervera stanja.
- Tipični zadaci visokorazinskog regulatora uključuju: predviđanje/praćenje parametara na temelju mjerenja i parametarsku sintezu adaptivnih sistema upravljanja.
- Važno je napomenuti da mehatronički sistemi koriste široku paletu regulatora, počevši od jednostavnih proporcionalnih do inteligentnih adaptivnih regulatora.
- Važne komponente sistema upravljanja su i *nadzor* i *detekcija kvarova*.



1.8. Mehatronički automobilski sistemi



Mehatronički automobilski sistemi

- Prvi mehatronički proizvod u automobilskoj industriji bio je ABS (Antilock-Brakeing System) kočioni sistem (1979. godina).
- Nakon toga slijede:
 - ATC, ASR (Automatic Traction Control) 1986. godine.
 - ABC (Active Body Control) 1999. godine.
 - AFS (Active Front Steering) 2003. godine.
 - DDC (Active Anti Roll Bars) 2003. godine, itd.
- Od posebne važnosti su i mehatronički sistemi ubrizgavanja goriva:
 - za dizel motore 1997. godine,
 - za benzinske motore 2000 godine.
- 20-25% ukupne cijene suvremenih automobila otpada na mehatroničke komponente (električke i elektroničke).



Mehatronički automobilski sistemi

- Automobili visoke klase sadrže:
 - 2.5 km labela,
 - 40 senzora,
 - 100-150 elektromotora,
 - 4 sabirnička (mrežna) sistema sa 2500 signala,
 - 45-75 mikroelektroničkih upravljačkih jedinica (mikroprocesori, mikrokontroleri, itd.).
- Tendencija je da mehatroničke komponente 2010. godine sudjeluju u 30-35 % ukupne cijene automobila.
- Ostale važne funkcije automatskog upravljanja u automobilskoj industriji su: *mehatronička suspenzija*, *mehatronički kočioni sistemi*, *mehatronički sistemi upravljanja volanom*, itd.



Mehatronički automobilski sistemi

- **Automobilski sistemi – tehnologija današnjice**

Automatsko slijeđenje vozila,

Upravljanje (pogonjenje) preko žice,

XM satelitski radio,

Telematika (OnStar),

Softversko upravljanje prijenosom,

Softversko upravljanje vozilom,

Na kišu osjetljivi brisači,

Zabava u automobilu,

Druga generacija ABS-a,

Displeji u visini glave,

Noćna vizija,

Senzor detekcije sudara
vožnjom unatrag

Navigacija,

Kontrola pritiska u
gumama.

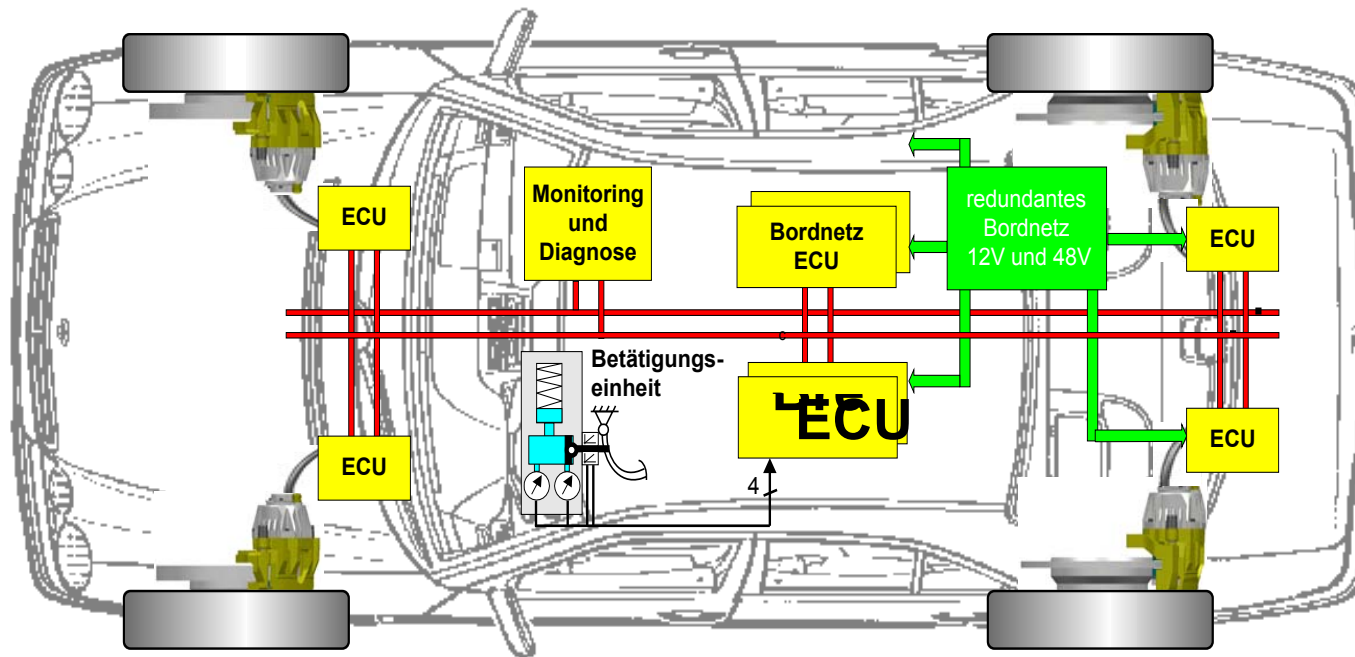


Mehatronički avtomobilski sistemi

- Automobilski sistemi – tehnologija današnjice



39/50



- 8 čvorova CAN mreže,
- 4 elektromehaniče kočnice,
- 2 redundantne upravljačke jedinice vozila,
- pedal simulator, zračni jastuci,
- na kvarove tolerantna 2-naponska izvora na ploči,
- dijagnostički sistem, ABS kočioni sistem, ...

Mehatronički automobilski sistemi

- Upravljanje otvaranjem ventila za dovod goriva preko žice.

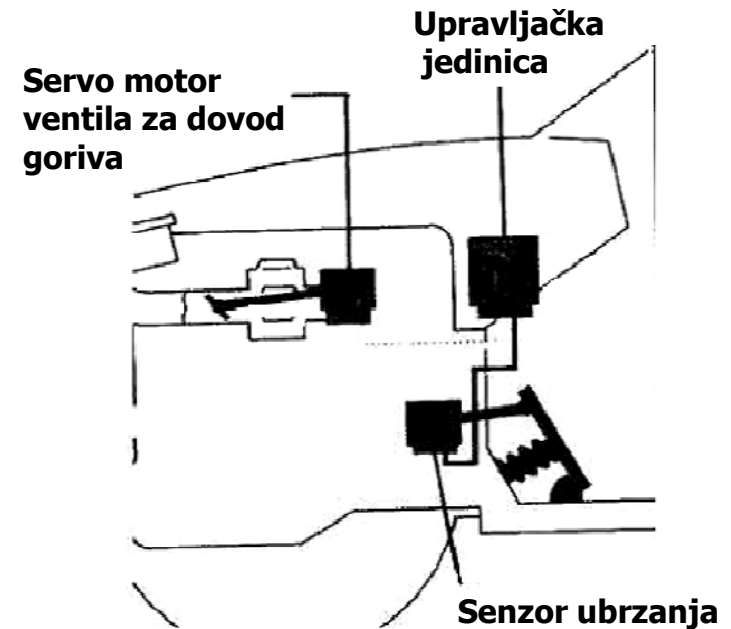


Hy/Wire (General Motors)

- skateboard koncept,
- gorivna ćelija 94 kW,
- integrirano distribuirano upravljanje,
- masa: 2 tone,



40/50

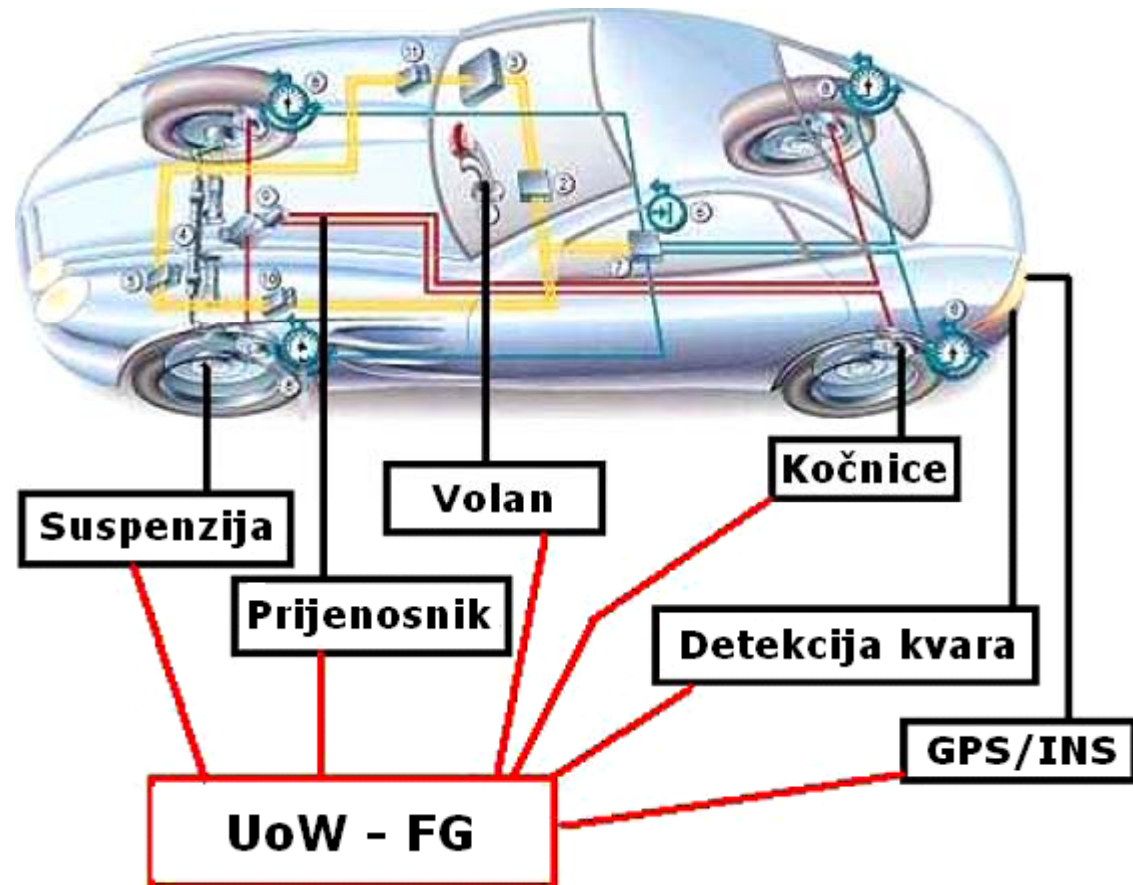


Mehatronički automobilski sistemi

- **Automobilski sistem “upravljan preko žica”**



- Drive-by-wire zamjenjuje tradicionalne mehaničke veze sa elektroničkim kontrolerima, aktuatorima i sensorima.
- Ključni elementi u ovom sistemu su inteligentni (smart), samotestirajući senzori i aktuatori.



Mehatronički automobilski sistemi

- Pet glavnih tehnologija u automobilskoj industriji u sljedećih 5-10 godina:
 1. Hibridna ćelija “benzin/druga vrsta goriva”.
 2. Mehanička povezanost sa “Drive-by-wire” sistemom.
 3. Vlastiti električki/hardverski/softverski sistem za standardizaciju “arhitektura”.
 4. Usvajanje i implementacija IT standarda u automobilskoj tehnologiji (XML, Web servisi, itd.).
 5. “Stalna” konekcija automobila sa Internetom.



1.9. Mehatronički robotski sistemi

- **Primjena u robotici**
 - **Telemedicina/telehirurgija,**
 - **Mikrohirurgija,**
 - **Čovjekoliki roboti (humanoids),**
 - **Automatizirana proizvodnja,**
 - **Bespilotne letjelice i vozila (unmanned vehicles),**
 - **Svemirska istraživanja.**



Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



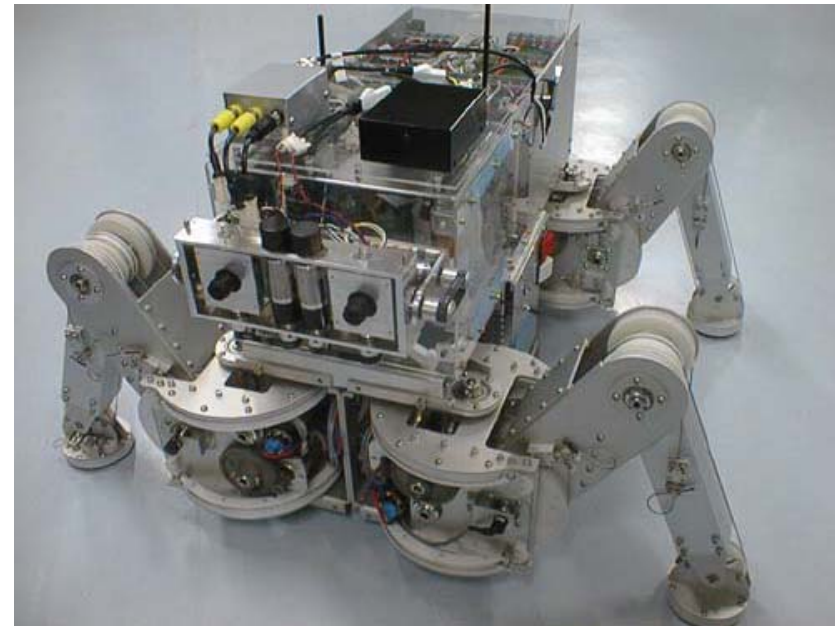
Robotski manipulatori (industrijski roboti)

Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Roboti s kotačima



Hodajući roboti

Mehatronički robotski sistemi

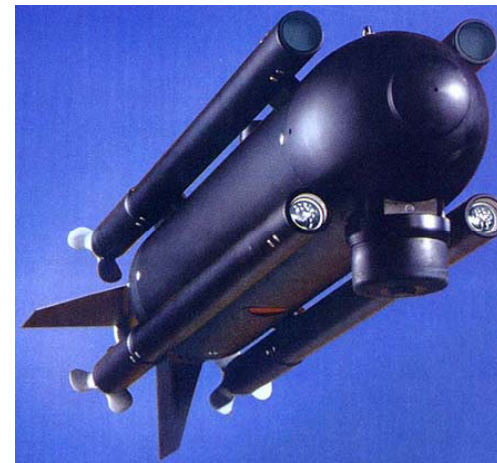
- Primjena u robotici



Čovjekoliki robot



Bespilotno vozilo

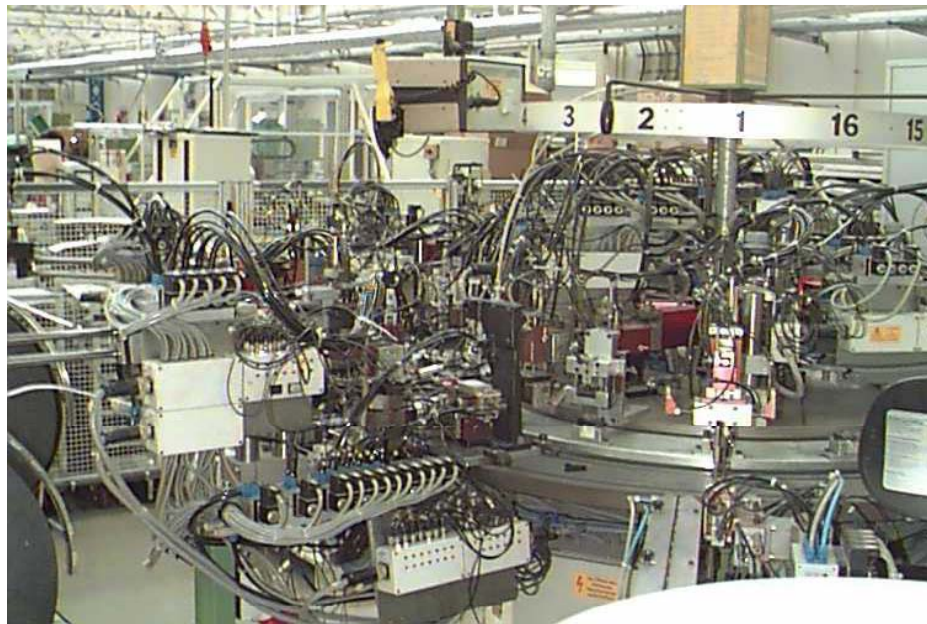


Podvodna ronilica (robot)

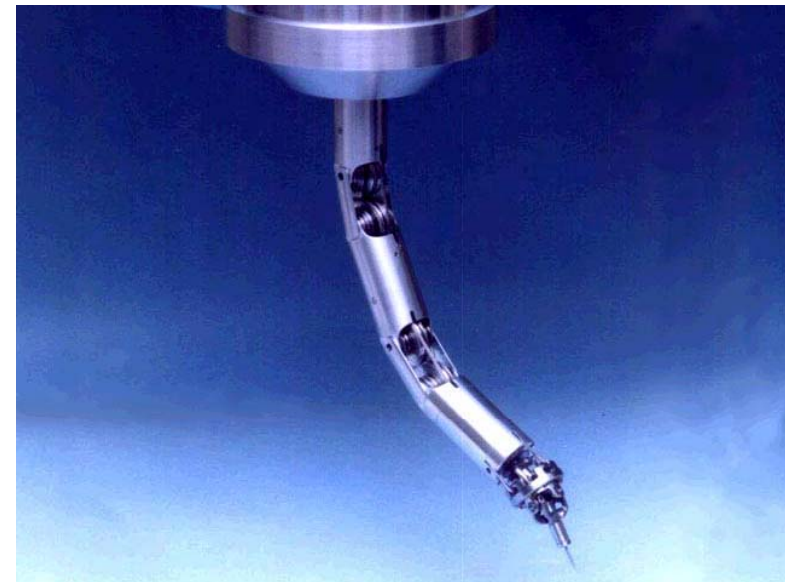


Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Automatizirani proizvodni proces



Telehirurgija/mikrohirurgija

Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Svemirska istraživanja



Letjelice



Mehatronički robotski sistemi



1.10. Budući pravci razvoja mehatronike

- **Biomehatronika**
- **Mikromehatronika**
- **Optomehatronika**
- **Medicinska mehatronika**
- **Vojna mehatronika**
- **Inteligentna mehatronika**

