

# Lekcija 1:

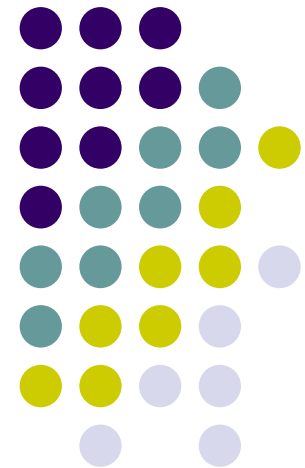
## *Uvod u distribuirane sisteme*

---

Prof.dr.sc. Jasmin Velagić  
Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Distribuirani sistemi

2012/2013



# Kolegij: Distribuirani sistemi



2/57

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

e-mail: [jasmin.velagic@etf.unsa.ba](mailto:jasmin.velagic@etf.unsa.ba)

tel.: 033 25 07 65

**Saradnik:**

**Mr.sc. Nedim Osmić**

e-mail: [nedim.osmic@etf.unsa.ba](mailto:nedim.osmic@etf.unsa.ba)

tel.: 033 25 07 47

**Konzultacije:**

utorkom i srijedom 12-13, ili po dogovoru

**Načini provjere  
znanja:**

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| sudjelovanje u nastavi          | (10%) |
| kolokvij laboratorijskih vježbi | (10%) |
| domaće zadaće                   | (10%) |
| pismeni ispit                   | (20%) |
| seminarski rad                  | (25%) |
| završni ispit                   | (25%) |

# Kolegij: Distribuirani sistemi



3/57

## Nastavne jedinice:

1. Uvod u distribuirane sisteme
2. Komunikacijske mreže
3. Protokoli i referentni modeli
4. Fizički sloj OSI modela
5. Podatkovni sloj OSI modela
6. Podatkovni sloj OSI modela – MAC protokoli
7. Bežične mreže u industrijskoj automatizaciji
8. Komunikacije u stvarnom vremenu (RT komunikacije)
9. Komunikacijske mreže u stvarnom vremenu
10. Upravljanje u zatvorenoj petlji preko komunikacijske mreže
11. Sistemi daljinskog vođenja
12. SCADA sistemi
13. Petrijeve mreže
14. Modeliranje distribuiranih sistema Petrijevim mrežama

# Kolegij: Distribuirani sistemi



4/57

## Preporučena literatura:

1. Jasmin Velagić, *Zabilješke s predavanja*, Elektrotehnički fakultet, Sarajevo, 2011, URL:  
<http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/lectures.htm>
2. Mahalik, N.P. (2005). *Fieldbus Technologies: Industrial Network Standards for Real-Time Distributed Control*, Springer Verlag, Berlin, Germany.
3. Garzia, A.L. & Widjaja, I. (2003). *Communication Networks*, McGraw, New York, USA.

## Dodatna literatura:

1. Zurawski, R. (2005). *The Industrial Communication Technology Handbook*, CRC Press, Boca Raton, USA.

## Sadržaj lekcije:

### + Distribuirani sistemi nadzora i upravljanja

- Računarski sistem upravljanja
- Distribuirani računarski sistem upravljanja
- Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja
- Slojevita hijerarhijska arhitektura nadziranja i upravljanja
- Primjeri distribuiranih sistema

### + Sistemi daljinskog vođenja



# 1. DISTRIBUIRANI SISTEMI NADZORA I UPRAVLJANJA



Osnovne funkcije računarskog sistema upravljanja procesima:

- Izvođenje regulacijskih petlji.
- Izvođenje logičkih funkcija.
- Prihvat ulaza od operatora.
- Nadzor stanja procesa i alarmiranje stanja kvara.
- Prikupljanje i obrada podataka za izvještaje, histograme, i slično.

## 1.1. Računarski sistem upravljanja

Osnovni zahtjevi na računarski sistem upravljanja (RSU) procesima:



- **Mora komunicirati s procesom u stvarnom (realnom) vremenu.**
- Faktori koji određuju može li RSU raditi u stvarnom vremenu:
  - brzina mikroprocesorskih jedinica,
  - brzina operacijskog sistema,
  - izvedba aplikacijskog softvera,
  - brzina i efikasnost komunikacije,
  - broj I/O događaja.

## Računarski sistem upravljanja

- **Višezadaćnost**, tj. sposobnost obavljanja više zadataka istovremeno bez međusobnog sukoba među njima.
- Zadaci su:
  - **Prekidi iz procesa**. RSU mora reagirati na dolazeći signal iz procesa.
  - **Vremenski inicirani zadaci**. RSU mora moći izvesti akciju u zadanom vremenskom trenutku.
  - **Upravljački signali procesu**. RSU mora moći izračunavati i slati upravljačke signale procesu.
  - **Sistemske i programske inicirane događaji**. Računar mora moći komunicirati s drugim računarima i perifernim uređajima.
  - **Operatorske inicirane događaji**. RSU mora moći prihvaćati i odgovarati na naredbe operatora.





# Računarski sistem upravljanja

## Sposobnosti RSU:

- **Polling**. Periodičko uzorkovanje podataka koji označavaju/mjere stanje procesa. Problemi koji se moraju razmatrati su:
  - **Frekvencija uzorkovanja.**
  - **Redoslijed uzorkovanja.**
  - **Format uzorkovanih podataka.**
- **Interlocks**. Sigurnosni mehanizmi za koordinaciju akcija dvaju ili više uređaja i sprječavanje interferencije/miješanja među njima. Interlock može proizvesti vanjski uređaj (ulaz) ili sam RSU (izlaz).
- **Prekidni režim** (interrupt mode). Sposobnost RSU-a da suspenzira izvođenje tekućeg programa i izvede neki drugi program kao odgovor na signal iz procesa koji označava događaj u procesu višeg prioriteta.



# Računarski sistem upravljanja

## Sposobnosti RSU:

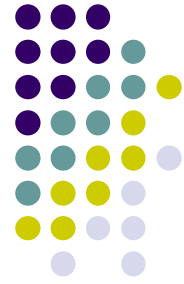
- **Obrada iznimaka** (Exception Handling). Iznimka je događaj izvan normalnog ili željenog režima rada procesa ili RSU-a.
- Obrada iznimaka je glavna funkcija upravljačkog algoritma.
- Događaji koji mogu izazvati rutinu obrade iznimaka:
  - loša kvaliteta proizvoda;
  - vrijednosti procesne varijable izvan normalnog područja;
  - nedostatak sirovina ili energije neophodnih za odvijanje procesa;
  - opasni uvjeti, npr. požar;
  - neispravnost RSU-a.



## 1.2. Distribuirani računarski sistem

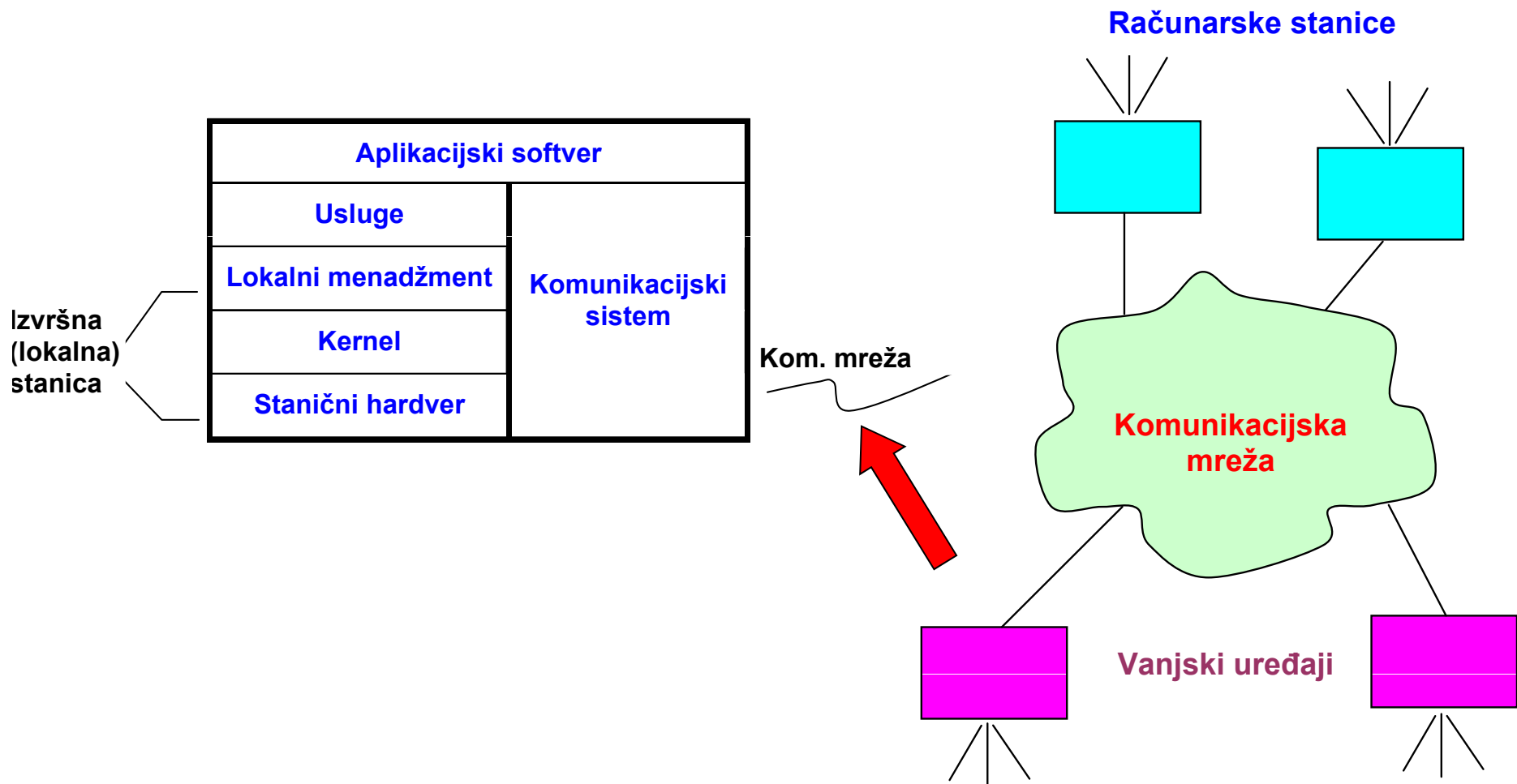
Distribuirani računarski sistemi (DRS).

- DRS su sistemi u kojima više neovisnih procesora i spremnika podataka podržavaju interakciju procesa i/ili baza podataka usmjerenu ka postizanju zajedničkog cilja. Interakcija se ostvaruje izmjenom informacija preko komunikacijske mreže.
- Prema ovoj definiciji u distribuirane sisteme ne spadaju sistemi kod kojih se komunikacija ostvaruje preko zajedničke memorije ili preko paralelne sabirnice koje zahtijevaju da komponente sistema moraju biti prostorno bliske.
- Isto tako i umreženi računari koji mogu razmjenjivati datoteke preko komunikacijske mreže, ali koji nemaju interakciju usmjerenu ka postizanju zajedničkog cilja ne smatraju se distribuiranim računarskim sistemima.



# Arhitektura distribuiranog računarskog sistema

- Distribuirani operacijski sistem (DOS) objedinjuje i koordinira rad distribuiranih čvorova.
- DOS pravi razliku između DRS i mreže računara.



## Distribuirani računarski sistem

### Zašto distribuirani računarski sistemi?

- Pad cijena računarskih komponenti uz istodoban pad cijena i tehnološki napredak u području komunikacija doveo je do ubrzanog razvoja i primjene računarskih mreža, tj. umreženih računarskih sistema.
- Korisnici su prepoznali prednosti rada računara koji omogućuje razmjenu podataka, resursa i komponenti.
- Prednosti koje distribuirani sistemi pružaju u odnosu na centralizirane sisteme (manji početni troškovi izvođenja, veća pouzdanost, proširljivost, brži odziv itd.) rezultirali su njihovom vrlo širokom primjenom.



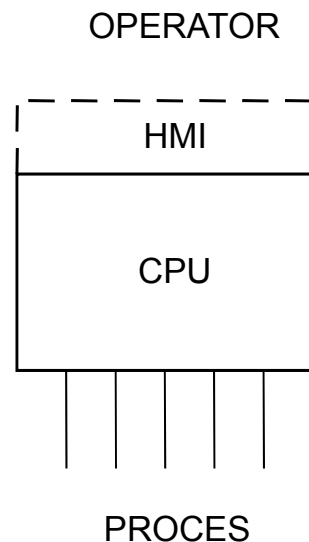
## 1.3. Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja



14/57

### Centralizirana arhitektura

- Sadrži samo jednu procesorsku jedinicu, izravno povezanu s procesom za koji je zadužena i s operatorskim sučeljem.
- Njezine prednosti bile su niska cijena i jednostavnost.
- Zbog sve niže cijene i sve jednostavnije instalacije složenijih upravljačkih arhitektura centralizirana arhitektura je zastarjela.
- Njezina primjena je ostala ograničena na manje podsisteme sa strogo lokalnim nadzorom i upravljanjem.



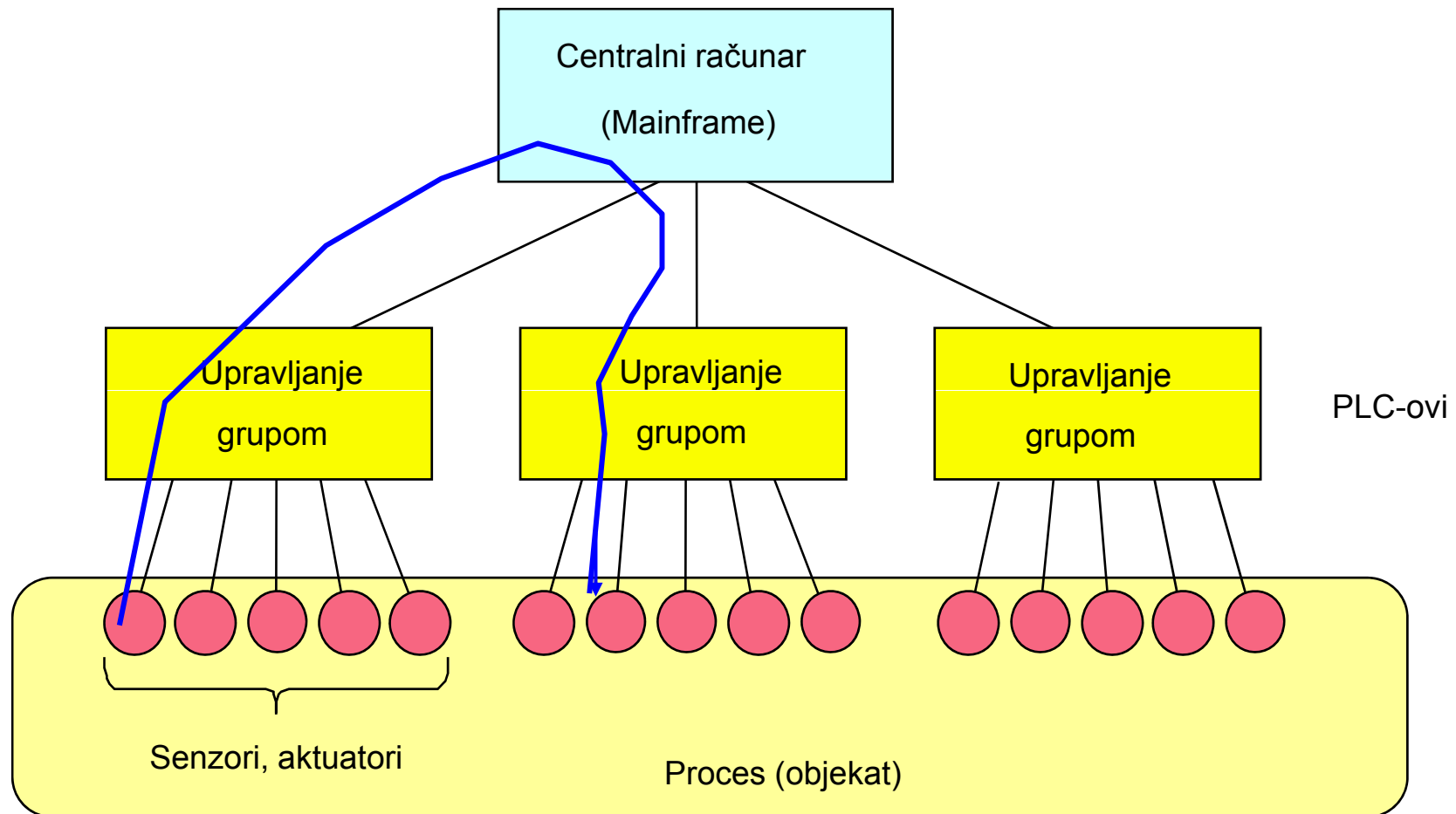
HMI (Human Machine Interface) – operatorsko sučelje.

CPU (Central Process Unit) – centralna procesorska jedinica.

# Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja

## Centralizirana arhitektura

- Centralni računar samo nadzire i prosljeđuje komande PLC-ovima.



# Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja

## Distribuirana arhitektura s pojedinačnim (point-to-point) vezama

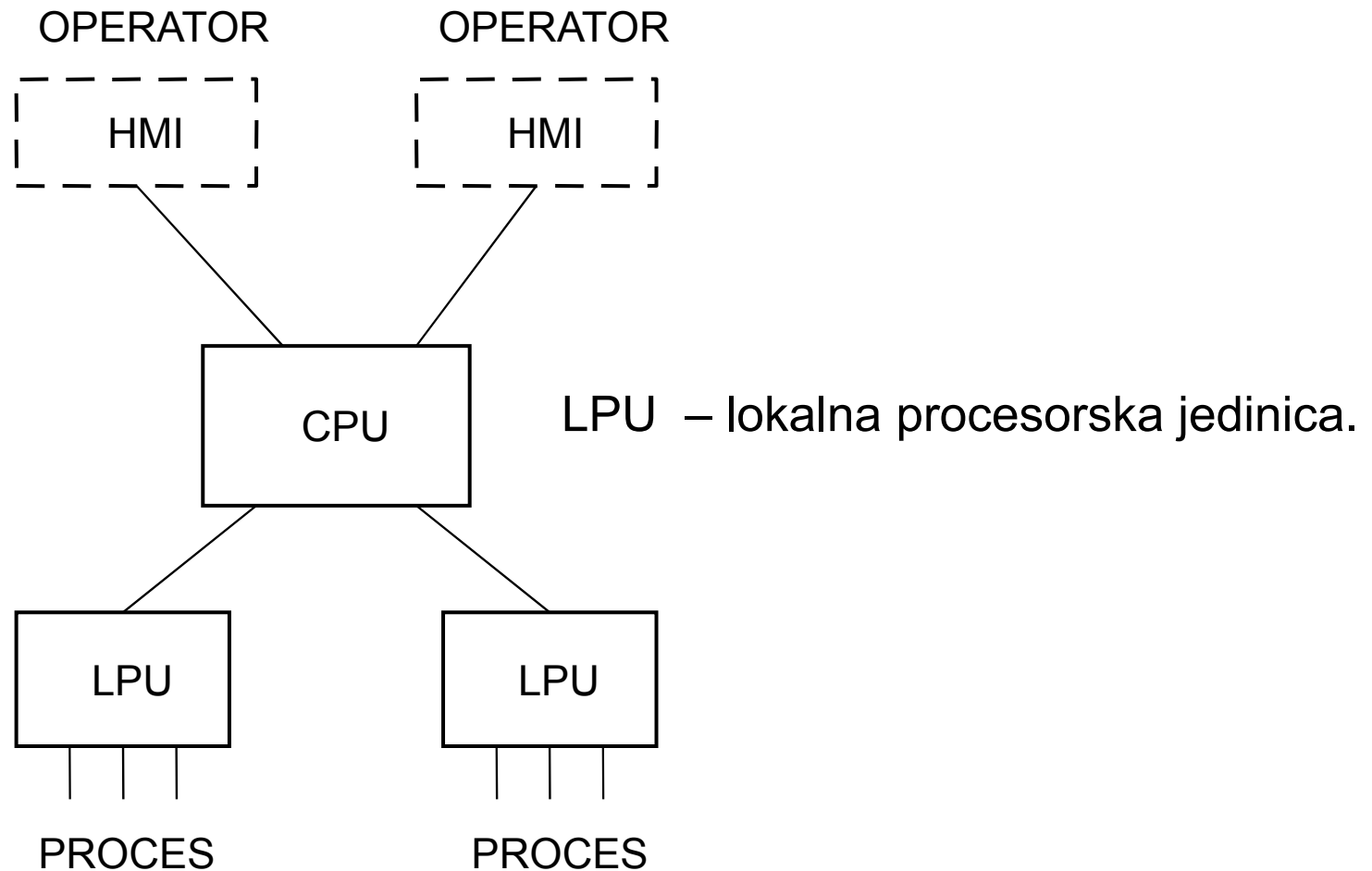
- Sadrži više procesorskih jedinica fizički smještenih blizu nadziranih uređaja i operatorskih stanica.
- Procesorske jedinice između sebe komuniciraju putem hardverski i softverski međusobno neovisnih komunikacijskih kanala.
- Troškovi ožičenja i osjetljivost na elektromagnetske smetnje su bitno smanjeni, budući da su pojedinačni senzori i aktuatori spojeni s lokalnim procesorskim jedinicama putem relativno kratkih vodova.
- Pojednostavljeno je proširivanje i nadogradnja sistema.
- Budući da lokalne procesorske jedinice mogu raditi ako je njihov dio sistema nadzora i upravljanja ispravan, bez obzira na zbivanja u preostalom dijelu sistema (kvarovi, održavanje), bitno je povećana pouzdanost sistema.





# Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja

## Distribuirana arhitektura s pojedinačnim (point-to-point) vezama



# Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja

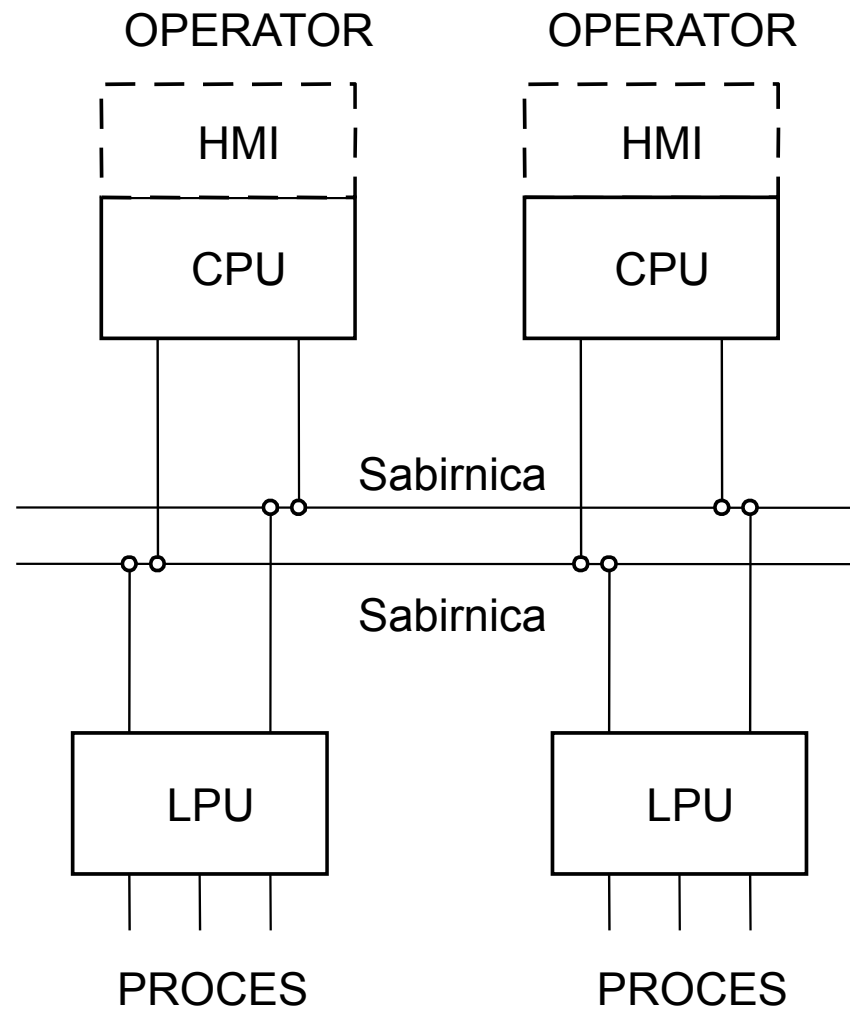
## Distribuirana mrežna arhitektura

- Procesorske jedinice nisu povezane pojedinačnim komunikacijskim vezama, već su spojene na zajedničku komunikacijsku mrežu.
- Na ovaj način se postižu daljnje uštede u ožičenju i bitno pojednostavljuje moguća nadogradnja sistema, dok se nedostatak zbog povećane složenosti komunikacije gotovo izgubio zahvaljujući dostupnosti već gotovih hardverskih i softverskih komunikacijskih modula.
- Pitanje pouzdanosti komunikacijske mreže može se riješiti redundancijom.
- Zbog svega toga, suvremeni sistemi nadzora i upravljanja koriste mrežnu distribuiranu arhitekturu, dok se point-to-point veza upotrebljava uglavnom za povezivanje specijalnih, nestandardnih uređaja.



# Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja

## Distribuirana mrežna arhitektura

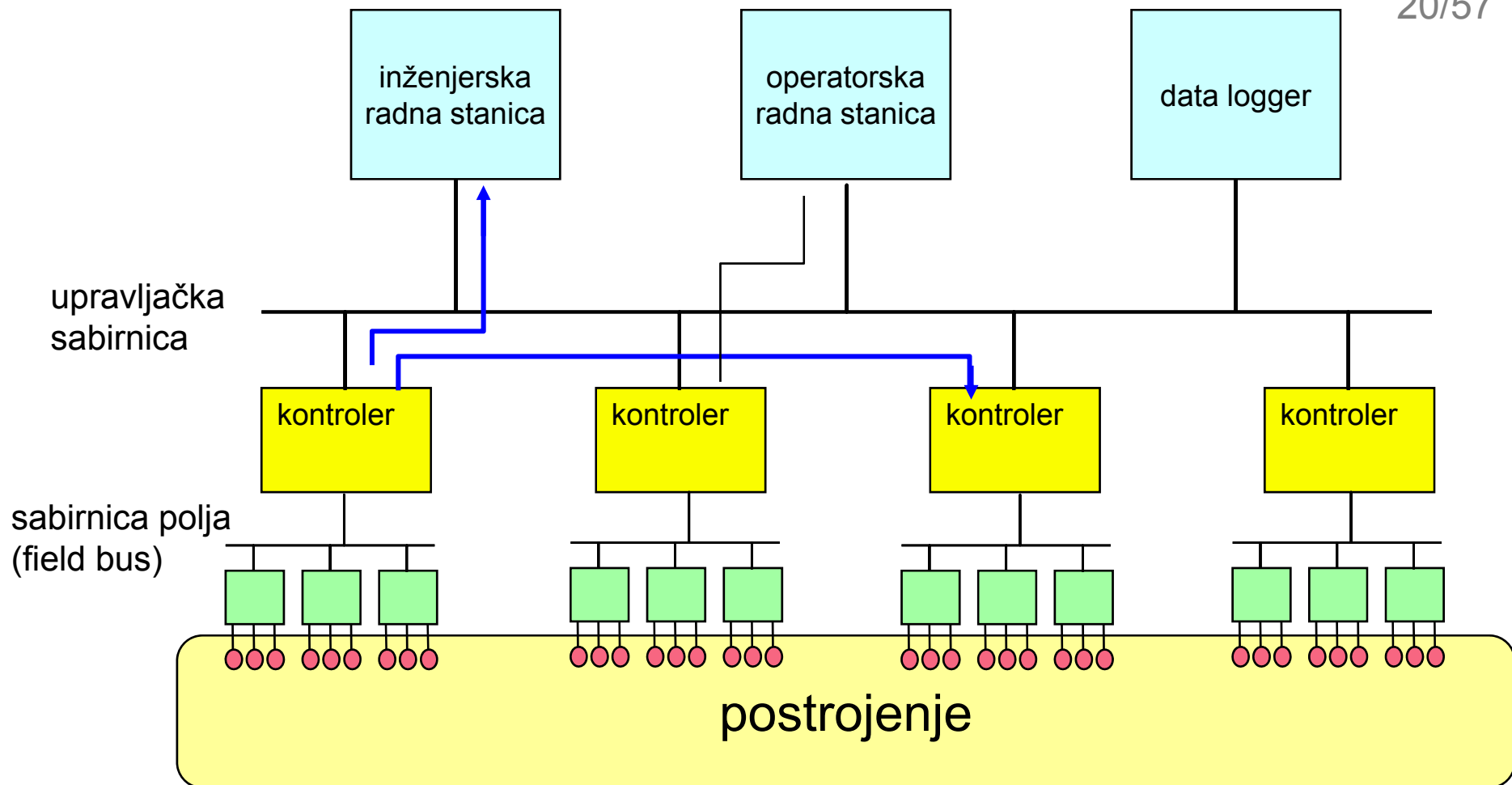


# Arhitekture sistema nadziranja i upravljanja

## Primjer distribuirane arhitekture



20/57



## 1.4. Slojevita hijerarhijska arhitektura nadziranja i upravljanja

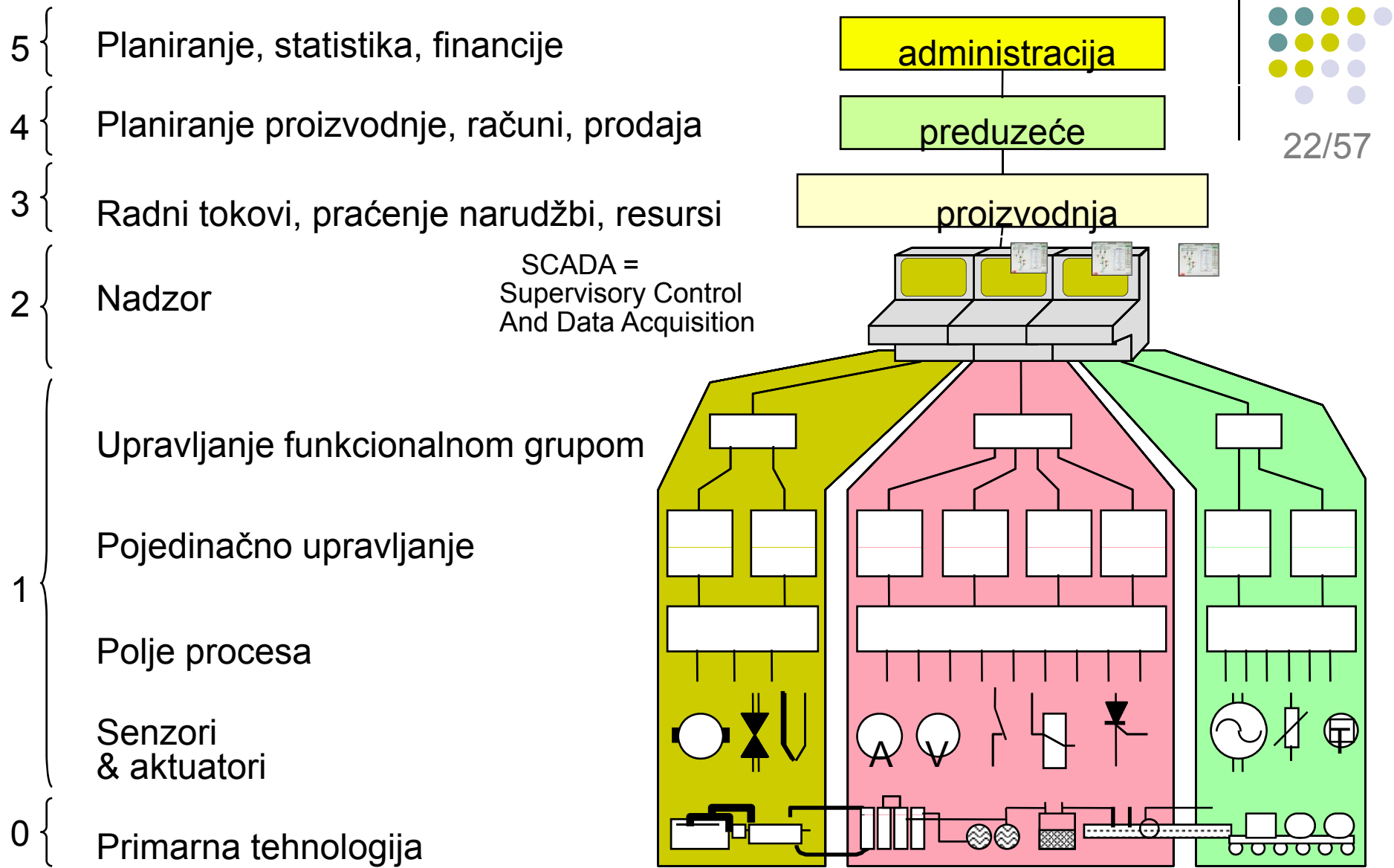
- Složena, suvremena verzija mrežne distribuirane arhitekture koja sadrži nekoliko hijerarhijski raspoređenih komunikacijskih mreža, na koje se vezuju ne samo pojedine procesorske jedinice, već i elementi njihove distribuirane periferije, inteligentni senzori i aktuatori, lokalne operatorske jedinice, komunikacijski procesori i drugo.

Njezina svojstva su slijedeća:

- *distribuirana, decentralizirana* – sastoji se od velikog broja procesorskih, operatorskih i akvizicijskih jedinica razmještenih po čitavom objektu;
- *mrežna* – pojedine jedinice međusobno su povezane putem komunikacijskih mreža;
- *slojevita, hijerarhijska* – pojedine funkcije, komponente i komunikacijske mreže hijerarhijski su organizirane u više slojeva; svaki sloj ima vlastita pravila izvedbe i norme standardizacije;
- *otvorena* – sastoji se od komponenti i podsistema više različitih dobavljača i proizvođača, koji zadovoljavaju zadane standarde i norme povezivanja; ne postavlja se zahtjev za upotrebom samo jedne linije automatizacijske opreme.



# Hijerarhija velikih sistema



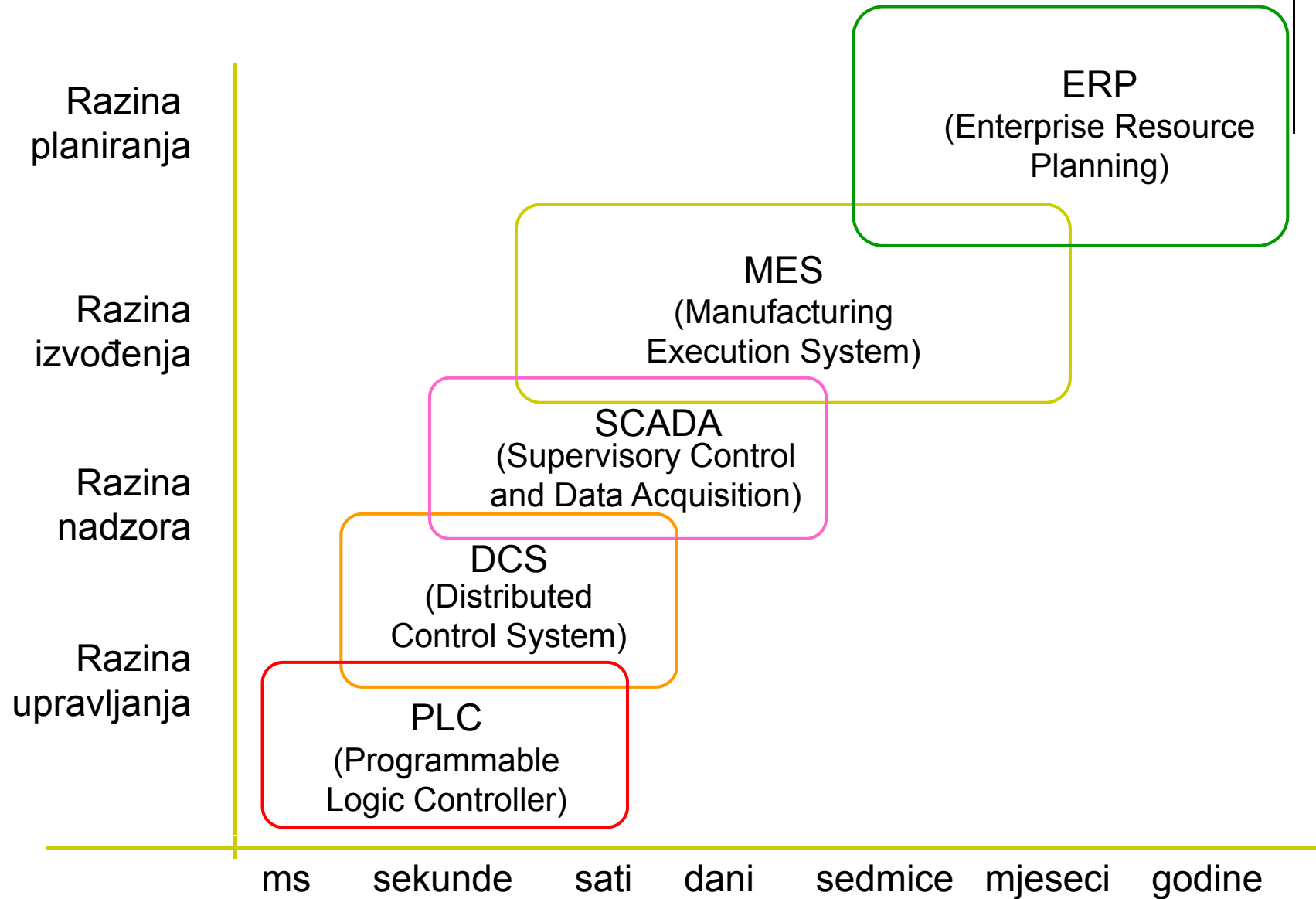
# Hijerarhija velikih sistema



23/57

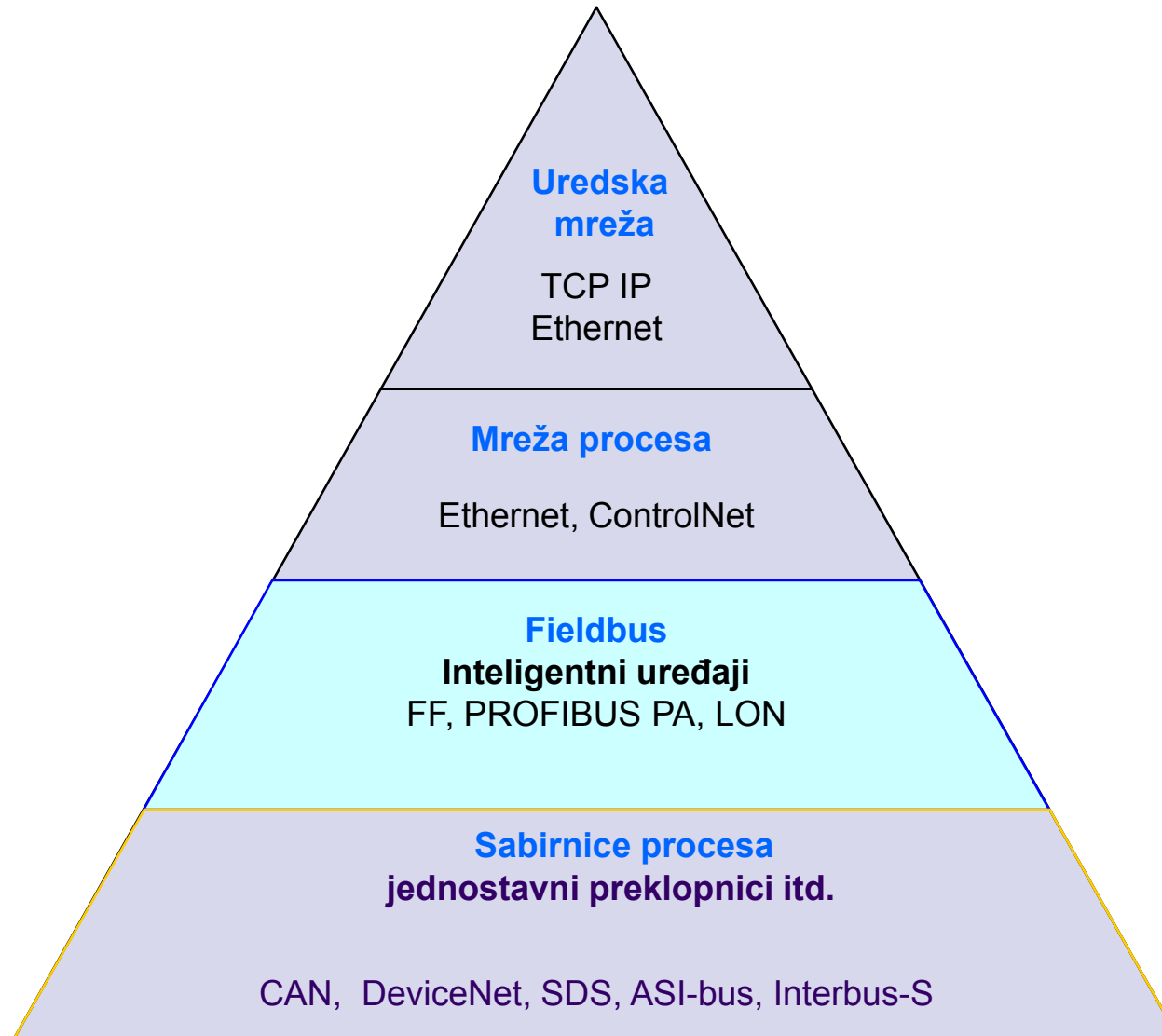
|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Administracija</b>    | Financije, ljudski resursi, dokumentacija, dugoročno planiranje.   |
| <b>Preduzeće</b>         | Postavljanje proizvodnih ciljeva, planiranje pogona i resursa, koordiniranje različitih aktivnosti, rukovođenje računima.  |
| <b>Proizvodnja</b>       | Rukovođenje proizvodnjom, resursi, radni tok, nadzor kvaliteta, planiranje proizvodnje, održavanje.  |
| <b>Nadzor</b>            | Nadziranje proizvodnje i radnih mjesta, optimizacija, izvršavanja operacija, vizualizacija procesa, pohranjivanje procesnih podataka, log operacije, histogrami (otvorena petlja).   |
| <b>Grupa (Područje)</b>  | Upravlja dobro definiranim dijelom procesa (zatvoreni krug (petlja), izuzev za intervencije operatora) <ul style="list-style-type: none"><li>• Koordiniranje pojedinačnih podgrupa.</li><li>• Podešavanje zadanih vrijednosti i parametara.</li><li>• Upravljanje nekoliko jedinica kao grupe.</li></ul>   |
| <b>Jedinica (Ćelija)</b> | Upravljanje (regulacija, praćenje i zaštita) dijelovima grupe (zatvorena petlja izuzev za održavanje) <ul style="list-style-type: none"><li>• Mjerenje: uzorkovanje, skaliranje, obrada, kalibracija.</li><li>• Upravljanje: regulacija, zadane vrijednosti i parametri.</li><li>• Izdavanje naredbi: sekvenciranje, zaštita i blokiranje.</li></ul> |
| <b>Polje</b>             | Akvizicija podataka (senzori i aktuatori), prijenos podataka, neprocesiranje osim mjerenja, korekcije i ugrađene zaštite.  |

# Hijerarhija i vremena odziva

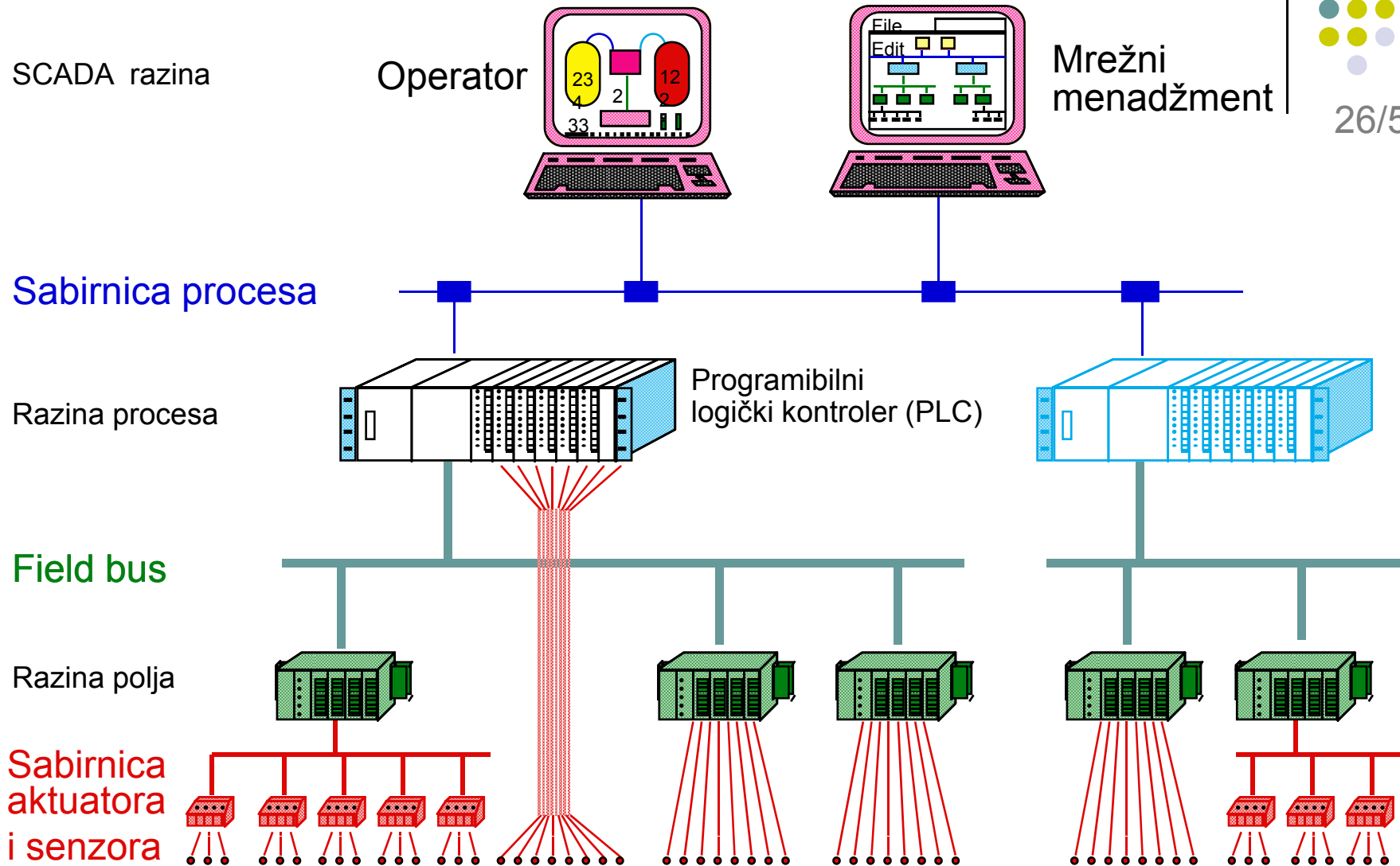
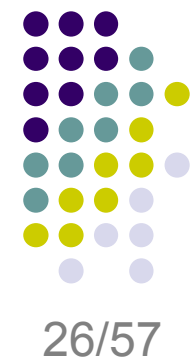




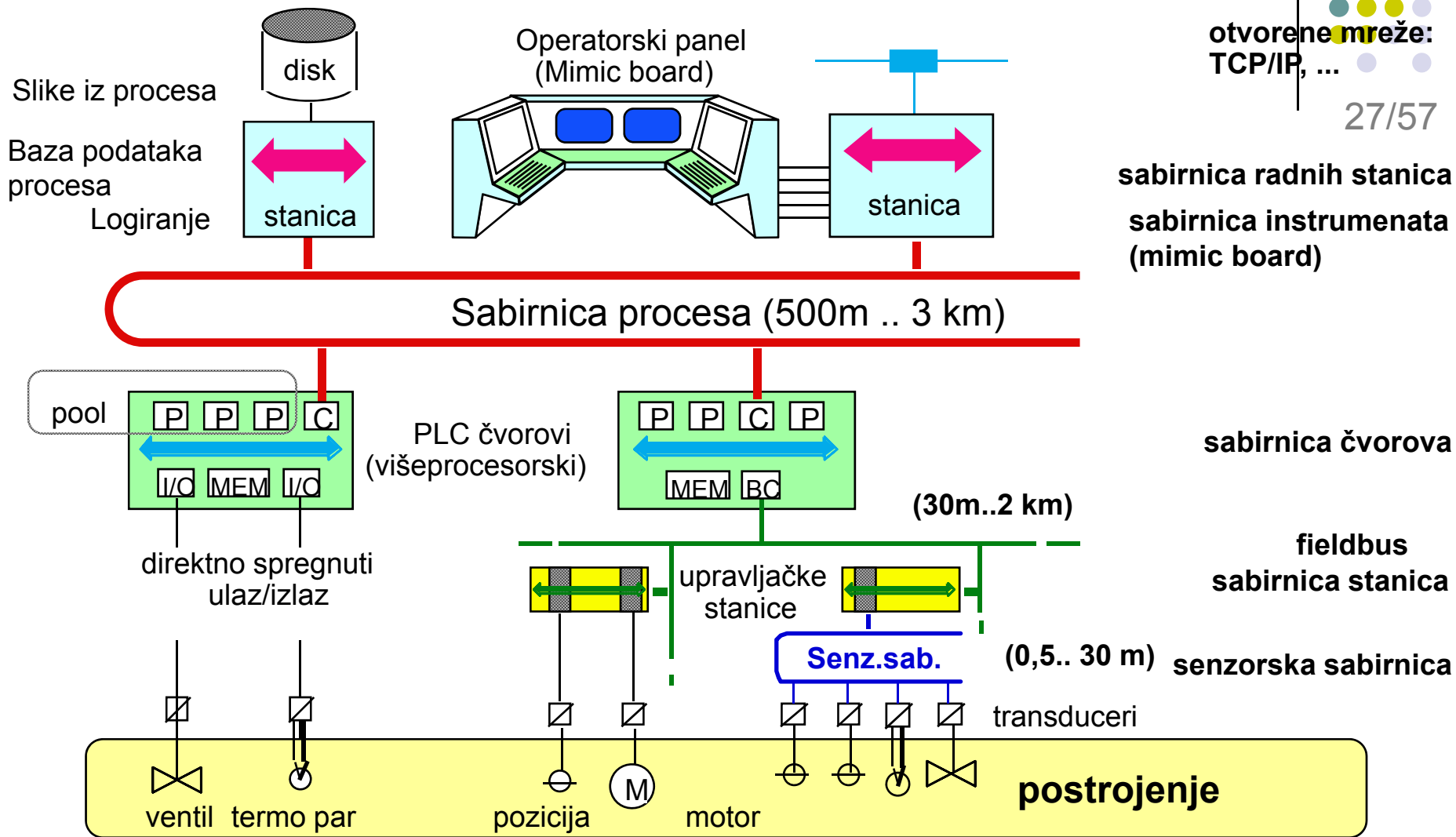
# Vrste sabirnica u industrijskom postrojenju



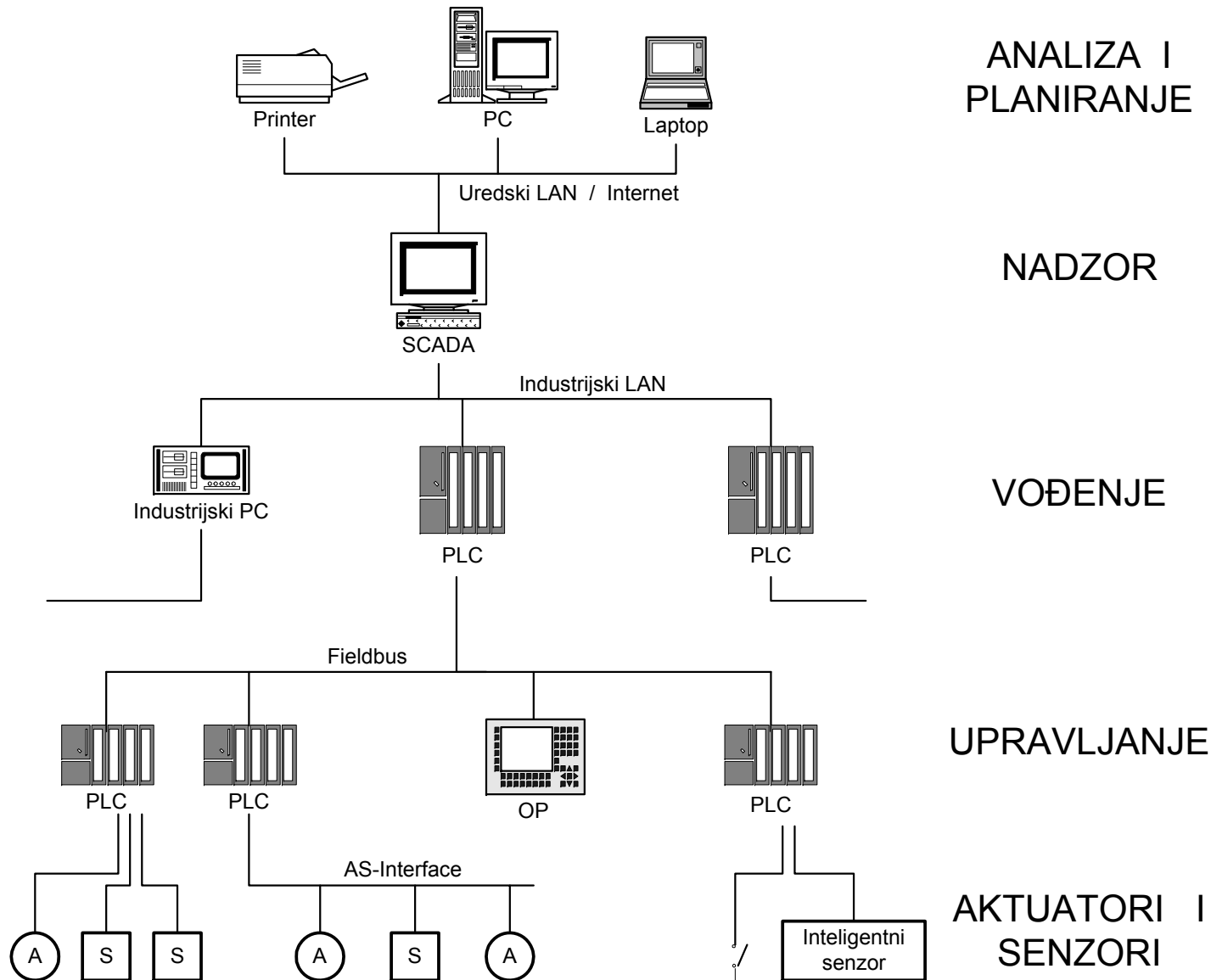
# Lokacija sabirnica u hijerarhihi postrojenju



# Procesi i sabirnice u industrijskom postrojenju



# Primjer slojevite hijerarhijske arhitekture nadziranja i upravljanja



# Primjer slojevite hijerarhijske arhitekture nadziranja i upravljanja



Pet razina sistema nadziranja i upravljanja.

## 1. Razina upravljanog uređaja.

Obuhvaća senzore i aktuatorne vezane za upravljački uređaj.

## 2. Razina upravljanja pojedinačnim funkcijama, uređajima i petljama regulacije.

- Izvodi se pomoću PLC-ova, mikrokontrolera, industrijskih PC-ova.
- Komunikacijske veze izvedene putem fieldbus-a, ili industrijske terenske komunikacijske mreže (npr. Profibus).

## 3. Razina vođenja procesa.

Uključuje upravljanje čitavim podsistemom ili funkcionalnom grupom.

Izvodi se pomoću moćnijih PLC-ova ili industrijskih računara.

Komunikacija obično ide putem fieldbus - mreže većeg propusnog opsega ili industrijske LAN mreže.

## 4. Razina nadzora procesa.

Posrijedi je integrirani sistem nadzora koji pokriva sve važnije sisteme objekta, tzv. SCADA.

## Primjer slojevite hijerarhijske arhitekture nadziranja i upravljanja

Izvodi se na moćnijem računalu (radnoj stanici).

Za vezu s uređajima nižih razina koristi industrijsku LAN (Ethernet) mrežu.



30/57

### 5. Razina planiranja i analize.

- Informacijski sistemi ove razine koriste klasičnu uredsku računarsku opremu, uz međusobno povezivanje putem uredske LAN mreže.
- Za vezu prema ostatku svijeta koriste se bežični komunikacijski kanali.
- Moguća je komunikacija putem Interneta.

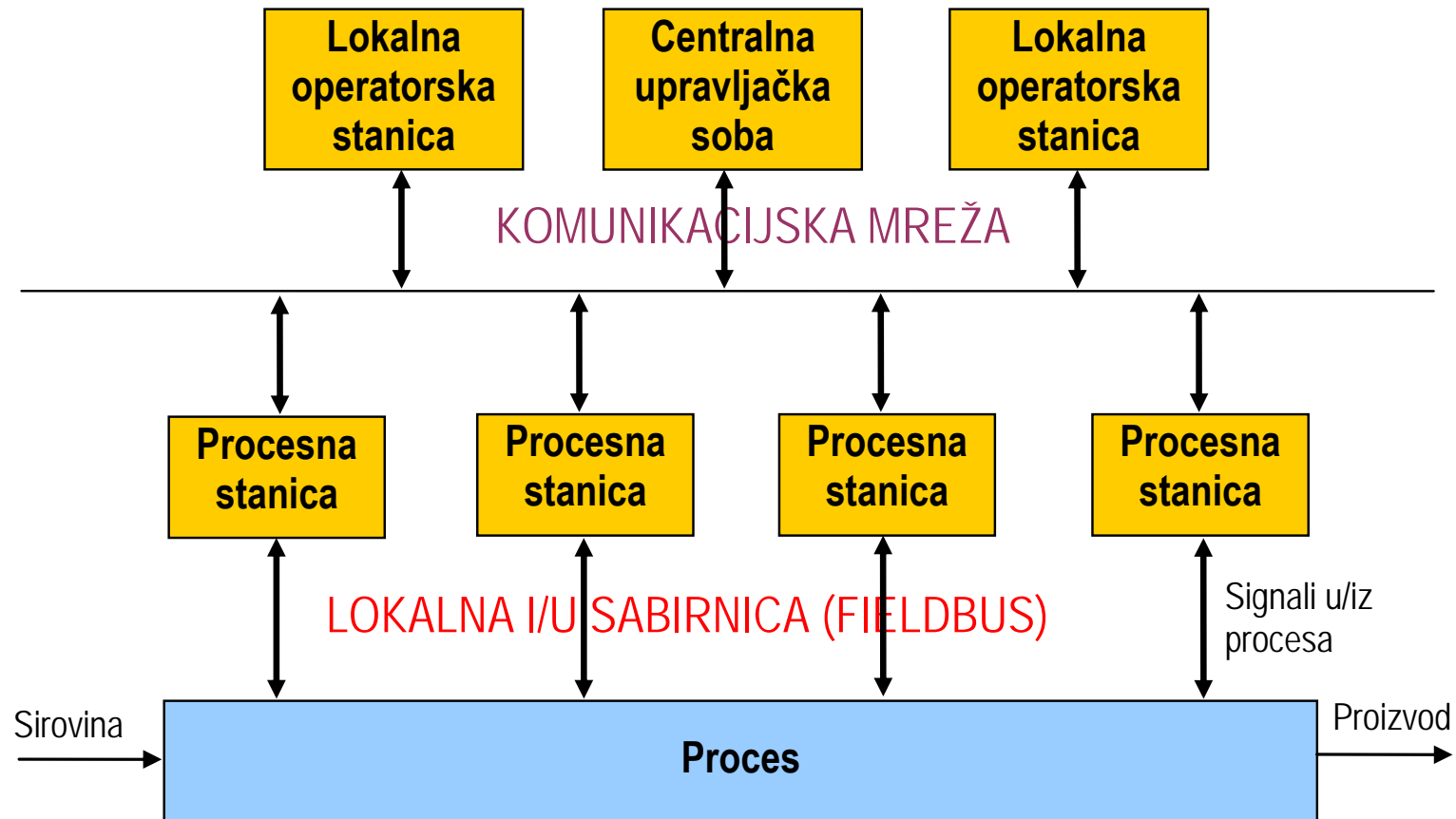
## 1.5. Primjeri distribuiranih sistema

### 1. Distribuirani sistemi upravljanja u industrijskoj automatizaciji

- postrojenje procesne industrije

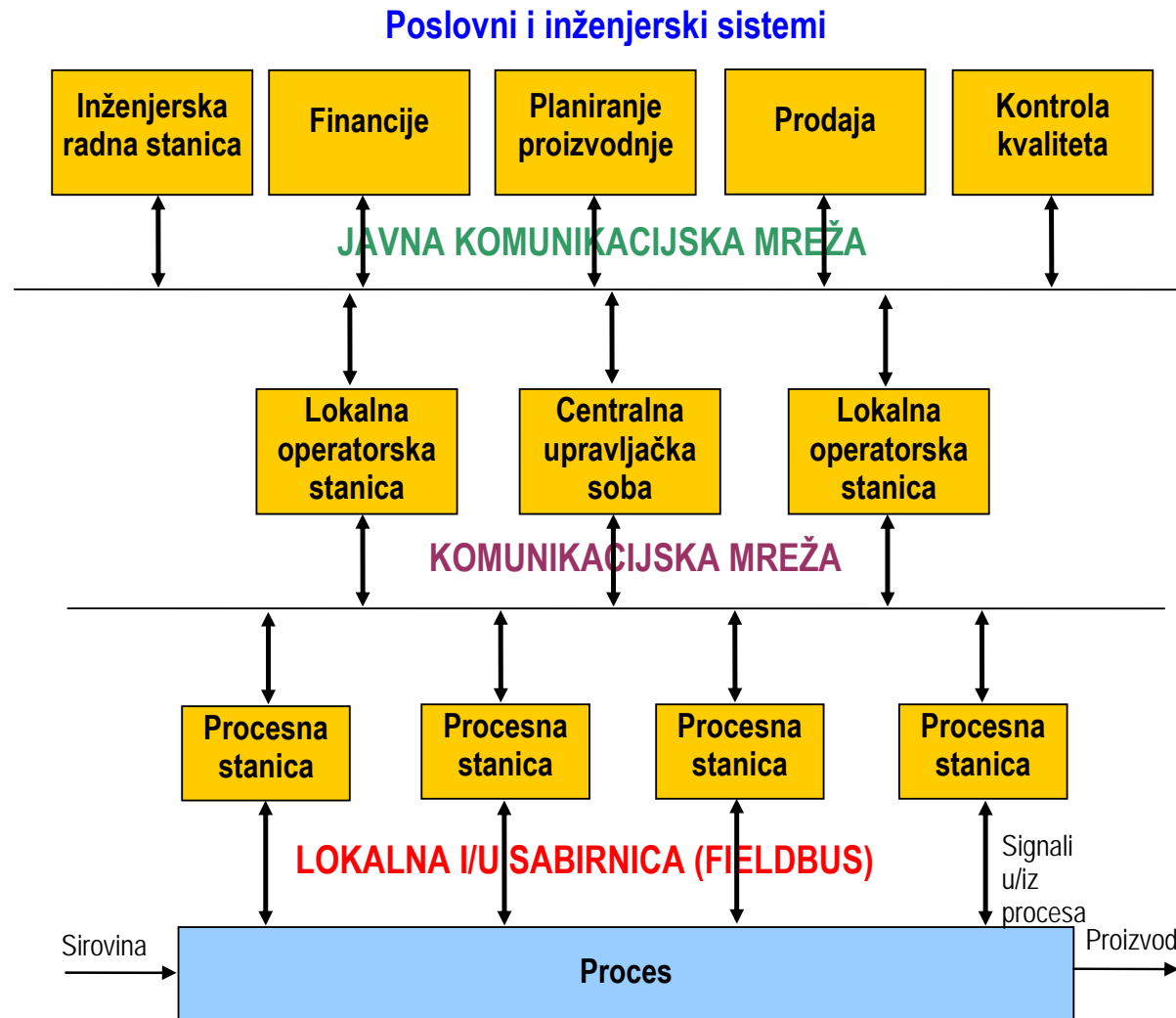


31/57



# Primjeri distribuiranih sistema

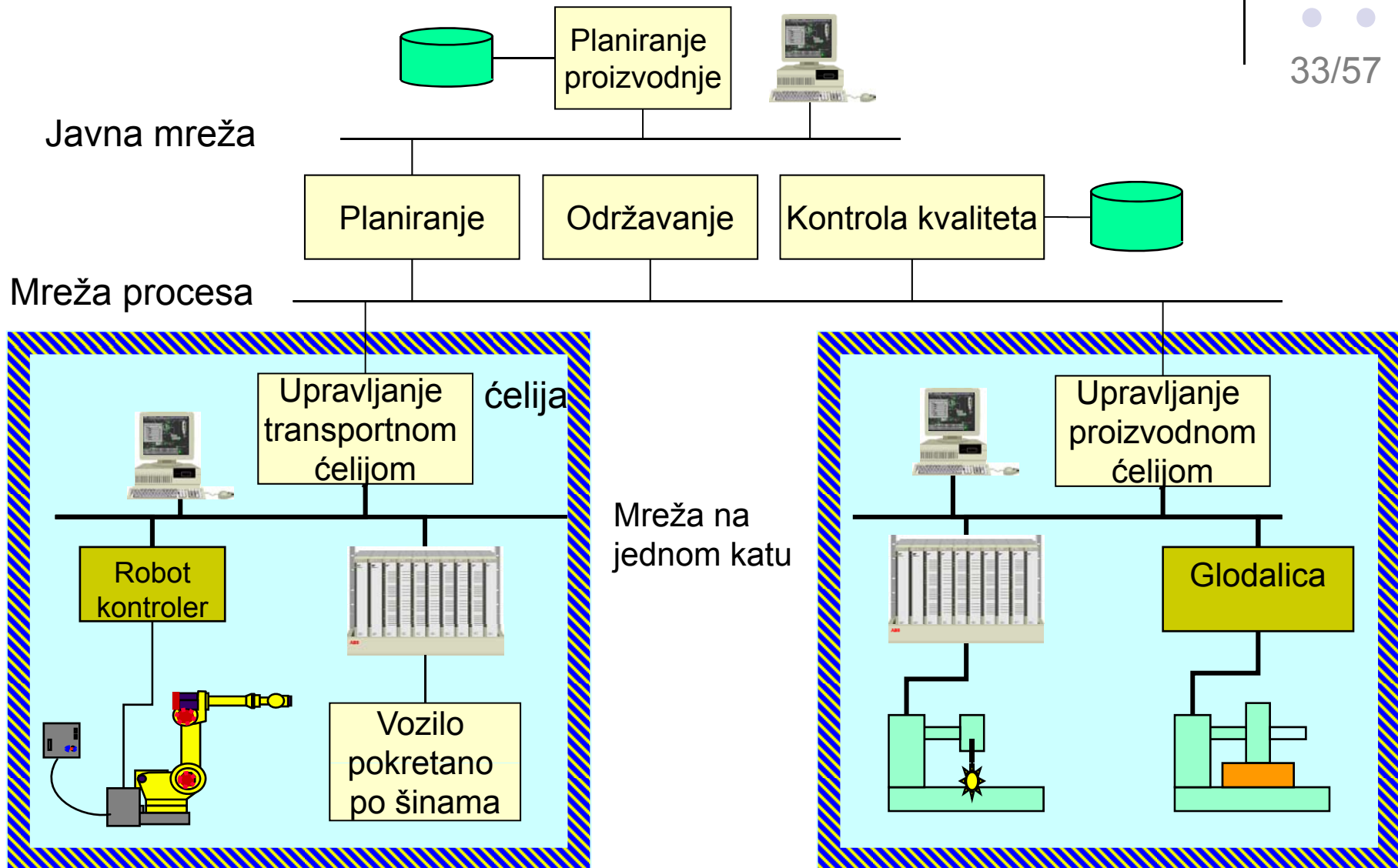
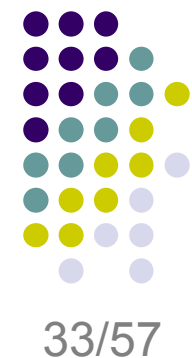
- 2. Distribuirani sistemi upravljanja u industrijskoj automatizaciji
- postrojenje procesne industrije sa integracijom informacijskog sistema preduzeća.





# Primjeri distribuiranih sistema

## 3. Upravljanje proizvodnim procesom – industrijska automatizacija



# Primjeri distribuiranih sistema

## 4. Automobil

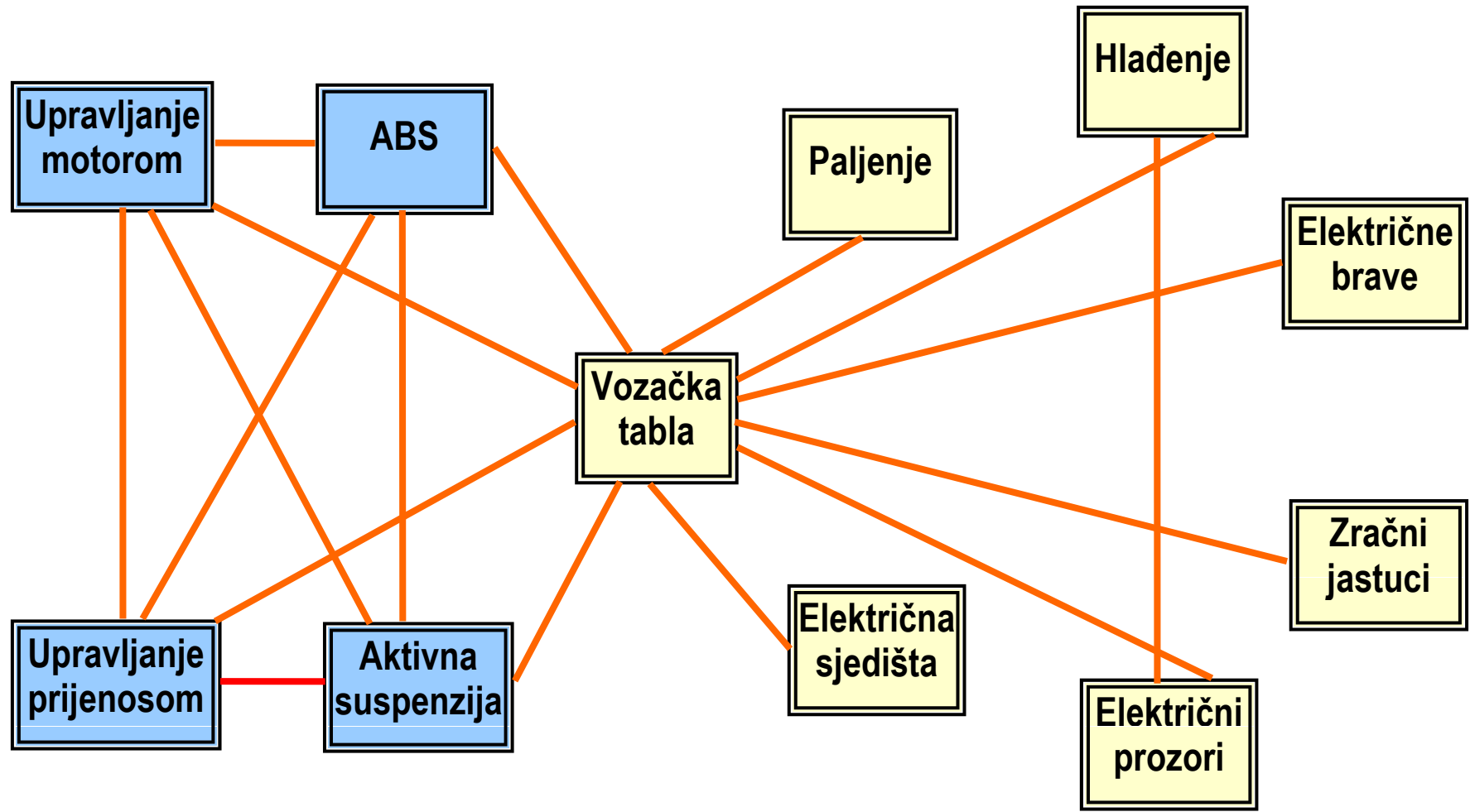
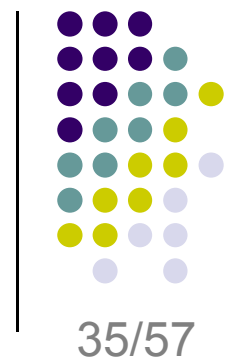
- Tradicionalno: upravljanje uređajima (prozori, sjedala, radio).
- Upravljanje motorom (regulacija ispusta).
- Kritične nove primjene: ABS i EPS, brake-by-wire, steer-by-wire (“X-by-wire”),  
povećanje sigurnosti.
- Ekstremne cijene minijaturizacije.
- 2001 US model: 19% od cijene je elektronika sa tendencijom +10% po godini.



# Primjeri distribuiranih sistema

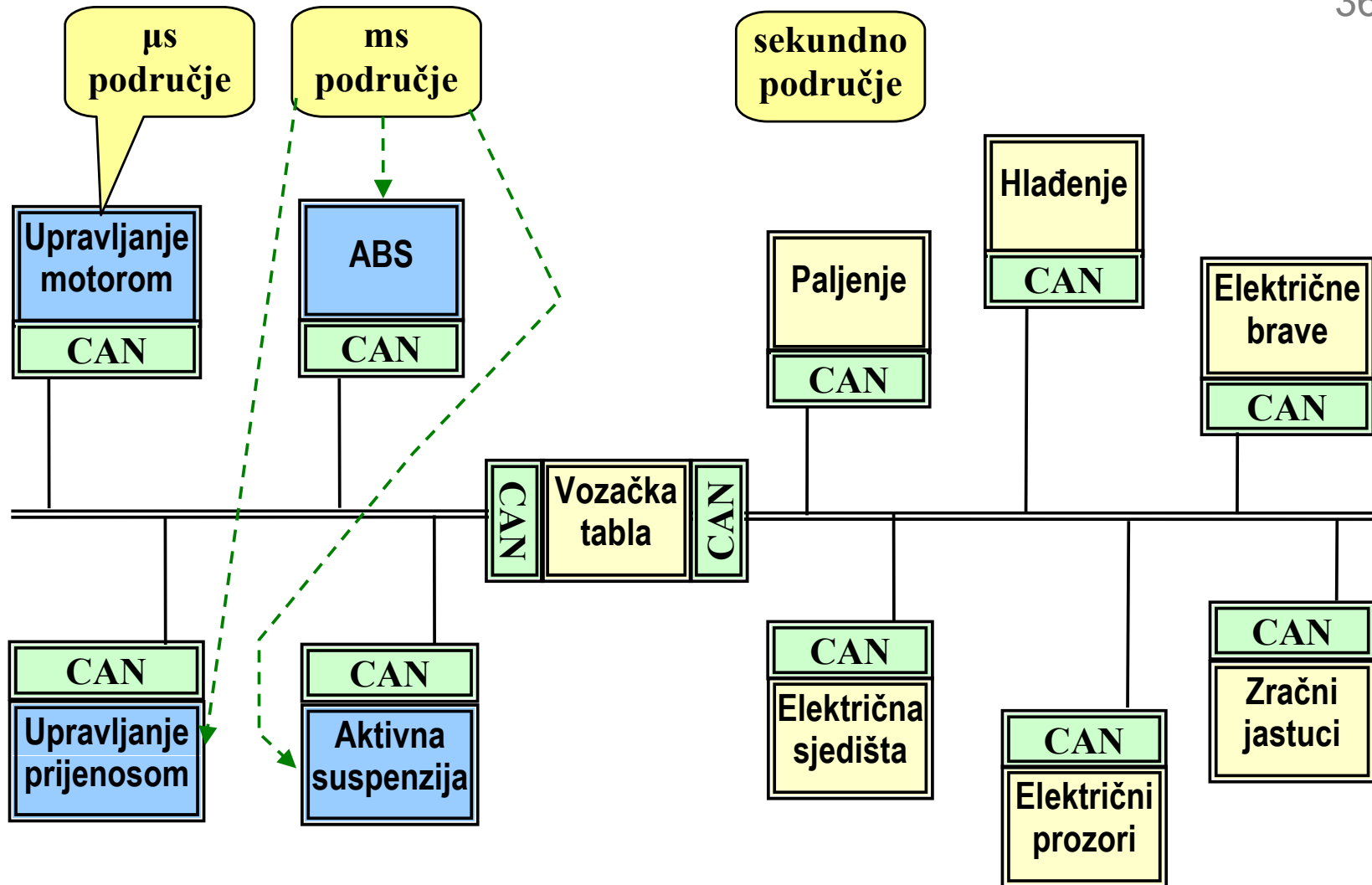
## Upravljanje u automobilu i njegove interakcije

- proces s brзом dinamikom



# Primjeri distribuiranih sistema

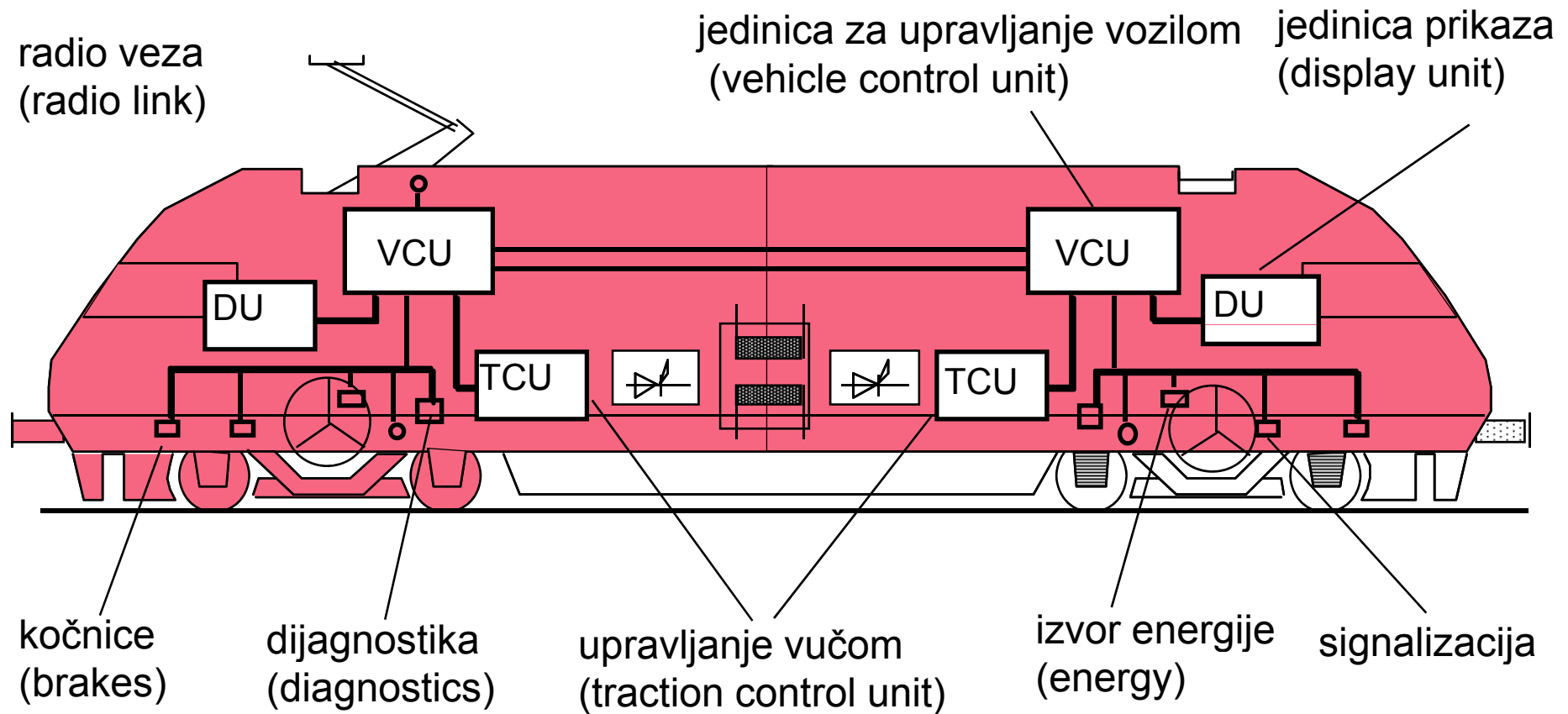
Upravljanje u automobilu i njegove interakcije – proces s brzom dinamikom



# Primjeri distribuiranih sistema

## 5. Lokomotiva

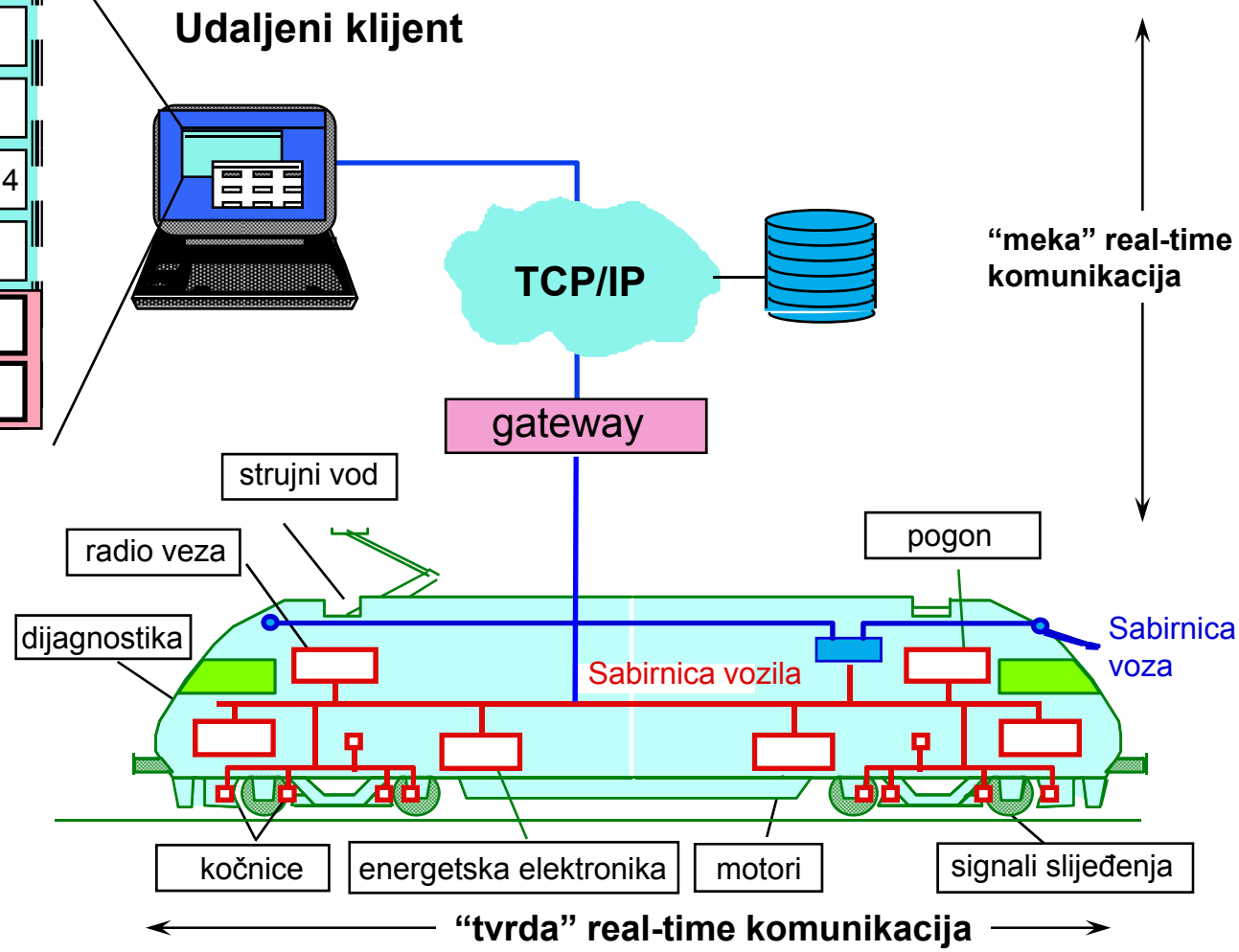
- Prednosti: smanjeni operacijski troškovi, brža dijagnostika, bolje rukovanje i raspolaganje energijom, automatsko upravljanje vozom.



# Primjeri distribuiranih sistema

## 5. Lokomotiva

|               |                  |
|---------------|------------------|
| Device        | diagnosis        |
| Made by       | Adtranz          |
| Model         | SPY2000          |
| Serial Number | AD23.11.129.43.4 |
| Software      | 970602.122       |
| Status        | recording        |
| Entries       | 15573            |



"meko" real-time komunikacija

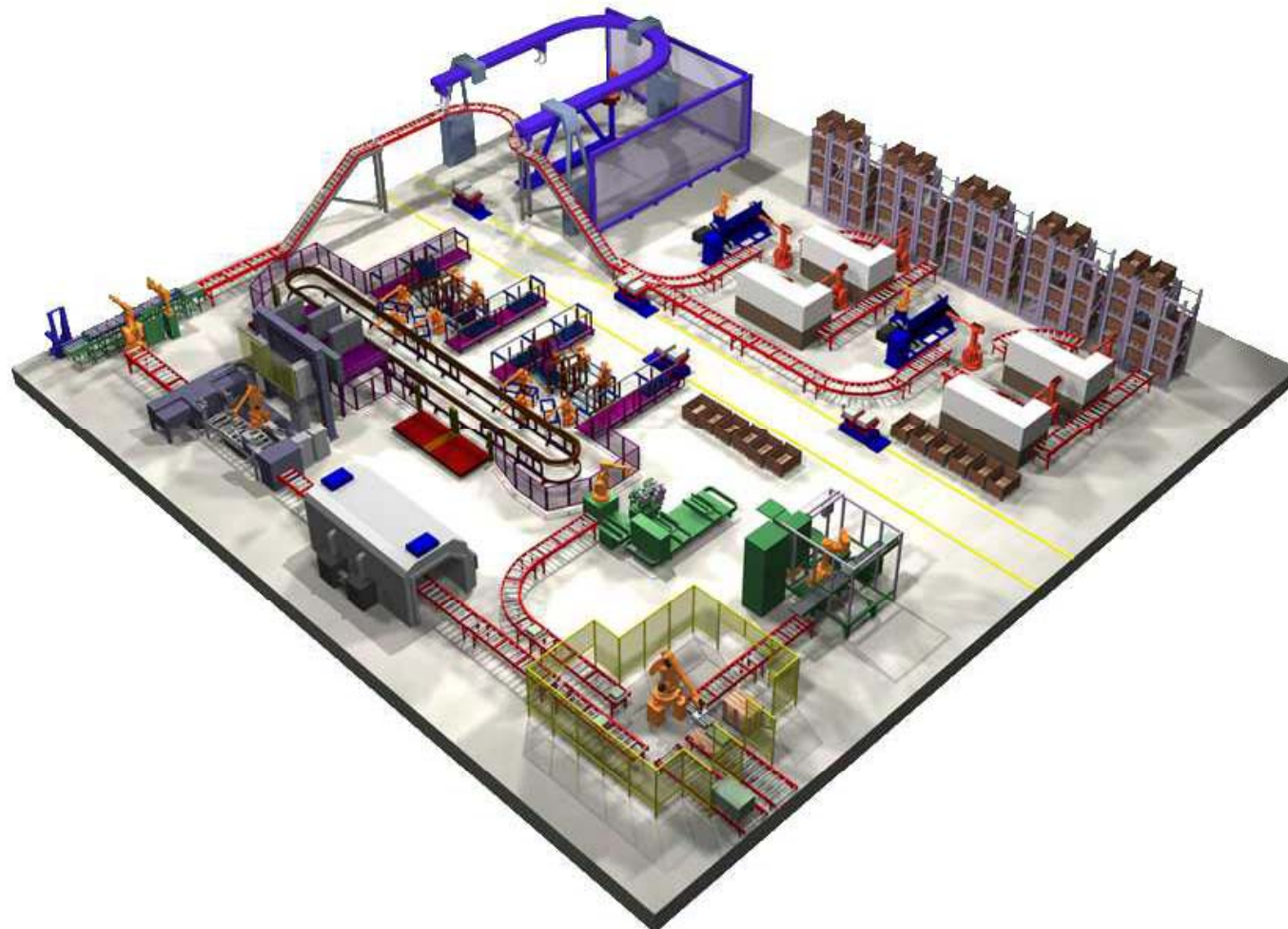
"tvrda" real-time komunikacija



# Primjeri distribuiranih sistema

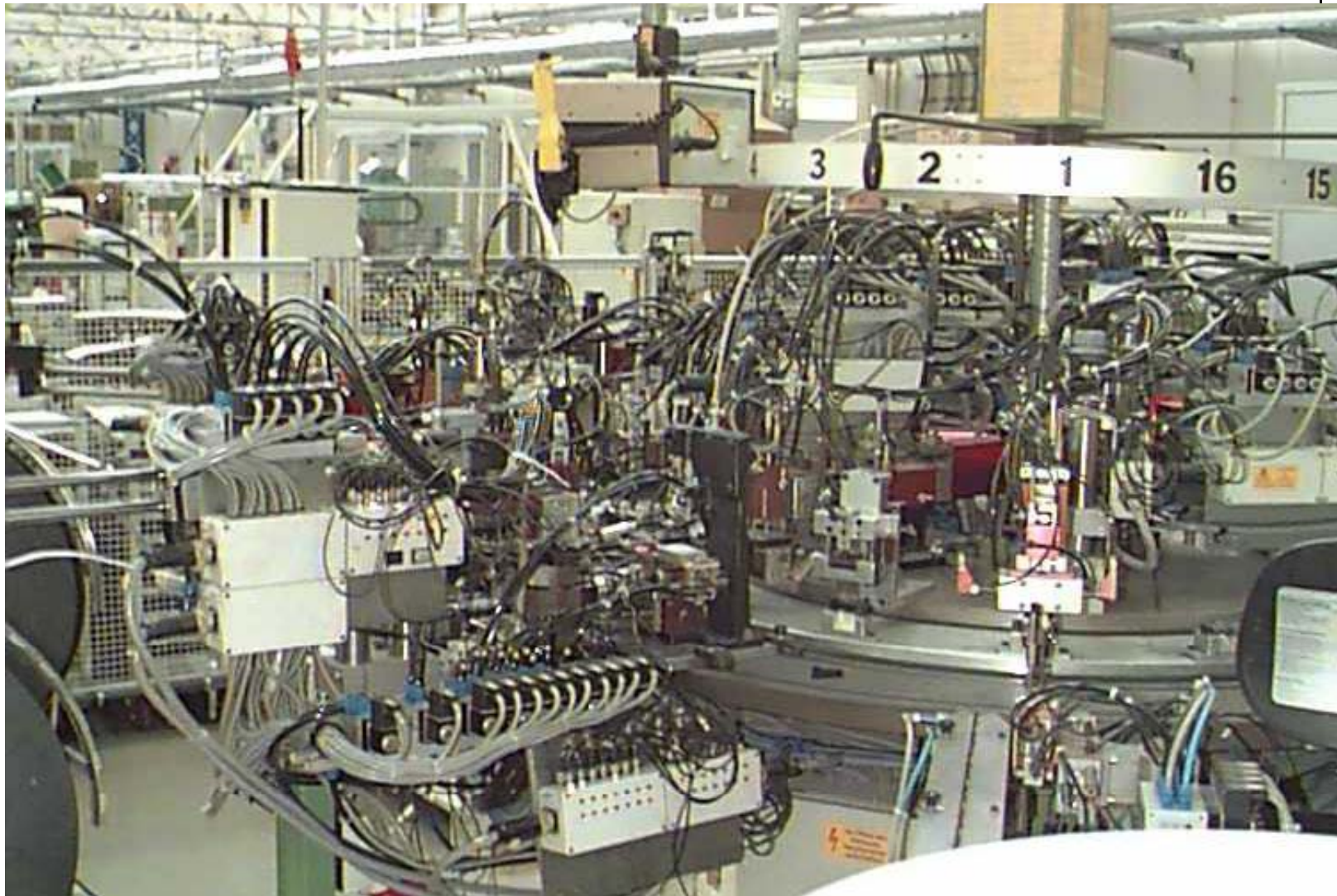
## 6. Fleksibilna automatizacija

- Sistemi sadrže brojne proizvodne trake, robote, CNC strojeve, itd.



# Primjeri distribuiranih sistema

## 7. Proizvodnja





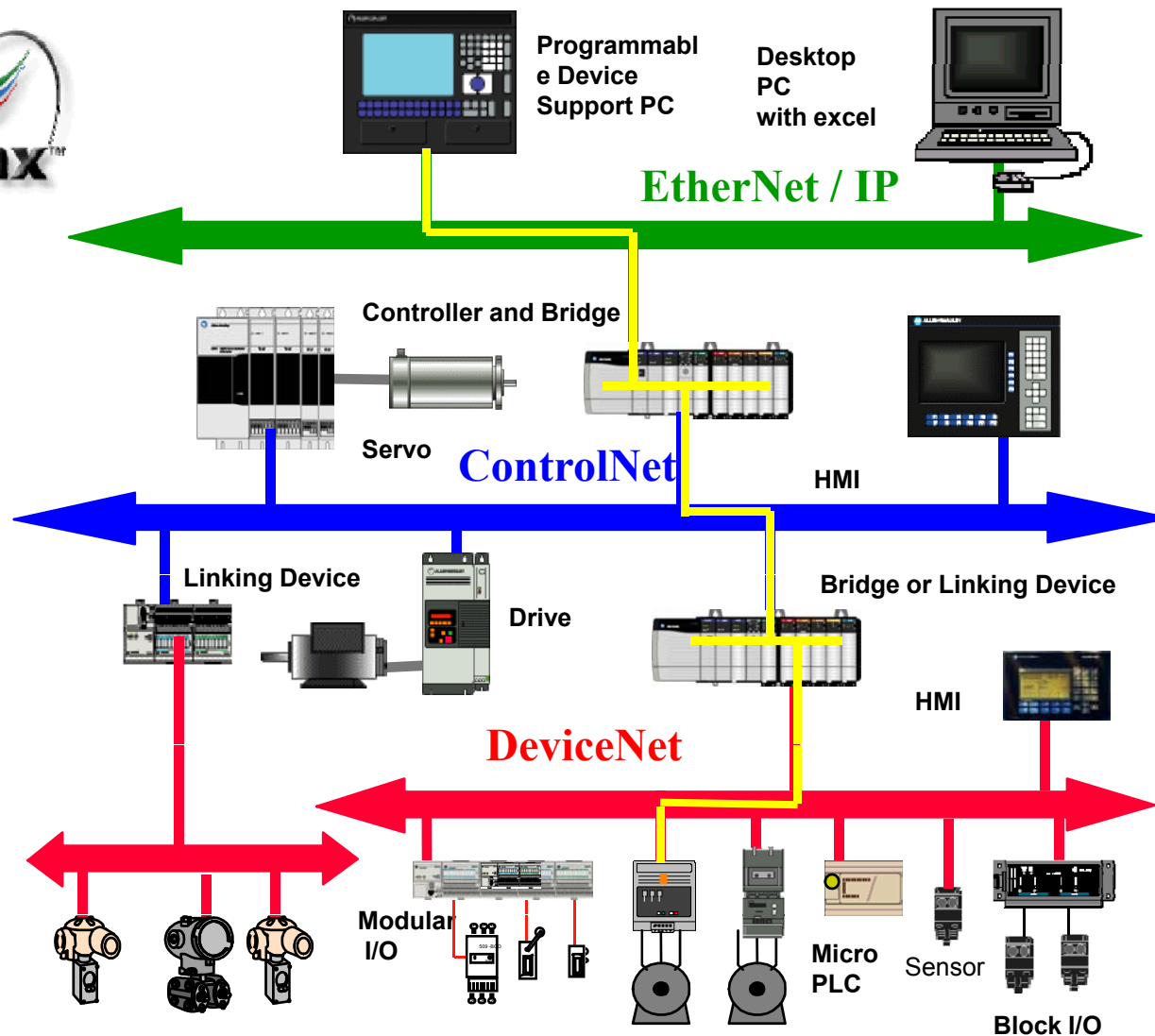
# Primjeri distribuiranih sistema

## 8. Regulacija prometa vozila pomoću semafora



# Primjeri izvedbi distribuiranih sistema

## 9. Rockwell (Allen-Bradley) NetLinx

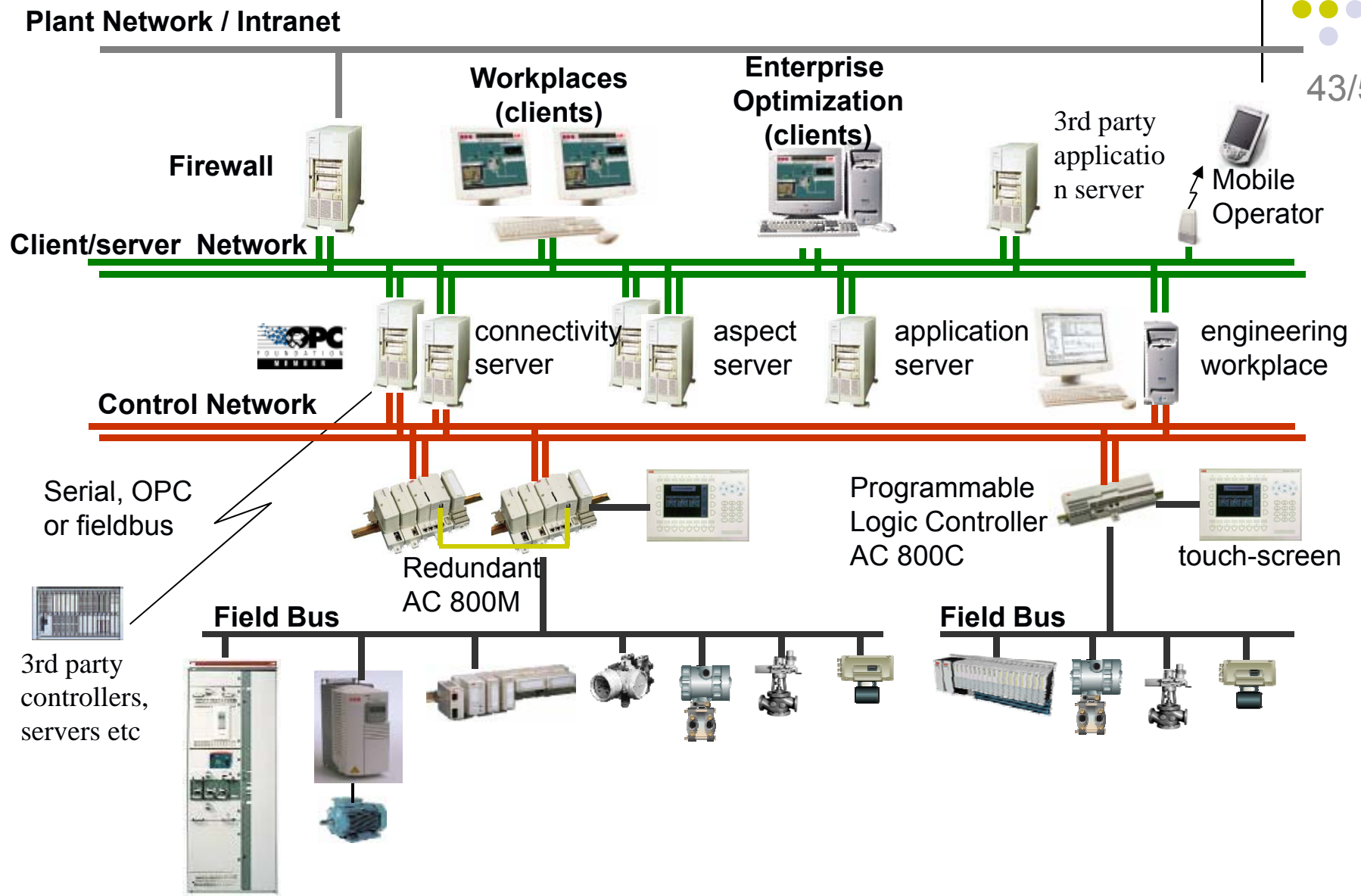


# Primjeri izvedbi distribuiranih sistema

## 10. ABB Industrial IT (redundant system)



43/57

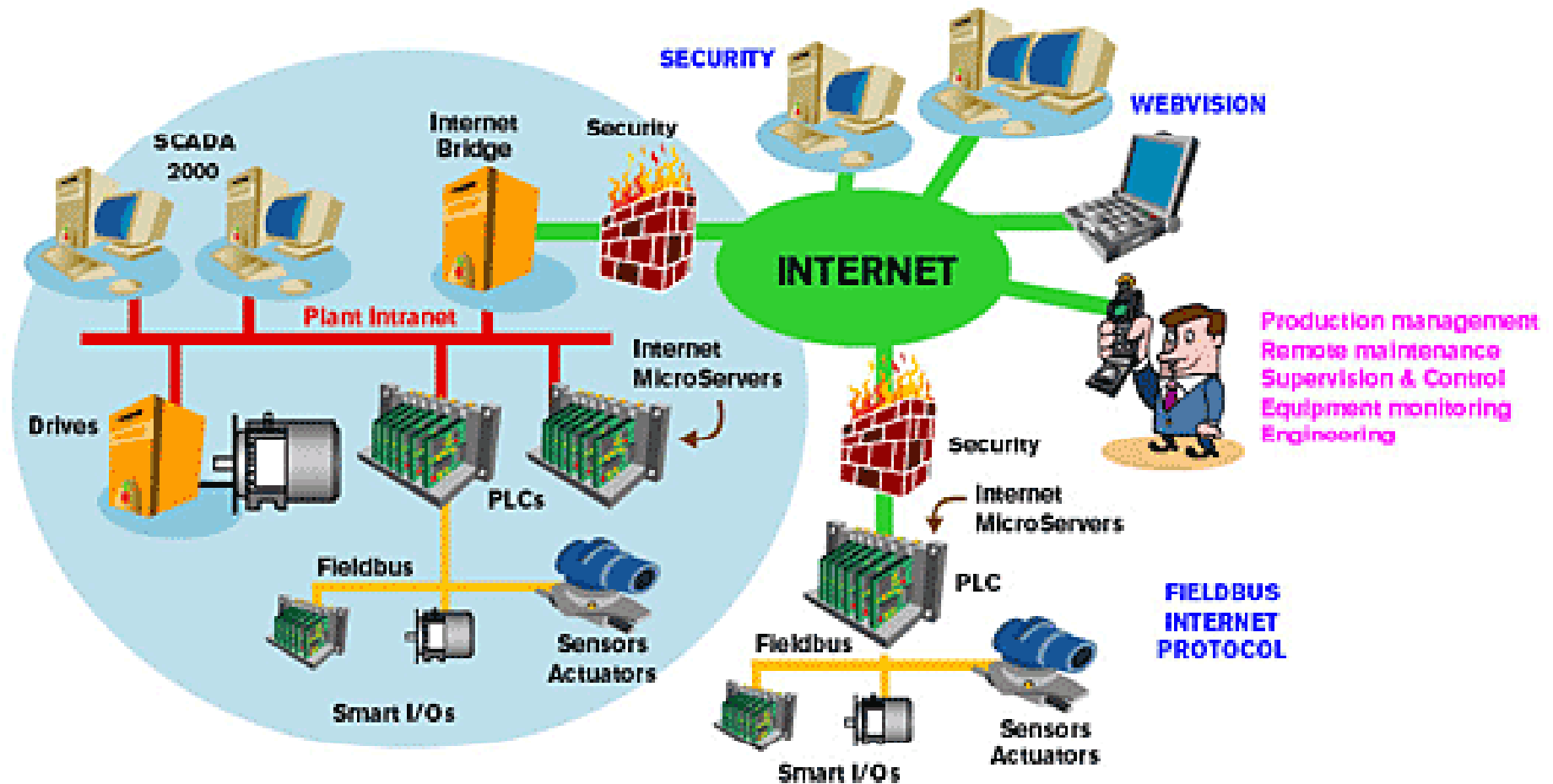


Serial, OPC or fieldbus

3rd party controllers, servers etc

# Primjeri izvedbi distribuiranih sistema

## 11. Dimenzija Interneta - ALSTOM e-Control Architecture



The ALSTOM e-Control Architecture

# Primjeri izvedbi distribuiranih sistema

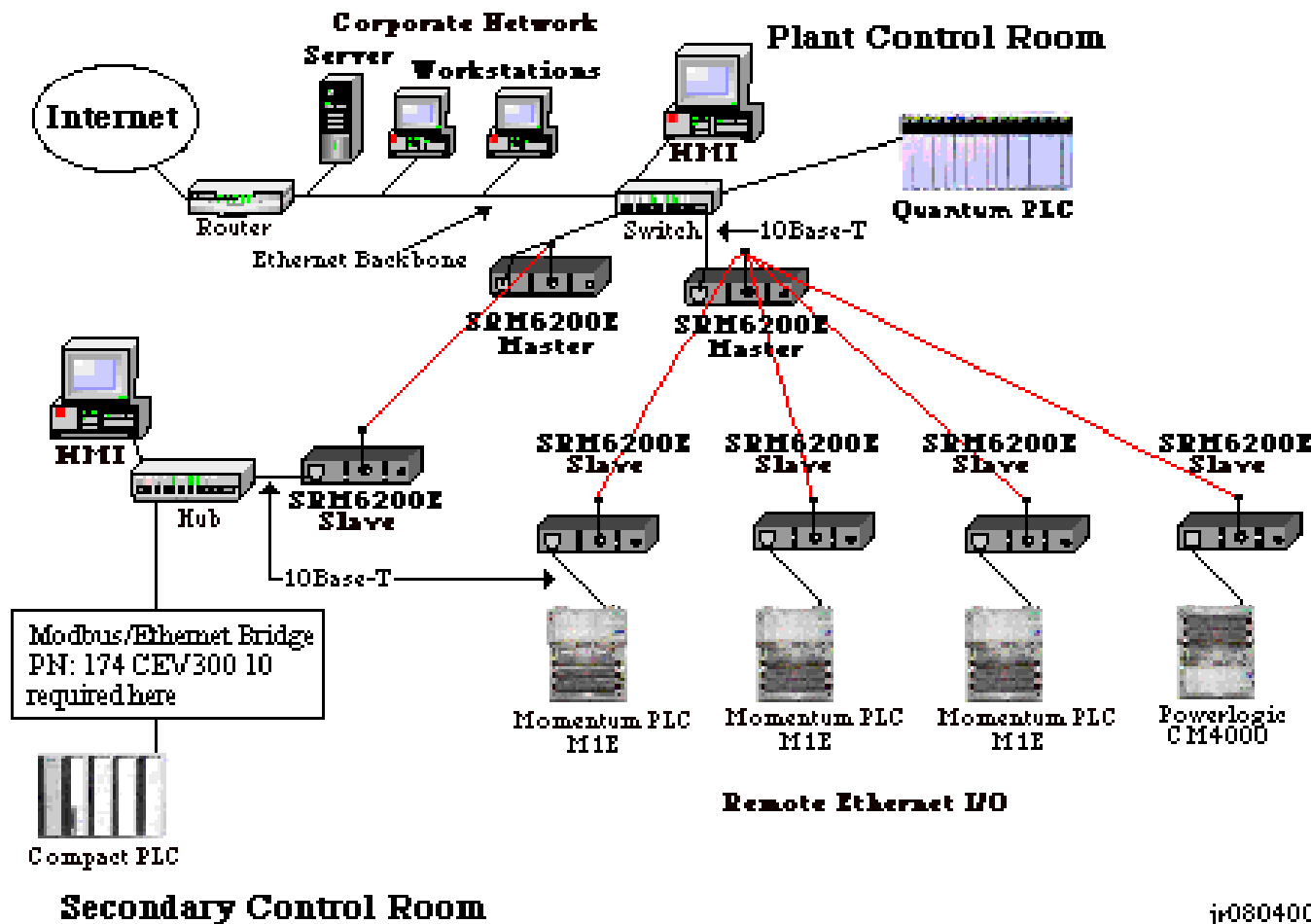
## 12. Dimenzija Wirellessa – primjer Schneider

### Schneider Automation's *Transparent Factory*

Wireless Ethernet application example using Data-Linc Group's SRM6200E Ethernet Radio Modems

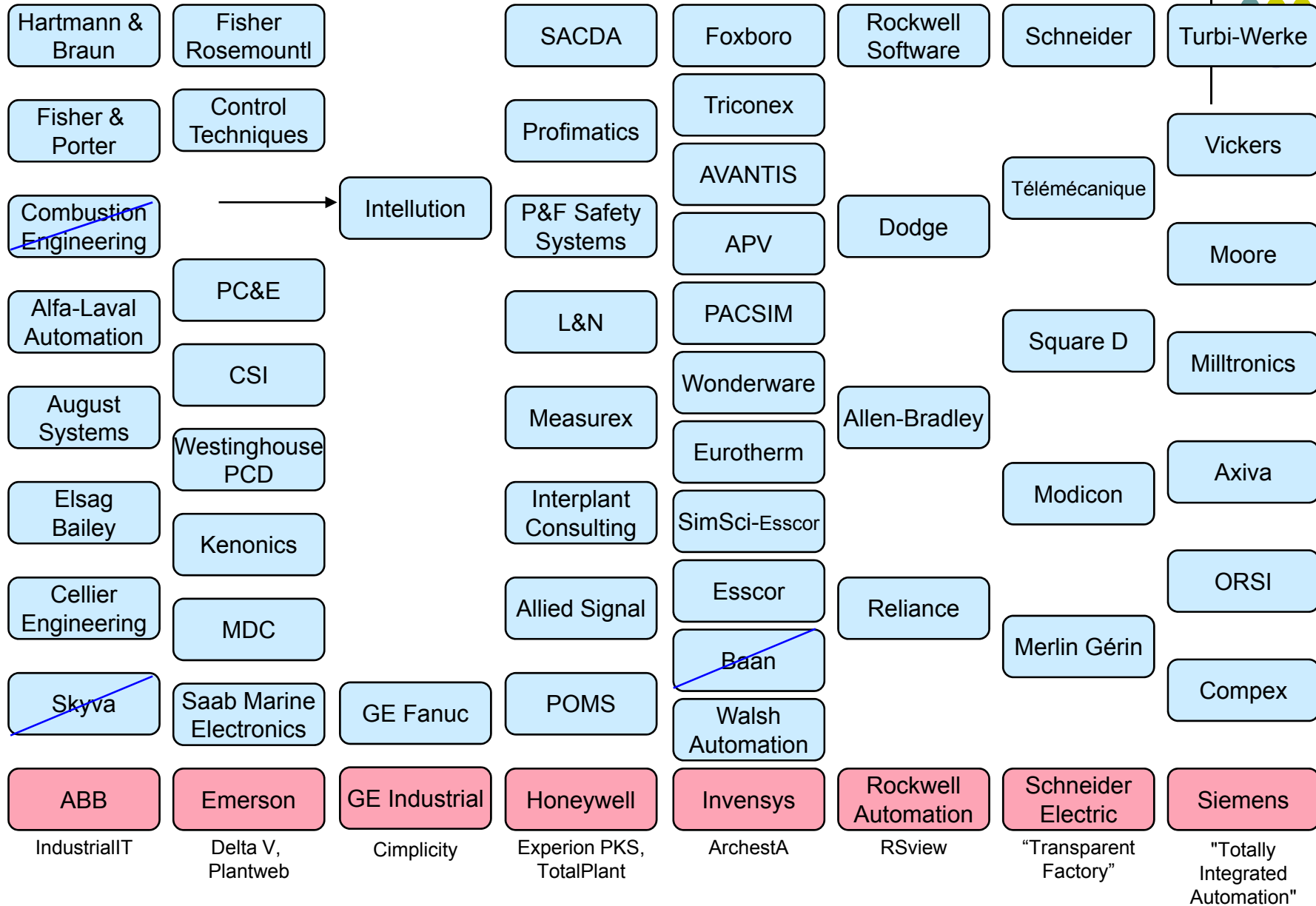


45/57



j080400

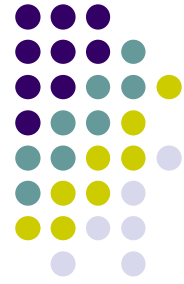
# Najveći svjetski proizvođači distribuiranih sistema





## 1.6. Sistemi daljinskog vođenja

Daljinsko vođenje je tehnika vođenja sistema na daljinu u kojima neposredno (blisko) upravljanje nije ostvarivo, jer je opasno i/ili nedostupno.



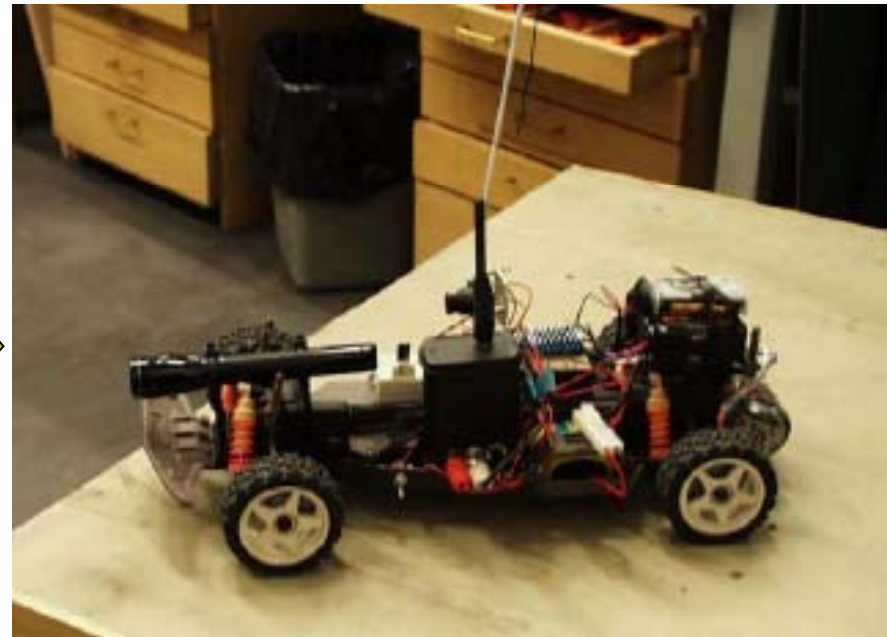
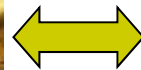
47/57

### Osnovni pojmovi

- ❑ **Teleoperacija:** tehnika vođenja sistema sa udaljenog mjesta.
- ❑ **Operator:** čovjek koji nadzire vođeni stroj i poduzima neophodne upravljačke akcije.
- ❑ **Teleoperator:** daljinski vođeni sistem. U slučaju robota zove se **telerobot**.
- ❑ **Mehanička manipulacija:** mehanički (ili hidraulički) prijenos upravljačkih naredbi od operatora do teleoperatora.
- ❑ **Telemanipulacija:** prijenos upravljačkih naredbi električnim putem.
- ❑ **Daljinsko upravljanje:** upravljanje na daljinu u kome se upravljani sistem nalazi u vidnom polju operatora.
- ❑ **Teleoperacija:** poopćenje telemanipulacije na mobilne sisteme (robote) i sisteme upravljane preko komunikacijskih medija.
- ❑ **Nadzirano upravljanje:** velika autonomnost udaljenog sistema, a operator samo nadzire njegov rad i djeluje samo povremeno.

## Sistemi daljinskog vođenja

- Danas je zastupljena tzv. standardna manipulacija, tj. bežično upravljanje i vizualna povratna veza preko sistema kamera i monitora.





# Sistemi daljinskog vođenja

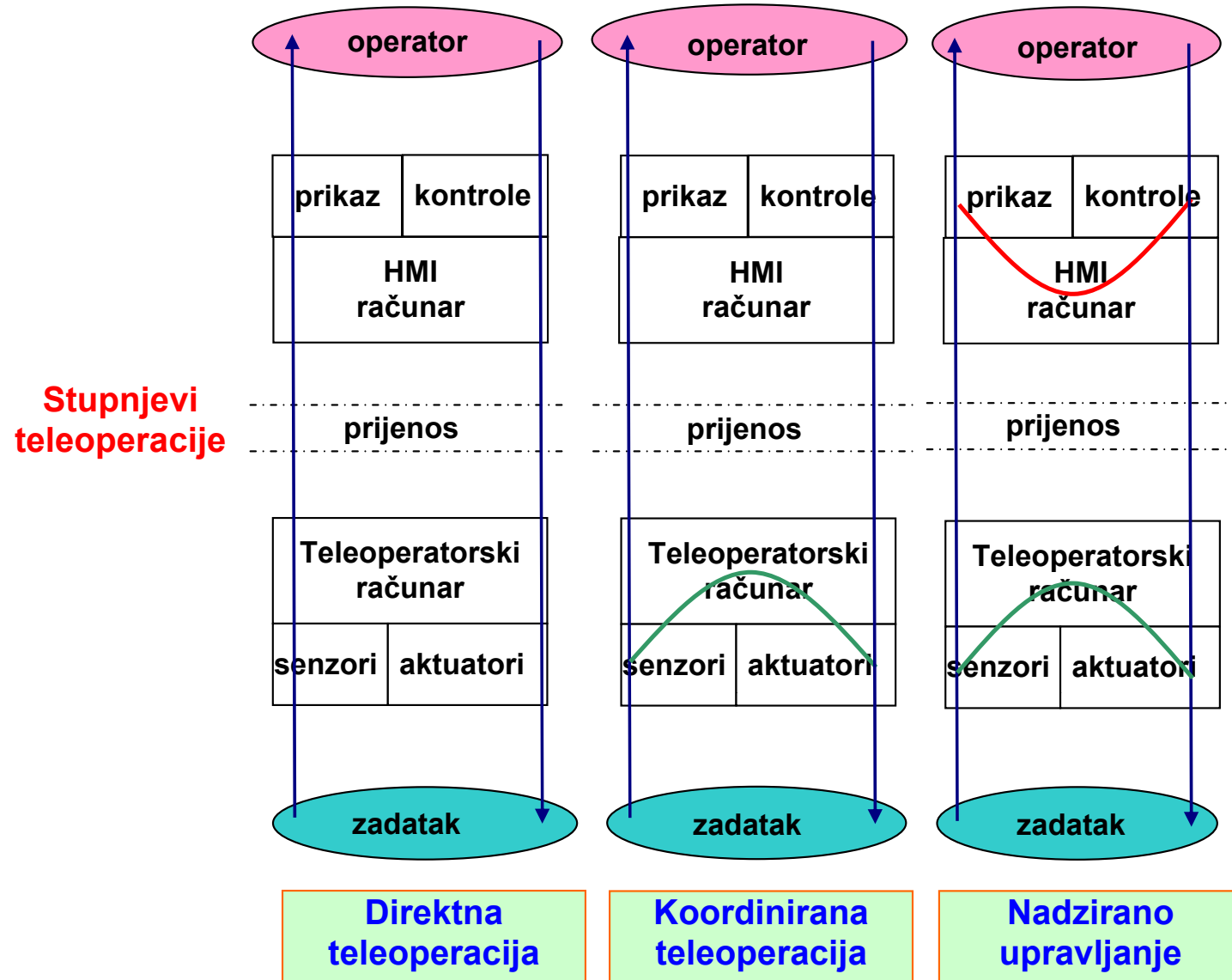
## Tipovi teleoperacija:

- **Upravljanje u zatvorenoj petlji (direktna teleoperacija).**  
Operator direktno upravlja aktuatorima teleoperatora i dobiva povratne signale u stvarnom vremenu. Ovo je moguće samo kada su kašnjenja u krugu mala i dinamika teleoperatora dovoljno spora.
- **Koordinirana teleoperacija.**  
Operator upravlja aktuatorima teleoperatora, ali postoje i neke regulacijske petlje na samom teleoperatoru. Teleoperator nema autonomiju i na njemu se zatvaraju one regulacijske petlje kojima operator ne može upravljati zbog kašnjenja i dinamike.
- **Nadzirano upravljanje.**  
Veliki dio upravljanja obavlja se autonomno na teleoperatoru. Operator uglavnom nadzire njegov rad i daje naredbe više razine. Ponekad se koristi i termin “teleoperacija temeljena na zadatku”.



# Sistemi daljinskog vođenja

## Stupnjevi teleoperacije



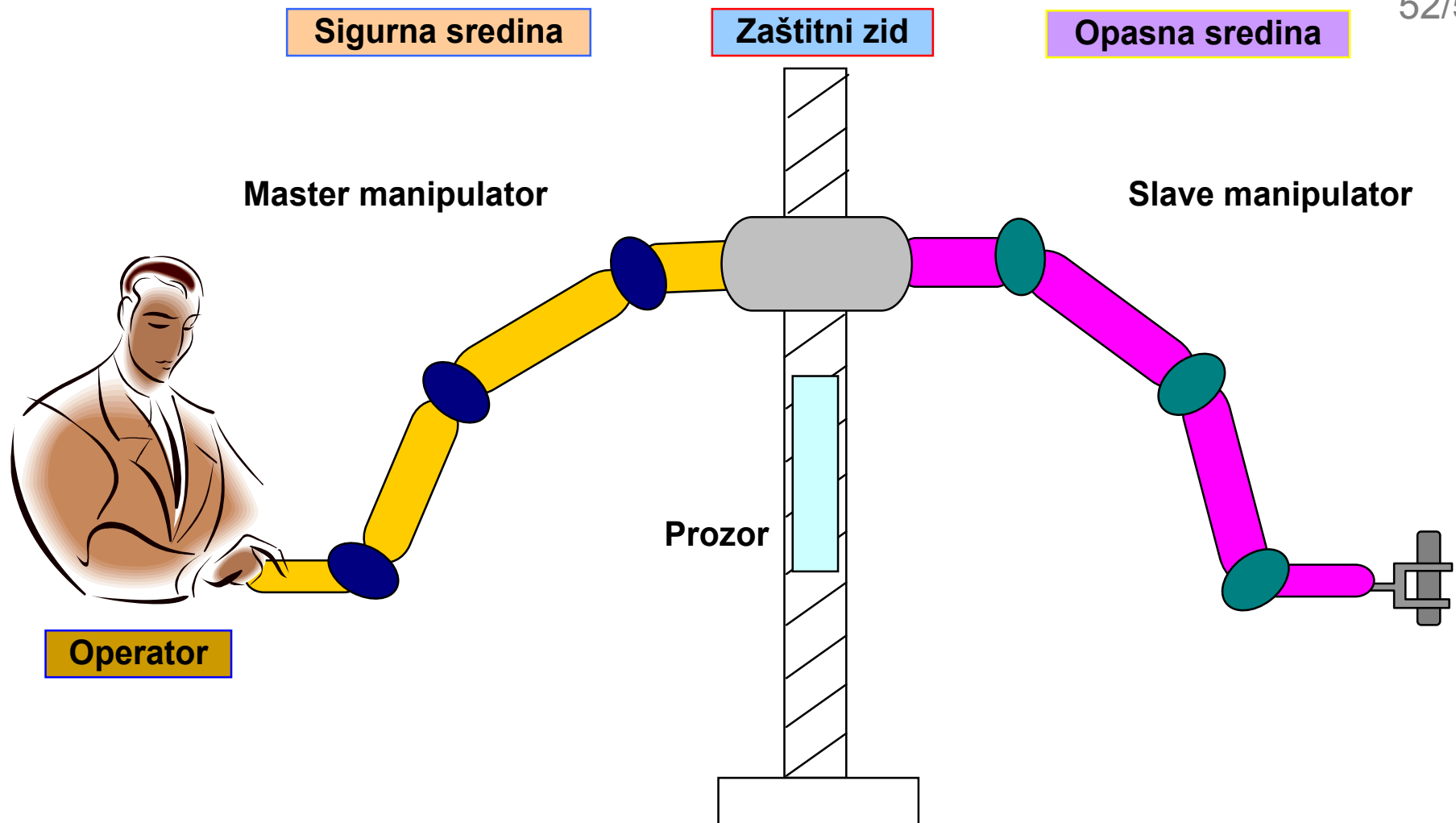
## Sistemi daljinskog vođenja

- Primjena novih računarskih tehnologija u teleoperaciji omogućuje operatoru dobivanje osjećaja prisutnosti u udaljenom prostoru.
1. **Daljinska prisutnost (Telepresence).** Teleoperater se nalazi izvan vidnog polja operatora, a senzorske informacije (vida, slike, zvuka, sile,...) daju operatoru osjećaj prisutnosti u udaljenom prostoru.
  2. **Virtualna prisutnost (virtualna stvarnost, Virtual Reality).** Slična pojmu daljinske prisutnosti, s tim da su udaljeni prostor, teleoperator i senzorske informacije generirani virtualno u računar.
  3. **Proširena stvarnost (Augmented Reality).** Predstavlja kombinaciju virtualne stvarnosti i informacija iz stvarnog udaljenog prostora.



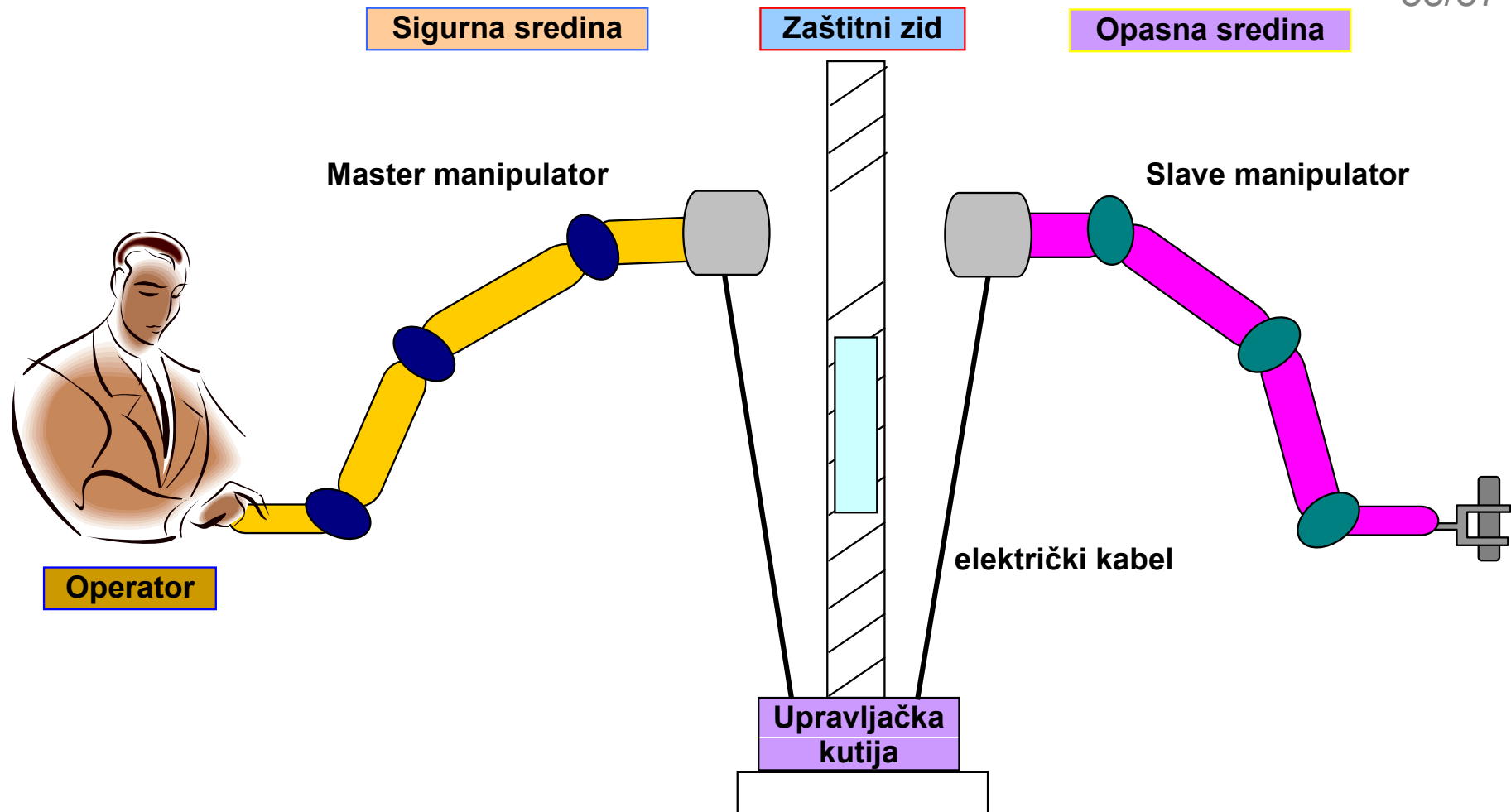
# Sistemi daljinskog vođenja

- Mehanička manipulacija (do 1957)



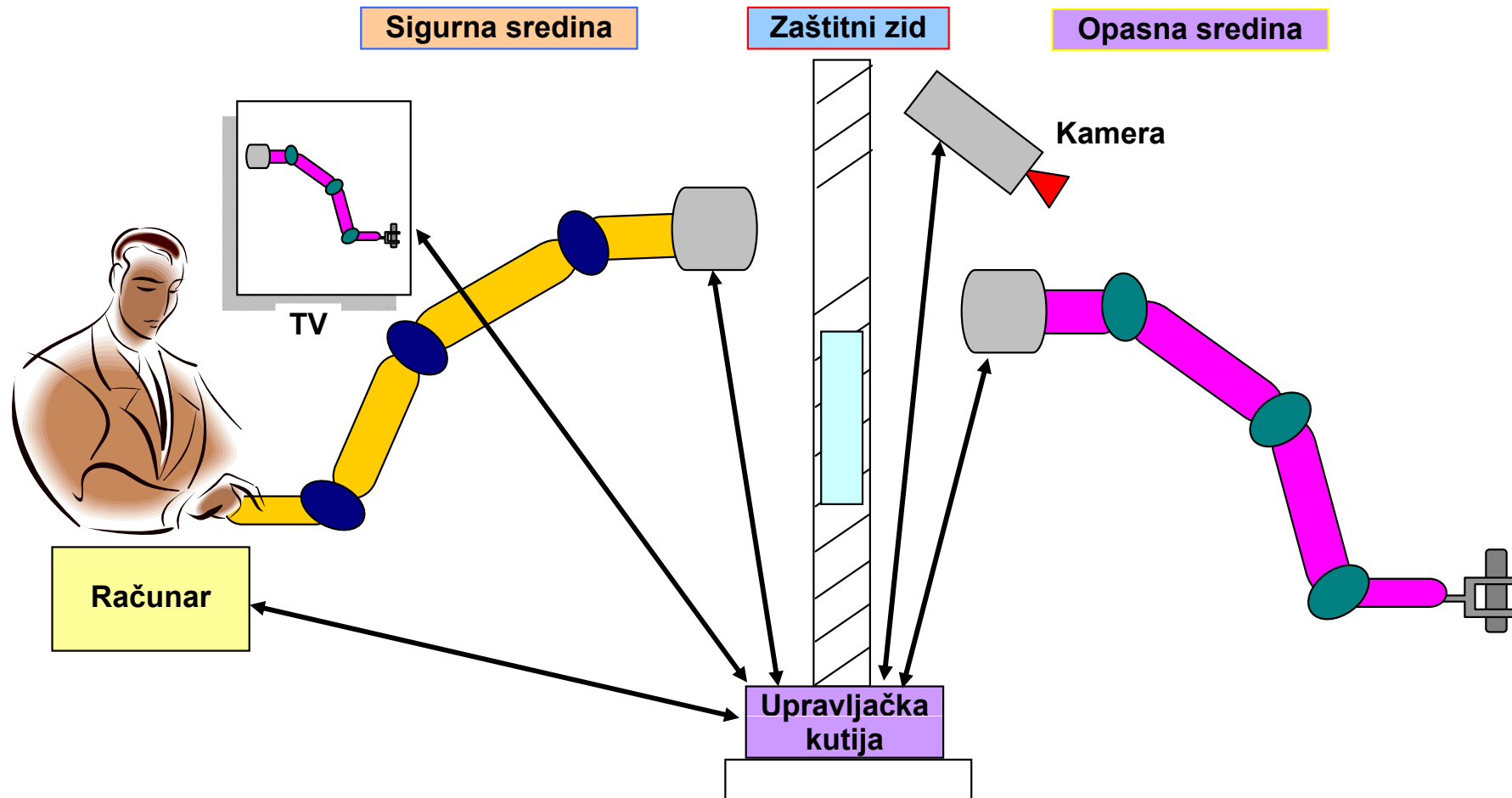
# Sistemi daljinskog vođenja

- Telemanipulacija uz električki prijenos signala (od 1954).



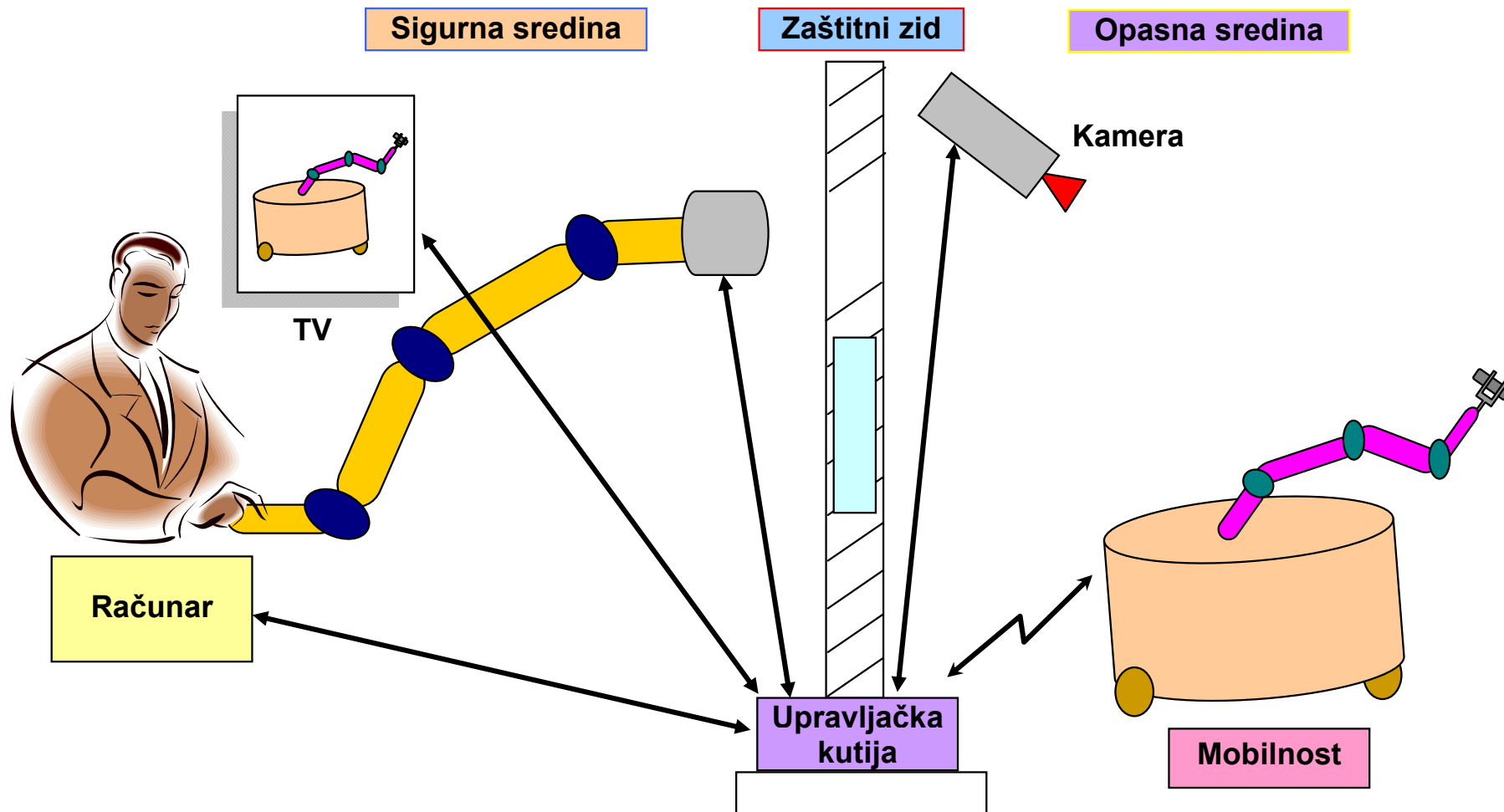
# Sistemi daljinskog vođenja

- Telemanipulacija uz električki prijenos signala i vizuelnu povratnu vezu sistema kamera i monitora (od 1975).



# Sistemi daljinskog vođenja

- Napredna teleoperacija (od 1985).



## Sistemi daljinskog vođenja

### Primjene:

- Podvodna istraživanja.
- Svemirska istraživanja.
- Vojne primjene (podmornice, kopno, zrak, poluautonomna vozila, antiterorističke letjelice, itd.).
- Medicina (endoskopska hirurgija, telehirurgija – operiranje s udaljenih mjesta, itd.).
- Industrija (rudarstvo, radni strojevi, itd.)





# Sistemi daljinskog vođenja

## Problem kašnjenja:

- Kašnjenje u teleoperacijskoj petlji uvijek postoji.
- Svaki dio sistema ima neko kašnjenje.
- Digitalni sistemi povećavaju kašnjenje.
- Smanjenje utjecaja kašnjenja:
  - Primjena tehnika virtualne i proširene stvarnosti.
  - Povratna veza po sili sa algoritmima predikcije i kompenzacije kašnjenja.

