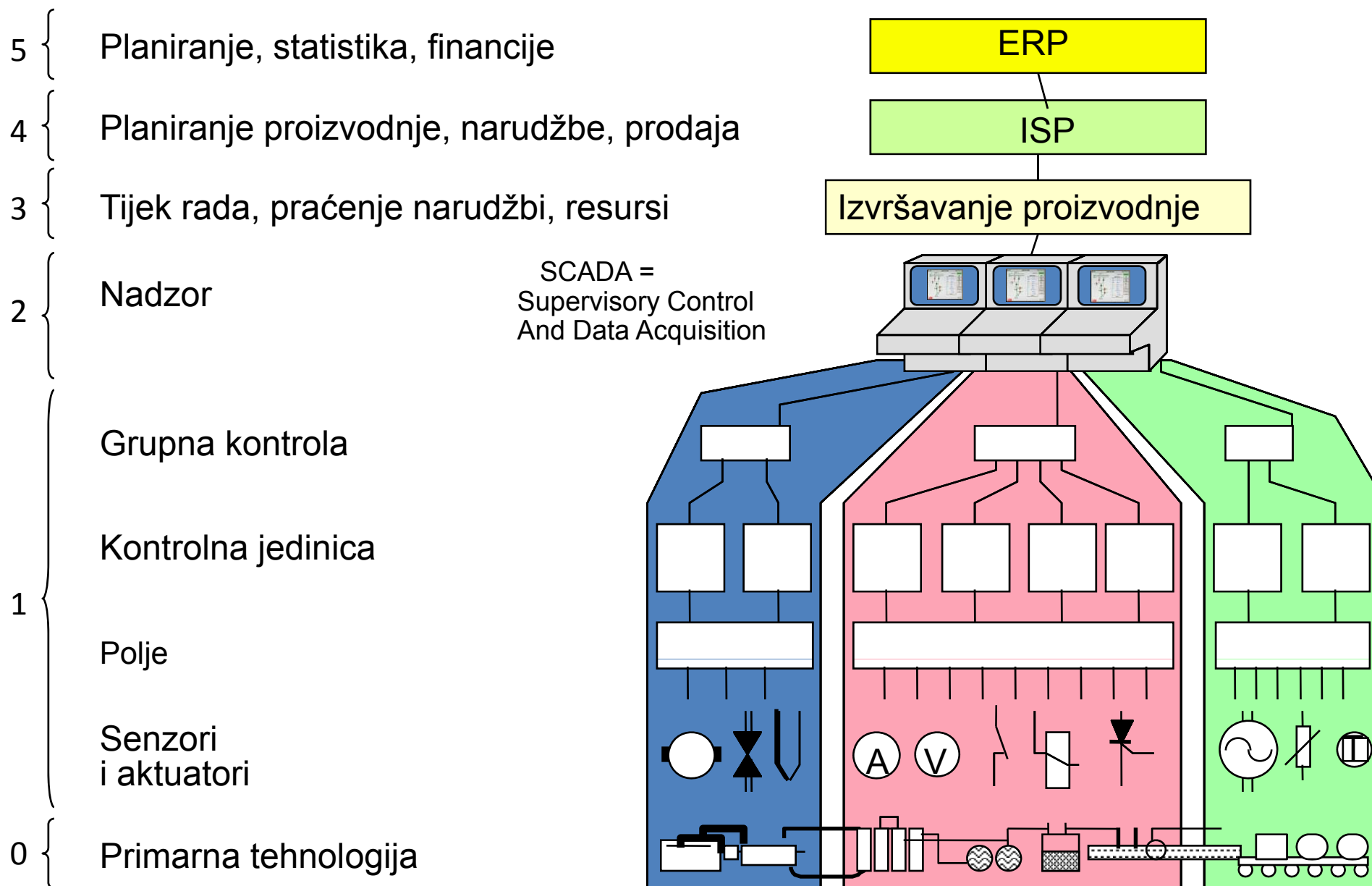


Hijerarhija velikog sustava proizvodnje



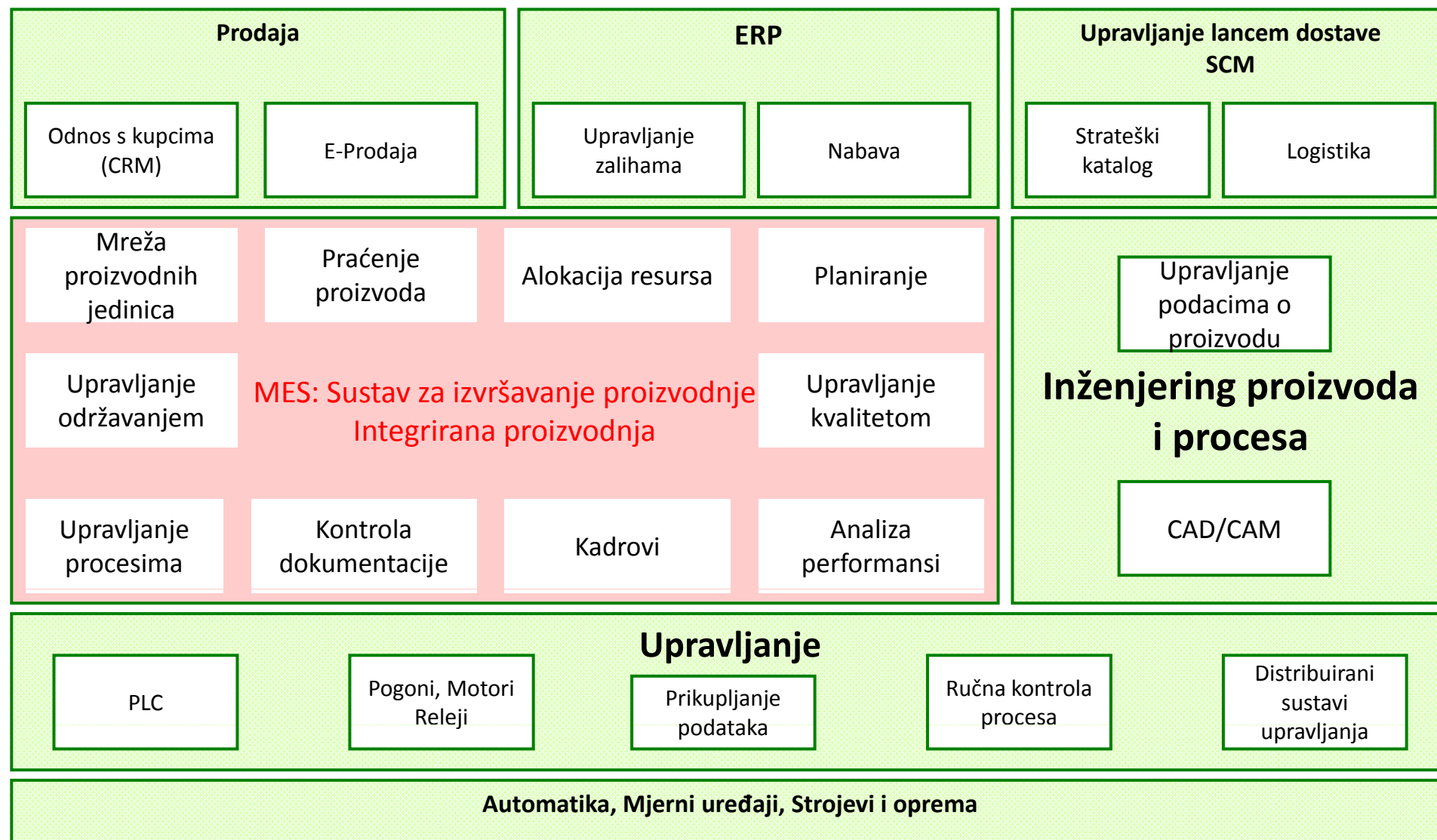
Hijerarhija velikog sustava proizvodnje

- **integralni informacijski sustav poduzeća** (engl. Enterprise Resource Planning **ERP**) - financije, kadrovi, dokumentacija, dugoročno planiranje
- **informacijski sustav proizvodnje (ISP)** - postavljanje ciljeva proizvodnje, planiranje resursa tvrtke i proizvodnje, koordiniranje više postrojenja, upravljanje narudžbama
- **izvršavanje proizvodnje** - upravljanje izvršavanjem proizvodnje, resursi, tijek rada, nadzor kvalitete, organiziranje proizvodnje, održavanje
- **nadzor** (engl. Supervisory Control and Data Acquisition **SCADA**) - nadzor proizvodnje i postrojenja, optimiranje, izvršavanje operacija, vizualizacija postrojenja, pohrana podataka iz procesa, pohrana izvršenih operacija, vremenski podaci o tijeku proizvodnje

Hijerarhija velikog sustava proizvodnje

- **grupna kontrola** - dobro definirani dio postrojenja koji radi u zatvorenoj petlji, osim kod intervencije operatera; služi za koordinaciju podgrupa, podešavanje ključnih točaka i parametara te upravljanje s nekoliko jedinica kao cjelinom
- **kontrolna jedinica** - kontrolira (regulacija, nadzor i zaštita) dio grupe u zatvorenoj petlji, osim kod održavanja; vrši se **mjerenje** (uzimanje uzoraka, skaliranje, procesiranje, kalibracija), **kontrola** (regulacija, ključne točke i parametri) i **upravljanje** (sekvenciranje, zaštita i povezivanje)
- **polje** - služi za **prikupljanje** podataka (senzori i aktuatori) i **prijenos podataka**, pri čemu nema obrade podataka osim mjernih korekcija i ugrađene zaštite

Položaj sustava za izvršavanje proizvodnje (engl. Manufacturing Execution Systems MES) u hijerarhiji

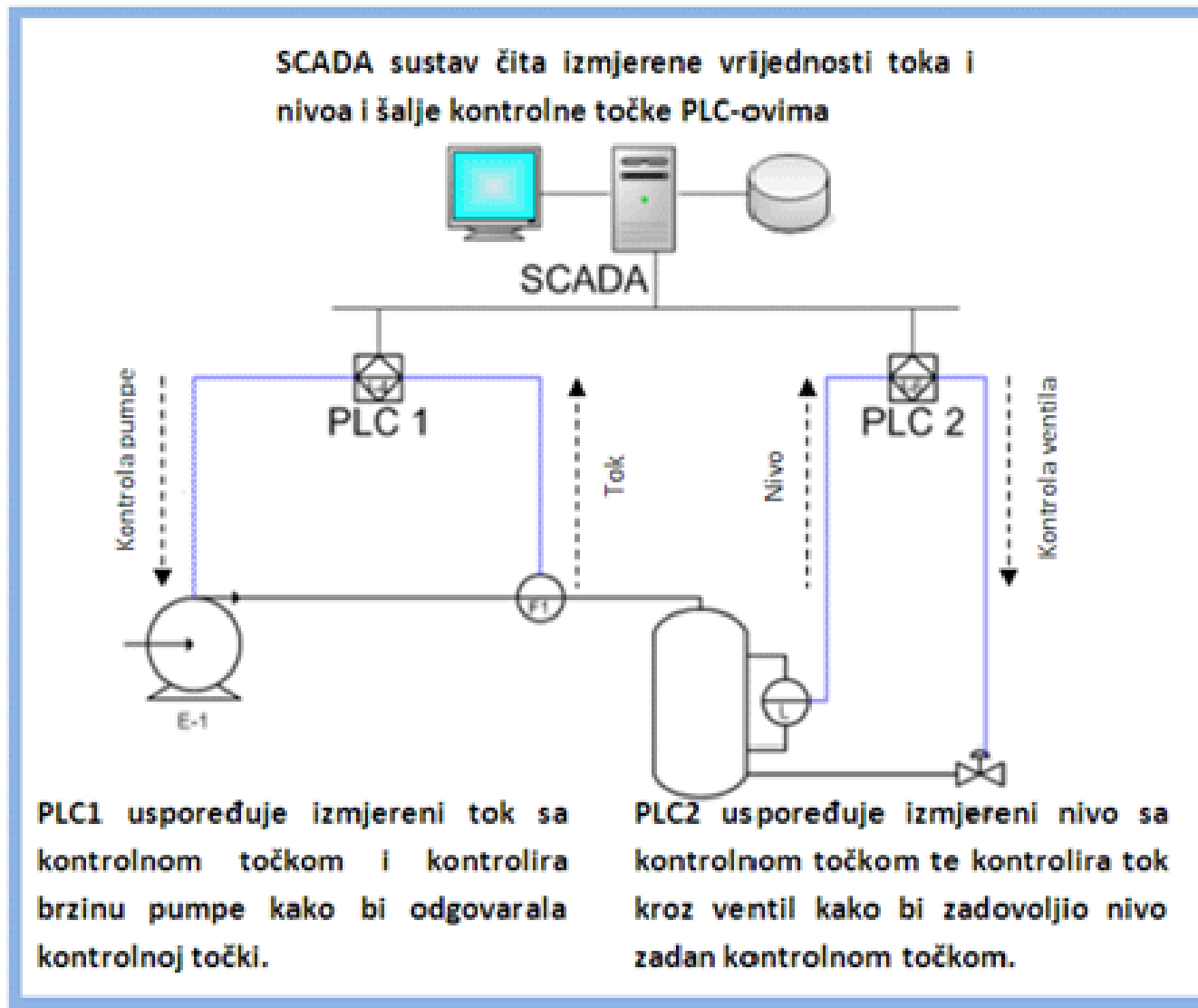


SCADA

- **SCADA** (engl. Supervisory Control And Data Acquisition) - računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima
- svaki industrijski proces kojeg ima smisla automatizirati je odličan kandidat za primjenu SCADA sustava
- SCADA sustavi u različitim oblicima postoje još od 60-tih godina, a od 90-tih godina 20. stoljeća doživljavaju veliku ekspanziju s pojavom sve bržih i efikasnijih računalnih i mikrokontrolerskih uređaja
- mogu se koristiti za jednostavan nadzor (npr. temperature, vlažnosti zraka, tlaka), kao i za kompleksan nadzor i upravljanje (npr. proizvodni procesi u tvornicama ili regulacija željezničkog i cestovnog prometa)

SCADA

- **SCADA sustav** se sastoji od pretvornika i aktuatora, RTU (engl. Remote Terminal Unit), komunikacijske mreže i centralne stanice
- pretvornici i aktuatori
 - električki ili mehanički vezani na proces koji se promatra
- pretvornici prate vrijednosti protoka, razine, temperature, tlaka, brzine... te u analognom ili digitalnom obliku informaciju o trenutnom stanju mjerene veličine proslijeđuju dalje
- aktuatori zatvaraju ili otvaraju ventile



Nadzor - SCADA

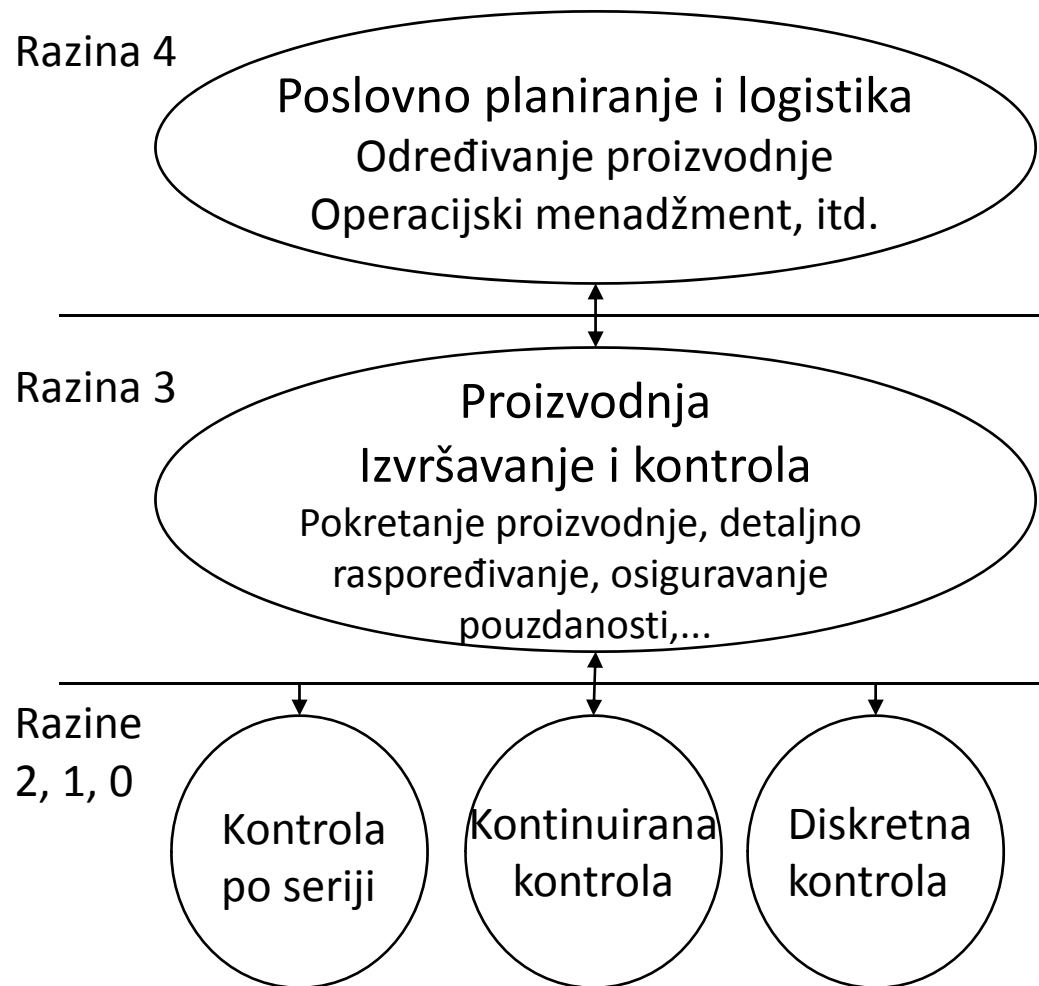
- prikazuje trenutno stanje procesa (vizualizacija)
- prikazuje alarme i događaje (alarm log, logbook)
- prikazuje trendove (historians) i analizira ih
- prikazuje priručnike, specifikacije, ekspertni sustav (dokumentacija)
- dozvoljava komunikaciju i sinkronizaciju podataka s ostalim centrima



ANSI/ISA-95 klasifikacija

- **međunarodni standard** za razvoj sučelja i povezivanje između poslovnih sustava i sustava automatizacije
- standard razvijen za globalne proizvođače u svim industrijama i za sve vrste procesa u serijskoj, masovnoj i kontinuiranoj proizvodnji
- standard koji definira:
 - **hijerarhijske modele** (planiranje i upravljanje te hijerarhiju opreme)
 - **funkcionalne modele toka podataka** (funkcije proizvodnje i tokovi podataka)
 - **modele objekata** (objekti, veze između objekata i svojstva objekata)
 - **modele aktivnosti operacija** (elemente, funkcije i tokove operacija)
 - **terminologiju i dobru praksu**

ANSI/ISA-95 klasifikacija

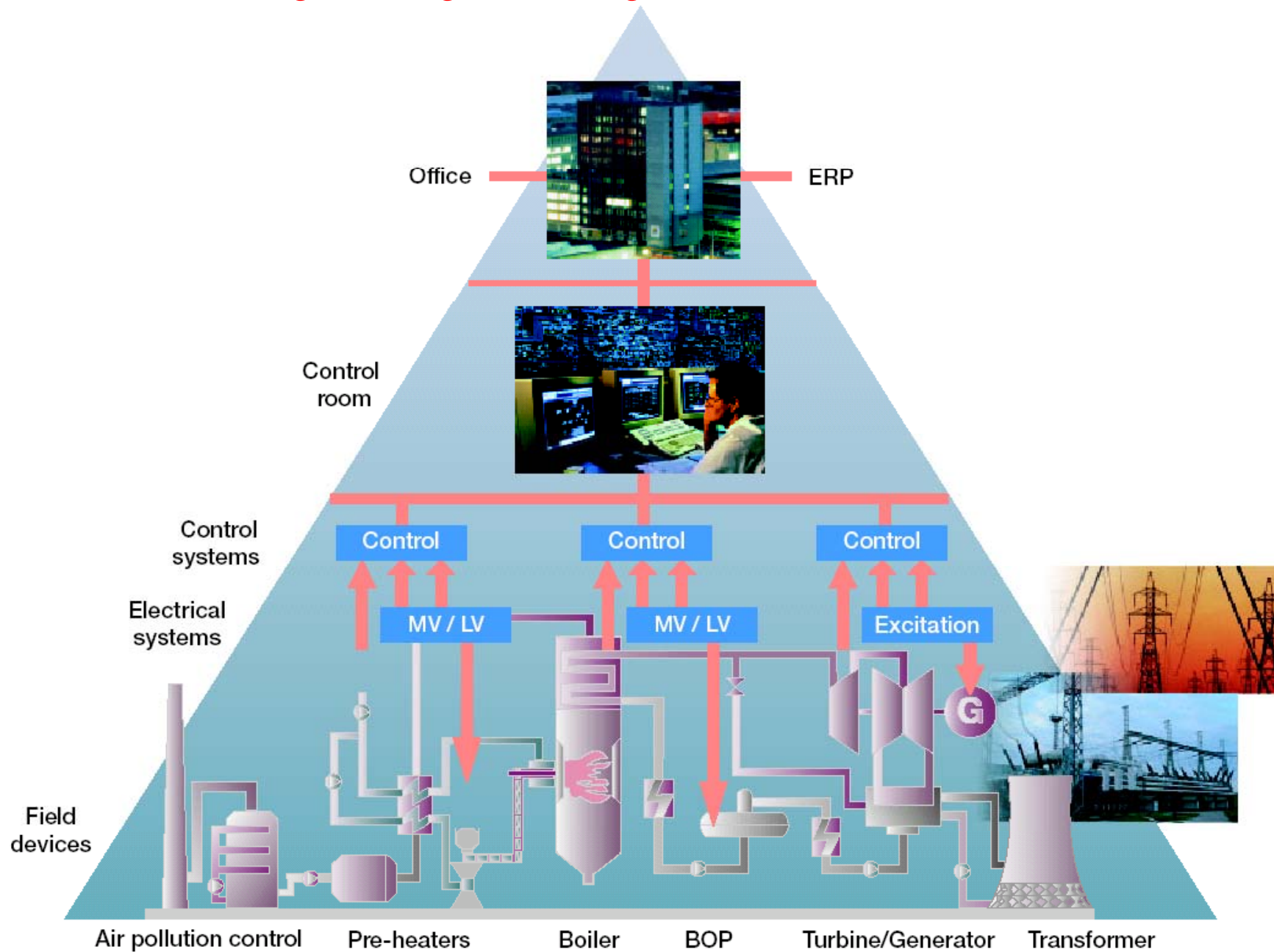


Integralni informacijski sustav poduzeća (engl. Enterprise Resource Planning ERP)

Sustavi za izvršavanje proizvodnje (engl. Manufacturing Execution Systems MES)

Kontrolni i upravljački sustav

Primjer hijerarhije u elektrani

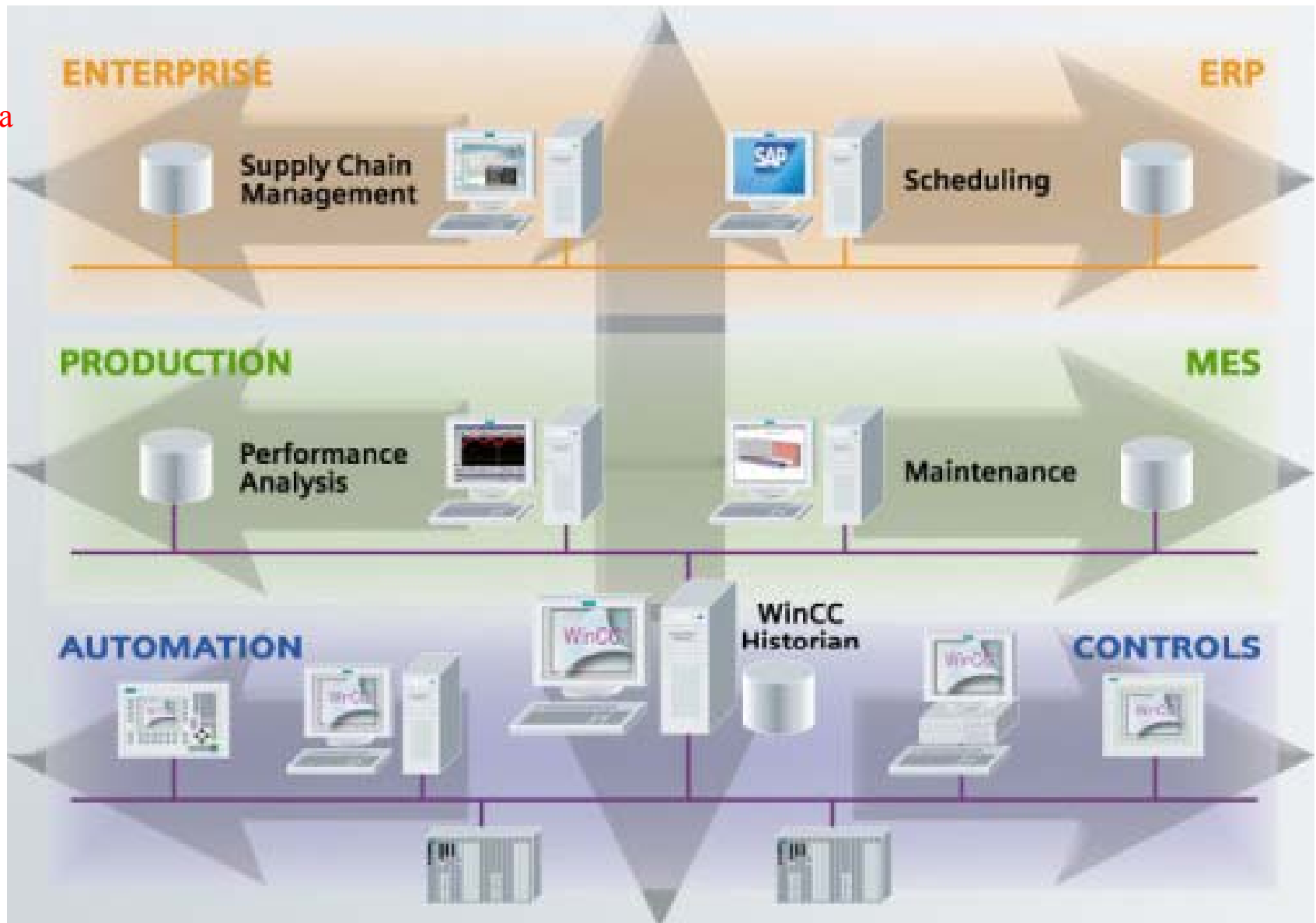


Primjer sustava kontrole Siemens

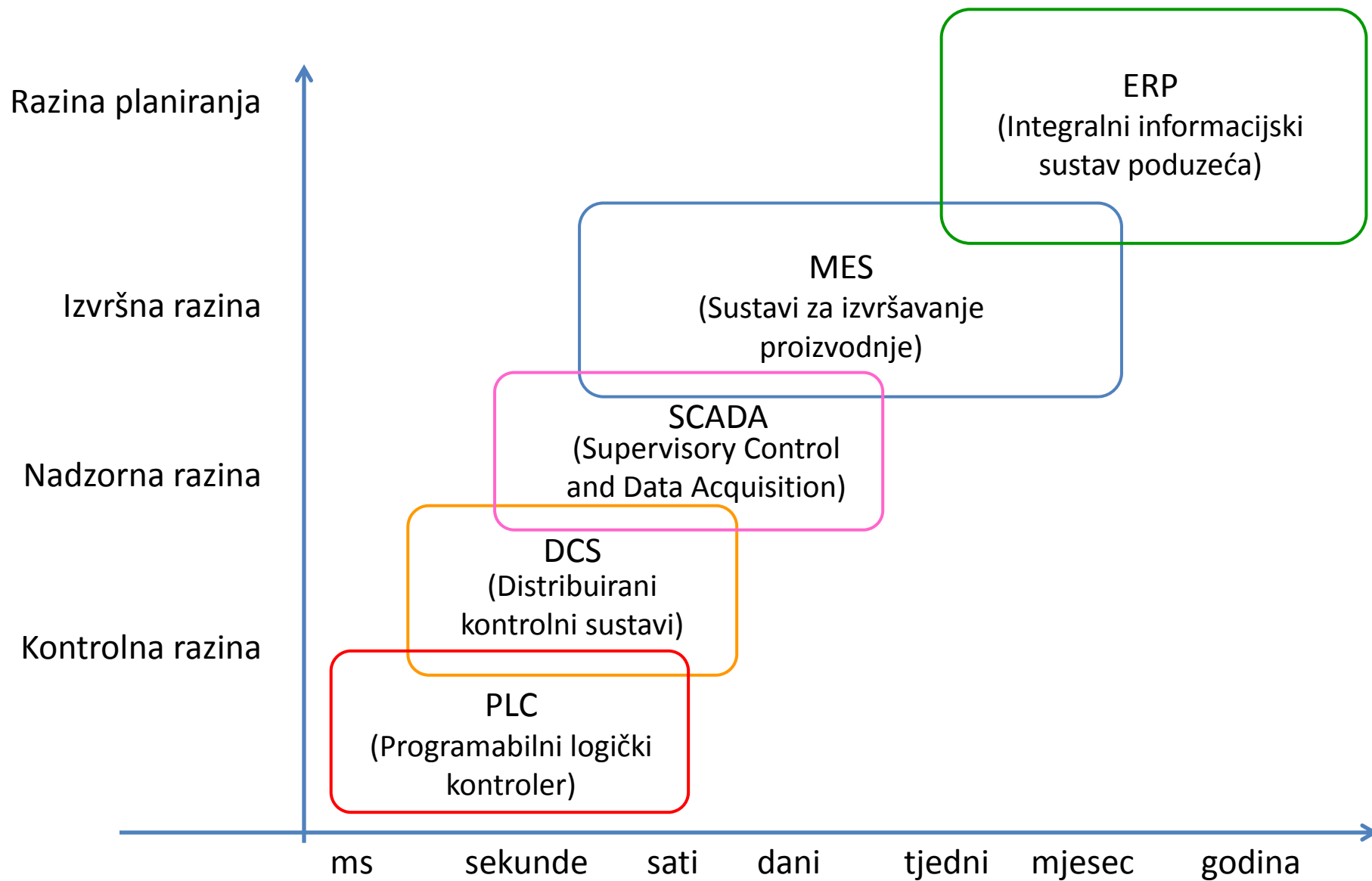
Korporativna
razina

Proizvodna
razina

Procesna
razina



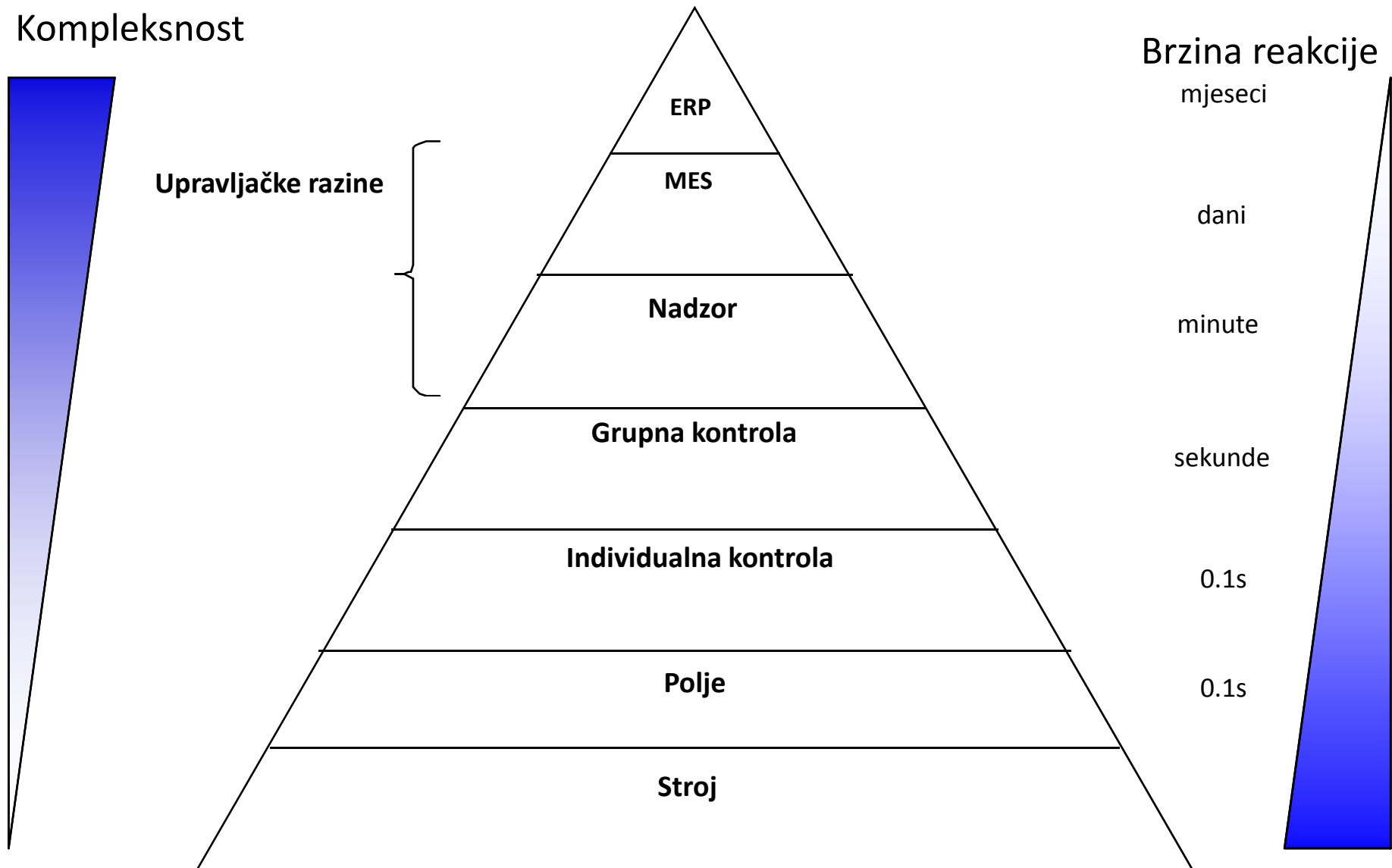
Vrijeme odziva sustava prema hijerarhiji



Količina i kvaliteta podataka prema hijerarhijskoj razini

- **više razine (ERP i MES)** - porastom po hijerarhijskim razinama količina podataka se smanjuje, stvaraju se podaci ili izvještaji “više razine”, obrada podataka i odlučivanje postaje zahtjevnije, važnost vremena za obradu je manja
- **SCADA** (engl. Supervisory Control and Data Acquisition) - prikaz kompleksnih podataka operateru, pomaže u odlukama (ekspertni sustav) i održavanju, zahtijeva bazu znanju uz bazu podataka iz pogona
- **niže razine (PLC i DCS)** - najzahtjevnije razine po vremenskom odzivu, velika količina podataka, vrlo jednostavna obrada podataka, pod kontrolom računala (osim u slučaju nužde i pri održavanju ili puštanju u rad)

Kompleksnost i hijerarhija

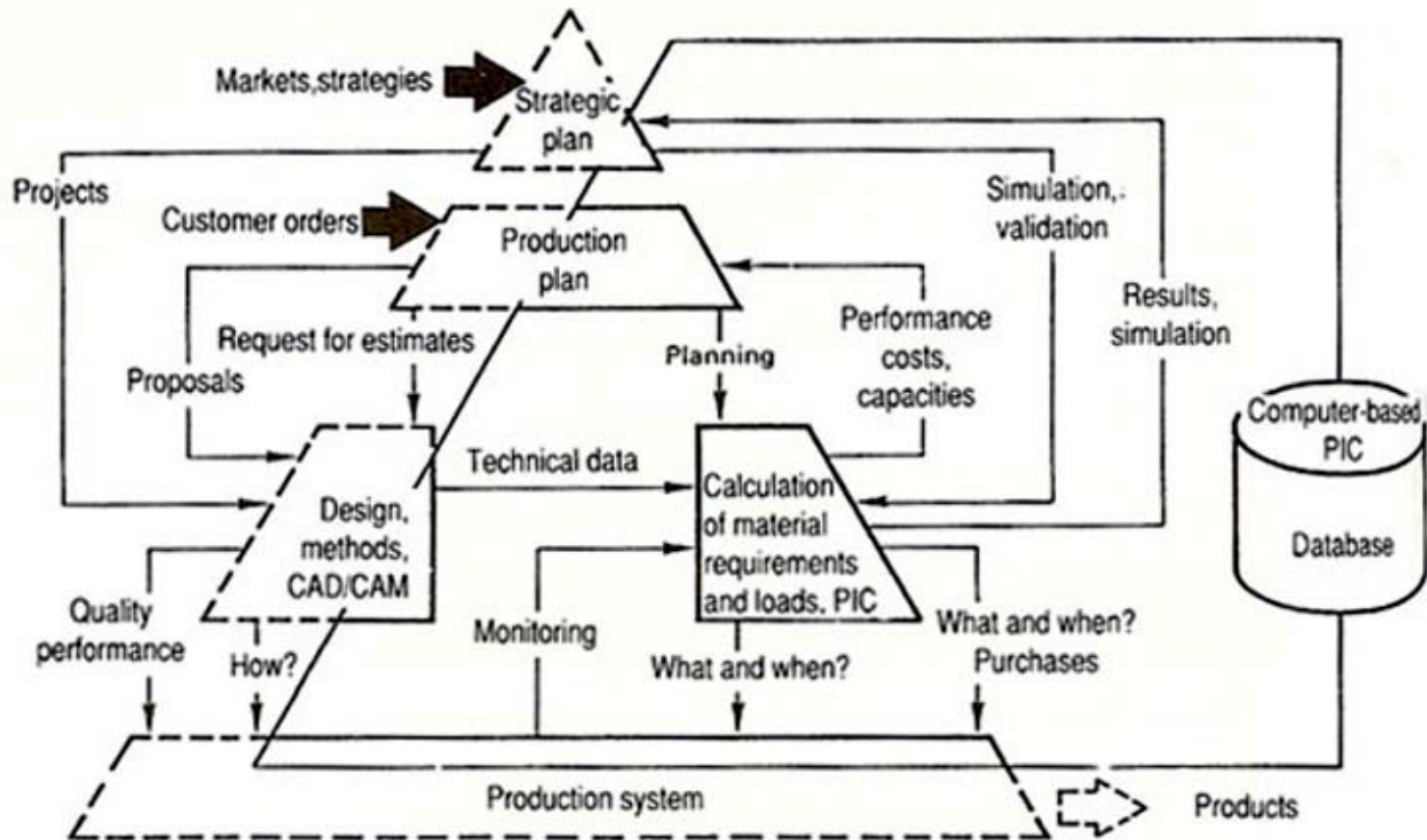


Pojmovi

- računalno integrirana proizvodnja CIM (engl. Computer-Integrated Manufacturing)
- računalno podružano oblikovanje CAD (engl. Computer-Aided Design)
- računalno podružana proizvodnja CAM (engl. Computer-Aided Manufacturing)
- računalno podružan inženjering CAE (engl. Computer-Aided Engineering)
- fleksibilni proizvodni sustav FMS (engl. Flexible Manufacturing System)
- računalno numeričko upravljanje CNC (engl. Computer Numerical Control)
- distribuirani sustavi upravljanja DCS (engl. Distributed Control Systems)
- programabilni logički kontroler PLC (engl. Programmable Logic Controller)

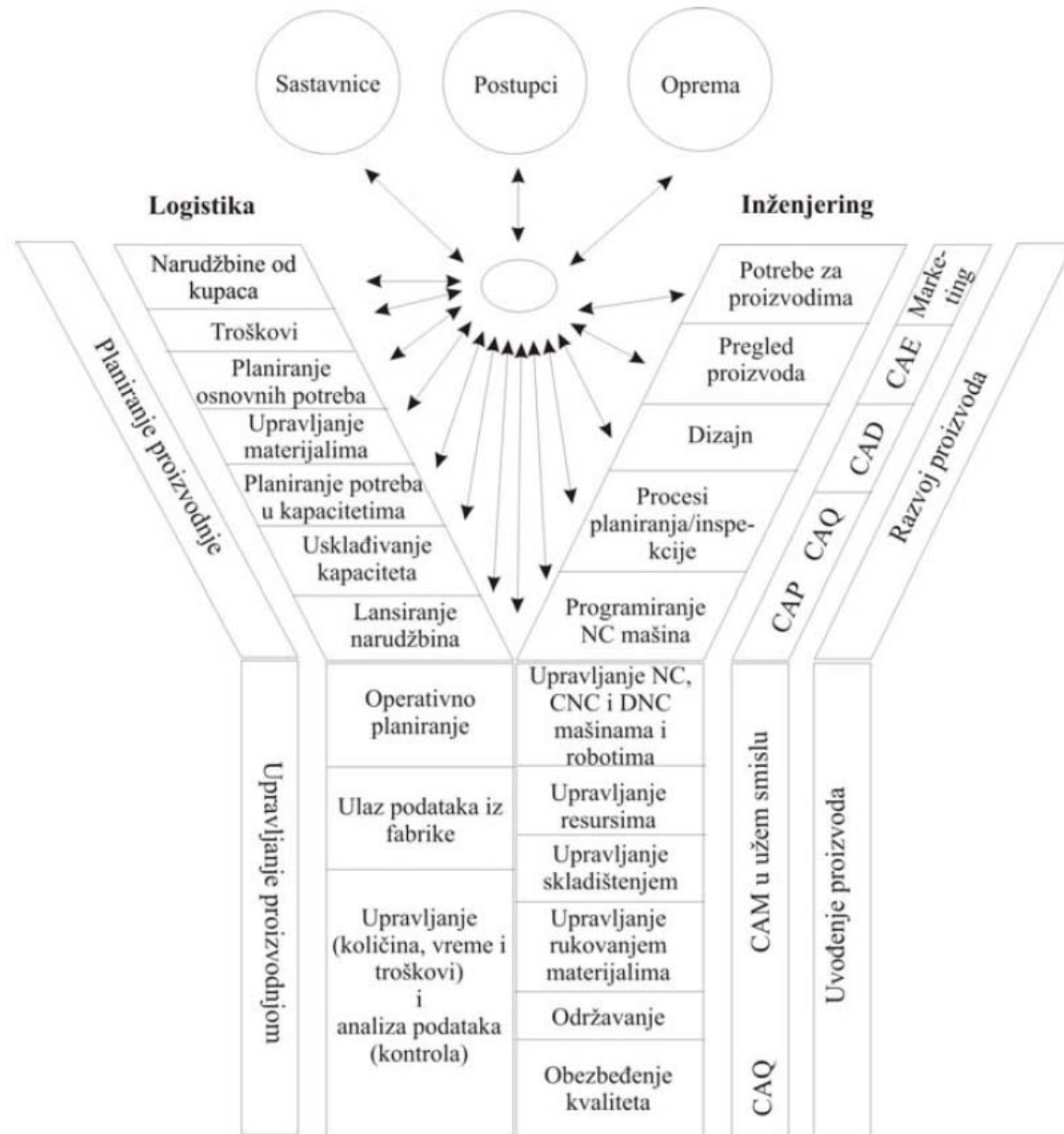
CIM

- računalno integrirana proizvodnja (engl. Computer-Integrated Manufacturing **CIM**) - integrirano korištenje računala u projektiranju proizvoda, planiranju proizvodnje, upravljanju operacijama i raznim funkcijama vezanima za nužno poslovanje u proizvodnom poduzeću
- integracija cijelog proizvodnog poduzeća korištenjem integralnog računalnog sustava, uz upotrebu modernih metoda planiranja za poboljšanje efikasnosti



CIM

- filozofija upravljanja proizvodnim poduzećem koja se uvodi paralelno s informacijskim sustavom
- računalno integrirana proizvodnja se ne smije promatrati kroz pojedine segmente (CAD, CAM, MRP, JIT) jer se upotrebom samo pojedinih segmenata stvaraju “otoci automatizacije”



Razvoj sustava CIM-a

- **počeci** 1970-tih godina u SAD u knjizi Dr. Josepha Harringtona "Computer Integrated Manufacturing"
- **prva faza razvoja** (od početka razvoja informacijskih sustava do sredine 1970-tih godina) - informacijski sustavi dijele neke zajedničke resurse (računalo), a koncepcija "integriranja" svodi se na korištenje zajedničkih datoteka i programa
- **faza suradnje** (od sredine 1970-tih do sredine 1980-tih) - pojedine funkcije se međusobno čvršće organizacijski povezuju, a poslovne strategije prelaze granicu pojedinih funkcija ("totalni marketing" i "totalna kvaliteta"); automatizacija i zajedničke baze podataka; informacijski sustavi pojedinih funkcija se razvijaju kao zasebni sustavi koji međusobno surađuju (grupe sustava koji surađuju)
- **faza integracije** (sredinom 1980-tih) - povezivanje već postojećih sustava u cjelinu tako da se formira novi sustav, a postojeći sustavi postaju podsustavi novog sustava čiji su ciljevi hijerarhijski viši od ciljeva pojedinih podsustava; optimalnost sustava se postiže suboptimalnošću djelovanja svakog podsustava - CIB

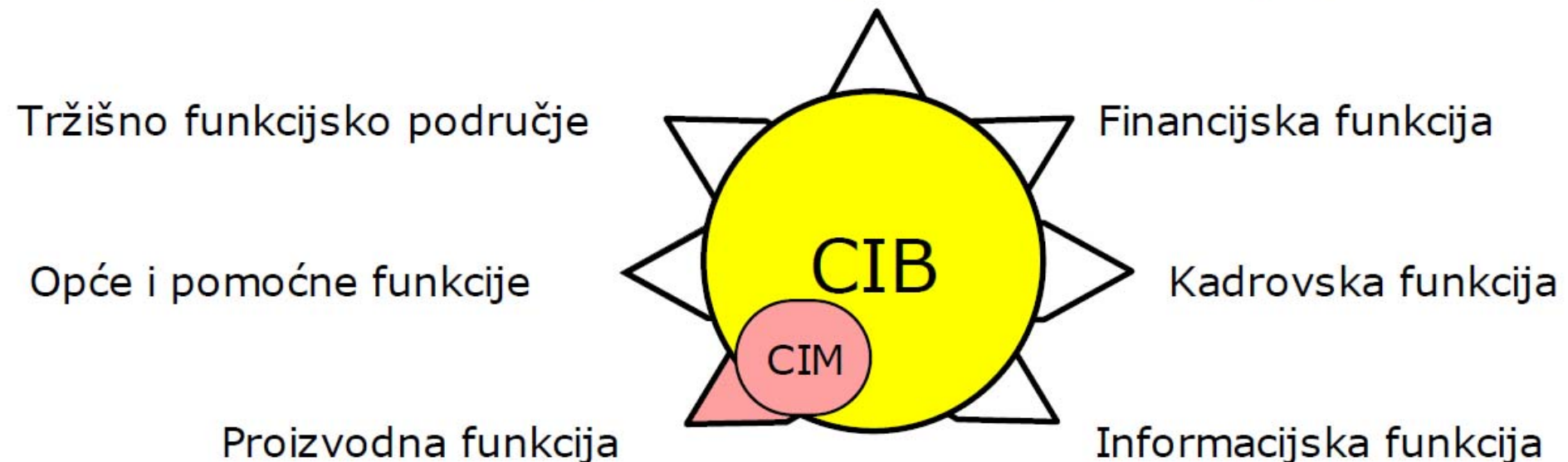
CIB

- **računalno integrirano poslovanje** (engl. Computer Integrated Business **CIB**) - filozofija i strategija povećanja sposobnosti poduzeća temeljena na automatizaciji aktivnosti te integriranju upravljanja podacima i informacijskim tokovima svih funkcija proizvodnih poduzeća
- primjena informacijskog sustava bitno mijenja strukturu elemenata, veze, ponašanja i funkciju samog organizacijskog sustava - takav odnos informacijskog i organizacijskog podsustava se naziva **upravljanje organizacijom** za razliku od pasivnog **opisivanja organizacije** u prethodnim fazama razvoja
- ponašanje integralnog sustava razlikuje se od unije ponašanja podsustava zbog uspostavljanja novih veza među njima
- iako CIB predstavlja jedinstvenu filozofiju i strategiju informatizacije cjelokupnog poduzeća, pojedina funkcijska područja imaju na CIB različite poglede

CIO

- CIM predstavlja pogled na CIB sa stanovišta funkcijskog područja proizvodnje, a sva ostala područja predstavljaju funkcije podrške - ukupno se nazivaju **računalno integrirano uredsko poslovanje** (engl. Computer Integrated Office **CIO**) - kompatibilnost strojne i programske podrške, alatnih strojeva, opreme i uređaja čitavih postrojenja - otvorenost građe sustava

Funkcijsko područje planiranja i upravljanja

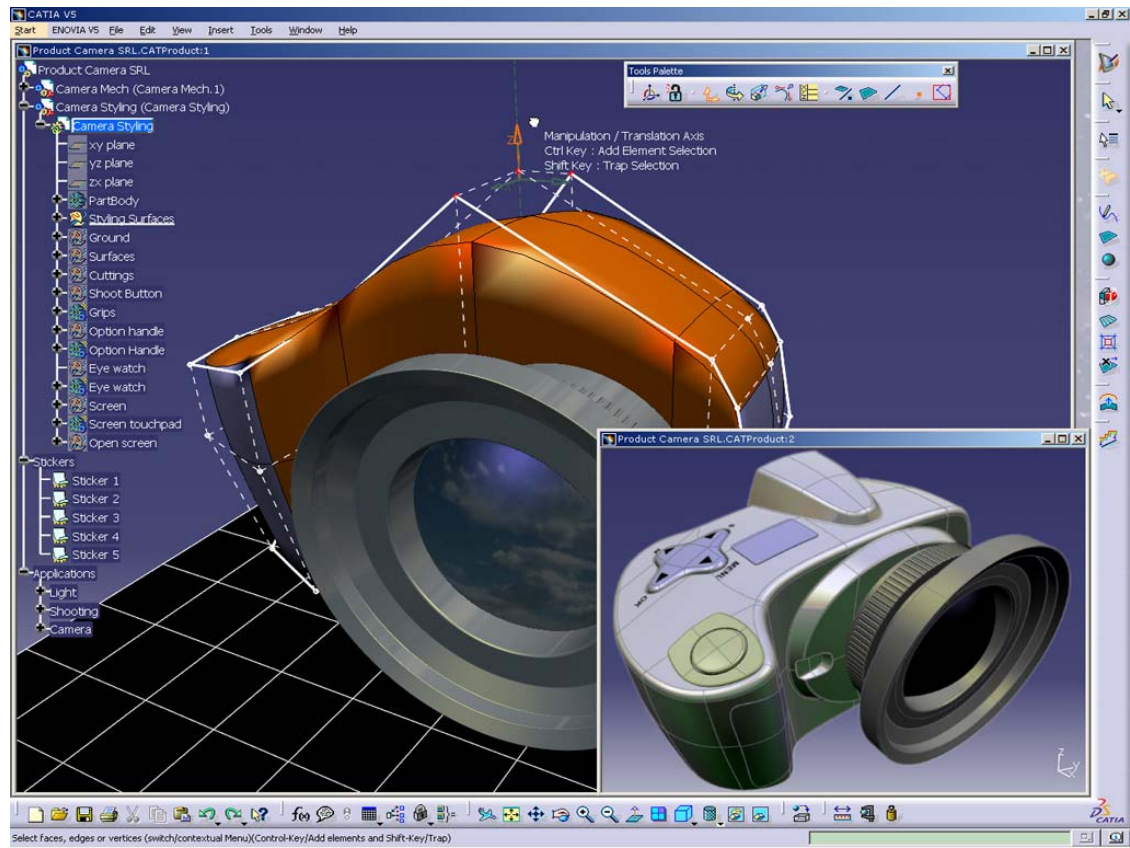


Dijelovi sustava CIM

- primjenom koncepta CIM-a razvijen je velik broj različitih sustava koji zbog obilježja koja im daju računala, komunikacije i programska podrška predstavljaju informacijske sustave, najčešće otvorene građe što omogućuje primjenu opreme različitih proizvođača kao i nadogradnju sustava od strane korisnika
- osnovni dijelovi (podsustavi) računalno integrirane proizvodnje CIM-a koji su namijenjeni pojedinom problemskom području - CAD, CAP, CAM, CAQ, CAPPC, CAO
- u okviru CIM-a ne postoje čvrste granice između funkcijskog područja proizvodnje i ostalih funkcijskih područja, kao i pripadajućih informacijskih podsustava - kako CIM podrazumijeva i dijelove funkcija izvan proizvodnog funkcijskog područja, sustav planiranja i upravljanja proizvodnjom CAPPC pokriva taktički i operativni nivo ukupnog procesa planiranja i upravljanja - spojnica između strateškog nivoa (sustav planiranja i upravljanja poduzećem) i izvršnog nivoa (CAM, CAD, CAP, CAQ - zajedno čine računalno podržani inženjering CAE (engl. Computer Aided Engineering))

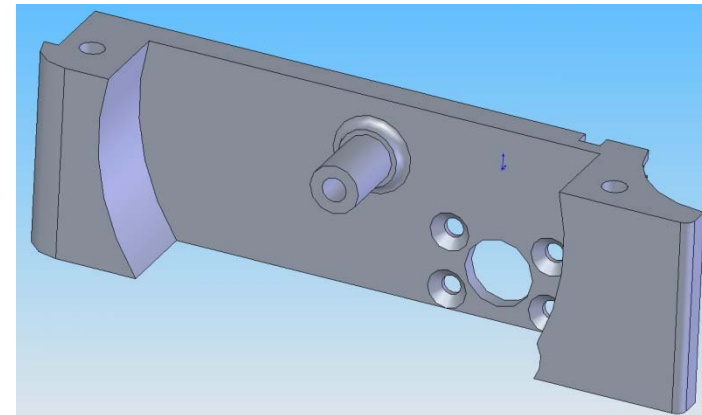
CAD

- **računalno podržano projektiranje CAD** (engl. Computer Aided Design) - namijenjeno računalnoj podršci i automatizaciji procesa razvoja proizvoda i konstrukcijske pripreme proizvodnje (koncipiranje, konstruiranje, proračunavanje i optimiranje, razvoj varijanti, definiranje strukture proizvoda i dijelova, izrada dokumentacije i standardizacija)
- projektirani dijelovi ili proizvodi testiraju se uz pomoć simulacija u besplatnim CAD programima s otvorenom strukturom (Google SketchUp, FreeCAD, Autodesk 123D, Blender) i skupim CAD programima zatvorene strukture (AutoCAD, CATIA, ProEngineer, SolidWorks)



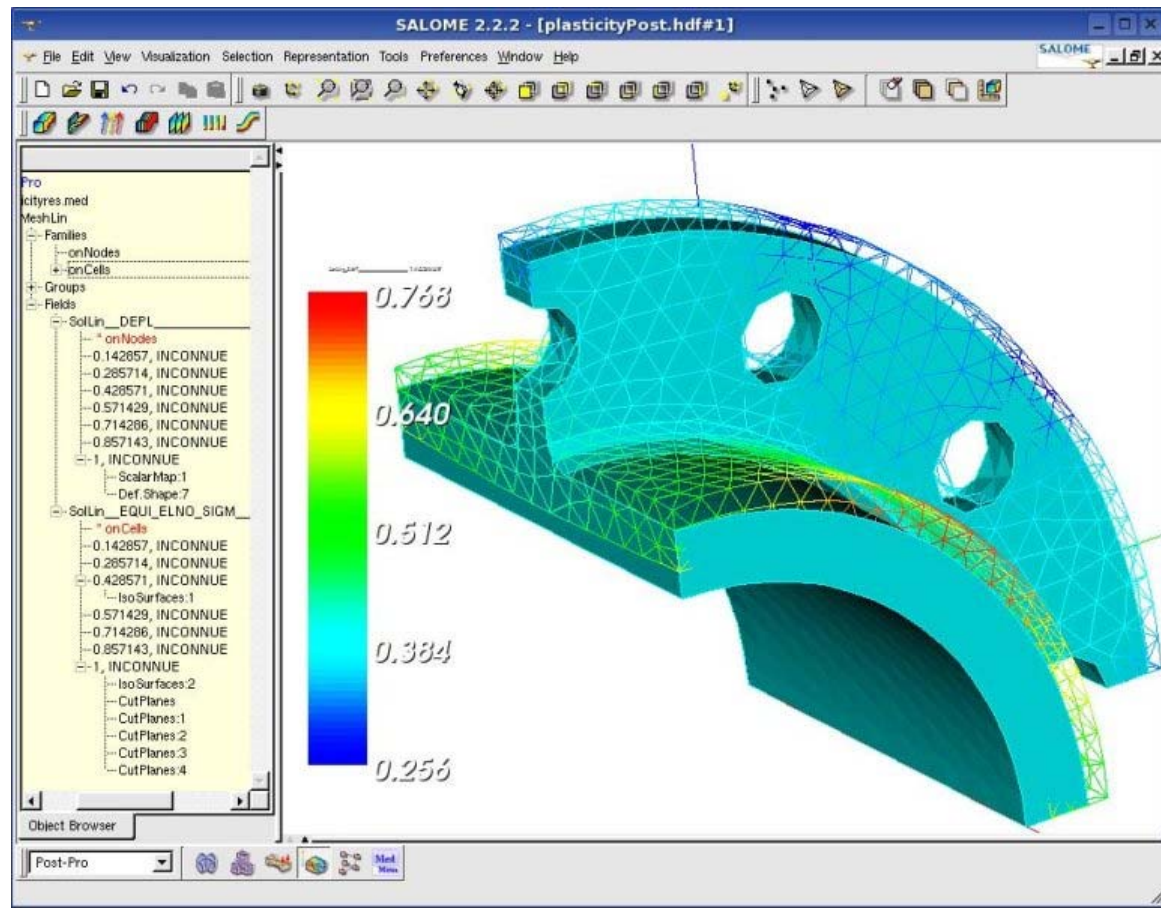
CAP i CAM

- **računalno podržano tehnološko projektiranje CAP** (engl. Computer Aided Planning) - omogućuje računalnu podršku i automatizaciju procesa tehnološke pripreme proizvodnje uključujući projektiranje tehnoloških procesa, programiranje CNC strojeva i uređaja
- **računalno podržana proizvodnja CAM** (engl. Computer Aided Manufacturing) - osigurava računalnu podršku i automatizaciju neposrednog upravljanja strojevima, uređajima i postrojenjima - u te su procese uključeni fleksibilni transport, skladištenje, manipulacija i fleksibilna izrada (prerada), kao i prikupljanje podataka iz pogona



CAD i CAM

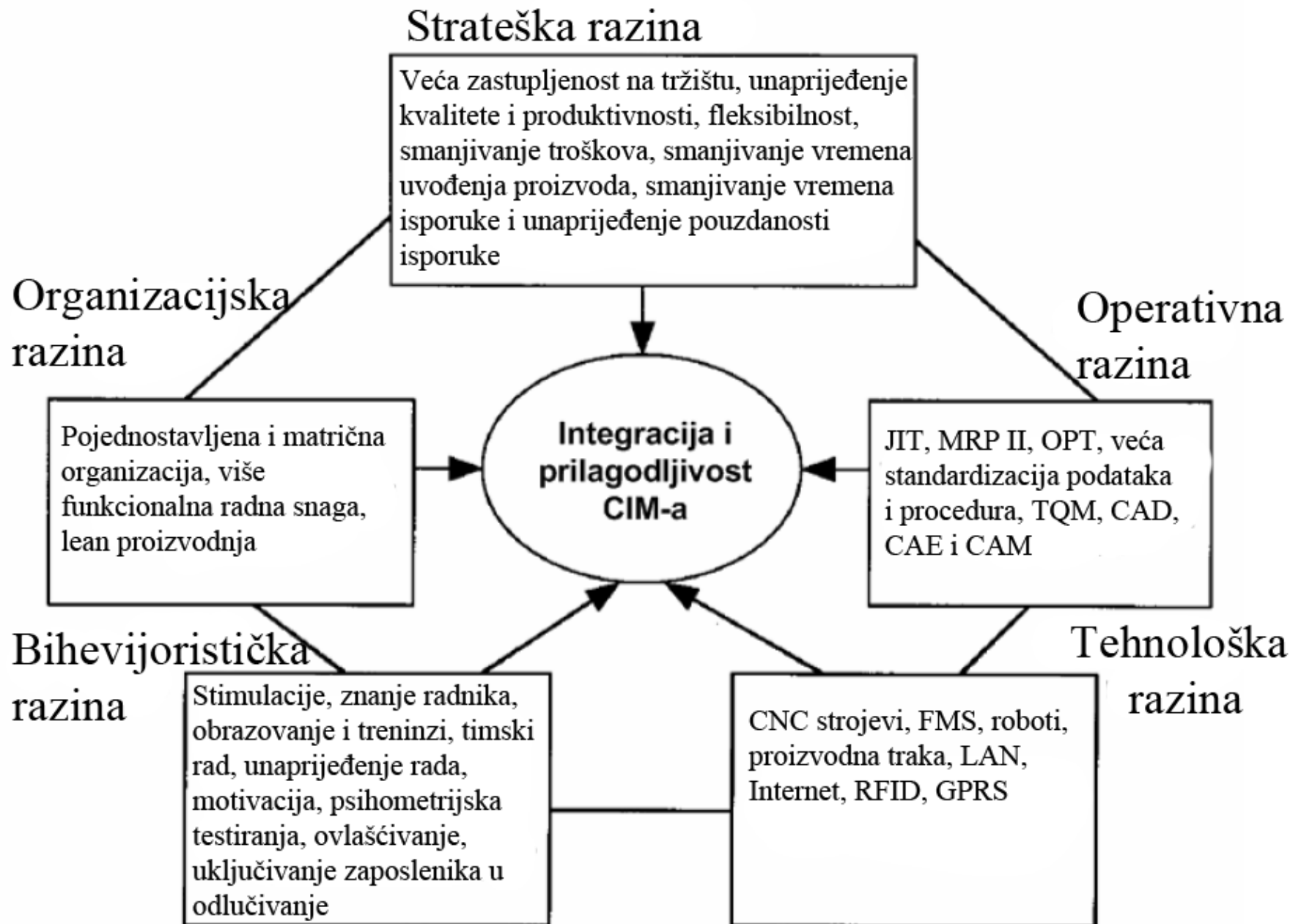
- CAM sustavi za projektiranje proizvodnih procesa, upravljanje alatnim strojevima i tokovima materijala pomoću programabilne automatizacije - CAD/CAM alati integriraju pomoću računala funkcije projektiranja proizvoda i proizvodnje
- pomoću CAD-a se izradi, analizira i testira prototip proizvoda - prototipi se dostavljaju CAM-u gdje se vrši programiranje potrebnih operacija za izradu proizvoda od sirovina
- program koji sadrži potrebne operacije za izradu proizvoda dostavlja se npr. CNC stroju koji izrađuje proizvod



CAQ, CAPPC i CAO

- **računalno podržano osiguranje kvalitete CAQ** (engl. Computer Aided Quality Assurance) - osiguranje kvalitete proizvoda i proizvodnje čiji se veći dio može automatizirati ili računalom podržati
- **sustav planiranja i upravljanja proizvodnjom pomoću računala CAPPC** (engl. Computer Aided Process Planning and Control) - namijenjen računalnoj podršci i automatizaciji procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom - osnovne skupine aktivnosti tog sustava su planiranje proizvodnog programa i potrebnih resursa, gospodarenje kapacitetima i predmetima rada te upravljanje izvršnim proizvodnim aktivnostima
- **računalno podržano uredsko poslovanje CAO** (engl. Computer Aided Office) - obuhvaća računalnu podršku aktivnostima koje obično obavlja radno osoblje u uredima (administrativne aktivnosti, komunikacije unutar i izvan elemenata s kojima CAO graniči, obračun, revizije i kontrole koje se odnose na proizvodnju), a koje su automatizirane i računalom podržane

Prednosti CIM-a



PLC

- **programabilni logički kontroler PLC** (engl. Programmable Logic Controller) - industrijsko računalo koje se sastoji od memorije, procesora, industrijskih ulaza i izlaza - ulazi nisu tipkovnica i miš, nego tipkala i sklopke ili razne vrste pretvornika ili senzora
- najviše se koristi kao **osnovni dio upravljačkih automatskih sustava u industriji** te kao dio mnogobrojnih strojeva i procesa u industriji
- PLC je **digitalno računalo** čiji se **program izvršava ciklično** i sastoji se od **tri faze** - čitanje ulaznih varijabli, izvršavanje programskog koda te ispisivanje rezultata logičkih operacija na izlaze
- program PLC-a (algoritam rada) može se jednostavno mijenjati te je pogodan za brza rješenja i aplikacije, a pamti se u unutrašnjoj memoriji uređaja i kad on ostane bez napajanja
- **prednosti** - projektiran je za teške uvjete rada, otporan na vibracije, temperaturne promjene i električne smetnje



Siemensov Simatic S7 PLC

FMS i CNC

- **fleksibilni proizvodni sustav FMS** (engl. Flexible Manufacturing System) sastoji se od grupe CNC obradnih strojeva (**računalno numeričko upravljanje CNC** (engl. Computer Numerical Control)) povezanih automatiziranim unutrašnjim transportom i skladišnim sustavom i upravljanih pomoću integralnog računalnog sustava
- pomoću FMS-a je moguće istovremeno obrađivati raznovrsne tipove dijelova ili proizvoda - fleksibilnost proizvodnje različitih proizvoda korištenjem istih strojeva i proizvodnje istih proizvoda na različitim strojevima; fleksibilnost proizvodnje novih proizvoda na postojećim strojevima; fleksibilnost strojeva u vezi promjena u dizajnu proizvoda



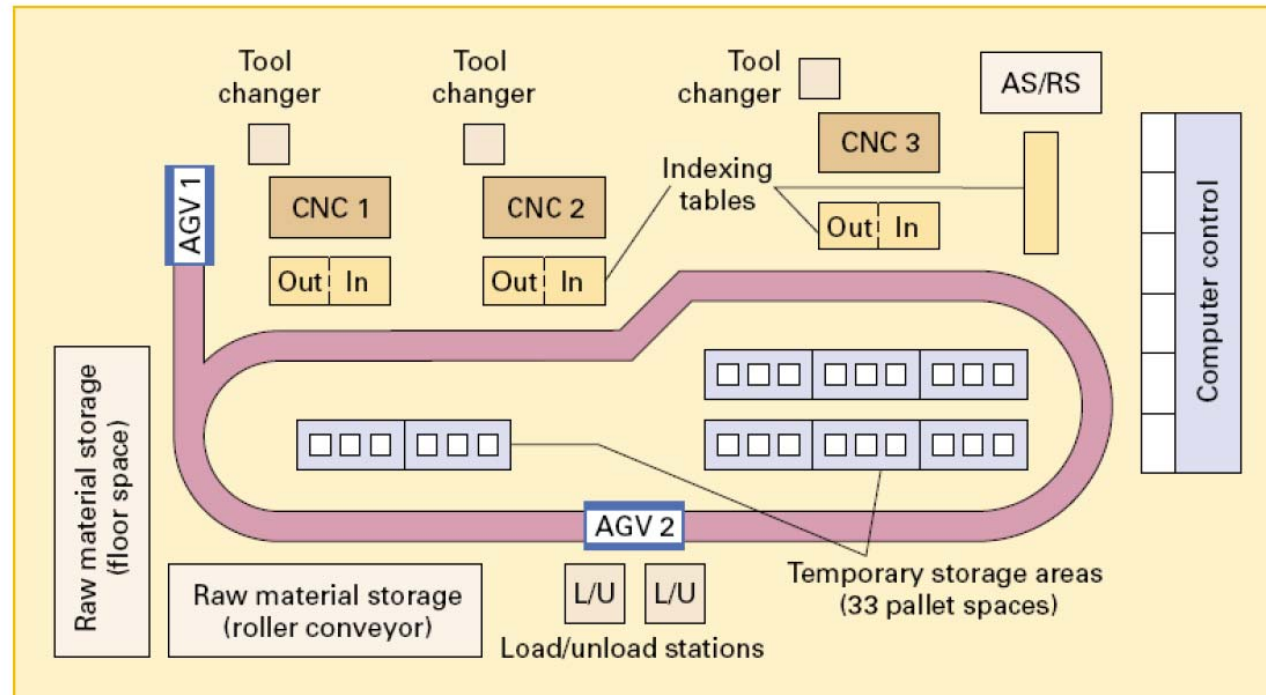
tipičan FMS



CNC stroj

FMS i CNC

- iz računalne upravljačke sobe se upravlja pokretnim trakama i nizom proizvodnih operacija, a CNC strojevi (s vlastitim upravljačkim sklopovima) upravljaju procesom obrade
- AGV (engl. Automated Guided Vehicle) vozila prevoze materijal na paletama do CNC strojeva i od njih
- indeksirajući stolovi sastoje se od sirovina na desnoj strani i obrađenih dijelova na lijevoj, a izmjenjivači alata smješteni su pokraj CNC strojeva i automatski biraju alate za sljedeću radnju
- postoje mjesta za utovar i istovar te AS/RS (engl. Automated Storage and Retrieval System) sustav za automatsko skladištenje



Industrijski roboti

- programirljivi, višefunkcionalni manipulatori projektirani za obradu materijala, dijelova, alata ili specijalnih uređaja korištenjem različitih alata za izvršavanje raznovrsnih zadataka
- omogućuju bržu proizvodnju, rad na teško dostupnim mjestima ili u opasnim uvjetima

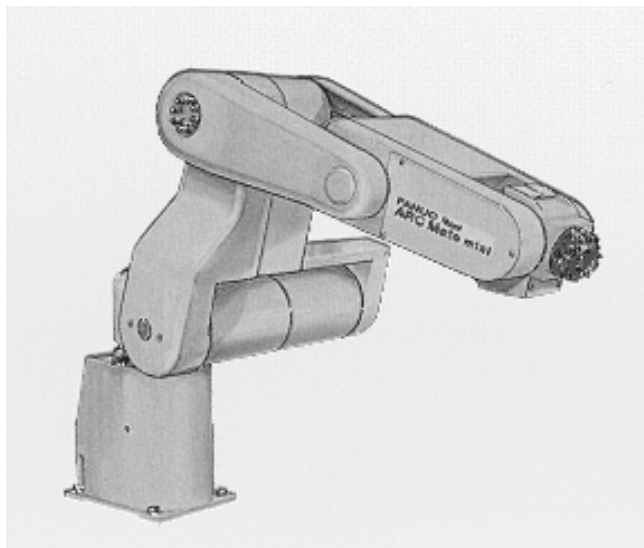


industrijski transportni robot



robot za točkasto zavarivanje

1. OPĆENITO O ROBOTIMA



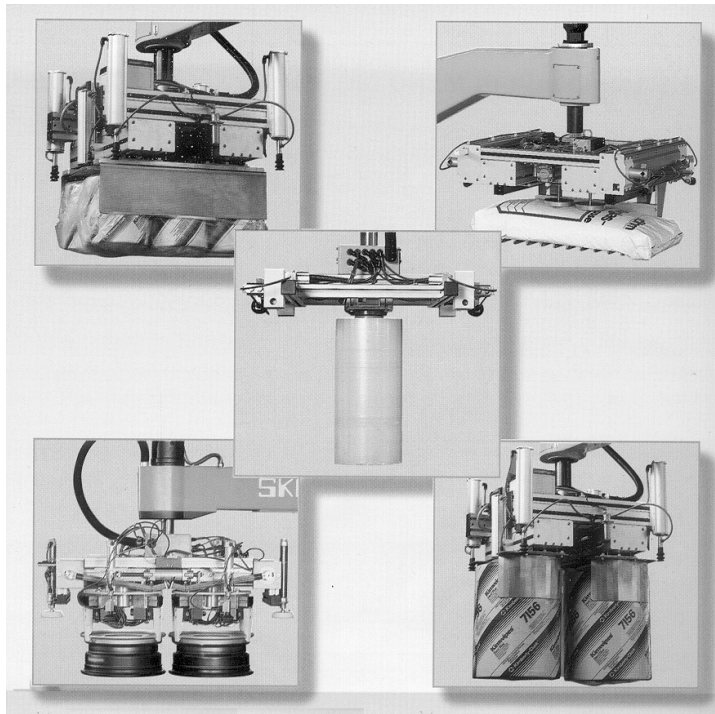
Sl. 1.1. Industrijski robot Arc Mate (Fanuc Ltd.).

Najčešće se pod pojmom robota podrazumijeva **industrijski robot**, koji se još naziva **robotski manipulator** (engl. *robotic manipulator*) ili **robotska ruka** (engl. *robotic arm*). Primjer industrijskog robota prikazan je na slici 1.1. Robot, odnosno robotska ruka može se modelirati u obliku lanca krutih članaka (engl. *segment*), koji su međusobno povezani pokretnim zglobovima (engl. *joint*).

Tako se kod robota s rotacijskim

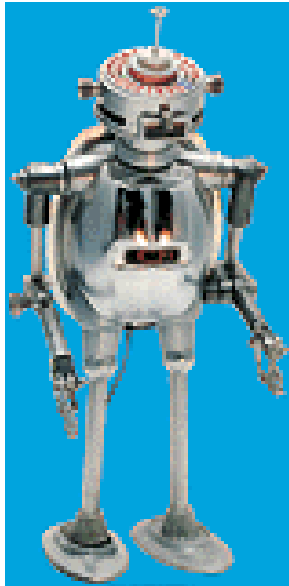
zglobovima može uočiti naglašena sličnost sa građom ljudske ruke, pa se takvi roboti nazivaju **artikulirane robotske ruke**. Pojedini članci ovakvih robota odgovaraju **ljudskim grudima, nadlaktici i podlaktici**, a zglobovi **ramenu, laktu i ručnom zglobu**.

Na kraju robotske ruke nalazi se **završni mehanizam** (Sl. 1.2.), koji se još naziva **alat** (engl. *tool*), **prihvatnica** (engl. *gripper*) ili **šaka** (engl. *hand*). Prihvatnica najčešće ima dva ili više prstiju (engl. *fingers*), koji se otvaraju i zatvaraju.



Sl. 1.2. Različiti oblici završnih mehanizama za poslove paletizacije (Euroimpianti s.p.a.).

1.1. Definicije robota



Riječ "robot" (češki *robota* = hrv. *rad*) prvi je uveo pisac **K. Čapek** te je pomoću nje opisao slijedeći stroj: "Stroj vješt u radu, a ponaša se slično čovjeku te ponekad ispunjava funkcije čovjeka."

Manipulator (lat. *manipulus* = hrv. *šaka*; lat. *manus* = hrv. *ruka*) je najčešće stroj za obavljanje pomoćnih operacija, koje se odnose na promjenu položaja materijala pri obradi i montaži. Općenito je prihvaćeno da suvremeni manipulatori vuku porijeklo od izuma **G. C. Devola** iz 1954. godine, koji je primijenio novi koncept upravljanja strojem za manipulaciju materijalima, zasnovan na učenju manipulacijskog zadatka u početnoj fazi te uzastopnom ponavljanju naučenog zadatka u fazi eksploatacije. U automatiziranim proizvodnim sustavima pod manipulatorom se podrazumijeva industrijski robot.

Osim najčešće korištenih industrijskih robota često se upotrebljavaju i medicinski robotski uređaji, hodajući strojevi te roboti za podmorska, svemirska i ostala istraživanja.

Postoji mnogo različitih definicija robota, ovisno o mjestu i načinu primjene. U Sjedinjenim Američkim Državama robot se najčešće definira kao automat prilagođen složenoj okolini, koji obavlja ili dopunjava jednu ili više radnji čovjeka, dok se u Japanu pod robotom podrazumijeva automat s promjenljivim programom koji se koristi za automatizaciju ručnih operacija.

Robot se u općem slučaju može definirati kao *tehnički uređaj sa svrhom obavljanja nekih kretanja i funkcija koje obavlja čovjek, pri čemu se odlikuje određenom samostalnošću, tj. autonomnošću u radu*. U tom smislu može se koristiti i ova, nešto konkretnija definicija robota [1]: *Robot je programski upravljani mehanički uređaj koji koristi senzore za vođenje jednog ili više završnih mehanizama po unaprijed određenoj putanji u radnoj okolini s ciljem manipuliranja fizičkim objektima*.

1.2. Podjela robota

Manipulatori se mogu podijeliti s obzirom na vrstu pogona, geometriju radnog prostora i načine upravljanja kretanjem.

1.2.1. Vrste pogona

Za pogon većine današnjih robotskih manipulatora koriste se električni motori - istosmjerni, izmjenični i koračni, jer su oni relativno jeftini, s velikom brzinom i točnosti te je kod njih moguća primjena složenih algoritama upravljanja. Međutim, kod specifičnih primjena (npr. rukovanje užarenim čelikom ili sastavljanje dijelova automobila), kada se zahtijeva manipulacija velikim teretima, češće se koriste roboti s hidrauličkim pogonima. Takvi pogoni imaju zadovoljavajuću brzinu rada, a zbog nestlačivosti ulja moguće je mirno održavanje položaja. Glavni nedostaci tih motora su njihove visoke cijene i zagađivanje okoline zbog buke i mogućeg istjecanja ulja.

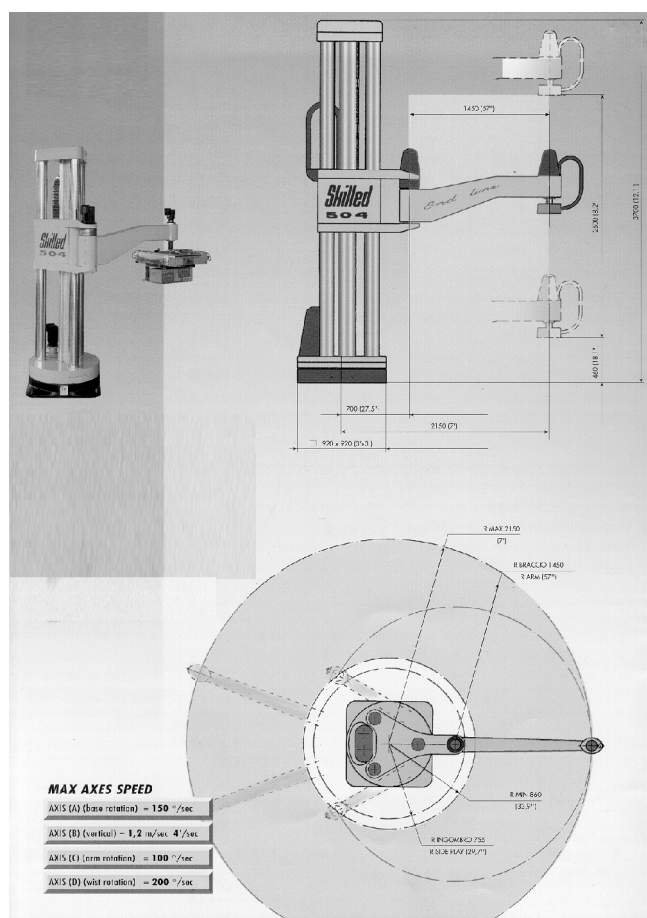
Treća vrsta pogona su pneumatski motori koji imaju relativno nisku cijenu, veliku brzinu rada te ne zagađuju okolinu pa su pogodni za laboratorijski rad. Takvi motori nisu pogodni za rad s velikim teretima, jer je zbog stlačivosti zraka nemoguće mirno održavati željeni položaj. Uz to je prisutna buka te je potrebno dodatno filtriranje i sušenje zraka zbog nepoželjne prašine i vlage.

Ako se zahtijeva samo otvaranje i zatvaranje prihvatnice, tada se u završnom mehanizmu koristi pneumatski motor da se grubim stiskom ne bi oštetio lomljivi predmet. U najnovije vrijeme javljaju se rješenja koja koriste pneumatske pogone za realizaciju pneumatskih mišića pogodnih za operacije savijanja.

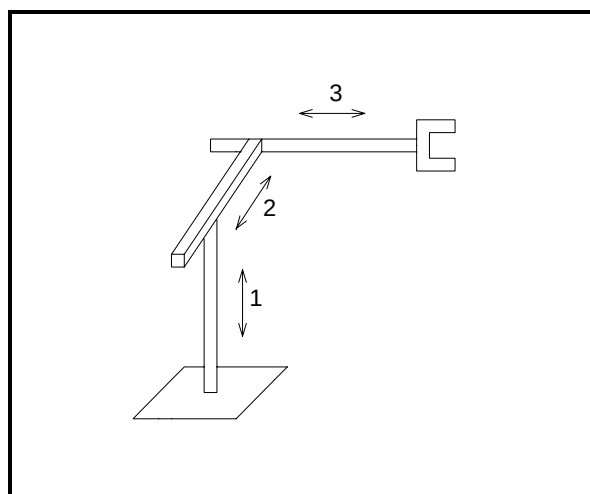
1.2.2. Geometrija radnog prostora

Radni prostor robota predstavlja skup točaka u trodimenzionalnom prostoru, koje se mogu dohvatiti ručnim zglobovima robota na koji je pričvršćen završni mehanizam. Veličina radnog prostora robota ovisi o broju i tipu zglobova robota, duljinama članaka te o postojećim fizičkim ograničenjima, koja su neposredno povezana s konkretnom građom i izgledom robota. Na slici 1.3. prikazan je primjer radnog prostora industrijskog robota Euroimpianti Skilled 504.

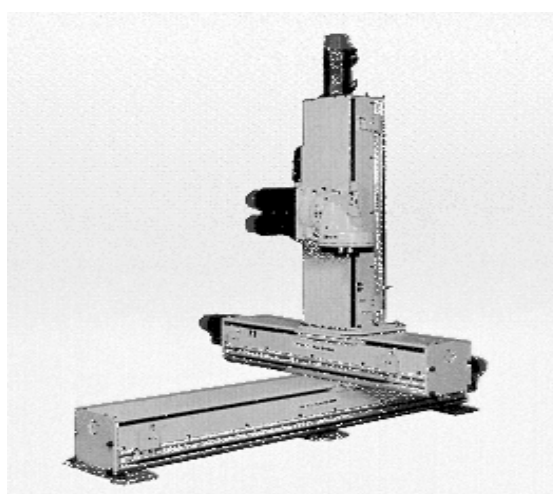
Osi prva tri zgloba robota određuju položaj ručnog zgloba, a osi preostala tri zgloba utvrđuju orijentaciju alata. Tako tipovi zglobova upotrijebljenih za prve tri osi određuju geometriju radnog prostora robota. Kod industrijskih robota koriste se dva osnovna tipa zglobova: **rotacijski** (engl. *revolute joint*) i **translacijski** (engl. *prismatic joint*). Rotacijski zglob vrši rotaciju oko osi, a translacijski linijsko gibanje po osi.



Sl.1.3. Radni prostor industrijskog robota tipa SCARA - Skilled 504 (Euroimpianti s.p.a.).



Sl. 1.4. Pravokutna konfiguracija robota.

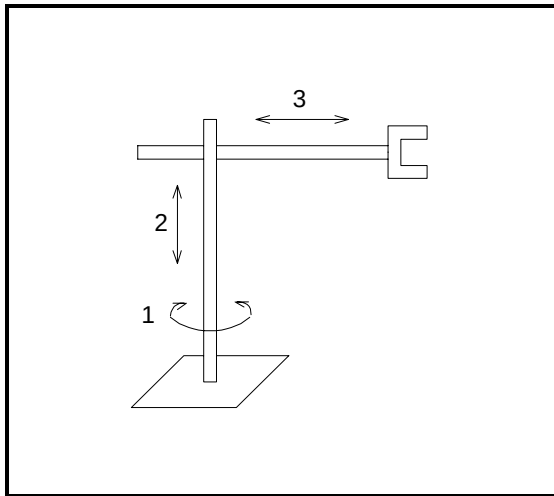


Sl.1.5. Industrijski robot s pravokutnom konfiguracijom C-100 (Fanuc Ltd.).

Međusobnim kombinacijama rotacijskih (**R**) i translacijskih (**T**) zglobova za prve tri osi određene su slijedeće konfiguracije robota:

1. **pravokutna** (engl. *Cartesian*) ili **TTT**,
2. **cilindrična** (engl. *cylindrical*) ili **RTT**,
3. **sferna** (engl. *spherical*) ili **RRT**,
4. **rotacijska** (engl. *articulated*) ili **RRR**,
5. robot tipa **SCARA** (engl. *Selective Compliance Assembly Robot Arm*) - **RTR**, **TRR** ili **RRT** građe.

Radni prostor robota s pravokutnom konfiguracijom je **prizma**. Shematski prikaz takvog robota dan je na slici 1.4., dok je primjer istovrsnog industrijskog robota prikazan na slici 1.5. Kod ovih robota postoji neposredna veza između varijabli zglobova i prostornih koordinata alata.

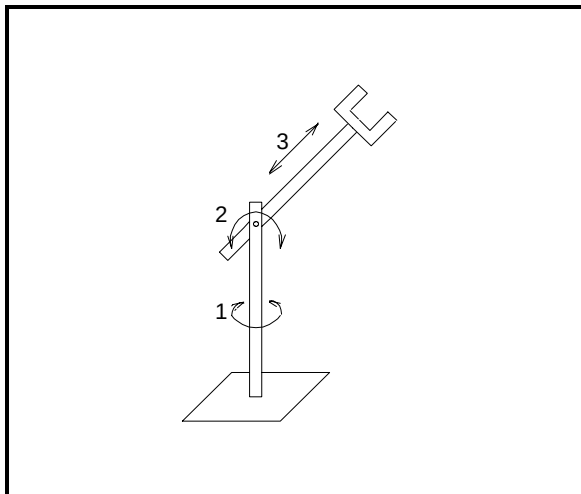


Sl. 1.6. Cilindrična konfiguracija robota

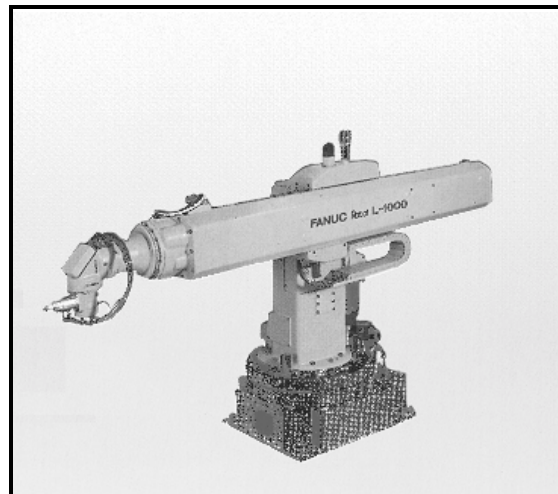
Ako se prvi zglob kod pravokutne konfiguracije robota zamijeni rotacijskim zglobom, tada se dobiva robot cilindrične konfiguracije, prikazan na slici 1.6. Radni prostor takvog robota je zbog ograničenog translacijskog gibanja jednak volumenu između dva vertikalna koncentrična plašta valjaka.

Ako se drugi zglob cilindrične konfiguracije robota zamijeni rotacijskim zglobom, dobiva se robot sferne konfiguracije koji je prikazan na slici 1.7. Ako postoji ograničenje translacijskog

gibanja, tada je radni prostor tog tipa robota volumen između dvije koncentrične sfere, a uz ograničenje svih gibanja, radni prostor je dio volumena između dvije koncentrične sfere. Primjer industrijskog robota sa sfernom konfiguracijom prikazan je na slici 1.8.

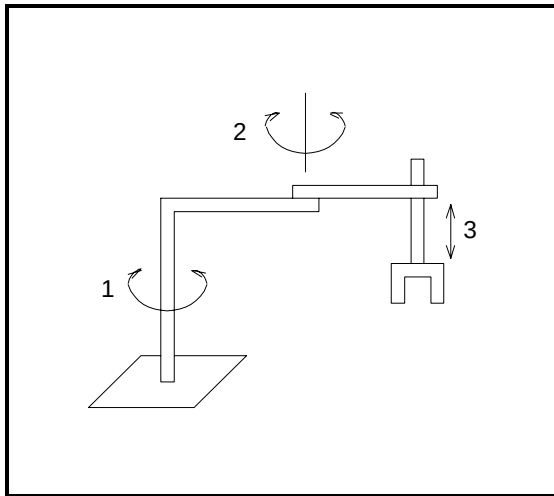


Sl. 1.7. Sferna konfiguracija robota.

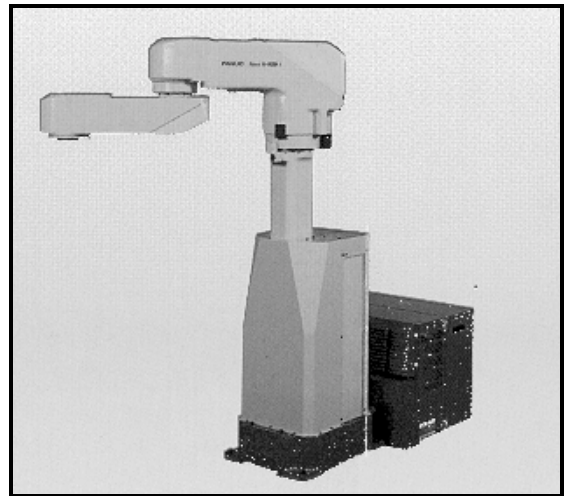


Sl. 1.8. Industrijski robot sa sfernom konfiguracijom L-1000 (Fanuc Ltd.).

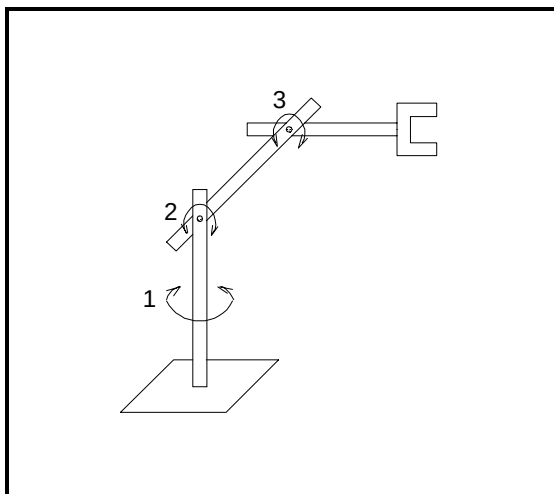
Robot tipa SCARA također ima dva rotacijska i jedan translacijski zglob. Na slici 1.9. shematski je prikazan robot s RRT konfiguracijom. Primjer industrijskog robota tipa SCARA s TRR konfiguracijom prikazan je na slici 1.10. Drugi primjer industrijskog robota tipa SCARA s RTR konfiguracijom dan je na slici 1.3. Kod ovakvih su robota osi sva tri zgloba vertikalne.



Sl. 1.9. Robot tipa SCARA.



Sl. 1.10. Industrijski robot tipa SCARA A-520i (Fanuc Ltd.).



Sl. 1.11. Rotacijska konfiguracija robota.

Uz sva tri rotacijska zglobova, robot ima rotacijsku konfiguraciju, koja se još naziva **laktasta**, **antropomorfna** ili zglobna. Takav robot shematski je prikazan na slici 1.11., dok je primjer istovrsnog industrijskog robota već ranije prikazan na slici 1.1. Ako ne postoje ograničenja rotacijskih gibanja, tada je radni prostor tog robota **kugla**, a uz ograničenja to je dio kugle složenog oblika čiji je presjek sa strane najčešće u obliku polumjeseca.

1.2.3. Načini upravljanja kretanjem

Postoje dva osnovna načina kretanja završnog mehanizma:

1. **od točke do točke** (engl. *point-to-point motion*),
2. **kontinuirano gibanje po putanji** (engl. *continuous path*).

Kod gibanja od točke do točke alat se kreće po ciljnim točkama u radnom prostoru i pri tome

nije bitna putanja između točaka, ali je važna točnost pozicioniranja. Takav način kretanja koristi se za diskretne operacije kao što su: **točkasto zavarivanje** te **podizanje i spuštanje predmeta**.

Pri kontinuiranom kretanju po putanji završni mehanizam mora se gibati po unaprijed određenoj putanji u trodimenzionalnom prostoru i pri tome su bitne *trajektorija* i *točnost pozicioniranja*. Roboti kod kojih se upravlja trajektorijom gibanja mogu se koristiti za **bojenje**, **šavno zavarivanje** ili **lijepljenje**.

1.3. Karakteristike robota

Osim vrste pogona, geometrije radnog prostora i načina upravljanja kretanjem postoji niz dodatnih karakteristika robota: broj osi, nosivost [kg], maksimalna brzina [m/s] ([mm/s]), dohvat [m] ([mm]), hod [m] ([mm]), orijentacija alata [rad] ([°]), ponovljivost [m] ([mm]), preciznost [m] ([mm]), točnost [m] ([mm]) te radna okolina.

1.3.1. Broj osi

Za svaki robot karakterističan je broj osi za rotacijsko ili translacijsko gibanje njegovih članaka. Kako se gibanje robota odvija u trodimenzionalnom prostoru, prve tri osi najčešće se koriste za određivanje položaja ručnog zgloba robota, dok preostale osi određuju orijentaciju završnog mehanizma.

Općeniti manipulator ima šest osi te može dovesti prihvatnicu u bilo koji položaj i orijentaciju unutar radnog prostora. Pri tome se mehanizam otvaranja i zatvaranja prstiju ne smatra nezavisnom osi, jer ne utječe niti na položaj niti na orijentaciju alata.

Ako manipulator ima više od šest osi, tada se redundantne osi mogu koristiti za izbjegavanje prepreka unutar radnog prostora, optimiranje gibanja. Također se može povećati “vještina” i spretnost gibanja

1.3.2. Nosivost i brzina

Maksimalna masa tereta koju robot može prenijeti i maksimalna brzina gibanja robota veoma

ovise o tipu robota i njegovoj primjeni (nosivost može biti od nekoliko kilograma do nekoliko tona, a vrh alata može se kretati brzinama od 10 cm/s do 10 m/s).

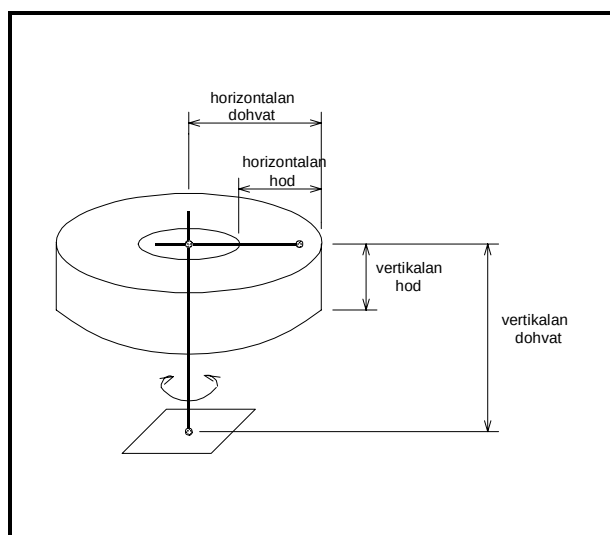
Važno mjerilo brzine robota je vrijeme radnog ciklusa (engl. *cycle time*), tj. vrijeme potrebno za izvođenje periodičnog gibanja sličnog jednostavnoj operaciji podizanja i spuštanja predmeta na određeno mjesto. Tada se uz poznatu duljinu putanje može izračunati prosječna brzina kretanja manipulatora.

1.3.3. Dohvat i hod

Veličina radnog prostora robota može se približno odrediti pomoću dohvata i hoda.

Horizontalan dohvat je maksimalna udaljenost, koju može dosegnuti ručni zglobovi, mjerena od vertikalne osi oko koje robot rotira, dok horizontalan hod predstavlja ukupnu udaljenost od vertikalne osi po kojoj se ručni zglobovi mogu kretati. Razlika između horizontalnog dohvata i hoda je minimalna udaljenost ručnog zgloba od glavne vertikalne osi, a kako je ta veličina pozitivna, tada je dohvat uvijek veći ili jednak hodu.

Vertikalni dohvat robota je maksimalna udaljenost ručnog zgloba robota od baze, a vertikalni hod slično može definirati kao ukupnu vertikalnu udaljenost po kojoj se ručni zglobovi mogu gibati. Pri tome je vertikalni hod robota manji ili jednak vertikalnom dohvatu.



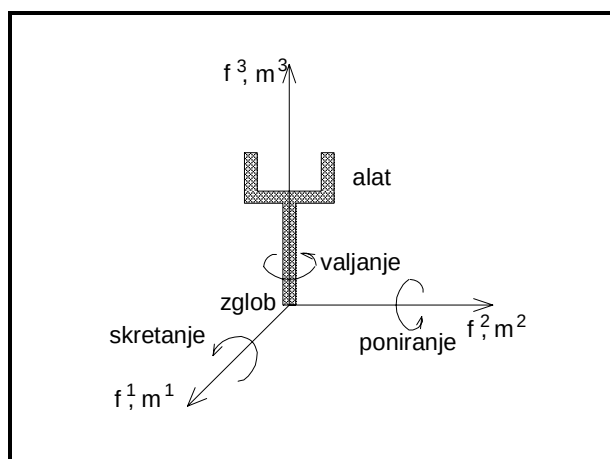
Sl. 1.12. Dohvat i hod cilindričnog robota.

Na primjeru prikazanom na slici 1.12. može se vidjeti da je horizontalni dohvat robota cilindrične konfiguracije polumjer vanjskog plašta valjka radnog prostora, a horizontalni hod je razlika polumjera vanjskog i unutrašnjeg valjka. Također se može vidjeti da će vertikalni dohvat cilindričnog robota biti veći od njegovog vertikalnog hoda ako se, pomoću ograničenja u kretanju drugom osi, ručnom zglobovima dopusti doticanje granice radnog prostora.

Kod rotacijskih robota dohvat je često jednak hodu pa takvi roboti imaju pun radni prostor. Pri tome je potrebno zaštititi robot od samooštećivanja, jer se rotacijski robot može programirati tako da udari sam sebe ili da se sudari s predmetima u svojoj radnoj okolini.

1.3.4. Orijentacija alata

Prve tri osi robota osim oblika radnog prostora određuju položaj kraja podlaktice i pripadajuću orijentaciju završnog mehanizma. Dodatne rotacijske osi kod neredundantnih robota određuju djelomičnu ili potpunu orijentaciju završnog mehanizma. U uvjetima bez ograničenja, s tri dodatne osi alat može tijekom gibanja robota postići bilo koju orijentaciju u trodimenzionalnom prostoru.



Sl. 1.13. Skretanje, poniranje i valjanje alata

Za određivanje orijentacije alata potrebno je definirati pokretni koordinatni sustav $M=\{m^1, m^2, m^3\}$, koji se giba zajedno s alatom, kako je prikazano na slici 1.13. Smjer ortonormiranih vektora m^1, m^2, m^3 se u svakom trenutku može izraziti u odnosu na nepomični koordinatni sustav baze robota. U tom koordinatnom sustavu os m^3 odgovara osnovnoj osi alata i usmjerena je od ručnog zgloba, a os m^2 je paralelna zamišljenoj liniji, koja se dobiva otvaranjem i zatvaranjem

prstiju. Preostala os m^1 određuje desnu orijentaciju koordinatnog sustava M , koji je samo u početku jednak nepomičnom koordinatnom sustavu $F=\{f^1, f^2, f^3\}$.

Zadanu orijentaciju alata moguće je ostvariti na više različitih načina. Tako se zadana orijentacija može ostvariti slijedom rotacija *oko ortonormiranih vektora pokretnog koordinatnog sustava* $M=\{m^1, m^2, m^3\}$ predstavljenih tzv. **Eulerovim** kutevima - **zavrtanjem** (engl. *twist*), **naginjanjem** (engl. *tilt*) i **zakretanjem** (engl. *turn*) ili pak slijedom rotacija *oko ortonormiranih vektora nepomičnog koordinatnog sustava* $F=\{f^1, f^2, f^3\}$ predstavljenih kutevima **skretanja** (engl. *yaw*), **poniranja** (engl. *pitch*) i **valjanja** (engl. *roll*).

Sada je potrebno određenim redoslijedom definirati Eulerove kuteve. Zavrtanje predstavlja

rotaciju alata oko osi $m^3 = f^3$, zatim slijedi naginjanje kao rotacija alata oko nove osi m^2 te na kraju zakretanje, tj. rotacija alata oko nove osi m^3 . Pri tome su pozitivni kutevi definirani kao zakreti u smjeru suprotnom od smjera gibanja kazaljke na satu.

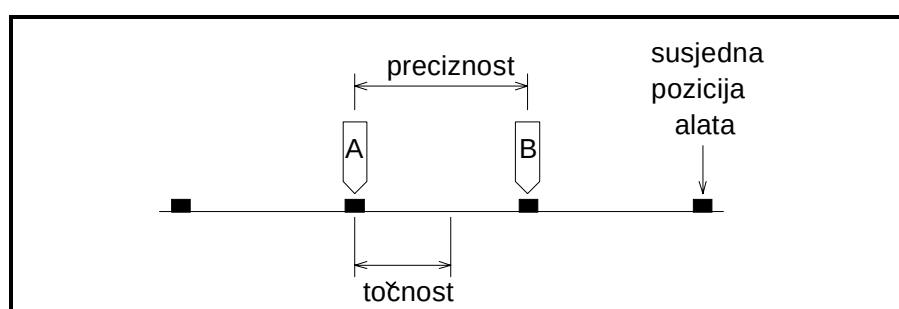
Na sličan način potrebno je određenim redoslijedom definirati skretanje, poniranje i valjanje. Skretanje predstavlja rotaciju alata oko osi f^1 , zatim slijedi poniranje kao rotacija alata oko osi f^2 te na kraju valjanje, tj. rotacija alata oko osi f^3 . Pri tome su pozitivni kutevi definirani kao i kod definicije Eulerovih kuteva.

Bitno je uočiti da redoslijed izvršenih rotacija alata utječe na konačnu orijentaciju završnog mehanizma. Ako se osi potrebne za orijentaciju alata sijeku u jednoj točki, tada robot ima sferni (engl. *spherical*) ručni zglobov.

1.3.5. Ponovljivost, preciznost i točnost

Ponovljivost je mjera sposobnosti robota da vrh prihvatnice ponovo dovede u isti položaj. Pogreška, koja pri tome može nastati, najčešće je manja od 1[mm], a javlja se zbog zazora zupčanika i elastičnosti članaka.

Preciznost je mjera razlučivosti kojom se prihvatnica može pozicionirati u radnom prostoru, kako je prikazano na slici 1.14. Ako je vrh alata doveden u točku A i ako je točka B slijedeći najbliži položaj u koji može doći, tada preciznost predstavlja udaljenost između točaka A i B.



Sl. 1.14. Preciznost i točnost

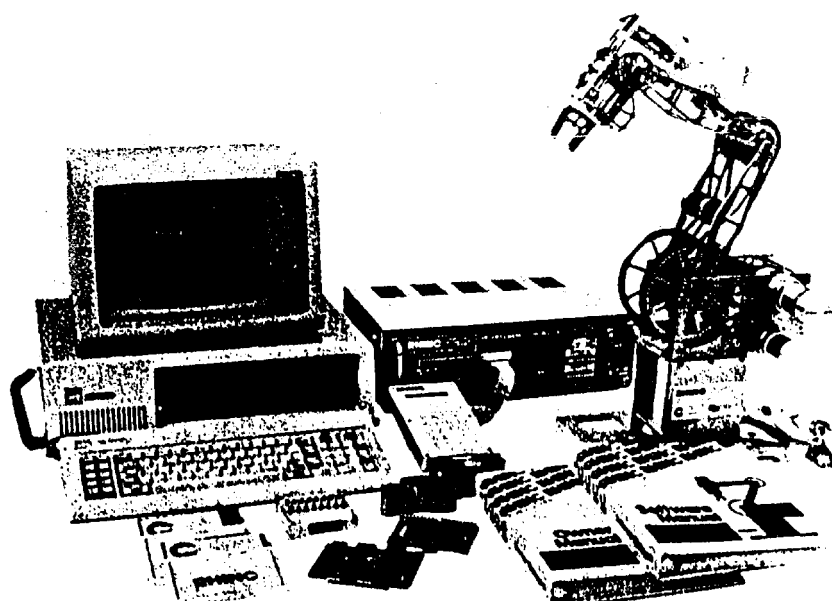
Točnost je, za razliku od preciznosti, razlika između mogućeg i željenog položaja, tj. mjera sposobnosti robota da dovede prihvatnicu u proizvoljan položaj radnog prostora (Sl. 1.14.).

1.3.6. Radna okolina

Radna okolina robota će uglavnom ovisiti o zadatku, koji on mora izvršiti. Roboti često rade u opasnoj ili zagađenoj okolini, npr. prilikom prijevoza ili premještanja radioaktivnog materijala potrebnog za rad nuklearnih postrojenja, zatim pri bojenju, zavarivanju ili radu u ljevaonicama. Takvi roboti se posebno opremaju kako bi mogli podnijeti rad pri vrlo visokim temperaturama i uz prisutnost različitih onečišćenja u zraku. Drugi ekstremni tip radne okoline su vrlo čiste radne prostorije, kakve se sreću na primjer u poluvodičkoj industriji, u kojima se vrlo pažljivo prate onečišćenja, temperatura i vlažnost zraka. U tom slučaju i sam robot mora biti vrlo čist, kako bi se onečišćenje radnog materijala svelo na minimum.

1.4. Primjer : Školski robot RHINO XR-3

Školski robotski sustav prikazan je na slici 1.15. i sastoji se od školskog robota RHINO XR-3, upravljačkog uređaja MARK III, programske podrške za osobno računalo, jedinice za obuku robota (engl. *teach pendant*) te osobnog računala.



Sl. 1.15. Školski robotski sustav RHINO XR-3.

U skladu s navedenim podjelama, školski robot RHINO XR-3 spada u grupu rotacijskih (artkuliranih) robota. Za pogon zglobova koristi istosmjerne električne motore, a vrhom alata se upravlja od točke do točke. Zbog razmjerno niske cijene i svojstava vrlo sličnih svojstvima većih i skupljih industrijskih robota, prvenstveno služi učenju robotike.

Robotska ruka sastoji se od pet okretnih osovina i prihvatnice, koju čine dva prsta koji mogu biti ili otvoreni ili zatvoreni. Svi istosmjerni elektromotori u zglobovima robota su upravljani u otvorenoj petlji, a povratne veze ostvarene su pomoću inkrementalnih davača impulsa. Robot koristi mehaničke prekidače kao graničnike za određivanje apsolutne vrijednosti položaja zglobova. Graničnici ujedno služe za postavljanje robota u početni položaj (engl. *hard home position*).

Glavne karakteristike robotskog manipulatora RHINO XR-3

Robot RHINO XR-3 ima slijedeće karakteristike: broj osi: 5, ukupna težina robota (samo ruka): 7.7 kg, maksimalna masa tereta koju ispružena ruka može podignuti: 0.45 kg, maksimalna brzina vrha alata: 0.65 m/s, horizontalan dohvat i hod: 0.629 m, vertikalni dohvat i hod: 0.889 m, ograničenje poniranja alata: 270°, ograničenje valjanja alata: 360°, ponovljivost: ± 2.5 mm.

U nastavku su dani kataloški podaci o razlučivosti zakreta pojedinih osovina, redukciji broja okretaja po osovinama te o maksimalnim brzinama vrtnje pojedinih osovina.

Razlučivost zakreta pojedinih osovina

<u>OSOVINA</u>	<u>MOTOR</u>	<u>RAZLUČIVOST</u>
Prsti	A	ne definira se
Okretanje zapešća	B	0.18 stupnjeva/teoretski
Otklon zapešća	C	0.12 stupnjeva/teoretski/
Lakat	D	0.12 stupnjeva/teoretski/
Rame	E	0.12 stupnjeva/teoretski/
Struk	F	0.23 stupnjeva/teoretski/

Redukcija broja okretaja po osovinama

Osovina	Redukcija na osovini motora	Redukcija pri prijenosu	Ukupna redukcija	Enkoder (imp/° zgloba)
Prsti	96/1	-	-	-
Okretanje zapešća	96/1	4/1	384/1	3.2
Otklon zapešća	66.1/1	8/1	528.8	8.8
Lakat	66.1/1	8/1	528.8	8.8
Rame	66.1/1	8/1	528.8/1	8.8
Struk	66.1/1	4/1	264.4/1	4.4

Maksimalne brzine vrtnje pojedinih osovina

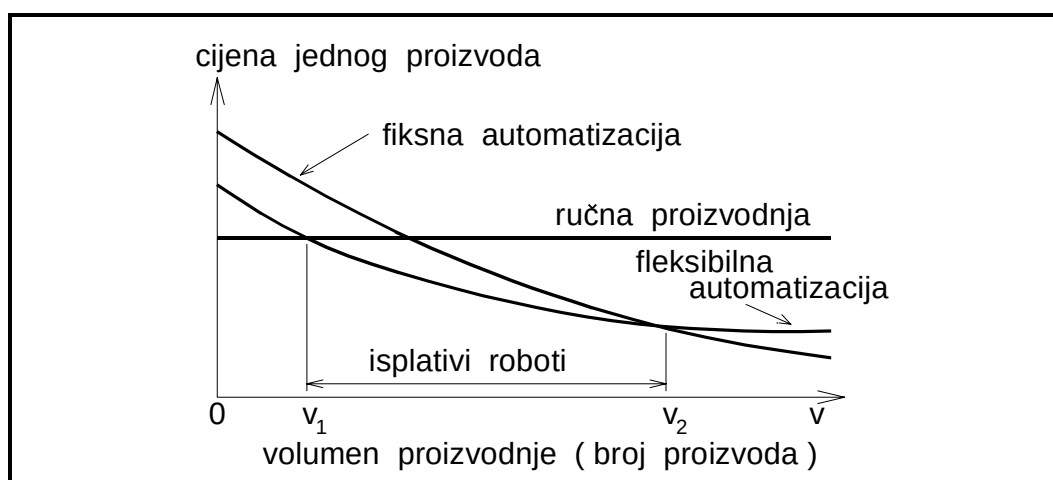
Osovina	Brzina (°/s)
Prsti	1 sekunda za potpuno otvaranje 1 sekunda za potpuno zatvaranje
Okretanje zapešća	32
Otklon zapešća	45
Lakat	30
Rame	20
Struk	60

1.5. Primjena robota

Od početka primjene linija za masovnu proizvodnju (1905. g. u **Ford Motor Company**), razvijeni su specijalizirani strojevi za proizvodnju mehaničkih i električnih dijelova. Pri uvođenju novih modela proizvoda bilo je potrebno mijenjati dijelove strojeva pa se takav tip automatizacije naziva fiksna automatizacija (engl. *hard automation*). Nakon toga je razvijena fleksibilna

automatizacija (engl. *soft automation*), tj. u proizvodne procese u automobilske i drugim industrijama uvedeni su programirajući mehanički manipulatori (engl. *programmable mechanical manipulators*). Svaki proizvodni zadatak je prethodno isprogramiran i pohranjen u memoriju računala. Promjenom programa u računalima takvi manipulatori mogli su obavljati različite zadatke, kao što su točkasto zavarivanje, bojenje te sastavljanje dijelova proizvoda.

Ako se ručna proizvodnja te fiksna i fleksibilna automatizacija prikažu kao funkcije broja proizvoda, tada je kvalitativna usporedba njihovih isplativosti prikazana na slici 1.16. Na toj slici je vidljivo da je za veoma malen volumen proizvodnje ($0 \leq v < v_1$) najbolje koristiti ručnu proizvodnju. Ako se proizvodi veći broj proizvoda ($v_1 \leq v \leq v_2$), tada roboti postaju jeftiniji od ljudskog rada. Pri daljnjem povećanju volumena proizvodnje ($v > v_2$) najjeftinije je koristiti fiksnu automatizaciju. Kako roboti postaju sve složeniji i jeftiniji, granice područja isplativosti primjene robota se pomiču, tj. volumen proizvodnje v_1 se smanjuje, a v_2 povećava.



Sl. 1.16. Ručna proizvodnja, fiksna i fleksibilna automatizacija

Roboti se najčešće koriste kod jednostavnih i dosadnih zadataka te poslova koji se ponavljaju, kao što je donošenje i odnošenje materijala za druge strojeve. Također su korisni pri radu u onečišćenoj okolini, npr. kod bojenja ili rukovanja radioaktivnim materijalima.

Prema podacima IFR-a (International Federation of Robotics) za 1997. godinu, u SAD se većina industrijskih robota koristi za zavarivanje (54%) i rukovanje materijalima (28%). Često se primjenjuju za bojenje, strojnu obradu (3%) i sastavljanje mehaničkih i elektroničkih dijelova (5%), a sve više se koriste za pakiranje i paletizaciju proizvoda, kontrolu i testiranje, sortiranje

i označavanje te transport (10%).

Medicinski robotski uređaji zamjenjuju (proteze) ili pokreću (ortoze) dijelove tijela, pri čemu se koriste motorne funkcije čovjeka ili dodatna elektrostimulacija.

Hodajući strojevi konstruiraju se ovisno o obliku terena: za ravan teren koriste se vozila sa četiri kotača, za neravan teren su povoljna vozila s više od četiri kotača ili s gusjenicama, dok se na terenu s velikim neravninama ili preprekama koriste hodajući strojevi s nogama. Pri tome postoje problemi kod mehaničke konstrukcije i upravljanja takvim strojevima, tj. najveći problemi kod dvonožnih hodajućih strojeva su stabilnost pri stajanju i hodu, dok je kod hodajućih strojeva sa više nogu najteže koordinirati kretanje tih nogu.

Za robote se postavljaju različiti zahtjevi ovisno o načinu i mjestu njihove primjene. Industrijski roboti koji obavljaju zadatke posluživanja moraju imati veliku preciznost (točnost pozicioniranja), dok kod robota za bojenje tolika točnost nije potrebna. Prilikom točkastog zavarivanja traži se određena preciznost pozicioniranja, a pri šavnom zavarivanju se tom zahtjevu dodaje točnost trajektorije (putanje i brzine) gibanja. Za industrijske robote koji se koriste pri montaži bitna je točnost pozicioniranja te pri tome treba postojati sustav za prepoznavanje oblika jer su predmeti najčešće različitog oblika i položaja.

1.6. Pitanja za provjeru znanja

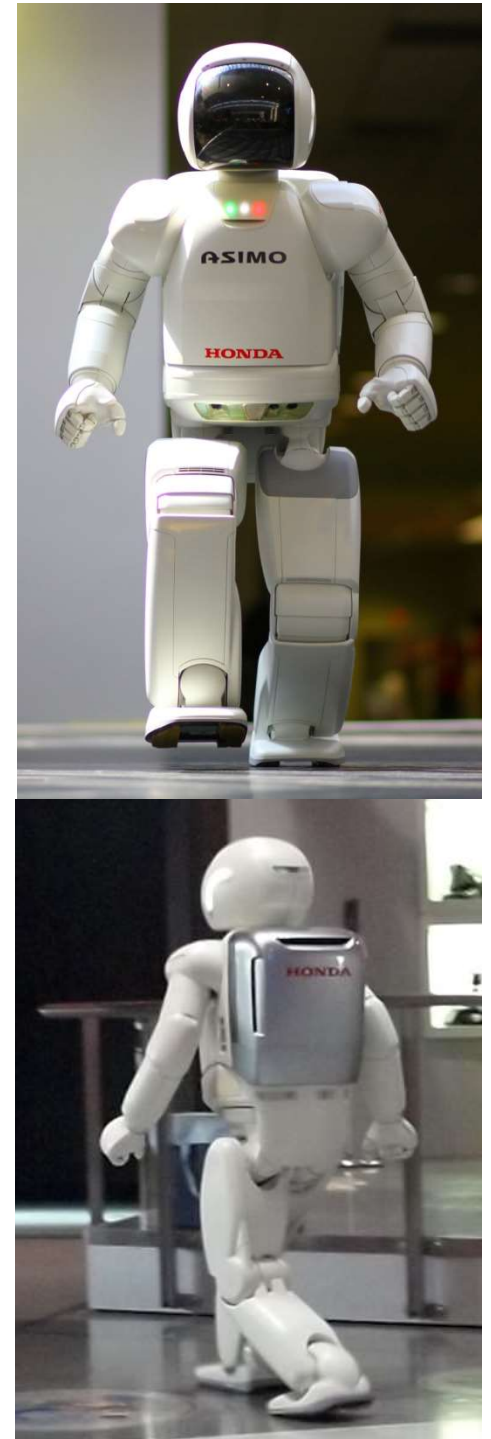
1. Što se podrazumijeva pod pojmom industrijski robot?
2. Kako se nazivaju osnovni članci, a kako zglobovi robotske ruke?
3. Koje su najčešće primjene robota?
4. Koje su osnovne konfiguracije robota i od kojih tipova zglobova se sastoje? Kakav im je radni prostor?
5. Koji su osnovni načini kretanja završnog mehanizma?
6. Koliki broj stupnjeva slobode gibanja određuje položaj, a koliki orijentaciju završnog mehanizma?
7. Koji oblici gibanja određuju orijentaciju alata i kako su definirani u prostoru?
8. Kako su definirani pojmovi ponovljivost, preciznost i točnost kod robota?
9. Koje su osnovne karakteristike školskog robota RHINO XR-3?
10. Kakva je uloga robota u fleksibilnoj automatizaciji proizvodnje?

Civilne primjene i vrste robota

- osim industrijskih robota neke od najčešćih civilnih primjena i vrsta robota su:
- **humanoidni roboti** - napravljeni da izgledaju i ponašaju se kao ljudi, muškog (**android**) ili ženskog (**ginoid**) spola (npr. ASIMO, TOPIO, EveR-2, Repliee Q1 i Q2, Atlas)
- **medicinski roboti** (npr. FRIEND, kirurški sustav da Vinci) i **kiborzi** (npr. C-Leg, umjetno srce, BCI)
- **uslužni i kućni roboti** (npr. Roomba, Robomow RL1000, Digit) **te roboti za skladišta** (npr. Handle, Stretch)
- **roboti za svemirska** (npr. Robonaut) **i ostala istraživanja** (npr. Spot)
- **školski roboti** (npr. Lego Mindstorms, Pepper, NAO)
- **robotske igračke** (npr. AIBO, Paro)

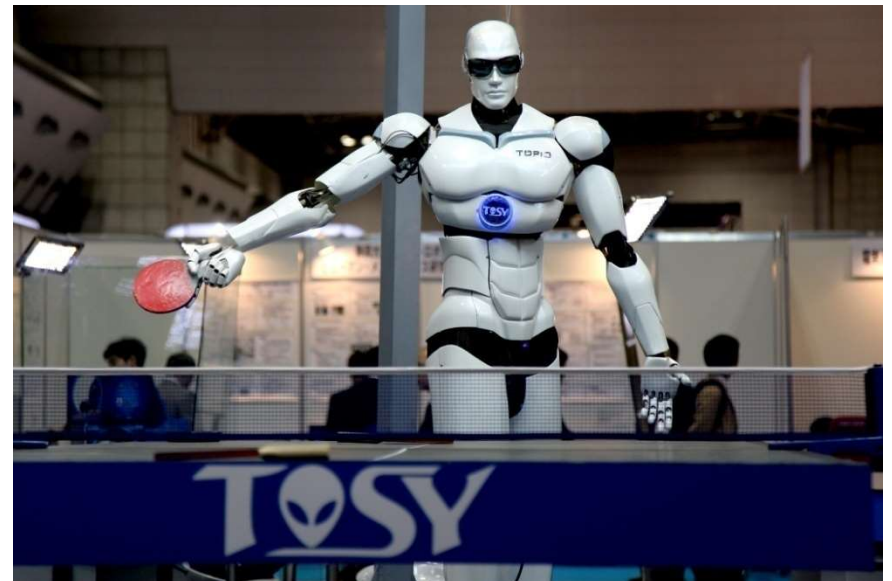
ASIMO

- **ASIMO** (Advanced Step in Innovative Mobility) - dvonožni humanoidni robot koji razvija tvrtka Honda od 2000. godine
- multi-funkcionalan pokretni pomagač osobama smanjene pokretljivosti koji je stvoren za rad u realnim uvjetima - dvije kamere u glavi detektiraju prepreke u prostoru, podlogu detektira kombinirani senzor u donjem dijelu torza (laserski senzor određuje površinu podloge, a infracrveni senzor detektira oznake na tlu koje se koriste za određivanje položaja u prostoru i navigaciju), ultrazvučni senzori (prednji u donjem dijelu torza i stražnji na dnu ruksaka) određuju prepreke
- može prepoznati objekte u pokretu, zvukove, glasovne naredbe na engleskom i japanskom jeziku, lica i ljudske geste, što mu omogućuje interakciju s ljudima
- verzija iz 2011. ima visinu 130 cm, masu 48 kg, 57 stupnjeva slobode gibanja, može hodati na način sličan ljudskom hodu brzinom do 2.7 km/h i trčati brzinom do 9 km/h u trajanju od 1 sata uz napajanje Li-ionskom baterijom



TOPIO

- **TOPIO** (TOSY Ping Pong Playing Robot) - dvonožni humanoidni robot stvoren za igranje stolnog tenisa protiv čovjeka - koristi algoritme umjetne inteligencije za učenje i konstantno napredovanje u igri
- razvila ga je robotička tvrtka TOSY iz Vijetnama 2005., a javnosti je predstavljen 2007.
- sposobnost raspoznavanja objekata koji se brzo kreću, mehanički sustav male inercije, brzo i točno upravljanje pokretima, balansirano dvonožno hodaње
- TOPIO 3.0 (2009.) - visine 1.88 m, mase 120 kg, 39 stupnjeva slobode gibanja, 2 noge, DC servo motori, 2 vrlo brze kamere



EveR-2, Repliee Q1 i Q2

- **actroid** - humanoidni robot koji je izgledom jako sličan ljudima i može izražavati ljudske emocije
- **EveR-2** - prvi humanoidni robot koji može pjevati i plesati - razvijen u Južnoj Koreji
- razvijani od 2003. u Japanu na Sveučilištu Osaka i u tvrtci Kokoro
- **Repliee Q1** (2005) - 42 pokretna mjesta u gornjem dijelu tijela (precizno servo upravljanje tlaka zraka kod aktuatora omogućuje glatke pokrete bez trzaja) koji pomoću algoritama umjetne inteligencije omogućuju oponašanje dijela ljudskog ponašanja (manje promjene položaja tijela, pokreti glave i očiju, disanje, treptanje, pričanje) te prepoznavanje i reagiranje na dodir, zvukove i govor
- **Repliee Q2** (2006) - realističniji pokreti

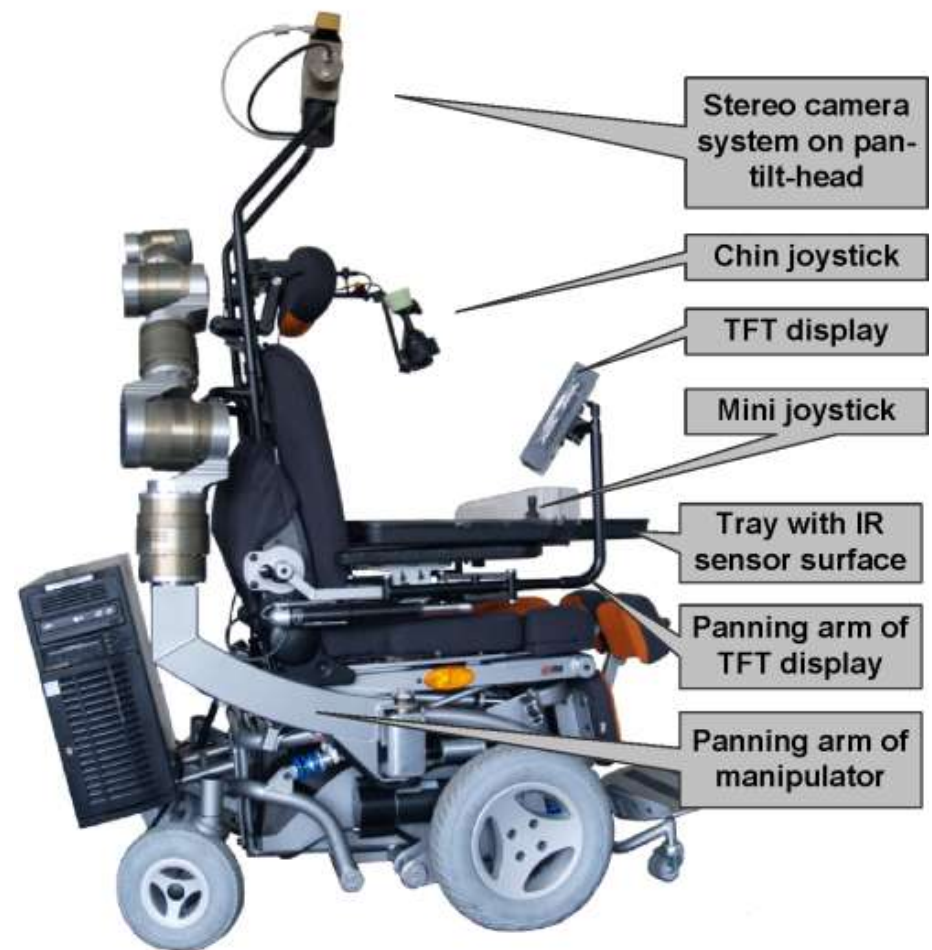


- **Sophia** je **humanoidni** robot koji je razvila tvrtka Hanson Robotics iz Hong Konga u veljači 2016. godine - u listopadu 2017. godine je kao prvi robot dobila državljanstvo Saudijske Arabije, što je privuklo pažnju, ali je često bilo kritizirano
- **socijalni** ili **društveni robot** stvoren za socijalna druženja sa starijima u domovima za starije i nemoćne, u zdravstvenim institucijama, korisničkim službama ili obrazovanju
- izgleda slično čovjeku, imitira ljudske geste i više od 60 izraza lica prilikom razgovora te pokušava komunicirati prirodnim jezikom - "**chatbot s licem**"
- koristi algoritme umjetne inteligencije za slijeđenje izraza lica, prepoznavanje emocija i robotske kretnje stvorene dubokom neuronskom mrežom
- robotski računalni program obrade vida obrađuje podatke iz kamera u očima robota te daje robotu vizualne informacije o njegovoj okolini - robot može slijediti lica, zadržavati kontakt očima i prepoznavati osobe
- robot obrađuje govor i razgovara pomoću podsustava prirodnog jezika - dijalog gradi pomoću stabla odlučivanja, pri čemu program umjetne inteligencije analizira razgovor te izdvaja podatke za poboljšanje odgovora u budućnosti
- **Sophia** je u razgovoru konceptualno slična računalnom programu **ELIZA** koji je bio jedan od prvih pokušaja simulacije ljudskog razgovora 1964. godine na MIT-u - program je bio napravljen kako bi davao prethodno napisane odgovore na specifična pitanja ili fraze, kao bot - ti su odgovori stvarali iluziju da robot razumije razgovor
- u siječnju 2018. godine Sophia je nadograđena funkcionalnim nogama s mogućnošću hoda



Robot za medicinsku skrb FRIEND

- robotski sustav za medicinsku skrb **FRIEND** (engl. **F**unctional **R**obot arm with user-fr**IEN**dly interface for **D**isabled people) - poluautonomni robot stvoren za pomoć invalidnim ili starijim osobama u njihovim svakodnevnim aktivnostima, npr. priprema i posluživanje obroka - omogućuje paraplegičarima, paraliziranim ili slabo pokretljivim pacijentima nakon moždanog udara izvođenje svakodnevnih zadataka bez pomoći drugih ljudi (terapeuta ili medicinskih sestara)
- razvijen na Sveučilištu Bremen u Njemačkoj - sastoji se od električnih invalidskih kolica opremljenih sljedećim komponentama: laganom robotskom rukom LWA3 sa 7 stupnjeva slobode gibanja i protetičkom rukom SensorHand Speed sa senzorima sile za hvatanje objekata i otkrivanje prepreka, TFT monitorom, pametnim pladnjem s infracrvenim senzorima na koje manipulator stavlja objekte, 2 stereo kamere montiranim iznad glave pacijenta, računalnim sustavom, ulaznim uređajima (upravljač za bradu i ruku, upravljanje govorom, mozgom i očima), infracrvenom upravljačkom jedinicom iznad glave za bežičnu komunikaciju s različitim uređajima u robotskom okruženju



Kirurški sustav da Vinci

- robotski kirurški sustav stvoren za izvođenje složenih i minimalno invanzivnih kirurških operacija, a teoretski bi se mogao koristiti za kirurške operacije na velikim udaljenostima
- sastoji se od kirurške upravljačke konzole s koje kirurg upravlja sa 4 interaktivne robotske ruke na pokretnim kolicima - 3 ruke drže EndoWrist odvojive kirurške instrumente, a 4. robotska ruka ima endoskopsku kameru s dvije leće koja kirurgu omogućava stereoskopski vid s konzole
- kirurg sjedi za konzolom i gleda trodimenzionalnu sliku operacije, pri čemu pomiče robotske ruke pomoću 2 nožne papučice i 2 ručna upravljača, a njegove pokrete računalni sustav skalira u mnogo preciznije mikropokrete kirurških instrumenata



Medicinski kiborzi

- **kiborg** - kibernetički organizam koji se sastoji od umjetnih i prirodnih dijelova, tj. organizam koji ima poboljšane sposobnosti zahvaljujući tehnologiji - osoba s bioničkim ili robotskim implantantima (C-Leg, umjetno srce, BCI)
- u medicini postoje dvije vrste kiborga - nadomjestni (engl. restorative) i poboljšani (engl. enhanced)
- **nadomjestna** tehnologija zamjenjuje izgubljene funkcije, organe ili udove - popravak izgubljenih procesa za povratak na zdravu ili prosječnu razinu funkcionalnosti određenih dijelova tijela, pri čemu nema poboljšanja u odnosu na originalne sposobnosti koje su izgubljene
- **poboljšani** kiborg prati princip maksimalne iskoristivosti - maksimalan izlaz (dobivene informacije ili modifikacije) i minimalan ulaz (energija potrošena u procesu) - žele se povećati normalne sposobnosti ili čak dobiti nove sposobnosti koje osoba prije nije imala

Medicinski kiborzi

- **umjetna noga C-Leg** - zamjena za ljudsku nogu koja je bila amputirana kao posljedica bolesti ili ozljede - razvijena u laboratorijima Otto Bock HealthCare organizacije
- upotrebom senzora, hidraulike i mikroprocesora, C-Leg pomaže u hodanju pokušavajući replicirati korisnikov prirodni hod kakav je bio prije amputacije
- napajanje pomoću Li-ionske baterije koja može trajati do 45 sati
- **umjetno srce** - protetički uređaj koji se implantira u tijelo za nadomještanje (TAH) ili poboljšanje biološkog srca (CAD) - TAH (engl. Total Artificial Heart) potpuno zamjenjuje ljudsko srce, a uz CAD (engl. Cardiac Assist Device) se pacijentovo srce ne odstranjuje tokom implantacije
- **BCI** (engl. Brain-Computer Interface) - omogućuje izravno povezivanje mozga i vanjskog uređaja - elektrode implantirane izravno u sivu koru mozga za obnavljanje oštećenog vida kod slijepih i pružanje pokretljivosti kod paraliziranih osoba



Uslužni i kućni roboti

- **uslužni roboti** su vrlo često višenamjenski (npr. vodiči u muzeju danju i zaštitari noću, **Wakamaru**), mobilni s nošenjem vlastitih baterija, autonomni u radu i kretanju u poznatom prostoru
- mogu koristiti elektronička vrata i dizala te izvoditi ostale osnovne zadatke, prepoznavati ljude i objekte, komunicirati s ljudima (npr. govorom), pružati usluge pratnje, provjeravati kvalitetu okoliša, reagirati na alarme i prenositi stvari
- **kućni roboti** su jednostavniji autonomni roboti koji izvršavaju osnovne, neželjene kućne poslove, npr. usisavanje prašine (**Roomba**, 2002), pranje podova ili košenje trave (**Robomow RL1000**)



- uslužni i školski robot **Pepper** je izradila francuska tvrtka Aldebaran Robotics (sadašnja SoftBank Robotics) 2014. godine - proizvodnja robota je privremeno obustavljena u lipnju 2021. godine do kada je izrađeno oko 27000 komada
- robot je stvoren za prepoznavanje emocija i osoba, što se temelji na detekciji i analizi izraza lica i tona glasa
- može prepoznati osobu i komunicirati s njom na nekom od 15 jezika, pri čemu ekran osjetljiv na dodir na njegovim prsima predstavlja sadržaj razgovora kako bi istaknuo poruke i podržao govor
- koristi se kao uslužni robot na recepcijama tvrtki, u zdravstvenim institucijama i školama, a zbog otvorene i potpuno programabilne platforme pogodan je za upotrebu u istraživačkim i obrazovnim institucijama
- ima ukupno 20 stupnjeva slobode gibanja, visok je 120 cm, težak 28 kg, a može se kretati brzinom do 3 km/h
- na glavi ima 4 mikrofona, 2 HD kamere (u ustima i na čelu) i 3D senzor dubine iza očiju
- u torzu ima žiroskop i senzore dodira na glavi i rukama, a u mobilnoj bazi ima 2 sonara, 6 lasera, 3 senzora dodira i žiroskop, što mu omogućava autonomnu navigaciju u prostoru i kretanje u svim smjerovima



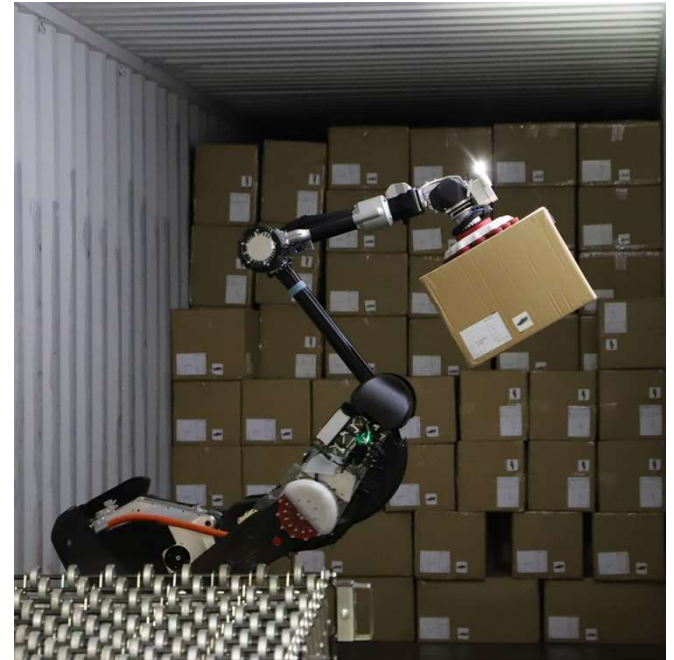
- dvonožni robot **Digit** je tvrtka **Agility Robotics** iz SAD-a predstavila u veljači 2019. godine
- namijenjen je za samostalan rad u složenim radnim sredinama umjesto ljudi ili zajedno s njima, npr. za pomoć u kući, dostavu paketa (zajedno s autonomnim vozilima tvrtke Ford)
- može samostalno hodati i trčati, penjati se po stepenicama, snalaziti se u nestrukturiranoj okolini te podići i nositi teret do 18 kg
- u gornjem dijelu su integrirani senzori, računalni dio s barem 2 višeezgrenata procesora i dvije ruke sa 4 stupnja slobode gibanja, a noge s 2 stupnja slobode gibanja omogućuju dobru ravnotežu i stabilnost na različitim površinama - zglobovi su potpuno zaštićeni kako bi se mogao koristiti za rad na otvorenom po svim vremenskim uvjetima
- sveobuhvatno aplikacijsko programsko sučelje koje obuhvaća algoritme upravljanja, analize okoline i autonomnog kretanja - može mu se pristupiti direktno na robotu ili bežično



- tvrtka **Boston Dynamics** iz SAD-a je osnovana 1992. godine od strane MIT-a, a od lipnja 2021. je u vlasništvu Hyundai Motor grupe
- **noviji roboti** - Atlas, Spot, Handle, Stretch
- **Atlas** je dvonožni humanoidni robot s rasponom kretnji i dinamičkih mogućnosti većih od prosječnih ljudskih (npr. salto unazad) - predstavljen u veljači 2016. kao najkompaktniji hidraulički sustav s 28 hidrauličkih zglobova, visinom 1.5 m i masom 89 kg
- složen sustav upravljanja omogućava mu vrlo različite i brze kretnje (2.5 m/s)
- koristi 3D ispisane dijelove za smanjenje mase i povećanje snage koje su potrebne kod skokova i salta
- četveronožni robot **Spot** u obliku psa predstavljen u lipnju 2016. godine - od lipnja 2020. postao javno dostupan za nabavu po cijeni 74500 USD
- koristi se za različite samostalne inspekcijske zadatke i skupljanje podataka zbog izvrsne pokretljivosti i stabilnosti na različitom terenu - s masom samo 25 kg može ponijeti do 14 kg mjerne opreme
- može se upravljati na daljinu pomoću aplikacija na tabletu zbog ugrađenih stereo kamera
- ima punjivu bateriju (s kojom može prijeći udaljenost do 1 km) ili vlastiti punjač
- komunikacija s robotom - bežično na 2.4 GHz ili preko standarda 802.11ac

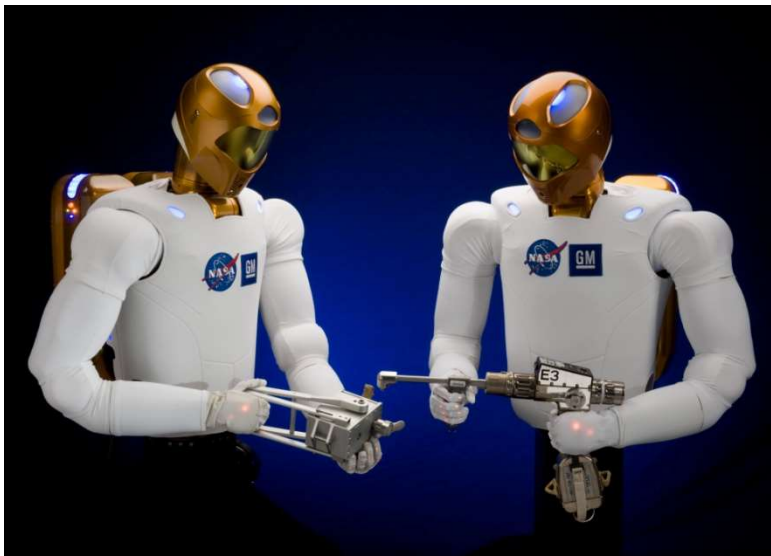


- robot **Handle** koji je predstavljen 2017. godine može istovarivati teret na palete dok dinamički balansira na dva kotača
- ima dvije fleksibilne noge na kotačima i ruku s pneumatskom hvataljkom za premještanje objekata
- može biti visok 2 m, kretati se brzinom 14 km/h i skočiti 1.2 m u vis
- koristi baterije za pogon različitih električnih i hidrauličnih motora, uz kretanje dugo oko 25 km u jednom punjenju baterije
- ima samo 10 pokretanih zglobova pa je znatno dinamički jednostavniji od ostalih robota, ali vrlo pokretan
- Atlas, Spot i Handle zajedno „plešu” - <https://www.youtube.com/watch?v=fn3KWM1kuAw>
- razvoj robota Handle doveo je do robota **Stretch** koji je predstavljen krajem ožujka 2021. kao robot za automatizaciju skladišta
- robot sa 7 stupnjeva slobode gibanja i velikim dosegom koji je pogodan za velike radne prostore, kamione i palete
- ugrađeni senzori i aktivno upravljanje omogućuju rad pri velikim brzinama, s velikom točnošću i različitim paketima - može podignuti teret teži od 22 kg pomoću hvataljke u obliku polja vakuumskih držača
- mobilna baza može se pomicati u bilo kojem smjeru za izbjegavanje prepreka i objekata, pri čemu mali tlocrt robotu omogućava smjestiti se bilo kuda kao i paleta
- pogon na baterije velikog kapaciteta izdrži operećenje cijele radne smjene, a može se priključiti i na fiksni izvor napona za neprekidan rad



Robonaut

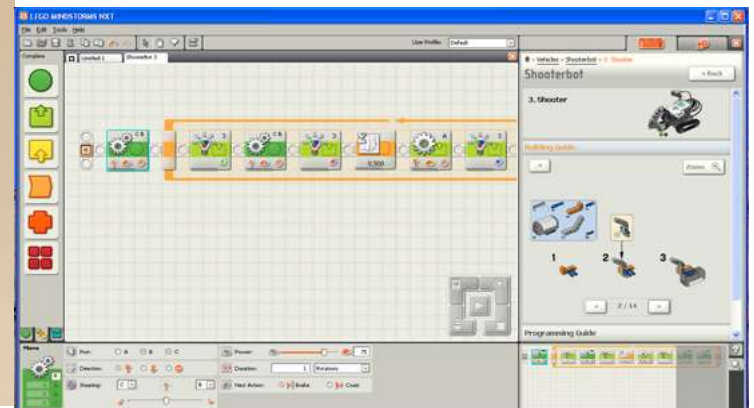
- humanoidni robotski projekt koji razvija NASA u SAD od 1997., a namijenjen je zajedničkom radu s astronautima - robot može koristiti alate za rad u svemiru kao i astronauti - robotska ruka ima 12 stupnjeva slobode gibanja i 2 stupnja u šaci te 3D prikazivač leta, stereo kameru i preko 350 senzora (uključujući senzore dodira na vrhovima prstiju)
- verzija Robonaut 2 (R2) je razvijena 2010. i poslana na svemirsku postaju 2011. - njime mogu upravljati na daljinu astronauti iz svemirske postaje i ne zahtijeva neprestani nadzor, ali još nema odgovarajuću zaštitu za rad izvan svemirske postaje i dijelove za kretanje unutar postaje





Lego Mindstorms

- programabilni robotski set LEGO dijelova razvijen 2006. - platforma za razvoj statičnih ili pokretnih robota



- sastoji se od centralne jedinice (NXT 2.0 inteligentna kocka) s 32-bitnim mikroprocesorom, 3 servo motora, senzora dodira, senzora boje i ultrazvučnog senzora udaljenosti, 6 AA baterija za napajanje
- senzori i motori se na centralnu jedinicu spajaju putem kabela s RJ-11 konektorima, a inteligentna kocka se na računalu spaja pomoću USB kabela (ponuđena je i Bluetooth komunikacija s računalom ili mobitelom) - programira se u grafičkom programskom jeziku NXT-G

AIBO

- AIBO (engl. **A**rtificial **I**ntelligence ro**B**ot, na japanskom znači ljubav ili privrženost) - ime robotskog psa kojeg je stvorila japanska tvrtka Sony 1999. godine
- autonomni robot koji je sposoban samostalno se kretati koristeći senzore za vid te senzore za otkrivanje prepreka
- robot Aibo je sposoban prepoznati izgovorene naredbe te svog vlasnika po glasu i izgledu
- Aibo je sposoban naučiti nove vještine kroz vanjske stimulanse ili kroz posebne programe napisane u programskom jeziku R-code koji je razvila tvrtka Sony
- novije verzije Aiba opremljene su bežičnom ethernet vezom koja omogućava njegovo spajanje na LAN



- **NAO** je autonomni, programabilni, dvonožni humanoidni školski robot i igračka koji je izrađen 2006. godine i javno prikazan 2008. godine od francuske tvrtke Aldebaran Robotics (sadašnja SoftBank Robotics), a 6. verzija robota je prikazana 2018. godine
- najčešće se koristi kao školski robot te za ranu detekciju autizma kod djece
- od 2008. NAO je zamijenio Sonyjevog robot-psa AIBO-a kao robota koji se koristi u RoboCup-u (međunarodnom natjecanju robotskog nogometa)
- ima ukupno 25 stupnjeva slobode gibanja, visok je 58 cm, a težak 5.48 kg
- 7 senzora dodira mu je smješteno na glavi, rukama i nogama, što mu zajedno sa ultrazvučnim senzorima i jedinicom za mjerenje inercije omogućuje stabilnost, spoznavanje okoline i svog položaja u prostoru
- 4 usmjerena mikrofona i 2 zvučnika mu omogućavaju bolju lokalizaciju izvora zvuka i prepoznavanje govora, a time interakciju s ljudima na 20 jezika
- dvije 2D kamere služe za prepoznavanje oblika, objekata i lica ljudi
- robot NAO je upravlján pomoću OS temeljenog na Linuxu, a kompatibilan je s Windowsom i Mac OS
- robot ima otvorenu i potpuno programabilnu platformu, a za programiranje robota se mogu koristiti različiti programski jezici ili programi (C++, Python, Java, MATLAB, Urbi, C, .Net)



- **Paro** je terapijski robot u obliku plišanog mladunca tuljana - vrlo je dražestan pa kao takav ima umirujući efekt i izaziva pozitivne emocije kod pacijenata s depresijom i uznemirenošću u bolnicama te zaboravljivim starijim pacijentima u domovima
- razvoj započeo u Japanu 1993. i stajao 15 miliona USD, a prvi puta je pokazan javnosti 2001.
- sadrži 32-bitni procesor, tri mikrofona, 12 senzora dodira u krznu, brkove osjetljive na dodir i osjetljiv sustav motora i aktuatora koji tiho pokreće njegove udove i tijelo
- reagira na draganje pokretom repa te otvaranjem i zatvaranjem očiju, aktivno traži vizualni kontakt sa čovjekom, reagira na dodir, glađenje, pamti lica i uči najpoželjnija ponašanja, reagira na zvukove, može zapamtiti imena (uključujući vlastito), simulira osjećaje (iznenađenje, sreća, ljutnja), proizvodi zvukove mladunca tuljana, aktivan je danju i spava po noći



Uvodna razmatranja

- Osnovna pitanja pri donošenju odluke o izgradnji sustava automatskog upravljanja:
 - Zašto upravljati?
 - Koje ciljeve želimo postići upravljanjem?
 - Gdje upravljati?
 - Uočiti upravljive procesne veličine kojima se utječe na proces
 - Na koji način upravljati?
 - Odabrati prikladnu koncepciju upravljanja (strukturu i parametre regulatora) na temelju znanja o ponašanju procesa, po mogućnosti izraženog matematičkim modelom
 - Prikladna znači: najjednostavnija moguća koja ispunjava zahtjeve postavljene na sustav upravljanja

Zahtjevi na sustav upravljanja

- Zahtjevi na sustav upravljanja tehničkim procesom (4):
 - sigurnost rada procesa (osigurati upravljanjem da bilo koji dio procesa ne dođe u potencijalno opasno stanje za čovjeka i okolinu)
 - ekonomičnost (što uključuje i racionalno trošenje energenata)
 - održavanje procesa unutar tehnoloških ograničenja pri djelovanju raznih poremećaja
 - održanje količine i kakvoće proizvoda (obično određeno zahtjevima tržišta)
- U svim fazama razvoja sustava upravljanja bitna je suradnja s procesnim tehnolozima
 - oni poznaju proces i koristit će ga nakon izgradnje sustava upravljanja

Matematički modeli procesa

- Za uspješno projektiranje sustava upravljanja neophodno je dobro poznavanje vladanja procesa
- Pristup postavljanju matematičkog modela procesa:
 - 1. Proučiti proces – spoznati fizikalne (i kemijske) zakonitosti djelovanja u procesu (npr. tokove materijala, tokove energije)
 - 2. Opis zakonitosti matematičkim jednažbama
- Matematički modeli temelje se na općem principu ravnoteže:

$$[AKUMULACIJA] = [ULAZ] - [IZLAZ] + [UNUTARNJI \text{ PROIZVOD}]$$

$$\begin{bmatrix} PROMJENA \\ AKUMULACIJE \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PROMJENA \\ ULAZA \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} PROMJENA \\ IZLAZA \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PROMJENA \\ UNUTARNJEG \text{ PROIZVODA} \end{bmatrix}$$

Vrste matematičkog modela

- Složenost i točnost matematičkog modela ovise o svrsi kojoj model služi, pa se razlikuju modeli za:
 - Izučavanje fizikalno-kemijskih zakonitosti procesa
 - Detaljno opisuju proces (mikrokinetički opis temeljen na vrlo detaljnom opisu “procesnih operacija”); veliki broj nelinearnih parcijalnih diferencijalnih jednačbi (ili jednačbi diferencija)
 - Procesni nadzor i dijagnostiku
 - Zanimaju se mikrokinetički fenomeni – detaljni makrokinetički model
 - Sintezu sustava upravljanja procesom
 - Reducirani model koji opisuje dominantno dinamičko vladanje procesa i osnovne interakcije među procesnim veličinama

Strukture sustava automatizacije

- Sustavi za automatizaciju procesa mogu se s obzirom na strukturu klasificirati prema (3):
 - strukturi tehničkog procesa
 - tehnički proces kao kompaktna cjelina (pojedinačne sprave)
 - tehnički proces raščlanjiv na dijelove (složeniji procesi npr. u industriji, energetici, zgradarstvu)
 - razmještajnoj strukturi opreme za automatizaciju
 - centralni razmještaj
 - decentralni razmještaj
 - funkcionalnoj strukturi sustava za automatizaciju (funkcije: nadzor, zaštita, optimiranje, sučelje čovjek-stroj)
 - funkcionalno centralne
 - funkcionalno decentralne

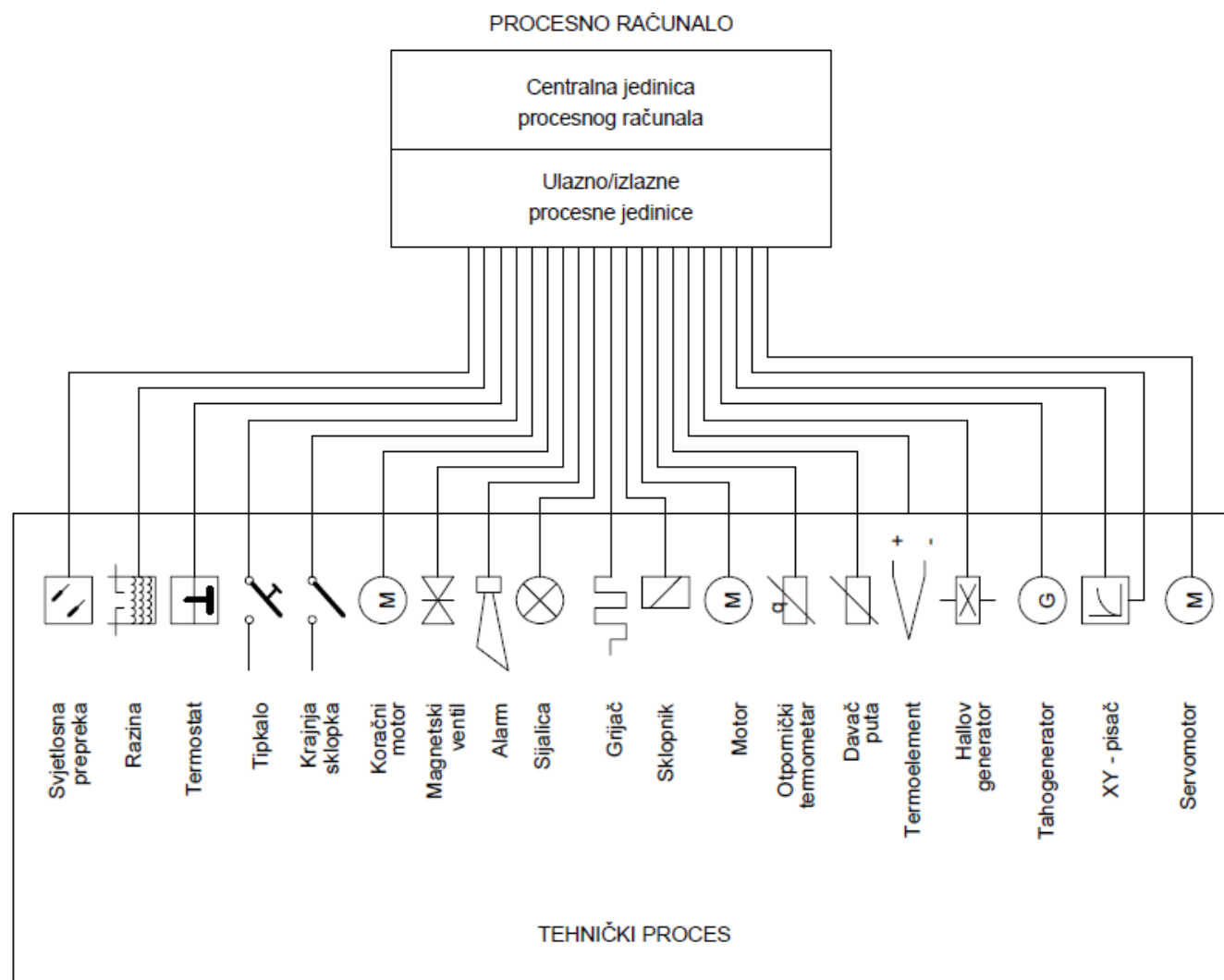
Razmještajno centralna struktura (1)

- U razmještajno centralnoj strukturi sustava za automatizaciju zahtijeva se veliki broj ulazno/izlaznih jedinica procesnog računala
- Ova struktura ima sljedeće prednosti:
 - Brzina prijenosa informacije može biti veoma velika zbog "paralelnog" prijenosa procesnih informacija
 - Manja mogućnost istovremenog djelovanja smetnji na sve signalne vodove

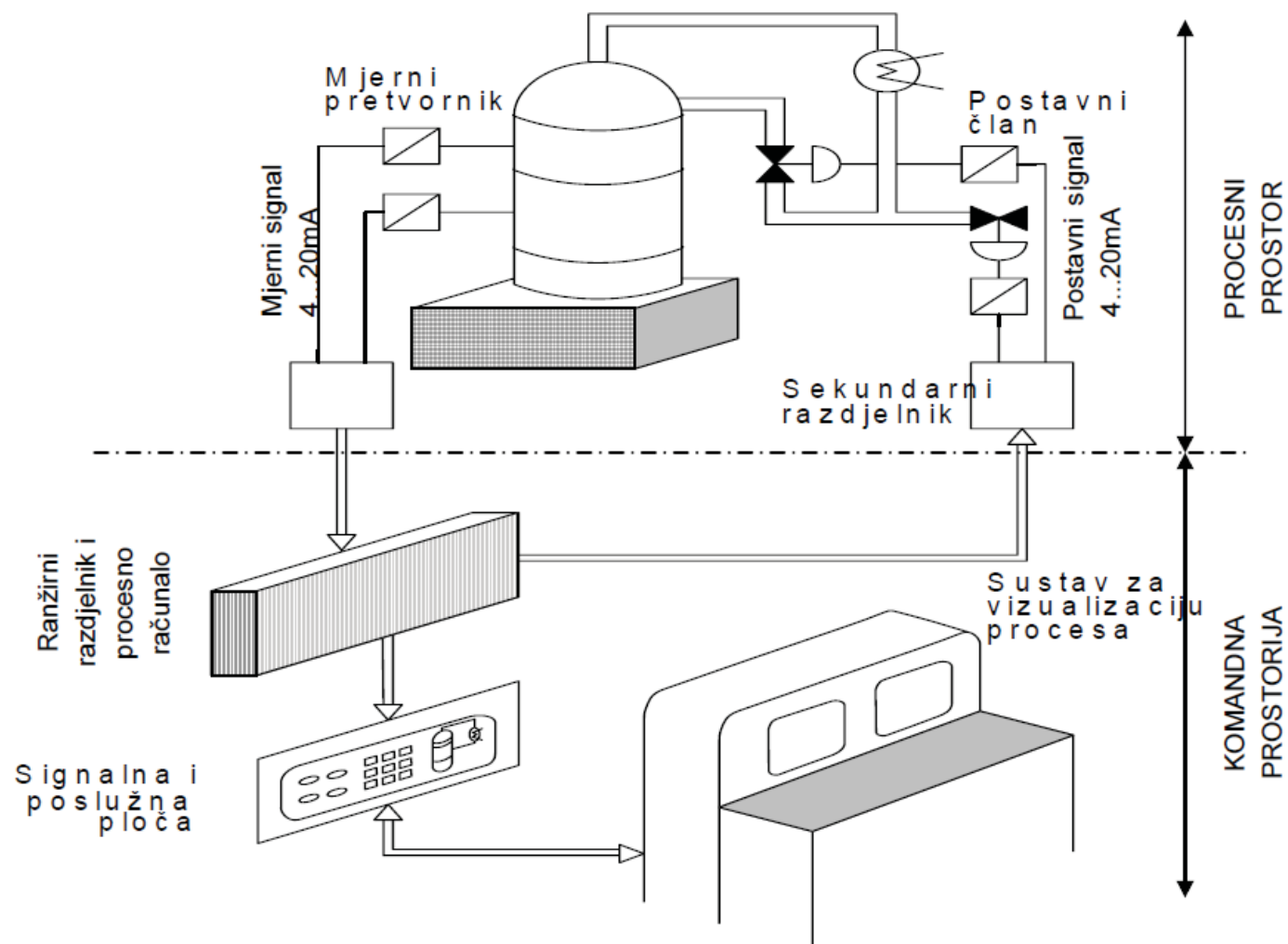
Razmještajno centralna struktura (2)

- Nasuprot ovim prednostima, razmještajno centralna struktura ima sljedeće nedostatke:
 - Troškovi kabeliranja su visoki
 - Kod dugih kabelaških staza postoji opasnost od kapacitivnih i induktivnih smetnji
 - Ova struktura je prikladna samo kod kraćih udaljenosti jer bi inače izdaci za potiskivanje smetnji mogli narasti na veliki iznos

Razmještajno centralna struktura (3)



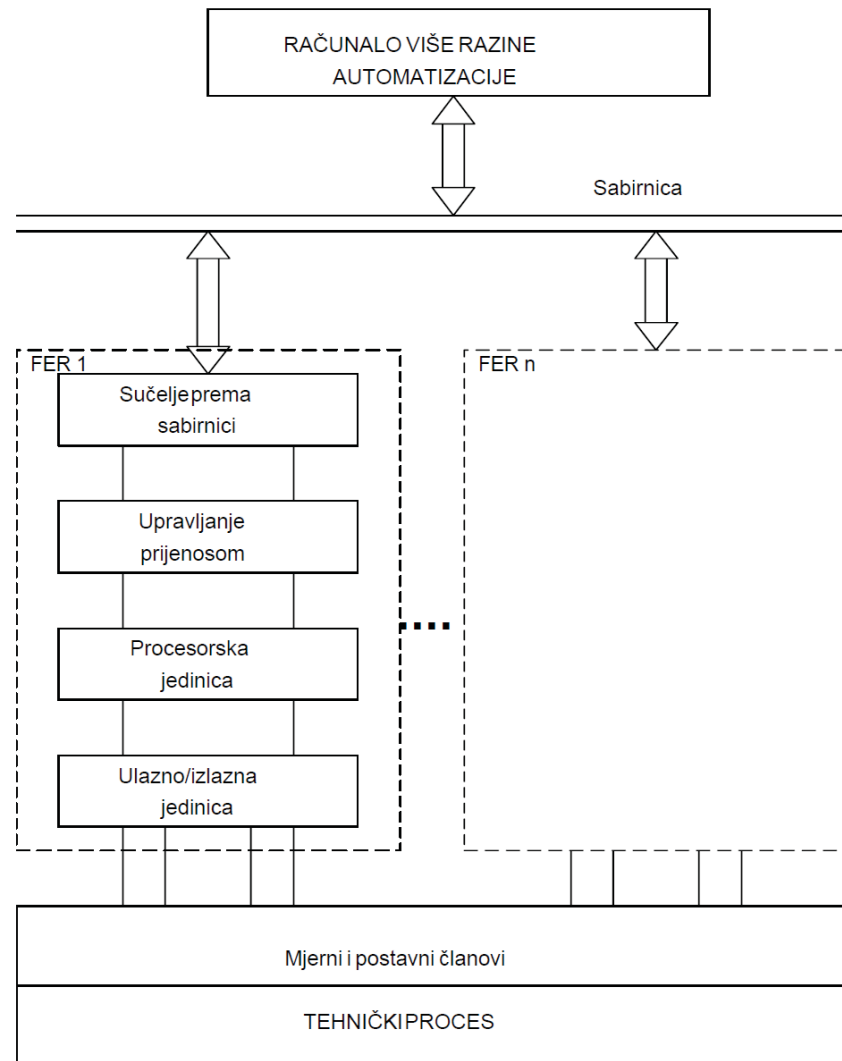
Razmještajno centralna struktura (4)



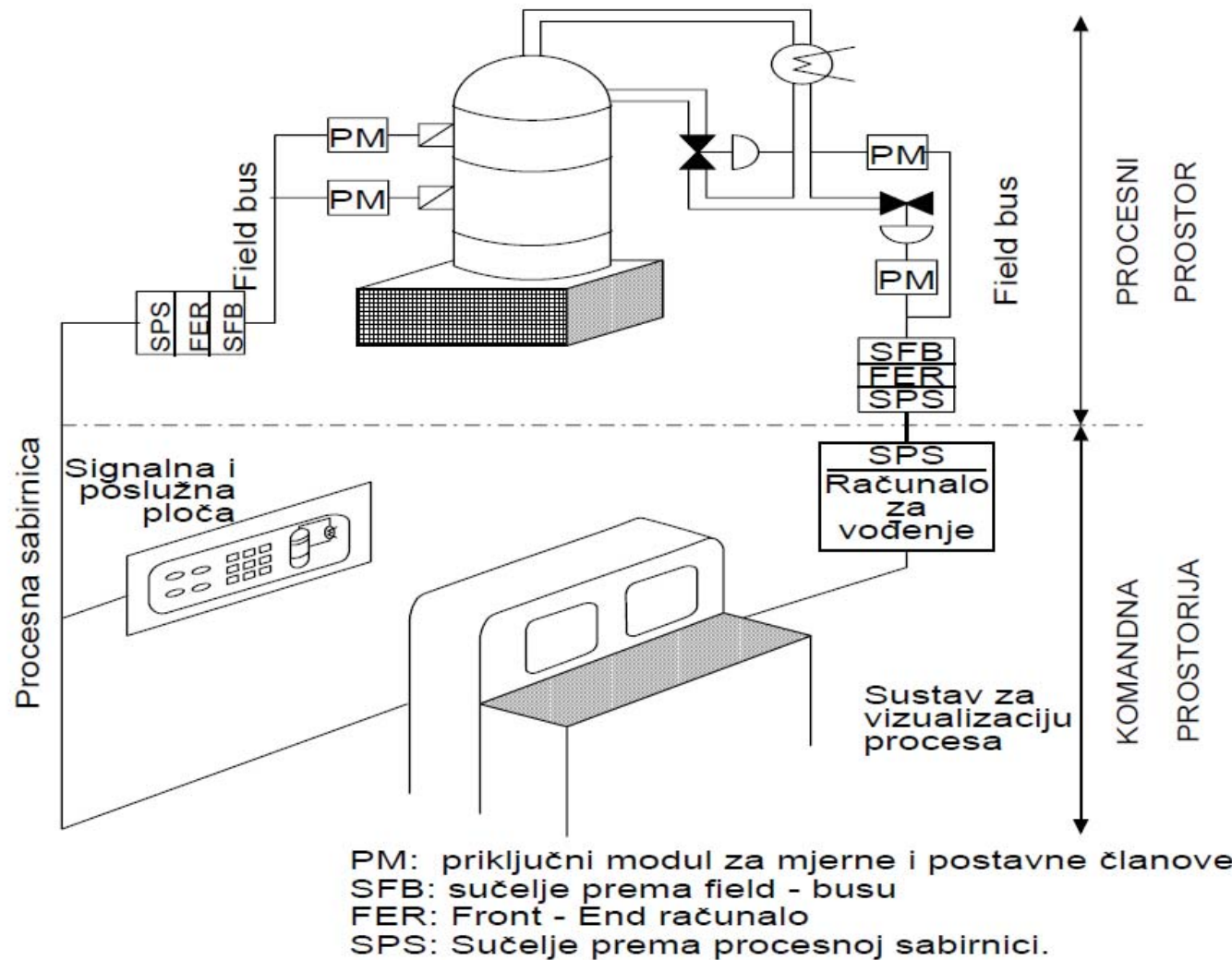
Razmještajno decentralna struktura (1)

- U razmještajno decentralnoj strukturi sustava za automatizaciju pojedine ulazno/izlazne jedinice mogu se postaviti decentralno, blizu tehničkog procesa
- Grupirani signali vode se preko odgovarajućih ulazno/izlaznih komponenata na mikroračunalo (Front- End računalo) koje služi kao decentralno procesno računalo
- U složenim sustavima primjenjuje se i više tisuća takvih Front-End računala
- S obzirom da se decentralna procesna računala smještaju u blizini tehničkog procesa, bitno se mogu smanjiti izdaci za signalne vodove

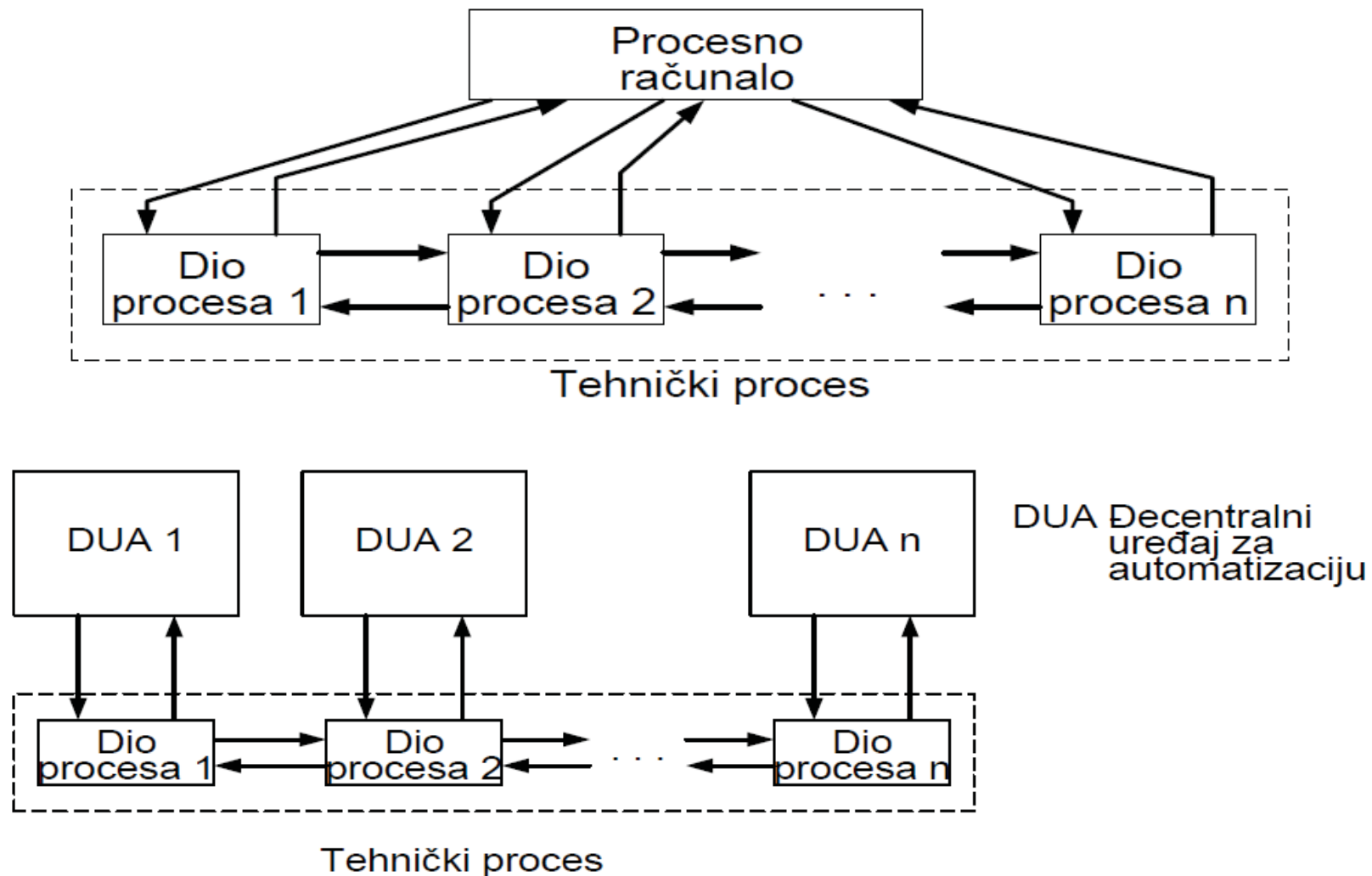
Razmještajno decentralna struktura (2)



Razmještajno decentralna struktura (3)



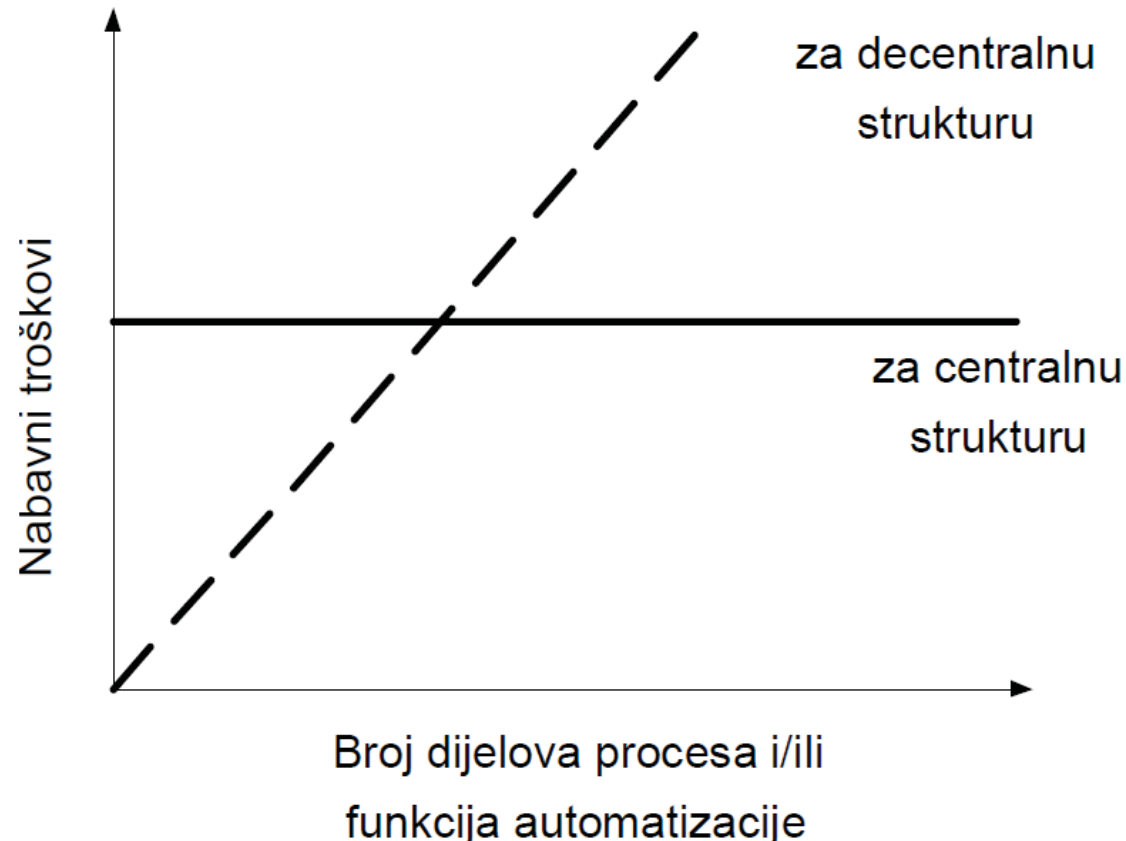
Funkcionalno centralna & decentralna struktura



Usporedba svojstava struktura

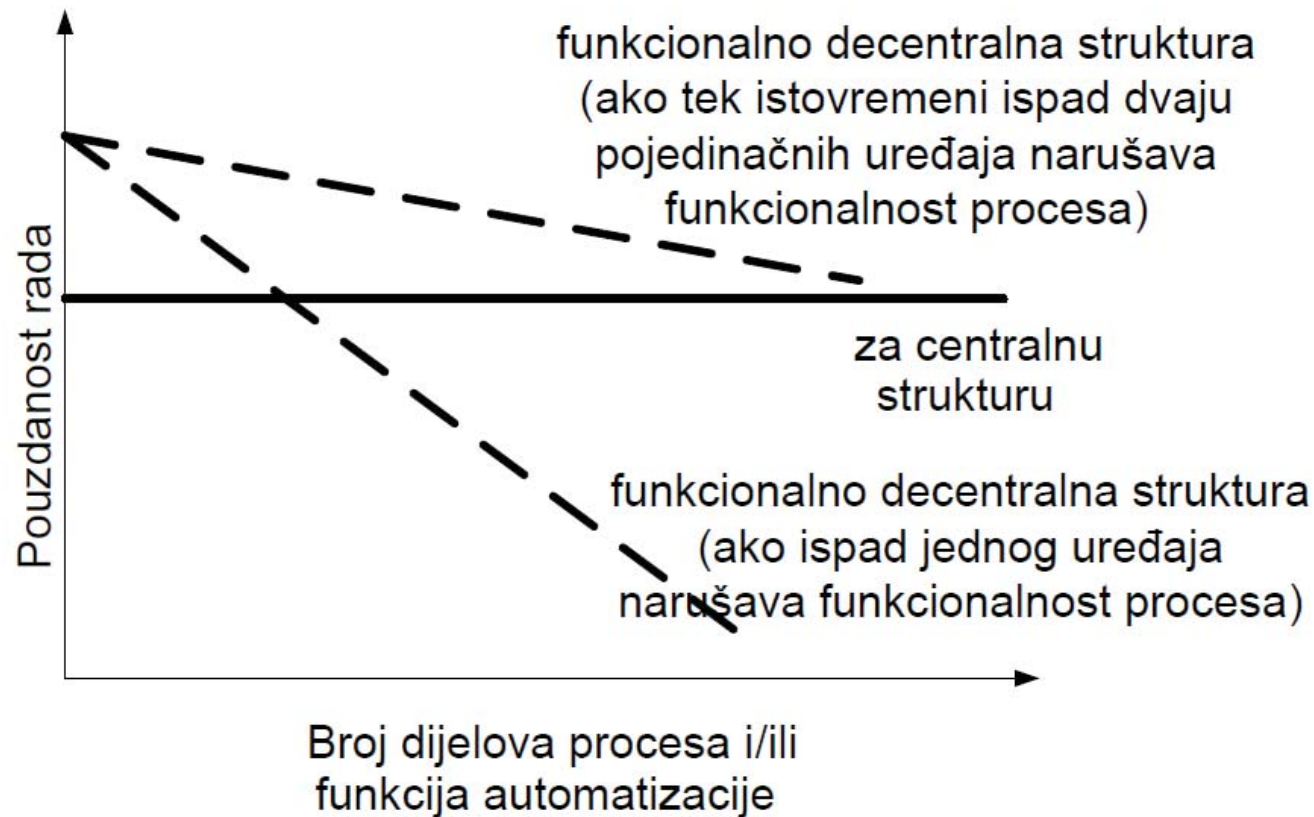
- Kriteriji za usporedbu svojstava struktura sustava automatizacije (u ovisnosti o broju funkcija automatizacije) (6):
 - Troškovi za nabavku opreme, kabela, programske podrške i održavanja
 - Raspoloživost pri ispadu sklopovlja ili pri pogreškama u programskoj podršci
 - Fleksibilnost pri modifikacijama
 - Koordiniranje dijelova procesa i optimiranje cjelokupnog procesa
 - Pouzdanost rada i brzina otklanjanja eventualnih kvarova
 - Komfor pri rukovanju i održavanju

Nabavni troškovi



Usporedba nabavnih troškova za funkcionalno centralnu i funkcionalno decentralnu strukturu sustava automatizacije

Pouzdanost rada



Usporedba pouzdanosti rada tehničkog procesa kod funkcionalno centralne i funkcionalno decentralne strukture sustava za automatizaciju

Ocjena različitih struktura automatizacije

CCC	Tipično za automatizaciju manjih naprava
CDC	Manji troškovi kabeliranja nego za CCC
DCC	Nepovoljno s obzirom na raspoloživost, održavanje i troškove kabeliranja
DDC	Nepovoljno s obzirom na raspoloživost i fleksibilnost
CCD	Povoljno s obzirom na održavanje i fleksibilnost Nepovoljno s obzirom na troškove kabeliranja
CDD	Povoljno s obzirom na fleksibilnost, raspoloživost, troškove kabeliranja i transparentnost
DCD	Povoljno s obzirom na fleksibilnost, raspoloživost Nepovoljno s obzirom na troškove kabeliranja
DDD	Povoljno s obzirom na fleksibilnost, raspoloživost, troškove kabeliranja i transparentnost

Porast decentralizacije

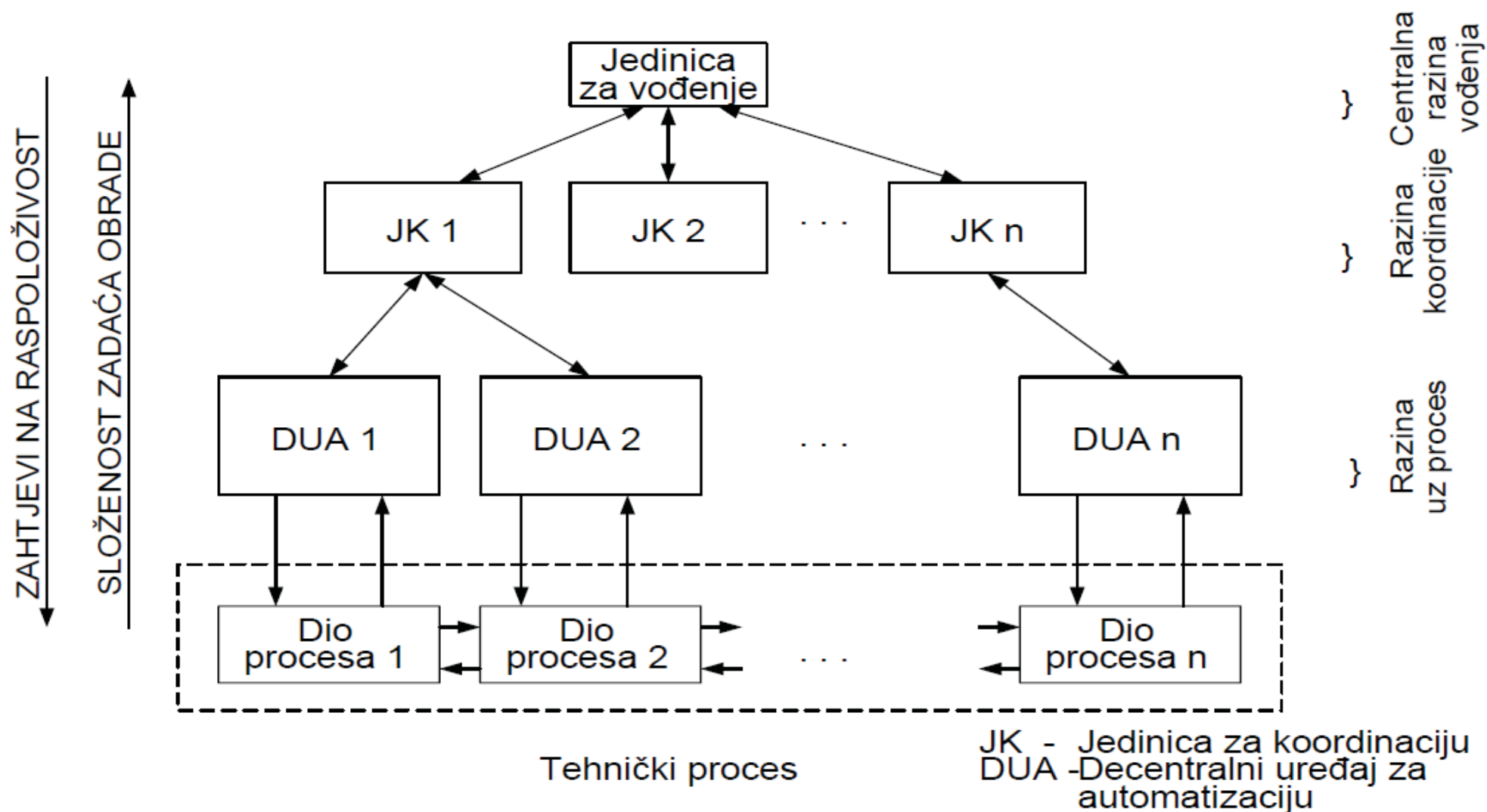


— funkcionalna struktura
 — razmještajna struktura uređaja za automatizaciju
 — struktura tehničkog procesa

C - centralna struktura

D - decentralna struktura

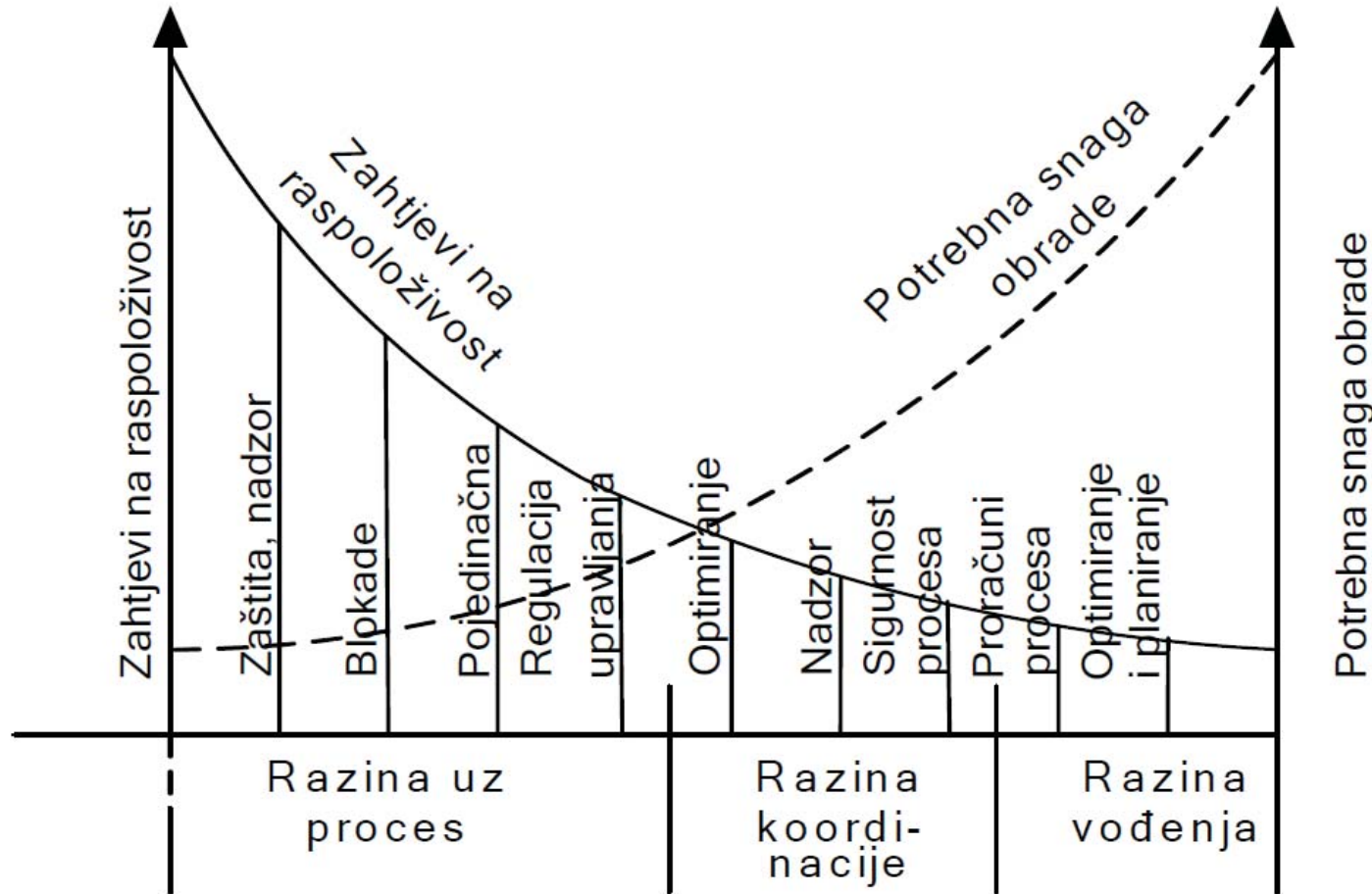
Hijerarhija automatizacije



Funkcije automatizacije & razine hijerarhije

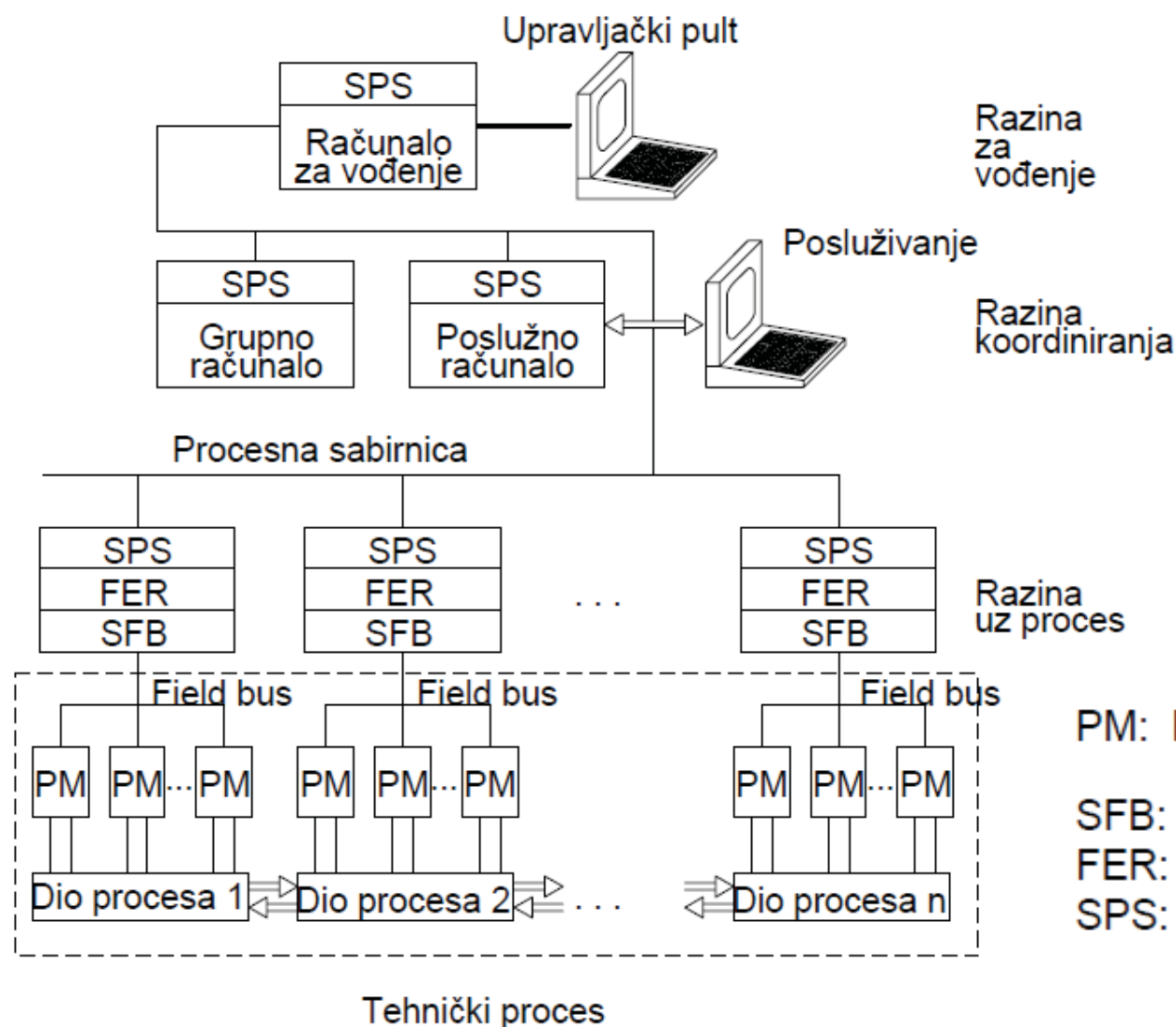
- Ako se pridruže funkcije automatizacije razinama hijerarhije dolazi se do sljedećih podjela:
 - Decentralni uređaji za automatizaciju razine koja je blizu procesa obavljaju zadaće 4. razine vođenja (prikupljanje procesnih stanja, prikupljanje informacija o proizvodnji, upravljanje, regulacija, zaštita, blokade itd). Na ovoj razini su zahtjevi na raspoloživost najveći
 - Uređaji za koordiniranje na razini za koordinaciju, osiguravaju koordiniranje i optimiranje dijelova procesa, te nadzor i sigurnost procesa. Ovo su zadaće automatizacije 3. razine vođenja procesa
 - Uređaj za vođenje na centralnoj razini pridružen je 1. i 2. razini vođenja procesa

Zahtjevi na razine hijerarhije



Zahtjevi na razine hijerarhije s obzirom na raspoloživost i snagu obrade

Hijerarhija sabirnica



PM: Priključni modul za mjerne i postavne članove
SFB: Sučelje prema field busu
FER: Front-End računalo
SPS: Sučelje prema procesnoj sabirnici

Komponente sabirničkog sustava

- Sabirnički sustav sačinjavaju:
 - "Field bus" koji povezuje priključne module PM (mikrokontroler, inteligentni senzori i izvršni članovi) preko Front-End računala s procesnom sabirnicom
 - Procesna sabirnica na sljedećem stupnju hijerarhije koja omogućava komunikaciju FER s uređajima za koordiniranje i vođenje
 - Od ove sabirnice se u pravilu zahtjeva kapacitet prijenosa u području Mbit/s i na udaljenosti u području kilometara
 - Standardizacija sabirnica po područjima primjene (npr. vozila na tračnicama, procesna industrija)

Distribuirani sustavi za automatizaciju procesa

- Hijerarhijski sustav automatizacije - svaki uređaj komunicira samo s njemu pridruženim uređajem sljedeće više razine
- Distribuirani sustav automatizacije - decentralni uređaji za automatizaciju povezani su međusobno te s centralnim uređajima preko komunikacijskog sustava
- S obzirom na mogućnosti međusobne "ispomoći" postavljaju se sljedeći ciljevi u distribuiranim sustavima za automatizaciju:
 - Automatska razdioba zadaća između uređaja za automatizaciju, ako je potrebno
 - Međusobni nadzor radnih sposobnosti uređaja → dijagnoza kvarova
 - Rekonfiguracija uređaja → izolacija i ograničenje kvara (error isolation)
 - Automatska uspostava normalnog stanja nakon otklanjanja kvara (error recovery)
 - Mogućnost nadzora procesa bez primjene centralnog uređaja za automatizaciju

Strukture komunikacije distribuiranih sustava

- Smještaj (razmještaj) sustava za automatizaciju:
 - građevinski uvjeti
 - uvjeti napajanja
 - uvjeti održavanja
 - čim manje učvorenja → veća autonomnost

Izbor odgovarajućeg komunikacijskog sustava

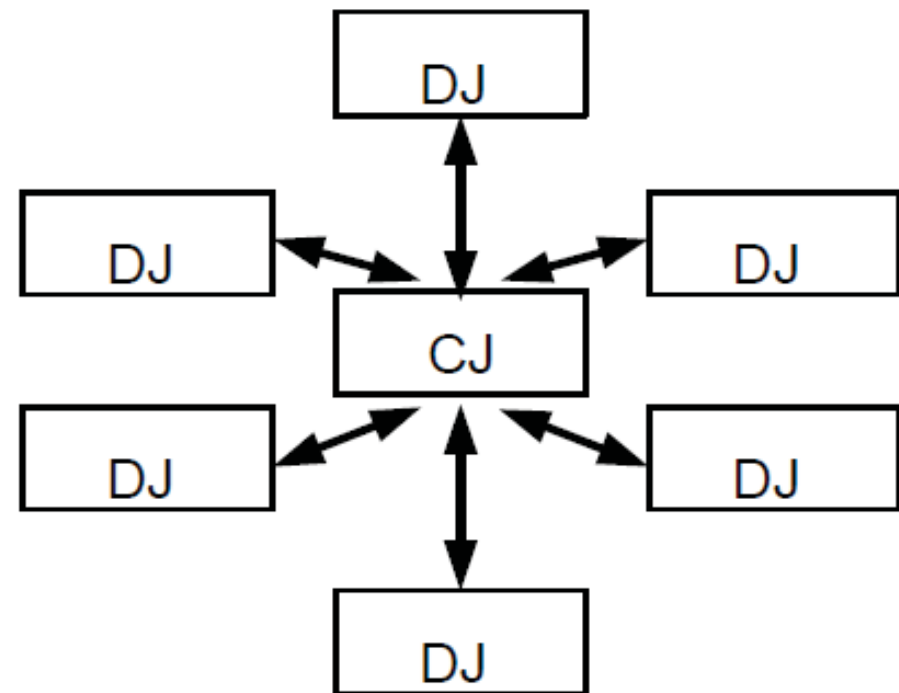
- Pri izboru odgovarajućeg komunikacijskog sustava treba težiti sljedećem:
 - niskim troškovima kabeliranja
 - standardiziranim sučeljima s obzirom na mehaničke (utikači, vodovi), električke (naponske razine) i logičke (prijenosni protokol) uvjete priključenja
 - fleksibilnost pri eventualnim modifikacijama (npr. proširenje broja sudionika)
 - malim zahtjevima na komunikacijske partnere (npr. zahtjevi na memorijski prostor, utrošak vremena računala za prijenos podataka)
 - visokoj raspoloživosti i pouzdanosti komunikacijskog sustava
 - sigurnom prijenosu informacija (primjena ispitnih bitova, potvrda korektnog prijema informacija)
 - realizaciji velikog kapaciteta prijenosa informacija
 - kratkim vremenima reakcije na zahtjev za prijenos informacija
 - mogućnosti povezivanja različitih komunikacijskih partnera

Osnovne komunikacijske strukture

- Osnovne komunikacijske strukture:
 - Zvezdasta
 - Prstenasta
 - Mrežna
 - Sabirnička

Zvezdasta struktura

- Svaki sudionik je povezan vlastitim prijenosnim vodom s centralnom jedinicom
- Svaka izmjena podataka unutar zvezdaste strukture obavlja se preko ove jedinice
- Ispad centralne jedinice dovodi do ispada komunikacijskog sustava

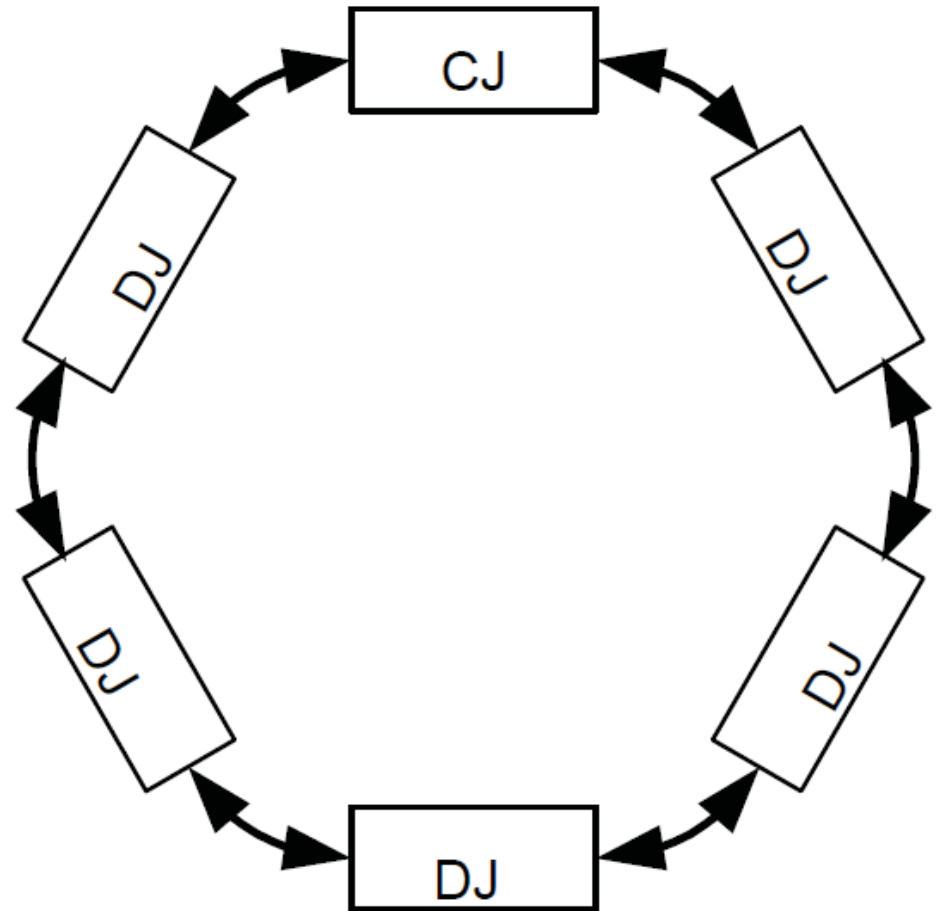


CJ: Centralna jedinica za automatizaciju

DJ: Decentralna jedinica za automatizaciju

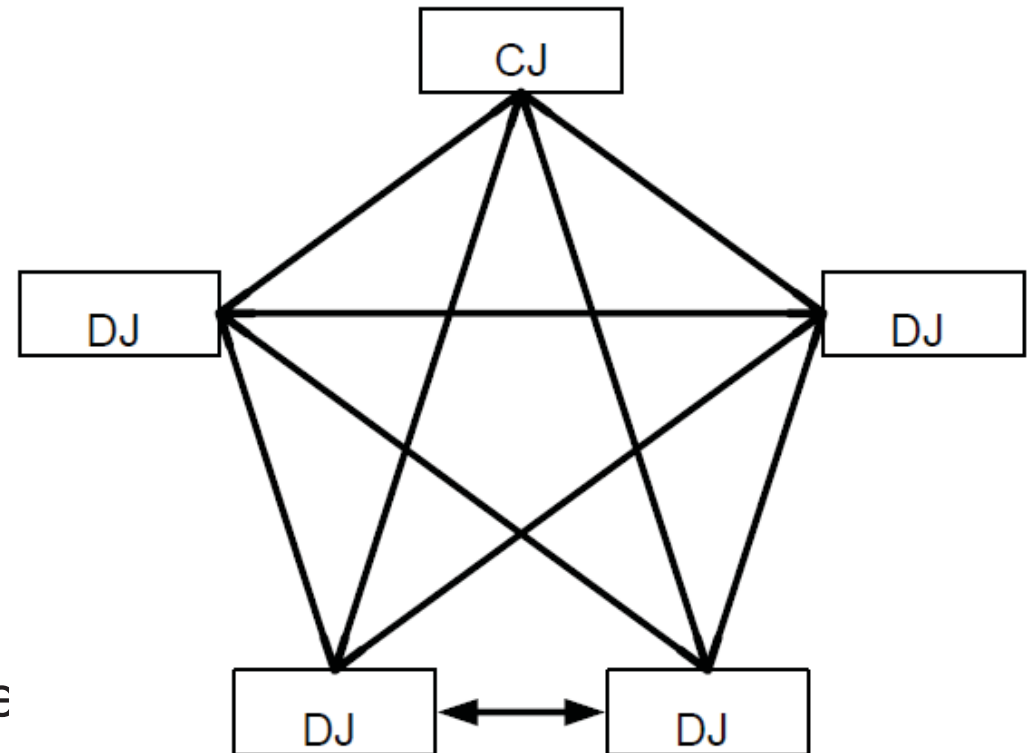
Prstenasta struktura

- Svi sudionici su prstenasto povezani
- Svaka jedinica može direktno komunicirati samo sa susjednim jedinicama

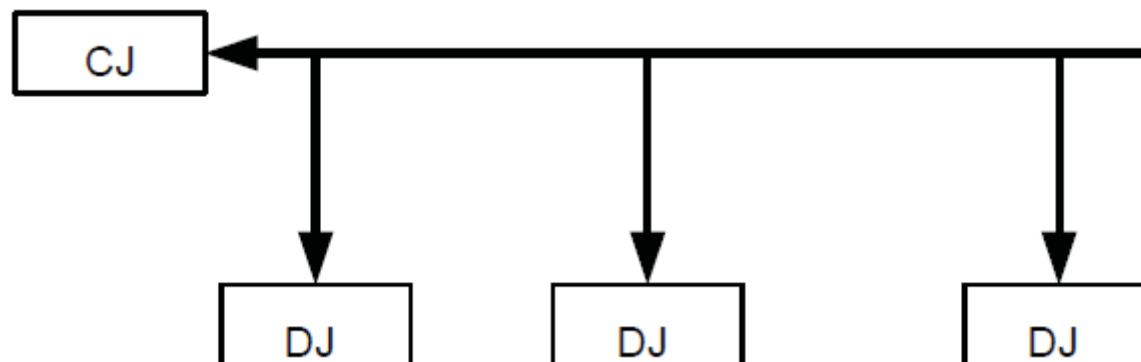


Mrežna struktura

- Svaka jedinica može komunicirati sa svakom
- Veoma kratka vremena reakcije na zahtjeve za prijenosom informacija i veoma visok kapacitet prijenosa informacija
- Izdatci za kabeliranje i računalna sučelja veoma su visoki zbog jakog učvorenja jedinica
- Proširenje mreže zahtijeva visoke troškove



Sabirnička struktura (1)



- Ima prevladavajuće značenje u odnosu na ostale navedene strukture
- Svi sudionici međusobno su povezani preko zajedničke sabirnice
- Dok neki od sudionika šalje informaciju, svi ostali je mogu primati
- Istodobno više sudionika ne može slati informacije → potrebno je upravljanje komunikacijom jedinica

Sabirnička struktura (2)

- Komunikacija jedinica provodi se pomoću "busmastera" pri čemu se primjenjuju sljedeće procedure:
 - Centralno upravljana komunikacija s jednim "bus-masterom" – on ispituje zahtjev za komunikaciju (polling) i dodjeljuje sabirnicu nekom od sudionika prema kriteriju (prioritet, ciklično rotirajući)
 - Decentralno upravljana komunikacija - svaka jedinica za automatizaciju može preuzeti upravljanje sabirnicom te na taj način postati "master"
 - Funkcija "mastera" prelazi po potrebi s jedne jedinice na drugu

Strukture automatizacije s redundancijom

- Svrha: povećanje pouzdanosti i sigurnosti rada sustava
- Elementarni oblik redundancije: opslužno osoblje nadzire procesne veličine
- Oblici redundancije:
 - sklopovska redundancija (pomoću redundantnog sklopovlja)
 - programska redundancija (pomoću redundantne programske podrške)
 - mjerna redundancija (mjerenjem redundantnih veličina)
 - posebno su interesantne za mjernu redundanciju međusobno zavisne procesne veličine (npr. put, vrijeme, brzina)
 - vremenska redundancija (npr. višestruko ispitivanje iste mjerne vrijednosti u određenim vremenskim razmacima)

Sklopovska redundancija

- Prema načinu korištenja sklopovska redundancija može biti:
 - Statička redundancija (m od n redundancija): "većinska odluka" (m od n)
 - Dinamička redundancija ("stand-by" redundancija):
 - u slučaju kvara "radnog računala" obavlja se prespajanje na "backup" računalo
- Prema načinu rada u slučaju kada nema kvara razlikuje se:
 - "Slijepa" redundancija: Redundantno računalo nije aktivno
 - Funkcionalna redundancija: Redundantno računalo je aktivno

Programska redundancija

- "Skrivene" programske pogreške
- Uvišestručenje iste programske podrške potpuno je besmisleno
- Određeni dijelovi programske podrške izvedu se na različite načine
 - Pri tome se uz iste ulazne podatke programa trebaju dobiti isti izlazni rezultati
 - Redundantni programi ove vrste nazivaju se diverznim (različitim)
- Različitost za istu funkciju može se postići na različite načine:
 - Neovisne razvojne ekipe razvijaju programsku podršku za istu funkciju za očekivati je da će ekipe razvijati program na različite načine
 - Primjenjuju se sasvim različite strategije, algoritmi i programske strukture kako bi se dobili različiti programi